C. B. KPABKOB

ГЛАЗ EГО PAБОТА

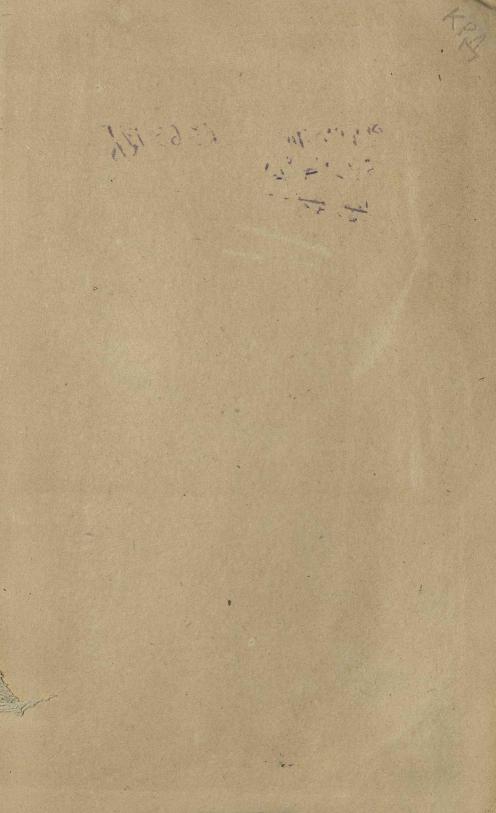
НАРКОМЗДРАВ СССР М Е Д Г И 3 - 1 9 4 5 КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОВВРАЦІЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОНА

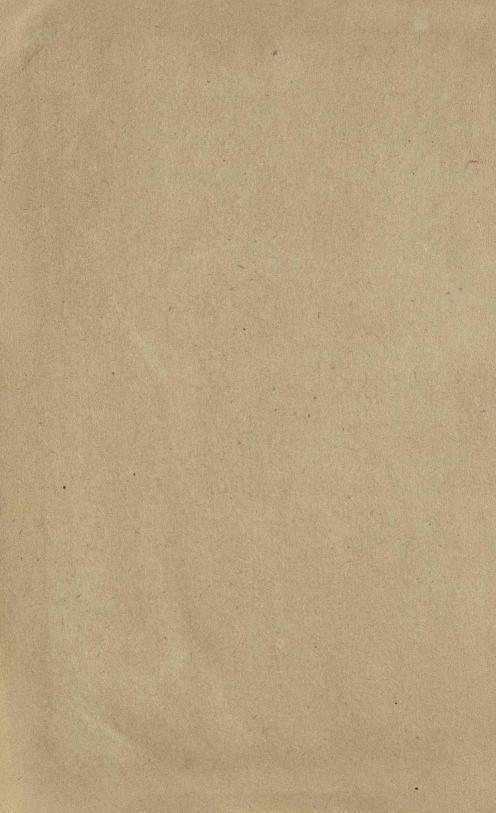
2454 7415
5438 10/12

ТДУЗЬТУ

ТДУЗЬТУ

Колич. предыд. выдач





# ГЛАЗ И ЕГО РАБОТА

## ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ **ЗРЕНИЯ**, ГИГИЕНА ОСВЕЩЕ**НИЯ**-

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ ИСПРАВЛЕННОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

718871



218 рисунков в тексте

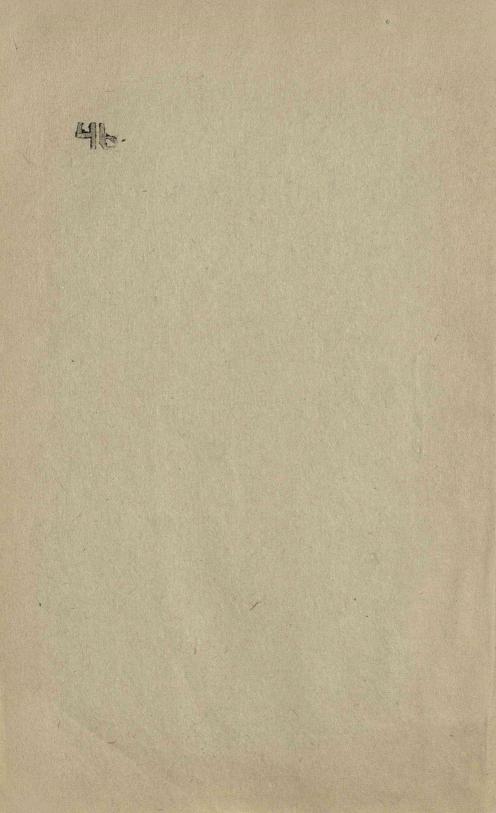


W

НАРКОМЗДРАВ СССР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО МЕДИЦИНСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ «МЕДГИЗ» МОСКВА — 1945 — СВЕРДЛОВСК





## предисловие к первому изданию

Ряд специальностей нуждается в знании функций зрения. Гигиенист и светотехник ставят себе целью создать здоровые условия труда, в частности, наилучшие условия освещения. Деятельность живописца прямо апеллирует к глазу. Зрительное впечатление в большей мере определяет собой творчество архитектора. Совершенно конкретные задачи оценки и подбора цветов встают перед работниками текстильной промышленности и полиграфического дела. Последний, кроме законов цвета, должен учитывать еще и другие стороны зрения: его остроту и утомляемость. Не может игнорировать психофизиологию глаза и кинопроизводство. Наконец, военная маскировка в значительной своей части есть лишь практическое использование естественных законов нашего зрительного восприятия.

В связи со всем этим в программы ряда наших высших (текстильных, архитектурных, художественных и технических) учебных заведений и включены такие специальные предметы, как «Учение о цветах», «Физиология зрения в связи с гигиеной освещения», «Коло-

риметрия».

Полное уяснение функций зрения требует учета фактов, отно-сящихся к весьма различным областям знания — к физике, физио-

логии, химии, психологии и эстетике.

Исторический ход развития учения о функциях зрения говорит об участии в нем представителей самых различных специальностей. Достаточно здесь назвать имена математика Грассмана, офталмолога Гульстранда, физиков Максвелла и Шредингера, биофизика Лазарева, физиологов Геринга, фон Криса и Кенига, психологов Мюллера и Каца, не говоря о таких универсальных умах, как Гельмгольц и Гете.

Естественно поэтому, что материал, относящийся к работе нашего глаза, рассеян по очень различным специальным изданиям и журналам. Для узкого специалиста, и тем более для учащегося, он

в силу этого остается в целом недоступным.

В имеющихся же у нас учебниках и руководствах по физике, осветительной технике, физиологии и психологии функции зрения затрагиваются всегда более или менее мимоходом в виде отдельной вставной главы или же если и рассматриваются более подробно, то всегда лишь с какой-нибудь одной стороны.

Вот почему нам и представлялось интересным и целесообразным попытаться в одной книге, специально посвященной глазу, дать си-

стематическую сводку того всего основного и нового, что мы в настоящее время знаем об устройстве глаза, и таких основных его функциях, как ощущение и восприятие цветов, острота зрения и зрительная ориентация в пространстве. Одновременно мы сочли нужным рассмотреть вопросы зрительного утомления и гигиены освещения. При этом нам хотелось учесть здесь специальные вопросы гигиены труда и светотехники. В частности, нами приняты во внимание и существующие программы предмета «Физиология зрения» на светотехническом цикле Московского высшего энергетического института, где автору же и приходится вести преподавание.

В какой мере достаточно широкая и трудная задача, поставленная себе автором, выполнена удовлетворительно, судить читателю.

С. В. Кравков

Москва, август 1930 г. Институт физики и биофизики Наркомздрава

## предисловие ко второму изданию

За время, прошедшее после опубликования первого издания моей книги, наука о зрении неуклонно развивалась как за границей, так и в нашем Союзе. Естественно поэтому желание дать читателю представление и об этих новейших достижениях в области исследования строения и функций глаза. Наряду с подобными дополнениями нами приведены и некоторые изменения в изложении прежнего материала. Пополнена также библиография.

С. В. Кравков

Москва, февраль 1935 г. Государственный институт психологии

## ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Предлагаемая вниманию читателя книга является в значительной мере новой. Накопившиеся факты и обобщения побудили нас подвергнуть текст предыдущего издания «Глаза» существенным изменениям как в смысле дополнений и исправлений, так и в смысле некоторой перепланировки излагаемого материала. Отделы, касающиеся диоптрики глаза и действия на зрение побочных раздражителей, написаны заново. Соответственно пополнена и библиография.

С. Кравков

Москва, декабрь 1939 г. — декабрь 1942 г. Лаборатория физиологической оптики Государственного центрального офталмологического института имени Гельмгольца

#### ГЛАВАІ

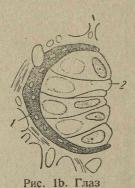
#### СТРОЕНИЕ ГЛАЗА

## § 1. Эволюция органа зрения. Эмбриология человеческого глаза

Орган зрения, как и все другие органы чувств, претерпел большую эволюцию в ходе филогенетического развития живых существ. Эта эволюция шла в направлении все лучшего приспособления глаза к восприятию окружающего мира.



Рис. 1а. Зрительная клетка в эпителии дождевого червя.



пиявки.

1 — пигментный бокал; —2 зрительная клетка.

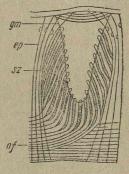


Рис. 1с. Глаз морской звезды. gm— пограничная мембрана; ep— эпителиальные клетки; sz— зрительные клетки; nf— нервные волокна.

Простейший вид органа зрения мы встречаем у дождевого червя (рис. 1a). Это — просто отдельные светочувствительные клетки, разбросанные изолированно в наружных покровах (эпидермисе) животного. Они способны различать лишь свет и тьму. Более сложной формой глаза, хотя, конечно, все еще необычайно примитивной, являются объединения зрительных клеток в группы. При этом к зрительным клеткам присоединяются уже прослойки темного пигмента, имеющие часто форму как бы чашечки или бокала. Такой вид имеют, например, глаза пиявок (рис. 1b). Дальнейшее усложнение формы глаза мы встречаем в виде групп зрительных клеток, располагающихся не на поверхности эпидермиса, но несколько глубже. Это уже особые зрительные углубления или ямки. Подобный тип глаза присущ улиткам и морским звездам (рис. 1c). Такой глаз способен уже, очевидно, различать и направление падающего на него света. Сужение

входного отверстия и расширение внутреннего пространства, окруженного зрительными клетками, придает, далее, глазам пузыреобразную форму, находимую нами, например, у кольчатых червей (рис. 1d).

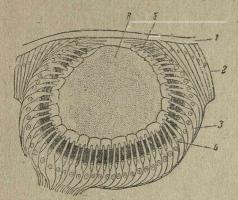


Рис. 1d. Глаз кольчатого червя.

1—кутикула; 2—эпидермис; 3— эрительные клетки; 4— индиферентные эпителиальные клетки; 5— палочки; 6—внутренняя масса.

На этом уровне развития глаза в некоторых случаях уже имеют возможность получать на слое светочувствительных клеток оптическое изображение находящихся перед глазами предметов, т. е. появляется возможность считать глаз уже не только органом светоощущения, но и органом видения форм. В упомянутых выше видах глаз светоощущающие концевые аппараты направлены навстречу попадающему в глаз свету, нервные же волокна идут от них в сторону, обращенную от падающего света. Такие глаза

называются конвертированными. Бывает, однако, устройство глаз обратного в этом отношении типа, когда светоощущающие концевые

аппараты повернуты от света. Свет, прежде чем упасть на них, должен в этом случае пройти сквозь слой нервных волокон, подходящих сзади к этим концевым аппаратам (рис. 1е). Устроенные таким образом глаза называются инвертированными или пузыреобразными глазами с обращенным внутрь светоощущающим слоем. К этому именно типу глаз относится и глаз человека. Однако по своему эмбриональному происхождению глаз человека весьма существенно отличается от глаз беспозвоночных животных. В то время как у последних глаза развиваются из покровного эпителия (наружной эктодермы), глаз человека (как и глаз других позвоночных вообще) образуется из нервной эктодермы, дающей начало и головному мозгу.

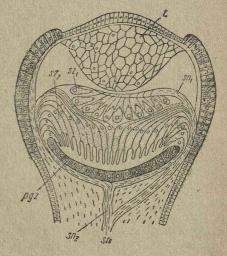


Рис. 1е. Глаз моллюска. z — линза;  $sz_1$  — передний слой зрительных клеток с отходящими от них нервными волокнами;  $sz_2$  — задний слой зри-

ными волокнами;  $sz_2$  — задний слой зрительных клеток с нервными волокнами;  $sn_2$  — зрительный нерв; pgz — пигментные клетки.

В мозговом зачатке, в так называемой эмбриональной мозговой трубке, спереди образуются два выпячивания— глазные пузырьки, постепенно растущие кнаружи, по направлению к поверхностным

покровам, к кожной эктодерме. При соприкосновении с этой последней глазной пузырек начинает вдавливаться внутрь себя, образуя вторичный глазной пузырек. Внутрь этого вторичного глазного пузырька входит кожная эктодерма, давая здесь начало образованию передних частей глазного яблока (эпителию роговицы и конъюнктивы, хрусталику и пр.). Наиболее же важная часть глаза — сетчатая оболочка со зрительным нервом — развивается непосредственно из мозговой ткани — нервной эктодермы. Таким образом, есть полное основание считать наш глаз в буквальном смысле частью мозга,

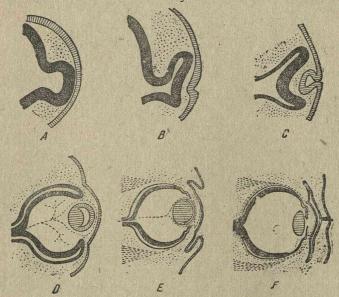


Рис. 2. Эмбриональное развитие человеческого глаза. Черным обозначена дающая начало нервной ткани нервная эктодерма; заштрихована наружная эктодерма; точками обозначена мезодерма.

выдвинутой на периферию. Описанная схема образования человеческого глаза показана на рис. 2.

## § 2. Строение глазного яблока

Вполне развившийся человеческий глаз представляет собой шарообразное тело, образуемое несколькими оболочками, помещающееся в особом полом пространстве черепа — глазнице (рис. 3).

Наружной оболочкой глазного яблока является твердая белковая оболочка — склера (sclera)<sup>1</sup>. Эта белая, почти непрозрачная, нерастягивающаяся соединительнотканная оболочка обеспечивает глазу сохранение его формы и защищает внутренние части его от внешних воздействий. Толщина склеры — от 0,4 до 1,1 мм.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Склерос — по-гречески значит «твердый».

В передней части глазного яблока склера переходит в более изогнутую и прозрачную роговую оболочку (cornea). Передняя часть ее состоит из эпителия, тождественного с эпителием соединительной оболочки глаза — конъюнктивы (conjunctiva). Непосредственно под эпителием роговой оболочки находится особая бесструктурная, так называемая боуменова оболочка. Наибольшую часть роговой обо-

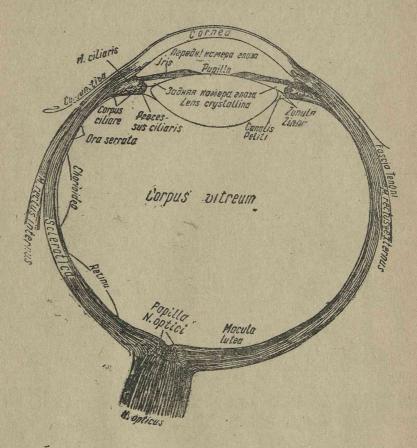


Рис: 3. Горизонтальный разрез человеческого глаза (правый глаз).

лочки составляет слой основного вещества, состоящий из тонких соединительнотканных волокон, образующих как бы особые пластинки, расположенные параллельно поверхности роговицы. Ближе к внутренней стороне роговицы в ней лежит еще эластичная, прозрачная прослойка, носящая название демуровой, или десцеметовой, оболочки, покрытая сзади одним слоем эндотелиальных клеток.

Под склерой находится сосудистая оболочка (chorioidea), состоящая, как показывает само название, из сети кровеносных сосудов, питающих глаз; толщина ее доходит до 0,35 мм. У многих животных в сосудистой оболочке имеется еще блестящая прослойка, так называемый «ковер» (tapetum), дающая радужные рефлексы

вызывающая порой впечатление свечения глаза.

Спереди сосудистая оболочка утолщается и переходит в ресничное тело (corpus ciliare) и радужную оболочку (iris). Цилиарное, или ресничное, тело представляет собой кольцеобразное образование изпигментированных эпителиальных клеток, кровеносных сосудов и гладких мышечных волокон, называемых ресничной мышцей. В ней различают волокна продольные, радиальные и кольцевые (рис. 4). На задней поверхности ресничного тела имеются богатые кровенос-

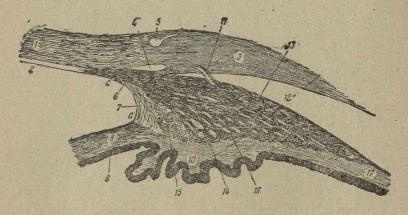


Рис. 4. Разрез через ресничное или цилиарное тело глаза. 1— роговая оболочка; 2— эндотелий передней камеры; 3— склера; 4— шлемов канал; 5— вена; 6— радиальные волокна цилиарной мышцы; 7— фонтановы пространства; 8— радужная оболочка; 9— пигментный слой радужной оболочки; 10— цилиарные отростки; 11— цилиарная вена; 12— перихориоидальное пространство; 13, 14, 16— радиальные волокна цилиарной мышцы; 16— кольцевые волокна цилиарной мышцы.

ными сосудами меридианальные складки — ресничные отростки. Ресничная мышца прикрепляется к склере в том месте, где эта по-

следняя переходит в роговую оболочку.

Радужная оболочка, составляющая передний отдел сосудистого тракта, состоит из кровеносных сосудов, мышечных волокон и пигментных клеток. От количества последних и зависит «цвет» глаз. Отверстие зрачка, имеющееся в середине радужной оболочки, играет в глазе роль диафрагмы в фотографическом аппарате. Благодаря действию мышц радужной оболочки отверстие зрачка может делаться уже или шире. Суживателем зрачка служит кольцевая мышца радужной оболочки, расширителем же — мышечные волокна, идущие в ней радиально. К сосудистой оболочке по всей внутренней стороне ее прилегает пигментный слой эпителиальных клеток, содержащих в себе темный пигмент — фусцин. Клетки эти имеют форму прямых, чаще всего шестигранных, призмочек с поперечником около 0,010 — 0,018 мм (рис. 5). За пигментным слоем находится самая внутренняя из оболочек глаза — сетчатая оболочка, или ретина (рис. 3, retina).

В разрезе самой сетчатки (рис. 6) различают сцепление трех нейронов (I, II и III)<sup>1</sup>, дающее нижеследующие 10 слоев (считая и пигмент-

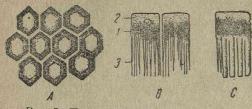


Рис. 5. Пигментные клетки сетчатки.

A— десять пигментных клеток, вид спереди; B— две пигментные клетки, вид в профиль; I— средняя пигментированная часть; 2— внешняя сторона, лишенная пигмента; 3— внутренние отростки; C— пигментная клетка, охватывающая своими отростками палочки сетчатки.

ный): 1-й слой — пигментный эпителий, 2-й — слой палочек и колбочек, 3 — наружная пограничная перепонка, 4-й — внешний зернистый слой, 5-й — внешний межзернистый слой, представляющий собой сплетение окончаний первого нейрона с волокнами далее лежащего нейрона, 6-й — внутренний зерни-

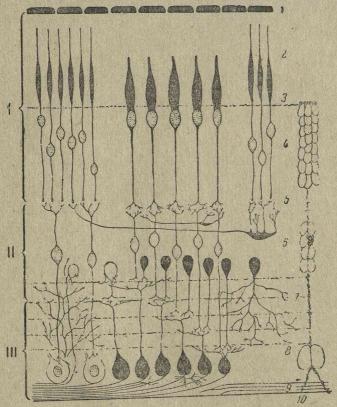


Рис. 6. Строение сетчатки.

I, II и III— первый, второй и третий нейроны; I— пигментный слой, прилежащий к сетчатке; 2— слой палочек и колбочек; 3— наружная пограничная перепонка; 4— внешний зернистый слой; 5— внешний межзернистый слой; 6— внутренний зернистый слой; 7— внутренний межзернистый слой; 8— ганглиозные клетки зрительного нерва; 9— волокна зрительного нерва; 10—внутренняя пограничная перепонка. Справа изображено опорное волокно Мюллера.

<sup>1</sup> Нейроном называется отдельная нервная клетка с отростками.

стый слой, образуемый биполярными клетками второго нейрона; сплетение окончаний второго нейрона с дальнейшим третьим образует 7-й слой — внутренний межзернистый; 8-м слоем является слой ганглиозных клеток зрительного нерва; 9-м — слой воло кон зрительного

нерва и 10-м — внутренняя пограничная перепонка. Палочки и колбочки изображены отдельно

на рис. 7.

Следует отметить, что в сетчатке имеются также клетки, отростки которых расположены перпендикулярно к направлению палочек и колбочек. Эти «горизонтальные», звездчатые и так называемые амакриновые клетки могут осуществлять, очевидно, боковые связи различных мест сетчатки. В сетчатке найдены также клетки, связанные, повидимому, с центробежными нервными волокнами, служащими для проведения в глаз возбуждения из

вышележащих мозговых центров.

Опыты Генриха Мюллера над передвижением теней от кровеносных сосудов, находящихся перед слоем палочек и колбочек, при наблюдении над смещениями проекций этих теней на белый фон, находящийся перед глазом, и некоторые другие данные говорят в пользу того, что светочувствительным слоем в сетчатке служит именно слой палочек и колбочек. В палочках и колбочках различают наружные и внутренние членики (рис. 7). Наружные членики состоят из двояко преломляющего свет вещества, подобного миэлину нервов; после смерти и под влиянием некоторых реактивов наружные членики распадаются на отдельные плоско-параллельные диски. Внутренние членики имеют протоплазматический характер и после смерти становятся слегка зернистыми.

Диаметр внутреннего членика палочек — около 0,002 мм, длина всей палочки — около 0,06 мм. Диаметр внутреннего членика колбочки — около 0,006—0,007 мм, длина колбочки — около 0,035 мм. Колбочки, находящиеся в центре сетчатки, бывают уже и длиннее. В наружных члениках палочек найдено особое вещество пурпурного цвета — зрительный пурпур, или родопсин. О роли его в процессе зрения мы будем говорить подробно ниже.

В человеческой сетчатке насчитывается около 130 млн. палочек и около 7 млн. колбочек. Палочки

и колбочки распределены по сетчатке неравномерно. В общем, в середине сетчатки преобладают колбочки, в боковых же частях ее — палочки. Количество палочек, приходящихся на единицу поверхности сетчатки, однако, не все время возрастает по мере перехода к периферическим частям ее, но достигает своего максимума близ 10—13° периферичности, после чего вновь идет на убыль. На

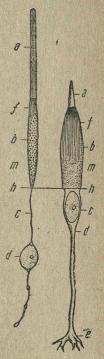


Рис. 7. Палочка и колбочка сетчатки. Слева — палочка: а— наружный членик; b— внутренний членик; f— эллипсоид; m— миоид; h— внешняя пограничная перепонка; с— палочковое волокно; d— ядро; е— конечная путовка. Справа—колбочка: а— наружный членик; b— внутрений членик; f—эллипсоид; m— миоид; h— внешняя пограничная перепонка; с— ядро; d— колбочковое волокно; е— колбочковое волокно; е— колбочковое волокно; е— колбочковое волокно; е— колбочко

бочковая ножка.

крайней периферии относительное количество колбочек вновь больше.

Данные микроскопического подсчета числа палочек (П) и колбочек (К) в одной человеческой сетчатке, полученные недавно Естербергом,

приведены на рис. 8.

По абсциссе отложено расстояние исследуемого места от центральной ямки сетчатки в миллиметрах. По ординате — число палочек и колбочек на 1 мм² (в сотнях). Данные относятся к носо-височ-

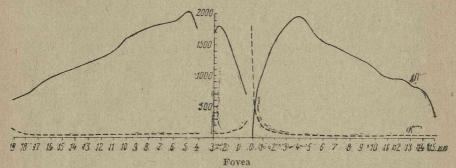


Рис. 8. Распределение палочек и колбочек в сетчатке (по Естербергу).

ному меридиану глаза. Два места сетчатки заслуживают особого упоминания. Первое — это место вхождения зрительного нерва в глазное яблоко, так называемый сосочек зрительного нерва (рис. 3, papilla). На нем не имеется ни палочек, ни колбочек, и мы им ничего не видим. Поэтому оно и называется слепым пятном сетчатки. Слепое пятно имеет овальную форму с более длинным вертикальным диаметром. По горизонтали оно занимает около 1,3 — 1,8 мм, чему

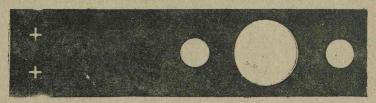


Рис. 9. Рисунок, показывающий существование слепого пятна.

соответствует угол около 6—6,5°; на слепом пятне могут уместиться около 11 изображений полной луны. По горизонтальному меридиану от центральной ямки сетчатки слепое пятно занимает пространство приблизительно с 12 до 18°. Убедиться в существовании у нас слепого пятна просто. Для этого достаточно закрыть, например, левый глаз и посмотреть правым на какой-нибудь крестик, находящийся слева на рис. 9, держа рисунок на расстоянии около 15 см от глаза. При известном положении рисунка по отношению к глазу легко заметить, что изображение того или иного белого кружка из находящихся на рисунке справа перестанет быть видимым. Это доказывает, что изображение его упало на слепое пятно. В обыденной жизни мы не замечаем вызываемых слепым пятном пробелов в поле зрения, во-первых,

в силу того, что изображение, попадающее на слепое пятно в одном глазе, в другом падает вне слепого пятна, и, во-вторых, в силу невольного заполнения этих пробелов образами соседних частей поля зрения. Вследствие происходящих под влиянием тех или иных причин изменений чувствительности светочувствительных элементов, окружающих место вхождения в глаз зрительного нерва, границы слепого пятна, определяемые субъективно, могут довольно значительно вариировать. Такие изменения размеров слепого пятна в зависимости как от методики исследования, так и от различных физиологических и патологических состояний глаза описывались рядом авторов (Грифин, в более недавнее время Сыякин, Калькутина, Вишневский).

Далее, особым, чрезвычайно важным местом сетчатки является желтое пятно — macula lutea (рис. 10), являющееся местом наиболее

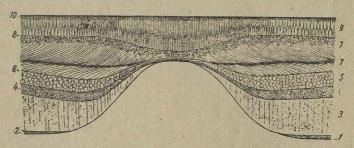


Рис. 10. Разрез сетчатки в месте наиболее ясного видения. Цифры обозначают отдельные слои сетчатки (1—внутренняя пограничная перепонка, 10—пигментный слой).

ясного видения; оно лежит несколько к виску и вверх от места вхождения зрительного нерва — слепого пятна. Желтое пятно окрашено в желтый цвет и заполнено по преимуществу колбочками. Оно имеет удлиненную в горизонтальном направлении, овальную форму; наибольший диаметр желтого пятна определяется разными авторами довольно различно (от 2,9 до 0,6 мм). В середине желтого пятна в сетчатке имеется углубление, так называемая центральная ямка (fovea centralis; рис. 10). Диаметр ее — около 0,4 мм или в угловых величинах около 1,7°. В ней имеются только колбочки, причем здесь они лежат очень тесно друг около друга и имеют более тонкую и удлиненную форму, делающую их здесь морфологически совсем похожими на палочки. Отличием остается, однако, отсутствие в их наружных члениках зрительного пурпура. Диаметр внутреннего членика фовеальной колбочки равняется, по определениям разных авторов, от 0,0015 до 0,0035 мм, длина же доходит до 0,1 мм. На месте центральной ямки сетчатка делается значительно тоньше (около 0,1-0,08 мм) за счет сокращения прочих сетчаточных слоев, сводящихся здесь главным образом лишь к слою колбочек. В области центральной ямки каждая колбочка соединена с отдельной биполярной клеткой и, может быть, с отдельной ганглиозной клеткой. Во всех же прочих мес-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Впрочем, следует заметить, что решительно отрицать наличие и функционирование некоторого количества и палочек в fovea у всех людей мы не можем.

тах сетчатки число зрительных клеток (концевых светочувствительных аппаратов) превышает количество биполярных клеток второго нейрона, а число этих последних в свою очередь превышает количество ганглиозных клеток зрительного нерва. Поэтому с одним нервным волокном оказываются связанными не один, а целая группа концевых зрительных аппаратов сетчатки. Число концевых аппаратов, приходящихся на одно нервное волокно, растет по мере удаления от центра сетчатки к ее периферии, доходя до 40—80. Очевидно, что уже такое устройство сетчатки должно обусловливать явления пространственной суммации возбуждения.

Глазное дно можно видеть и в живом глазе при помощи изобретенного Гельмгольцем офталмоскопа. Принцип его устройства (по Рюте) показан на рис. 11. Глаз наблюдателя В помещается за отверстием О

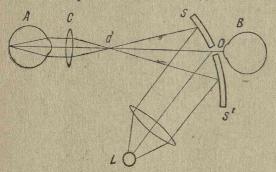


Рис. 11. Схема офталмоскопа.

в зеркале S. Сбоку от этого зеркала помещается источник света L. Лучи этого последнего, отражаясь от зеркала, через линзу С попадают внутрь исследуемого глаза A, отражаются от сетчатки этого последнего и дают в воздухе обратное и увеличенное изображение сетчатки d; это-то изображение и рассматривается наблю-

дателем. В настоящее время существует много различных конструкций офталмоскопов. Некоторые из них позволяют рассматривать глазное дно бинокулярно, что дает возможность видеть его рельеф. С офталмоскопированием сочетается и фотографирование глазного дна. Сетчатая оболочка, будучи очень тонкой, особенно в области желтого пятна, чрезвычайно прозрачна для световых лучей вообще и для длинных световых воли (оранжево-красных) в особенности. Поэтому та картина глазного дна, которая дается отражением от сетчатки обыкновенного света, в значительной мере дается просвечивающими сквозь сетчатку, лежащими за ней слоями глаза, а не ею самой. Поэтому для того чтобы лучше видеть особенности именно сетчатки, в недавнее время стали применять рассматривание глазного дна в зеленоватом свете, лишенном красных лучей. При таких условиях большая часть света (коротких длин волн) отражается уже самой сетчаткой и позволяет нам при офталмоскопировании видеть именно сетчатку. На рис. 12 приведена картина глазного дна, видимая при помощи офталмоскопа.

Роль фотографического объектива в нашем глазе играет хрусталик (рис. 3, lens crystallina). Хрусталик представляет собой прозрачную, слегка желтоватую, двояковыпуклую упругую линзу. Масса его состоит из белкового вещества — глобулина. Составляющие массу хрусталика микроскопические волокна шестиугольны в разрезе и, своеобразно огибая его спереди назад, образуют местами своей

встречи звездообразную фигуру (так называемая звезда хрусталика). Во внутренних своих слоях хрусталик является более твердым и преломляющим, чем в более поверхностных слоях (так называемое ядрохрусталика). Наличие такого ядра в хрусталике делает его более преломляющим. Хрусталик укреплен в особой, совершенно прозрачной капсуле. Посредством так называемой цинновой связки (рис. 3, zonula Zinnii) капсула эта прикреплена к области ресничных отростков цилиарного тела.

Пространства между роговицей и радужной оболочкой и между радужной оболочкой и хрусталиком носят названия передней и задней камер глаза. Они заполнены водянистой влагой. Эта водянистая влага образуется в цилиарном теле и радужной оболочке, повидимо-

му, как ультрафильтрат крови. Пространство же самого глазного яблока заполнено студенистым, совершенно прозрачным веществом - стекловидным телом, corpus vitreum (рис. 3). Оно заключено в тончайшую и тоже совершенно прозрачную стекловидную оболочку (membrana hyaloidea), плотно прилегающую к сетчатке. Стекловидная оболочка, обнимающая стекловидное тело, образует внутри него так называемый стекловидный канал (canalis hyaloideus), идущий от места входа зрительного нерва глаза к задней поверхности хрусталика. Этот канал наполнен лимфой.

Питание глаза совершается посредством сети артери-

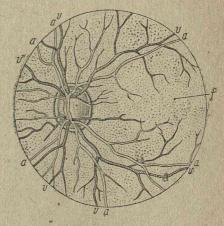


Рис. 12. Дно глаза, как его можно видеть в офталмоскопе.

a, a — артерия; v, v — вены сетчатки; f — центральная ямка (fovea centralis), светый овал в левой половине, так называемый сосочек, место вхождения эрительного нерва.

альных и венозных кровеносных сосудов, имеющихся в сосудистой оболочке, цилиарном теле, в сетчатке, а также в конъюнктиве.

От кровенаполнения сосудов глаза, регуляции новообразования и оттока водянистой влаги и других причин зависит то внутриглазное давление, под которым находятся изнутри оболочки длазного яблока. Нормальные величины внутриглазного давления лежат приблизительно между 15 и 30 мм ртутного столба. Поддержание внутриглазного давления на определенном уровне регулируется отчасти оттоком влаги из передней камеры глаза через посредство так называемых фонтановых пространств, лежащих в углу между радужной и роговой оболочками и шлеммова канала (см. выше на рис. 4).

## § 3. Зрительные нервы. Зрительные центры

Орган зрения не ограничивается глазным яблоком. Глаз с перерезанным зрительным нервом не видит. Для того чтобы глаз был дей-

ствительно органом зрения, необходимо, чтобы была сохранена его связь с лежащими выше нервными центрами и чтобы эти последние не были повреждены. Конечными центрами зрения в головном мозгу у человека являются затылочные доли коры большого мозга — места так называемой борозды птичьей шпоры (fissura calcarina) с ее обеими губами — верхней — клиновидной (cuneus) и нижней — язычной (g. lingualis) (17-ое мозговое поле по Бродману) (рис. 13). Область эта называется агеа striata, или полосатая область благодаря наличию здесь в мозговом веществе так называемой геннариевой полосы.

При разрушении этого участка коры у человека и у высших обезьян наступает полная слепота. У животных же, стоящих на более низ-

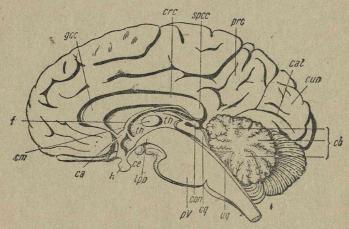


Рис. 13. Вертикальный продольный разрез головного мозга (по Зернову).

f — свод; th — зрительный бугор; cm — серая спайка зрительного бугра; ca — белая передняя спайка; ce — сосцевидное тело; lp — мозговая ножка; pv — варолиев мост; con — шишковидная железа; cq — четверохолмие; aq — четвертый желудочек; ce — мозжечок; cun — клиновидная доля (cupneus); cal — борозда птичьей шпоры (fissura calcarina); h —гипофиз; prc — квадратная доля; spcc, gcc, cre — мозолистое тело.

ких ступенях развития, реакции на световые раздражители сохраняются и после двустороннего удаления затылочных долей коры головного мозга. Более сложные процессы зрительного восприятия у человека связаны с мозговыми полями 18-м и 19-м (по Бродману),

прилежащими к полосатой области.

Зрительный нерв, имеющий в сечении около 4 мм², представляет собой объединение громадного числа нервных волоконец, идущих от сетчатки. Диаметр сечения этих волоконец необычайно мал: от 0,002 до 0,010 мм. Каждое из них в частях нерва, лежащих вне сетчатки, покрыто миэлиновой оболочкой. Вблизи глазного яблока в толщу зрительного нерва входят сетчаточные артерия и вена. Зрительный нерв заключен в оболочки, являющиеся продолжением мозговых оболочек. Пространство между оболочками наполнено спинномозговой жидкостью. Поэтому изменения внутричерепного давления (вследствие, например, опухолей мозга) сказываются и на состоянии

зрительного нерва. Место входа зрительного нерва внутрь глаза приобретает в этих случаях отечный характер; при рассматривании глазного дна в офталмоскоп видна бывает картина так называемого

«застойного соска» зрительного нерва.

Составляющие зрительный нерв нервные волокна распределяются в нем в три главных пучка. Один заключает в себе волокна от внешней (височной) половины сетчатки, другой — от внутренней (носовой) и третий — от центральной (макулярной) области ее! В дальнейшем своем ходе от глазного яблока к коре большого мозга зри-

тельные нервы обоих глаз частично перекрещиваются в месте так называемого зрительных перекрестка нервов (chiasma). При этом нервные волокна от височных половин сетчаток направляются далее к мозговому полушарию соответ--ствующих им сторон мозга, волокна же от носовых частей сетчаток идут к полуошариям противоположной отим стороны; что касается аволокон центрально-макулярного пучка, то они, по мнению некоторых исследователей, от каждого глаза идут как в соответствующее, так и в противоположное полушарие. Прежде чем достичь затылочных долей коры большого мозга, зрительные нервы огибают ножки большого мозга и заходят в подкорковые 1 зрительные центры, лежащие у основания мозговых нолушарий. Такими про-

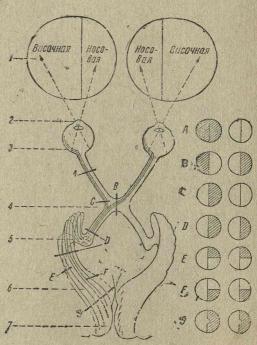


Рис. 14. Схема зрительных путей и центров (по Хоменс).

1 — поле зрения; 2 — роговица; 3 — сетчатка;
 4 — хиазма; 5 — подкорковые зрительные центры;
 6 — волокна Грациоле; 7 — зрительная область коры.

межуточными зрительными центрами являются задняя часть зрительного бугра (pulvinar), переднее четверохолмие (corpus quadrigeminum anterius) и наружное коленчатое тело (corpus geniculatum laterale). Последнее имеег, повидимому, наибольшее значение как специально зрительный центр. Зрительный же бугор и четверохолмие служат по преимуществу для передачи раздражений в глазодвигательный центр, который находится у основания варолиева моста. Из промежуточных центров нервы, несущие зрительное возбуждение, направляются так называемыми волокнами Грациоле уже к конечным зри-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Обычно их называют «первичными» оптическими центрами, что, по нашему мнению, не вполне удачно, поскольку и сетчатка может быть признана уже нервным центром.

тельным центрам в области затылочных долей коры большого мозга. При этом часть волокон зрительного нерва после коленчатого тела

проходит через височную область мозга.

Частичным перекрестом зрительных нервов объясняются случаи так называемых гемианопсий или слепоты на одну половину поля зрения, наступающей часто при мозговых заболеваниях. При нарушениях нормального состояния мозга в правом полушарии соответственно слепнут правые половины обеих сетчаток, и больной не видит ничего, что находится слева от фиксируемой им точки. При

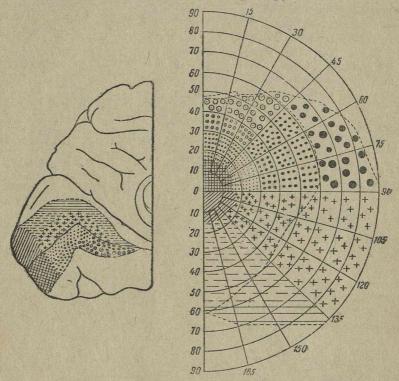


Рис. 15. Проекция поля зрения на мозговую кору (по Хольмсу).

повреждении левого полушария слепота захватывает, наоборот, правую половину поля зрения. На рис. 14 дана схематическая картина расположения зрительных путей и центров, и справа показано подробнее, какие выпадения в поле зрения наступают при повреждениях зрительных путей и центров в том или ином месте. Место повреждения обозначено чертой и буквой, слепое место в поле зрения заштриховано.

Наблюдения над рядом случаев повреждений мозга и сопоставление этих повреждений со связанными с ними определенными нарушениями в поле зрения позволили установить более точную связымежду теми или иными местами сетчатки, с одной стороны, и различными участками мозговой коры — с другой. Явилась возможность наметить, так сказать, проекцию сетчатки на мозг. Картина такого соотношения, установленная Хольмсом, приводится нами на рис. 15.

Справа показана правая половина поля зрения, разбитая на отдельные участки, слева — задняя часть соответствующего ей левого полушария с областями fissurae calcarinae. На рисунке видно, что верхняя половина поля зрения (следовательно, нижняя половина сетчатки) проецируется на места коры, расположенные в нижней губе «борозды пгичьей шпоры», нижняя же половина поля зрения (следовательно, верхняя половина сетчатки) — на места, находящиеся в верхней губе ее. При этом более центральные места сетчатки с желтым пятном локализуются в более задних затылочных частях зрительной области мозга, чем места периферические.

## § 4. Диоптрика. Построение изображений на сетчатке

Подобно тому как в фотографическом аппарате получается изображение на светочувствительной пластинке, изображения рассмат-

риваемых глазом предметов получаются на сетчатке. Эти изображения, получаемые на сетчатке глаза, можно непосредственно видеть, если соответствующим образом отпрепарировать глаз недавно убитого животного, осторожно удалив с задней стороны глазного яблока все вплоть до сетчатки. Фотографии таких изображений, получающихся на сетчатке от находящихся перед глазом предметов, сделанные Хидано, приведены на рис. 16.

Для уяснения же того, как получаются в глазе подобные изображения, нам надо ближе ознакомиться с диоптрическим, преломляющим аппаратом глаза.

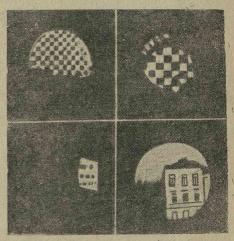


Рис. 16. Фотография изображений, получающихся на сетчатке (по Хидано).

Для выяснения того, как строится изображение на сетчатке глаза, начнем с рассмотрения самого простейшего случая, а именно вспомним,как строится изображение при наличии всего одной сферической преломляющей поверхности, разделяющей две среды, имеющие различные показатели преломления. Допустим, что лучи, падающие на преломляющую поверхность, падают на нее под малым углом и вблизи оптической оси ее. Такие лучи носят название параксиальных. Подобные ограничительные условия соответствуют весьма частым реальным случаям работы нашего глаза, хотя и не исчерпывают, конечно, всех этих случаев. Допустим (рис. 17), что А есть точка предмета, стоящего перед преломляющей поверхностью ss, разделяющей две среды с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ .

Тогда, как известно из элементарной геометрической оптики, луч AC, идущий параллельно оптической оси XZ, после преломления пройдет через точку второго фокуса  $F_2$ . Луч же AB, идущий из B через

точку первого фокуса F, после преломления пройдет параллельно оптической оси. Известен также ход луча AE, перпендикулярного к преломляющей поверхности; этот луч останется непреломленным и пройдет через центр кривизны преломляющей поверхности — через точку R. В точке B за преломляющей поверхностью все эти лучи, иду-

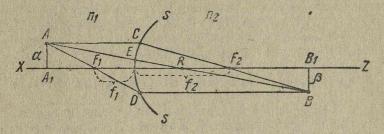


Рис. 17. Построение изображения при наличии одной преломляющей поверхности.

щие от точки объекта A, пересекутся и дадут, таким образом, действительное обратное изображение его. Для нахождения этого изображения нам, очевидно, надо знать или фокусные расстояния преломляющей поверхности, или одно из фокусных расстояний и радиус кривизны.

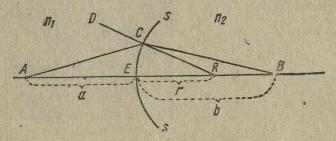


Рис. 18. Преломление света на границе двух сред.

Эти величины можно вычислить, пользуясь основным уравнением сферической преломляющей поверхности, по которому

$$\frac{n_1}{a} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{r},$$

где  $n_1$  и  $n_2$  — показагели преломления первой и второй сред, разделяемых преломляющей поверхностью, r — радиус кривизны ее, a и b — соответственно расстояния предмета и изображения от вершины преломляющей поверхности.

Вывод этой основной формулы следующий. Положим, что сферическая поверхность s Es разделяет среды с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  (рис. 18). Допустим далее, что луч, идущий из точки A, лежащей на расстоянии a от преломляющей поверхности, преломляясь в точке C, дает изображение в точке B, лежащей на расстоянии b от преломляющей поверхности.

Линия DR перпендикулярна к преломляющей поверхности. Тогда угол ACD есть угол падения и угол BCR есть угол преломления луча AC. Если так, то

 $\frac{\sin \angle ACD}{\sin \angle BCR} = \frac{n_2}{n_1}.$ 

Из рассмотрения *ACR* можно написать, что

 $\frac{\sin \angle ACR}{\sin \angle CAR} = \frac{AR}{CR}$ 

и из рассмотрения *∆* ВСR,

 $\frac{\sin \perp BCR}{\sin \perp CBR} = \frac{RB}{CR}.$ 

Деля эти равенства одно на другое, получаем

$$\frac{\sin \angle ACR \cdot \sin \angle CBR}{\sin \angle CAR \cdot \sin \angle BCR} = \frac{AR}{RB}.$$

Поскольку  $\sin \bot ACR = \sin \bot ACD$  и из рассмотрения  $\triangle ACB$  можно видеть, что

 $\frac{\sin \bot CBR}{\sin \bot CAR} = \frac{AC}{CB},$ 

вышеприведенное равенство дает

$$\frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{AC}{CB} = \frac{AR}{RB}.$$

Согласно нашему допущению, угол падения луча на преломляющую поверхность мал, и поэтому можно считать, уто AC = AE = a и CB = EB = b. Тогда, очевидно, можно написать:

$$\frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{a}{b} = \frac{a+r}{b-r} \cdot$$

Освобождаясь от знаменателя в этом уравнении и деля затем все члены на a, b, r, мы и получаем окончательную формулу:

$$\frac{n_1}{a} + \frac{n_2}{b} = \frac{n_2 - n_1}{r} {1}$$

Считая а равным бесконечности, мы находим

$$b=f_2=\frac{n_2r}{n_2-n_1}$$

Считая же в равным бесконечности, мы определяем

$$a=f_1=\frac{n_1r}{n_1-n_2},$$

откуда следует, что

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2}{n_1},\tag{II}$$

а также и то, что

$$\frac{f_1}{a} + \frac{f_2}{b} = 1. \tag{III}$$

Из рис. 17 легко, далее, видеть, что отношение величины изображения  $\beta$  к величине предмета  $\alpha$  определяется формулой увеличения:

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{b-r}{a+r}$$

$$\frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{b}{a}$$
 (IV)

Обозначая же на предыдущем рис. 17 расстояние  $A_1\,F_1$  через  $\ell_1$  и расстояние  $F_2\,B_1$  через  $\ell_2$ , мы из подобия треугольников получим, что

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_1}{l_1} = \frac{l_2}{f_2}$$

откуда прямо следует формула Ньютона

$$l_1 \cdot l_2 = f_1 \cdot f_2 \tag{V}^1$$

Вычисление по всем этим формулам осложняется, однако, когда мы имеем дело с оптической системой, состоящей не из одной, а из двух и более сферических преломляющих поверхностей.

Здесь точка вершины преломляющей поверхности, от которой мы отсчитывали в вышеприведенных формулах фокусные расстояния и точка центра кривизны преломляющей поверхности, которая определяла для нас радиус кривизны, заменяются уже другими точками.

Эти другие точки суть две так называемые г л а в н ы е точки и две так называемые у з л о в ы е точки оптической системы. Фокусные расстояния  $f_1$  и  $f_2$  в подобных более сложных оптических системах и приходится отсчитывать от этих, лежащих на оптической оси, первой и второй главных точек. Эти точки суть точки пересечения с оптической осыо перпендикулярных к ней так называемых главных плоскостей данной оптической системы. Под главными же плоскостями понимаются плоскости, образуемые сопряженными точками, лежащими в одну и ту же сторону и на одном и том же расстоянии от оптической оси. Объект, отображающийся в первой главной плоскости, вполне совместим при наложении с изображением, возникающим во второй главной плоскости. Таким образом, главные плоскости оптической системы могут быть определены как сопряженные плоскости, для которых поперечное увеличение, так называемое отношение величины изображения к величине предмета, равняется +1.

Для лучшего уяснения того, что такое главные плоскости и главные точки оптической системы, рассмотрим следующий случай. Имеется толстая двояковыпуклая линза, т. е. оптическая система, состоящая из двух преломляющих поверхностей (рис. 19). Допустим, что на нее падает слева из точки l луч, идущий параллельно оптической оси OX. Очевидно, что после преломления такой луч должен пройти через  $F_2$  — второй фокус линзы — по направлению  $c_1F_2$ . Продолжим мысленно луч, идущий из l по направлению, параллельному оптической оси, дальше и представим себе линию  $ll_1$ . Представим далее направление луча  $c_1F_2$  продолженным назад до пересечения с направлением  $ll_1$ . Пусть местом такого пересечения будет точка  $ll_2$ . Выберем теперь второй луч, который падал бы на нашу линзу слева из точки ее первого фокуса  $ll_1$  под таким углом, чтобы после преломления направление

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Во всех вышеприводимых формулах следует при окончательном подсчете соблюдать следующее правило о знаках. Все расстояния, отсчитываемые от преломляющей поверхности влево, считаются отрицательными, все же расстояния, отсчитываемые от преломляющей поверхности вправо, — положительными.

его за линзой совпадало бы с направлением  $h_2l_1$ . Допустим, что таким лучом будет  $F_1c$ . Продолжив мысленно направление этого луча  $F_1c$  до пересечения с линией  $ll_1$ , мы определим точку этого пересечения  $h_1$ . Точки  $h_1$  и  $h_2$  являются сопряженными и лежат, как можно видеть, на одинаковом расстоянии и в одну и ту же сторону от оптической оси. В точке  $h_1$  сходятся лучи, падающие на оптическую систему, в точке  $h_2$  сходятся лучи, выходящие из оптической системы. Поэтому точку  $h_2$  можно рассматривать как изображение точки  $h_1$ . Плоскости, проходящие через подобные точки  $h_1$  и  $h_2$  и перпендикулярные к оптической оси, и будут главными плоскостями; все точки первой главной плоскости имеют сопряженные точки во второй главной плоскости. Пересечение главных плоскостей с оптической осью и дает главные точки  $H_1$  и  $H_2$ . Знание местоположения главных точек позволяет строить получающиеся посредством оптических систем изображения,

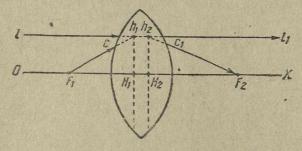


Рис. 19. Главные плоскости линзы.

жотя бы мы совсем и незнали истинного хода лучей внутри системы между этими главными плоскостями.

Луч, параллельный оптической оси, падающий на одну из точек первой главной плоскости, в дальнейшем после преломления выходит из данной оптической системы так, как еслибы преломление происходило у второй главной плоскости; лучже, идущий в первой среде через передний фокус системы, становится в конце концов параллельным оптической оси так, как еслибы его преломление соверши-

лось у первой главной плоскости.

Кроме главных точек и восстановленных через них главных плоскостей, оптическая система, состоящая из двух и более сферических преломляющих поверхностей, центрированных друг относительно друга, имеет, как уже упомянуто выше, еще две особые точки, существенные для построения изображения, — так называемые у з л о в ы е т о ч к и. Это такие сопряженные точки, для которых угол наклона лучей, идущих от предмета, и лучей, выходящих из оптической системы, остается тем же самым. Таким образом, луч. идущий в первой среде по направлению к первой узловой точке  $K_1$ , после преломления в оптической системе оказывается смещенным параллельно своему первоначальному направлению и выходящим из второй узловой точки  $K_2$ . Если среда спереди и сзади оптической системы имеет одинаковый показатель преломления, то узловые точки совпадают с ее главными

точками. Построение изображения при помощи главных и узловых

точек показано на рис. 20.

Найти главные плоскости толстой линзы можно, например, следующим способом. Сопряженные точки главных плоскостей можно рассматривать как изображения предмета, находящегося между обеими преломляющими поверхностями линзы и видимого с обеих сторон ее.

Такой мыслимый предмет должен находиться в плоскости оптического центра линзы. Положение же этой плоскости по отношению

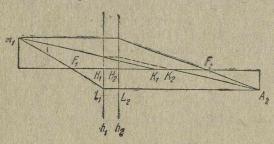


Рис. 20. Главные и узловые точки при построении изображения.

к вершинам передней и задней преломляющей поверхности (расстояния а и b) определяется формулой:

$$\frac{a}{b} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{f_2}{\varphi_1} = \frac{f_1}{\varphi_2},$$

где  $r_1$  и  $r_2$ —радиусы кривизны передней и задней поверхности;  $f_1$  и  $f_2$ —главные фокусные расстояния передней по-

верхности,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — главные фокусные расстояния задней поверхности. Если нам известна толщина линзы, мы находим таким образом без труда положение нашего мысленного предмета, находящегося в плос-

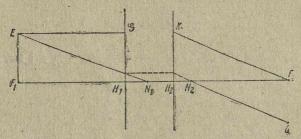


Рис. 21. Узловые точки линзы.

кости оптического центра между двумя преломляющими поверхностями. Зная же, кроме того, и главные фокусные расстояния этих преломляющих поверхностей, мы можем уже вычислить и место изображений, соответствующих той или другой главной плоскости, пользуясь формулой Ньютона (см. выше формулу V), связывающей главные фокусные расстояния с удаленностью предмета от точки переднего главного фокуса и с удаленностью изображения от точки другого главного фокуса. Положение узловых точек в толстой линзе может быть определено следующим путем. Допустим, что  $H_1G$  и  $H_2K$  (рис. 21) суть первая и вторая главные плоскости толстой линзы;  $F_1$  и  $F_2$  являются ее первым и вторым главными фокусами. Допустим, что  $N_1$  есть первая узловая точка. К ней направляется луч  $EN_1$ , который по условию узловых точек должен после преломления итти параллельно своему первоначальному направлению. Положим,

что преломленный луч пойдет, таким образом по направлению  $N_2Q$ . Точка  $N_2$  и будет второй узловой точкой линзы. Построение показывает, что расстояние между узловыми точками  $N_1N_2$  равно расстоянию между главными точками  $H_1H_2$ . Восстановим из  $F_1$  перпендикуляр допересечения с лучом  $EN_1$  и проведем из точки E луч EG, параллельный оптической оси. Преломившись, луч EG пройдет через  $F_2$ . Луч  $KF_2$  будет, кроме того, параллелен  $N_2Q$ , поскольку E лежит в плоскости главного фокуса, а следовательно,  $KF_2$  будет параллелен и  $EN_1$ . Поэтому треугольники  $EN_1F_1$  и  $KF_2H_2$  равны, и мы можем написать  $H_2F_2 = H_1F_1 + H_1N_1$  откуда,  $H_1N_1$ , т. е. удаленность первой узловой точки от первой главной точки

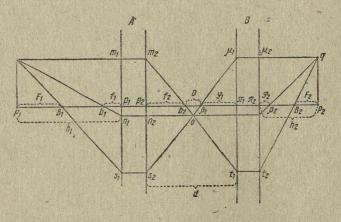


Рис. 22. Построение изображен при комбинации двух оптических систем.

равняется  $f_1$ — $f_2$ , причем  $f_1$  и  $f_2$  обозначают главные фокусные расстояния линзы. Из равенства тех же треугольников следует, что удаленность первой узловой точки от точки первого фокуса равна второму фокусному расстоянию ( $F_1N_1=f_2$ ) и удаленность второй узловой точки от точки второго фокуса равняется первому фокусному расстоянию ( $N_2F_2=f_1$ ). Если показатели преломления среды, находящейся перед линзой, и среды, находящейся сзади линзы, одинаковы, то  $f_1=f_2$  и  $H_1N_1=0$ . Иными словами, в случае одинаковости показателей преломления первой и последней среды точки узловые совпадают с главными точками.

Глаз, как мы видели, представляет собой комбинацию целого ряда преломляющих поверхностей (роговицы, хрусталика, хрусталикового ядра). Следует поэтому посмотреть, как строится изображение в таком, еще более сложном, случае.

Рассмотрим построение изображения при комбинации двух центрированных оптических систем, например, двух собирательных линз A и B (рис. 22).  $m_1s_1$ ,  $m_2s_2$ ,  $\mu_1t_1$  и  $\mu_2t_2$  обозначают главные плоскости линз A и B; через  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $\phi_1$  и  $\phi_2$  обозначены соответственно их передние и задние фокусные расстояния.

Как мы уже видели выше, главные плоскости характеризуются тем, что в них лежат сопряженные точки, направленные в одну и ту же сторону и на одно и то же расстояние от оптической оси. Положим, что на рис. 22 такими сопряженными точками комбинированной системы будут точки p и q. В таком случае расстояниями главных плоскостей комбинированной системы от первой главной плоскости первой системы и от второй главной плоскости второй системы будут, очевидно, расстояния  $h_1$  и  $h_2$ . Величина  $h_1$  может быть определена следующим образом. Из  $\Delta pm_1n_1$  и  $\Delta b_1p_1n_1$  следует, что

$$\frac{m_1p}{p_1b} = \frac{m_1n_1}{p_1n_1}, \text{ т. е. } \frac{h_1}{f_1} = \frac{m_1n_1}{p_1n_1} = \frac{m_2n_2}{p_2n_2} \text{ и } h_1 = f_1 \cdot \frac{m_2n_2}{p_2n_2}.$$
 Но 
$$\frac{m_2n_2}{p_3n_2} = \frac{m_3O}{b_2O}$$
 и из 
$$\Delta m_2 \mu_1O \text{ и } \Delta b_2 \beta_1O$$
 
$$\frac{m_2O}{b_2O} = \frac{m_2\mu_1}{b_2\beta_1}.$$

Так как  $m_2\mu_1=d$  и  $b_2\beta_1=D$ , то мы имеем, следовательно, что  $h_1=f_1$  d и так как  $D=p_2\pi_1-\beta_1\pi_2-p_2b_2$ , получаем окончательно, что h ,  $\pi$  е расстояние неррой гларной иноскости неорой систем.

тельно, что  $h_1$ , т. е. расстояние первой главной плоскости первой системы от первой главной плоскости комбинированной системы, равно

$$h_1 = \frac{df_1}{d - \varphi_1 - f_2} \tag{VI}$$

Аналогичным образом вычисляется, что расстояние второй главной илоскости комбинированной системы от второй главной плоскости второй системы

$$h_2 = \frac{d\Psi_2}{d - \Psi_1 - f_2}.\tag{VII}$$

Фокусными точками комбинированной системы, изображенной на рис. 22, являются, очевидно, точки  $B_1$  и  $B_2$ , так как идущие через них лучи после преломления принимают направление, параллельное оптической оси. Их расстояние  $F_1$  и  $F_2$  от соответствующих главных млоскостей может быть найдено следующим образом.

Из  $\Delta P_1 p B_1$  и  $\Delta p m_1 s_1$  следует

$$\begin{split} \frac{P_1B_1}{pm_1} &= \frac{P_1p}{m_1s_1} = \frac{\mu_1\pi_1}{m_2s_2} \\ \Delta s_2m_2 &\; \mu_1 \;\; \text{M} \;\; \Delta \; \beta_1 \; \mu_1 \; \pi_1, \\ \frac{\mu_1\pi_1}{m_2s_2} &= \frac{\beta_1\pi_1}{m_2 \; \mu_1} = \frac{\varphi_1}{d}. \end{split}$$

и из

Считая здесь первое главное фокусное расстояние положительным, если оно лежит влево от первой главной плоскости, а в торое главное фокусное расстояние положительным, если оно лежит вправо от второй главной плоскости, мы получаем, следовательно,

$$-F_1 = \frac{h_1 \varphi_1}{d}.$$

Подставляя значение  $h_1$  из уравнения (VI), имеем

$$F_{1} = \frac{f_{1} \varphi_{1}}{d - \varphi_{1} - f_{2}}.$$

$$F_{1} = \frac{\varphi_{1} f_{1}}{\varphi_{1} + f_{2} - d}.$$
(VIII)

Аналогично определяется

$$F_2 = \frac{\varphi_2 f_2}{\varphi_1 + f_2 - d}.$$
 (IX)

Положение узловых точек легко находится на основании зависимости, которую мы уже могли видеть выше при отыскании узловых

точек толстой линзы. Расстояние первой узловой точки от точки первого фокуса равно второму фокусному расстоянию и расстояние второй узловой точки от точки второго фокуса равно первому фокусному расстоянию. Если мы имеем комбинацию более чем двух центрированных оптических систем, то построить изображение, даваемое такой комбинированной системой, можно, пользуясь вышеприведенными формулами, последовательно прилагая их к сочетанию двух систем с третьей, трех с четвертой и т. д.

Значительное упрощение диоптрических вычислений было внесено в офталмологию так называемым диоптрий ным исчислени ем, разработанным шведским офталмологом Гульстрандом. В основе этого исчисления лежит понятие конвергенции (схо-



Гульстранд (1852-1930).

димости) пучка лучей. Положим, через некоторую плоскотсь  $LL_1$  проходит пучок лучей, пересекающихся в точке  $\beta$ , удаленность которой от плоскости  $LL_1=b$  (рис. 24). Величина, обратная этому

расстоянию, т. е.  $\frac{1}{b}$  (= B), будет количественно характеризовать ве-

личину конвергенции. Чем расстояние b больше, тем конвергенция меньше и обратно. Если лучи сходятся вправо от той плоскости, по отношению к которой определяется конвергенция, то, согласно Гульстранду, такую конвергенцию следует считать положительной. Если же лучи сходятся влево от этой плоскости (например, в точке  $\alpha$  рисунка), конвергенция будет, согласно Гульстранду, иметь отрицательный знак  $\left(=-\frac{1}{a}=-A\right)$ . Условно принимается в связи с

этим, что свет распространяется всегда слева направо. Конвергенция,

соответствующая главному фокусному расстоянию (f) линзы, характеризует ее преломляющую силу. Если главное фокусное расстояние измерено в воздухе и выражено в метрах, то соответствующая преломляющая сила линзы выразится в диоптриях. Диоптрия (D) есть единица преломляющей силы, равная преломляющей силе линзы, главное фокусное расстояние которой в воздухе равно 1 м. Преломляющая сила линзы с главным фокусным расстоянием в воздухе, равным 50 см, равна, следовательно, 2 диоптриям, линзы с фокусным расстоянием в 10 см—10 диоптриям и т. д. Мы знаем, однако, что главное фокусное расстояние зависит от показателя преломления той среды, в которой это расстояние измеряется. Поэтому, чтобы величины преломляющей силы, вычисленные как величины, обратные главным фокусным рас-

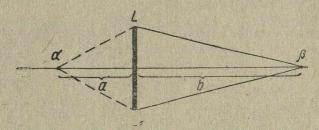


Рис. 24. Конвергенция лучей.

стояниям, найденные в различных средах, были бы между собой соизмеримы, необходимо приводить (редуцировать) все эти фокусные расстояния к одной и той же среде, например, к воздуху, показатель преломления коего равен единице. Очевидно, что такое же приведение к величинам, имеющимся в воздухе, необходимо делать для того, чтобы были между собой сравнимы и всякие другие величины конвергенции, найденные для разных сред, а не только величины конвергенции, соответствующие главному фокусному расстоянию. Равным образом для соизмеримости следует приводить к свойствам одной и той же среды (воздуха) и расстояния, разделяющие отдельные преломляющие поверхности сложной оптической системы. Подобное приведение осуществляется путем деления измеренного расстояния на показатель преломления той среды, в которой это расстояние измерено. Величины же, обратные приведенным (редуцированным) расстояниям сходимости лучей, будут величинами редуцированной конвергенции. Если расстояние выражается в метрах, редуцированная конвергенция даст величину сходимости в диоптриях. Таким образом, редуцированная конвергенция лучей, сходящихся на расстоянии 1 мв воздухе (n=1). будет равна  $\frac{1}{1/4} = 1$  диоптрии; редуцированная же конвергенция лучей, сходящихся на расстоянии 1 м в воде (n = 1,33), будет равна  $--=\frac{1,33}{1}=1,33$  диоптрии. Пользование понятием редуциро-

ванной конвергенции позволило Гульстранду значительно упростить 28

расчеты, касающиеся построения изображений в оптических системах. Так, основная формула преломляющей поверхности (см. выше формулу I) при соблюдении знаков, принятых Гульстрандом, напишется, как

$$\frac{n_2}{b} = \frac{n_1}{a} + \frac{n_2 - n_1}{r}$$
,

что в понятиях диоптрийного исчисления выразится, как

$$B=A+D,$$
 (X)

где B есть редуцированная конвергенция преломленных лучей, A есть редуцированная конвергенция лучей падающих и D есть преломляющая сила данной преломляющей поверхности (или тонкой линзы), поскольку редуцированное главное фокусное расстояние

равняется  $\frac{r}{n_2-n_1}$ . Устанавливаемая здесь формулой Гульстранда закономерность гласит, что сходимость (конвергенция) преломленных лучей равна сходимости лучей, падающих на преломляющую систему плюс преломляющей преломляющей системы ее преломляющая сила будет выражаться величиной отрицательной и даст в формуле знак минус вместо плюс. Выше (формула IV) мы видели, что отношение величины изображения  $\beta$  к величине объекта  $\alpha$  равняется  $\frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{b}{a}$ , где  $n_1$  и  $n_2$ —показатели преломления, а a и b— соответственно расстояния от вершины преломляющей поверхности (или центра тонкой линзы) до объекта и до изображения. По диоптрийному исчислению эта формула увеличения выразится, как

$$K = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{-A}{B},\tag{XI}$$

где A и B есть редуцированные конвергенции лучей, падающих на преломляющую систему, и лучей преломленных. Поскольку величина a отсчитывается от преломляющей поверхности влево (т. е. против направления падающего света), величина A имеет знак минус. Отри-

цательное значение отношения  $\frac{A}{B}$  обозначает, что изображение яв-

ляется перевернутым (обратным). Весьма упрощаются при применении диоптрийного исчисления и формулы, касающиеся построения оптического изображения в сложных комбинированных системах. Вспомним приведенные выше формулы для фокусных расстояний и для расстояний главных точек оптической системы (формулы VI—IX), комбинированной из двух.

Формулы для фокусных расстояний приводят по диоптрийному исчислению к формуле преломляющей силы комбинированной си-

стемы:

$$D_{12} = D_1 + D_2 - \delta D_1 D_2, \tag{XII}$$

где  $D_{12}$  обозначает преломляющую силу системы, комбинированной из двух 1, D, и D, обозначают преломляющие силы соответственно первой и второй из этих комбинируемых систем и 8 есть редуцированное расстояние между второй главной точкой первой системы и первой главной точкой второй системы.

Преломляющая сила сложной оптической системы, состоящей из двух систем, равняется, таким образом, сумме преломляющих сил обеих комбинируемых систем минус произведение этих преломляющих сил, умноженное на редуцированное расстояние между главными плоскостями первой и второй системы.

Формула  $D_{12} \! = \! D_1 \! + \! D_2 \! - \! \delta \, D_1 \, D_2 \,$  может быть выведена следующим образом .

Если

$$F_1 = \frac{\varphi_1 f_1}{\varphi_1 + f_2 - d}$$

или соответственно

$$F_2 = \frac{\varphi_2 f_2}{\varphi_1 + f_2 - d}$$

TO

$$\frac{1}{F_1} = \frac{\varphi_1 + f_2 - d}{\varphi_1 f_1},$$

что можно написать, как

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{f_1} + \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{1}{\varphi_1} - d \cdot \frac{1}{f_1} \cdot \frac{1}{\varphi_1}.$$

По формуле (II)

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Принимая это во внимание, помножаем все члены вышеприведенного уравнения на  $n_1$ , а числитель и знаменатель последнего члена равенства, кроме того, помножаем на  $n_2$ . В этом случае уравнение примет вид:

$$\frac{n_1}{F_1} = \frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{\varphi_1} - \frac{d}{n_2} \cdot \frac{n_1}{f_1} \cdot \frac{n_2}{\varphi_1},$$

что прямо и дает

$$D_{12} = D_1 + D_2 - \delta D_1 D_2.$$

Аналогичным образом формула может быть выведена и для  $\frac{1}{F}$ . Показатели преломления сред, находящихся перед первой из комбинируемых оптических систем, между системами и после второй системы обозначаются соответственно, как  $n_1$ ,  $n_2$  и  $n_3$ .

Весьма простые формулы дает диоптрийное исчисление и для нахождения главных точек комбинированной системы, состоящей из сочетания двух оптических систем. Так, редуцированное расстояние первой главной точки такой комбинированной системы от первой главной плоскости первой системы

$$\frac{h_1}{n_1} = H'_{12} = \frac{\delta D_2}{D_{12}}.$$
 (XIII)

<sup>1</sup> Индексы снизу: 12, 13, 14 и т. д. в этой и в дальнейших формулах обозначают, что величина относится к системе, комбинированной из 2, 3, 4 и т. д. преломляющих поверхностей.

Редуцированное же расстояние второй главной точки комбинированной системы от второй главной плоскости второй системы

$$H''_{12} = -\frac{\delta D_1}{D_{12}}.$$
 (XIV)

Выводится формула (XIII) следующим образом:

$$\frac{n_1}{h_1} = n_1 \frac{(d - \varphi_1 - f_2)}{df_1} = \frac{n_1 d}{df_1} - \frac{n_1 \varphi_1}{df_1} - \frac{n_1 f_3}{df_1}.$$

Помножаем числителя и знаменателя второго и третьего членов правой части равенства на  $n_2$ . Тогда получаем:

Ho 
$$\frac{n_1}{h_1} = \frac{n_1 d}{df_1} - \frac{n_2}{d} \cdot \frac{\varphi_1}{n_2} \cdot \frac{n_1}{f_1} - \frac{n_2}{d} \cdot \frac{f_2}{f_1} \cdot \frac{n_1}{n_3} = D_1 - \frac{1}{\delta} \cdot \frac{1}{D_3} \cdot D_1 - \frac{1}{\delta} \cdot \frac{1}{\delta$$

поскольку знаки пля величины  $h_1$ , по Гельмгольцу, и соответственно для величины  $H'_{12}$  по Гульстранду, различны 1.

Следовательно,  $\frac{1}{H'_{12}} = -D_1 + \frac{1}{\delta} \cdot \frac{1}{D_2} \cdot D_1 + \frac{1}{\delta} = -\frac{\delta D_1 D_2 + D_1 + D_2}{\delta D_2} = \frac{D_{12}}{\delta D_2} \quad \text{и } H'_{12} = \frac{\delta D_2}{D_{12}}.$ 

Аналогичным же образом выводится и формула для  $H''_{12}$ .

Если комбинированная система состоит более чем из двух оптических систем, то по диоптрийному исчислению к ней можно прилагать формулы, совершенно аналогичные тем, что были нами только что приведены для сложной оптической системы, состоящей из двух оптических систем.

Предположим, мы имеем сочетание четырех преломляющих поверхностей  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  и  $r_4$ , разделяющих среды с показателями преломления  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  и  $n_4$ . При этом  $n_1$  соответствует среде, лежащей перед поверхностью  $r_1$ ,  $n_2$  — среде, лежащей между  $r_1$  и  $r_2$  и т. д. Через  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_3$  обозначим расстояния по оптической оси соответственно между поверхностями  $r_1$  и  $r_2$ ,  $r_2$  и  $r_3$ ,  $r_3$  и  $r_4$ . Через  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  и  $\delta_3$  обозначаем те же расстояния, редуцированные к воздуху. Редуцированным расстоянием, соответствующим отстоянию второй главной точки системы, комбинированной из двух (например) поверхностей, от следующей третьей (в данном случае) поверхности, будет тогда, по Гульстранду,  $\delta_{12} = \delta_2 - {H''}_{12}$ . В общей формуле (для комбинации m поверхностей) это уравнение дает  $\delta_{1m} = \delta_m - {H''}_{1m}$ . Пользуясь подобными величинами редуцированных расстояний

Пользуясь подобными величинами редуцированных расстояний между второй главной плоскостью комбинированной системы и следующей преломляющей поверхностью, мы можем переходить от поверхности к поверхности, вычисляя преломляющую силу любой комбинируемой подобным образом сложной оптической системы. Так, для системы, состоящей, например, из трех преломляющих поверхностей, мы будем иметь:

$$D_{13} = D_{12} + D_3 - \delta_{12} D_{12} D_3$$

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> У Гульстранда величина удаленности главной точки комбинированной системы отрицательна, поскольку эта точка лежит влево от первой главной точки первой системы; у Гельмгольца поэтому же она считается положительной.

$$H'_{13} = \frac{\delta_{12}D_3}{D_{13}}$$
 и  $H''_{13} = -\frac{\delta_{12}D_{12}}{D_{13}}$ .

В общей формуле это выражается, как

$$\begin{split} &D_{1m} \! = \! D_{1\left(m-1\right)} \! + \! D_{m} \! - \! \delta_{1\left(m-1\right)} \cdot D_{1\left(m-1\right)} \cdot D_{m}, \\ &H'_{1m} \! = \! \frac{\delta_{1}\left(m-1\right)D_{1m}}{D_{1m}} \;\; \mathsf{M} \;\; H_{1}''_{m} \! = \! - \! \frac{\delta_{1}\left(m-1\right)D_{1}\left(m-1\right)}{D_{1}m}. \end{split}$$

Все приведенные выше формулы диоптрийного исчисления могут прилагаться не только к преломляющим свет поверхностям, но и к поверхностям, отражающим свет. В последнем случае, согласно Гульстранду, надо лишь соблюдать следующие правила относительно знаков. Все расстояния и радиусы, измеряемые в направлении, обратном падающему свету (идущему, как условлено, слева направо), считаются отрицательными, равно как отрицательными считаются и показатели преломления тех сред, в которых луч идет после отражения<sup>1</sup>. Гульстрандом показана также приложимость формул диоптрийного исчисления не только к поверхностям сферическим, но и к поверхностям астигматическим <sup>2</sup>, а равным образом их пригодность и для ряда случаев косого падения светового пучка на преломляющую поверхность.

Для того чтобы подойти посредством всех приведенных выше формул к построению оптических изображений специально в человеческом глазе, необходимо, очевидно, знать радиусы кривизны преломляющих поверхностей глаза, их взаимную удаленность, а также величины показателей преломления сред, лежащих между преломляющими

поверхностями.

### § 5. Определение оптических характеристик глазных сред

Методы определения радиусов кривизны преломляющих поверхностей глаза основываются на возможности судить о кривизне поверхности по величине даваемого ею отраженного изображения того или иного находящегося перед ней предмета.

Действительно, предположим (рис. 25), что SS есть некоторая сферическая отражающая поверхность, отражающая падающий на нее свет, идущий от предмета AB, причем O есть центр кривизны ее. Тогда радиус, величину которого мы ищем, и будет ON. Идущий от предмета луч BC, как параллельный оптической оси, отразившись в точке C, пойдет по направлению PF; луч BO, как перпендикулярный к поверхности, отразится по тому же направлению. Луч BM, как идущий к фокусу F, отразившись от зеркала, пойдет параллельно оптической оси AO. Глаз, находящийся перед нашей отражающей поверхностью, увидит в ней точку B предмета как раз на пересечении лучей PF, BO и DM, T. е. в точке B'. Аналогичным образом весь предмет AB даст прямое уменьшенное мнимое изображение в A'B'. Тр еугольники ABF и NMF подобны (при этом вместо дуги NM мы имеем в виду перпендикуляр, восстановленный из точки N и равный A'B').

<sup>2</sup> Т. е. поверхностям, имеющим не для всех меридианов одинаковый радиус кривизны.

¹ Таким образом, радиус кривизны выпуклого зеркала будет положительным, радиус же кривизны зеркала вогнутого будет отрицательным.

Тогда можно написать, что  $\frac{AB}{A'B'} = \frac{A}{NF}$ . Главное же фокусное расстояние

NF, как известно, равно половине радиуса кривизны, т. е.  $\frac{ON}{2}$ . Следовательно,

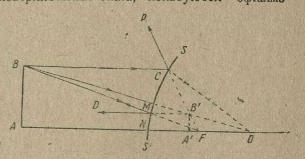
 $\frac{AB}{A'B'}=\frac{2AF}{ON}$  , или  $\frac{O}{A}=\frac{2l}{r}$  ,где O — величина объекта, A — величина отражен-

 $^{
m H}$ ого изображения, I — расстояние объекта от фокуса данной отражающей поверхности и r — искомый радиус кривизны. Если SF мало сравнительно с AN. можно считать / равным AN.

Определяя же из вышеприведенного равенства г, мы получаем формулу  $r=rac{2\ell\cdot A}{\ell}$ , позволяющую вычислить радиус кривизны отражающей поверхности.

Для определения величины изображений, отражаемых различными преломляющими поверхностями глаза, пользуются офталмо-

метром — особым прибором, изобретенным Гельмгольцем и позже усовершенствованным и видоизмененным Жавалем, Шьетцом и др. Измерение посредством офталмометра Гельмгольца сводится к следующему. Если поставить перед глазом два небольших светлых объекта a и b,  $_{\rm Puc.}$  25. Построение изображения удаленных друг от друга на некоторое расстоя-



зеркале.

ние, то, смотря в глаз, можно увидеть в нем несколько отраженных изображений этих объектов. Наиболее ясные изображения даются отражением от передней стороны роговой оболочки (их-то только мы сейчас и будем иметь в виду). Нам надо определить величину, которую имеет в глазе отражаемый роговицей образ а-ь. Это дало бы нам возможность по приведенным выше формулам легко подсчитать радиус кривизны роговицы г.

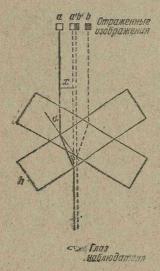
Офталмометр Гельмгольца представляет собой зрительную трубку, особенностью которой является то, что перед ее объективом помещены две плоско-параллельные стеклянные пластинки. Одна из пластинок закрывает верхнюю половину объектива, другая — нижнюю. Если пластинки перпендикулярны к лучам, идущим от рассматриваемых объектов, то видимое относительное положение этих последних не изменяется. Если же мы станем поворачивать пластинки так, что лучи от рассматриваемых объектов упадут на них под некоторым углом, т. е. поставим пластинки косо по отношению к лучам, идущим от предметов, то эти последние увидятся нами уже смещенными. Вращая обе пластинки в противоположные друг другу направления, т. е. перекрещивая их и изменяя их угол поворога, можно достичь того, что два раздельных объекта а и в при смотрении через пластинки покажутся нам накладывающимися (см. схему на рис. 26). Потребовавшийся для этого угол поворота пластинок может быть отсчитан по имеющейся в приборе шкале. Знание же этого угла позволяет вычислить и подлинное расстояние ab (рис. 26).

Для такого вычисления служит формула: расстояние между изображениями

 $\alpha$  и b на роговице =2 х  $=\frac{2h \cdot \sin (\alpha - \beta)}{2}$ , где h — толщина стеклянной плаcos B

стинки, а — угол падения луча от объекта на пластинку, а β — угол преломления этого луча в пластинке; последнюю величину легко найти, поскольку нам известен показатель преломления стекла пластинки.

Измерение подобным же путем величины образов, отражаемых другими преломляющими поверхностями глаза (задней поверхностью роговицы, передней и задней поверхностями хрусталика), значительно труднее, поскольку яркость получающихся здесь отраженных изображений весьма мала; кроме того, при подсчетах, в этом случае надо при-



Гельмгольца.

нимать во внимание еще преломление отраженных лучей в средах глаза, лежащих спереди.

Гульстранд пользовался для измерения кривизны различных мест роговицы

также фотографическим методом.

Определение показателей преломления различных сред глаза производится при помощи рефрактометров (Аббе и др.). Принцип устройства этих приборов состоит в том, что показатель преломления какойлибо среды может быть вычислен, если мы определим угол а, при котором наступает полное внутреннее отражение при падении света из стекла на эту среду.

тель преломления нашего стекла п и показатель преломления испытуемой среды  $n_{xx}$ , то, так как угол преломления в случае полного внутреннего отражения равен 90°, а его синус равен 1, мы Рис. 26. Схема офталмометра имеем простое уравнение:  $\sin \alpha = \frac{n_x}{n_x}$ , откуда и

Действительно, если угол падения а, показа-

определяем  $n_x$ .

Для нахождения, наконец, расстояний между различными преломляющими поверхностями глаза пользуются корнеальным микроскопом. Фокусирование его на ту или иную поверхность, требующее разной установки микроскопа, дает возможность вычислить удаленность одной поверхности от другой. Здесь применяют также особый стереофотографический аппарат, сличение его снимков позволяет определить искомые расстояния 1.

# § 6. Схематический глаз

Полученные подобными путями данные говорят о довольно значительных индивидуальных различиях между величинами, характеризующими преломляющий аппарат глаза у разных лиц, о сложности устройства этого аппарата, а равно и о ряде несовершенств его.

Исследованиями Гульстранда и др. было установлено, что кривизна передней поверхности роговицы, играющая очень важную роль в построении изображения в глазе, отнюдь не является одной и той

<sup>1</sup> О различных методах определения оптических констант глаза см. подробно в диссертации М. И. А в е р б а х а. К диоптрике глаз различных рефракций; М., 1900.

же во всех местах ее. В центральных частях кривизна больше, в периферических — меньше, причем это изменение в радиусе кривизны по разным меридианам идет неодинаково. Полученные Гульстрандом результаты приведены на рис. 27, где по абсциссе отложена преломляющая сила (в диоптриях), а по ординате — градусы периферичности соответствующего места роговицы, отсчитанные от зрительной оси. Кривая первая относится к горизонтальному меридиану, а кривая вторая—к вертикальному. Радиус кривизны остается постоянным, а поверхность роговицы, следовательно, является правильно сферической лишь на небольшом участке диаметром около 4 мм, на так называемой о пти ческой зоне. По отношению к зрительной линии (проходящей от фиксируемого предмета через узловые точки глаза к центральной ямке

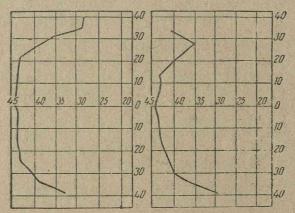


Рис. 27. Кривые, показывающие различие в кривизне различных мест роговицы (по Гульстранду).

сетчатки) эта оптическая зона не вполне центрирована, но расположена обычно несколько кнаружи и книзу.

Далее, измерения показали, что показатель преломления не является одним и тем же для разных частей хрусталика. Более наружные слои его преломляют менее, чем слои более центральные. При этом изменение показателя преломления по мере перехода от наружных частей хрусталика к внутренним и далее опять к наружным не следует какой-либо простой закономерности, но дает скачкообразные изменения на границе так называемого хрусталикового ядра. К тому же кривая изменения показателя преломления в разных слоях хру-

сталика меняется с возрастом человека.

Все эти обстоятельства чрезвычайно затрудняют диоптрические подсчеты. Давно уже поэтому возникла потребность в установлении упрощенной картины диоптрического аппарата глаза. Такую упрощенную картину и представляют собой создававшиеся рядом исследователей (Листингом, Гельмгольцем, Чернингом, Гульстрандом и др.) так называемые с хематический глаз представляет собой центрированную оптическую систему, даваемую гомогенными, преломляющими средами, показатели преломления которых, равно как и расстояния преломляющих поверхностей друг

3\*

от друга, соответствуют средним опытно найденным величинам. Наиболее совершенным, т. е. наиболее согласующимся с фактическими данными, является схематический глаз, предложенный Гульстрандом. Отличительными особенностями этого глаза является то, что внешние слои и ядро хрусталика учитываются в нем отдельно. Во-вторых, схематический глаз Гульстранда принимает в расчет явления сферической аберрации глаза. Величины, принимаемые Гульстрандом для его точного схематической глаза, приведены в таблице на стр. 37 и 38.

## § 7. Редуцированный глаз

Можно видеть, что главные точки схематического глаза, а следовательно, и его узловые точки лежат весьма близко друг к

другу.

В целях еще большего упрощения подсчетов ряд офталмологов (Листинг, Дондерс, Гульстранд, Вербицкий) выработали поэтому еще более упрощенную модель глаза, так называемый приведенный, редуцированном глазе обе главные точки и обе узловые точки заменяются всего одной. Вся оптическая система глаза заменяется эквивалентной системой, имеющей лишь одну преломляющую поверхность, разделяющую две среды: воздух и стекловидное тело. Принимаемые для редуцированного глаза разными авторами величины приведены в нижеследующей таблице.

	Схематиче- ский глаз по Гуль- странду	Редуцированные глаза			
		по Лис-	по Дон-	По Гуль- странду	по Вер- бицкому
Преломляющая сила в диоп-	58,64	65,93	66,67	58,48	58,82
Длина глаза в миллиме- трах	24,0	19,6	19,3	22,2	23,4
Радиус кривизны роговицы в миллиметрах	7,7	5,1	5,0	5,7	6,8
стекловидного тела	1,34	1,33	1,33	1,33	1,40
ности сетчатки в милли-метрах	10,5	8,6	8,4	5,7	10,2

Как можно видеть, редуцированный глаз Вербицкого лучше всего подходит к величинам точного схематического глаза. В случае аккомодации глаза на то или иное близкое расстояние, по Вербицкому, следует в его редуцированном глазе на каждую лишнюю диоптрию аккомодации брать показатель преломления увеличенным на 0,004, радиус же кривизны — уменьшенным на 0,04 мм по сравнению с данными в таблице величинами, верными для покоя аккомодации.

<sup>1</sup> Об аберрациях глаза см. ниже.

	Для покоя аккомодации <sup>1</sup>	Для макси- мальной акко- модации
Показатели преломления		
Роговица	1,376	1,376
Водянистая влага и стекловидное тело	1,336	1,336
Хрусталик	1,386	1,386
Эквивалентное ядро хрусталика	1,406	1,406
Расстояние (в миллиметрах от вер- шины роговицы)		
Передняя поверхность роговицы	0	0
Задняя » »	0,5	0,5
Передняя поверхность хрусталика	3,6	3,2
Расстояние (в миллиметрах от вер- шины роговицы)		
Передняя поверхность эквивалентного хруста-	4,146	3,8735
Задняя поверхность эквивалентного хруста-ликового ядра	6,565	6,5275
Задняя поверхность хрусталика	7,2	7,2
Радиусы кривизны (в миллиметрах)		
Передняя поверхность роговигы	7,7	7,7
Задняя » »	6,8	6,8
Передняя поверхность хрусталика	10	5,33
Передняя поверхность эквивалентного хрусталикового ядра	7,911	2,655
Задняя поверхность эквивалентного хрустали-кового ядра	<b>—5,7</b> 6	-2,655
Задняя поверхность хрусталика	-6	-5,33
Преломляющая сила (в диоптриях)		
Передняя поверхность роговицы	48,83	48,83
Задняя » »	-5,88	-5,88

<sup>1</sup> Об аккомодации см. в следующей главе.

	Для покоя аккомодации	Для макси- мальной акко- модации
Передняя поверхность хрусталика	5	9,375
Ядро хрусталика	5,985	14,94
Задняя поверхность хрусталика	8,33	9,375
Система роговицы		
Преломляющая сила	43,05	43,05
Местоположение первой главной точки	-0,0496	-0,0496
» второй » »	-0,0506	-0,0506
Переднее фокусное расстояние	-23,227	-23,227
Заднее » »	31,031	31,031
Система хрусталика		
Преломляющая сила	19,11	33,06
Местоположение первой главной точки	5,678	5,145
» второй » »	5,808	5,225
Фокусное расстояние	69,908	40,416
Полная система глаза		
Преломляющая сила	58,64	70,57
Местоположение первой главной точки	1,348	1,772
» второй » »	1,602	2,086
» точки переднего фокуса	-15,707	-12,397
» » заднего »	24,387	21,016
Переднее фокусное расстояние	-17,055	-14,169
Заднее фокусное расстояние	22,785	18,930
Местоположение центральной ямки сетчатки	24	24
Осевая рефракция	1,0Д	—9,6Д
Местоположение ближайшей точки видения	_	-102,3
» входного зрачка	3,047	2,668
» выходного »	3,667	3,212
Коэфициент увеличения в зрачках	0,909	0,941

В заключение приведем несколько конкретных примеров применения

формул диоптрийного исчисления.

При мер 1. Дана двояковыпуклая стеклянная линза в воздухе  $(n_1=n_3=1)$ . Радиусы кривизны ее передней и задней поверхностей равны соответственно  $r_1=50\,$  мм и  $r_2=-100\,$  мм. Показатель преломления стекла  $n_2=1,52$ , толщины линзы  $d=6\,$  мм. Требуется найти преломляющую силу (рефракцию) такой линзы и положение ее главных плоскостей. Рефракция передней поверхности линзы будет

$$D_1 = \frac{n_2 - n_1}{r_1} = \frac{1,52 - 1}{0,05} = 10,4 D.$$

Рефракция задней поверхности линзы будет

$$D_2 = \frac{n_1 - n_2}{r_2} = \frac{1 - 1,52}{-0,1} = 5,2D.$$

Преломляющая же сила комбинации обеих поверхностей по формуле  $D_{12} = D_1 + D_2 - \delta D_1 D_2$  будет равняться

$$D_{12} = 10,4+5,2 - \frac{0,006}{1,52} \cdot 10,4 \cdot 5,2 = 15,38 D.$$

Положение первой главной плоскости 
$${H'}_{12} \!=\! \frac{\delta D_2}{D_{12}} \!=\! \frac{0,004\cdot 5,2}{15,38} \!=\! 0,\!00136 \!=\! 1,\!36 \text{ мм.}$$

Расстояние 1,36 мм должно быть отложено (согласно условию о знаках, принятому Гульстрандом) вправо от вершины первой преломляющей поверхности. Место второй главной плоскости

$$H''_{12} = \frac{\delta D_1}{D_{12}} = -\frac{0.004 \cdot 10.4}{15.38} = -0.00271 = -2.71 \text{ mm}.$$

Знак минус обозначает здесь, что расстояние в 2,71 мм должно быть отложено от вершины второй преломляющей поверхности влево, т. е. вторая главная плоскость находится перед вершиной второй преломляющей поверхности.

Пример 2. Вычислить размер изображения ( $\beta$ ), получающегося на сетчатке от предмета ( $\alpha$ ) размером в 10 см, находящегося на 5 м перед глазом и видимого этим последним без аккомодации. Вычисление произвести применительно к редуцированному глазу Вербицкого (длина такого глаза 23,4 мм, показатель преломления 1,40).

По формуле увеличения  $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{A}{R}$ ,

$$\beta = \frac{A}{B} \cdot \alpha.$$

Подставляем значения  $A = \frac{1}{-5}$ ,  $B = \frac{1}{0.0234} \cdot 1,40 = 59$ ;  $\alpha = 0,1$ 

$$B = \frac{1}{0,0234} \cdot 1,40 = 59; \quad \alpha = 0,1$$

и получаем искомое

$$\beta = \frac{1}{-5 \cdot 59} \cdot 0,1 = -0,00034$$
 м= $-0,34$  мм (изображение обратное) (в случае нали-

чия аккомодации показатель преломления должен браться соответственно

увеличенным, как то сказано выше в § 7).

Пример 3. Найти, какую преломляющую силу должен иметь глаз, чтобы при длине глаза I=23,4 мм четко видеть предмет, находящийся от глаза на расстоянии 25 см? Какую преломляющую силу должен иметь глаз, если длина его равняется 30 мм? Показатель преломления внутренней среды глаза полагается равным 1,416.

Определение нужной преломляющей силы производится при помощи

формулы

B = A + D.

В первом случае

$$B = \frac{1}{0,0234} \cdot 1,416; A = \frac{1}{-0,25}$$

и, следовательно,

$$D = \frac{1,416}{0,0234} + \frac{1}{0,25} = 60,5 + 4 = 64,5 D.$$

Во втором случае

$$D = \frac{1,416}{0,03} + \frac{1}{0,25} = 47,2 + 4 = 51,2D$$
.

### § 8. Оптические несовершенства глаза. Аберрация. Дифракция. Иррадиация. Аметропия: близорукость, дальнозоркость. Астигматизм

Глазу как оптическому прибору присущи известные несовершенства. Сейчас мы коснемся их несколько подробнее. Первое, на что

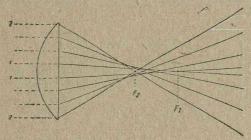


Рис. 28. Явление сферической аберрации.

здесь следует указать, это на явление аберрации <sup>1</sup>. Глаз страдает как сферической, так и хроматической аберрациями. Сферическая аберрация состоит, как известно, в том, что лучи, падающие на линзу близ центра ее, и лучи, падающие на более периферические части линзы, собираются в фокус не на

одном и том же расстоянии за ней; они оказываются преломленными различно. Более центральные лучи преломляются меньше. Их фокус лежит, следовательно, дальше, чем фокус лучей более периферических (рис. 28).

Лучи 1-1 собираются в фокус в точке  $F_1$ , лучи 2-2 — в точке  $F_2$ . В результате сферической аберрации вся совокупность преломленных лучей, падающих на глаз параллельным пучком, образует в глазе не конус с острой вершиной, касающейся сетчатки, но фигуру, подобную двум усеченным конусам, сомкнутым своими вершинами. Продольное сечение такой фигуры дает так называемую каустическую линию. Легко видеть, что при подобном положении дела, где бы в ходе преломленных лучей за линзой мы ни поставили экран, на нем никогда не получится точечного изображения. Всегда на экране мы будем иметь кружок большего или меньшего радиуса. Чем больше диаметр линзы, тем больше будет и диаметр кружка светорассеяния, обусловленного сферической аберрацией.

В какой мере круги светорассеяния могут мешать четкости видимых нами предметов и как это зависит от величины зрачкового отверстия, легко можно убедиться путем такого простого опыта. Очень медкий шрифт, с трудом разбираемый нами при слабом освещении, ста-

¹ Слово «аберрация» — по-латински значит «отклонение», «уклонение».

новится легко читаемым, если посмотреть на него через маленькое круглое отверстие в  $2^{1}/_{2}$  —3 мм в диаметре, приставленное к глазу

(так называемый «искусственный зрачок»).

Хромат ическая аберрация состоит в том, что составляющие белый цвет лучи разной длины волн, падая на линзу параллельным пучком, фокусируются ею не в одной точке. Лучи коротковолновые, как более преломляемые, фокусируются ближе, чем менее преломляемые лучи с большей длиной волны (рис. 29).

В наличии хроматической аберрации в глазе можно убедиться также путем ряда простых наблюдений и опытов. Если посмотреть с небольшого расстояния на очень маленькое круглое отверстие в каком-нибудь непрозрачном эк-

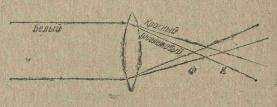


Рис. 29. Явление хроматической аберрации.

ране, прикрыв это отверстие фиолетовым стеклом или фиолетовой желатиновой пленкой, то можно видеть, что просвет отверстия пока-

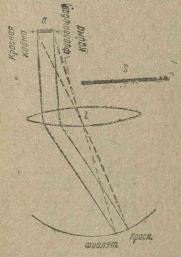


Рис. 30. Объяснение появления цветных каемок при смотрении с наполовину заслоненным эрачком.

жется нам не одноцветным фиолетовым, но синей точкой с красным ободком или, напротив, красной точкой, окруженной синим ободком. Это объясняется тем, что сквозь фиолетовое стекло проходят как раз крайние лучи спектра сине-фиолетовые и красные. Преломляемость их весьма различна. Поэтому, сфокусировав красные лучи на сетчатке, мы не можем одновременно же сфокусировать на ней и лучи фиолетово-синие, и наоборот. Если посмотреть на переплет оконных рам или просто на черную полоску на белом фоне, прикрыв половину зрачка чем-либо непрозрачным, то по краям рам или полосы появляются цветные каемки: с одной стороны — синеватые, с другой — оранжево-красные. Если мы заслоним правую половину зрачка, то красноватооранжевая каемка будет с левой стороны черной полоски, синеватая же - с правой, и наоборот,

если прикрытой оказывается левая половина зрачка (слева — синеватая, справа — красноватая). Объяснение этого дано на рис.  $30^{1}$ . Белый луч от левой границы полоски a, упав на хрусталик l, наполовину прикрытый справа непрозрачным экраном S, разлагается в спектр. При этом наиболее преломленный фиолетовый луч падает

 $<sup>^1</sup>$  В предыдущих изданиях «Глаза» в чертеже этого рисунка по моему недосмотру оставалась ошибка.

на сетчатку правее всех прочих. Все же остальные лучи, идущие от белого поля, соседнего с левой стороной черной полоски, располагаются влево от этой точки. Они налагаются друг на друга и дают в результате белый цвет. Подобным же образом белый свет от правой границы полоски a, разлагаясь линзой в спектр, свой наименее преломленный красный луч направляет в точку, отмеченную «красный»; все же прочие, более преломленные лучи от соседних с пограничной точек белого фона, накладываясь друг на друга, также дают белый цвет (на сетчатке вправо от точки, обозначенной на рис. как «красный»).

Таким образом, цветными остаются лишь возбуждения сетчатки в точках «фиолетовый» и «красный». Будучи относимы по обычным законам во внешнее пространство, эти возбуждения и создают впечатление цветных краев у полоски а. Хроматизмом же глаза объясняется, наконец, и то, что полоса цветов спектра не может быть видима нами

одновременно вся с одинаковой четкостью.

По опытам и подсчетам Гельмгольца при аккомодации глаза на бесконечность и при диаметре зрачка в 4 мм фокусы красных 656 три фиолетовых 430 три лучей отстоят друг от друга на 0,434 мм. Это соответствует разнице преломления приблизительно в 1,1 диоптрии. В позднейших экспериментах Ширда были найдены весьма различающиеся друг от друга величины аберрации в зависимости от удаленности фиксируемого объекта, величины зрачка и от исследуемого меридиана глаза. Достаточно определенных зависимостей при этом еще не установлено. В общем можно лишь утверждать, что величина аберрации для синих и крайних красных лучей колеблется от 0,88 до 2,4 диоптрии, будучи в вертикальном меридиане глаза большей, чем в горизонтальном. В обыденной жизни мы, как правило, не замечаем хроматизма нашего глаза, игнорируя возникающие синеватые и красноватые круги светорассеяния, слабые по своей яркости.

Более чуткие к своим цветовым впечатлениям художники, повидимому, в большей мере замечают эти цветные ореолы. Этим, как думает Полак, и объясняется то, что многими художниками контуры темных предметов на светлом фоне (например, очертания гор) окружаются слабыми цветными каемками. При этом одни художники делают эти каемки красноватыми, другие же — синеватыми. Первые, по мнению Полака, дальнозорки и легче фокусируют синие лучи, вторые же близоруки и с большей легкостью фокусируют красные

лучи.

Получению строго точечных изображений на сетчатке препятствует, далее, и явление д и ф р а к ц и и света в зрачке. Свет, проходя через круглое малое отверстие, каковым является зрачок глаза, дает на экране, расположенном за этим отверстием, не изображение одной четкой точки, но изображение кружка, окруженного рядом концентрических световых колец убывающей яркости. Происходит это вследствие волновой природы света и интерференции световых волн. При этом диаметр D центрального светлого кружка, как известно из физики, будет зависеть от диаметра d отверстия, через которое проходит свет, длины волны светового луча  $\lambda$  и расстояния

отверстия от экрана l по следующей формуле D=1,22  $\frac{\lambda}{d}$ . Таким образом, с уменьшением зрачкового отверстия диаметр дифракционного кружка светорассеяния будет увеличиваться. Применительно же к эффекту сферической аберрации выше мы видели, что уменьшение зрачка уменьшает круги светорассеяния, вызванные сферической аберрацией.

Ввиду такой обратной зависимости эффектов аберрации и дифракции от величины зрачка наилучшие условия для четкого зрения соот-

ветствуют некоторой средней величине зрачкового отверстия (около 3 мм в диаметре).

За счет сферической и хроматической аберраций и дифракции и не всегда совершенной фокусировки глазом рассматриваемого предмета следует отнести явления иррадиации, играющие большую роль в нашем зрении. Вследствие образования кругов свегорассеяния очертания изображений на сетчатке никогда не бывают вполне резкими. Всегда мы имеем на сетчатке постепенный переход освещенности соответствующей яркости одного изображения к освещенности соответствующей яркости другого смежного с ним изображения. Таким образом, границы более светлых и более темных очертаний на сетчатке всегда бывают размытыми. На схеме рис.31

Рис. 31. Распределение освещенности на сетчатке в месте границы светлого изображения с тем-

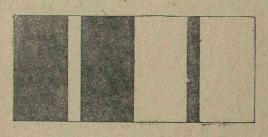


Рис. 32. Явление световой иррадиации.

А и В обозначают два смежных объекта, рассматриваемых глазом: А — более светлый, В — более темный. Нарисованная внизу кривая b - c - a будет изображать распределение освещенностей на сетчатке, соответствующее тому месту ее, на которое падает изображение пограничной зоны А и В.

> Величина освещенности выражена расстоянием точек кривой от прямой тп. соответствующей нулевому значению.

При таких условиях мы видим границу А с В обычно не там, где она на самом деле лежит, т. е. не в точке, соответствующей c, а несколько смещенной или в сторону в, или в сторону а. В первом случае мы увидим, очевидно, границы светлого объекта расширенными. Это есть явление положительной иррадиации. Примерами ее служат такие факты, как преувеличение нами белых объектов на черном фоне по сравнению с черными на белом. Белая полоса на рис. 32 кажется нам шире черной, хотя на самом деле ширина обеих полос одинакова. Рука в белой перчатке кажется больше, чем эта же рука в черной перчатке. Черная нить, если ее держать на фоне яркого

пламени, кажется нам в этом месте прерванной. Однако, кроме такой положительной иррадиации, нередко имеет место так называемая негативная, или отрицательная, иррадиация, впервые описанная Фолькманом. Негативная иррадиация состоит в том, что расширенными мы видим границы не более светлых, а более темных объектов. Это происходит, очевидно, тогда, когда субъективная граница A и B упадет на кривой bca от точки c куда-нибудь в сторону a. Субъективную же границу темного со светлым мы видим там, где ордината кривой bca (распределения освещенности на сетчатке) достигнет определенного относительного значения по отношению к минимальной ординате bm.

Эта относительная величина зависит от наличной различительной чувствительности глаза. Чем кривая вса более полога, т. е. чем меньше различие в яркости между А и В, тем более вероятно, что субъективная граница придется вправо от точки с, т. е. чем менее различны по яркости граничащие друг с другом объекты, тем легче наступает эффект негативной иррадиации. Величина иррадиации может быть определена количественно различными способами, один из которых, например, состоит в следующем. Испытуемому дают устанавливать на равенство по ширине две полосы, одна из коих является темной на светлом фоне, а другая — светлой на темном (см. выше, рис. 32). Темная полоса остается все время неизменной, светлую же можно изменять, делая ее шире или уже, до тех пор, пока она не покажется одинаковой по своей ширине с полосой темной. Из разности ширины обеих полос, принятых испытуемым за одинаковые, и легко высчитать величину иррадиации 1, как-то иллюзорное расширение (положительное или отрицательное, т. е. сужение), которое претерпевает

светлая полоса.  $I = \frac{S-W}{4}$ , где S есть ширина темной полосы, а

W — ширина переменной светлой полосы, принятая испытуемым за равную с S. Величина иррадиации зависит от яркости светлого поля. Чем больше яркость светлого поля, тем круче, очевидно, будет итти и кривая bca (см. выше рис. 31), характеризующая переходную зону двух уровней освещенности на сетчатке. Естественно ожидать, что по мере увеличения яркости поля иррадиация будет увеличиваться. Все дальше и дальше от максимума освещенности освещенность будет становиться достаточно большой, чтобы замечаться нашим глазом как место более светлое, чем прочее, более темное поле. Опыты, проводившиеся несколькими авторами (Кравковым, Вилькоксом, Галочкиной), действительно, показали, что с увеличением яркости (и при постоянном «искусственном зрачке») иррадиация растет, переходя от величин отрицательных через нулевое значение к величинам положительным, нарастающим в дальнейшем все более и более медленным темпом. Таков ход зависимости иррадиации от яркости, однако, лишь в том случае, если иррадиирующие объекты не слишком малы. Для очень же малых объектов, как это обнаружил первоначально Вилькокс и как это было затем подтверждено в нашей лаборатории Галочкиной, зависимость величины иррадиации от яркости имеет уже другой характер. Именно при нарастании яркости объекта величина иррадиации проходит через минимум. Оба эти типа кривых зависимости иррадиации от яркости приведены на рис. 33. Окончательного

объяснения наличия минимума в кривой для объектов малого размера

мы до сих пор еще не имеем.

Работе глаза как оптического аппарата вредит до известной степени, наконец, и происходящее в нем свето рассеян и е, особенно заметное при смотрении на яркие объекты, находящиеся на темном фоне. Светорассеянию в глазных средах приписываются те светлые ореолы, которые наблюдаются в этих случаях.

Если глаз устроен так, что падающие на него параллельным пучком лучи без какого-либо усилия аккомодации собираются в фокус как раз на сетчатке, ты говорим, что такой глаз - нормальный, или эмметропический. Это имеет место, очевидно, тогда, когда  $l_2$  — расстояние изображения на сетчатке от второй главной

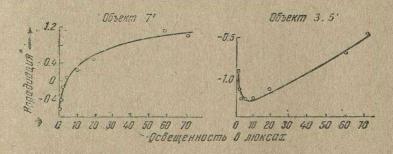


Рис. 33. Зависимость иррадиации от яркости (по Галочкиной).

плоскости глаза — как раз равняется второму фокусному расстоянию его, т. е.  $l_2 = f_2$ . Когда же второе фокусное расстояние оказывается меньше, чем расстояние изображения на сетчатке от главной плоскости (т. е.  $f_2 < l_2$ ), мы имеем перед собой глаз близорукий, или миопический. 2 Миопия может обусловливаться или чрезмерно большой преломляющей силой глаза, или же, что случается чаще, чрезмерно большой длиной глазного яблока. И в том, и в другом случае, чтобы сфокусировать изображение на сетчатке, близорукому глазу требуется, чтобы падающие на роговицу лучи были расходящимися, что как раз и бывает при рассматривании близких к глазу предметов. Глаз является дальнозорким, или гиперметропическим³, если падающие на роговицу параллельным пучком лучи собираются в фокус за сетчаткой, когда, следовательно,  $f_2 > l_2$ . Это может обусловливаться или слабой преломляющей силой глаза, или же его слишком малой длиной. Для фокусирования лучей на сетчатке в таком случае лучи должны быть сходящимися еще до попадания в глаз; поэтому хуже всего дальнозоркий глаз видит близкие предметы. На рис. 34 и изображены случаи гиперметропии, эмметропии и миопии, обусловленные ненормальной длиной глаза.

<sup>1</sup> От греческих слов «эм» — в и «метрон» — мера.

<sup>2</sup> Происхождение этого принятого обозначения не вполне ясно. Возможно, что оно происходит от греческого слова «мюо» — щурюсь, возможно, что от греческого слова «мюс» — мышь (смотрит вблизь) и слова «опс» — зрение.

3 От греческого слова «гипер» — чрезмерно, издали и «опс» — зрение.

Степень ненормальности глаза в рассматриваемых отношениях, иначе говоря его аметропия (гиперметропия или миопия), может карактеризоваться преломляющей силой (в диоптриях) той линзы, которая, будучи поставлена перед глазом на пути параллельных лучей, падающих на глаз с расслабленной аккомодацией, сфокусирует эти лучи как раз на сетчатке. Для близоруких эта линза должна быть рассеивающей, для дальнозорких — собирательной.

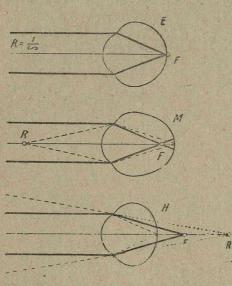


Рис. 34. Глаз нормальный (E), глаз близорукий (M) и глаз дальнозоркий (H).

Связь степени аметропии с длиной продольной оси глаза дана в следующей таблице, относящейся к точному схематическому глазу Гульстранда.

Астигматическим¹ глазом, наконец, является такой глаз, в котором четкое фокусирование параллельно падающих на него лучей в одну точку невозможно в силу различной преломляемости в различных меридианах глаза. Астигматизм обусловливается обычно и главным образом разной кривизной роговицы в разных меридианах. Однако нередки случаи, когда астигматизмом страдают и другие преломляющие поверхности глаза. В таком случае общий астигматизм может заметно чаться от астигматизма роговичного.

Аметропия в диоптриях	Длина глаз- ной оси в мм	Аметропия в диоптриях	Длина глаз- ной оси в мм	Аметропия в диоптриях	Длина глаз- ной оси в мм
6	22,27	-3	25,61	-12	30,24
5	22,60	_ 4	26,05	-13	30,87
3	22,92	<b>—</b> 5	26,51	-14	31,53
	23,27	<b>-6</b>	26,98	—15	32,21
2	23,63	-7	27,47	—16	32,94
1	24,01	-8	27,98	-17	33,69
0	24,38	<b>-9</b>	28,51	-18	34,48
-1	24,78	-10	29,07	—19	35,31
_2	25,19	-11	29,64	-20	36,18

Если вертикальный меридиан оказывается (как это чаще и бывает) более преломляющим, астигматизм называется прямым; если больше преломляет меридиан горизонтальный, астигматизм называется обратным. Астигматизм, при котором в глазе имеются различия в пре-

От греческого слова «а» — отрицание не и «стигма» — точка, — невозможность схождения лучей в одну точку.

ломлении даже в пределах одного и того же меридиана, носит название неправильного астигматизма. Убедиться в наличии или отсутствии астигматизма нетрудно. Стоит посмотреть одним глазом с расстояния наилучшего видения на диск, на котором близко друг к другу нанесены концентрические круги (рис. 35). При наличии астигматизма

одновременно четко будут видны лишь отдельные секторы диска, вся же прочая его площадь покажется расплывчатой.

#### § 9. Поглощение света в глазных средах

Не все глазные среды, лежащие на пути световых лучей впереди сетчатой оболочки, являются вполне прозрачными. Начиная с 30-летнего возраста, хрусталик становится все менее и менее прозрачным, приобретая желтоватую окраску. Поглощение световых лучей в хрусталике бывает весьма значительным, как это можно видеть из нижеприводимых пифр. полученных Кенигом и относящих



Рис. 35. Рисунок, позволяющий обнаружить астигматизм

мых цифр, полученных Кенигом и относящихся к хрусталику 55-летнего субъекта.

Длина волны в миллимикронах

655 631 610 590 570 550 530 510 490 474 454 437 420 Коэфициент пропускания

0,98 0,95 0,91 0,88 0,83 0,78 0,71 0,64 0,55 0,47 0,36 0,25 0,12

С увеличивающимся поглощением в хрусталике сине-фиолетовых лучей по мере повышения возраста связывают наблюдаемый часто факт изменения колорита картин у художников, достигших старости. В их палитре начинают все больше и больше преобладать краски синефиолетовые, т. е. как раз те цвета, которые видятся ими все хуже и хуже.

Другим естественным светофильтром служит в глазе пигментация желтого пятна сетчатки. Если посмотреть на слегка голубоватую бумажку сперва прямо, а затем несколько боковой частью сетчатки, то можно убедиться в том, что во втором случае синева ее окажется гораздо более заметной. Это обстоятельство говорит о поглощении синих лучей в среде, лежащей перед светоощущающими элементами центра сетчатки, т. е. в желтом пятне. Сакс путем прямого спектрофотометрирования сетчаток, вынутых из глаз вскоре после смерти, показал, что область желтого пятна, действительно, имеет желтую окраску. На сетчатке живого глаза существование такой же окраски было констатировано посредством офталмоскопирования в бескрасном свете. Тем не менее Гульстранд не находил возможным признать существование прижизненной желтой пигментации в сетчатке. Наблюдения и опыты Фогта и Диммера, однако, опровергают такое мнение Гульстранда.

Интересно было ближе установить характер поглощения волн

разной длины в желтом пятне.

Измерение кривой пропускания света в желтом пятне живого глаза производилось несколькими авторами, в том числе и нами.

Применявшийся нами метод состоял в уравнении двух полей по их яркости в условиях, когда изображение одного из них падало в сетчатке на желтое пятно, другое же — на 3° сбоку, т. е. вне желтого пятна. Глаз был приспособлен (адаптирован) к условиям дневного видения. Поля давались монохроматическими спектральными лучами. Полученные нами коэфициенты относительного пропускания света в желгом пятне для света разной длины волны и для разных лиц приведены на кривых рис. 36.

Из рассмотрения их можно видеть, насколько кривые пропускания света желтым пятном могут быть различны у отдельных лиц как по общему своему ходу, так и по величине поглощения. Вычисление

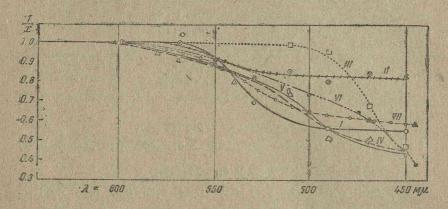


Рис. 36. Кривые пропускания света желтым пятном сетчатки; пропускание красных лучей принято за 1 (по Кравкову).

цвета желтых пятен на основании полученных кривых и сопоставление цвета желтых пятен с цветом волос и радужной оболочки обнаружило (по крайней мере на 7 подвергавшихся у нас испытанию лицах), что у блондинов желтое пятно имеет более зеленовато-желтый цвет, у брюнетов же — оранжеватый. С этим можно сопоставить и тот факт, что у альбиносов (лиц, лишенных вовсе пигментации волос и радужной оболочки), как известно, отсутствует и пигментация желтого пятна.

Что касается биологического значения желтой пигментации места наиболее ясного видения на сетчатке, то некоторые полагают, что такая пигментация целесообразна тем, что отчасти ослабляет влияние хроматической аберрации глаза. Она также может способствовать остроте зрения, поглощая лучи волн короткой длины, т. е. как раз такие, которые наиболее рассеиваются в воздухе и препятствуют четкому видению далеких предметов.

Невидимые ультрафиолетовые и инфракрасные лучи также претерпевают поглощение в глазных средах, прежде чем достигают сетчатки. Так, по измерениям Грэхема водянистая влага полностью поглощает все лучи с длиной волны короче 275 mµ; роговица поглощает все лучи короче 298 mµ и хрусталик — все лучи короче 313 mµ.

Поглощение тепловых, инфракрасных лучей в глазе соответствует поглощению их слоем воды той же толщины, что и длина глазного яблока. Кривая поглощения инфракрасных лучей глазными средами дана на рис. 37, где по абсциссе отложены длины волн, а по ординате — поглощение в процентах.

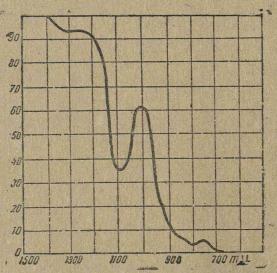


Рис. 37. Поглощение инфракрасных лучей глазными средами (по Ашкинассу).

Отдельные среды глаза, как-то роговица, радужная оболочка и хрусталик, поглощают тепловые лучи в различной степени. На рис. 38 приведены полученные Хартриджем и Хиллом кривые, показывающие, какой процент всего поглощенного света указанной длины волны

поглощается в данной среде. Из кривых видно, что близкие тепловые лучи больше всего влияют на радужную оболочку, далекие же—по преимуществу на роговицу, в то время как хрусталиком поглощаются относительно более других средние инфракрасные лучи с длиной волны от 1 100 до 1 400 тр.

Суммарное пропускание всеми глазными средами различных лучей видимого спектра в недавнее время измерялось Людвигом и Мак-Карти. Полученные ими средние значения пропускания приводятся в нижеследующей таблице.

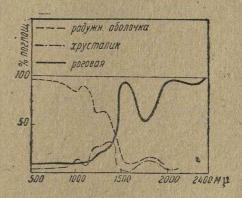


Рис. 38. Относительное поглощение длинноволновых лучей отдельными глазными средами (по Хартриджу и Хиллу).

Пропускание в %
9
16
32
43
46
50
53
56
57
59
61
63
65
66
69
70
71

(Надо иметь в виду, однако, что поглощение в желтом пятне здесь не учитывается.)

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

§§ 1—3

Helmholtz H. V., Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., Bd. I, 1909; Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. XII, Т. I, 2 Receptionsorgane. Photoreceptoren, Berlin, 1929—1931. — Wilbrand H. и Saenger A., Neurologie des Auges. Bd. III, Wiesbaden, 1904. — Hoffmann H., Augen und andere Lichtsinnesorgane, Leipzig, 1922. — Rauberkops che Sauges. Graefe-Saemisches Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 1912. — Ovio J. Anatomie et physiologie de l'oeil, Paris, 1927. — Coque M., Introduction to the study of the anatomy and of the physiology of the eye, London, 1928. — Koenig A., Physiologische Optik, Handbuch der experimentellen Physik, Bd. 20, 1929. — Broca A., Leçons d'optique physiologique, Paris, 1923. — Testut., Traitè d'anatomie humaine, t. 3-me, Paris, 1905. — Schulz H., Sehen, Stuttgart, 1920. — Muller H., Schriften zur Anatomie und Physiologie des Auges, Leipzig, 1872. — Osterberg, 1935. — Hidano K., Pfl. Arch. ges. Physiol., Bd. 212, 1926. — Vogt A., Abderhaldens Handbuch der biologischen Arbeitsmetoden, Lief. 55, 1922. — Holmes G., Brit. journ. ophthal., v. 2, 1918. — Duke-Elder W. S., Text-book of ophthalmology, St. Louis, 1934. — Traité d'ophthalmologie, v. I, Paris, 1939. — Brons J., The blind spot of Mariotte, Copenhagen, 1939. — Earct H., Kypc физиологии органов чувств, Вып. I, СПБ, 1886. — Адамок Е. В., Болезни светоошущающего аппарата глаза, Казань, 1897. — Пиотровский м., Глаз как физический прибор, Г., 1928. — Офталмологическая оптика, под ред. проф. Беллярминова, изд. Главной палаты мер и весов, Л., 1928. — Зальцман мен М., Анатомия и гистология глаза, М., 1913. — Сняки П. Г., Советский вестник офталмологии, т. VI, 1935. — Калькутина М., 1928. — Вакутина физиология, т. XI, 1937. — Вишневский Мисhen, 1923. — Ріего п. Н., Lecerveau et la pensèe, Paris, 1923. — Непschen, 1923. — Ріего п. Н., Сесегчеаи et la pensèe, Paris, 1923. — Непschen, 1923. — Ріего п. Н., Сесегчеаи et la pensèe, Paris, 1923. — Непschen, 1923. — Ріего п. Н., Вестник офталмология, т. XI, 1937. — Ги I to п.

Gullstrands., Zusäte in Helmholtz's Handbuch der physiologischen Optik, Bd. I, 3 Aufl. 1909. — Gullstrand A., Graefes Archiv Ophth., Bd. 49, 1900. — Rohr M., v., Erg. Physiol., 8 Jg., 1909. — Groethuysen G., Bethe's Handbuch der normalen und pathologischen Physiologle, Bd. XII, T. I, 1929. — Cowan A., An introductory course in ophtalmic optics, Philadelphia, 1928. — Landolt E., Graefe-Saemisches Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Bd. I, 1920. — HessC., Graefe-Saemisches Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Bd. VIII, 1903. — Dufour M., Ann. d'ocul., t. 146, 1911. — Вербицкий В. К., Русский офталмологический журнал. т. V, 1926. — Вербицкий В. К., Русский офталмологический журнал. т. VIII, № 2, 1928. — Мартин Л., Введение в прикладную оптику, ОНТИ, 1925. — Авербах М. И., К диоптрике глаз различных рефракций, М., 1900.

#### \$ 8

Nutting, Proc. Roy. soc. London, ser. A, No. 90, 1914. — A mes A. a. ProctorC., J. Opt. Soc. Amer., v. 5, 1921. — Sheard Ch., J. Opt. Soc. Amer., v. 12, 1926. — Polack M., Ann. d'ocul., t. 158, 1921. — Pokrowski GB., Zschr. Physik, Bd. 35, 1926. — Raman C., Philos. mag., v. 38, 1919. — Welcker H., Über Irradiation, Giessen, 1852. — Kravkov S., Greafes Arch. Ophth., Bd. 132, 1934. — Wilcox W., J. gen. Psych., v. 15, 1936. — Федорова В. И., Журнал прикладной физики, 1—2, 1925. — Головин С. С., Клиническая офтадмология, т. I, ч. 2, М., 1923. — Кравков С., Вестник офтадмологии, т. XII, 1938. — Liebreich, Der Naturforscher, Nr. 47, 1872. — Gassowsky L. N. u. Samsonowa V. G., Graefes Arch. Ophth., Bd. 132, 1934.

#### \$ 9

Тои I a n t, Arch. d'ophth., t. 38, 1921. — НоІ m Е., Graefes Arch. Ophth., Bb. 108, 1922. — Мие I I е г, G. Е., Zschr. Sinnephysiologie, Bd. 54, 1922. — Graham W. P., Amer. Journ. physiol. opt., April 1923. — A s c h k i n a s s E., Zschr. Psych., Bd. 2, 1896. — S c h I a e p f e r H., Graefes Arch. Ophth., Bd. 119, 1927. — S h e a r d C h., Amer. j. physiol. opt., p. 238, April 1924. — L u dwigh E. a. McCarthy E., Arch. ophthalm., v. 20, 1938. — Қравқов С. В., Журнал прикладной физики, № 1—2, 1925.

#### ГЛАВА II

# ДВИЖЕНИЕ ГЛАЗ. ИЗМЕНЕНИЯ В ГЛАЗЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО СВЕТА

# § 1. Мышцы глазного яблока. Общие закономерности движений глаза. Конвергенция

Глазное яблоко помещается в глазнице так, что в обычных условиях смещений его относительно черепа не происходит. Поэтому все

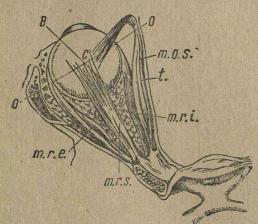


Рис. 39. Мышцы глазного яблока.

движения глаза являются вращениями глазного яблока вокруг некоторого центра вращения, лежащего внутри него. По определениям Дондерса и Фолькмана, этот центр вращения глаза лежит на зрительной линии на 13,54 мм за вершиной роговицы. Вращение глаза вокруг этого центра осуществляется благодаря работе глазных мышц.

Их имеется три пары: наружная прямая мышца (т. rectus externus), внутренняя прямая мышца (т. rectus internus), верхняя прямая мышца (т. rectus superior), ниж-

няя прямая мышца (m. rectus inferior), верхняя косая мышца (m. obliquus superior), нижняя косая мышца (m. obliquus inferior) (рис. 39).

На рис. 39 нижняя косая и нижняя прямая мышцы, расположенные соответственно верхней косой и верхней прямой мышцам, не видны. Прямые мышцы начинаются сухожилиями в глубине глазницы и идут вперед, прикрепляясь с боков к глазному яблоку несколько впереди его экватора. Нижняя косая мышца, напротив, начинается сухожилием в передней части глазницы, идет отсюда кнаружи и, огибая несколько глазное яблоко, прикрепляется к нему сзади. Верхняя косая мышца начинается в глубине глазницы и идет сперва вперед, где, проходя через блок (trochlea), поворачивает назад и кнаружи, прикрепляясь своими концами к верхней части глазного яблока не-

сколько позади его экватора. Упрощая несколько действительность, считают, что каждая пара вышена ванных мышц вращает глазное яблоко в противоположные направления вокруг одной оси. Направления этих осей вращения глаза под влиянием сокращения отдельных пар мышц показаны на вышеприведенном рисунке линиями BB и OO. Ось вращения внешней и внутренней прямых мышц проходит через точку C и является перпендикулярной к плоскости рисунка. OO есть ось вращения глаза при сокращении верхней и нижней прямых мышц. BB — ось вращения глаза при сокращении верхней и нижней косых мышц. Из такого положения осей вращения легко видеть, что передвижение глаза по горизонтальному направлению мо-

жет совершиться под влиянием сокращения одной мышцы — наружной или внутренней прямой, движения же глаза в вертикальном направлении от сокращения одной только мышцы произойти не может. Верхняя прямая мышца, сокращаясь, поворачивает глазное яблоко не только вверх, но и кнутри; нижняя косая вращает его не только вверх, но и кнаружи. При сокращении нижней прямой мышцы глаз поворачивается вниз и внутрь; при сокращении верхней косой — вниз и кнаружи. На рис. 40 показаны те пути, которые прохо-

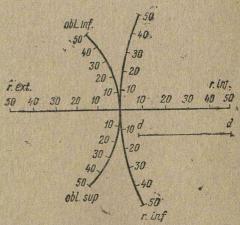


Рис. 40. Движение глаза при сокращении отдельных мышц.

дит зрительная линия левого глаза при изолированном сокращении отдельных мышц. Цифры показывают угол поворота глазного яблока из положения фиксации точки пересечения всех линий рисунка, причем расстояние центра вращения глаза от этой точки мыслится равным линии dd. Нарисованные в конце линий прямые показывают те положения, которые принимает в конце проделанного пути горизонтальный меридиан глаза. Таким образом, движение глаза прямо по вертикали может совершаться лишь в результате комбинированного действия верхней прямой и нижней косой или нижней прямой и верхней косой мышц.

В результате определенного состояния глазных мышц глаза могут быть установлены так, что зрительные линии окажутся перпендикулярными к фронтальной плоскости головы, параллельными друг другу и лежащими в горизонтальной плоскости<sup>2</sup>. Такое положение глаз называется первичным. Характерным для первичного положения глаз является то, что перемещение взора прямо вверх или вниз,

<sup>2</sup> Точнее, — в немного опущенной книзу плоскости.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Фактически, однако, изолированное сокращение только одной мышцы (m. rectus exterior) имеет место лишь при движении глаза горизонтально кнаружи; при движении же глаза внутрь сокращаются еще верхние и нижние прямые.

или прямо влево или вправо не влечет за собой какого-либо изменения в направлении меридианов глаза. В последнем нетрудно убедиться, если, придав глазам первичное положение, фиксировать в течение некоторого времени какую-либо цветную вертикальную линию, находящуюся на достаточно удаленном экране, а затем перевести взор прямо вверх или вниз или прямо влево или вправо. Во всех этих случаях вторичного положения глаз остающийся в глазе последовательный образ от фиксировавшейся линии увидится как полоса дополнительного цвета, направленная вертикально же. Иначе обстоит дело при переходе взора в какое-нибудь третичное положение, связанное одновременно как с подъемом (или опусканием), так и с поворотом взора, например, в случае, когда мы переводим взор вправо вверх. Если до того мы пристально смотрели на какую-нибудь цветную вертикальную полосу, то теперь последовательный образ ее окажется ориентированным уже не вертикально, но верхний конец полосы покажется отклоненным кнаружи. При перемещении взора вправо вниз верхний конец последовательного образа кажется отклоненным кнутри. Поскольку речь идет о параллельных линиях взора, можно считать установленным, что определенному углу подъема взора и определенному углу его отклонения в ту или иную сторону соответствует совершенно определенный угол поворота глазных меридианов (закон Дондерса). То или иное третичное положение глаз, в которое они перешли из положения первичного, может быть понято как достигнутое благодаря вращению глаза вокруг некоторой оси, перпендикулярной к плоскости, определяемой первичным и конечным положениями зрительной линии и проходящей через центр вращения глаза (закон Листинга). Допускать при этом колесообразные вращения глаза вокруг зрительной линии, по Листингу, не требуется. При заданном положении зрительных линий степень отклонения глазных меридианов от их первичного положения является, таким образом, всегда одной и той же. Подобная, определяемая законом Дондерса-Листинга однозначность положения меридианов глаза при том или ином направлении зрительных линий является весьма важным условием, облегчающим нашу зрительную ориентировку в пространстве. Следует, однако, иметь в виду, что закон Листинга определяет лишь конечные положения глаз, но не реальные движения их. Кроме того, он относится лишь к эмметропическим глазам и к случаям параллельного направления зрительных линий.

у Чрезвычайно важными движениями глаз являются сведение и разведение эрительных линий — конвергенция и дивергенция.

Движения конвергенции требуются обычно при переходе взора с дальнего объекта на ближний. В обратном случае глаза должны дивергировать.

В качестве наименьшей удаленности объекта, при которой уже не приходится вовсе конвергировать и зрительные линии могут считаться параллельными, принимают часто расстояние в 6 м. Более точные подсчеты показывают, однако, что конвергенция не является вполне исключенной и при расстояниях, значительно больших, чем 6 м. В общем наименьшее расстояние, при котором изображение объекта падает в обоих глазах на центральные ямки при совершенной параллельности зрительных осей, зависит от удаленности у данного лица одного глаза от другого (от так называемого межзрачкового расстояния), а также от

длины глазного яблока. Полагая последнюю нормальной, Лауренс и Вуд получили формулу:  $f=7\,500\,D$ , где f — искомое наименьшее удаление объекта (при котором он при совершенно параллельных эрительных осях абсолютно не двоится), а D — отстояние зрачков одного глаза от другого (в миллиметрах).

Глаза конвергируют благодаря сокращению внутренних<sup>1</sup>, а дивергируют благодаря сокращению наружных прямых мышц. Движения обоих глаз бывают обычно строго координированы друг с другом. Каждый глаз стремится фиксировать как раз то, что фиксируется другим глазом. Лишь искусственным образом, ставя перед одним из глаз слабую призму и заставляя обоими глазами фиксировать один и тот же предмет, мы оказываемся в состоянии сделать зрительные линии слегка расходящимися, дивергирующими или же заставить

один глаз смотреть несколько выше, чем смотрит другой.

При сведении зрительных линий, по мере усиления конвергенции, происходит некоторое закручивание глаз вокруг их передне-задней оси. Убедиться в последнем можно посредством простого опыта. Нанеся на какой-либо экран строго вертикальную линию, следует, закрыв один глаз, посмотреть другим на какую-нибудь точку, лежащую недалеко от глаза перед этой линией. Для фиксации этой точки глаз должен будет конвергировать, и так как при этом он несколько повернется вокруг своей передне-задней оси, объективно вертикальная линия даст изображение на сетчатке, соответствующее уже не вертикальному, а несколько наклонному меридиану. Линия увидится нами поэтому несколько наклонной.

Глаз является самым подвижным из наших органов чувств. В бодрственном состоянии естественный режим его — это движение. По данным недавних опытов Гассовского и Никольской, взор почти в течение 70% всего времени фиксации какой-либо точки отклоняется от нее, проделывая непроизвольные движения в стороны. Размах подобных движений доходит до 25 угловых минут, а порой бывает и больше. Наиболее часты, однако, мелкие скачки взора в пределах до 5 угловых минут. Частота таких скачков взора, по цитируемым авторам, чрезвычайно велика. При отсутствии фиксационной точки или в темноте неустойчивость глаза становится еще большей. Относительную неподвижность глазам легче всего сохранять в первичном их положении.

Произвольные движения глаз носят обычно прерывистый характер, прерываясь краткими задержками и остановками. Подобных задержек и остановок в движении глаза в наибольшей мере удается избежать лишь при прослеживании взором медленно движущихся в одном направлении объектов. Движения глазных яблок возникают обычно и в зависимости от перемещений головы. Наблюдаемые здесь движения глаз носят компенсаторный характер, стремящийся сохранить вертикальный меридиан глаза по возможности ближе к его первоначальному, нормальному положению. Таким образом, при наклонении головы вправо глаза поворачиваются вокруг своей переднезадней оси влево, и наоборот. Однако движения глаза все же обычно не дают полной компенсации движений головы. Наименьшим разма-

<sup>1</sup> Отчасти сокращаются при этом верхняя и нижняя прямые мышцы.

хом произвольного движения глаза является движение в 5—10 угловых минут. Наибольшее же отклонение зрительной линии в сторону достигает 45—50° (так называемая граница поля фиксации).

Мышцы, движущие глазное яблоко, иннервируются нервами: глазодвигательным (п. oculomotorius), блоковым (п. trochlearis) и отводящим (п. abducens). Блоковой нерв заведует сокращением верхней косой мышцы, отводящий нерв связан с наружной прямой, глазодвигательный — иннервирует все прочие мышцы глазного яблока, а также цилиарную мышцу и мышцу, суживающую зрачок. Все эти нервы берут свое начало в нижней части головного мозга у основания четвертого мозгового желудочка, в области четверохолмия, варолиева моста и продолговатого мозга. Мозговые центры, ведающие движениями одного глаза, связаны с центрами движений другого, в силу чего изолированные движения одного только глаза без возникновения хотя бы соответствующих двигательных импульсов в другом для нас являются невозможными.

Наряду с изменениями в направлении взора, т. е. движениями головы или глазного яблока, в обычных условиях нашего зрения происходят некоторые двигательные реакции и внутри самого глазного яблока. Реакции эти практически чрезвычайно важны, К их рассмотрению мы теперь и обратимся.

# § 2. Аккомодация. Ее механизм. Измерение аккомодации

Первое, с чем необходимо здесь ознакомиться, это явление аккомодации глаза.

Для того чтобы одинаково хорошо фокусировать на пластинке фотографического аппарата изображения как близких, так и далеких предметов, приходится, как известно, «наводить аппарат на фокус» путем передвижения объектива вперед или назад. Человеческий глаз, по своему устройству подобный фотографическому аппарату, очевидно, также не может оставаться неизменным при собирании в фокус на сетчатке как более расходящихся лучей, идущих от предметов близких, так и лучей менее расходящихся, идущих от предметов

более удаленных.

Приспособление глаза к четкому видению предметов различно удаленных и называется аккомодацией глаза<sup>1</sup>. У человека оно совершается путем изменения преломляющей способности хрусталика. Последнее же происходит путем изменения кривизны его. Правильный взгляд на этот счег впервые был высказан еще Декартом. Убедиться в том, что при аккомодации глаза, действительно, меняется кривизна хрусталика, нам позволяет простое наблюдение над изменением величины отражаемых изображений в глазе при переходе его от свободного смотрения вдаль к фиксированию близких предметов. Если мы в темной комнате поместим сбоку перед чьим-нибудь глазом какой-либо светящийся предмет, например, свечку, и сами с другой стороны посмотрим в этот глаз, то сможем увидеть в нем три отражения светящегося предмета: два прямых и одно перевернутое. Эти

¹ От латинского слова «коммодус» — удобный, приспособленный.

изображения (так называемые изображения Пуркинье) — отражения от роговицы, передней поверхности хрусталика и от его задней поверхности. Если мы заставим теперь глаз аккомодировать на какойнибудь более близкий предмет, то в этих изображениях произойдет перемена, а именно: в то время как первое из них останется неизменным, второе и третье уменьшатся, особенно второе, обусловливаемое

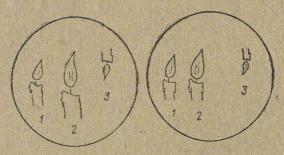


Рис. 41. Отражения от роговицы (7) передней поверхности хрусталика (2) и его задней поверхности (3), видимые в глазе, смотрящем на горящую свечу. Слева изображения, соответствующие неаккомодирующему глазу, справа—глазу, аккомодирующему на близкое расстояние.

отражением от передней поверхности хрусталика. На рис. 41 изображены такие отражения свечи в глазе при спокойном его состоянии и при напряжении аккомодации. На рис. 42 приведены фотографии того же явления. Светящимся предметом здесь служили три белых квадратика, расположенные треугольником. Третье отражение их как очень слабое по яркости на фотографиях здесь не видно.

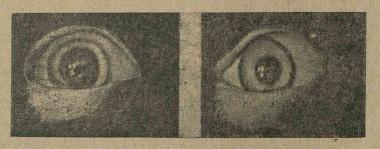


Рис. 42. Фотография отражения трех белых квадратиков, видимых в глазе, неаккомодирующем (слева) и аккомодирующем (справа).

Построение изображений в выпуклых и вогнутых зеркалах показывает, что величина отражаемого изображения уменьшается при уменьшении радиуса кривизны подобных зеркал. Поэтому по изменениям, происходящим в изображениях Пуркинье при аккомодации, мы можем заключить, что кривизна обеих поверхностей хрусталика (особенно передней) увеличивается, т. е. хрусталик становится при аккомодации более выпуклым.

Огносительно физиологического механизма подобного изменения выпуклости хрусталика при аккомодации были высказаны два отличающихся друг от друга взгляда. Одна теория аккомодации принадлежит Гельмгольцу, другая — Чернингу. По мнению Гельмгольца, происходящее при аккомодации сокращение цилиарной мышцы ресничного тела сдвигает его несколько кпереди и тем расслабляет цинновы связки, к которым прикреплена сумка хрусталика. Последняя, вследствие этого, менее растягивается и тем самым меньше сплющивает хрусталик, который в силу присущей ему эластичности стремится принять возможно более сферическую форму. В результате этого он и делается более выпуклым. Чернинг, напротив, полагал, что сокращение цилиарной или аккомодационной мышцы не расслабляет натяжения хрусталиковой сумки, но подтягивает вперед смежные с ресничным телом части сосудистой оболочки, и эти последние давят сзади на хрусталик. Усиление давления приходится при этом главным образом на периферические места хрусталика. Хрусталик деформируется и, сплющиваясь у краев, делается более

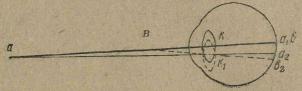


Рис. 43. Опыт Гесса, доказывающий расслабление цинновых связок при аккомодации.

выпуклым в центральной своей части. Таким образом, аккомодирующий хрусталик теряет сферичность своих поверхностей, что Чернинг фактически и наблюдал и что он считал противоречащим воззрениям Гельмгольца. Дальнейшие исследования аккомодации показали, однако, правильность в основном взглядов Гельмгольца на этот вопрос. Так, Гесс установил, что при значительном напряжении аккомодации наблюдается опускание хрусталика вниз, что говорит за расслабление цинновых связок, натягивающих хрусталиковую сумку. Подобное смещение хрусталика происходит просто под влиянием его тяжести и может достигать 0,3 мм.

В подобном опускании хрусталика при аккомодации можно убедиться и по происходящему при этом изменению кажущегося расположения предметов в поле эрения. Так, если мы в спокойном состоянии глаза смотрим на некоторые объекты a и b (рис. 43), лежащие на прямой, но разно удаленные от нашего глаза, то изображения их на сетчатке накладываются друг на друга, и мы видим их в одном направлении. Если же теперь, в результате напряжения аккомодации, хрусталик опустится, то изображения от a и b на сетчатке уже не совпадут, и, следовательно, мы увидим a и b разошедшимися (а именно b выше, чем a).

Что касается, далее, несферической формы передней поверхности хрусталика при аккомодации, на что обращал внимание Чернинг, то, по данным Финхэма, она вполне может быть согласована с теорией Гельмгольца. Следует лишь принять во внимание фактически имеющиеся различия в эластичности и толщине разных частей хрусталиковой сумки.

Гульстранд считает необходимым допустить, что при аккомодации происходят также взаимные перемещения волокон хрусталиковой субстанции, благодаря чему преломляющая сила центральной части его возрастает (так называемая интеркапсулярная аккомо-

дация).

Иннервация аккомодации осуществляется, по мнению ряда авторов (Мора и Дуайон, Бирн, Коган), как глазодвигательным нервом, относящимся к парасимпатической нервной системе, так и симпатическим нервом. Глазодвигательный нерв сокращает кольцевые волокна цилиарной мышцы; симпатический же вызывает сокращение ее радиальных волокон. Поэтому возбуждение симпатической нервной системы делает хрусталик более плоским (аккомодация вдаль), возбуждение же системы парасимпатической, наоборот, увеличивает кривизну поверхностей хрусталика (аккомодация на близкое расстояние).

Границы, в которых глаз в состоянии аккомодировать и благодаря этому ясно видеть, даются, с одной стороны, ближней точкой ясного зрения (punctum proximum), с другой — дальней точкой ясного зрения (punctum remotum). Ближайшая точка есть то расстоя-

ние, ближе которого глаз при всем напряжении аккомодации уже никак не может отчетливо видеть объекты; дальняя точка — то самое большое расстояние, с которого глаз при полном покое аккомодационной мышцы способен четко видеть предмет. Положение дальней точки яс-

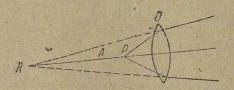


Рис. 44. Схема измерения силы акко<sup>мо-</sup>дации.

ного зрения, таким образом, определяет степень расхождения или схождения лучей, фиксирующихся глазом на сетчатке при отсутствии всякого аккомодационного усилия. Положение дальней точки характеризует, следовательно, аметропию данного глаза. Аметропия

измеряется как  $\frac{I}{R}$ , где R есть расстояние дальней точки от глаза.

Пространство между ближней и дальней точками ясного зрения, в пределах которых глаз может аккомодировать, называется областью, или длиной аккомодации. То же увеличение преломления, которое претерпевают, благодаря аккомодации, лучи, идущие от некоторой близкой точки, характеризуют силу аккомодации. Очевидно, что если такой приближенной точкой мы возьмем ближнюю точку ясного зрения, то потребовавшееся для ее фокусирования увеличение преломления будет давать меру наибольшей силы аккомодации или, как то неудачно еще называют, ширину аккомодации, которую вообще способен проявить данный глаз. Предположим, например, что глаз хочет фиксировать некоторую точку Р. Для этого идущие от точки Р лучи должны, благодаря аккомодации, так преломиться, чтобы принять положение лучей, идущих от дальней точки ясного зрения R. Поэтому сила аккомодации измеряется оптической силой той линзы, которая делает лучи, идущие от ближней точки ясного

зрения, исходящими как бы из дальней точки. Предположим (рис. 44), что O есть такая линза, P — ближняя точка ясного зрения, A — фокус линзы и R — дальняя точка ясного зрения. При определении силы аккомодации вопрос, очевидно, сводится к тому, чтобы найти фокусное расстояние A линзы O, при котором предмет с расстояния P даст изображение в R. Это искомое фокусное расстояние находится прямо из основного уравнения линзы

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R},$$

где P — расстояние от линзы предмета, R — расстояние от линзы изображения и A — фокусное расстояние линзы. Взяв P и R в метрах, мы находим силу аккомодации в диоптриях.

Для нормального эмметропического глаза дальняя точка лежит в бесконечности, т. е.  $R=\infty$  и, следовательно  $\frac{1}{A}=\frac{1}{P}$ ; для близорукого глаза R равно некоторому конечному расстоянию, лежащему перед глазом (так как лучи от дальней точки здесь идут расходящимися); поэтому R имеет в урав-

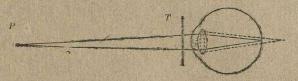


Рис. 45. Опыт Шейнера.

нении знак минус, и оптическая сила нужной аккомодации должна быть соответственно уменьшена на величину  $\frac{1}{R}$ ; наконец, для дальнозоркого глаза

величина *R* имеет знак плюс (поскольку без аккомодации на сетчатке могут фокусироваться лишь лучи, идущие еще до глаза сходящимся пучком). Поэтому сила требующейся аккомодации в этом случае должна быть соответственно большей

Сила аккомодации, таким образом, при смотрении на одинаково удаленную точку для глаз с разной аметропией будет неодинакова. Например, фиксация точки, удаленной от глаза на 10 см, потребует следующей силы аккомодации (в диоптриях): для глаза эмметропического (у которого  $R=\infty$  и, следовательно,  $\frac{1}{A} = \frac{1}{0,10} + 0$ ) она равна 10D, для близорукого (у которого R, скажем,—50 см) 1 1

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{0,10} - \frac{1}{0,50}$$
)=8 $D$ ; для дальнозоркого (у которого  $R$ , например, +50 см)
$$\frac{1}{A} = \frac{1}{0,10} + \frac{1}{0,50}$$
)=12 $D$ .

 $A=0.10\,^{\circ}\,0.50'$  Наибольшая аккомодация требуется, очевидно, от глаза дальнозоркого.

Ближайшую точку ясного видения можно определить при помощи опыта Шейнера (рис. 45). Поставим перед зрачком какой-нибудь непрозрачный экран (T) с двумя сделанными в нем маленькими отверстиями (булавочными проколами), расположенными друг от друга на расстоянии меньшем, чем диаметр зрачка. Перед экраном

 $<sup>^1</sup>$  Напомним, что по общему правилу о знаках в уравнении линзы R (удаленность изображения) считается положительной тогда, когда откладывается в другую сторону от линзы по отношению к P (удаленности предмета), и, наоборот, отрицательной, когда лежит в ту же сторону от линзы, что и P.

же поместим какой-нибудь тонкий предмет Р (например, иголку) так, чтобы глаз мог сквозь отверстия экрана видеть этот предмет на фоне чего-нибудь светлого. В таком случае, если мы поместим иголку очень близко от экрана, глаз увидит ее раздвоенной или вообще неотчетливо; для того чтобы глаз получил вполне четкое одиночное ее изображение, нам потребуется удалить иглу от экрана на большее расстояние. То минимальное расстояние, на которое требуется отодвинуть от экрана иголку, чтобы впервые удалось четко увидеть ее нераздвоенной, и есть расстояние ближней точки ясного видения. Соответствующий ход лучей в опыте Шейнера дан на рис. 45, где пунктирные линии внутри глазного яблока показывают то, что имеет место в глазе без аккомодации, сплошные линии - то, что получается в результате аккомодации. Найти положение дальней точки ясного видения можно при помощи этого же шейнеровского опыта. Для этого надо прежде всего расслабить аккомодацию глаза, произвольно фиксируя «бесконечность» или же искусственным путем впуская в глаз атропин или гоматропин. После этого поместим перед отверстиями экрана какую-либо собирательную линзу определенного числа диоптрий (например, в 5 D) и определим то самое далекое расстояние, на которое можно отодвинуть булавку Р без того, чтобы она показалась раздвоенной. Очевидно, что при таком положении предмета Р лучи от него за линзой приобретут наиболее сходящееся направление, при котором глаз, максимально расслабляя свою аккомодацию, сможет еще фокусировать их на сетчатке. Иными словами, направление этих лучей будет соответствовать тому, которое должны иметь для данного глаза лучи, идущие от его дальней точки ясного видения. Для подсчета соответствующего расстояния этой дальней точки опять следует воспользоваться основным уравнением собирательной линзы, связывающим фокусное расстояние, расстояние предмета и расстояние изображения. Последнему и будет соответствовать искомое здесь расстояние дальней точки.

Если оптическая сила поставленной перед глазом линзы равна, например,  $5\ D$  и наибольшая удаленность предмета P от линзы равна  $20\ \mathrm{cm}$ , то искомое R определится из уравнения:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R}$$
, rge  $\frac{1}{0,20} = \frac{1}{0,20} + \frac{1}{R}$ ,

откуда  $R\!=\!\infty$ , что и соответствует условиям эмметропического глаза. Если P было бы равно 10 см, то

$$\frac{1}{0,20} = \frac{1}{0,10} + \frac{1}{R},$$

откуда  $R\!=\!-20$  см (минус означает, что расстояние следует взять от линзы в направлении, обратном ходу лучей от предмета, т. е. дальняя точка в данном случае, соответствующем условиям близорукого глаза, лежит на 20 см перед глазом). Если, наконец, P окажется большим, чем 20 см, например, 30 см, то это значит, что при полном расслаблении аккомодации глаз может фокусировать лишь сходящиеся лучи. Следовательно, этот глаз дальнозоркий. Вычисленное по формуле R будет здесь положительным, т. е. дальняя точка лежит как бы за хрусталиком глаза.

По мере старения человека хрусталик постепенно теряет свою эластичность, в результате чего ближайшая точка ясного видения с возрастом отодвигается все дальше и дальше. Развивается так на-

зываемая старческая дальнозоркость (пресбиопия). С удалением от глаза ближней точки ясного видения уменьшается, очевидно, и сила аккомодации, ширина ее становится меньше.

Нижеследующая кривая Дондерса-Дюана и показывает эту за-

висимость способности аккомодации от возраста (рис. 46).

На абсциссе показан возраст в годах, по ординате слева — сила собирательной линзы, которая, будучи поставлена перед глазом (на расстоянии 13 мм от вершины роговицы), превращает расходящиеся лучи, идущие от ближайшей точки ясного видения, в параллельные;

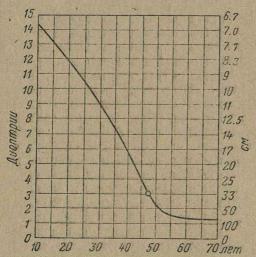


Рис. 46. Зависимость силы аккомодации от возраста (по Дондерсу-Дюану).

по ординате справа отложены фокусные расстояния, соответствующие этим линзам, в сантиметрах.

Для того чтобы узнать удаленность ближайшей точки от вершины роговицы, надо, очевидно, к величинам, показанным на ординате, справа, прибавить 13 Кружком на кривой отмечена условная граница, начиная с которой глаз считается пресбиопическим.

Аккомодация глаза связана и с субъективно ощутимыми мышечными лиями.

В результате подобных продолжительных усилий может наступать ощущение усталости глаза.

Процесс аккомодации требует известного времени (порядка 1 секунды). При переходе взора от фиксирования близкого предмета к фиксированию далекого аккомодация совершается быстрее, чем в случае обратного направления: от фиксирования далекого к фиксированию близкого.

## § 3. Аккомодация и конвергенция. Мышечный баланс глаз

Аккомодационная мышца иннервируется глазодвигательным нервом (т. е. тем же нервом, который иннервирует и многие мышцы, движущие глазное яблоко). Поэтому изменения аккомодации глаз обычно бывают связаны с изменением и их конвергенции. Связь эта взаимна. Определенное состояние аккомодации стремится вызвать и определенную степень сведения зри ельных осей, и, наоборот, тому или иному сведению зрительных осей соответствует определенная степень аккомодации. Для эмметрического глаза ясное одиночное видение соблюдается в том случае, когда каждой диоптрии аккомодации соответствует 1-метровый угол конвергенции. Метровым же углом, или метро-углом, называется угол между зрительной линией глаза и прямой, перпендикулярной к середине линии, соединяющей центры вращения обоих глаз, угол, образующийся при фиксировании глазом предмета, лежащего на этой прямой на расстоянии I м. Метровый угол обычно бывает равен углу около 1°45′. Таким образом, I диоптрия аккомодации (т. е. фиксирование предмета, удаленного от глаза на I м) требует I-метрового угла конвергенции, 5 диоптрий — 5-метровых углов, и т. д. Опыт показывает, однако, что естественный мышечный баланс глаз, поскольку перед глазами нет бинокулярно фиксируемого предмета, часто бывает иным и зрительные оси глаз устанавливаются, не совсем соответствующие вышеприведенному правилу. Они оказываются или

слишком сведенными (эзофория) или, что случается чаще, слишком разведенными (экзофория) по сравнению с тем, что требуется этим правилом. При бинокулярной видимости предмета подобные отклонения конвергенции неминуемо вызвали бы двоение предмета в глазах, диплопию. Так как этого обычно не случается, то, наряду с конвергенцией, вызываемой естественным напряжением глазных мышц (конвергенцией тонической), и конвергенцией, вызываемой определенным напряжением аккомодации (конвергенцией аккомодативной), признают еще и добавочную конвергенцию, служащую для избежания диплопии (конвергенцию сливающую или фузион-

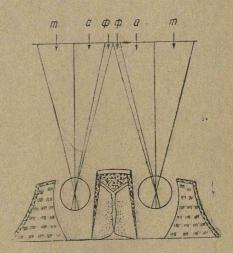


Рис. 47. Виды конвергенции. m — тоническая; a — аккомодативная; g — фузионная.

ную). Эта — сливающая конвергенция может быть положительной или отрицательной в зависимости от того, требуется ли увеличить или уменьщить наличную степень тонической конвергенции для того, чтобы предмет виделся недвоящимся. На рис. 47 дана схема тонической, аккомодативной и положительной фузионной конвергенций.

Существование подобной сливающей конвергенции, как бы вносящей поправки в естественное для данных глаз при данной аккомодации положение зрительных осей, говорит за известную независимость конвергенции от аккомодации. То же самое доказывается и возможностью для нас изменять в известных границах аккомодацию, не изменяя в то же самое время степени конвергенции. Предположим, что мы фиксируем предмет, находящийся на расстоянии 33 см от нас. Это расстояние требует уже определенной величины как аккомодации (3D), так и конвергенции (3 метро-углов). Представим себе теперь, что мы помещаем перед обоими глазами по собирательной линзе. Очевидно, что для четкого видения объекта аккомодация в таких условиях должна измениться (уменьшиться), и она, действительно, изменяется, так как мы оказываемся в состоянии ясно видеть объект и через эти линзы. Помещая перед глазами рассеивающие линзы, мы, очевидно, понуждаем глаза изменить свою аккомодацию в обратном направлении (усилить ее), и опять-таки, если только линзы взяты не чрезмерно сильные, ясность видения объекта у нас сохраняется. Значит, действительно, при одной и той же конвергенции возможны разные степени аккомодации. Разница между возможными здесь наибольшей и наименьшей величинами аккомодации (выр аженная в диоптриях) носит название величины, или диапазона, относитель-

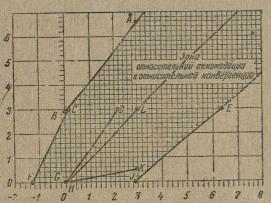


Рис. 48. Связь аккомодации с конвергенцией (по Веймусу, Бресту и Гоб ру).

По абсциссе отложена величина конвергенции в метроуглах. По ординате — величина аккомодации в диоптриях. Прямая G— соответствует нормальной естественной связи аккомолации с конвергенцией; D— значение конвергенции, фактически найденное у большинства испытуемых лиц. Зачерченная квапратами область указывает зону возможных отклонений от нормальной связи. ной аккомодации глаза. При этом то усил ние аккомодации, которое еще возможно при данной конвергенции в слупомещения перед глазами рассеивающих линз, понимается как запас аккомодации, имеющейся в распоряжении глаза. По мнению некоторых авторов, зрительная работа не слишком утомляет глаз тогда, когда запас составляет не менее 1/3 всего диапазона относительной аккомодации, возможной при данной конвергенции.

Измерения связи аккомодации с конвергенцией, произведенные

американскими авторами над большим числом лиц, дали результаты,

приведенные на рис. 48.

По оси абсцисс отложена степень конвергенции в метровых углах, по оси ординат — степень аккомодации в диоптриях. Прямая GL проходит через точки, соответствующие такой связи аккомодации с конвергенцией, которая выражает закон: одной диоптрии аккомодации отвечает один метровый угол конвергенции. Заштрихованные места диаграммы, лежащие по обе стороны от прямой, обозначают зону относительной аккомодации и относительной конвергенции. Мы видим, например, что при постоянной аккомодации в 3-диоптрии конвергенция может вариировать приблизительно на 3-метровых углах в обе стороны; при постоянной же конвергенции в 3-метровых углах аккомодация способна изменяться почти от 0,1 до 6,6 и т. д. Точка D на диаграмме обозначает естественный мышечный баланс глаз большинства из обследованных лиц при аккомодации на 33 см. Как можно видеть, точка эта соответс вует меньшей конвергенции, чем то требовалось бы по закону. Следовательно, у большинства обследованных лиц обнаружилась некоторая относительная экзофория (относительное разведение зрительных осей). Средняя треть зоны относительной аккомодации и конвергенции является той областью, которую можно, как полагают некоторые авторы, считать «зоной комфорта» с точки зрения легкости работы нашего зрения.

Иногда после работы, требующей усиленного и длительного напряжения аккомодации, наблюдается так называемый спазм аккомодации, проявляющийся в том, что ближайшая точка ясного зрения оказывается временно слишком приближенной, видение же более

удаленных объектов затруднено.

Есть, наконец, наблюдения, говорящие в пользу того, что степень аккомодации глаз подвергается постоянно и некоторым периодическим изменениям, зависящим, вероятно, от изменений, происходящих в соответствующих нервных центрах.

# § 4. Зрачковый рефлекс. Связь величины зрачка с яркостью раздражения. Зрачковый рефлекс и аккомодация

Наряду с аккомодацией и конвергенцией другой, также объективно наблюдаемой реакцией глаза является изменение отверстия зрачка — так называемый зрачковый рефлекс. Изменение зрачкового отверстия происходит благодаря сокращению и расслаблению мышц радужной оболочки. Эти мышцы расположены, как уже было сказано, одни радиальными, другие же кольцевыми волокнами. Кольцевые волокна являются суживателем зрачка (sphincter iridis), волокна радиальные, напротив, расширителем зрачка (dilatator pupilae). Кольцевая мышца радужной оболочки иннервируется глазодвигательным нервом, ведающим, как мы видели выше, в значительной мере и движениями глазного яблока, и сокращениями аккомодационной мышцы. Радиальные же, расширяющие зрачок волокна иннервируются симпатическим нервом. Схема иннервации мышцы радужной оболочки, а также аккомодационной мышцы дана на рис. 49.

Зрачковый рефлекс может вызываться различными причинами, прежде всего изменением количества света, попадающего в глаз. При увеличении этого количества, при усилении освещения, зрачок суживается, при уменьшении его, напротив, расширяется. Тем самым глаз регулирует интенсивность раздражения сетчатки, то ослабляя, то усиливая ее, по возможности не давая ей становиться слишком большой или слишком слабой. Вместе с тем расширение зрачка при затемнении поля зрения и сужение его при просветлении последнего способствует и большей устойчивости, большему постоянству кажу-

щейся яркости видимых предметов.

Что касается анатомической картины того, какими путями попадающий на сетчатку свет влечет за собой изменение ширины зрачка, то здесь еще не все является окончательно выясненным. Существуют разногласия по поводу того, проводят ли раздражение к соответствующим двигательным центрам те же волокна сетчатки, какие служат для раздражения сенсорных зрительных центров, или же двигательный зрачковый рефлекс и в своей центростремительной части обслуживается особыми нервными волокнами. Последнее, повидимому, вероятиее, поскольку наблюдались случаи, когда зрачковый рефлекс вызывался освещением глаза и при атрофии светоощущающих волокон зрительного нерва.

Помимо светового раздражения, прямо воздействующего на данный глаз, зрачок реагирует всегда и на световое раздражение другого глаза.

Ряд других раздражений, воздействующих на наши чувствующие нервы, особенно при достаточной силе этих раздражений, также влечет рефлекторно изменения зрачка. Так, например, от боли, сильного звука, щекотания зрачки расширяются. Равным образом изменения зрачков наступают при многих эмоциях и аффектах. Общеизвестно, например, расширение зрачков от ужаса. Есть, наконец, наблюдения, говорящие в пользу того, что у лиц с достаточно живым воображением достаточно бывает уже одной мысли о ярком

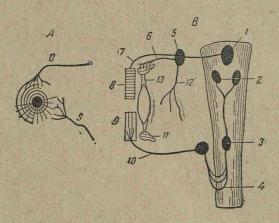


Рис. 49. Схема иннервации аккомодационной мышцы и мышцы радужной оболочки (по Н. Кравкову).

A — радужная оболочка, кольцевые мышцы, иннервируемые глазодвигательным нервом (O), и радиальные мышцы, иннервируемые симпатическим нервом (S). B. I — ядро третьей пары; 2 — центральное начало симпатического нерва; 3 — симпатический нерв в продолговатом мозгу; 4 — волокна симпатического нерва; 5 — ресничный узел; 6 — глазодвигательный нерв, идущий к аккомодационной мышце; 7 — глазодвигательный нерв, идущий к кольцевым мышцам радужной оболочки; 8 — кольцевые мышцы радужной оболочки; 9 — ее радиальные мышцы; 10 — симпатический нерв, идущий к радиальным мышцам радужной оболочки; 11 — аккомодационная мышца; 12 — сосудодвигательные нервы глаза; 13 — цинновы связки.

свете или о темноте, чтобы путем условного рефлекса вызвалось и соответствующее сужение или расширение зрачков. Изменение ширины зрачков происходит, наконец, и при некоторых изменениях химизма крови.

Наибольшее практическое значение имеет для нас, однако, зависимость величины зрачкового отверстия от интенсивности света. Изменение зрачка под влиянием светового раздражения изучалось

различными методами.

Полученные результаты не обладают, однако, достаточной однозначностью. По данным Ривса, при вариации яркости поля, на ко-

торое глаз смотрит, от 0,000001 до 2000 миллиламбертов диаметр зрачка изменяется от 7,4 до 1,8 мм, а площадь его, следовательно (равная  $\pi \cdot r^2$ ), вариирует раз в 20. Так<sup>2</sup>:

Яркость поля (в млб)	Диаметр зрач- ка (в мм)	Яркость поля (в млб)	Диаметр зрач- ка (в мм)
0,000001	7,4	10,0	3,7
0,0001	7,1	55,0	2,9
0,1	6,5	100,0	2,6
1,0	4,7	2000,0	1,8

Приведенные цифры относятся к тому случаю, когда действию света подвергались оба глаза. В случае же, когда один глаз был закрыт, сужение зрачка в другом, раздражающемся глазе оказывалось несколько меньшим.

По Шредеру и Кувре, диаметр зрачка вариирует в значительно меньших пределах: 4,3 — 3,0 мм (по Шредеру) и 5,5 — 2,4 мм (по Кувре). Соответственно площадь зрачкового отверстия меняется все-

го в 2-5 раз.

Ближайшее рассмотрение методики опытов Шредера и Кувре позволяет думать, что малый размах размеров зрачка, найденный ими, объясняется именно особенностями их методики и не соответствует истинному. Большую работу по определению величины зрачка как в зависимости от яркости, так и в зависимости от угловой величины светового раздражителя произвел в Государственном оптическом институте недавно Пинегин. Он пользовался фотографическим методом, тщательно учитывая возможные источники ошибок. Оказалось прежде всего, что диаметр зрачка обычно колеблется на 5-20% своего среднего размера, хотя бы световой раздражитель и оставался постоянным. Намечается два типа людей по особенностям их зрачковой реакции: І тип — с более значительной реакцией зрачка на свет и II тип — с заметно меньшей чувствительностью зрачка к свету. Пинегин высказывает допущение, что у лиц I типа превалирует парасимпатический тонус, а у лиц II типа симпатический. Зрачок уменьшается также при увеличении углового размера светового раздражителя. Это уменьшение идет сперва быстро. затем (начиная с углового размера светового раздражителя, равного приблизительно 1,5°) очень медленно. У лиц I типа реакция значительнее, чем у лиц, относящихся ко 11 типу. На рис. 50 приведены найденные Пинегиным величины диаметра зрачка D (на ординате в мм) в зависимости от яркости и углового размера светового раздражителя. По абсциссе отложены логарифмы яркостей, выраженных

 $<sup>^1</sup>$  Миллиламберт — мера яркости, равен 0,001 ламберта; 1 ламберт есть яркость поверхности, посылающий нам в глаз по перпендикулярному к поверхности направлению 1 люмен с 1 см² или =  $\frac{1}{3,4}$  см²; приблизительно, миллилам-

берт соответствует яркости белой поверхности, освещенной 10 метросвечами.  $^2$  Цифры эти показывают уже реальную величину зрачка, а не его несколько увеличенное изображение, получающееся при фотографировании.

в стильбах1. У каждой из кривых показан соответствующий угловой размер светового раздражителя. По Лауренсу, зрачковый рефлекс определяется именно яркостью, а не цветностью светового

раздражителя.

Следует иметь в виду также зависимость зрачкового отверстия от степени аккомодации и конвергенции глаз. Иннервируясь, как мы видели выше, одним и тем же нервом, все эти реакции глаза являются обычно друг с другом связанными. В частности, усиление аккомодации и конвергенции влечет за собой сужение зрачка, ослабление же их — расширение. Зрачок изменяется также при вариации и одной только аккомодации или одной лиш; конвергенции. В таких слу-

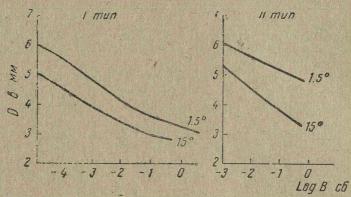


Рис. 50. Зависимость диаметра зрачка от яркости (по Пинегину).

чаях изменение зрачка бывает особенно значительным при слабых яркостях поля зрения, как о том можно судить из нижеследующих данных, специально полученных Кувре, при постоянной яркости поля зрения в 0,05 млб.

При аккомодации (в диоптриях). . Диаметр зрачка (в мм).... 5,1 4,3

При яркости же поля зрения в 20 млб без напряжения аккомодации диаметр зрачка равнялся 2,7 мм, в то время как при акко-

модации в 7 диоптрий он был равен 2,1 мм.

Заслуживает, наконец, внимания и вопрос о скорости реакции зрачка. Здесь оказывается, что при переходе к большей яркости зрачок суживается гораздо быстрее, чем обратно расширяется при попадании в условия меньшей яркости. Так, на рис. 51 приведены данные Ривса, относящиеся к скорости сужения зрачка при переходе из темноты к яркости в 100 млб и скорости его расширения при обратном переходе от такой яркости к темноте (цифры диаметра зрачка даны по ординате без поправки на оптическое увеличение при фотографировании). Сверху показаны секунды, относящиеся к пунктирной кривой, показывающей ход расширения зрачка, снизу —

<sup>1</sup> Стильб есть единица яркости, равная яркости излучения одной свечи с одного квадратного сантиметра (сб =  $\frac{1 \text{св.}}{\text{см}^2}$ ).

секунды, относящиеся к сплошной кривой, показывающей ход сужения зрачка. Как можно видеть, для того чтобы зрачку сузиться до устойчивого уровня, потребовалось около 5 секунд, для обратного же расширения после прекращения светового раздражения пона-

добилось около 3 минут.

Упомянем в заключение, что в случаях, когда почему-либо требуется искусственно вызвать расширение или сужение зрачка, обычно впускают в глаз атропин или гоматропин для расширения зрачков и пилокарпин или физистигмин для их сужения.

### § 5. Прочие объективные реакции глаза на световые раздражения

Ретиномоторные явления. Наряду с рассмотренными ше изменениями аккомодации и зрачкового рефлекса в зрительном аппарате под влиянием све-

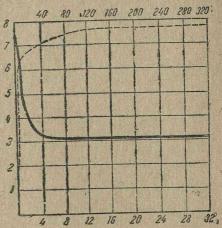


Рис. 51. Ход сужения и расширения зрачка (по Ривсу).

та происходят и другие объективно заметные перемены. При попадании в глаз света у ряда животных (главным образом у холодно-

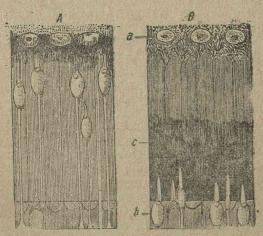


Рис. 52. Передвижение пигмента в сетчатке (по Энгельману).

A — положение пигмента в глазе, адаптированном к темноте; B — положение пигмента в глазе, подвергающемся освещению (свет на рисунке надо мыслить падающим в направлении снизу кверху рисунка).

кровных) наблюдается укорочение колбочек и удлинение палочек благодаря изменениям, происходящим в их внутренних члениках. У высших животных передвижение палочек и колбочек бывает выражено гораздо слабее, чем у рыб и амфибий. Происходит ли оно и у человека, еще не вполне установлено. Равным образом нельзя сказать ничего определенного и о значении для зрения подобных изменений в сетчатке.

Болль и Кюне наблюдали, что при воздействии света в сетчатке происходит еще передвижение навстречу свету темного пиг-

мента, находящегося в клетках пигментного эпителия. Передвигаясь к внешней пограничной мембране по специальным отросткам, идущим от пигментного эпителия, пигмент при длящемся световом раздражения

заполняет собой все пространства между палочками и колбочками. Для перехода пигмента в его крайнее световое положение требуется в зависимости от интенсивности раздражения иногда до 1 часа и более. На рассматриваемую реакцию пигмента наибольшее влияние оказывают лучи сине-фиолетовой половины спектра. Передвижение пигмента вызывается и рефлекторно освещением другого глаза, а также и некоторыми температурными и осязательными раздражениями. Не без влияния на него оказывается и раздражение шейного симпатического узла (Куватов и др.). На рис. 52 показано «темновое» (А) и «световое» (В) положение пигмента в сетчатке лягушки. Подобного рода перемещения пигмента также наиболее заметны и изучены у холоднокровных животных. У млекопитающих же они бывают выражены гораздо меньше, а некоторыми исследователями само существование здесь передвижения пигмента даже вовсе отрицается.

Выцветание и регенерация зрительного пурпура. При воздействии света на глаз происходят заметные изменения в зрительном пурпуре сетчатки. Вопрос о зрительном пурпуре впервые был поставлен Генрихом Мюллером (1851). Он отметил, что палочки лягушачьей сетчатки имеют порой красный цвет. Болль (1876) первый установил, что красный цвет сетчатки лягушек может изменяться под влиянием освещения — выцветать. Кюне (1878), наконец, впервые подверг это светочувствительное вещество сетчатки — зрительный пурпур или родопсин — тщательному экспериментальному изучению. Свойства зрительного пурпура у различных животных (в том числе и у человека) изучались затем рядом авторов [Кениг, Кеттген и Абельсдорф (1896), Тренделенбург (1904), Гартен (1906)]. В последние десять лет интерес к этой проблеме вновь усилился, и о реакциях в зрительном пурпуре появился ряд работ, главным образом английских и американских авторов (Литго, Тэнсли, Гехт, Уолд, Чэз и др.).

Картина изменений в зрительном пурпуре, рисуемая современными исследованиями, подтверждает в основном то, что было описано впервые Кюне. Под влиянием света зрительный пурпур выцветает. Выцветание зрительного пурпура можно наблюдать как на самой сетчатке, только что вынутой из глаза, бывшего долгое время в темноте, так и на выделенном из сетчатки и отдельно собранном растворе зрительного пурпура. В сетчатке зрительный пурпур выцветает лишь на тех местах, на которые падает свет. Поэтому, если отбросить на сетчатку неподвижного глаза животного, долго находившегося в темноте, изображение какого-нибудь предмета, например, светлого окна с темным переплетом рам, а затем осторожно выделить сетчатку, то можно видеть на ней изображение окна светлым на пурпурном фоне. Подобного рода оптограммы и получал Кюне.

Для получения раствора зрительного пурпура поступают следующим образом. Осторожно выделяют сетчатку из глаза, чтобы при этом по возможности не захватывать вместе и пигментного эпителия, промывают ее в физиологическом растворе и центрифугируют. Затем жидкость удаляют и сетчатку помещают в 3-4% раствор желчнокислых солей, взбалтывают и оставляют на некоторое время в этом растворе. Зрительный пурпур в нем растворяется. Дальнейшее центрифугирование и удаление посторонних примесей позволяет получить чистый раствор зрительного пурпура. Выделение зрительного пурпура возможно также 2% раствором дигитонина или панакстоксина.

В согласии с данными Кюне и Гартена многие современные авторы, как-то Литго, Уолд, Чэз, нашли, что зрительный пурпур лягушки в процессе своего выцветания сперва становится желтым (стадия так называемого «зрительного желтого») и лишь затем вовсе обесцвечивается (стадия «зрительного белого»). По Литго же (1937), стадии зрительного желтого предшествует еще стадия преходящего оранжевого. Пожелтение зрительного пурпура в ходе его выцветания при этом не есть просто этап побледнения. Гартен (1906—1907) специальными спектрофотографическими опытами показал, что в стадии зрительного желтого для лучей синих и фиолетовых, как у сетчаток, так и у растворов зрительного пурпура, наблюдается не уменьшение, а увеличение поглощения по сравнению с имевшимся вначале освещения. То же подтвердил спектрофотометрическим методом в более недавнее время Чэз (1936). Таким образом, стадия зрительного желтого есть стадия образования из зрительного пурпура некоторого нового вещества. Зрительный пурпур, чтобы превратиться в зрительное желтое (по Литго, в «преходящее оранжевое»), требует освещения; при достаточном освещении зрительный пурпур превращается в зрительное желтое и будучи заморожен. Дальнейшая же реакция обесцвечивания (переход от зрительного желтого к бесцветному зрительному белому) требует, однако, уже определенной температуры. Как то пишет Уолд (1934), «побледнение зрительного желтого идет одинаково хорошо как на свету, так и в темноте, хотя в последнем случае наблюдается и некоторая регенерация зрительного пурпура. При нуле же градусов по Цельсию процесс этот бесконечно замедляется, даже и на ярком солнечном свете». В силу подобного рода экспериментальных данных многие авторы (Литго, Уолд, . Чэз) и полагают, что выцветание зрительного пурпура включает в себя реакции двоякого характера: начальную — фотохимическую и последующую — термическую. Необходимо, однако, здесь указать, что многие из исследователей в отличие от Кюне, Гартена и только что упомянутых новейших авторов не находили в ходе выцветания зрительного пурпура стадии оранжевого или желтого. К числу таких исследователей относятся Кеттген и Абельсдорф, Тренделенбург. Нетрудно понять, что признание или непризнание образования зрительного желтого в ходе выцветания зрительного пурпура должно существенно менять наши представления о характере химических реакций сетчатки, протекающих при действии света на глаз. Выше мы уже видели, что для авторов, находивших стадию желтого, процесс выцветания зрительного пурпура в одной своей части является чисто фотохимическим (и почти не зависящим от температуры), в другой же своей части как раз определяется термически и может протекать даже и в отсутствии света.

Чем же можно объяснить разногласие между авторитетными исследователями по вопросу о существовании зрительного желтого? Известный ответ на это дает в своей работе Чэз (1936). Ему удалось показать, что появление или непоявление зрительного желтого в процессе выцветания раствора зрительного пурпура зависит от концентрации водородных ионов в этом растворе, т. е. от степени его кислотности. В более кислотных растворах наблюдается появле-

ние ст адии зрительного желтого, в менее же кислотных она не обнаружив ается. Зрительное желтое является, таким образом, показателем большей или меньшей кислотности раствора, почему оно и называется некоторыми (Литго) «индикатор желтое». Кроме различной концентрации водородных ионов, влияет на появление или непоявление зрительного желтого из зрительного пурпура, например, у лягушек, также и время года (возможно через посредство витамина А).

Вместе с тем мы должны признать, что наличие зрительного желтого в опытах одних авторов и отсутствие этой стадии по наблюдениям других исследователей отнюдь еще не говорит о неправоте тех или других, но коренится в большой сложности всех тех условий, от которых зависит картина выцветания зрительного пурпура и кото-

рые остаются еще недостаточно изученными.

Зрительный пурпур, после того как он выцвел до зрительного желтого или совсем до стадии зрительного белого, способен в темноте восстанавливаться, регенерировать. Эта регенерация наблюдалась у лягушки как в изолированных сетчатках, так и в растворах зрительного пурпура. Последний факт, первоначально описанный Кюне, был в недавнее время подтвержден Гехтом (1936) и Литго (1937).

Для восстановления зрительного пурпура в палочках лягушачьей сетчатки требуется, повидимому, контакт сетчатки с клетками пигментного эпителия. При этом образованию зрительного пурпура содействуют именно клетки пигментного эпителия, а не сам пигмент (фусцин). Последний у животных, лишенных пигментации (альбиносов), отсутствует, тем не менее зрительный пурпур у них регенерирует. По наблюдениям Кюне, и восстановление зрительного пурпура в выцветших растворах совершается гораздо интенсивнее, если к такому раствору подбавить экстракт пигментного эпителия. Кюне же было отмечено, что сетчатки, выцветшие в результате сильного и длительного освещения до полного обесцвечивания, при регенерации пурпура не проходят через стадии желтого и оранжевого. Восстанавливающийся же зрительный пурпур сетчатки, выцветшей не вполне, проходит в ходе своего восстановления обе эти стадии. Последний процесс восстановления зрительного пурпура Кюне назвал анагенезом<sup>1</sup>, в отличие от первого случая, обозначаемого им как/неогенез2. В процессе анагенеза принимают участие продукты распада зрительного пурпура, в неогенезе пурпур образуется не из продуктов распада, а из новых материалов. Анагенез протекает гораздо быстрее неогенеза. Повышение температуры ускоряет восстановление зрительного пурпура.

Необходимо, однако, иметь в виду, что регенерация зрительного пурпура у млекопитающих животных и человека требует для своего осуществления, как весьма вероятно, не совсем тех же условий, что сетчатки лягушки. Так, Тэнсли (1933), например, на сетчатках крыс и собак не удалось наблюдать регенерации зрительного пурпура, если только нарушалось нормальное кровоснабжение сетчаток. Вос-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> По-гречески — возрождение. <sup>2</sup> По-гречески — новорождение.

становление же зрительного пурпура в сетчатке, выделенной из

лягушачьего глаза, есть факт, не подлежащий сомнению.

Зрительный пурпур и процессы, в нем протекающие, приобретают для нас особый интерес в силу того, что между изменениями зри-

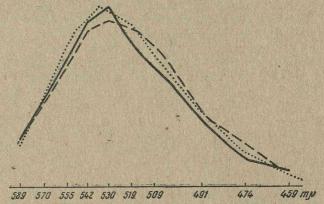


Рис. 53. Кривые относительной яркости лучей спектра, поглощения зрительного пурпура и скорости его выцветания (по Кеттген и Абельсдорф, Тренделенбургу и Шатерникову).

тельного пурпура и нашими зрительными ощущениями обнаруживается замечательная связь. Оказывается, что в условиях так назы-

ваемого сумеречного зрения (т.е. зрения при слабом свете, когда мы цветов не различаем) отдельные монохроматические лучи спектра кажутся нам ярче, чем больше эти лучи поглощаются зрительным пурпуром и чем быстрее зрительный пурпур от них выцветает. На рис. 53 приведены (по данным Кеттген и Абельсдорф, Шатерникова и Тренделенбурга) три кривые, одна из которых (сплошная линия) обозначает величины относительной яркости отдельных спектральных лучей при

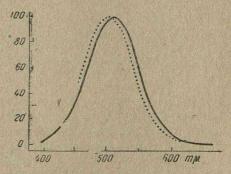


Рис. 54. Кривая относительной яркости спектра и кривая поглощения в зрительном пурпуре (по Гехту и Вильямсу).

сумеречном зрении, другая (пунктир) — величины поглощения зрительным пурпуром тех же лучей, третья (штрихами) — величины, характеризующие скорость выцветания зрительного пурпура в этих лучах. Кривые относятся к дисперсионному спектру лампы Нернста.

Как мы видим, все три кривые обнаруживают большое сходство. Определение кривой относительной яркости спектральных лучей при сумеречном зрении было проведено затем на 48 лицах Гехтом и Вильямсом (1922). Сопоставление этой кривой с кривой, найденной Кеттген и Абельсдорф, для поглощения спектральных лучей в зрительном пурпуре обезьяны и кролика дано на рис. 54.

Сплошной линией проведена кривая относительной яркости, пунктирной — кривая поглощения. По ординате отложены относительные величины, по абсциссе — длины волн различных лучей спектра с равномерным распределением энергии. Кривые, как опять видим, весьма близки одна к другой, имеют одинаковый характер, но несколько смещены друг относительно друга. Максимум относительной яркости приходится около 508 тр, в то время как максимум поглощения лежит около 500—502 тр. Если же кривую относительной яркости отнести не к спектру с равномерным распределением энергии, а к спектру, каждый участок которого посылает в глаз одинаковое количество световых квант (т. е. к спектру равноквантовому), то максимумы обеих кривых в пределах ошибок наблюдения совпадают (близ 502 тр) (Дартнолл и Гудив, 1937). Имеется, правда, все же некоторое расхождение кривых в сине-фиолетовом конце спектра; относительная яркость сине-фиолетовых лучей оказывается слишком маленькой. Это обстоятельство, вероятнее всего, надо объяснять поглощением сине-фиолетовых лучей в глазных средах еще до зрительного пурпура. Факт соответствия между поглощением лучей зрительным пурпуром и их относительной яркостью в условиях сумеречного зрения остается одним из наиболее принципиально важных и интересных фактов физиологии зрения.

Не удивительно поэтому, что биохимические исследования последнего времени стремились ближе подойти к анализу зрительного пурпура и процессов, связанных с его выцветанием. По данным Уолда (1934—1936), молекула зрительного пурпура представляет собой протеин, связанный с каротином¹. Под влиянием освещения она распадается на протеин и каротин, названный Уолдом ретинином. Эта стадия фотохимического распада соответствует зрительному желтому. Дальше — уже термическим путем — зрительное желтое переходит в бесцветное зрительное белое; в растворе, полученном из сетчаток, выцветших до такого зрительного белого, Уолд вместо ретинина находил уже витамин А. Весь цикл распада и образования зрительного пурпура в сетчатке лягушки, по Уолду, рисуется, таким образом, схематически таким, как то показано на рис. 55.

Краузе и Сидуэлл (1938), исследуя растворы бычачьего пурпура на разных этапах их выцветания, не смогли, однако, обнаружить витамина А ни в самом зрительном пурпуре, ни в продуктах его распада. Такое различие опытных результатов требует еще своего объяснения. Едва ли, однако, можно в настоящее время отрицать связь зрительного пурпура с витамином А. Опыты Тэнсли определенно показали, что у крыс, находящихся на диете, лишенной витамина А, концентрация зрительного пурпура оказывается значительно меньшей, чем концентрация его в сетчатке крыс, получающих в пище витамин А. Ряд наблюдений [Кравков и Семеновская (1934), Гехт (1938) и др.] над нарушениями сумеречного зрения человека при недостатке витамина А (о чем у нас еще будет речь ниже) также говорит за существование подобной связи. Опыты Ямамото (1938) над

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Каротин — желто-оранжевый пигмент, являющийся по современным биохимическим представлениям провитамином А.

кроликами подтвердили утверждение Уолда относительно наличия витамина A в выцветшем зрительном пурпуре. По Рачевскому (1938), по содержанию витамина A сетчатка стоит на первом месте после печени.

Заслуживают внимания, наконец, интересные данные сравнительно недавних опытов Чэза (1937) касательно влияния длины световой волны на выцветание и последующее восстановление чувствительности зрительного пурпура. Так, на растворах зрительного пурпура зимних лягушек им наблюдалось, что после полного выцветания от освещения синими лучами зрительный пурпур регенерирует быстрее, чем после столь же полного выцветания от лучей желтых.

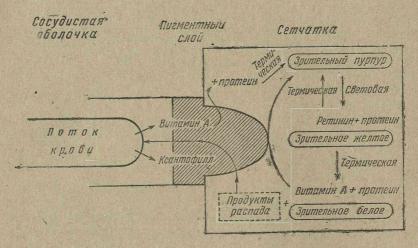


Рис. 55. Цикл зрительного пурпура (по Уолду).

В соответствии с этим могут быть поставлены наблюдения, описанные Ефимовым. Ефимов нашел, что нарастание световой чувствительности человеческого глаза ускоряется, если после предшествующего более сильного светового раздражения подвергать глаза слабому синему освещению. Повторение экспериментов Ефимова (в частности, производившееся в нашей лаборатории) позволило, однако, констатировать подобное «сенсибилизирующее» действие синего света лишь у отдельных, единичных, лиц, у большинства же испытуемых его не наблюдалось. Поэтому этот интересный вопрос следует признать еще ждущим разрешения.

Фотохимические изменения в колбочках. Кроме выцветания зрительного пурпура, в глазе под влиянием света происходят и другие фотохимические процессы. Так, Штудниц (1932, 1937) в экстрактах сетчатки черепах, лишенных зрительного пурпура, наблюдал процессы выцветания с максимумом выцветания, лежащим в желтооранжевой части спектра (между 550 и 600 mp). Это дало основание Штудницу говорить о существовании особого светочувствительного вещества и в колбочках. При распаде этого вещества

образуется фосфорная кислота. Желто-оранжевые лучи (560— 585 тр) вызывают при этом наибольшее окисление сетчатки (Штудниц, 1937). Изменение щелочной реакции сетчатки после освещения на кислотную было найдено впервые Ходиным (1877) и позже подтверждено Ангелуччи. Появление фосфорной кислоты в сетчатке при освещении было описано и Огуши (1938). Уолд (1937) установил присутствие светочувствительного вещества в сетчатке цыплят, содержащей преимущественно колбочки. Максимум поглощения этого вещества, названного Уолдом иодопсином, лежит около 580 тм. Существование светочувствительного вещества в колбочках сетчаток у черепах и жаб и отличие этого вещества от зрительного пура утверждают на основании своих опытов Хосайя, Окита и Акуне (1938). Чэз (1938), наконец, нашел, что экстракты лягушачьей сетчатки и при освещении их крайними красными лучами (зрительный пурпур не разлагающими) все же выцветают, причем выцветание это дает иную картину поглощения, чем зрительный пурпур. Все эти данные носят еще достаточно предварительный характер, но все же говорят за то, что не только в палочках, но и в колбочках сетчатки имеется вещество или несколько реагирующих на свет.

Флюоресценция. Упомянем здесь кратко и о том, что под влиянием ультрафиолетовых лучей сетчатка флюоресцирует зеленоватобелесым светом. Гельмгольц наблюдал это на сетчатке человека, Сеченов — на сетчатках кроличьего и бычьего глаз, Кюне —на сетчат-

ках лягушки.

Гуморальные реакции. В связи с общефизиологическими проблемами последнего времени специально с вопросом о гуморальных влияниях нервного возбуждения возник интерес и к тому, не имеет ли своего гуморального эффекта и раздражение органа зрения. Есть основания ответить на этот вопрос положительно. Под влиянием светового раздражения глаза могут появиться вещества, влияющие гуморальным путем на вегетативную нервную систему. Так, Меркуловым (1920) описаны опыты с воздействием на изолированные органы (сердце, желудок) рингеровского раствора, в котором находились освещенные сетчатки лягушки, и рингеровского раствора, в котором лежали темновые сетчатки лягушек. Меркулов наблюдал, что первый раствор действовал подобно раздражению симпатического нерва (симпатикотропно-сердечные сокращения усиливал), второй же, «темновой» рингеровский раствор оказывал действие, подобное раздражению парасимпатической нервной системы (ваготропно-сердечные сокращения угнетал). Энгельгарт (1931) нашел, что освещение глаз вызывает у кроликов появление в жидкости передней камеры глаза вещества, действующего ваготропно. Изменения в пигментных меланофорных клетках лягушки происходят в зависимости от освещения ее глаз. При этом такое влияние с глаз осуществляется лишь в том случае, если у животного цел гипофиз. Экстракт лягушки, подвергавшейся световому раздражению, будучи впрыснут лягушке, находящейся в темноте, вызывает у нее тот же меланофорный эффект (изменение цвета кожи), что и световое раздражение глаз (Коллен и Роденвальд, Жанделиз). Паркер и др. могли

установить, что световые раздражения влияют на половую сферу и, в частности, вызывают увеличение веса яичника у хорьков. У животных с удаленным гипофизом подобное влияние отсутствует. Таким образом, приходится признать, что зрительные раздражения, помимо своего специального, могут оказывать и общий физиологический эффект. Влияние через посредство гипофиза оказывается возможным благодаря тому, что возбуждение зрительного нерва распространяется и на центры гипоталамической области мозга, откуда доходит уже и до гипофиза. Последний отвечает выделением пигментного гормона — так называемого интермедина (Коллен, Жорес). Есть указания на то, что интермедин в свою очередь может повышать световую чувствительность глаза (Скардацционе, 1938).

Электрические изменения в органе зрения. Объективными реакциями глаза на свет служат, далее, различные электрические явления в зрительном аппарате. И в отсутствии какого-либо светового раздражения между многими участками органа зрения можно констатировать наличие разности потенциалов, так называемый ток покоя. Так, еще Дю Буа Реймон в 1849 г. нашел, что если приложить неполяризующиеся электроды к роговице и к зрительному нерву только что вынутого лягушачьего глаза и включить в цепь достаточно чувствительный гальванометр, то можно констатировать тока, идущего от роговицы к нерву. То же самое наблюдается, если производить опыт с изолированной сетчаткой. Тогда один электрод соединяют с внутренней стороной ее (слоем нервных волокон), а другой — с внешней (т. е. слоем палочек и колбочек). Отрицательно заряженным оказывается слой палочек и колбочек. При освещении сетчатки наличная разность потенциалов претерпевает изменения возникает так называемый ток действия. Токи действия, возникающие под влиянием светового раздражения, могут быть отводимы от разных мест зрительного аппарата — от сетчатки, волокон зрительного нерва, коры головного мозга. Для записи этих токов действия применяются в настоящее время чувствительные гальванометры и осцилографы с усилителями. Начатое шведским исследователем Гольмгреном изучение токов действия сетчатки нашло дальнейшее развитие в работах целого ряда позднейших авторов (Дьюар и Мак Кендрик, Эйнтховен, Пипер, Кольрауш, Шэфи, Бови и Хэмпсон, Хартлайн, Сакс, в последнее время Гранит с сотрудниками и др.; у нас в Союзе, Шпильберг). В качестве типичной электроретинограммы можно привести кривые рис. 56, относящиеся к глазу кошки. При воздействии света на глаз имеющийся ток покоя сетчатки сперва обычно на момент ослабевает (точка a кривой рисунка), затем быстро возрастает, давая острый максимум (b), затем снижается вновь, после чего опять уже медленно растет до пологого максимума (с). При прекращении светового раздражения наблюдается кратковременное усиление тока (d, так называемый «off-effect» — эффект выключения).

Следуя Пиперу, Гранит толкует электроретинограмму как результат наложения трех более простых токов — компонентов, ее образующих. Эти три возможные компонента электроретинограммы изображены на рис. 56 пунктирными линиями и обозначены римскими цифрами *I, II* и *III*. По Граниту, эти отдельные компоненты

могут быть раздельно выключены путем применения различного рода воздействий на подопытное животное (эфирный наркоз, асфиксия). Эфирный наркоз устраняет раньше всего компонент *I*, затем *II*; компонент *III* оказывается самым устойчивым. Асфиксия

(удушье) действует избирательно на компонент II.

Из кривых видно, что компоненты *I* и *II* выражают усиление тока, кривая же компонента *III* — его ослабление. Поскольку же ток идет в цепи от роговицы к сетчатке (которая заряжена отрицательно), усиление тока обозначает увеличение негативности сетчатки, ослабление же его, напротив, — уменьшение этой негативности. Из физиологии же нервной системы известно, что возрастание негативности клетки по отношению к нервному волокну соответствует повышению возбуждения. Поэтому компоненты *I* и *II* можно рассматривать как показатели повышения возбуждения, компонент же *III* — как пока-

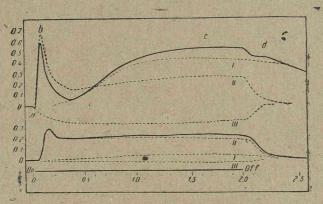


Рис. 56. Электроретинограммы и их анализ (по Пиперу и Граниту).

затель процессов, ослабляющих возбуждение, иначе говоря, про-

цессов тормозных.

В зависимости от большей или меньшей выраженности компонента *III* Гранит находит возможным говорить о двух типах сетчаток: сетчатках тормозных (I-сетчатки) и сетчатках возбудимых

(Е-сетчатки).

Фрелих в своих опытах над электрическими токами в сетчатке осьминога наблюдал существование постоянных слабых колебаний тока в течение всей реакции. В условиях его опыта число таких слабых осцилляций тока в секунду колебалось от 17 до 100, причем оно оказалось, по его мнению, зависящим как от интенсивности раздражителя, так и от длины волны.

Интерес представляет возможность привести в связь особенности электроретинограммы с некоторыми закономерностями физиологии зрения, установленными другими методами. Так, оказалось, что высота максимума b в ретинограмме лягушки (см. выше рис. 55) стоит в прямом соответствии с кажущейся яркостью тех или иных лучей спектра для человеческого глаза. При этом, если глаз лягушки был в темноте, получается кривая, соответствующая относитель-

ной яркости лучей при сумеречном зрении (кривые a и a', рис. 57); после же пребывания лягушки в условиях яркого света кривая высот волны b в ретинограмме соответствует зрению дневному (кривая b, рис. 57). Приведенные на рисунке две кривые a и a', относящиеся к одним и тем же условиям опыта, характеризуют возможные отклонения отдельных данных.

Величина волны b в ретинограмме увеличивается вместе с накоплением в сетчатке зрительного пурпура. Поэтому по мере пребы-

вания глаз в темноте высота волны в электроретинограмме растет, несмотря на то, что применяемый световой раздражитель остается тем же самым. Гранит, Мунстерхельм и Цеви (1939) показали, правда, что нарастание электрического эффекта сетчатки (волны в) наблюдается в ходе темновой адаптации лишь после того, как концентрация зрительного пурпура достигла приблизительно 50% своего максимума. Поэтому электрический эффект сетчатки определяется, видимо, не прямо распадом зрительного пурпура.

Если при прочих равных условиях увеличивать яркость светового раздражителя, высота волны b также делается все

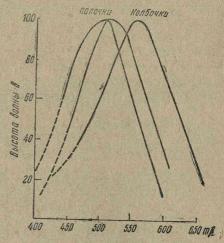


Рис. 57. Кривые сумеречного и дневного зрения для b волны в электроретинограмме (по Граниту и Вреде).

больше и больше. Однако величина тока действия сетчатки нарастает значительно медленнее, чем интенсивность раздражителя. Здесь

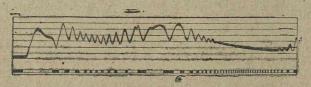


Рис. 58. Электроретинограмма лягушки при прерывистом раздражении (по Граниту и Ридел).

в достаточно широких пределах соблюдается закон Вебера-Фехнера, по которому эффект раздражения (в данном случае величина тока действия) растет, как логарифм интенсивности раздражителя.

При освещении сетчатки прерывистым светом кривая ретинограммы также обнаруживает соответственные колебания. На рис. 58 приведена иллюстрирующая это электроретинограмма лягушачьего глаза. Вспышки и затемнения светового раздражителя показаны прерывистой линией внизу. Вопрос о влиянии цветности раздражителя на форму электроретинограммы, по данным Кольрауша, решается утвердительно. Чем короче длина волны раздражающего света, тем

выраженнее бывает в ретинограмме отрицательная фаза и, следова-

тельно, «эффект выключения».

Кольраушем и его сотрудниками, а у нас в Союзе — Шпильберг проводились опыты с записью токов действия сетчатки и живого человеческого глаза.

Применявшаяся здесь методика состояла в наложении одного неполяризующегося электрода на роговицу, а другого — на висок или в рот подопытного лица и в замыкании образуемой таким образом цепи через чувствительный гальванометр. Получающиеся электроретинограммы обнаружили форму, подобную той, которая была установлена ранее исследователями при изучении токов действия сетчатки других позвоночных. При усилении интенсивности светового раздражения возрастает уровень колебаний потенциала и укорачивается время их наступления. Увеличение площади раздражения на сетчатке влияет при этом в известных пределах так же, как увеличение интенсивности его. Исследование токов действия, вызываемых

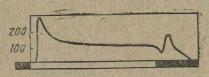


Рис. 59. Число импульсов в секунду в зрительном нерве угря. Длительность раздражения обозначена по абсциссе белым (по Эдриану и Мэтьюс).

световым раздражителем красного цвета, показало, что у протанопов («краснослепых») красный свет вызывает меньший электродвигательный эффект, чем у лиц с нормальным цветоощущением. Все относящиеся к электрофизиологии человеческого зрения вопросы, однако, требуют еще дальнейшего тщательного изучения и анализа.

Если отводить ток от зрительного нерва, прилагая электроды к двум его точкам, то при раздражении глаза светом в зрительном нерве возникают серии колебаний электрического потенциала. Исследования Эдриана и Мэтьюс на зрительном нерве угря показали, что повышение интенсивности светового раздражителя сказывается учащением колебаний потенциала в неврограмме, иначе говоря, импульсы, пробегающие по нерву, становятся более частыми. Такой же эффект вызывает и увеличение площади раздражителя. Если теперь раздражитель постоянной силы более или менее длительно действует на глаз, частота импульсов, идущих по зрительному нерву, не остается постоянной. Вначале частота импульсов заметно возрастает, проходит через максимум, после чего начинает уменьшаться. Вслед за прекращением раздражения наблюдается вновь кратковременный подъем частоты импульсов (соответственно «эффекту выключения» в ретинограмме). На рис. 59 и приведена такая кривая частоты импульсов в зависимости от времени действия раздражителя.

Исследования Хартлайна (1938) над отдельными волокнами оптического нерва лягушки обнаружили, что одни волокна реагируют током действия только на момент включения светового раздражителя, другие, напротив, только на прекращение света, третьи же отвечают на длящееся световое раздражение. Дальнейшие анализы в этом направлении, несомненно, будут весьма важны для толкования тех электрограмм, которые остаются пока еще во многом неразъ-

ясненными.

Попытки связать картины ретинограммы и неврограммы позволили Граниту считать, что учащение импульсов в нерве идет параллельно с выраженностью компонента *II* в ретинограмме. Уменьшение же числа импульсов, пробегающих по нерву, соответствует в ре-

тинограмме усилению III — тормозного компонента.

Токи действия можно отводить, наконец, и от зрительной области коры головного мозга. Исследования, проведенные здесь многими авторами (Фишер, Дюруп и Фессар, Джерард, Маршалл и Саул, Эльза Клаэс, Ливанов, Богословский, Шпильберг, Беритов и др.), установили, что зрительные раздражения изменяют спонтанную активность коры, нарушая имеющиеся здесь ритмы колебаний электрического потенциала. Так, установлено, например, что освещение глаз ведет к исчезновению в энцефалограмме так называемых волн Бергера

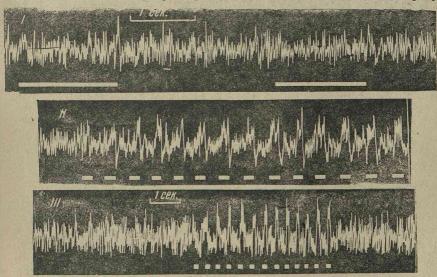


Рис. 60. Энцефалограмма при прерывистом световом раздражении (по Клаэс).

(волн с периодом около 0,1 секунды), с другой стороны, периодические освещения глаза могут создать в энцефалограмме свой ритм, соответствующий перерывам светового раздражителя (рис. 60). При некоторых условиях на энцефалограмме можно наблюдать и эффекты «включения» и «выключения» светового раздражителя. На рис. 61 приведены одновременные записи ретинограммы и энцефалограммы кошки, полученные Эльзой Клаэс (1939).

Митогенетическое излучение. Возможен, наконец, подход к изучению объективных реакций глаза на свет и путем исследования тех митогенетических излучений, которые происходят в различных частях зрительного аппарата. Митогенетические лучи, открытые Гурвичем, являются, как известно, ультрафиолетовыми лучами (с длинами волны приблизительно 190—250 mp), излучаемыми живыми тканями при тех или иных происходящих в них химических процессах. Лучи эти, падая на клетки, могут ускорять процесс клеточного

деления (митоз), почему и названы лучами митогенетическими. Излучение специально с зрительных участков нервной системы изучалось Анной Гурвич (1935) на лягушке. По ее наблюдениям, при освещении глаз лягушки появляется излучение митогенетических лучей как с самого зрительного нерва, так и с зрительных бугров и с полушарий мозга. При затемнении глаз эти излучения прекращаются. Анне Гурвич удалось установить и зависимость распределения и спектрального состава возникающего здесь митогенетического излучения от характера зрительного раздражения. Так, по данным ее опытов, спектральный состав митогенетических лучей, излучаемых полушариями лягушки, оказывается различным при освещении ее глаз зеленым, синим или красным светом. Контрольные опыты при







Рис. 61. Ретинограмма и энцефалограмма кошки, полученные одновременно при световом раздражении (по Клаэс).

этом показали, что эти различия обусловливаются именно цветностью, а не яркостью применявшихся световых раздражений.

Всем описанным выше в этой главе в сущности исчерпываются те главнейшие реакции глаза на раздражения, ко-

торые мы можем установить, наблюдать и изучать чисто объективным путем.

Но совершенно очевидно, что ценность глаза как органа зрения для каждого из нас заключается не в этих реакциях, а в том, что глаз позволяет нам видеть свет, цвета и пространственные соотношения. Все же вышеописанное должно дать нам материал для объяснения такого видения. К ознакомлению с тем, как наш глаз видит свет и цвета, мы теперь и перейдем.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

# 88 1-2

Helmholtz H. V., Handbuch physiol. Opt., 3. Aufl., Bd. I, 1905. — Schubert J., Pfl. Arch, Bd. 215—216, 1927. — Jourievitch S., C. r. Acad. sci. Paris, t. 187, p. 1161, 1928; t. 188, p. 937, 1929. — Maddox E., Die Motilitätsstörungen des Auges, Leipzig, 1902. — Riley H., Arch. ophth., v. 4, 1930. — Fingham E., Amer.: j. physiol. opt., Oct. 1926. — Tscherning M., H. v. Helmholtz et la thèorie de l'accommodation, Paris, 1909. — Tscherning M., V. 11, 1928. — Donders, Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges, Wien, 1888. — Angelucci et Aubert H., Pfl. Arch., Bd. 22, 1860. — Laurance L. a. Wood O., Amer. j. physiol. opt., January 1925. — Dittler R., Bethes Handbuch der Physiologie, Bd. XII, T. 1, 1929. — Pfugk A. v., Report of a joint discussion on vision, Cambridge, 1932. — Byrne J., Studies on the physiology of the eye, London, 1933. — Cogan D., Arch. ophth., v. 18, 1927. — Лазарев П. П., Известия Физического g a n D., Arch. ophth., v. 18, 1927. — Лазарев П. П., Известия Физического института, т. І, в. 2, 1920.

Maddox E., Die Motilittässtörungen des Auges, Leipzig, 1902. - Bestor H. M., Amer. j. physiol. opt., p. 228, April 1923. - Wey mouth F., Brust Ph. a. Gobar F., Amer. j. physiol. opt., April 1925. — Biclschowsky A., Methoden zur Untersuchung des binocularen Sehens und des Augenbewegungsapparat, Abderhaldens Handbuch biol. Arbeitsmeth., Lief. 168, 1925. — Бонвеч Э. С., К вопросу о функциональной недостаточности двигательных мышц глаза в связи с аномалиями рефракции и некоторыми другими условиями. Дисс., СПБ., 1909. — Белов Д., Материал к учению об условиях динамического равновесия наружных и внутренних прямых мышц в глазах различной рефракции. Дисс., СПБ, 1881.

#### § 4

C o q u e M., Introduction to the study of the anatomy and physiology of the eye, p. 274, London. — S h a s t i d T h., Pupillary phenomena, Amer. j. physiol. opt., April 1923. — R e e v e s P., Journ. Opt. soc. Amer., v. 4, 1920. — R e e v e s P., Psych. rev., v. 25, 1918. — C o u v r e u x I., C. r. Acad. sci. Paris, t. 178, 1924. — C o u v r e u x I., C. r. Acad. sci. Paris, t. 178, 1924. — S c h r o e d e r H., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 57, S. 195, 1926. — P i e r o n H., L'annee psychologique, v. 25, p. 487, 1924. — H o I I a d a y L., J. Opt. soc. Amer., v. 12, 1926. — A b e l s d o r f G. u. F e i l c h e n f e l d H., Zschr. Psych., Bd. 34, 1904. — L a u r e n s H., Amer. j. physiol., v. 64, 1923. — S t i l e s W. S. a. C r a w f o r d B. N., Proc. Roy. soc. Lond., ser. B, v. 112, No. 778, 1933. — П и н е г и н С. И., Труды 1-й конференции по физиологической оптике, 1936.

#### § 5

Trendelenburg W., Erg. Physiol., Bd. XI, 1911. — Garten S., Graefe-Saemisches Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Bd. 3, 1907. — Dittler R., Bethe's Handbuch der Physiologie, Bd. XII, 1929. — Herzog H., Engelmanns Arch. Physiol., 1905. — Jamanka T., Klin. Mschr Augenhk., Bd. 73, 1924. — Arey L., Sci., v. 42, 1915. — Batschwarowa S., Graefes Arch. Ophth., Bd. 116, 1926. — Boll F., Zur Anatomie und Physiologie der Retina, Ber. K. Akad. Wiss., Berlin, 1876. — Hecht S., J. gen. physiol., v. 3, 1920; v. 3, 1921; Handbook gen. exp. psychol.; 1943; Nat. acad. sci. USA, v. 20, 1934; Sci. v. 84, 1936; v. 85, 1937; Physiol. rev. v. 17, 1937; Sci. v. 87, 1938. v. 20, 1934; Sci., v. 84, 1936; v. 85, 1937; Physiol. rev., v. 17, 1937; Sci., v. 87, 1938, v. 88, 1938; Proc. Nat. acad. sci. USA, v. 24, 1938. — Lythgoe R. a. Tansley K., J. physiol., v. 68, 1929. — Tansley K., Proc. Roy. soc., London, ser. B, No. 114, 1933; Brit. j. ophth., September 1936; Biochem. journ., v. 30, 1936.-LythgoeR., Proc. Roy. soc., London, ser. B, No. 816, 1936; ser. A, No. 887. 1936; Trans. Ophth. soc., v. 57, 1937; J. physiol., v. 89, 1937. — Lasareff., Theorie ionique de l'excitation des tissus vivants, p. 90, Paris, 1928. — Lasar e f f P., Rècherchès zur la theorie ionique de l'excitation, Moscou, 1918.— C oque M., op. cit., p. 239. — Wald G., Natu, v. 132, p. 316, 1933; v, 134, p. 65, 1934; J. gen. physiol., v. 19, 1936; Nature, v. 140, 1937.— C hase. A. Journ. gen. physiol., v. 19, 1936; Sci., v. 85, 1937; J. gen. physiol., v. 21, 1938; Sci., v. 87, 1938. — Hoso ya J., Pfl. Arch., Bd. 233, 1934; Tohoku j. exp. med., v. 34, 1938.— Krause A. Ameria physiol. v. 121, 1938. — Wang a model. H. Cit. 751 Krause A., Amer. j. physiol., v. 121, 1938. — Wamamoto H., Cit. Zbl, ges. Ophth., Bd. 43, 1939. — Dartnall H. a. Goodeve C. Nature, v. 139, 1937. — Dart nall H., Goodeve C. a. Lythgoe K., Proc. Roy soc., London, ser. A, No. 164, 1938. — Schneider E., Goodeve C. a. Lythgoe R., Proc. Roy soc., London, ser. A, No. 170, 1939. — Studnitz G.v., Pf. Arch., Bd. 238, Bd. 239, 1937. — Angeluci, Encicl. ophth., v. 2, 1905. — Oguchi T., cit. Zbl. ges. Ophth., Bd. 42, 1938. — Suellmann H., Biochemie des Auges, Ophthalmologica, v. 96, 1938. — Grant R., Process of adaptation in the control of the control tation in the vertebrate retina in the light of recent photochemical and electrophysiological research, Documenta ophthalmologica, v. 1, 1938. — Helmholtz H., v., Pogg. Ann. d. Physik, Bd. 94, 1855. — Setschenow J., Arch. Ophth, N., Pogg. Ann. d. Physik, Bd. 94, 1855. — Setschen ow J., Arch. Ophth, Bd. 5, 1859. — Merkulow J., Versammlung deutscher Naturforscher u. Aerzte, Hamburg, 1928; Klin. Wschr., Nr 47. — Engelhart E., Ptl. Arch., Bd. 227, 1931. — Jean delize P., Bruxelles mèdical, v. 16, 1936. — Jean delize P. et Drouet, L'oeil et l'hypophyse, XV Concilium ophtalmologicum Resumès, Le Caire, 1937. — Jores A., Klin. Wschr., Nr. 20, 1938. — Scardaccione M., Boll. ocul., v. 17, 1938; — Bois-Reymond E., Untersuchungen über tierische Elektrizität, Bd. 2, 1849. — Holmgren F., Untersuchungen a. d. Physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg, Bd. 3, 1880. — C h a f f e e E., B o v i e W. a. H a m p s o n A., Amer. j. physiol. opt., April 1925. — C h a f f e e E. a. H a m p s o n A., J. Opt. soc. Amer., v. 9, 1924. — P i p e r H., Engelmanns Archiv f. Physiologie, Suppl. Bd. 133, 1905. — F r o e l i c h F., Grundzüge einer Lehre vom Licht und Farbensinn, Jena, 1921. — B r o s s a A. u. K o h l r a u s c h A., Zbl. Physiol., Bd. 27, Nr. 14, 1913; Bd. 28, Nr. 3, 1914. — K o h l r a u s c h A., Zbl. Physiol., Bd. 28, Nr. 3, 1914. — A d r i a n E. a. M a t t h e w s R., J. physiol., v. 63, No. 4, 1927. — H a r t l i n e H. K., J. gen. physiol., v. 13, No. 3, 1930; Amer. j. physiol., v. 121, 1938. — K o h l r a u s c h A., Bethes Handbuch der Physiologie, Bd. XII, T. 2, 1931. — S a c h s E., Klin. Wschr., Jg. 8, Nr. 3, 1929. — G r o e p p e l F., H a a s F. u. K o h l r a u s c h A., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 67, 1938. — G r a n i t R., Die Elektrophysiologie der Netzhaut und des Schnerven, Copenhagen, 1936. — W r i g h t W. a. G r a n i t R., On some correlation of sensory and electrophysiological phenomena of vision, Brit. journ. ophth. Monogr. Suppl. 9, London, 1938. — T h e r m a n P., Neurophysiology of retina, Acta Soc. sci. Fenn., Helsingfors, 1938. — B a r t l e y S., Journ. cell. a. comp. physiol., v. 96, 1936. — G r a n i t R., M u n s t e r h j e l m A. a. L e w i M., J. physiol., v. 96, 1936. — G r a n i t R., M u n s t e r h j e l m A. a. L e w i M., J. physiol., v. 96, 1939. — C l a e s E l s a, Arch. int. physiol., v. 48, fasc. 2, 1939. — III п и л ь б е p r П. И., Токи действия глаза человека, «Проблемы физиол. оптики», Изд. Ак. наук,т. II, 1944. — A n d o g s k y N., Graefes Archiv, Bd. 44, 1897. — K y B a r o B Г. Г. и Р о б и н з о н И. А., Архив биологических наук, 1935. — К ю н е В., Химические процессы в сетчатой оболочке. См. Л. Г е р м а н н, Руководство к физиологичи, т. 3, СПБ, 1887. — I a з а р е в, П. П., Основы учения о химическом действии света, II, 1919. — E ф и м о в В.

#### ГЛАВА III

# основы свето- и цветоощущения

# § 1. Физические основы ощущения света и цвета

Обычным раздражителем глаза, вызывающим у нас те или иные зрительные ощущения, является свет. Установленным является то, что свет есть некоторое изменение электромагнитного состояния среды. Это изменение носит периодический характер и распространяется в «пустом» пространстве со скоростью 300 000 км в секунду. Электромагнитными волнами являются, как мы знаем, и волны беспроволочной телеграфии, радио, волны тепловые, исходящие от нагретых тел (инфракрасные лучи), лучи ультрафиолетовые и так называемые гамма-лучи, излучаемые радием. От всех этих видов электромагнитных волн световые волны, видимые нашим глазом, отличаются лишь длиной своей волны.

По представлениям современной физики излучение световой энергии, а также и поглощение ее какими-либо телами происходит не непрерывно, а скачкообразно, некоторыми определенными порциями энергии — квантами, фотонами<sup>1</sup>. Получаемые и поглощаемые количества лучистой энергии по своей величине всегда кратны этим квантам. (По М. Планку квант равен произведению hv, где v есть число колебаний световой волны в секунду, а h есть некоторая постоянная

 $=6,55 \cdot 10^{-27}$  эрга в секунду).

Таким образом, чем больше у, т. е. чем короче длина волны, тем больше энергия соответствующего светового кванта, и наоборот.

Обычно глаз ощущает как свет электромагнитные волны длиной приблизительно от 396 mp до 760 mp. Однако при специальных, благоприятных условиях эти границы значительно расширяются, и нашей сетчаткой могут быть видимы и излучения как более длинноволновые— до 835—860 mp — так и более коротковолновые — до 313 mp (Зайдеманн, 1933, Гудив, 1934). Недавно выполненное специальное исследование Пенегина (1941, 1944) показало, что предел видности для нормального глаза доходит даже до 302 mp. Глаз же афакический (т. е. лишенный хрусталика) в состоянии видеть ультрафиолетовые лучи до 290 mp и даже оказывается способен читать при ультрафиолетовом

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Термин «фотон» употребляется и в другом смысле, обозначая единицу освещенности на сетчатке. В последнем смысле фотоном называется освещенность на сетчатке, имеющаяся в том случае, когда глаз через зрачок площадью в 1 мм<sup>2</sup> смотрит на повержность, яркость которой равняется 1 свече с 1 м<sup>2</sup>.

освещении в лучах с длинами волн короче 350 mp (Бергмейстер, 1935). Примерное соотношение между длинами световых волн и теми цветами, которые ими вызываются, показано в ниже приводимой таблице.

Фраунгофе- рова линия	Длина волны в тµ	Цвет	Наиболее подходящая крас- ка для изображения этого цвета
<b>A</b>	760	Крайний красный	Темнокоричнево-
В -	687	Красный	Кармин в порошке
C	656	Оранжевато-красный	Киноварь
D	589	Оранжевый Золотисто-желтый Чистый желтый Желтовато-зеленый	Сурик Желтый кадмий Желтый хром Желто-зеленая киноварь
E	527	Чистый зеленый	Швейнфуртская зелень
. b	517	Голубовато-зеленый	Ярь-медянка или изу- мрудно-зеленая с ко- бальтом
F	486	Голубой	Берлинская лазурь
G	430	Индиго синий	Ультрамарин
Н	397	Фиолетовый	Анилиновая фиолетовая

При суммарном смешении в глазе всех световых волн, содержащихся в солнечном спектре, мы, как известно, получаем впечатление белого цвета. Для того же чтобы мы ощутили оттенок какого-нибудь из вышеназванных цветов (красный, голубой и т. п.), необходимо, чтобы на сетчатку воздействовали не все имеющиеся в солнечном спектре световые волны, но лишь некоторые или же если и все, то не в таком соотношении их энергий, какое имеется в солнечном свете. Когда солнечный луч, проходя через стеклянную призму, разлагается на составляющие его лучи волн разной длины и дает нам на экране, поставленном за призмой, полосу спектра, мы от каждого освещенного места этого экрана получаем в качестве раздражителя световые волны лишь одной определенной длины. Поэтому-то мы и видим разноцветную полосу. Прозрачные тела кажутся нам цветными лишь в том случае, когда волны различной длины проходят сквозь них не в одинаковой мере, но одни поглощаются больше, чем другие. Физическим условием того, чтобы какое-нибудь непрозрачное тело служило цветовым раздражителем нашего глаза, является неодинаковое («избирательное») поглощение этим телом волн разной длины. Вследствие такого избирательного поглощения не все лучи, составляющие белый свет, одинаково отражаются данным телом, и,следовательно, не все лучи, входящие в белый свет, в одинаковой мере попадают к нам в глаз. Спектр отражения данного тела и характеризует то, какие лучи и в какой мере

Кроме световых лучей, являющихся обычными и нормальными раздражителями глаза, зрительные ощущения могут быть вызваны и раздражителями иного рода, например, электрическим током, меха-

ническим давлением, колебаниями магнитного поля.

# § 2. Основные характеристики всякого цвета

Выше мы уже видели, что характер возникающего у нас зрительного ощущения зависит от того, какова длина световой волны, воздействующей на глаз. В случае, если мы имеем дело не с монохроматическим раздражителем, а с таким, который содержит в себе лучи разной длины волны, цвет зависит от того, каково соотношение интенсивности этих различных попадающих в глаз лучей.

Все множество цветовых ощущений удобно подразделить прежде всего на две группы. В первую войдут все серые цвета вместе с белым и черным цветом. Это — цвета ахроматические<sup>1</sup>. Вторую группу составят все прочие цвета. Их обозначают как цвета хроматические. Нетрудно видеть, что все ахроматические цвета можно представить себе расположенными на прямой, идущей от одного конца, соответствующего белому цвету, к другому концу, соответствующему черному цвету. Любой ахроматический цвет всегда найдет себе место в том или ином пункте этой прямой или ближе к белому (если это цвет серый) или, наоборот, ближе к черному концу прямой (если это цвет темносерый.) Всякое изменение ахроматического цвета может быть лишь перемещением цвета по этой мыслимой прямой или в сторону

белого, или в сторону черного.

Подобного рода изменение (посветление или потемнение) есть изменение по яркости или относительной яркости — светлоте, т. е. по большей или меньшей близости к белому. Сложнее обстоит дело, если мы обращаемся к цветам хроматическим. Эти последние также отличаются друг от друга по светлоте. Так, желтый светлее красного, синий менее светел, чем оранжевый, и т. д. Однако взаимные различия хроматических цветов этим не исчерпываются. Наряду со светлотой хроматические цвета характеризуются еще двумя переменными: цветовым тоном и насыщенностью. Под цветовым тоном мы понимаем в цветовом ощущении то, что отличает данный цвет от серого цвета той же светлоты; иначе можно сказать, что цветовой тон есть то в цветовом впечатлении, благодаря чему мы можем отнести данное впечатление по сходству к тому или иному участку спектра или к цветам пурпуровым. Различия, обозначаемые такими словами, как красный, зеленый, желтоватый, синеватый и т. п., являются различиями по цветовому тону. Из данного определения следует, что цвета ахроматические цветового тона не имеют, ибо они от серых ничем не отличаются, будучи сами серыми (белому же и черному никакой серый по светлоте не соответствует). Насыщенность, наконец, есть видимая степень отличия цвета от одинакового с ним по светлоте серого цвета или видимая степень заметности цветового тона в данном впечатлении. Так, например, цвета могут иметь один и тот же цветовой тон и одну и ту же светлоту и, несмотря на это, все же отличаться друг от друга именно по большей или меньшей цветности (или, что то же, по меньшей или большей серости) каждого из них. Имея в виду подобное различие, мы скажем, например, что цвет апельсина есть цвет более насыщенный, чем цвет песка, цвет кумача насыщеннее цвета кирпича и т. п.

 $<sup>^{1}</sup>$  От греческих слов «а» — отрицание, и «хрома» — краска пвета, «некрасочные».

Обычно видимые нами хроматические цвета изменяются не по одной, а сразу по двум или по всем трем из этих своих основных характеристик: становясь светлее, цвет становится в то же время и менее насыщенным и часто при этом изменяет несколько и свой цветовой тон и т. д. Однако возможны (в известных пределах) изменения наших цветовых ощущений и только по одному какому-нибудь из вышеуказанных направлений с сохранением прочих двух характеристик постоянными. Нижеследующий простой опыт может это наглядно иллюстрировать. Составим (как показано на рис. 62) два диска из какогонибудь хроматического цвета:в одном случае (b) с различными по величине секторами совершенно черного цвета, в другом (a) — с такими

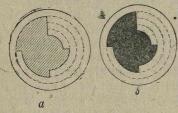


Рис. 62. Максвелловские диски для иллюстрации изменения цвета по насыщенности (a) и по светлоте (b).

же секторами серого цвета, равного по светлоте со взятым хроматическим цветом, а затем приведем оба эти диска во вращение. В таком случае на диске а мы получим градацию цветов, различающихся только по насыщенности, а на диске b— градацию цветов, различающихся только по светлоте.

Указывая точно цветовой тон, светлоту и насыщенность цвета, мы совершенно однозначно обозначим цвет. В этом смысле эти три характеристики и сле-

дует считать основными характеристиками всякого хроматического цвета <sup>1</sup>.

Характеристика цветового впечатления значительно осложняется в том случае, когда мы имеем дело не с ощущением, но с более сложными актами восприятия цветов окружающих предметов.

# § 3. Чувствительность глаза к разным лучам спектра

Первый факт, заслуживающий здесь внимания, — это факт неодинаковой чувствительности нашего глаза к разным цветам. Цвета спектра кажутся неодинаковыми по своей яркости; самым светлым мы видим цвет желтый, в обе же стороны от него — к красному и фиолетовому концам спектра — яркость спадает.

Если бы мы задались намерением сделать все цвета спектра субъективно равно яркими, то физическую энергию желтых лучей потребовалось бы значительно ослабить за счет увеличения интенсивности всех прочих лучей, особенно же красных и фиолетовых. Величина,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Здесь следует указать, что в обыденных характеристиках цветов в содержание признака насыщенности вкладывается требование не только достаточной цветности, но в то же время и достаточной светлоты. Наряду с другими авторами мы считаем правильным называть эту характеристику цветового впечатления, которая имеется в виду в подобных суждениях обыденной жизни, «интенсивностью цвета», или «полноцветностью». Эта интенсивность цвета, или полноцветность, будет, таким образом, одновременно функцией и насыщенности, и светлоты. Вычисление величины ее предполагает поэтому предварительное знание числовых величин светлоты и насыщенности. Ср. у Брюкке (Physiologie der Farben, 1886): «цвет мы считаем интенсивным в случае, если он насыщен и в то же время достаточно светел».

обратная той интенсивности лучистой энергии, которая требуется для вызывания у нас впечатления некоторой определенной яркости, и характеризует чувствительность нашего глаза к лучам данной длины волны или, как говорят, еще видность К (visibility), или же относительную яркость или светлоту этих лучей. Определение кривой видности различных длин волн производилось многими авторами посредством различных приемов.

На основании данных исследования большого числа лиц Международной осветительной комиссией (1924) приняты величины относительной видности разных монохроматических лучей, приведенные

ниже и относящиеся к дневному зрению.

Наряду с относительными значениями видности различных монохроматических лучей ниже приводятся и абсолютные значения ее (в люменах 1 с ватта).

Длина волны в тр	Видность соответ- ствующих лучей в относительных величинах	Видность соответ- ствующих лучей в абсолютных ве- личинах (в люме- нах с ватта)	Длина волны в тр	Видность соответ- ствующих лучей в относительных величинах	Видность соответ- ствующих лучей в абсолютных ве- личинах (в люме- нах с ватта)
400 420 440 460 480 500 520 540 560 580	0,004 0,004 0,023 0,060 0,139 0,323 0,710 0,954 0,995 0,870	0,25 2,48 14,26 37,2 86,3 200,3 440,6 593,0 617,5 539,4	600 620 640 660 680 700 720 740 760	0,631 0,381 0,175 0,061 0,017 0,0041 0,0010 0,00025 0,00006	391,2 235,6 105,4 37,8 9,9 2,48 0,62 0,15 0,04

Эта международно принятая кривая видности имеет максимум в желтой области спектра около 555 т.ч. Недавние измерения Аридта (1936) и затем — более полные — Федоровых (1936) показали, однако, что если ограничиваться полем зрения, не превосходящим размеров центральной ямки сетчатки (не превосходящим 1,5°), и при этом производить опыты в условиях адаптации глаз к свету, то кривая видности оказывается несколько иной: ее максимум приходится уже на 565 тр.

Эксперименты Яинского (Jainski, 1938), проведенные на 60 испытуемых, также показали смещение максимума кривой видности к 565 ше. Однако этот автор не находит возможным объяснять это величиной поля зрения, которое в его опытах равнялось  $1,2^{\circ}$ , а не  $2^{\circ}$ , как в опытах, лежащих в основе международно принятой кривой. Подобная разница в величине поля зрения, повидимому, не является решающим фактором, влияющим на смещение максимума кривой к большим длинам волн.

Стерадианом же называется единица телесного угла, равная телесному углу, вырезающему из сферической поверхности радиуса в 1 м поверхность, равную

1 м2. Ватт — мера мощности.

<sup>1</sup> Люмен — единица светового потока. Люмен равен световому потоку, испускаемому внутри телесного угла, равного стерадиану, точечным источником света в 1 международную свечу.

Интересное предположение о зависимости кривой цветовой чувствительности глаза от времени года было высказано недавно Престоном и затем экспериментально подтверждено Дреслером (1939). Оказывается, что в летние месяцы относительная чувствительность глаза к зеленым лучам спектра (и, следовательно, видность этих лучей) бывает больше, чем в зимние месяцы. Так, например, видность оранжевато-желтых лучей (589 mµ) к видности лучей зеленых (546 mµ), по Дреслеру, относится в июне как 0,816, а в ноябре как 0,861. Несомненно, это обстоятельство может обусловливать то различие в положении максимума кривой видности спектральных лучей, которое наблюдалось исследователями.

Дальнейший вопрос, почему летом чувствительность к зеленому оказывается относительно большей, пока еще остается неразрешенным. Возможно, что известный свет прольют здесь найденные нами (и описываемые ниже в главе VI, § 9) факты зависимости цветного зрения

от состояния вегетативной нервной системы.

Совсем иные соотношения видности лучей волн различной длины получаются в случае, если мы производим сравнение цветов при настолько малой интенсивности света, что самые цветовые тона нами уже не различаются (как то бывает, например, в сумерки или на рассвете). Относительные значения видности различных монохроматических лучей, полученные в условиях подобного сумеречного зрения, приведены ниже (по данным Гехта и Вильямса, полученным в результате обследования 48 лиц).

$$\lambda = 412 \quad 455 \quad 486 \quad 496 \quad 507 \quad 518 \quad 529 \quad 540 \quad 550 \quad 582 \quad 613$$
  
 $K = 0,063 \quad 0,399 \quad 0,834 \quad 0,939 \quad 0,993 \quad 0,973 \quad 0,911 \quad 0,788 \quad 0,556 \quad 0,178 \quad 0,027$ 

Максимум лежит здесь уже в зеленых лучах около 510 mp и близок к максимуму поглощения света зрительным пурпуром. Общая форма кривой, сохраняя тот же вид, что и для зрения дневного, оказывается сдвинутой на 46—50 mp в сторону коротких длин волн.

Попытка связать чувствительность сумеречного зрения с кванто-

вым характером света осуществлена недавно Вавиловым.

С точки зрения современной физики свет излучается отдельными фотонами (квантами) неравномерно. По закону случайности из источника вылетает то больше фотонов, то меньше. Поэтому при кратковременных вспышках очень слабого по яркости и очень небольшого по площади светового пятна вспышки света будут не всегда замечаться глазом.

Частота их заметности или вероятность их видения будет зависеть, очевидно, от среднего количества (n) фотонов, излучаемых данным источником, и от того количества их  $(n_o)$ , которое необходимо для возбуждения зрительного нерва. Теоретическая вероятность видения вспышки, по Вавилову, выражается формулой:

$$w = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_o}{2}} \cdot \frac{(1-x)}{x}$$

где w — вероятность и  $x=\frac{n}{n_o}$ , т. е. величина, пропорциональная интенсив-

ности света. После того как опыт показал, что эта формула удовлетворительно оправдывается экспериментально, Вавилов стал применять в качестве раз-

дражителей различные монохроматические лучи. Сообразно с этим он получил для w прямые с разным наклоном по отношению к оси абсцисс. Как можно видеть из формулы, наклон определяется величиной  $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{n_o}{2}}$ , т. е. величи-

ной порогового количества фотонов  $(n_o)$ . Отсюда и являлась возможность определить эту величину порога (u, c), следовательно, обратную ей величину чувствительности глаза) для различных монохроматических раздражителей.

Оказалось, что определенная таким оригинальным методом кривая чувствительности сумеречного зрения дает очень хорошее совпадение с ранее установленной кривой чувствительности сумеречного зрения (с максимумом около 510 mµ). Существенно новым, однако, оказалось наличие в кривой второго максимума чувствительности в области ультрафиолетовых лучей (около 380 mµ). Наличие второго максимума чувствительности для сумеречного зрения в ультрафиолетовых лучах было найдено затем и Пинегиным (1941). Гудив, Литго и Шнейдер (1942) соответственно с этим нашли, что зрительный пурпур обнаруживает второй максимум поглощения в ультрафиолетовой части спектра (близ 365 mµ).

# § 4. Двойственность нашего зрительного аппарата

На рис. 63 изображены кривые чувствительности глаза в условиях дневного зрения D (по данным, принятым Бюро стандартов)

и чувствительности глаза в условиях зрения сумеречного С (по данным Гехта и Вильямса). Пунктиром на том же рисунке приведена кривая чувствительности глаза в условиях сумеречного зрения по отношению к лучам ультрафиолетовым (согласно данным Вавилова).

Из кривых легко видеть, что в условиях сумеречного зрения цвета красно-оранжевой части спектра оказываются относительно более темными; цвета же зелено-синей области спектра, напротив, становятся относительно более светлыми. Это перемещение места наибольшей светлоты в направлении от красного конца спектра к синему известно

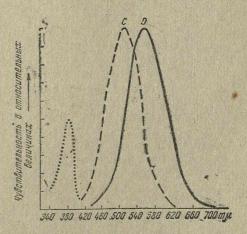


Рис. 63. Кривые чувствительности глаза при дневном (D) и сумеречном (C) зрении.

в науке под названием явления Пуркинье в честь чешского ученого Пуркинье, впервые установившего этот факт. Хорошим примером, иллюстрирующим явление Пуркинье, может служить пример со сравнением светлоты двух таких всем хорошо известных цветков, как красный мак и синий василек. Днем, в условиях цветного зрения, они кажутся по своей светлоте очень близкими друг к другу. Стоит, однако, наступить сумеркам, как красный мак начинает казаться нам почти

черным, гораздо более темным, чем василек, становящийся при этих условиях светлосерым. Это же самое можно хорошо наблюдать и на разноцветных узорах ковров: в сумерки, при значительном ослаблении света, все голубовато-зеленые части рисунка выделяются как заметно более светлые.

В случае чисто фовеального зрения явление Пуркинье обычно не обнаруживается.

Опыты показали далее, что для глаза, находившегося до того в темноте, при постепенном увеличении интенсивности какого-либо цветного раздражителя сперва возникает ощущение ахроматического цвета и лишь затем при дальнейшем усилении раздражения начинает ощущаться тот или иной хроматический цвет. Подобный ахроматический интервал отсутствует, однако, для раздражения крайними красными лучами.

Хроматические цвета мы лучше всего различаем центром сетчатки, боковыми же частями способны видеть и оценивать хроматические цвета весьма плохо. С другой стороны, чувствительность к весьма слабому световому раздражению больше, наоборот, не в центральной ямке сетчатки, а в несколько периферических ее местах. В этом обстоятельстве легко убедиться, если посмотреть, например, ночью на переплет оконных рам: на фоне темного ночного неба при смотрении на окно прямо он не выделяется, но вырисовывается достаточно заметно, если несколько скосить глаза.

Подобные факты, наряду с некоторыми другими, о которых скажем ниже, и дали основание теории двойственности нашего зрения. Согласно этой теории, впервые высказанной Шульце (1866), затем развитой Воиновым (1874) и Парино (1881), Крисом (1894) и в настоящее время почти общепринятой, палочки и колбочки сетчатки являются двумя особыми аппаратами нашего зрения. Палочки служат для получения только ахроматических впечатлений, колбочки же дают нам и ощущения хроматические. Палочки сетчатки — носители «сумеречного» зрения, зрения при слабых интенсивностях раздражений. Колбочки — носители «дневного», или «цветного», зрения. Колбочки способны давать хроматические ощущения, но менее чувствительны к световым раздражителям, чем палочки. Поэтому-то мы и видим слабый свет центром сетчатки, где палочек нет или их крайне мало, хуже, чем боковыми местами ее. Этим же можно объяснить и отсутствие явления Пуркинье при раздражении чисто фовеальной зоны сетчатки. В периферии сетчатки колбочек меньше, чем в центре. Этим объясняется то, что боковые части сетчатки хуже различают хроматические оттенки. Далее, есть животные по преимуществу дневные (например, куры, голуби) и, напротив, животные ночные (например, совы, летучие мыши). Естественно думать, что зрение первых приспособлено к большим яркостям света, зрение же вторых — лишь к слабым освещениям. Рассмотрение анатомического строения сетчаток этих животных показывает, что, как это и должно было быть по теории двойственности, сетчатки дневных животных имеют только колбочки (или почти

<sup>1</sup> Т. е: когда раздражение падает лишь на fovea centralis.

только колбочки), в сетчатках же ночных животных, напротив, мы

находим лишь палочки (или почти одни палочки).

Чрезвычайно важным подтверждением теории двойственности служит далее факт очень близкого совпадения кривой видности, или светлоты, полученной для сумеречного зрения, с кривой поглощения света зрительным пурпуром и с кривой скорости выцветания зрительного пурпура в лучах волн разной длины. Все эти кривые приведены выше, в главе II (рис. 53). Известны, наконец, случаи врожденной полной цветовой слепоты. Страдающие ею лица различают все цвета лишь по светлоте, как это имеет место у нас в условиях сумеречного зрения. Кривая видности, полученная для таких лиц, оказывается совпадающей с кривой видности нормального глаза в условиях ахроматического, сумеречного зрения. С точки зрения теории двойственности, подобные случаи цветной слепоты, оказывается, легко понять как случаи нефункционирования у больных аппарата цветного зрения — колбочек, при сохранении лишь аппарата сумеречного видения — палочек.

В недавние годы теория двойственности нашего зрения подверглась, однако, критике со стороны французской исследовательницы Верье (1936, 1938). Ею подчеркивалось то, что палочки и колбочки не являются двумя резко морфологически различными образованиями; существует в животном мире ряд переходных, промежуточных форм концевых аппаратов зрительного нерва. Кроме того, длинные или тонкие колбочки центральной части нашей сетчатки морфологически не отличаются от палочек в периферии ее. Гистология показывает, далее, что и у ночных животных имеются в сетчатке колбочки, и, наоборот, сетчатки животных дневных не оказываются совершенно лишенными палочек. Несмотря на правильность подобных замечаний, едва ли следует все же отвергать в настоящее время теорию двойственности.

Выше мы уже видели, что кривая чувствительности глаза при сумеречном зрении совпадает с поглощением различных лучей в зрительном пурпуре; исследования Тэнсли (1933) над сетчатками крыс и собак показали, что зрительный пурпур присутствует в сетчатке лишь в наружных члениках палочек и возникает эмбриологически вместе с образованием наружных члеников палочек¹; недостаток витамина А сказывается одновременно и на развитии этого элемента палочек, и на присутствии зрительного пурпура. Приводившиеся выше (в гл. I) гистологические данные Естерберга показывают, что распределение палочек на сетчатке человека таково, что количество их на единице поверхности оказывается наибольшим как раз в тех местах, которые обладают и наибольшей чувствительностью при сумеречном зрении. Напомним далее о том (см. гл. II), что под влиянием света палочки и колбочки передвигаются в сетчатке в обратных направлениях (палочки — от света, колбочки — навстречу ему), об-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> «Местонахождение зрительного пурпура везде ограничивается палочковыми цилиндрами; наружные членики колбочек никогда не бывают окрашены» (В. Кюне, Химические процессы в сетчатой оболочке. «Руководство к физиологии» под ред. Л. Германна, т. III, ч. 1, СПБ, стр. 384, 1887).

наруживая, таким образом, явное функциональное различие. Есть, наконец, гистологические данные, установившие тот факт, что в сетчатке человека, страдавшего расстройством сумеречного зрения, имелось ненормально большое количество именно колбочек, занимавших и те участки сетчатки, на которых обычно преобладают палочки

(Лагранж, 1929).

Хеншен на основании гистологического анализа мозговых срезов из зрительной области мозга разных пород обезьян (дневных и ночных) пришел к выводу о существовании различных клеток для светоощущения и для цветоощущения: светоощущающие клетки больше размером, хуже прокрашиваются, ядра их круглы; клетки же цветоощущающие меньше, сильно прокрашиваются и имеют ядра овальной формы.

Вся совокупность подобного рода фактов и служит веским аргу-

ментом, говорящим за правильность теории двойственности.

Возникают вопросы: при каких же условиях у нас функционирует только «палочковое», сумеречное зрение и при каких только «колбочковое», дневное и бывают ли такие исключительные условия? Далее, в каком отношении друг к другу находится функционирование обоих

наших зрительных аппаратов?

Удостовериться в том, что функционирует лишь «палочковый» аппарат глаза, чрезвычайно просто. Для этого нужно лишь убедиться в том, что никаких различий по цветному тону мы не видим и все цвета кажутся нам ахроматическими. На основании опытов Криса (1916), Розенберга (1928) и других наблюдений мы вправе считать, что такое чисто палочковое, сумеречное зрение наблюдается при яркостях, меньших, чем 0,01 люкса<sup>1</sup> на белой поверхности. При яркостях же, больших, чем 14—30 люксов на белой поверхности, мы имеем дело уже почти исключительно с аппаратом колбочек. Впрочем, отрицать вполне участие палочек при смотрении и на большие яркости мы не можем. Известно, что люди, страдающие полной цветовой слепотой, т. е. такие, у которых, согласно теории двойственности, не функционируют колбочки сетчатки, оказываются все же способными видеть и при очень значительном освещении.

Относительно связи между функционированием колбочек и палочек некоторые гипотезы были высказаны Г. Мюллером, а у нас в Союзе

Орбели.

По Мюллеру, функционирующие колбочки препятствуют процессу регенерации зрительного пурпура, тормозят его (так называемое «родогенетическое торможение»). Некоторые позднейшие исследования регенерации зрительного пурпура у лиц, страдающих полной цветовой слепотой, не подтвердили, однако (Кравков, 1927, Барбель, 1938), отправного факта рассуждений Мюллера — не подтвердили того, что у цветнослепых процесс адаптации к темноте является ускоренным.

Орбели по аналогии с некоторыми закономерностями, имеющимися в нашей кожной чувствительности, сделал допущение о существова-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Люкс — единица освещенности, равная освещенности, создаваемой одной международной свечой на поверхности, удаленной от нее на 1 м.

нии реципрокной, взаимноантагонистической зависимости между палочковым и колбочковым аппаратом нашего зрения. Ряд экспериментов, проведенных в его лаборатории Лебединским, Дионесовым и Загорулько, действительно, говорят в пользу подобной гипотезы. Так, ими, например, измерялось время пребывания глаза в темноте, нужное для того, чтобы некоторый свет, действующий на периферическую часть сетчатки и видимый палочковым аппаратом ее, стал впервые заметен. Оказалось, что время это значительно удлиняется, если перед погружением в темноту раздражалась на сетчатке область желтого пятна, в котором сосредоточены по преимуществу колбочки. Если же макулярная область была предварительно экранирована, периферические части сетчатки более быстро восстанавливали свою чувствительность. Раздражение колбочкового центра сетчатки, таким образом, «угнетает» палочковую периферию. Опыты названных выше авторов дают факты, говорящие и о возможности обратного «угнетения» центральной чувствительности раздражением периферии. Опыты Музылева, поставленные затем по сходной же методике в нашей лаборатории, установили, что тормозное действие с центра сетчатки на ее периферию есть, действительно, влияние с колбочкового аппарата на палочковый: у лица, страдавшего полной цветовой слепотой, у которого колбочковый аппарат не функционировал, не удалось наблюдать

и такого тормозного влияния.

При этом данные Музылева, как и ранее полученные данные Лебединского, Дионесова и Загорулько, показывали, что экранирование только фовеальной зоны на времени восстановления чувствительности периферии никак не сказывается. Это обстоятельство, установленное данным методом на ряде лиц, и заставило нас первоначально считать, что тормозное действие при макулярном раздражении исходит не от фовеальных, а от парафовеальных колбочек. Поскольку, однако, невлиятельность центральной ямки, в которой сосредоточено наибольшее количество колбочек, была трудно понятной, Добряковой (1939) в нашей лаборатории были проведены дополнительные новые опыты касательно тормозного действия возбуждения центра сетчатки на чувствительность ее периферии. Опыты были проведены в основном уже по другой методике, отличной от методики Лебединского и Музылева. Определялось не время восстановления чувствительности периферии до заданного уровня, а измерялся порог светоощущения для некоторой периферической точки (лежащей около 9° к носу) посредством адаптометра. В условиях темновой адаптации порог определялся сперва до светового раздражения центральной области сетчатки, а затем через 0,5—1 минуту после такого раздражения. Яркость последнего в отдельных сериях равнялась 200 люксам на белое и 21 000 люксов на белое; размер и место поля раздражения вариировали. Поставленные по такой методике опыты Добряковой обнаружили заторможенность периферии не только после раздражения парафовеальной зоны, но и после раздражения строго фовеальной зоны ее. При этом выяснилось (как для раздражителей яркостью в 200 люксов на белое, так и для раздражений яркостью в 21 000 люксов на белое), что тормозящее действие с центральной ямки оказывается даже максимальным, если соотносить наблюдаемый эффект понижения чувствительности периферии с величиной площади центрального раздраженного участка. То обстоятельство, что факт этот не был обнаружен ни в опытах Лебединского, Дионесова и Загорулько, ни в позднейших опытах Музылева в нашей лаборатории, следует отнести за счет, видимо, недостаточной чувствительности применявшейся ими методики. Действительно, контрольные опыты, ставившиеся Добряковой по этой же методике (отсчета времени восстановления видимости периферической точки после освещения всего поля зрения за вычетом экранируе-

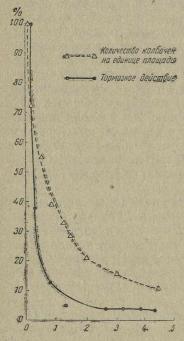


Рис. 64. Тормозное действие отдельных участков центральной области сетчатки на чувствительность периферии (по Добряковой).

мых участков центра сетчатки), вновь дали ту же картину, что наблюдалась и вышеупомянутыми авторами, т.е. раздражение или нераздражение центральной ямки (яркостью около 200 люксов на белое) на времени восстановления видимости периферической точки никак не сказывалось. Методика же адаптометрическая этот эффект торможения с фовеальной зоны хорошо улавливает. На рис. 64 приведены данные опытов Добряковой (сплошной линией) наряду с данными Естерберга, касательно густоты распределения колбочек на сетчатке (пунктирная линия). По абсциссе отложены угловые отстояния от центра центральной ямки в градусах: для сплошной кривой они обозначают средние расстояния центрального раздражителя, по ординате — для той же сплошной кривой отложены относительные величины снижения периферической чувствительности, отнесенные к единице площади раздражения центральной области; для пунктирной кривой ордината обозначает относительную плотность колбочек. Обе кривые, как видим, качественно близки Таким друг к другу. образом, имеем основание подтвердить гипотезу Орбели и утверждать, что возбуждение

колбочкового аппарата влечет за собой понижение возбудимости в аппарате палочковом. Чем больше колбочек возбуждается, тем

больше и этот тормозной эффект.

Замечательное соответствие между процессами выцветания зрительного пурпура в разных монохроматических лучах и нашими ощущениями большей или меньшей яркости этих лучей в условиях сумеречного зрения дает прочное основание считать, что в основе нашего сумеречного зрения лежат фотохимические процессы в зрительном пурпуре. Что касается зрения дневного, зрения колбочкового, то фотохимическую природу его до последних лет допускали лишь по аналогии со зрением палочковым. В настоящее же время после работ Штудница, Уолда и др. (см. гл. II) мы получили уже более конкретные

подтверждения того, что и в колбочках сетчатки при зрении имеет место фотохимический распад какого-то вещества (или нескольких веществ). Вещество это, повидимому, отлично от зрительного пурпура. Вскрыть ближе природу веществ, разлагаемых светом в колбочках нашей сетчатки, есть одна из очередных задач биохимии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

#### § 1-2

Luckiesh L., Colour and its applications, 1921. — Helmholtz H., v., Hdb. physiol. Opt., Bd. 2, 1911. — Saidmann.J., C.r. Acad. sci., v. 196, 1933. — Goodeve C., Nature, September, 1934. — Magnusson C. a. Stevens H., Philos. mag., v. 28, No. 164, 1914. — Nagel W., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 34, 1904. — Report of colorimetry for 1920/21, J. Opt. soc. Amer., v. VI, No. 6, 1922. — Brücke, Physiologie der Farben, 1866. — Parsons I. H., Introduction to the study of colour vision, 1924. — Филиппов Д., Излучение, М., 1922. — Вавилов С. И., Глазисолние, Гиз, 1938. — РихтераЛ., Основы учения о цветах для художника и деятелей художественной промышленности, ОНТИ, 1931. — Алексеев С. С., Элементарный курс цветоведения, М., 1939. — Нюберг Н. Д., Курс цветоведения, М. — Л., 1932.

#### § 3

C o b l e n z W. a. E m e r s o n W., Bull. Bureau of standards, v. 14, 1917. — Colorimetry report, op. cit. — G i b s o n K. a. T y n d a l l E., Scientific papers of the Bureau of stand., Washington, No. 475, 1933. — G i b s o n K., Journ. Opt. soc. Amer., v. 30, 1940. — S c h a t e r n i k o f f M., Zschr. Psych., Bd. 29, 1902. — T r e n d e l e n b u r g W., Zschr. Psych., Bd. 37, 1905. — H e c h t S. a. W i l l i a m s S., J. gen. physiol., v. 5, 1922. — M a l t z e w C., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 43, 1909. — L u d v i g h E., Arch. ophth., v. 20, 1938. — W e a v e r K., J., Opt. soc. Amer., v. 27, 1937. — S l o a n L., Psych. monogr., v. 38, No. 137, 1928. — G a y d o n A., Proc. Phys. soc., v. 50, 1938. — P r e s t o n I., Proc. Phys. soc., v. 50, London, 1939. — G o o d e v e C., L y t h g o e R. a. S c h n e i d e r E., Proc.Roy. Soc., Ser. B, v. 130,1942. — В а в и л о в С. И., Труды l-й конференции по физиологической оптике, 1936. Доклады Академии наук СССР, т. XXI, 1938. — Ф е д о р о в Н. Т. и Ф е д о р о в а В. И., Доклады Академии наук СССР, т. XI, 1936.

#### 8 4

Schultze M., Arch. mikroskop. Anat., Bd. 2, 1866. — Kries J. v., Nagels Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 3, 1905. — Parinaud H., Compt. rend. Ac. sci., v. 93. 1881. La vision, Paris, 1898. — Verrier M., Les yeux et la vision, Paris, 1938. — Lagrange, Bull. Soc. d'opht., N. 8, Paris, 1929. — Tansley K., Proc. Roy. soc. London, Ser. B, v. 114, 1933. — Kries J. v., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 49, 1916. — Müller G. E., Typen der Farbenblindheit, Göttingen, 1924. — Hechts., Photochemical basis of vision, J. applied Phys., v. 9, 1938. — Pieron H., La connaissance et les problèmes de la vision, Paris, 1936. — Барбель И. Э., Вестник офталмологии, т. 13, 1938. — Воинов М. М., К физиологии и аном лиям цветных ощущений, Москва, 1874. — Кравков С. В., Журнал прикладной физики, т. IV, 1927. — Орбели Л. А., Физиологический журнал СССР, т. XVII, 1934. — Загоруль кол. Т., Лебединский журнал СССР, т. XVII, 1934. — Загоруль бологический журнал СССР, т. XVII, 1934, т. XXIII, 1937. — Лебединский А. В., Архив биологических наук, т. XLIX, № 1. — Цыганков В. А., Сборник памяти Павлова, изд. Военномедицинской академии, Л., 1938. — Музылев Ф. И., Вестник офталмологии, т. XII, 1938, Физиологический журнал СССР, т. XXVIII, 1940. — Добряков В. А., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, т. XI, 1941.

7 глаз

#### ГЛАВА IV

#### СВЕТОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

# § 1. Чувствительность глаза и факторы, ее определяющие

Световая чувствительность глаза определяется в физиологической оптике совершенно подобно тому, как в физике определяется чувствительность каких-либо измерительных приборов (например, весов, гальванометра и т. п.). Прибор считается тем чувствительнее, чем на меньшее воздействие он реагирует. Чем меньше груз, уже вызывающий движение весов, чем слабее ток, уже вызывающий смещение стрелки гальванометра, тем больше чувствительность этих инструментов, и наоборот. Применительно к глазу мы совершенно аналогичным образом говорим, что световая чувствительность его высока, если глаз видит очень слабый свет, и, напротив, световая чувствительность признается низкой, если впервые глазом замечается лишь сравнительно сильный свет. Тот минимальный раздражитель, который вызывает световое ощущение, называется раздражителем, соответствующим абсолютному порогу ощущения. Если величину такого порогового раздражителя мы обозначим через I, а чувствительность назовем через E, то количественная характеристика чувствительности

будет даваться формулой  $E=-rac{1}{I}$  . Интенсивность раздражителя I вы-

ражается в тех или иных энергетических единицах (лучистой энергии) или в единицах, пропорциональных энергетическим (единицах яркости, освещенности и т. п.). Если *I* есть величина порога ощущения, то *E* есть величина абсолютной световой чувствительности глаза. Ниже мы будем говорить не только о такой абсолютной световой чувствительности, но и о различительной световой чувствительности глаза, под которой понимается способность глаза видеть различие двух раздражителей. Сперва, однако, мы остановимся на рассмотрении закономерностей абсолютной световой чувствительности глаза.

В предыдущих главах мы видели, что свет, попадая в глаз, поглощается веществами палочек и колбочек и вызывает выцветание этих веществ. Таким образом, для того чтобы под влиянием света возникло возбуждение зрительного нерва и соответствующее световое ощущение, нужно, чтобы в сетчатке имели место определенного рода фотохимические процессы распада молекул светочувствительного вещества. По современным представлениям (Лазарев, Пюттер, Гехт) фотохимический распад светочувствительного вещества ведет к образованию ионов, которые и возбуждают периферическую нервную клетку, от которой возбуждение распространяется уже выше к подкорковым и корковым центрам зрения. Возникает ли у нас световое ощущение или не возникает, зависит в конце концов от того, насколько значительны будут те изменения, которые произойдут в этих корковых зрительных центрах. Нетрудно видеть, что первым условием того, чтобы световой раздражитель вызвал вообще какие-либо изменения в зрительных центрах, является возникновение фотохимических процессов в сетчатке. При одном и том же световом потоке, проникающем в глаз, эти фотохимические процессы будут тем значительнее, чем больше концентрация светочувствительного вещества в сетчатке. Если светочувствительное вещество израсходовано и концентрация его равняется практически нулю, нулевым будет и эффект светового раздражителя. Чувствительность же глаза будет при таких условиях предельно низкой. По мере же увеличения концентрации светочувствительного вещества в сетчатке будет расти и световая чувствительность. Таким образом, одним из факторов, определяющих чувствительность глаза, служит концентрация светочувствительных веществ в сетчатке. Другим, не менее существенным моментом, влияющим на уровень световой чувствительности, является состояние нервных элементов зрительного аппарата (т. е. периферических и центральных нервных клеток и нервных волокон).

Нервный аппарат зрения может обладать в данный момент большей или меньшей возбудимостью, находиться в состоянии большей или

меньшей возбужденности 1.

Таким образом, концентрация светочувствительных веществ и состояние нервной ткани, — вот что определяет собой наличную световую чувствительность глаза. И то, и другое в свою очередь зависит от массы раздражителей, действующих и действовавших на субъекта. Если раздражители прилагаются или прилагались как раз к тому же участку нашего зрительного аппарата, чувствительность которого испытывается, мы говорим о прямых раздражителях. Во всех иных случаях раздражители будут непрямыми, или побочными. Ниже мы и рассмотрим основные закономерности действия на световую чувствительность глаза как прямых, так и побочных раздражителей.

По мере воздействия света на глаз запас светочувствительного вещества (или веществ) сетчатки уменьшается; при погружении глаза в темноту происходит обратный процесс увеличения этого запаса. Соответственно с этим, естественно, должна изменяться и чувствительность глаза, в первом случае понижаясь, во втором — повышаясь. Подобного рода понижение чувствительности глаза при световом раздражении носит название приспособления, или а даптации глаза к свету; увеличение чувствительности по мере пребывания в темноте называется приспособлением глаза к темноте, или темно в ой адап-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Возбудимость и возбужденность следует различать. Под возбужденностью или «возбужденным состоянием» в самом общем смысле понимается определенная совокупность физико-химических изменений, возникающих в нервной ткани под влиянием того или иного раздражителя. Возбудимость же есть способность нервной ткани притти в «возбужденное состояние», есть, так сказать, «степень неуравновешенности» нервной ткани.

тацией глаза. Выйдя из темного помещения на ярко освещенное снежное пространство, мы первое время бываем ослеплены и неспособны различать вокруг какие-либо детали; через некоторое же время наш глаз адаптируется к свету настолько, что уже никакого ослепления не ощущает и прекрасно видит все вокруг. Это — обыденный пример световой адаптации.

# § 2. Темновая адаптация

Примером темновой адаптации является картина постепенного прояснения всего окружающего после того, как попав в слабо освещенное помещение после пребывания на ярком солнце, мы сперва ничего не видим.

Измерение световой чувствительности глаза производится обычно посредством специальных приборов — а д а п т о м е т р о в. Сущность всех таких при-

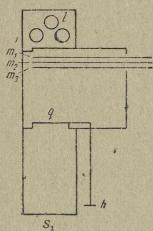


Рис. 65. Схема адаптометра Нагеля.

боров состоит в том, что они дают возможность в широких пределах вариировать интенсивность светового раздражения, действующего на субъекта, количественно учитывая ее. Задача состоит в том, чтобы найти ту минимальную интенсивность, которая вызывает у испытуемого субъекта ощущение света при данных условиях. Сама чувствительность, как уже сказано, определяется как величина, обратная этой минимальной (пороговой) интенсивности раздражителя. Наиболее широко распространенным является адаптометр Нагеля ненным является адаптометр (см. схематический разрез его на рис. 65). Испытуемый должен определить появление света на диске молочного стекла S, который освещается сзади лампами 1. Освещенность молочного диска может меняться, во-первых, вдвиганием и выдвиганием трех затемнителей (экранов с отверстиями)  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ , каждый из которых пропускает лишь  $^{1}/_{20}$  падающего на него света; во-вторых, изменением через посредство ручки h диафрагмы q, площадь которой может вариировать в 10 000 раз. Благодаря всему этому яркость диска S может меняться в 80 миллионов раз.При исследовании на лампах І, разумеется, должно все время поддерживаться одно и то же напря-

жение, для исследуемого же глаза должна быть дана слабая красная фиксационная точка, чтобы раздражение падало всегда на одно место сетчатки. Кроме адаптометра Нагеля, существуют адаптометры и многих других систем (Бирх-Хиршфельда, Неттинга, Лазарева, Дашевского и др.).

Чувствительность глаза (измеряемая как $\frac{1}{I}$ , где I есть интен-

сивность порогового раздражителя), благодаря темновой адаптации, может увеличиваться чрезвычайно значительно, порой более чем в сотни тысяч раз. Например, Нагель описывает рост чувствительности, показанный в таблице на стр. 101.

Увеличение чувствительности идет непрерывно в течение всего времени пребывания в темноте. Ахматовым подобное нарастание чувствительности прослежено в течение 24-часовой темновой адаптации.

Практически, однако, после 60—80-минутного пребывания глаза в темноте его чувствительность можно считать уже установившейся

Время пре- бывания в темноте (в минутах)	Чувствитель- ность в отно- сительных величинах	Время пре- бывания в темноте (в минутах)	Чувствитель- ность в от- носительных величинах
0,5	20	26	94 700
4	75	31	174 000
9	1850	39	195 000
14	10 400	51	208 000
19	26 000	61	215 000
23	69 500	_	

на более или менее постоянном уровне. Дальнейшее увеличение ее совершается сравнительно весьма медленно. Особенно резкое повышение чувствительности падает на первые полчаса темновой адаптации.

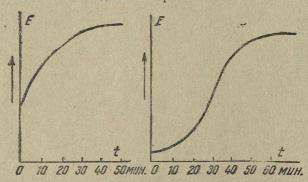


Рис. 66. Типичные кривые темновой адаптации.

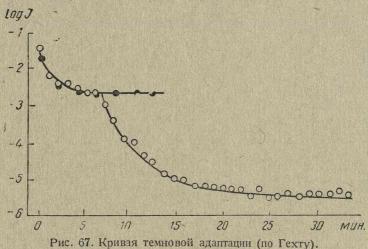
Типичными кривыми темновой адаптации, показывающими ход нарастания чувствительности глаза в зависимости от времени пребывания в темноте, являются кривые 1 и 2 рис. 66. Кривую типа 1 мы получаем обычно, если измеряем ход нарастания чувствительности глаза после предварительного пребывания глаза на слабом свете. Кривую же типа 2, имеющую перегиб, мы наблюдаем в тех случаях, когда предварительно глаз подвергался освещению более значительному.

По ординате кривой, выражающей ход темновой адаптации можно откладывать не  $\frac{1}{I}$  (как то сделано на рис. 66) и не I, а логарифмы этих величин, т. е.  $\log \frac{1}{I}$  и  $\log I$ . Подобный способ изображения (принятый

Кольраушем, Гехтом и некоторыми другими авторами) имеет известные преимущества перед первым. При нем нагляднее выражается относительная величина изменения чувствительности или порога. Кроме того, кривые для порогов и для чувствительности имеют совершенно подобный друг другу вид, но лишь обратное направление. Кольрауш, а затем Гехт показали, что после весьма сильного предварительного освещения в первые минуты темновой адаптации палочковый аппарат сумеречного зрения является вовсе выключенным и функционирует лишь аппарат колбочковый. Лишь спустя 5—7 минут пребывания

в темноте восстанавливается чувствительность палочек, и величина порога І начинает определяться ими. Этому моменту включения палочек соответствует перелом кривой, ясно видный, если при построении кривой откладывать по ординате логарифм порогового раздражителя. На рис. 67 и приведена такая кривая с переломом, полученная Гехтом. До погружения в темноту глаз раздражался яркостью около 11 000 люксов на белое. Черными кружками показаны результаты, относящиеся к красному раздражителю, действующему лишь на колбочки сетчатки. Если же предварительно глаз подвергался действию более умеренных яркостей, световая чувствительность в ходе темновой адаптации определяется уже сразу палочковым аппаратом сетчатки.

Фотохимическая теория явлений адаптации палочкового аппарата подробно разработана Лазаревым. Исходя из допущения того, что темновая реакция



идет по типу реакции мономолекулярной, увеличение концентрации зрительного пурпура, в зависимости от времени пребывания в темноте, Лазарев выражает уравнением:

 $\frac{dC}{dt} = \alpha_3(C_o - C),$ 

где C— концентрация еще неразложенного зрительного пурпура,  $C_o$ — максимальная возможная концентрация его,  $\alpha_3$ —коэфициент скорости реакции новообразования зрительного пурпура в темноте и t—время, в течение которого глаз пребывает в темноте. Интегралом этого уравнения будет равенство:

$$C-C_o=D\cdot e^{-\alpha_3 t}$$

где e — основание логарифмов Непера, а D — некоторая постоянная. При t=0 предположим, что величина C= $C_1$ . Тогда  $C_1$ — $C_2$ =D, откуда D= $C_2$ 0. Подставляя это значение D в вышеприведенное уравиение, получим:

$$C = C_o - (C_o - C_1) \cdot e^{-\alpha_s t},$$

$$C = C_o \left\{ 1 - \left( \frac{C_o - C_1}{C_o} \right) \cdot e^{-\alpha_s t} \right\}.$$

или

Обозначая же 
$$\left(\frac{C_o - C_1}{C_o}\right)$$
 через  $\gamma$ , имеем  $C = C_o \left(1 - \gamma e^{-\alpha_s t}\right)$  (I)

Уравнение (I) дает зависимость наличной концентрации неразложенного зрительного пурпура от времени пребывания глаза в темноте.

С другой стороны, скорость распада зрительного пурпура по мере дейст-

вия света на глаз может быть выражена, по Лазареву, уравнением:

$$\frac{dC'}{dt} = \alpha_1 KIC - \alpha_2 C',$$

где C'— концентрация продуктов распада, K — коэфициент поглощения света данной длины волны зрительным пурпуром, I— интенсивность раздражающего света,  $\alpha_1$ — коэфициент скорости прямой фотохимической реакции распада и  $\alpha_2$ — коэфициент скорости обратной фотохимической реакции образования зрительного пурпура на свету.

Для стационарного, равновесного, состояния

$$\frac{dC'}{dt} = 0;$$

следовательно,

 $\alpha_1 KIC = \alpha_2 C'$ ,

откуда

$$C' = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} KIC.$$

Допустим, что пороговому раздражению соответствует некоторое определенное значение C': именно C'=B.

Тогда можно написать, что

 $B = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} KI'C,$   $\frac{1}{I'} = E = \frac{\alpha_1 KC}{\alpha_2 B}.$ (II)

откуда

Уравнение (II) показывает зависимость световой чувствительности от наличной концентрации неразложенного зрительного пурпура. Подставляя теперь в уравнение (II) С, данное в уравнении (I), мы и находим зависимость чувствительности глаза от времени пребывания его в темноте в виде

$$E = \frac{\alpha_1 K C_0 (1 - \gamma e^{-\alpha_3 t})}{\alpha_2 B} \cdot$$
 (III)

 $E = \frac{\alpha_1 K C_o (1-\gamma \mathrm{e}^{-\alpha_0 t})}{\alpha_2 B} \cdot$  При t, равном бесконечности,  $E = E_o = \frac{\alpha_1 K C_o}{\alpha_0 B} \cdot$ 

Тогда уравнение (III) перепишется, как

 $E=E_o(1-\gamma e^{-\alpha_a t}),$ 

откуда

$$\frac{E}{E_o} = 1 - \gamma e^{-\alpha_s t}. \tag{IV}$$

Уравнение (IV) и является окончательным уравнением, показывающим ход нарастания световой чувствительности глаза в ходе темновой адаптации. Графически эта связь выражается первой кривой рис. 66.

К установлению такой же закономерности хода восстановления световой чувствительности в темноте пришел позже на основании

весьма сходных фотохимических представлений и Пюттер.

Лазаревым было показано, далее, что эта же закономерность темновой адаптации может быть выведена и на основании статистических квантовых представлений, учитывающих дискретность элементов сетчатки и квантовый характер света.

Число возбужденных палочек сетчатки P пропорционально, очевидно, числу восстановивших свою чувствительность после предшествующего раздражения палочек Q и числу падающих на единицу площади сетчатки световых квант N,  $\tau$ . е. P=aQN, где a есть коэфициент пропорциональности. Допуская, что увеличение количества восстановивших свою чувствительность палочек в темноте совершается пропорционально количеству возбужденных палочек, можно написать уравнение  $dQ=\beta(Q_o-Q)\,dt$ , где  $Q_o$  есть общее число всех палочек, имеющихся на единице поверхности сетчатки, и  $\beta$  — некоторый коэфициент, характеризующий скорость восстановления. Интегрирование этого уравнения дает  $Q=Q_o(1-\tau e^{-\beta t})$ . Положим, что для возникновения светового ощущения необходимо, чтобы число возбужденных палочек равнялось бы пороговой величине  $A=a\,Q\,N$ . Тогда

$$A=aQ(1-\gamma e^{-\beta t})N$$
.

Умножая обе части равенства на q = hv, имеем:

$$Aq = aQ (1 - \gamma e^{-\beta t}) Nhv.$$

 $\it Nhv$  есть, очевидно, энергия раздражающего глаз света. Назовем ее  $\it I$ . В таком случае искомая световая чувствительность глаза

$$E = \frac{1}{I} = \frac{a Q_o}{A q} (1 - \gamma e^{-\beta t}).$$

При  $t=\infty$  чувствительность E будет, очевидно, равняться максимальной чувствительности  $E_o=rac{aQ_o}{Aq}$ , и мы получаем в окончательном виде:

$$\frac{E}{E_o} = 1 - \gamma e^{-\beta t} .$$

В случаях, когда до погружения в темноту глаз подвергался освещению достаточно значительной интенсивности, мы, по Лазареву, должны учитывать еще и влияние остаточных последовательных образов от этого предварительного освещения.

Эти последовательные образы дают себя чувствовать в виде постепенно затухающего света в глазе. Естественно, что наличие такого света мещает заметить на его фоне другой, очень слабый свет. Поэтому чувствительность понижается. По мере же того, как эти последовательные образы постепенно из глаза исчезают, устраняется постепенно и причиняемый ими эффект понижения чувствительности. Для хода затухания последовательных образов Лазаревым, как это мы еще увидим ниже, выведена формула, по которой их яркость  $I = A + Be^{-\beta t}$ . Приводя ее в связь с вышеуказанной формулой адаптации, можно, как показал Лазарев же, получить новую формулу, определяющую ход темновой адаптации для случая кривой второго вида (рис. 66), когда у нас имеются постепенно затухающие последовательные образы. Формула эта имеет следующий вид:

$$\frac{E}{E_o} = \frac{1 - \gamma e^{-\alpha_s t}}{1 + M e^{-\beta t}},$$

где  $\gamma$ , M,  $\alpha_3$  и  $\beta$  суть некоторые постоянные. Формула эта позволяет доста-

точно хорошо выражать опытно наблюденные значения.

Наряду со сделанным Лазаревым предположением о том, что обратная темновая реакция восстановления зрительного пурпура, будучи в сущности

нам неизвестной функцией количества распавшихся молекул, идет по типу реакции мономолекулярной, т. е. такой реакции, при которой одной молекуле продукта распада пурпура соответствует одна молекула воестанавливающегося вещества. Гехтом было высказано утверждение бимолекулярности этой реакции. Однако при наличии в его формуле, как и в формуле Лазарева, нескольких произвольно подбираемых констант в настоящее время не удается опытным путем решить вопрос о характере обратной реакции восстановления зрительного пурпура. Путем подбора констант оказывается возможным одинаково хорошо уложить опытные данные как в формулу, соответствующую мономолекулярной реакции, так и в формулу, соответствующую реакции бимолекулярной. Следует, однако, заметить, что аргументация Гехта вызывает к себе недоверие, поскольку он находит возможным в формулу, соответствующую бимолекулярной реакции, формулу, которая никакой точки перегиба кривой не дает, уложить адаптационные кривые, принадлежащие к типу второму, как раз имеющие такую точку перегиба.

Центральная колбочковая чувствительность, очевидно, также должна зависеть от запаса вещества, способного разлагаться при воздействии света. Поскольку же этот запас изменяется в зависимости от того, находится ли глаз в темноте, или подвергается освещению, мы должны ожидать и здесь явления адаптации глаза к свету или к темноте. Это, действительно, и имеет место.

Так, например, Кольраушем для фовеального зрения при раздражении глаза крайними красными лучами была получена следующая

картина хода темновой адаптации.

Длигельность пребывания в темноте (в минутах)	Чувствительность в отно- сительных величинах	Длительность пребывания в темноте (в минутах)	Чувствительность в относительных величинах
0.5	15	10	111
i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	34	15	133
3	51	20	143
6	83	25	147
		6	

В отличие от адаптации палочек увеличение чувствительности колбочек идет быстрее, но бывает не столь значительно. Что касается различий в ходе восстановления чувствительности колбочек в зависимости от цветности тех лучей, чувствительность к которым мы испытываем, то в настоящее время вопрос этот еще нельзя считать достаточно выясненным.

# § 3. Световая адаптация

Понижение чувствительности глаза, происходящее от уменьшения в нем запаса веществ, способных реагировать на свет, мы называем обычно с в е т о в о й а д а п т а ц и е й глаза. Это понижение чувствительности глаза может проявляться в виде повышения величины порогового раздражения или же в виде потускнения того цвета, на который мы смотрим. Последнее удобно наблюдать на очень простом опыте: если посмотреть на лист белой бумаги, предварительно закрыв половину его чем-либо черным, и при этом фиксировать какуюлибо точку границы белого с черным, а затем, спустя 10—15 секунд отодвинуть черное в сторону, то та часть белой поверхности, свет от которой действовал на глаз, покажется нам заметно более темной, чем

другая половина бумаги. Понижение чувствительности глаза, наступающее в силу того, что свет уже действует на него в течение известного времени, не идет, однако, все время столь же быстрым темпом, как вначале. Быстрое сперва спадание чувствительности становится постепенно все более и более медленным, и, наконец, чувствительность достигает практически постоянного, далее уже не изменяющегося уровня.

Нижеследующая кривая (рис. 68), построенная Нагелем по дан-

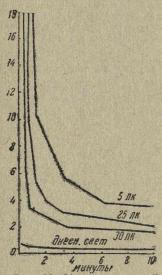


Рис. 68. Кривые световой адаптации (по Ломану).

ным Ломана, показывает, как идет это спадание в течение первых 10 минут световой адаптации при различных яркостях адаптирующего света (белой бумаге при 5, 25 и 50 люксах, а также при рассеянном дневном свете). По ординате отложена чувствительность, по абсциссе — время действия света.

Следует заметить, что чувствительность, соответствующая вполне адаптированному к темноте глазу, т. е. чувствительность до световой адаптации, не приведена на кривой и должна быть показана ординатой, приблизительно в 5 раз большей, чем наибольшая из приведенных на рисунке ординат.

Из кривых можно видеть, что понижение чувствительности происходит очень быстро в первые 3—5 минут световой адаптации.

Чувствительность продолжает спадать и в дальнейшем ходе световой адаптации, но значительно медленнее.

Окончательный уровень пониженной чувствительности достигается тем скорее, чем сильнее тот свет, к которому адаптируется глаз.

Крис исследовал явление световой адаптации глаза следующим методом. Он предлагал своим испытуемым фиксировать в течение некоторого времени границу двух белых дисков А и В, надетых на ось маленького мотора, употребляющегося обычно при опытах со смешением цветов (рис. 69). Первоначально открытым остается лишь диск А, диск же В закрыт от испытуемого чем-либо черным. Через некоторое время этот черный экран отодвигается, и испытуемый получает возможность видеть оба диска. Несмотря на то, что А и В объективно одинаковы (так как оба сделаны из одной и той же белой бумаги), диск В, действующий



Рис. 69. Диск для измерения эффекта световой адаптации (по Крису).

на неутомленную часть сетчатки, кажется более светлым. Чтобы он показался одинаковым с A, приходится в него добавлять некоторый сектор черного цвета. Путем подбора черного сектора соответствующей величины оказывается возможным сделать диск B по первому даваемому им впечатлению равным диску A. Чем больший

черный сектор для этого понадобился, тем значительнее, следовательно, потускнел цвет диска А в силу световой адаптации к нему глаза. Подобным образом оказывалось возможным количественно определить степень потемнения диска А при разных продолжительностях адаптации глаза. В качестве полученных Крисом типичных результатов можно привести следующие цифры, обозначающие интенсивность тех раздражителей, которые казались неутомленной сетчатке по своей светлоте одинаковыми с адаптирующим раздражителем, интенсивность которого принята за 100.

Интенсивность адаптирующего раздражителя в относительных вели-		Продолжительность адаптации в секундах						
дражителя в относительных величинах	3	6	10	20	F/40	80	100	
1	91 74	81 57	66 42	58 25	43 16	23 8	15	

Позже подобные же опыты производили Шобер и Трильч.

Если все эти данные Криса, Шобера и Трильча изобразить графически, то мы получим довольно плавную кривую, спадающую вначале быстро, затем все медленнее и медленнее. Подходящим математическим выражением для такой кривой является формула показательной, или экспоненциальной, кривой:  $E = A + Be^{-\beta t}$ , где E есть чувствительность, t — время действия светового раздражителя на глаз, e — основание логарифмов Непера, A, B и  $\beta$  — некоторые постоянные, определяемые на основании опытных данных.

Теория изменения чувствительности глаза при световой адаптации на основе современных фотохимических представлений выведена впервые Лазаревым. При этом он пользуется следующими обозначениями: C'— концентрация раздражающих нерв продуктов распада, C— количество неразложенного свето-ошущающего вещества, I— интенсивность раздражающего света, k— коэфициент абсорбции этого света,  $\alpha_1$ — коэфициент, характеризующий скорость прямой фотохимической реакции распада вещества,  $\alpha_2$ — коэфициент, характеризующий скорость обратной реакции новообразования вещества, E— чувствительность глаза, равная  $\frac{1}{I'}$ , где I'— интенсивность порогового раздражения.

Допуская, что обратная реакция идет по типу реакции мономолекулярной, оказывается возможным написать, что количество распавшегося вещества по времени действия света на глаз изменяется так:

$$\frac{dC'}{dt} = \alpha_1 \ KIC - \alpha_2 C'$$

или, так как  $C = C_o - C'$ , можно это же уравнение привести к виду:

$$\frac{dC'}{dt} + C'(\alpha_1kI + \alpha_2) - \alpha_1kIC_0 = 0.$$

Интегрирование дает:

$$C'=Me^{-(\alpha_1hI+\alpha_2)t}+\frac{\alpha_1kIC_o}{\alpha_1kI+\alpha_2}$$

где е есть основание логарифмов Непера, а М есть некоторая постоянная.

Величину M можно определить из условий, при которых  $t{=}0$ , когда, очевидно, и  $C'{=}0$ . Тогда

 $M = -\frac{\alpha_1 k I C_o}{\alpha_1 k I + \alpha_2} \cdot$ 

Подставляя эту величину в предыдущее уравнение и делая простые преобразования, получаем:

 $C' = C_o \frac{\alpha_1 kI}{\alpha_1 kI + \alpha_2} \left( 1 - e^{-(\alpha_1 kI + \alpha_2)^{t}} \right).$ 

Так как концентрация неразложенного вещества C равняется  $C_o - C'$ , то, производя соответствующую замену, приходим к формуле, дающей зависимость запаса неразложенного вещества от времени действия раздражителя:

$$C = C_o \left\{ 1 - \frac{\alpha_1 kI}{\alpha_2 kI + \alpha_2} \left( 1 - e^{-(\alpha_1 kI + \alpha_2)^{\dagger}} \right) \right\}.$$

Для того чтобы перейти теперь к формуле, включающей в себя величину чувствительности E, Лазарев рассуждает следующим образом. Чувствительность глаза для некоторого стационарного состояния характеризуется величиной  $\frac{\alpha_1}{2} k'I'C$ , определяющей пороговой распад светоощущающего вещества. Назо-

вем эту величину для некоторых постоянных условий через  $B = \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \ k'I'C$ .

Тогда чувствительность  $E=rac{1}{I'}$  будет  $rac{lpha_1 k'C}{lpha_2 B}$ . Подставляя сюда величину

С из предыдущего равенства, получим, что

$$E = \frac{\alpha_1 k' C_o}{\alpha_2 B} \left\{ 1 - \frac{\alpha_1 k I}{\alpha_1 k I + \alpha_2} \left( 1 - e^{-(\alpha_1 k I + \alpha_2) t} \right) \right\},$$

а так как максимальная чувствительность глаза  $E_o$  имеется до световой адап-

тации, т. е. тогда, когда 
$$t{=}0$$
, то  $E_o=\frac{\alpha_1 k' C_o}{\alpha_2 B}$ :

Таким образом, чувствительность глаза, выражаемая в относительных величинах, зависит от времени световой адаптации нижеследующим образом:

$$\frac{E}{E_o} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 k I + \alpha_2} + \frac{\alpha_1 k I}{\alpha_1 k I + \alpha_2} e^{-(\alpha_1 k I + \alpha_2)t}$$

$$\frac{E}{\alpha_1 k I + \alpha_2} + \frac{\alpha_1 k I}{\alpha_1 k I + \alpha_2} e^{\beta t}$$

или

 $\frac{E}{E_o}$ =A+(1-A)  $\mathrm{e}^{\beta\mathrm{t}}$ ,

 $A = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 kI + \alpha_2} \quad \text{if } \beta = \alpha_1 kI + \alpha_2.$ 

Выведенная первоначально применительно к периферическому зрению теория эта может быть распространена и на зрение центральное, поскольку для понимания и этого последнего мы можем пользоваться формально теми же общими физико-химическими представлениями.

Совершенно подобную же теорию световой адаптации предложил позже

Э. Хашек (1928).

В тех описаниях и теориях явлений темновой и световой адаптации, которые мы привели выше, изменение чувствительности глаза в темноте и на свету рассматривалось, однако, лишь с точки зрения накопления или расходования светочувствительного вещества в сетчатке.

Чувствительность же, как мы уже видели в начале этой главы, определяется не только концентрацией светочувствительного вещества в сетчатке и соответствующими этому фотохимическими процессами, но и состоянием нервных элементов чувствующего аппарата глаза. Является ли чувствительность этого нервного аппарата независимой от светового раздражения, действующего на глаз?

# § 4. Электрическая чувствительность глаза

Этот вопрос мы можем в известной мере решить путем изучения так называемой электрической чувствительности глаза. При известной силе тока, пропускаемого через глаз, у нас возникает при замыкании и размыкании тока ощущение света (фосфен). Минимальная сила тока, нужная для этого, называется порогом электрической чувствительности глаза. Согласно Кюне, Лазареву и другим авторам, ток, идущий через глаз, не вызывает изменений в светоощущающих веществах сетчатки, а влияет лишь на более центральную часть зрительного аппарата (на нервные клетки сетчатки, волокна зрительного нерва, центры, лежащие выше). Поэтому измерение электрической чувствительности глаза и может рассматриваться как измерение «центральной» — нервной — чувствительности его.

При подобного рода измерениях берутся неполяризующиеся электроды. Один из электродов помещается на глаз (на закрытое веко или же на висок близ глаза), другой же прикрепляется обычно к руке подопытного субъекта. В качестве раздражителя применяют как переменный, так и постоянный ток. Измеряется или напряжение на электродах, или же результирующая сила тока в цепи, включающей испытуемого.

Целый ряд работ был посвящен выяснению вопроса о том, как влияет на эту центральную чувствительность адаптация глаза к тем или иным световым условиям. Мюллер, Брюкнер и Лазарев находили возможным утверждать независимость электрической чувствительности глаза от световой или темновой адаптации глаза. Ближайшее рассмотрение экспериментальных данных Мюллера и Брюкнера может говорить, однако, скорее за обратное. В последнее же время и сам Мюллер отказался от своей первоначальной точки зрения. В работе Ахелиса и Меркулова было уже определенно установлено, что условия адаптации оказываются для электрической чувствительности глаза далеко не безразличными. Световая адаптация снижает порог, темновая адантация, напротив, его повышает. Подобная зависимость была в полной мере подтверждена и в экспериментах Богословского, веденных в нашей лаборатории. Им специально исследовалось влияние как световой, так и темновой адаптации. При этом в первом случае им испытывались различные яркости (в 4, 250 и 4 000 люксов перпендикулярно к белой поверхности). Время, в течение которого прослеживалась электрическая чувствительность, доходило до 2 часов. Опытные данные с несомненностью установили, что в ходе темновой адаптации электрическая чувствительность глаза снижается — сперва быстро, затем медленнее. При возвращении к свету она быстро повышается. При длящейся адаптации глаза к яркому свету (4 000 люксов на белом) электрическая чувствительность сперва круто нарастает,

проходит через максимум и затем начинает снижаться; в случае меньшей яркости (250 люксов на белом) чувствительность также повышается,

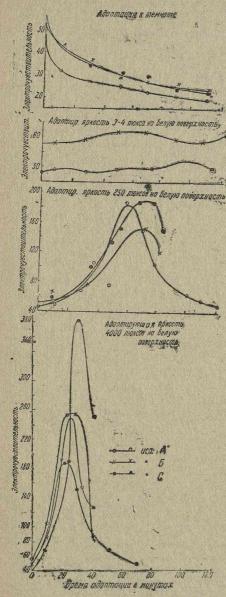


Рис. 70. Влияние адаптации на электрическую чувствительность глаза (по Богословскому).

но это повышение чувствительности протекает более медленно, максимум достигается не так скоро и лежит не так высоко, как в первом случае; в ходе же адаптация к совсем небольшой яркости (4 люкса на белом), электрическая чувствительность глаза остается все время более или менее на одном уровне. Рис. 70 иллюстрирует сказанное. Разные кривые на каждом рисунке относятся к разным испытуемым. По абсциссам отложено врев минутах; по ординатам электрическая чувствительность как величина, обратная пороговой силе тока, выраженной в микроамперах, причем чувствительность, соответствующая порогу в 10 микроампер, принята за 100.

Мы видим, таким образом, что чувствительность нервного аппарата глаза меняется под влиянием светового раздражения иначе, чем запас светочувствительных веществ сетчатки. В то время как этих веществ в темноте увеличивается, чувствительность нервных элементов чувствующего аппарата глаза в темноте уменьшается, и, наоборот, на свету светочувствительные вещества в сетчатке убывают, нервная же чувствительность в известных границах обостряется. В кривых изменений световой ствительности глаза в ходе темновой и световой адаптации мы должны, следовательно, видеть выражение некоторой результирующей этих двух влияний. Соответственно с этим назревшим является вопрос о дополнении существующих «периферических» теорий зрительной адаптации теоретическими об адаптационпредставлениями ных процессах в нервных центрах1.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Возможно, с этой точки зрения, что перегиб в кривой темновой адаптации, наблюдаемый после достаточно значительного предварительного освещения, объяс-110

# § 5. Влияние различных характеристик прямого раздражения

Роль длины волны. В § 3 предыдущей главы мы уже видели, что величина лучистой энергии, нужная для вызывания у нас ощущения какой-нибудь определенной яркости (также, следовательно, и едва заметной пороговой яркости), бывает весьма различна, в зависимости от цветности (длины волны) светового луча. Кривая, характеризующая величины, обратные такой пороговой энергии, называется кривой видности различных спектральных лучей. Она и приведена выше на рис. 63. Для зрения сумеречного, палочкового максимум чувствительности приходится на лучи зеленые (близ 510 mф). Для зрения же чисто колбочкового максимум чувствительности лежит в желтых лучах (близ 555 mф). При этом чувствительность по отношению к одним лучам может превосходить чувствительность по отношению к другим лучам в десятки и даже сотни раз.

Влияние места раздражения на сетчатке. Чувствительность глаза оказывается весьма неодинаковой и в зависимости от того, на какое место сетчатки воздействует раздражитель. Если мы будем применять раздражитель, затрагивающий лишь колбочковый аппарат зрения (применим, например, крайний красный свет), то местом наибольшей чувствительности будет центральная ямка сетчатки. Во все стороны от нее, по мере перехода к более периферическим местам сетчатки, чув-

ствительность будет падать.

По данным Вогана и Болтунова, на 10° от центральной ямки эта чувствительность равняется <sup>1</sup>/<sub>4</sub> чувствительности фовеальной, на 20°—

 $^{1}/_{10}$  и на 35°— $^{1}/_{40}$  ee.

Позже снижение колбочковой чувствительности в периферических местах сетчатки изучали Фэрри и Рэнд. Они в энергетических единицах определяли величины порога цветоощущения для различных углов периферичности по носовому и височному меридианам сетчатки. В опытах учитывались возможные влияния яркости окружающего фона, величины зрачка и пр. В качестве раздражителей применялись узкие участки спектра из областей красного, желтого, зеленого и синего цветов. Опыты показали, что по мере передвижения раздражения к периферии сетчатки цветовая чувствительность ко всем цветам неизменно падает. При этом особенно быстрое снижение чувствительности наступает, начиная с 25—30° периферичности.

Для палочкового, сумеречного, зрения распределение чувствительности по сетчатке, однако, совсем иное. В этом случае мы находим в центре сетчатки меньшую чувствительность, чем в более периферических ее частях; при этом имеется зона максимальной чувствительности, лежащая, по данным нескольких исследователей, между10—15° к периферии от fovea centralis. Специальное исследование этого вопроса, произведенное Гассовским и Никольской, установило, что макси-

няется не только присутствием затухающих последовательных образов (как то следует по теории Лазарева), но и снижением чувствительности нервных центров. Кривая же световой адаптации при соответствующих условиях опыта должна отклоняться от приведенной выше теоретической формулы, поскольку чувствительность нервных элементов глаза в ходе световой адаптации следует кривым рис. 69. Последнее предположение требует еще экспериментальной проверки.

мум чувствительности палочкового аппарата темно адаптированного глаза приходится около 10-го градуса периферичности. Данные опытов Гассовского приведены на рис. 71, где по абсциссе отложена периферичность раздражения в градусах, отсчитываемых от центральной ямки по горизонтальному меридиану сетчатки, а по относительная величина световой чувствительности.

Интересно отметить, что эти кривые довольно хорошо соответствуют относительной густоте палочек на сетчатке, как она установлена

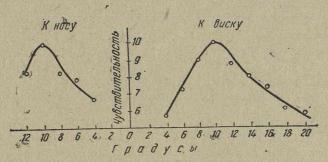


Рис. 71. Распределение чувствительности сумеречного зрения в зависимости от места на сетчатке (по Гассовскому и Никольской).

путем микроскопического подсчета Естербергом (см. выше, гл. І. рис. 8).

Крайние периферические места сетчатки являются практически нечувствительными к световым раздражениям. Границы поля зрения,

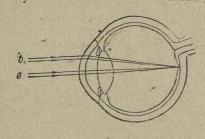


Рис. 72. Различное падение света на зрачок.

определяемые на периметре, весьма зависят, однако, от целого ряда условий, как-то: размер объекта, посредством которого проводится испытание, его яркость, окружающий фон, яркость предмета, на который глаз смотрел перед опытом, и т. п. Поэтому цифры, приводимые различными авторами для углов, периферичнее которых глаз уже неспособен чтолибо видеть, носят относительный, условный характер. В медицинской практике в качестве нормальных границ

поля зрения для белого цвета приняты примерно следующие величины предельных углов от фиксируемой точки: к виску около 92°, кверху —  $60^\circ$ , к носу —  $62^\circ$  и книзу —  $72^\circ$ .

Влияние места падения света на зрачок. Стайльсом и Крауфордом (1933, 1938, 1939) было обращено внимание на то, что один и тот же пучок света кажется различно ярким в зависимости от того, проникает ли он в глаз через центр зрачка а (рис. 72) или же через более периферические места его b.

Хотя и в том, и в другом случае свет фокусируется на центральной ямке сетчатки, при падении светового пучка на центр зрачка у нас возникает ощущение наибольшей яркости. Специальным методом вышеназванные авторы, а также Райт и Нельсон (1936) смогли фотометрировать яркость лучей, идущих через центр зрачка и через более

периферические участки его.

Ниже, на рис. 73, и приведена кривая, найденная в результате подобного фотометрирования. По абсциссе отложено расстояние места падения луча на глаз от центра зрачка (в миллиметрах), по ординате — яркость в относительных величинах. Как можно видеть, чувствительность глаза круто падает при отодвигании попадающего в глаз светового луча от центра зрачка: при периферичности в 3 мм яркость снижается почти в 3 раза.

Чему приписать такое значение места падения света на зрачок? Как легко видеть из приведенного выше рис. 72, луч в, во-первых,

проходит до сетчатки более длинный путь, чем луч а, во-вторых, падает на сетчатку наискось. Подсчет отражения и поглощения света в средах глаза показывает, что ослабление луча в по сравнению с лучом а в силу первой из этих причин не может превышать 10%. Между тем наблюденные различия яркостей оказываются гораздо более значительными. Следовательно, причина описываемого явления лежит именно в том, что лучи пучка b падают на сетчатку не перпендикулярно (т. е. не вдоль колбочек), но под некоторым углом, сбоку. Возможно, как то предполагают Райт и Нельсон, здесь играет роль то обстоятельство, что лучи, падающие на колбочки наискось, в меньшей мере проникают в них в силу отра-

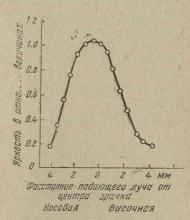


Рис. 73. Световой эффект в зависимости от места падения луча на зрачок (по Стайльсу).

жения, возникающего на их пограничных поверхностях.

Опыты показали, что палочки сетчатки в отличие от колбочек описываемой «дирекциональной» чувствительностью почти или даже вовсе не обладают.

Влияние длительности раздражения. Для того чтобы мы увидели свет, раздражение должно иметь известную минимальную длительность. Поскольку глаз наш может видеть уже электрическую искру, эта продолжительность может быть, однако, ничтожно малой — по-

рядка миллионных долей секунды.

Что же касается связи между интенсивностью раздражителя *I* и продолжительностью его действия на глаз *t*, то, принимая во внимание фотохимическую природу зрительного возбуждения, следует указать, что еще в конце XVIII века Сенебье высказал предположение, по которому для получения одного и того же фотохимического эффекта надо, чтобы между *I* и *t* существовала обратная пропорциональность. Чем сильнее раздражитель, тем он может быть короче, и, наоборот, чем он слабее, тем он должен быть продолжительнее.

Эта зависимость нашла себе экспериментальное подтверждение на ряде фотохимических реакций и известна в науке под именем закона Бунзена-Роско:  $I \times t = A$ , где A есть некоторая постоянная.

Если бы в нашем глазе при воздействии на него света происходила только прямая фотохимическая реакция распада светоощущающего вещества, закон этот должен был бы вполне строго осуществляться и для нашего зрения. Мы знаем, однако, что, наряду с прямой фотохимической реакцией, в глазе происходит также реакция удаления продуктов распада из сетчатки и обратная реакция ново-

образования светоощущающего вещества.

Благодаря этому обстоятельству соотношение между интенсивностью и продолжительностью раздражителя для глаза оказывается более сложным. Эксперименты Грийнса и Нуайона, Федоровой и Грушецкой, произведенные над периферическим зрением, показали, что для очень коротких раздражителей порядка тысячных долей секунды величина произведения  $l \cdot t$ , нужная для вызывания порогового ощущения, не остается постоянной, но вначале быстро убывает по мере увеличения t, дает для некоторого t минимальное значение и при дальнейшем увеличении вновь растет, как то можно видеть из нижеследующих цифр, взятых из опытов Федоровой и Грушецкой.

в сек.	0,0003	0,0004	0,0005	0,0007	0,001	0,002
i.t	249	221	103	72	72	65

0,003	0,004	0,005	0,006	0,01	0,05	0,4
53	41	33	36	39	52	69
		7.57				

По Макарову, оптимальная длительность раздражения оказалась равной 1—3 тысячным долям секунды. Вишневский и Цырлин, однако, нашли, что оптимальная продолжительность раздражителя близка к 0,05 секунды.

При раздражителях, более продолжительных, лежащих уже за минимумом, как то показали опыты Блонделя и F ея, I .  $t = I_o(a+t)$ , где I обозначает освещенность зрачка, соответствующую пороговому раздражителю,  $I_o$  — пороговая освещенность зрачка при неограниченно длящемся раздражителе, t — продолжительность применяемого раздражителя (в секундах) и a — некоторую постоянную (равную 0,2 секунды, если I дается в фстах) $^1$ .

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Фот — единица освещенности, в 10 000 раз большая, чем люкс (фот = освещенности, создаваемой 1 люменом на 1 квадратном сантиметре).

Подобные закономерности зрения учитываются в практике световой сигнализации, использующей кратковременные световые вспышки, так называемые «проблесковые огни». Пьерон, основываясь на данных своих опытов, касавшихся как периферического, так и центрального зрения, в которых он изменял t в пределах от 0.03 до 3 секунд, считает, однако, что найденные для порогов значения I . t лучше выражаются формулой параболы  $I \cdot t = c \cdot t^d$ , где c и d суть некоторые постоянные.

Таким образом, ни одна из приведенных выше закономерностей для  $I \cdot t$  не охватывает всего того, что мы встречаем в световых реакциях нашего органа зрения при достаточно больших вариациях t. Фактически наблюдаемая здесь связь дает кривую, подобную изображенной на рис. 74. Аналитическим выражением такой кривой, имеющей минимум, может служить пока лишь эмпирическая формула,

предложенная Анри:  $I \cdot t = \alpha + \beta t + \frac{\gamma}{t}$ , где  $\alpha, \beta$  и  $\gamma$ — постоянные.

В последнее время в физиологии и, в частности. в физиологии зрения находит себе все более широкое применение так называемый

хронаксиметрический метод. Введенный первоначально Лапиком метод этот состоит в отыскании той минимальной продолжительности, при которой раздражитель впервые вызывает реакцию при условии, если раздражитель взят вдвое более интенсивным, чем тот, который является пороговым при неограниченном времени действия.

Такая минимальная продолжительность и называется х р о н а к с и е й. Она, по мнению сторонников этого

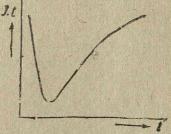


Рис. 74. Связь количества порогового раздражителя с его длительностью.

метода, является весьма хорошим показателем возбудимости исследуемой мышечной или нервной ткани. Дело в том, что, по опытам Вейсса, связь силы порогового раздражителя i с продолжительностью его действия t может быть выражена формулой гиперболы следующего вида: i

 $=\frac{a}{t}+b$ , где a и b суть некоторые постоянные. Очевидно, b равняется

пороговой интенсивности раздражителя при  $t=\infty$ ; эта интенсивность в хронаксиметрическом методе носит название реобазы. Зная величину реобазы и величину хронаксии (т. е. величину t для i=2b), мы можем найти из формулы и величину постоянной a, а тем самым сможем находить любую точку гиперболы, беря то или иное значение для t.

Ближайшее изучение связи пороговой интенсивности раздражителя (в виде постоянного и переменного тока) с продолжительностью его действия на нерв обнаружило, однако, существование более сложных зависимостей. Как то показал Лазарев, для разных областей t теоретические формулы зависимости i от t оказываются различными. Формула же Вейсса носит лишь приблизительный характер. Поэтому

знание реобазы и хронаксии еще не дает возможности судить о зависимости i от t для всех значений t. Тем самым хронаксиметрический метод оказывается лишенным строгого теоретического обоснования. Остается возможность, однако, говорить об эмпирическом диагностическом значении его.

Минимальное время действия светового раздражителя двойной интенсивности по сравнению с пороговым может быть условно названо оптической адэкватной хронаксией. По данным Макарова, величина эта в ходе темновой адаптации скорее возрастает в противополож-

ность неизменно снижающейся величине порога (реобазе).

Влияние площади раздражения. Многочисленные опыты с несомненностью показывают, что при определении порога увеличение площади раздражения на сетчатке позволяет обычно уменьшать яркость раздражителя. Между яркостью порогового раздражителя и его угловым размером существует, таким образом, некоторое отношение взаимной компенсации. Было приложено немало усилий к тому, чтобы найти для этого отношения подходящее количественное выражение. Для небольших углов зрения произведение яркости порогового раздражителя B на его площадь S (т. е. иными словами — световой поток, действующий на глаз) оказывается постоянным. Впервые найденная Рикко эта закономерность подтверждалась позже и другими и известна в науке как закон Рикко. По данным Леле, постоянство произведения  $B \cdot S$  соблюдается при малых площадях раздражения как при периферическом, так и при центральном зрении. При этом границей приложимости закона Рикко, по данным Леле, является угол около 10 минут, по Шенвальду — угол в 20 минут; в случаях же светлого фона угол этот очень уменьшается. При хорошей темновой адаптации глаз и при центральном зрении Хаустон и Ширер наблюдали постоянство  $B \cdot S$  в гораздо больших пределах (вплоть до 6 угловых градусов!). По большинству исследователей, однако, при таких размерах раздражителя закон Рикко уже не соблюдается, уступая место иной закономерности. Впервые установленная здесь Пипером для периферического зрения закономерность известна как закон Пипера. Согласно ей, постоянным для порогового ощущения оказывается произведение яркости раздражителя на квадратный корень из величины его площади, т. е. BVS = K, где K есть постоянная. По Леле, это соотношение верно и для центрального зрения при размерах раздражителя в пределах от 2 до 7°. При больших же размерах его не удовлетворяется и пиперовское соотношение, поскольку ослабление яркости все в меньшей степени компенсируется увеличением площади. В общем следует сказать, что площадь раздражения в смысле компенсации яркости порогового раздражителя влияет поразному в зависимости от абсолютных размеров раздражителя, от места раздражения на сетчатке, от адаптированности глаза, от яркости фона, возможно, и от спектрального состава раздражителя. В общей форме связь пороговой яркости раздражителя В с его площадью S может быть выражена следующим образом:  $B \cdot S^a = K$ , где a и K суть некоторые константы. При a=1 мы будем иметь закон Рикко, при a=0.5 — закон Пипера, при a=0 — случай полного отсутствия компенсации яркости площадью.

Удивляться тому, что при разных условиях количественные закономерности оказываются различными, не приходится. Ведь сетчатка далеко не однородна по своей структуре; палочки и колбочки распространены по ней неравномерно. Мы не имеем оснований, далее, считать и чувствительность каждого из сетчаточных элементов одинаковой.

Какое объяснение может быть дано всем вышеописанным случаям снижения порога посредством увеличения освещаемой площади сетчатки?

Нам представляется вероятным предположение, что возбуждение, вызываемое раздражением одного элемента сетчатки, может усиливаться под влиянием раздражений, получаемых соседними ее элементами. Равным образом, раздражение одного места сетчатки может сказываться и на чувствительности (возбудимости) других мест ее благодаря более центральным связям. Теплов и Севрюгина (1934), исходя из данных более ранних опытов Фика, нашли, что порог светоощущения для точечного раздражителя снижается, если испытуемому предъявлять не одно, а несколько таких точечных раздражителей одинаковой яркости. Снижение порога наблюдается и при вполне раздельном видении отдельных точек (расстояние между последними было от 18 до 41 угловой минуты). Поэтому отпадает возможность объяснять полученный здесь результат физическим перекрыванием кругов светорассеяния на сетчатке. При наблюдении же влияния площади раздражения на величину порога играет, конечно, извест-

ную роль и этот момент.

О взаимоусилении физиологического эффекта пространственно раздельных раздражений сетчатки говорят и опыты Гранита (1930). Он имел дело со сверхпороговыми раздражителями и пользовался методом определения критической частоты мельканий. Как известно, чем ярче какой-нибудь прерывающийся световой раздражитель, тем при большей частоте перерывов наступает исчезновение миганий. Гранит и определял соответствующую такому прекращению субъективных миганий частоту перерывов некоторого светового раздражителя, даваемого то изолированно, то одновременно с другими такими же раздражителями. При этом все раздражители были пространственно достаточно удалены друг от друга, отстоя на 0,4 и 1,4 угловых градуса. Несмотря на последнее обстоятельство, при наличии нескольких одновременных раздражителей слияние мельканий для каждого из них требовало большей критической частоты, чем в случае, когда один раздражитель давался в отсутствии прочих. Таким образом, и опыты Гранита с несомненностью говорят за то, что даже для пространственно не смежных очагов возбуждения на сетчатке может иметь место взаимодействие. Гельдард аналогично Граниту находил критическую частоту мельканий для некоторого светлого поля в отсутствии других световых раздражителей в поле зрения и при наличии другого светового раздражителя, отстоящего от испытуемого поля на угол в 5°. Оказалось, что в последнем случае критическая частота для испытуемого поля была значительно большей. Иными

<sup>1</sup> О критической частоте мельканий у нас будет итти речь ниже.

словами, наличие другого (пространственно отдельного) раздражения на сетчатке влияло так же, как прямое увеличение яркости испытываемого поля.

Увеличение площади раздражения может совершаться также и путем воздействия раздражителя сразу на две сетчатки вместо одной, т. е. при бинокулярном смотрении вместо монокулярного. Опыты Пипера, произведенные над темно адаптированными глазами, показали, что бинокулярная чувствительность больше чувствительности монокулярной. Заметного влияния от раздражения другого глаза не обнаружилось лишь в первые 15 минут темновой адаптации, когда чувствительность вообще была еще достаточно низкой.

Наблюдавшиеся Пипером величины чувствительности E (в относительных величинах) для разных моментов времени t (в минутах) темновой адаптации приведены ниже.

Бинокулярно		Пра	вый глаз	Левый глаз		
t	Е	t	Е	t	Е	
0 3 8	86	0,5	111	1	111	
3	272	4	498	5	498	
	2730	9	2910	10	3 420	
14	11 800	15	13 500	16	14 500	
20	41 600	21	27800	22	23 000	
27	65 700	28	38 400	30	33 100	
37	81 600	39	40 000	40	37 000	
52	97 700	56	40 000	57	41 500	

Наблюденная Пипером суммация бинокулярных раздражений нашла себе подтверждение и в работах ряда других авторов. По Шумахеру (1937), снижение порога при бинокулярном зрении имеет место главным образом в аппарате сумеречного зрения. Колбочковое же зрение, по его данным, бинокулярной суммации почти не обнаруживает. Вместе с тем, подобно Пиперу, Шумахер нашел, что в первые минуты темновой адаптации бинокулярная чувствительность почти не превышает монокулярную и лишь по мере длящейся темновой адаптации (к 25-45-й минуте) бинокулярный порог оказывается почти вдвое меньше монокулярного. Автор высказывает в связи с этим гипотезу о тормозном влиянии на палочки со стороны подпорогово возбужденных колбочек. Литго и Филлипс (1938), однако, наблюдали бинокулярную суммацию и в самые первые минуты темновой адаптации. Вопрос следует поэтому признать подлежащим еще дальнейшему выяснению. Как следствие факта бинокулярной суммации Фрай и Бартли (1933) количественно установили, что один и тот же объект кажется нам ярче, если мы смотрим на него двумя глазами, а не одним глазом.

Что касается некоторых авторов, не наблюдавших бинокулярной суммации, то отрицательный результат их опытов порой все же может быть объяснен в согласии с вышеприведенными данными Пипера. Так, например, в работе Ревеш раз-

дражители в обоих глазах падали, повидимому, на несоответствующие места сетчаток, локализующиеся в разных мозговых полушариях. Согласно же специальным опытам Шаад (1935), бинокулярная суммация имеет место лишь при раздражении корреспондирующих точек сетчаток <sup>1</sup>. В опытах Бэра, также не установивших преимуществ бинокулярной чувствительности, возможно, что применявщийся раздражитель другого глаза был слишком интенсивным. Вследствие этого, давая сверхпороговое возбуждение в соответствующих местах мозга, он затруднял восприятие этими же местами слабых пороговых прямых возбуждений, идущих от исследуемого глаза.

Все условия бинокулярной суммации возбуждений не являются еще доста-

точно изученными.

Известен, например, так называемый «парадоксальный» опыт Фехнера, состоящий в следующем. Если мы посмотрим на какой-нибудь светлый объект двумя глазами, поместив перед одним глазом серое стекло средней прозрачности, то предмет покажется нам более темным, чем в том случае, когда мы совсем закроем глаз, смотревший через поглощающее стекло. Явление это было подтверждено Аубертом, Гельмгольцем и др. и, действительно, кажется парадоксальным: добавление светового раздражения одного глаза не усиливает, а ослабляет бинокулярно видимую яркость объекта. Вероятно все же, что в основе описываемого феномена лежит не простое взаимоусиление или взаимоослабление возбуждений, вызванных периферическими раздражителями, а известная более центральная переработка их, связанная с нашим суждением о подлинном цвете рассматриваемого объекта. Так именно и толкует результаты фехнеровского опыта Гельмгольц. В подтверждение своего мнения он указывает на то, что уменьшение бинокулярной яркости не наступает, если слабый свет, падающий в один глаз, не имеет очертаний, совпадающих с контурами объекта, видимого другим (не заслоненным) глазом. В таких условиях наблюдается скорее увеличение яркости объекта при бинокулярном раздражении.

# § 6. Влияние общих физиологических условий

Возраст. По наблюдениям ряда авторов (Чермак, Пипер, Лазарев, Валкер), световая чувствительность зависит от возраста субъекта. В лаборатории Лазарева собран большой материал, говорящий за то, что вплоть до 20—30-летнего возраста чувствительность нарастает,

после чего по мере приближения к старости снижается.

В качестве иллюстрации на рис. 75 приведены кривые темновой адаптации, полученные в совершенно тождественных условиях на испытуемых разного возраста. По ординатам отложены величины световой чувствительности глаза в условных единицах, по абсциссам — время пребывания в темноте в минутах. Как легко видеть, различие кривых сказывается в различном конечном уровне чувствительности. Последний же, как думает Лазарев, может рассматриваться как показатель центральной мозговой чувствительности. Таким образом, в зависимости адаптационной кривой от возраста мы видим влияние меняющейся с возрастом чувствительности нервных клеток зрительного центра.

Брюкнер (1938), ссылаясь на некоторые данные своей лаборатории, полагает, однако, что результаты, полученные здесь Лазаревым, можно приписать не изменению центральной чувствительности с возрастом, а тому обстоятельству, что у более старых людей зрачки уже, чем у молодых субъектов,— опыты же производились с естественной величиной зрачка. Едва ли все же эти соображения касательно величины зрачка имеют здесь решающее значение. Если зрачок к ста-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> О корреспондирующих точках см. ниже в главе VIII.

рости суживается, то как объяснить существование максимума световой чувствительности в возрасте 20—30 лет, как объяснить то, что в более молодом возрасте чувствительность оказывается тоже мень-

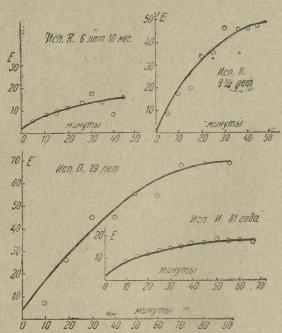


Рис. 75. Влияние возраста на световую чувствительность (по Лазареву).

шей? Упомянем, наконец, что по предварительным данным опытов Богословского и Добряковой, полученным в нашей лаборатории, электрическая чувствительность глаза оказывается также сниженной как в совсем молодом, так и в старом возрасте. Для чувствительности же глаза к неадэкватэлектрическому раздражителю отверстие зрачка, очевидно, различно.

Влияние пониженного барометрического давления. Значение этого фактора для световой и электрической чувствительности глаза исследовалось у нас в Союзе Вишневским и Цырлиным.

В своих опытах

они помещали испытуемых в специальную вентилируемую камеру, в которой можно было создавать различные степени разреженности

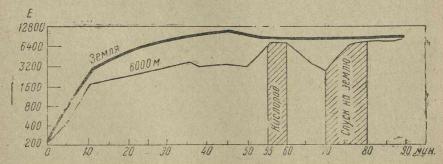


Рис. 76. Влияние недостатка кислорода на световую чувствительность (по Вишневскому и Цырлину).

воздуха, соответствующие подъему летчика или альпиниста на ту или иную высоту. Некоторые из полученных ими результатов приведены на рис. 76. По абсциссе отложено время пре-

бывания в темноте в минутах, по ординате — световая чувствительность периферического зрения в относительных величинах. Жирная линия показывает ход темновой адаптации в условиях нормального барометрического давления и содержания кислорода в воздухе («на земле»), тонкой линией показано течение темновой адаптации при разреженности воздуха и давлении, соответствующих высоте в 6 000 м. Сниженный уровень световой чувствительности в этом случае очень явственно выражен. Из рисунка также можно видеть, что искусственная подача кислорода (на 55—60-й минуте) или же возвращение к нормальным условиям нормального давления и содержания кислорода в воздухе (на 70—80-й минуте) быстро возвращает чувствительность к более вы-

сокому уровию.

На рис. 77 приводятся данные тех же авторов касательно минимальной яркости светового сигнала, видимого человеком, находящимся в условиях барометрического давления, соответствующего различной высоте над уровнем земли. Кривая ясно показывает, что эта яркость возрастает уже при подъеме на 1 500 м.

Влияние условий питания. Не подлежит сомнению, что световая чувствительность глаза стоит в тесной зависимости от нормального питания субъекта. Недостаток витамина А в пище влечет за собой заметное снижение световой чувствительности (так называемую куриную слепоту, или гемералопию). Тэнсли (1931) исследовала объектив-

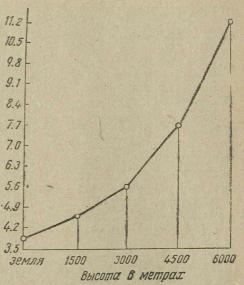


Рис. 77. Яркость впервые видимого сигнала в зависимости от высоты, с которой производится наблюдение (по Вишневскому и Цырлину).

i—пороговая яркость в относительных величинах отложена по ординате.

ным путем концентрацию зрительного пурпура у двух групп адаптированных к темноте крыс; одна из этих групп находилась все время в условиях нормального питания, другая же не получала в пище витамина А. Концентрация зрительного пурпура у голодающих крыс оказалась во всех случаях значительно меньшей по сравнению с таковой у крыс, нормально питаемых. Случай влияния длительного голода на ход темновой адаптации у человека удалось обследовать Кравкову и Семеновской в 1933 г. В одном из медицинских институтов Москвы страдающий циститом больной обрек себя добровольно на лечение абсолютным голодом в течение 50 суток. Находясь все время под наблюдением врачей, он получал в сутки лишь 3 стакана кипяченой воды. На 44-е сутки его голодания мы измеряли кривую темновой адаптации палочкового аппарата

его глаз. Потом такую же кривую мы измеряли у него спустя 2 недели после конца голодовки, когда больной уже вернул потерянный вес. Параллельно нами была измерена в тех же условиях кривая темновой адаптации у лица, все время питавшегося нормально. Полученные три кривые приведены на рис. 78. Как ясно видно, под влиянием голода световая чувствигельность резко (раз в 10—15) снизилась против нормы; вся адаптационная кривая лежит на очень низком уровне, не обнаруживая почти никакого нарастания после первых 20 минут.

Гехтом и его сотрудниками описаны (1938) расстройства световой чувствительности как палочкового, так и колбочкового аппаратов

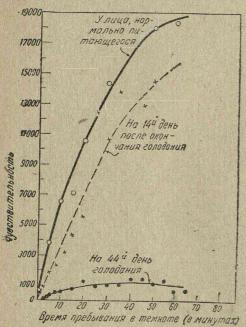


Рис. 78. Влияние голодания на световую чувствительность (по Кравкову и Семеновской).

зрения в случаях заболевания циррозом печени. Световая чувствительность при этих условиях оказывается и для палочек и для колбочек резко сниженной. Поскольку печень в нашем организме особо богата витамином А, заболевание ее может нарушить нормальное витаминное питание организма этим витамином. Авитаминозу и приписываются поэтому расстройства световой чувствительности, наблюдаемые при циррозе печени. Питание больного концентратами витамина А приводит к восстановлению нормальной световой чувствительности. Уолд и Стивен (1939) экспериментально вызвали значительное снижение как палочковой, так и колбочковой световой чувствительности путем специального питания человека пищей, лишенной витамина А. Прием витаминного концентрата быстро восстанавливал в их опытах нор-

мальную чувствительность. Подобная зависимость для налочкового зрения не может нас удивлять, поскольку мы выше, в главе II, уже говорили об участии витамина А в процессах регенерации зрительного пурпура. Интересным и новым является то обстоятельство, что витамин А оказывается существенно необходимым для нормального функционирования и колбочкового аппарага нашего зрения.

Влияние вегетативной нервной системы, времени дня и пр. Согласно воззрениям современной физиологии, вегетативной нервной системе следует приписать также и роль важного регулятора уровня возбудимости наших органов чувств, в том числе и глаза. В этом смысле говорят об адаптационно-трофической функции вегетативной нервной системы. Из работ Накамура и Мийаке (1922) мы знаем, что

инстилляция адреналина в конъюнктивальный мешок вызывает в сетчатке лягушек передвижение пигмента в световое положение. Ретиномоторные явления под влиянием раздражения симпатического нерва наблюдались на лягушках позже (1935) Куватовым, Робинзоном и др. К сожалению, вопрос о влиянии состояния вегетативной нервной системы специально на световую чувствительность глаза отнюдь еще не является достаточно выясненным. Опыты Ротхана (1925) говорят за понижение световой чувствительности периферического зрения после введения в конъюнктивальный мешок 3 капель адреналина (концентрации 1: 1000). То же описал и Биэтти (1938), нашедший, однако, повышение световой чувствительности периферического после подкожных инъекций адреналина. Бабский зрения и Скулов (1936) наблюдали повышение кривой темновой адаптации под влиянием подкожных инъекций адреналина и, напротив, снижение адаптационной кривой у лиц после удаления шейного симпатического ганглия. Гесс и Леманн (1926), с другой стороны, нашли, что инстилляция в конъюнктивальный мешок (2 раза по 2 капли) пилокарпина (вещества, возбуждающего в противоположность адреналину по преимуществу не симпатическую, а парасимпатическую нервную систему) влечет за собой снижение световой чувствительности глаза, достаточно явное и при учете того обстоятельства, что от пилокарпина наступает сужение зрачка. Эффект наблюдался при этом как в глазе, в который вводили пилокарпин, так и в том глазе, в который пилокарпин не вводили. Альтенбургер и Кролль (1930) исследовали изменения адэкватной (световой) хронаксии глаза в зависимости от применения различных медикаментов, действующих на вегетативную нервную систему. Согласно их данным, введение адреналина (как интравенозно, так и инстиллирование в конъюнктивальный мешок) хронаксию удлиняет в противоположность парасимпатикомиметическим раздражениям (холину). Вопросы зависимости световой чувствительности глаза от вегетативной нервной системы еще необходимо исследовать систематически с учетом всей сложности условий, от которых может зависеть эффект. Несомненным, однако, является то, что световая чувствительность зависит от состояния вегетативной нервной системы. Об этом говорят и опыты Кекчеева и Кавториной (1939). Авторы применяли ряд раздражений, вызывающих вегетативные рефлексы и используемых в неврологии как специальные вегетативные пробы (рефлекс Ашнера — давление на глазное яблоко, проба Луча — давление на твердое нёбо, проба Абрамса и Рубино - постукивание по позвонкам и др.). Во всех случаях наряду с определенной вегетативной реакцией авторы наблюдали и изменения в световой чувствительности сумеречного зрения.

На уровень чувствительности человеческого глаза влияет также и время дня. Данные опытов Богословского (проведенных в нашей лаборатории) говорят за то, что электрическая чувствительность глаз обнаруживает достаточно заметный максимум около 1 часа дня и минимум ночью. Насколько значительны бывают здесь различия в уровне чувствительности, можно видеть из рис. 79, где приведены данные Цветкова, еще ранее полученные в лаборатории Лазарева. По абс-

циссе отложены часы суток, по ординате — величина, обратная по-роговому электрическому раздражителю.

Подлежит дальнейшему изучению вопрос о зависимости свето-

вой чувствительности глаза также и от времени года.

Снижение адаптационной кривой может служить одним из ранних симптомов некоторых заболеваний органа зрения. Так, Ченцов нашел, что в глазах страдающих глаукомой наблюдается как пони-

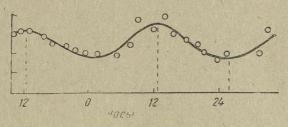


Рис. 79. Суточные колебания электрической чувствительности глаза (по Цветкову).

жение общего уровня адаптационной кривой, так и особенно замедление нарастания световой чувствительности в первые минуты пребывания глаз в темноте.

### § 7. Влияние гомогенных побочных раздражителей

Положительная и отрицательная индукция. Выше мы уже видели, что пороговая яркость уменьшается при увеличении площади раздражения. Это говорит за то, что раздражение одних мест сетчатки как бы усиливает раздражение других точек ее. Известны здесь опыты Фика, воспроизведенные затем в более строгих условиях Тепловым и Севрюгиной. Опыты эти показали, как мы уже упоминали выше, что световой порог для нескольких раздельных точечных раздражений сетчатки оказывается ниже порога, определяемого для одной изолированной точки. Точки при этом могут отстоять друг от друга на достаточно большое расстояние и видеться как раздельные. Карн (1935) нашел, что как в периферическом, так и в центральном зрении порог заметности светящейся точки снижается от наличия поблизости другого светового раздражителя, хотя бы этот последний был подпороговым и сам по себе как свет и не замечался. В недавних опытах Мешкова наблюдалось, что величина положительной иррадиации светлых объектов возрастает в случае появления в поле зрения добавочного светового раздражения в виде, например, рической лампы, расположенной на 8° к периферии от линии взора. Давние опыты Шмидта-Римплера (1887) показали, что раздражение светом боковых частей сетчатки может улучшать остроту центрального зрения (несмотря на то, что отверстие зрачка сохранялось в опытах постоянным). Приводятся в литературе высказывания некоторых астрономов, находивших, что видимость в телескоп колец Сатурна лишь выигрывает, если в поле зрения телескопа попадает и более яркое изображение самой планеты. Уже упоминавшиеся нами выше эксперименты Гранита установили, что критическая частота мельканий одного поля оказывается меньшей, чем если одновременно глазу представляются четыре таких поля (несмотря на отстояние их друг от друга в одной серии опытов на 0,4°, в другой — на 1,4°). В периферии сетчатки эффект оказывался большим, чем при центральном зрении. Впрыскивание испытуемым стрихнина усиливало эффект.

Гельдард наблюдал повышение критической частоты мельканий фовеального раздражения при появлении добавочного светового

раздражения в более периферических местах сетчатки.

Данные этих опытов находят себе подтверждение в работах других авторов (Айвс, Крид и Реш), которые устанавливали, что при светлом окружении мелькающее поле имеет более высокую критическую частоту мельканий, чем при темном окружении. Повышение критической частоты слияния мельканий поля, фиксируемого глазом под влиянием появления в поле зрения другого, достаточно яркого раздражения, было установлено недавно Мешковым. Заметим здесь, что



Рис. 80. Явление светового контраста.

по совокупности имеющихся в этой области наблюдений увеличение критической частоты слияния мельканий в вышеупомянутых работах следует понимать как результат посветления светлых фаз прерывистого раздражителя. Итак, на основании всего только что нами описанного мы должны признать, что побочный световой раздражитель сетчатки может усиливать эффектирямого раздражителей условно положительной подобное действие побочных раздражителей условно положительной индукции, как мы полагаем, может быть как изменение чувствительности (возбудимости), так и изменение наличного возбуждения. Сейчас мы на этом вопросе подробнее останавливаться не будем.

Обратим теперь внимание на другую большую группу фактов, говорящих нам уже о том, что побочные световые раздражители очень часто не усиливают, а ослабляют световой эффект прямого раздра-

жителя.

К подобным явлениям отрицательной индукции относятся все факты так называемого контраста. Серое поле на белом фоне кажется явственно более темным, чем это же поле, помещенное не на белый, а на серый или черный фон. Рис. 80 иллюстрирует эту закономерность. Следовательно, светлое окружение утемняет находящееся внутри его поле. Появление яркого пятна в поле зрения может вести не только к потемнению, но даже к полной потере видимости других более слабых световых пятен. При этом

такой эффект нельзя относить за счет сужения зрачка, поскольку описанное явление наблюдалось и вопытах, в которых применялся

искусственный зрачок (Мак Дауголл, 1901).

Заметность контрастного действия зависит от ряда условий, прежде всего от условий пространственных. Контраст сказывается тем сильнее, чем ближе одно к другому взаимодействующие раздражения, поэтому у границ соприкасающихся полей контрастное влияние особенно заметно. Это обстоятельство имеется в виду под названием к р а ево го к о н т р а с т а. Иллюстрацией краевого контраста может служить рис. 81.

На нем все вертикальные полосы имеют внутри себя одинаковую светлоту, но кажутся в силу контраста неодинаковыми: с того края, который граничит с более темной полосой, каждая полоса кажется

светлее, чем с края, граничащего с более светлой полосой.

Каждая точка сетчатки подвергается контрастному влиянию, однако, не только со стороны смежных с ней мест, но также и со сто-



Рис. 81. Явление краевого контраста.

роны мест, более удаленных. Поэтому естественно ожидать, что величина контрастного действия должна расти вместе с увеличением площади того раздражения, контрастное действие которого мы оцениваем. Зависимость светлотно-

го контраста от площади раздражения, вызывающего контраст, была установлена. экспериментально Киршманом. В ряде работ исследовалось, далее, как меняется величина контрастного действия при увеличении интенсивности побочного светового раздражителя, вызывающего этот эффект1. По данным Хесса и Претори, Гейманса, Спенсера, Келера и Шеварева, эффект отрицательной индукции нарастает в общем как линейная функция интенсивности индуцирующего раздражителя. Согласно данным работы Шеварева, в которой применялся искусственный зрачок, определенная фиксация взора, определенная длительность экспозиции, черный фон, постоянные условия темновой адаптации и расстояние между раздражителями в 3°,  $R = R_0 + K J$ , где  $R_0$ — яркость какого-либо поля сравнения, видимого изолированно на черном фоне, J — яркость другого смежного поля, влияющего индуктивно, К — некоторая постоянная и R — яркость, которую надо дать реагирующему полю, чтобы оно при наличии индуцирующего поля казалось равным по яркости полю сравнения, т. е.  $R_0$ . Постоянная К в свою очередь линейно зависит от  $R_0$ , нарастая с увеличением этого последнего.

Надо заметить, однако, что при большей вариации интенсивности индуцирующего раздражителя (до 10 000 раз) в условиях строго колбочкового зрения закон линейной зависимости яркости реагирующего

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Критический обзор этих работ читатель найдет в статье Б. М. Теплова «Взаимодействие одновременных световых ошущений», напечатанной в сборнике «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935.

поля от яркости индуцирующего поля уже не подтверждается (Карво-

ский и Риггс, 1937).

Итак, резюмируя, можно сказать, что побочные гомогенные раздражители, т. е. освещение других мест сетчатки, бывает как содействующим, усиливающим эффект прямого раздражения, так и тормозящим, ослабляющим этот эффект. Можно допустить, что каждый очаг свегового возбуждения является источником двоякого рода влияний, распространяющихся от него на другие участки нашего рецепторного аппарата. С одной стороны, он вызывает в них повышение возбуждения, с другой — он так или иначе (понижая или повышая) меняет их возбудимость. Понижение возбудимости (чувствительности) и проявляется в описанных выше явлениях контраста<sup>1</sup>. Будем ли мы в результате светового раздражения другого места сетчатки иметь эффект положительный или же отрицательный, зависит, очевидно, от соотношения этих различных влияний. Заранее следует думать, что здесь

весьма большое значение имеют как локальные, так и временные условия приложения раздражи-

телей.

Есть наблюдения, говорящие о том, что контраст бывает наиболее заметен в первые моменты действия раздражителей, при длящемся же экспонировании ослабевает и даже часто сменяется эффектом положительной индукции.

Инверсия действия побочного раздражения. Несомненное влияние на направление конечного эффекта имеет и интенсивность по-

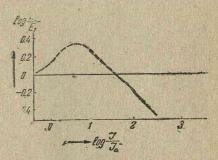


Рис. 82. Явление инверсии действия побочного светового раздражителя (по Теплову).

бочного светового раздражителя. Выяснению специально этого влияния были посвящены работы Бейтеля (1936) и Теплова (1937). В этих работах определялась пороговая яркость одной световой точки в зависимости от присутствия вблизи нее другой, яркость которой бывала различной. Отстояние «реагирующей» точки от «индуцирующей» вариировало от 3,5 угловых минут до 2 градусов 10 мин. В опытах Бейтеля обе точки давались на фоне малой яркости, в опытах Теплова — на совершенно черном фоне. Оба автора нашли, что при малых интенсивностях индуцирующего раздражителя (в том числе и при подпороговых) чувствительность в месте реагирующей точки возрастает. Теплов установил, что при некоторых средних интенсивностях побочного светового раздражителя чувствительность реагирующей точки остается той же, что и без него; при более же сильных интенсивностях индуцирующего раздражения наблюдается уже контрастное, тормозное действие на точке реагирующей. Типичную картину установленной здесь закономерности дают результаты серии опытов Теплова, приводимые на рис. 82 и относящиеся к макулярному зрению темно адаптированного глаза.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Поэтому на совершенно черном поле одновременный цветовой контраст не наблюдается.

По ординате отложены логарифмы отношения  $E_1$ , где  $E_1$ — чувтвительность в месте реагирующей точки, найденная в отсутствии

ствительность в месте реагирующей точки, найденная в отсутствии индуцирующей точки, а  $E_2$  — чувствительность, наблюденная при наличии индуцирующей световой точки; по абсциссе отложены логарифмы яркости индуцирующей точки, выраженной в величинах, отнесенных к яркости пороговой.

Подобная картина инверсии действия побочного светового раздражителя — переход положительного эффекта в отрицательный — может быть принципиально понята как результат двух влияний, исходящих из побочного раздражителя и нарастающих в зависимости от интенсивности этого последнего по двум различным кривым. Ближай-

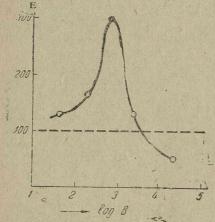


Рис. 83. Влияние яркости, адаптирующей один глаз, на световую чувствительность другого (по Семеновской).

шее, количественное установление хода этих кривых, однако, пока еще является делом будущего.

Весьма вероятно, наконец, что преобладание положительного или отрицательного действия побочного светового раздражителя зависит и от его спектрального состава. По опытам Галочкиной, (1941), проведенным в нашей лаборатории, при взаимодействии зеленых раздражителей преобладает отрицательная индукция. При взаимодействии красных раздражителей, напротив, превалирует эффект положительной индукции. При применении же крайних красных раздражителей индуктивных влияний вообще наблюдать не удается.

Влияние световых раздраже-

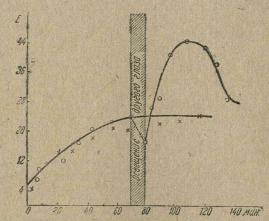
ний другого глаза. Световые раздражители, воздействующие на другой глаз, также влияют на световую чувствительность данного, исследуемого глаза. Как показано экспериментами Семеновской (1937), световая адаптация одного глаза повышает световую чувствительность палочкового аппарата другого глаза при условии, если адаптирующая яркость не слишком велика<sup>1</sup>. Повышающее чувствительность влияние достигает своего максимума при адаптирующей яркости, близкой к 500 люксам, на белую поверхность. Сказанное иллюстрирует рис. 83, где по абсциссе отложены логарифмы яркостей, адаптирующих другой глаз (в люксах на белом), а по ординате — относительная величина световой чувствительности, имевшаяся на 30-й минуте адаптации другого глаза к этим яркостям, причем за 100 принята чувствительность, наблюдавшаяся перед этой адаптацией.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Необходимо заметить, что обнаружение описываемой закономерности требует устранения влияния содружественного зрачкового рефлекса и устранения светового раздражения другого глаза в самый момент определения порога глазом чеследуемым.

Повышение световой чувствительности одного глаза при световой адаптации другого следует, как мы думаем, относить за счет того повышения возбудимости нервных клеток в зрительных центрах, которое имеет место всегда при некотором раздражении их. Выше мы уже видели, что электрическая чувствительность глаза, говорящая как раз о чувствительности центрального нервного аппарата зрения, бывает наибольшей не при темноте, а при некоторой дозе светового раздражения. Опытами же Богословского, Семеновской и Кравкова (1935) было показано, что электрическая чувствительность исследуемого глаза повышается также и от освещения другого глаза. Влияют не только наличные побочные световые раздражители (ощущаемые или неощущаемые), но и раздражители, действовавшие на нас раньше. Встает,

таким образом, вопрос о последействии побочных световых раздражителей.

Последействие гомогенных побочных раздражителей. Еще у Ауберта, Пипера и Нагеля можно найти указание на то, что умеренное световое раздражение («засвет») темно адаптированного глаза может повлечь за собой не понижение, а повышение последующей световой чувствительности. Специальному изучению это явление подверглось затем в нашей лабыли минут 50 в условиях слабого освещения, перед



боратории. Если мы после глаза на последующую световую чувствительтого как испытуемые про- ность дру ого (по Кравкову и Семеновской).

тем как погрузить их глаза в темноту и начать измерять адаптационную кривую, дадим на несколько минут достаточно яркий свет, то последующая кривая световой чувствительности глаза (кроме самых первых точек) часто ложится не ниже, а, напротив, выше кривой, получаемой в тех же условиях, но без такого специального предварительного освещения глаз.

Подобное, повышающее последующую световую чувствительность, действие предварительного освещения Кравков и Семеновская наблюдали и тогда, когда предварительному специальному освещению подвергался один глаз, световая же чувствительность определялась для другого глаза. Этот вариант опыта доказывает, что мы имеем здесь дело с изменениями чувствительности, обусловленными центрально, поскольку у нас нет данных думать, что фотохимические процессы в сетчатке одного глаза изменяются от предшествующих раздражений другого. Вызываемое освещением одного глаза повышение последующей световой чувствительности другого развивается постепенно, проходя через максимум. Об этом можно судить по данным наших опытов,

приводимым на рис. 84. На рисунке изображена кривая хода темновой адаптации правого глаза. На абсциссе отложено время пребывания в темноте в минутах, по ординате — величина световой чувствительности в условных единицах. Крестиками обозначены величины, найденные в дни опытов, когда никакого специального освещения левого глаза не производилось, кружками — данные опыта, когда

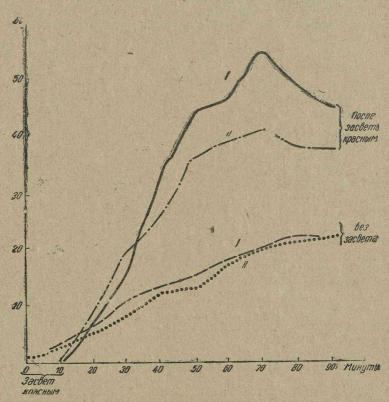


Рис. 85. Влияние предшествующего светового раздражения («засвета») красным светом (по Никифоровой) на последующую чувствительность сумеречного зрения.

после 70-й минуты темновой адаптации в левый глаз на 10 минут направлялся белый свет яркостью приблизительно в 200 люксов на белой поверхности. До начала темновой адаптации испытуемые около 40 минут находились в условиях слабого искусственного освещения.

Наиболее выраженным последующее повышение световой чувствительности периферии бывает в том случае, когда предварительному «засвету» подвергся колбочковый аппарат глаза: «засвет» затрагивал макулярную область сетчатки или же применялись красные лучи спектра, не вызывающие выцветания зрительного пурпура. На рис. 85 приведены данные более недавних (1939) опытов, 130

проведенных в нашей лаборатории Никифоровой. Ею применялся монокулярный «засвет» исследуемого глаза красным светом в течение первых 10 минут периода, отведенного для темновой адаптации. Яркость «засвета» была близка к 75 люксам на белое. До начала периода темновой адаптации оба глаза были в течение 10 минут адаптированы к яркости около 230 люксов на белое. На рис. 85 приведены адаптационные кривые периферического зрения двух подопытных лиц. Кривые получены в совершенно тождественных условиях, с тою лишь разницей, что в условиях опыта, давшего кривые нижние, отсутствовал «засвет», имевшийся в течение первых 10 минут в условиях опыта, давшего кривые верхние. Сенсибилизирующее действие «засветов» здесь чрезвычайно значительно. Несомненно, конечно, и это установлено у нас специальными опытами, что доза светового раздражителя имеет большое значение — наступит ли последующее повышение чувствительности или нет и сколь значительно оно будет. При чрезмерно сильных «засветах» Кравковым и Семеновской наблюдалось уже не повышение, а понижение последующей световой чувствительности (не только засвеченного, но и незасвеченного глаза). Имеется, таким образом, некоторый оптимум светового раздражения нашего зрительного аппарата. Известное сенсибилизирующее действие оказывают, однако, даже совсем слабые световые раздражения, применяемые в ходе темновой адаптации при определении порогов. Это явление, описанное первоначально Аубертом, Нагелем, Кравковым и Семеновской (1933), было подтверждено позже Бронштейном

Факты повышения световой чувствительности предшествующими «засветами» были подтверждены в работах Вишневского и Розенблюма. В недавнее время (1944) Кравковым и Семеновской показано, что сенсибилизирующий эффект «засветов» можно наблюдать не только на периферическом зрении после раздражения центральной зоны сетчатки, но также и на центральном зрении после «засвета» периферии.

С точки зрения гипотезы «реципрокной зависимости аппаратов центрального и периферического зрения» (см. гл. III), факты последующего повышения световой чувствительности периферических или центральных мест сетчатки после «засветов» могут быть истолкованы как факты повышения чувствительности, наступающей вслед за фазой «заторможенности» их, как факты повышения чувствительности при «растормаживании». В первые минуты после «засвета» мы, действительно, обычно наблюдаем еще «торможение» — снижение чувствительности, которое затем сменяется сверхнормальным ее повышением. Аналогичные картины известны и в других областях физиологии нервной системы.

Едва ли, однако, под такое объяснение смогут быть подведены все известные нам случаи сенсибилизирующего действия «засветов». Его нельзя приложить, например, к сенсибилизирующему влиянию слабых раздражений периферического зрения. Вероятно, что в последних условиях причиной последующего обострения чувствительности является тот факт, что всякое (не чрезмерно сильное) возбуждение нервных клеток зрительного аппарата повышает их возбудимость.

# § 8. Влияние гетерогенных побочных раздражителей

Действие слуховых раздражений. В подтверждение старых опытов Урбанчича, эксперименты, поставленные различными авторами в последние годы, показали несомненную зависимость световой чувствительности глаза от наличных слуховых раздражений. По данным Кравкова, Семеновской и затем Вишневского, применявших достаточно громкие звуки, световая чувствительность сумеречного эрения при слуховом раздражении снижается, световая же чувствительность эре-

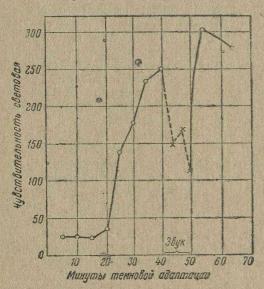


Рис. 86. Влияние слухового раздражения на чувствительность сумеречного зрения (по Кравкову).

ния колбочкового для белого света в тех же условиях, напротив, обнаруживает повышение. рис. 86 приведена в качестве иллюстрации получен-Кравковым кривая адаптации сумеречного зрения, типичная для этого рода опытов. С 42-й по 50-ю минуту на оба уха испытуемого действовал звук. Лазарев и Макаров находили, однако, под влиязвуков повышение периферической световой чувствительности. гласие это остается еще не разъясненным. Следует все же подчеркнуть, что угнетающее действие слуховых раздражений на световую чувствительность периферии у нас в лаборатории

наблюдалось неизменно на достаточно большом числе случаев. Повышение возбужденности центрального зрения при слуховых раздражениях было установлено Кравковым по увеличению эффекта иррадиации света при звуке (1933) (рис. 87), а также и по повышению остроты зрения, когда глазом различаются темные объекты на светлом фоне (1930). Следует здесь отметить, что на возбужденность макулярной области глаза большее влияние оказывает раздражение противостороннего уха, чем уха той же стороны, что и исследуемый глаз.

Анатомически связь зрения со слухом может осуществляться, по всей вероятности, в подкорковых центрах, — в четверохолмии и коленчатых телах. Это предположение, высказанное первоначально Лазаревым, нашло себе подтверждение со стороны американских физиологов Саула, Джерарда и Маршалла. Они наблюдали усиление токов действия, вызванных слуховым раздражением и отводимых от подкорки у кошки при возникновении побочного светового раздражения. Конечно, из того факта, что взаимодействие зрительного и слу-

хового раздражителей имеет место уже в подкорке, не следует, что связи между этими двумя важнейшими нашими рецепторами не осуществляются также и выше, в коре полушарий большого мозга.

Преимущественное значение противостороннего уха следует, по-

видимому, приводить в связь с тем, что слуховой нерв претерпевает, как известно, частичный перекрест на своем пути к коленчатым телам и четверохолмию, и число перекрещенных нервных волокон бывает больше, чем число волокон, идущих к мозговым центрам той же стороны тела, что и раздражаемое ухо.

Изменение электрической чувствительности глаза под влиянием звукового раздражения было исследовано в нашей лаборатории Богословским. Он наблюдал повышение электрической чувствительности при звуках слабых и средней силы и, напротив, ее снижение при звуках очень громких.

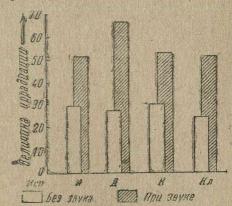


Рис. 57. Влияние слухового раздражения на эффект световой иррадиации (по Кравкову). Велые столбики показывают величины иррадиации без слухового раздражения; заштри-

хованные - при звуке.

Влияние обонятельных, температурных, вкусовых, проприоцептивных, энтероцептивных и других раздражителей. Описывались в

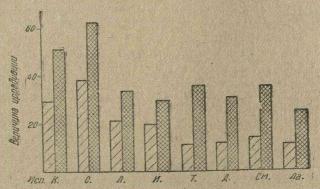


Рис. 88. Влияние обонятельных раздражений на эффект световой иррадиации (по Кравкову).

Светлые столбики показывают величины иррадиации без обонятельного раздражения; темные столбики — при запахе.

литературе влияния на световую чувствительность и других органов чувств, кроме уха. Так, Урбанчичем, и в более недавнее время Кравковым, Макаровым и Кекчеевым наблюдалось действие на зрение раздражителей обонятельных. Кравков нашел, что эффект световой иррадиации при запахе увеличивается. Это иллюстрирует рис. 88, где

приведены результаты опытов, проведенных над 8 лицами, с запахом

бергамотового масла.

По Макарову, обонятельное раздражение запахом бергамотового масла и пиридина в толуоле действовало повышающим образом на чувствительность периферического зрения. То же для первой минуты действия обонятельного раздражения наблюдал и Кекчеев (1936), применяя нашатырный спирт. Добрякова (1938) в нашей лаборатории наблюдала ухудшение электрической чувствительности глаза при 5-минутном вкусовом раздражении (солью, сахаром или лимонной кислотой). Кекчеев (1937) наблюдал изменение порогов сумеречного зрения под влиянием температурных, а также и мускульнодвигательных раздражителей. Опыты Белостоцкого и Ильиной говорят о зависимости чувствительности периферического зрения от раздражений вестибулярного аппарата. Специальное внимание было обращено Кекчеевым, далее, на связь нашего сумеречного зрения с энтероцептивными (внутренностными) раздражителями. Полученные им здесь экспериментальные данные говорят за то, что и эта область раздражителей влияет на чувствительность периферического зрения. Энтероцептивными раздражителями в описываемых опытах служили расширение мочевого пузыря и расширение матки.

В лаборатории Орбели Лебединским, Загорулько и Турцаевым показано, что световая чувствительность периферического зрения повышается от болевого раздражения. Выше, когда у нас речь шла о действии гомогенных побочных раздражителей, мы уже видели, что влиять могут не только замечаемые нами сверхпороговые раздражения, но и световые раздражители неощущаемые, подпороговые. Об этом говорят опыты Теплова, Карна и в нашей лаборатории Галочкиной. Кекчеевым показано, что световая чувствительность периферического зрения может меняться при воздействии таких неощущаемых гетерогенных раздражителей, как рентгеновские лучи, ультрафиолетовая радиация, неслышимые акустические раздражители (звуки с частотой в 24 000 герц). По наблюдениям Лазарева (1934), облучение кожи солнечным светом неизменно влечет за собой понижение чувствительности периферического зрения. Изменяемость электрической чувствительности глаза (в направлении ее снижения) от освещения кожной поверхности лучами видимого спектра (с устранением теплового их действия) была найдена в нашей лаборатории Миллером (1938).

Едва ли можно сомневаться в том, что действие всякого рода побочных раздражителей на световую чувствительность зависит от их дозировки. По данным работ Дионесова, Загорулько, Лебединского, Турцаева, Теплова, Богословского и Кекчеева, можно сделать предварительное обобщение, говорящее о том, что малые интенсивности побочных раздражителей повышают чувствительность зрения, при средних интенсивностях она остается без изменения; при больших же их интенсивностях чувствительность снижается. Представляется, несомненно, желательным подвергнуть это положение дальнейшей

систематической экспериментальной проверке.

Необходимо учитывать также то обстоятельство, что действие побочных раздражителей на световую чувствительность глаза есть

процесс, развивающийся во времени. В ходе этого развития может наблюдаться смена противоположно направленных фаз. Так, например, Кекчеев наблюдал, что фазе пониженной световой чувствительности, наступающей после освещения тела ультрафиолетовыми лучами, пред-

шествует фаза повышенной чувствительности.

Что касается, наконец, того физиологического субстрата, который лежит в основе всех вышеописанных связей зрения с самыми различными побочными раздражителями, действующими на субъекта, то заранее, конечно, следует думать, что здесь мы имеем дело не с одним каким-нибудь способом связи. Наряду с взаимодействиями нервных процессов в соматической нервной системе имеют место влияния со стороны вегетативной нервной системы и влияния гуморальные. Выше (в § 6) мы уже обращали внимание на то, что раздражители, вызывающие вегетативные реакции, в то же самое время изменяют и уровень чувствительности сумеречного зрения. Инстилляция вегетативных ядов также сказывается на уровне световой чувствительности. Гуморальным влияниям через кровь приписывают действие на зрение освещения кожной поверхности. Но и чисто нервные связи могут носить, несомненно, весьма различный характер. С одной стороны, это могут быть связи, определяемые врожденной анатомической организацией взаимодействующих рецепторов, — такие связи мы можем назвать безусловными. Они, по всей видимости, возможны на всех уровнях нервного аппарата — и на периферии, и в подкорке, и в высших центрах. С другой же стороны, связи могут устанавливаться между двумя очагами в нервной системе по принципу ассоциации: как связи временные, условные, как «условные рефлексы» Павлова, для чего у человека требуется участие коры головного мозга.

# § 9. Условно-рефлекторные изменения световой чувствительности

Освещение глаза вызывает, как мы знаем, повышение электрической чувствительности его. Постукивание метронома само по себе никаких заметных изменений электрической чувствительности глаза не вызывает. Если же мы несколько раз одновременно с освещением будем давать и постукивание метронома, то после нескольких таких сочетаний уже один стук метронома начинает повышать электрическую чувствительность глаза. Факт этот, впервые установленный Богословским (1936) в нашей лаборатории, является примером типичного павловского условного рефлекса. В отличие от условных рефлексов, изучавшихся раньше (рефлексов секреторных и двигательных), он может быть назван сенсорным условным рефлексом. Долин (1936) показал, что можно путем создания условного рефлекса понижать адэкватную световую чувствительность глаза, сочетая какой-либо индиферентный раздражитель (например, тот же метроном) с другим, уже не индиферентным раздражителем (например, освещением глаза): одно постукивание метронома начинает снижать адаптационную кривую. Аналогичные картины условно-рефлекторного изменения чувствительности периферического зрения наблюдал затем в своих опытах и Кекчеев. Богословским было показано, что сенсорный рефлекс может устанавливаться и на такой условный раздражитель, как время, протекшее в темноте. Так, если на определенной минуте темновой адаптации всегда давать «засвет», повышающий электрическую чувствительность глаза, то через некоторое время повышение чувствительности наблюдается на тех же минутах и в опытах без фактического «засвета». Такое условно-рефлекторное повышение чувствительности длится несколько дней, постепенно исчезая. Условным раздражителем может быть сделан и образ воображения и, наконец, просто слово. После ряда опытов с применением «засвета» в виде смотрения на ярко освещенный экран уже одно воображение такого светлого экрана влечет повышение электрической чувствительности глаза (Богословский). Электрическая чувствительность глаза, по данным опытов Добряковой, проведенных в нашей лаборатории, при применении кислых вкусовых

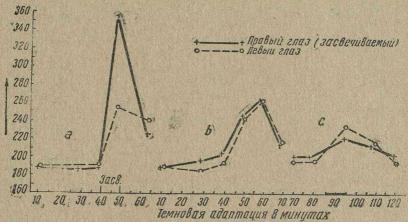


Рис. 89. Условно-рефлекторное изменение электрической чувствительности глаза (по Богословскому).

раздражителей снижается. Она может также снижаться и при одниж лишь словесных раздражителях в виде слов «кислый, как лимон», и т. п. На рис. 89 приведены иллюстрирующие это кривые опытов Богословского.

Кривая a показывает изменения электрической чувствительности глаза в ходе темновой адаптации при наличии «засвета»; кривая b показывает электрическую чувствительность при выработанном условном рефлексе на «засвет» на определенной минуте; кривая c показывает повышение электрической чувствительности при одном воображении испытуемым яркого экрана (черта на абсциссе показывает время, когда испытуемый представлял себе яркий экран).

Позднейшие опыты Севрюгиной и Богословского в нашей лаборатории показали, что условно рефлекторным путем могут изменяться и такие зрительные функции, как острота зрения и различительная

чувствительность глаза.

Таково то множество факторов, которые могут так или иначе влиять на световую чувствительность нашего глаза.

# § 10. Пороги световой чувствительности глаза

Посмотрим теперь, как велика может быть вообще световая чувствительность глаза, иными словами, какова та минимальная порция лучистой энергии, которая уже может замечаться глазом. Здесь мы приведем величины раздражителей, найденные в качестве минимальных в работах различных авторов. Заранее надо, однако, сказать, что большинство этих данных носит приближенный характер. Авторы не испытывали, конечно, всех возможных условий, влияющих на чувствительность. Поэтому приводимые как минимальные величины порогов при подборе соответствующих условий, вероятно, смогут быть еще уменьшены. Тем не менее и в данном их значении они свидетельствуют о том, что человеческий глаз является аппаратом, во много тысяч раз более чувствительным, чем лучшие современные радиометры.

По Эйстеру и Крису, соответствующая порогу раздражения энергия зеленых лучей с длиной волны в 507 mp (при площади раздражения, равной 2 угловым минутам в диаметре, и времени действия на глаз в  $^{1}$ /<sub>8</sub> секунды), равняется всего от 1,3 до 2,6 ·  $10^{-10}$  эрг/сек. По Ресселю, величина эта, вычисленная на основании данных о видимых нами звездах, равна 7,7 ·  $10^{-10}$  эрг/сек. По Ривсу, для точечного белого света пороговая энергия оказалась равной 1,95 ·  $10^{-9}$  эрг/сек. По некоторым другим авторам, эта величина может быть еще меньшей. Так, по Дю-Нуи она равна 3,8 ·  $10^{-11}$  эрг/сек; по подсчетам же Анри — даже 5 ·  $10^{-12}$  эрг/сек., т. е. величине порядка одного свето-

вого кванта.

Вавилов экспериментально нашел, что темно адаптированный глаз способен видеть лучистую энергию, равную всего нескольким квантам (для излучений с длиной волны в 505 mp, например, всего восьми квантам). Гехт с сотрудниками (1941), пользуясь методом, Вавилова, нашел, что величина порога темно адаптированного глаза для излучений с длиной волны в 510 mp соответствует 5—7 квантам.

В яркостных единицах (в стильбах, т. е. свечах с квадратного сантиметра) пороговые раздражители, по Ривсу, лежат в пределах от  $10^{-7}$  до  $10^{-11}$  стильбов (в зависимости от углового размера раздра-

жающего поля).

Если выразить пороговую интенсивность светового раздражителя через силу света источника, впервые видного с расстояния в 1 км при полной прозрачности атмосферы и приспособленности глаза к темноте, то эта сила будет равняться тысячным долям свечи.

Наконец, по освещенности, создаваемой на зрачке наблюдателя, пороговый раздражитель близок к 5 · 10-9 люкса. Чувствительность

 $^1$  См. также посвященную этому вопросу статью М. В. Соколова в «Сборнике трудов секции светотехники» Научно-исследовательского аэроинститута, № 2, Л., 1934.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Напомним, что эрг равен работе, требующейся для поднятия 1 мг на 1 см. По подсчетам оказывается, что для того, чтобы энергией порогового светового раздражения, падающего на зрачок, нагреть 1 г воды на 1°, потребовалось бы накапливать эту энергию в течение почти 60 миллионов лет!

колбочкового аппарата сетчатки меньше, чем чувствительность ее

палочкового аппарата.

Для ряда случаев практической жизни важно знать, однако, не столько ту минимальную интенсивность светового раздражителя, которую глаз вообще способен заметить, сколько ту пороговую яркость объекта, при которой объект видим в данных конкретных условиях. Исследованию пороговых величин яркости для объектов

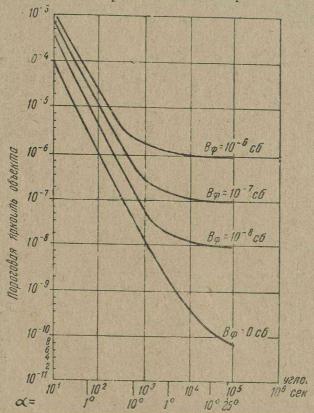


Рис. 90. Пороговые яркости объектов разного углового размера (а) на фонах ( $\beta_{\vec{\theta}}$ ) разной яркости в стильбах (по Вейгелю и Кноллю).

различного углового размера и для условий различной яркости адаптирующего фона посвящены были недавно опубликованные эксперименты Вейгеля и Кнолля (1940), результаты которых и приводятся на рис. 90.

# § 11. Расстройство светоощущения. Гемералопия

До сих пор мы знакомились с основными закономерностями светоощущения нормального глаза. Но, наряду с нормальными в отношении световой чувствительности глазами встречаются, и не так уже

редко, глаза с ненормальным светоощущением. Наиболее часто встречающимся видом расстройства светоощущения является гемералопия <sup>1</sup>, или, в просторечии, «куриная слепота». О ней мы уже упоминали выше, говоря о влиянии витамина А на световую чувствительность. Гемералопия проявляется резким понижением зрения в сумерки и ночью. При наступлении темноты, когда вещи теряют для нас свои хроматические оттенки, но нормально зрячий все же достаточно легко ориентируется в окружающем посредством своего периферического зрения, субъект, страдающий гемералопией, чувствует себя совершенно беспомощным, ничего не различает, наталкивается на предметы и т. п. Специальные исследования показали, что темновая адаптация у гемералопов или заметно ослаблена по сравнению с нормой, или же вовсе отсутствует. Гемералопия может быть связана с сетчаточными заболеваниями, но часто наблюдается и без каких-либо заметных специальных

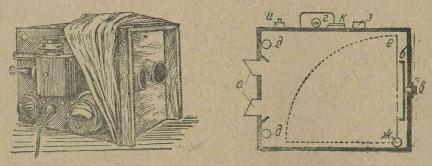


Рис. 91. Прибор Кравкова и Вишневского для испытания сумеречного зрения.  $\sigma$ — отверстия для глаз;  $\delta$ — кассета для вставления цветной таблицы;  $\delta$ — ручка, поворачивающая кассету;  $\delta$ —коллачок с лампочкой, освещающей цветную таблицу;  $\delta$ — лампочки, освещающие жран для предварительной световой адаптации;  $\epsilon$ —поворачивающийся экран для световой адаптации (круговым пунктиром обозначено направление движения экрана, линейным —положение экрана при световой адаптации);  $\omega$  — головка с переключателем, поворачивающия экран и переключающая лампочки;  $\delta$  — вольтметр;  $\omega$ —реостат;  $\kappa$  — винт, регулирующий ширину раскратия щели.

органических изменений в глазе. Причинами ее в этом случае бывают плохое питание и продолжительная работа при чрезмерно ярком освещении.

В качестве простого метода определения гемералопии Кравковым (1928) было предложено пользоваться феноменом Пуркинье. У гемералопов явление Пуркинье или вовсе не наблюдается, или же наблюдается значительно позже после перехода глаза в условия сумеречного зрения, чем у лиц, у которых палочковый аппарат зрения функционирует нормально.

Кравковым совместно с Н. А. Вишневским был сконструирован специальный прибор для испытания нормальности сумеречного зрения по этому принципу. Прибор представляет собой ящик, внутрь которого смотрит испытуемый. На задней стенке ящика помещается таблица с четырьмя цветами, специально подобранными так, что соотношение их светлот в случае колбочкового и в случае палочкового эрения бывает различным. Таблица освещается лампочкой сквозь щель, имеющуюся в стенке прибора. Величина этой щели может меняться. Глаза испытуемого перед испытанием адаптируются в течение определенного времени к некоторой

<sup>1 «</sup>Гемера» по-гречески значит «день», «опс» — «зрение».

определенной яркости. О нормальности или ненормальности светоошущения можно судить по времени, нужному испытуемому для того, чтобы после конца световой адаптации при определенном размере освещающей щели увидеть на таблице соотношение светлот, соответствующее феномену Пуркинье. Внешний вид прибора и схема его устройства приведены на рис. 91. По данным многочисленных испытаний в практике транспортной (Мальцева) и военно-полевой (Махлин, Белостоцкий) службы показания прибора оказались достаточно хорошо оправдывающимися.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

#### §§ 1-2

A u b e r t H., Physiologie der Netzhaut, Breslau, § 19—24, 1865. — A d a m s D., Dark-Adaptation, London, 1929. — P i p e r H., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 31, 32, 1903. — N a g e I W., Adaptation, Dämmerungssehen und Duplizitästheorie Helmholtz's Handbuch, Bd. II, 1911. — K r i e s I., v. Zschr. Psych., Bd. 15, 1899. — P ü t t e r A., Pfl. Arch. ges. Physiol., Bd. 171, 1918. — H e c h t S., Die Naturwissenschaften, H. 4, S. 66, 1925. — L a s a r e f f L., Die Naturwissenschaften, H. 30, S. 659, 1925. — K o h l r a u s c h A., Adaptation, Tagessehen und Dämmerrungssehen, Bethes Handbuch der normalen u. pathologischen Physiologie, Bd. XII, 1931. — H e c h t S., La base chimique et structure de la vision, Paris, 1938; Handbook exper. psych. Worcerster, 1934. — F e I dm a n I., Arch. ophth., v. 19, 1938. — M a t t h e y G e n e v i é v e, Graefes Arch. Ophth., Bd. 129, 1932. — Л а з а р е в П., Журнал экспериментальной биологии и медицины № 5, 1926. — А х м а т о в А. С., Журнал прикладной физики, т. 1, в. 1—4, 1924. — Л а з а р е в П., Ионная теория возбуждения, 1923. — Л а з а р е в П., Физико-химические теории алаптации при периферическом зрении, Журнал экспериментальной биологии и медицины № 2, стр. 103, 1925. — Проблемы физиологической оптики. Сб. под ред. М. И. А в е р б а х а и С. В. К р а в к о в а, т. I, Изд. Академии наук, М. — Л., 1941. — К е к ч е е в К. Х., Ночное зрение, М., 1942.

### § 3

Lohmann W., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 41, 1906; Helmholtz's, Handbuch, 3. Aufl.,Bd. II. — Қгіев І, v., Graefe's Arch. Ophth., Bd. 23, 1877. — Schober H. u. Triltsch M., Sitzb. Wien. Akad., Math.-naturwiss. Klasse, Abt. II a., Bd. 137, H. 8, 1928. — Schober H., Zschr. Physik, Bd. 56, 1929. — Wright W. D., Brit. j. ophth. v. 23. 1929. — Лазарев П. П., Исследования по ионной теории возбуждения, М., 1918.

#### \$ 4

Bogoslovsky A. I., Graefe's Arch. Ophth., Bd. 133, 1934; также в сборнике «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935. — Мегки loff J. O. u. Achelis J., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 60, 1929. — Мüller G. E., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 65, 1934. — НеІт holtz H., v., Handbuch der physiologischen Öptik, Bd. 2, 1911.

#### \$ 5

См. библиографию к § 3 главы III.
Vaughan C.u. ВоltunovA., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 42, 1907. —
Stiles W. a. Grawford B., Proc. Roy. soc., ser. B, v. 112, 1933. —
Wright W. a. Nelson J., Proc. Phys. soc., London, v. 48, 1936. — Stiles W., Proc. Roy. soc., ser. B, v. 123, 1937. — Grawford B., Proc. Roy. soc. ser. B, v. 124, 1937. — Stiles W., Proc. Roy. soc. ser. B, v. 127, 1939; Sci. progress, v. 33, 1939. — Grijnset. Noyons, Arch. Physiol., Bd. 25, 1905. —
Blondel A. et Rey J., J. phys., juillet 1911. — Pieron H., C. r. Soc. biol., t. 93, p. 1235, 1925; C. de l'Ac. sci., p. 818, 1925. — McDougallw, Brit. journ. psych., v. I, 1904. — Braunstein I. E., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 55, 1923. — Blondel A. et Rey J., C. r., t. 178, pp. 276, 1245, 1924; t. 204, p. 1769, 1937. — Links z A., Ueber Chronaxie (mit besonderer Berücksichtigung ihrer Bedeutung für das Auge), Zbl. ges. Ophth., Bd. 29, 1933. — Loehle F., Zschr.

f. Physik, Bd. 5, 1929. — Ricco, Ann. di ottal, v. 6, 1876; Atti della R. Acad. di. Sc. di Modena, v. 8, 1877. — Piper H., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 31. 1903. — Piper H., Zschr. Psych., Bd. 32, 1903. — Revesz G., Zschr. Psych., Bd. 39, 1905. — Behr C., Graefe's Arch. Ophth., Bd. 75, 1910. — Granit R., Amer. j. physiol., v. 94, 95, 1930. — Geldard F., J. gen. Psych., v I, 1928. — Wald G., J. gen. physiol., v. 21, 1938. — Schumach er G., Acta ophthalmologica, v. 15, 1937. — Graham C. a. Bartlett, J. exp. Psych., v. 24, 1939. — Lythgoer. a. Phillips L., J. physiol. v. 91, 1938. — Shaad D., J. exp. Psych., v. 18, 1935. — Fry J.a. Bratley S., Amer. j. ophth., v. 16, 1933. — Fechner G. T., Abhandl. Sächsisch. Ges. d. Wissensch. Bd. 7, 1860. — Гассовский Л. Н. и Никольская Н. А., Советский вестник офталмологии, т. 9, 1936. — Гассовский Л. Н. и Хохлова А. Н., Советский вестник офталмологии, т. 9, 1936. — Лазарев П., Основы учения о химическом действии света, ч. I, 1919. — Анри В. А., Архив физических наук, в. 1 и 2, 1918. — Федорова В. И. и Грушецкая М. А., Журнал прикладной физики, т. I, 1924. — Лазарев П., Журнал прикладной физики, в. 3/4, 1928. — Макаров В. О., Советская невропатология, психиатрия и психогитиена, т. 3, 1934. — Теплов Б. М. и Севрютия психогитиена, т. 3, 1934. — Теплов Б. М. и Севрютин а М. А., Сборник «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935.

#### \$ 6

Т s h e r m a k A., Arch. ges. Physiol., Bd. 70, 1898. — P i p e r H., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 31, 1903. — W a l k e r W., Zschr. Psychol., Bd. 103, 1927. — L a s a r e f f P. P., Scientia, Janvier 1935. — B r u e c k n e r A., Arch. ophth., v. 20, 1938. — T a n s l e y K., J. physiol., v. 71, 1931. — H e c h t S., H a i g. C h. a. P a t e k A., Sci., v. 87, 1938. — W a l d Y. a. S t e v e n D., Proci. Nat. ac. sc. USA, v. 25, 1939. — W o h l M. u. F e l d m a n J., Endocrinology, v. 24, 1939. — N a k a m u r a B. u. M i y a k e R., Klin. Mbl. Augenhk., Bd. 69, 1922. — R o t h h a n H., Klin. Mbl. Angenhk., Bd. 75, 1925. — H e s s W. u. L e h m a n n F., Pfl. Arch. ges. Physiol., Bd. 212, 1926. — A l t e n b u r g e r H. u. K r o l l F., Zschr. Neurol. u. Phsych., Bd. 124, 1930. — B i e t t i G., Boll. ocul., v. 17, 1938. — L a s a r e f f P. P., Scientia, janvier 1935; Труды Государственного института физиотерапии, в. 4, 1939. — В и ш н е в с к и й Н. А. и Ц ы рл и н Б. А., Советский вестник офталмологии, т. 3, 1933; Физиологический журнал СССР, т. 18, 1935. — К р а в к о в С. В. и др., Сборник «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935; также в Graefes Arch. Орһth., Bd. 132, 1934. — Б а б с к и й Е. Б. (редактор), Курс нормальной физиологии для медицинских институтов, 1938. — Б о г о с л о в с к и й А. И., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, т. 3, 1937. — Ч е н ц о в А. Г., Русский офталмологический журнал № 2, 1922.

#### § 7

Fick A., Pfl. Arch., Bd. 17, 1878; Bd. 43, 1888. — Urbantschitsch V., Pfl. Arch., Bd. 31, 1883. — Schmidt-Rimpler, Verhandl. der 19. Sitzung der Dtsch. ophth. Ges. zu Heidelberg, 1887. — Karn H., J. gen. psychol., v. 12, 1935. — Geldardf., J. gen. psychol., v. 74, 1932. — Ives H., Phil. mag. v. 24, 1912. — Creed R. a. Ruch T., J. physiol., v. 74, 1932. — McDougall W., Mind, v. 10, 1901. — Kirschmann A., Phil. Stud., Bd. 6, 1890; Bd. 7, 1892. — Hess C. v., PretoriH., Graefe's Arch. Ophth., Bd. 40, 1894. — Heymans G., Zschr. Psychol., Bd. 26, 1906. — Koehler J., Arch. ges. Psychol., Bd. 2, 1904. — KarwoskiT. a. Riggs L., J. gen. Psychol., v. 17, 1937. — BeitelR., J. gen. psychol., v. 14, 1936. — Aubert H., Physiologie der Netzhaut, 1865. — Piper H., Zschr. Psych., Bd. 31, 1903. — Nagel W., Helmholtz's Handbuch d. physiol. Opt., Bd. 2, 1911. — Теплов Б. М. и Севрюгина филосов А. Н., Вестник офталмологии, т. 21, 1904. — Теплов Б. М. вестник офталмологии, т. 21, 1904. — Теплов Б. М. Вестник офталмологии, т. 20, 1937. — Кравков С. В. и Семеновская Е. Н., Физиологический журнал СССР, т. 19, 1935. — Кравков С. В. и Семеновская Е. Н., Физиологический журнал СССР, т. 19, 1935. — Кравков С. В. и Семеновская Е. Н., Труды Научно-исследовательского института гигиены труда и промсанитарии Наркомздрава, вып. 4, М. — Л., 1935; также

1003 NHOW

в Graefe's Arch. Ophth., Вd. 130, 1933. — Сборник «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935. — Бронштейн А. И., Физиологический журнал СССР, т. 6, 1939. — Вишневский Н. А., Советский вестник офтадмодогии, т. 9, 1936. — Шеварев П. А., Ученые записки Государственного института психологии, т. I, М., 1940. — Кравков С.В. и Семеновская Е. Н., Доклады Академии наук СССР, т. 43, 1944.

## § 8

Urbantschitsch V., Pfl. Arch., Bd. 42, 1888. — Maishall G., Gerard R. a. Saul L., Arch. neurol. a. psychiat., v. 36, 1936. — Кравков С. В., Советский вестник офталмологии, т. 8, 1936; Известня Академии наук СССР, Биол. серия № 1, 1937. — Вишневский Н. А., Советский вестник офталмологии, т. 9, 1936. — Лазарев П. П. и Павлова И. Х., Доклады Академии наук СССР, № 18А, 1927. — Макаров П. О., Труды 1-й конференции по физиологической оптике, Л., 1936. — Кравков С. В., Graefe's Arch. Ophth., Bd. 129, 1933. — Журнал прикладной физики, т. 7, 1930; Сборник «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935. — Лазарев П. П., Известия Российской Академии наук, стр. 1297, 1918. — Кекчеев К. Х., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, т. 2, 1936; т. 3, 1937. Доклады Академии наук, т. 14, 1937; Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, т. 7, 1939; Акушерство и гинекология № 5, 1939. — Вогословами медицины, т. 3, 1937. — Лазарев П. П., «Акта Евпаторика», 1935. — Проппер Н. И. (редактор), Проблемы физиологии и патологии органов чувств, М., 1937. — Миллер И. Н., Вестник офтадмологии, т. 12, 1938. — Белостоцкий Е. А. и Ильина С. А., Вестник офталмологии, т. 10, 1937. — Дионесов С. М., Загорулько Л. Т., Лебединский А. В. и Турцев Я. И., Физиологический журнал СССР, т. 16, 1933. — Богословский А. И., Физиологический журнал СССР, т. 20, 1936; Советский вестник офталмологии, т. 8, 1936; Вестник офталмологии, т. 10, 1937; Бюллетень экспериментальной биологии и медицины № 9—10, 1939. — Долин А. И., Архив биологических наук, т. 42, № 1—2, 1936. — Кекчеев К. Х., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины № 5, 1936. — Добрякова О. А., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины № 3, 1938; Физиологический журнал СССР, т. 26, 1939. — Севрюгина М. А., Вестник офталмологии, т. 12, 1938.

#### \$ 10

Kries I., v. Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 41, 1907. — Russel H., Astrophys. j., v. 45, 1917. — Reeves P., Astrophys. j., September 1917. — Lecomte du Nouy P., J. gen. physiol., v. 3, 1921. — Bayliss W., Principles of general physiology, p. 512, 1915. — Henri V. et Larguier, des Bancels J., J. physiol. et path. gén., v. 13, p. 841, 1911. — Abney W. a. Watson, Philos. trans., v. 216, 1916. — Boswell F., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 42, 1908. — Le Grand J., Rev. gèn. sci. pure et appl., v. 48, 1937. — Bавилов С. И., Доклады Академии наук СССР, т. 21, 1938. Weigel R. и Клоll О., Das Licht № 9. 1940. — Hecht, S., Shlaer S. a. Pirenne M., Science, v. 93, No. 2425, 1941.

#### \$ 11

Lagrange H., Bull. Soc. opht., Paris, No. 8, 1929. — Тапsley К., Brit. j. ophth., No. 3, 1939. — Кравков С. В. и Вишневский Н. А., Военно-санитарное дело № 2, 1929. — Вишневский Н. А., Руководство по исследованию органа зрения при освидетельствовании кандидатов в авиашколы, М., 1933. — Махлин И. М., Советский вестник офталмологии, т. 7, 1935. — Мальцева Е. А., Труды 1-й конференции по физиологической оптике, Л., 1935. — Буданов С. Ф., Казанский медицинский журнал № 5—6, 1939. — Белостоцкий Е. М., Военно-санитарное дело № 7, 1940.

## ГЛАВА V

# РАЗЛИЧИТЕЛЬНАЯ (ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ) ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГЛАЗА

# § 1. Закон Вебера-Фехнера; его опытная проверка; толкование экспериментальных данных

До сих пор мы касались различных условий, от которых зависит а б с о л ю т н а я чувствительность глаза, т. е. его способность от-

вечать или не отвечать зрительным ощущением на воздействующий раз-

дражитель.

Теперь нам надлежит перейти к вопросу о различительной или фотометрической чувствительности глаза; эту функцию зрения называют также часто разностной или контрастной чувствительностью. Нам следует выяснить те закономерности, которым получиняется наша

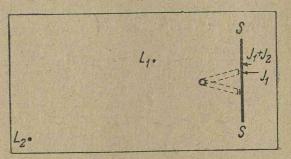


Рис. 92. Схема опыта Бугера для определения различительной чувствительности глаза.

рым подчиняется наша способность различать световые впечатления.

Подобно тому, как не всегда наш глаз может видеть всякий наличный свет, так не всегда им замечаются и имеющиеся различия в яркостях. Сколь же значительны должны быть эти разницы, чтобы наш глаз их видел? Французский физик Бугер еще в половине XVIII века впервые обратил внимание на тот интересный факт, что заметность различий в яркостях зависит не от абсолютной величины этих различий, но от их относительной величины.

Его классический опыт с тенями, показавший это, состоял в следующем (рис. 92).

Перед белым экраном SS стоит непрозрачный стержень и два одинаковых источника света  $L_1$  и  $L_2$ . На экране от них получаются две тени. Называя яркость, даваемую на экране источником света  $L_1$ , через  $J_1$ , и яркость, создаваемую источником  $L_2$ , через  $J_2$ , мы можем сказать, что яркость, соответствующая одной тени, равна  $J_1$ , а яркость соседних с этой тенью мест экрана равняется  $J_1 + J_2$ . Отодви-

гая источник света  $L_{z}$  все дальше и дальше от экрана, мы делаем  $J_{z}$  все меньше и меньше и, наконец, можем дойти до такого положения, когда тень перестанет вообще замечаться. Эта граница, очевидно, и будет соответствовать той минимальной разнице яркостей, когорую глаз может подмечать. Чтобы подсчитать эту разницу, допустим, что  $L_1$  находится от экрана на расстоянии  $d_1$ , а  $L_2$  — на расстоя-

Полагая, что размер источников света мал по сравнению с этими расстояниями, мы можем считать создаваемую ими на экране освещенность обратно пропор-

циональной квадратам расстояний. Таким образом,  $\frac{J_1}{J_2}=\frac{d_2{}^2}{d_1{}^2}$ , откуда  $J_2=\frac{J_1d_1{}^2}{d_2{}^2}$  :

Возьмем отношение  $\frac{J_1+J_2}{I_*}$  и, положив  $J_1=1$ , подставим в него значение  $J_2$ .

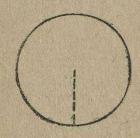
**В таком случае мы, очевидно, получим**  $1+\frac{d_1^2}{d_2^2}$ , т. е. величину, которую легко подсчитать, если известны значения  $d_1$  и  $d_2$ . Если, например,  $d_1=10$ ,

а  $d_{\mathbf{z}}=100$ , то  $\frac{J_1+J_2}{I_1}=1+\frac{100}{10\,000}=\frac{101}{100}$ . Опыты Бугера показали, что вели-

чина  $\frac{J_1+J_2}{I_1}$  , соответствующая порогу различения, остается постоянной,

несмотря на то, что абсолютная яркость может меняться. Выходило, следовательно, что глаз как едва заметное различие замечает не разность, а отношение яркостей.

Позже, уже в первой половине прошлого века, Вебер в своих опытах над сравнением испытываемых рукой тяжестей и в опытах над оцеп-



кой глазом длины линий также нашел, что различие замечается впервые не тогда, когда прирост раздражителя  $\triangle J$  достиг какой-либо онределенной по своим абсолютным значениям величины, а тогда, когда этот прирост составил определенную долю первоначальной исходной величины раздражителя J. Эта относительная величина необходимого изменения раздражителя  $\frac{\Delta J}{I}$  и называется разностным порогом раз-

Рис. 93. Видоизмененствительности глаза.

дражения. Явление разностного порога может ный Гельмгольцем диск быть демонстрировано еще и посредством так Массона для определе- называемого диска Массона. Диск (рис. 93) ния различительной чув-представляет собой белый круг с наклеенной на него по радиусу черной прерывающейся полоской. Если такой диск привести в достаточно

быстрое вращательное движение, то мы увидим белый круг с концентрическими серыми кольцами на нем. При этом кольцо тем темнее и заметнее, чем оно ближе к центру. Кольца же самые периферические, напротив, могут оказаться вовсе незаметными, поскольку соответствующее им понижение яркости фона будет меньше величины разностного порога. То самое периферическое кольцо, которое замечается, и является показателем порога, если взять разность яркости этого кольца и яркость фона в отношении к яркости фона, т. е. величину

 $\frac{\triangle J^1}{J}$ . Постоянство разностного порога в широких границах J известно как закон Вебера. Таким образом, по Веберу, едва заметное изменение интенсивности ощущения  $\triangle E$  есть некоторая функция от  $\frac{\triangle J}{J}$ ,  $\triangle E = f\left(\frac{\triangle J}{I}\right)$ , Фехнер пошел далее и сделал допущение, что едва

заметные разницы в ощущениях могут рассматриваться как величины бесконечно малые — диференциалы в математическом смысле. Тогда вместо функции f стало возможным написать просто некоторый коэфи-

циент пропорциональности K и иметь:  $dE = K \frac{dJ}{J}$ . Интегрирование

же этого уравнения повело к установлению общего закона зависимости интенсивности наших ощущений E от интенсивности соответствующих им раздражителей J в виде:  $E = k \ln J + c$ , где k и c суть некоторые постоянные.

Закон этот, гласящий, что интенсивность ощущений растет пропорционально логарифмам раздражения, известен как основной психо-физический закон Вебера-Фехнера. Иногда он формулируется иначе таким образом: ряду одинаково разнящихся друг от друга ощущений, составляющему ряд арифметической прогрессии, соответствует ряд раздражителей, интенсивность которых дает ряд геометрической прогрессии.

Бугером было найдено  $\frac{\triangle J}{J}=\frac{1}{64}$  . По Фолькману, эта величина

близка к $\frac{1}{100}$ . Опыты Бугера и Фолькмана были повторены затем

Аубертом.

Изменяя исходную яркость J в очень больших пределах, Ауберт нашел, что разностный порог не остается постоянным, но неизменно увеличивается с уменьшением яркости. Тщательное исследование различительной чувствительности глаза было произведено затем Кенигом и Бродхуном. Они пользовались как белым светом, так и монохроматическими лучами 670, 605, 575, 505, 470 и 430  $\mathrm{m}\mu$ . Поле эрения в их опытах было размером  $3\times4_{32}^{\circ}$ ; окружение было черным.

Полученные Кенигом и Бродхуном результаты приведены

$$h=H-\frac{\mathrm{d}(H-s)}{2\pi r},$$

где H — коэфициент отражения фона, на котором это кольцо видно, d — ширина черной полоски, r — расстояние данной точки черной полоски от центра диска и s — коэфициент отражения черных полосок.

145

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Коэфициент отражения h, соответствующий получающимся на диске серым кольцам, можно подсчитать по формуле:

на рис. 94. По оси ординат отложены величины  $\frac{\triangle J}{I}$ , по оси

абсцисс — особые «кениговские единицы»1.

Кривая I относится к лучам 670, 605 и 575  $m\mu$ , кривая  $II - \kappa$ лучам более коротковолновым: 505, 470 и 430 тр. Не приведенная на

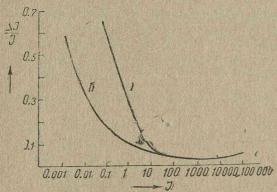


Рис. 94. Величина разностного порога и зависимости от яркости (по Кенигу и Бродхуну).

рисунке кривая для белого света располагается между этими двумя кривыми. Позднейшие эксперименты Блэнчарда (1918), Хаустона (1929), Штейнгардта (1936) и др. устанавливали ход кривой riangleq riangle floor flзависимости от Ј, подобный тому, который был найден Кенигом и Бродхуном. Штейнгардту не удалось лишь наблюдать повышекривой в области RNH очень больших /.

1 Кениговская единица равна той яркости, которую имеет для глаза, смотрящего через диафрагму в 1 мм², белая поверхность окиси магнезии, освещаемая с расстояния в 1 м параллельной ей пластинкой платины размером в 0,1 см2, находящейся при температуре плавления (платиновая лампа Сименса).

Для некоторой ориентировки в величинах яркостей, соответствующих глазу с естественным зрачком, приведем следующие переводные данные Шредера. Данные эти, однако, являются лишь приближенными, поскольку Шредер не учитывал эффекта Стайльса-Крауфорда, описанного выше (гл. IV, § 5).

Кениговские единицы	Гефнеровские люксы на белой поверхности (для глаза с естественным зрачком)	Фотоны	Геф неровские люксы на белой поверхно- сти (для глаза с естественным зрач- ком)		
100 000	1 29 000 i	100 000	1 61 000		
10 000	2800	10 000	6 000		
1 000	255	1 000	560		
100	20	100	49		
10	1,8	10	4.1		
1	0,15	1	0,33		
0.1	0,0135	0.1	0,029		
0.01	0,0012	0,01	0,0026		
0,001	0,000115	0,001	0,00025		

Гефнеровский люкс равен 0,9 международного люкса.

Необходимо здесь также заметить, что Кениг (стр. 120-121 его книги) подравнивал непосредственно эталону лишь одно значение Ј, соответствующее приблизительно 200 упомянутым «кениговским единицам», все же прочие точки абсциссы устанавливались путем соответственного ослабления (поглощающими стеклами) или усиления этой величины. Поэтому каждое значение абсциссы дает лишь определенную долю или кратную эталонной интенсивности света, но не величины одинаковой субъективной яркости для всех раздражителей. Ведь от одинакового объективного изменения силы света различные цвета меняются в своей яркости неодинаково (явление Пуркинье).

Повышение же кривой (т. е. увеличение разностного порога) в области малых яркостей наблюдалось всеми.

Поскольку, следовательно, величина  $\frac{\Delta J}{J}$  при различении глазом

яркостей фактически не является всегда постоянной при-разных J, возникал вопрос о значимости закона Вебера-Фехнера для фотометри-

ческой чувствительности глаза.

Мнения ученых на этот счет разделяются. Сторонники признания реальности закона Вебера-Фехнера для зрения обращают внимание на то, что в достаточно широких границах средних интенсивностей светового раздражителя разностный порог остается все же постоянным 1. Что же касается его возрастания при переходе к малым и к очень большим яркостям, то это возрастание может быть истолковано и в согла-

сии с законом Вебера-Фехнера.

Увеличение разностного порога при малых яркостях еще сам Фехнер предложил понимать как результат действия так называемого «собственного света сетчатки». Если мы останемся в совершенно лишенной света комнате или просто закроем глаза чем-нибудь непрозрачным и дадим им некоторое время отдохнуть, мы все же увидим перед собой не абсолютную черноту, но некоторые слабо светящиеся сероватые, как бы парообразные пятна. Вот этот-то слабый серый свет, имеющийся у нас и при отсутствии внешнего раздражения, и носит название «собственного света сетчатки». Вызывается он теми тепловыми и химическими процессами в зрительном аппарате, которые всегда имеют место в живом организме. Само название «собственный свет сетчатки» надо признать условным, поскольку вызывающие его раздражители могут быть и центральными, мозговыми. В том, что видимое нами при закрытых глазах черное на самом деле не есть совершенно черное, можно убедиться путем простого опыта. Если смотреть в течение некоторого времени на какой-нибудь белый круг, находящийся на черном фоне, а затем закрыть глаза, то в первое время мы видим более темный круг на более светлом фоне. Гельмгольц наблюдал потемнение «черного» поля зрения при замыкании через глаз и головной мозг постоянного тока нисходящего направления (т. е. при положительном электроде со стороны мозга).

Фолькман пробовал измерить яркость «собственного света сетчатки». Для этого он находил то расстояние, на которое надо отодвинуть в темном помещении от черного бархата стеариновую свечу, чтобы тень от какого-нибудь непрозрачного предмета на подобном черном фоне была едва заметна. Полагая, что в таком случае добавочная яркость должна составлять  $^1/_{100}$  меньшей яркости, соответствующей «собственному свету сетчатки», Фолькман путем дальнейшего приближения свечи до  $^1/_{10}$  найденного расстояния и находил освещенность, равную по яркости этому «собственному свету сетчатки». Для Фолькмана эта величина оказалась равной приблизительно 0,15 люкса.

Для Фолькмана эта величина оказалась равной приблизительно 0,15 люкса. Полагая коэфициент отражения черного бархата около 0,005, мы получим таким образом яркость «собственного света сетчатки» около 0,00075 люкса на белую поверхность. По Кравкову яркость «собственного света сетчатки» лежит между 0,0094—0,0002 люкса на белое. Является безусловно желательным произвести,

147

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Постоянству разностного порога способствует состояние устанавливающейся адаптации глаза к данной интенсивности раздражителя (J, P e t·r è n K. Scand Arch. Physiol., Bd. 15, 1904).

однако, вновь систематически возможно более точные определения ее. Несомненно, впрочем, что «собственный свет сетчатки» может, в зависимости от внутренних условий, в известной мере меняться; кроме того, распределение его по сетчатке неравномерно, но для одних ее мест величина «собственного света» больше, для других — меньше. Последнее было установлено опытами Лазарева и Кравкова. Согласно последним величина «собственного света сетчатки» убывает от центра сетчатки к периферии ее.

С учетом «собственного света сетчатки» формула Фехнера  $\frac{\Delta J}{J} = K$ 

перепишется как  $\frac{\Delta J}{J+\alpha}=K$ , где  $\alpha$  есть «собственный свет сетчатки» и K есть опытно установленная при средних яркостях света величина разностного порога. Если J=0, то  $\alpha=\frac{\Delta J}{K}$ .

«Собственный свет сетчатки» а может объяснять увеличение величины  $\frac{\Delta J}{J}$  при малых J . Из формулы  $\frac{\Delta J}{J+\alpha}=K$  видно, что там,

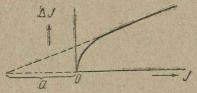


Рис. 95. Графическое определение величины «собственного света сетчатки» (по Гельмгольцу).

где а соизмерима с J (т. е. когда последнее мало), для получения того же K требуется взять большее  $\Delta J$ , чем требовалось бы при отсутствии  $\alpha$ .

Дело обстоит, однако, еще несколько сложнее. Именно, изображая графически опытно находимую связь между  $\Delta J$  и J, мы получаем не прямую, требуемую формулой

$$K = \frac{\Delta J}{J + \alpha}$$
, а гиперболу (рис. 95).

Для объяснения этого обстоятельства Гельмгольц предложил учитывать пятнистость «собственного света сетчатки» и суммацию этих отдельных световых пятен в одно общее возбуждение. Тогда, если  $\alpha$  есть величина «собственного света сетчатки»,  $\varphi(d\alpha)$  есть площадь, на которой «собственный свет» имеет яркости от  $\alpha$  до  $\alpha+d\alpha$ , то фехнеровская формула, по Гельмгольцу, превратится в такую:

$$dE = dJ \int_{0}^{a} \frac{\varphi d\alpha}{J + \alpha},$$

где dE есть едва заметный прирост ощущения, dJ — требующееся для него усиление объективного света, J — исходная интенсивность объективного света, действовавшего на глаз, знак же интеграла обозначает происходящую суммацию возбуждения всех участков сетчатки, на которых величина «собственного света» лежит в пределах от 0 до a. При этом a есть наибольшее имеющееся значение a. Гельмгольц показал, что интегрирование этого уравнения приводит именно к формуле гиперболической связи между  $\Delta J$  и J, что как раз и дает кривую, подобную той, которая установлена опытным путем. При этом средняя величина яркости «собственного света сетчатки» графически соответствует отрезку абсциссы, лежащему влево от нуля (рис. 95).

Из подъема кривой (рис. 94) в части абсциссы, соответствующей весьма большим J, и из повседневного опыта нам известно, что при очень больших яркостях различительная чувствительность глаза также понижается. Серое пятно на белой ткани, хорошо заметное в условиях комнатного освещения, может стать совершенно незаметным при ярком солнечном свете. Причиной подобного понижения различительной чувствительности при больших яркостях является, вероятно, то, что имеется предел возбужденности нервных элементов, при приближении к которому усиление раздражителя и становится все менее эффективным.

В предельном случае, когда J настолько велико, что вызывает максимальное возбуждение всех чувствующих элементов глаза, понятно, что никакое добавочное раздражение  $\Delta J$  уже не будет в состоянии вызвать какую-либо разницу в ощущении, как бы велико

это раздражение ни было.

Основным физиологическим процессом, лежащим в основе веберофехнеровского закона, по мнению Лазарева, является отношение между концентрациями ионов, которые образуются в нашем рецепторе в результате нервного возбуждения. Если некоторый прирост этой концентрации  $\Delta C'$  достаточен, чтобы отношение  $\frac{\Delta C'}{C'}$  превысило определенную величину, то мы ощущаем различие, если же нет, разница оказывается лежащей ниже порога, и мы ее не замечаем.

Другие авторы (Гехт, 1924,1934, Федоров, 1939) пытаются вывести наблюденную в опытах зависимость величины  $\frac{\triangle J}{J}$  от J, исходя из некоторых представлений о кинетике фотохимических реакций в светоощущающих веществах сетчатки, не признавая при этом значимости для зрения закона Фехнера.

Первоначальные взгляды Гехта, сходные с рассуждениями, развитыми затем Федоровым, сводятся к следующему. Прямая фотохимическая реакция в светоощущающем веществе сетчатки, следствием которой является распад этого вещества.

идет по уравнению:  $\frac{dC'}{dt} = \alpha_1 kJC$ . Это уравнение совершенно то же, что дано было и Лазаревым. В отличие же от последнего Гехт допускает, что обратная реакция восстановления светоощущающего вещества, идущая как бы за счет уменьшения продуктов распада, идет по типу реакции бимолекулярной, следовательно,  $\frac{dC}{dt} = \alpha_2 C'^2$ . Для того случая, когда мы имеем стационарное состояние, скорости обеих реакций равны, и, следовательно,  $\alpha_1 kJC = \alpha_2 C'^2$ , откуда

и получается, что  $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} kJ = \frac{C'^2}{C}$ .

Обозначая  $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$  k через K и C через 100-C', Гехт пишет это равенство как  $KJ=\frac{C'^2}{100-C'}$ . В случае воздействия на глаз другого раздражителя, равного  $J+\Delta J$ , получается, очевидно,и другое разложение вещества, равное, скажем,  $C_1'$ .

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Для удобства сравнения в изложении воззрений Гехта мы здесь пользуемся буквенными обозначениями, принятыми Лазаревым. Смысл их нами был уже выше разъяснен.

Таким образом,  $K(J+\Delta J)=\frac{{C^{'}}_1{}^2}{100-{C^{'}}_1{}^2}$ . Если теперь добавочное раздражение

 $\Delta J$  влечет за собой ощущение едва заметной разницы в силе ощущений, то этой едва заметной разнице  $\Delta E$  будет соответствовать по гипотезе  $\Gamma$ ехта всегда одинаковая разность концентраций продуктов распада, т. е. постоянство  $C_1'-C'$ . Основываясь на своих опытах над реакциями моллюсков под влиянием раздражителей разной интенсивности, а также на пересчетах данных вышеописанных опытов Кенига и Бродхуна,  $\Gamma$ ехт утверждает, что при соответствующем подборе ве-

личин K можно получить для  $\frac{\Delta J}{J}$  кривую, хорошо воспроизводящую опытные

данные и дающую нужные повышения как в области малых, так и в области больших J. Разность концентраций  $C_1'-C'$  при этом, действительно, остается приблизительно постоянной для всех едва заметных изменений в силе ощущения. Поэже (1934) Гехт изменил свою гипотезу и предположил, что едва заметной разнице ощущений соответствует всегда одинаковая начальная скорость распада светочувствительного вещества при переходе раздражителя от J к  $J+\Delta J$ , а не одинаковая разность концентраций  $C_1'-C'$ , как то он допускал раньше. Новое предположение дало ему возможность получать кривые  $\frac{\Delta J}{I}$  в зависимости от J без повышения в области больших J, что Гехт считает более

отвечающим действительности.

С нашей точки зрения изложенные гипотезы Гехта едва ли можно считать удовлетворительными. Вторая гипотеза Гехта вызывает возражение, помимо всего прочего, именно в силу того, что не дает объяснения увеличению разностного порога при очень больших *J*. Между тем увеличение порогов здесь с общефизиологической точки зрения обязательно должно наступать (да и наблюдалось не только Кенигом и Бродхуном, но и Хаустоном и некоторыми другими).

Первое же предположение Гехта проблематично, поскольку нельзя еще считать окончательно решенным (как то признает теперь и сам Гехт) вопрос о порядке обратной реакции восстановления светочувствительного вещества в сетчатке — является ли эта реакция, действительно, бимолекулярной. Кроме того, трудно признать за картину реальной действительности предположение, совершенно игнорирующее существование «собственного света сетчатки». Выше мы видели, что существование такого «собственного света сетчатки» есть факт, независимый ни от какой теории. Необходимо, наконец, здесь подчеркнуть, что различительная чувствительность глаза зависит, конечно, не только от сетчаточных фотохимических процессов, но и от уровня чувствительности нервных клеток в центрах. Заранее поэтому обречены на неудачу попытки объяснить все явления фотометрической чувствительности глаза только периферическими процессами фотохимических реакций в сетчатке.

Если иметь в виду конечные, центральные процессы, лежащие в основе ощущения едва заметного различия, то более вероятным является допущение того, что разностный порог определяется именно отношением концентраций раздражающих веществ, а не их разностью. Так, нами ставились опыты, касавшиеся изменения различительной чувствительности глаза под влиянием побочных раздражителей (освещения другого глаза, звука). Подробнее об этих опытах мы еще скажем ниже. Результаты их вполне определенно показали, что различительная чувствительность глаза под влиянием побочных раздражителей ухудшается. Понять это ухудшение как проявление просто снижения центральной чувствительности мы не можем. Эффект иррадиации под влиянием тех же побочных раздражителей увеличивается. Равным образом увеличивается от них и световая чувствительность центрального зрения, определяемая адаптометрически. Поэтому действие побочных раздражителей здесь надо понимать как добавочное возбуждение соответственного зрительного центра. Если это так, то

оказывается, следовательно, что наложение некоторой добавочной возбужденности Z увеличивает величину разностного порога. Такое положение вещей можно согласовать лишь с тем, что добавление Z к числителю и к знаменателю отношения концентраций раздражаю-

щих веществ в мозгу  $\frac{C_2}{C_1}$  уменьшает это отношение. Поэтому первоначально замечавшаяся разница яркостей при побочных раздражителях и перестает замечаться. Чтобы сделать ее вновь заметной, требуется уже увеличить  $C_2$ '; иными словами, различительная чувствительность снижается. Если бы определяющим фактором являлась разность концентраций  $C_2$ ' и  $C_1$ 'в мозгу, то от добавления Z и к уменьшаемому, и к вычитаемому разность эта осталась бы неизменной, и, следовательно, различительная чувствительность не должна бы снижаться. Можно поэтому думать, что и на сетчатке разностному порогу соответствует определенное отношение концентраций продуктов фотохимического распада (гипотеза Лазарева).

# § 2. Оценка сверхпороговых различий

Сказанное до сих пор касалось ощущения нашим глазом минимальных, едва заметных различий. Каким же закономерностям подчиняются наши оценки различий яркости в том случае, когда эти различия являются уже не едва заметными, но более или менее значительными? В практике мы как раз чаще и имеем дело с подобными сверхзаметными различиями. Оказывается, что и здесь наш глаз оценивает не абсолютные величины разниц в силе раздражителей, а относительные их значения. Впечатление одинакового различия возникает в том случае, когда отношение между интенсивностями двух раздражителей остается постоянным. Эта подтверждающая закон Вебера-Фехнера закономерность установлена в настоящее время как путем наблюдения, так и путем прямого эксперимента. Еще сам Фехнер указывал на то интересное обстоятельство, что распределению звезд астрономами по величинам их субъективной яркости — распределению, при котором переход от одного класса к другому кажется глазу одинаковым, - соответствует геометрический ряд интенсивностей идущего от них света. Экспериментально нахождение среднего серого впервые произвел Плато. Взяв белый и черный квадраты, он просил нескольких художников подобрать красками такой серый цвет, который казался бы им лежащим как раз по середине между белым и черным. Восемь собранных им зарисовок оказались весьма близки друг к другу. Фотометрически этот серый средний отражал света в 8 раз меньше, чем белый. Допуская, что коэфициент отражения имевшейся у Плато белой бумаги был около 90%, а отражение его черной бумаги равнялось приблизительно 1,5%, мы вычисляем для среднего серого коэфициент отражения как 11,2%, т. е. величину, очень близкую к среднему геометрическому для 1,5 и 90 (что равно 11,6). Позже опыты ряда исследователей (Леман, Нейглик, Эббингхаус и др., в более недавнее время Минц) также показали, что если мы имеем дело не с очень большими и не с очень малыми яркостями, то субъективно среднему серому цвету отвечает раздражитель, интенсивность которого близка к среднему

геометрическому из интенсивностей крайних раздражителей. Ниже приведена таблица с данными опытов Нейглика. В ней  $R_1$  и  $R_3$  — интенсивности света двух крайних цветов,  $R_m$  — подобранный в качестве среднего серый цвет,  $R_{\rm g}$  — геометрическое среднее для  $R_1$  и  $R_3$ , а  $R_{\alpha}$  — соответствующее им арифметическое среднее.

$R_1$	Ra	$R_{m}$	$R_{\mathbf{g}}$	Ra
1,00	27,8 27,8 27,8 27,8 27,8	6,24	5,27 11,22	14,4
1,00 4,53	27,8.	6,24 11,70	11,22	16,1
6,39	27,8	13,36	13,32	17,0
15,14	27,8	20,91	20,51	21,4
27,8	34,5	30,23	30,96	31,1
27,8	65,02	43,66	42,50	46,4
27,8	68,00	43,62	43,47	47,9

В практических занятиях со студентами нам также приходилось многократно проводить опыты нахождения среднего серого между двумя данными ахроматическими цветами. Цвета составлялись на вращающемся диске из секторов белого и черного цвета. Если в качестве более темного брался диск, содержащий сектор в 80° белого, а в качестве более светлого диск с сектором в 320° белого, то в качестве субъективно среднего неизменно устанавливался цвет, в котором белого бралось около 160°, т. е. бралась яркость, соответствующая средней геометрической 1.

# § 3. Свойства прямого раздражителя в их влиянии на различительную чувствительность глаза

Первое, о чем здесь необходимо сказать,—это о я р к о с т и раздражителя J. Мы уже видели выше (рис. 91) типичный ход зависимости  $\frac{\Delta J}{J}$  от J, найденный Кенигом и Бродхуном и подтвержденный рядом других авторов. С ростом J величина  $\frac{\Delta J}{J}$  сначала убывает, затем при очень больших J вновь возрастает. В области средних интенсивностей J порог  $\frac{\Delta J}{J}$  минимален и остается более или менее постоянным. Спрашивается, какому же диапазону яркостей соответствует этот наивысший уровень различительной чувствительности глаза? В согласии с Кенигом и Бродхуном, также и со Штейнгардтом (1936), можно сказать, что для центрального зрения (при черном окружении) этот

¹ Результаты работы Амента (A m e n t W., Ueber das Verhältnis der eben merklichen zu den übermerklichen Unterschieden bei Licht und Schallintensitäten, Philos. Studien, Bd. 16,1900) и Меркеля (Ме r k e l J., Psych. Stud., Bd. 5, 1889), являвшиеся здесь противоречащими веберо-фехнеровской закономерности, оспариваются другими авторами, как-то Фребес, Леман, Эббингхаус и Титчнер (см. Т i t c h e n e r E., Experimental Psychology, New York, vol. II, part. II, § 28, 1905).

диапазон охватывает приблизительно 10-кратную вариацию яркости от 250 до 2 500 люксов на белую поверхность. По данным Лаурея, более узкие границы области наилучшей фотометрической чувствительности лежат между яркостями, соответствующими 250 и 1 000 люксов

на белом. Вопрос о влиянии на различительную чувствительность цветности тех полей, которые глаз должен различить по яркости, решается, повидимому, отрицательно.

Бесспорное значение имеет, однако, величина рассматриваемого поля. С возрастанием угловой величины последнего разностный порог умень: шается (Лазарев).При этом связь между величиной разностного порога и угловым размером поля носит гиперболический характер, что можно видеть из данных опытов Смирнова, показанных на рис. 96, где по абсциссе отложена угловая величина поля, а по ординате — величина разностного порога в условных единицах.

Липпай и Гейнц констатировали увеличение различительной чувствительности и при большем увеличении поля зрения (вплоть до 3,5°). Опыты производились ими как с центральным, так и с периферическим зрением. При этом в последнем случае

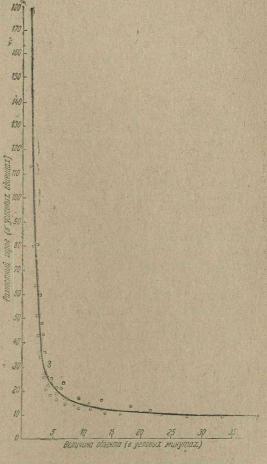


Рис. 96. Зависимость разностного порога от величины поля (по Смирнову).

влияние площади раздражения было особенно заметно. Рунге, увеличивая поле зрения до 2°, также наблюдал неизменное уменьшение величины разностного порога. Из данных, касавшихся относительной величины ошибки, делаемой при установках двух яркостей на равенство, следует, что наилучший в смысле фотометрической точности размер поля соответствует приблизительно 1—3°.

Такое же влияние, какое при монокулярном зрении оказывает увеличение площади раздражения, присуще бинокулярному зрению.

Еще старые эксперименты Мюллера-Лайэра, Брока и затем опыты ряда других исследователей установили, что при смотрении двумя гла-

зами различие в яркостях замечается лучше, чем при смотрении одним глазом. По данным экспериментов Липпая и Хохштедта, различи-

тельная чувствительность  $\frac{J}{\Delta J}$ , характеризующая бинокулярную

оценку при центральном зрении на 10%, при периферическом же зрении на 50%, оказалась выше, чем в случае оценки монокулярной. Опыты Лаурея, наконец, также подтвердили подобного рода явления и установили, что эта помогающая роль бинокулярного зрения бывает особенно заметна при яркостях, меньших чем 500 люксов на белую поверхность.

Можно думать, что здесь в силу центральной суммации возбуждений и обострения возбудимости происходит как бы увеличение интенсивности раздражителя J. В силу же этого мешающая роль «собственного света сетчатки», остающегося тем же самым независимо от того, смотрим ли мы двумя глазами или одним, при бинокулярном зрении

оказывается меньшей.

В р е м е н н ы е у с л о в и я раздражения равным образом не остаются без влияния. Имеет значение, наступает ли изменение интенсивности поля J медленно и постепенно или же быстро, более или менее сразу. Как то установлено специальными опытами Лазарева, в случае быстрого изменения J необходимая разница в интенсивностях  $\Delta J$  бывает меньше, чем при медленном, постепенном изменении J. Факт этот был подтвержден в позднейших экспериментах Дрю (1937).

С другой стороны, распознаваемость уже наличного объективного различия возрастает по мере увеличения времени действия раздражителей на глаз. Так, по исследованию Кобба и Мосса при длительности экспозиции в 0,075 секунды различались по яркости поля, отличающиеся друг от друга объективно на 1,27%, при экспозиции в 0,170 секунды — на 1,14%, при экспозиции в 0,300 секунды — на 1,04%. Грэхем и Кэмп (1938) исследовали влияние длительности экспозиции  $\Delta J$  на величину разностного порога. Ими найдено, что вплоть до некоторой «критической» длительности этой экспозиции произведение  $\Delta J \cdot t$ , где t есть продолжительность экспозиции, остается постоянным (соблюдается закон Бунзена-Роско). При большем удлинении экслозиции остается постоянной уже величина  $\Delta J$ .

В случае сравнения двух последовательно предъявленных световых раздражителей у нас имеется тенденция переоценивать вто-

рое впечатление, т. е. считать его более ярким.

Сравнение цветов по их светлоте значительно затрудняется в случае, если цвета различны по своему цветовому тону. При таком гетерохромном фотометрировании наши оценки будут тем точнее,

чем ближе цвета друг к другу.

Тем, кто имел дело с фотометрированием, хорошо известно, что тонкость различения зависит значительно и от того, находятся ли сравниваемые поля в непосредственном соседстве друг с другом, или же между ними имеется некоторая линия раздела. В последнем случае наша оценка становится менее точной, разностный порог увеличивается.

Разностный порог возрастает также в том случае, когда граница между двумя полями различной яркости бывает не скачкообразно резкой, но размытой, диффузной, дающей некоторую полосу постепенного перехода от одной яркости к другой. По наблюдениям Ноульс-Миддльтона (1937), разностный порог растет в линейной зависимости от угловой ширины этой переходной граничной зоны, если только она превосходит 10 угловых минут.

# § 4. Роль места раздражения. Влияние адаптации

Различительная чувствительность падает по мере перехода от макулярной области сетчатки к ее периферии. Для условий достаточно хорошего освещения, когда функционируют по преимуществу колбочки, различительную чувствительность периферических мест сетчатки исследовал еще в 1875 г. Ген в лаборатории Юнге в Петербурге. По его данным, если величину разностного порога для центральной ямки принять за 1, то для различных углов периферичности (по горизонтальному меридиану сетчатки) она растет следующим образом:

Угол:	0°	5°	20°	35°	50°	65°	80°	
Порог:	1	2	4	8	12	18	36	

Специально для сумеречного, палочкового, зрения этот вопрос исследовался Кравковым (1931). Им было найдено, что разностный порог для палочек во много раз превышает таковой для колбочек, и чем дальше от центральной ямки, тем различительная чувствительность хуже. Сказанное иллюстрируют следующие данные его опытов:

Отстояние от центральной ямки (по горизонтальному меридиану) 7° 11,5° 26° 
$$\frac{\Delta J}{J}$$
 (средние данные из опытов с 4 испытуемыми) . . . . . . . . 0,72 0,82 1,54

Следует отметить, что в отличие от распределения абсолютной световой чувствительности по сетчатке различительная чувствительность не обнаруживает здесь оптимума в средней зоне периферичности.

Вопрос о влиянии адаптации на фотометрическую чувствительность глаза до самого недавнего времени оставался невыясненным. Согласно опытам Блэнчарда (1918) и Федоровой и Барышанской (1926), проведенным над центральным зрением при весьма малых яркостях раздражителя, разностный порог в ходе темновой адаптации неизменно снижается. Для периферических мест сетчатки и сумеречного зрения то же наблюдал и Кравков (1931). С другой стороны, Райт (1935), проводивший опыты по выяснению значения адаптации для фотометрической чувствительности центрального зрения, пришел к тому выводу, что величина разностного порога остается постоянной, несмотря на весьма значительные различия в адаптации глаза. В 1938 г. появилась работа Крайка, наблюдавшего, что разностный порог, как

правило, бывает наименьшим при адаптации к яркости, равной яркости тестового поля. Применявшаяся в опытах Крайка световая адаптация длилась 2—3 минуты, касалась лишь измеряющего глаз; определения порога производились в эти первые три минуты световой адаптации. Вопрос о влиянии адаптации на разностный порог изучался затем в нашей лаборатории Богословским (1939). Первоначально испытуемые бинокулярно адаптировались в течение 20—30 минут к белому экрану (яркостью около 120 люксов на белое). Затем они погружались в темноту на 45—80 минут, после чего вновь адаптировались к свету в течение 20—30 минут. Как во время световой,

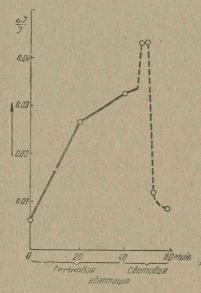


Рис. 97. Влияние адаптации на различительную чувствительность глаза (по Богословскому).

так и во время темновой адаптации производились определения разностного порога. Опыты ставились с раздражителями различной яркости и цветности. Опыты Богословского подтвердили, что для раздражителей малой яркости (порядка 1 люкса на белое и меньше) разностный порог при световой адаптации растет, при темновой же падает. Для раздражителей же более ярких наблюдается, однако, обратная картина: фотометрическая чувствительность ухудшается в ходе темновой адаптации глаза. В ходе световой адаптации разностный порог снижается. Последнее верно в том случае, если мы производим измерения порога не в самые первые минуты световой адаптации. Рис. 97, на котором приведены данные одного дня опытов, дает типичную картину закономерности, наблюденной Богословским.

. Принимая во внимание все эти данные, мы думаем, что условия

адаптации влияют на различительную чувствительность глаза разными путями. Во-первых, в ходе темновой адаптации световые раздражители становятся субъективно более яркими. В силу этого «собственный свет сетчатки» оказывает все меньшее действие, и если применяющиеся раздражители слабы и соизмеримы с этим «собственным светом сетчатки», разностный порог снижается в темноте. Далее, при световой адаптации в глазе имеется всегда остаточное световое возбуждение, так называемые положительные последовательные образы, которые, накладываясь на различаемые поля, делают их хуже различимыми, т. е. повышают разностный порог. Это все факторы, говорящие за выгодность темновой адаптации. Однако существует и еще очень важный момент — а именно уровень чувствительности нервных клеток (в сетчатке и вышележащих центрах).

В высокой степени невероятно, чтобы уровень чувствительности нервных клеток в центрах был бы безразличен для фотометрической

чувствительности глаза. На основании данных об электрической чувствительности глаза, о действии засветов и некоторых других факторов, о которых у нас еще будет речь ниже, мы имеем основания думать, что чувствительность нервных клеток нашего зрительного аппарата при отсутствии раздражений — в темноте — падает. Вот этот-то центральный фактор — понижение возбудимости нервных клеток в темноте и ее повышение на свету — и должен быть учтен при объяснении установленных Богословским закономерностей, говорящих об увеличении разностного порога при темновой адаптации. В зависимости от фотометрической чувствительности глаза от адаптации мы видим влияние сложных условий, с одной стороны, периферического, с другой стороны — центрального характера. Смотря по тому, каковы условия исследования, выявляться могут или влияния периферические (Блэнчард, Федорова и Барышанская, Кравков, Крайк), или же центральные (Богословский). Возможны, наконец, и такие условия, когда эффекты тех и других факторов известным образом балансируют друг друга и явных изменений разностного порога в зависимости от адаптации вообще не удается наблюдать (Райт).

# § 5. Зависимость различительной чувствительности от побочных раздражителей

спрашивается, как сказывается на различительной чувствительности глаза, измеряемой как величина  $\frac{J}{\Delta J}$ , жение других мест сетчатки? Какое влияние оказывает тот или иной фон, окружающий поля, сравниваемые нами по их яркости? Рядом авторов (Кобб, Стайльс, Штейнгардт, Арндт и др.) с бесспорностью показано, что разностный порог бывает наименьшим тогда, когда яркость фона одинакова с яркостью одного из сравниваемых полей. Такая закономерность, повидимому, объясняется тем, что при одинаковости фона с одним из полей между ними отсутствует заметная граница. Наличие же заметной границы, т. е. некоторой сверхпороговой разницы в поле зрения, действует ухудшающим образом на замечаемость нами различий едва заметных, т. е. пороговых. Факт этот, описанный Фрайем, Бартли и Коббом (1935, 1937), был специально проверен Кравковым (1938) и в его же лаборатории Чупраковым (1940). Опыты состояли в том, что испытуемые должны были отмечать пороговую видимость более темного диска, появляющегося в центре белого диска. Порог определялся или на фоне вполне белого диска, или же на белом фоне, на котором было нанесено темное кольцо, чем создавалась заметная сверхпороговая разница в поле зрения. Вариировалась удаленность темного кольца от определяемой, едва заметной границы, а также его светлота. Опыты показали, что наличие темного кольца всегда ухудшало заметность светлосерого диска, находящегося в центре; ухудшение было тем большим, чем ближе к этому диску было сверхзаметное темное кольцо и чем оно было темнее. На рис. 98 сверху справа показано положение светлосерого диска А (пороговая заметность которого определялась) и темного кольца В; Д обозначает расстояние внутреннего края темного кольца B от центра диска A. Кривая на рисунке показывает, как по мере увеличения  $\mathcal L$  величина разностного порога снижается. Опыты проведены в условиях центрального зрения и световой адаптации.

**Другие световые раздражители в поле зрения.** Различительная чувствительность глаза ухудшается от присутствия в поле зрения

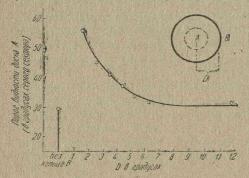


Рис. 98. Влияние сверхпороговых различий в поле зрения на величину разностного порога (по Чупракову).

ное различие.

каких-либо более или менее ярких пятен. Вопрос этот изучался специально Холлэдэй, Стайльсом и Мешковым. Мы остановимся на нем несколько подробнее в последней главе книги, там, где мы касаемся связанных со светотехникой вопросов о блескости. Здесь же мы лишь скажем, что такое снижение различительной чувствительности оказывается тем большим. чем интенсивнее раздражение, даваемое побочным световым раздражителем и чем оно ближе к фиксируемым полям.

Освещение другого глаза. Различительная чувствительность глаза и слуховые раздражения. Различительная чувствительность

глаза, измеряемая как величина  $\frac{3}{\Delta J}$ , ухудшается не только при побочных световых раздражителях, действующих на сетчатку исследуемого глаза, но и при освещении другого глаза. Это было найдено Кравковым первоначально в 1932 г. Яркость применявшегося Кравковым побочного раздражения другого глаза была достаточно большая: около 2 свечей с  $1 \text{ см}^2$  (т. е. 2 стильбов). Исследуемый глаз смотрел через искусственный зрачок 2 мм в диаметре. Полученные результаты могут быть иллюстрированы данными, приводимыми ниже в таблице. Цифры в ней показывают те отношения большей яркостик меньшей, при которых испытуемые впервые ощущали едва замет-

Испытуе-	Без освеще- ния другого глаза	При освеще- нии другого глаза		
Ю. Б. Д. К. П. Т.	$\begin{array}{c} 1,032\pm0,003\\ 1,043\pm0,006\\ 1,028\pm0,002\\ 1,029\pm0,003\\ 1,049\pm0,003\\ 1,027\pm0,003\\ \end{array}$	1,048±0,004 1,058±0,004 1,036±0,002 1,039±0,004 1,082±0,006 1,046±0,005		

Позже, в 1934 г., Кравковым была проведена работа о зависисти фотометрической чувствительности глаза не только от освещения другого глаза, но и от побочного звукового раздражения. Как и в ранее упоминавшейся работе, применялся искусственный зрачок. Кроме того, здесь вариировался уровень яркости сравниваемых полей (интенсивность прямого раздражителя). Результаты этих опытов приведены на рис. 99.

По абсциссе отложены величины исходной контрастной чувстви-

тельности  $E_1$ , по ординате — отношения  $\dfrac{E_2}{E_1}$ , где  $E_2$  обозначает чув-

ствительность, имевшуюся при наличии побочного раздражителя. Треугольниками обозначены величины, найденные при интенсив-

ности прямого раздражения, равной 100 (в относительных единицах), кружками — величины, найденные при интенсивности прямого раздражения, равной 3. Рисунок ясно показывает, что звук снижал различительную чувствительность глаза. При этом ухудшение различительной чувствительности звуком было значительно большим в случае различения более яр-

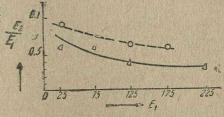


Рис. 99. Влияние звука на различительную чувствительность глаза (но Кравкову).

ких полей (интенсивность прямого раздражения равна 100), чем в случае различения полей темносерых (интенсивность прямого раздра-

жения равна 3).

Опыты с освещением другого глаза (яркостью около 2 стильбов) были проведены также при трех уровнях яркости прямых раздражителей (в относительных величинах: 3, 48 и 100). При наименьшей изэтих яркостей свет, попадающий в другой глаз, влиял на различительную чувствительность исследуемого глаза чрезвычайно мало. Найденные здесь различия  $E_2$  и  $E_1$  со статистической точки зрения могут быть даже и случайными. При яркостях же больших (48 и 100) влияние побочного раздражения было уже бесспорным: различительная чувствительность заметно снижалась (рис. 100). Квадратики обозначают данные, полученные при интенсивности прямого раздражителя, равной 3, кружки — при интенсивности, равной 48, и треугольники при интенсивности, равной 100. Кривые рис. 99 и 100 показывают, что побочные раздражения в виде освещения другого глаза и слухового раздражения тем значительнее снижают различительную чувствительность глаза, чем интенсивнее прямой раздражитель. Вместе с тем вышеприведенные данные наших экспериментов позволяют установить и еще одну закономерность, а именно зависимость влияния побочного раздражителя от имеющейся чувствительности глаза к прямому раздражителю. Мы видим из кривых, что чем начальная чувствительность  $E_1$  больше, тем относительно больше и снижение ее при воздействии побочного раздражителя. Такая зависимость не есть нечто неожиданное, поскольку имеется зависимость эффекта побочного раздражителя от интенсивности прямого. Важна, конечно, не физическая интенсивность прямого стимула сама по себе, но то

возбуждение, которое им вызывается в нашем нервном аппарате. Степень же возбужденности определяется как интенсивностью раздра-

жителя, так и чувствительностью реагирующего органа.

Упомянем, наконец, что, как то показал Богословский (1939), различительная чувствительность глаза, подобно его абсолютной световой чувствительности, может изменяться и в силу установления нервных связей по схеме условного рефлекса.

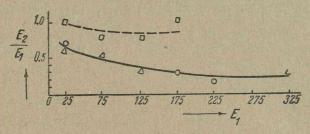


Рис. 100. Влияние освещения одного глаза на различительную чувствительность другого (по Кравкову).

# § 6. Влияние стрихнина на различительную чувствительность глаза

Литературные данные о действии стрихнина на различительную чувствительность глаза не однозначны. В то время как Дрезер на-

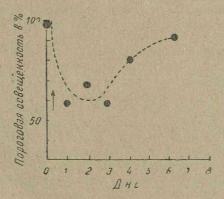


Рис. 101. Влияние стрихнина на различительную чувствительность глаза (по Кравкову). По ординате отложена пороговая освещенность (в относительных величинах), по абсциссе — дни, прошедшие после инъекции.

шел после инъекции стрихнина явное снижение разностного порога, Гиппель и Шлагинтвейт подобного эффекта не наблюдали. Поэтому вопрос этот недавно вновь подвергся экспериментальному изучению Кравковым (1942). Им испытывалось влияние небольших доз стрихнина в виде инъекций под кожу (1 см³ 0,1% раствора) и приема пилюль внутрь (по 0,7 мг). Опыты были проведены на 12 лицах. Различительная чувствительность измерялась посредством определения минимальной освещенности, при которой испытуемый впервые заме-

чал светлый объект на темном фоне. Наблюдения производились макулярным зрением темно адаптированного глаза. Оказалось, что как инъекции, так и приемы пилюль неизменно влекут за собой достаточно значительное повышение различительной чувствительности. В случае инъекции повышенная различительная чувствительность наблюдается в течение нескольких (2—3) дней, следующих за инъекцией. В случае приема пилюль повышение различительной чувствительности оказывается более скоропреходящим и продолжается около суток. Рис. 101 иллюстрирует сказанное выше касательно действия инъекций стрихнина.

# § 7. О некоторых закономерностях действия побочных раздражителей на различительную чувствительность глаза при центральном зрении. Эффект побочного раздражителя как, функция интенсивности раздражителя прямого

Чтобы дать некоторое объяснение всем тем фактам действия побочных раздражителей на различительную чувствительность глаза, которые описаны выше, нам следует иметь в виду, что побочные раздражители вообще могут влиять двояко. С одной стороны, они могут так или иначе изменять чувствительность (возбудимость) нервных клеток нашего зрительного аппарата, с другой же — они могут в большей или меньшей мере усиливать то состояние возбуждения, которое имеется в зрительном аппарате благодаря действию прямого раздражителя. Надо думать, что всегда у нас имеют место процессы и того и другого рода. Какой же из этих двух путей влияния по преимуществу определит собой конечный эффект в каждом данном случае, зависит от пока еще не изученных комбинаций условий. Известную роль в действии побочных световых раздражений на различительную чувствительность глаза играет, повидимому, и тот «контраст заметности», о котором мы упоминали выше, говоря, что сверхпороговое различие, видимое глазом в поле зрения, «убивает» заметность имеющегося едва заметного различия.

Та большая группа фактов, которая рисует картину неизменного увеличения ра ностного порога при появлении блеских пятен в поле зрения, при освещении другого глаза и при слуховых раздражениях позволяет нам, однако, с большей вероятностью видеть здесь результат главным образом того усиления возбужденности, которое создается в очагах прямого возбуждения раздражителями побочными.

В пользу такого именно толкования говорит сопоставление опытных данных о действии побочных раздражителей на различительную чувствительность глаза, с одной стороны, и на эффект иррадиации света в глазе — с другой. Эффект положительной иррадиации, сказывающийся в том, что очертания светлых объектов кажутся нам раздвинутыми шире, чем они есть на самом деле, объясняется, как уже говорилось выше, тем, что в силу оптических несовершенств глаза границы двух смежных полей на сетчатке никогда не бывают очерчены вполне резко, но бывают размытыми, дающими постепенный переход от светлого к темному. Так, освещенность на сетчатке, соот-

11 глаз

ветствующая, например, изображению белой полосы mn, находящейся на каком-нибудь сером фоне, распределится сообразно кривой ac (рис. 102). В силу этого обстоятельства видимые нами границы полосы будут лежать не в точках  $m_1$  и  $n_1$ , а где-нибудь в точках  $m_2$  и  $n_2$  (в случае положительной иррадиации). Эти же точки отвечают тем ординатам кривой abc, которые соответствуют разностному порогу, т. е. стоят в определенном отношении к минимальным ординатам ae и cd, которые обозначают освещенность, создаваемую тем серым фоном, на котором находится белая полоса mn. Величина эффекта иррадиации (в нашем примере  $m_1m_2$  или, что то же,  $n_1n_2$ ) зависит, очевидно, от величины разностного порога. Чем разностный порог меньше, тем иррадиация будет больше, и наоборот.

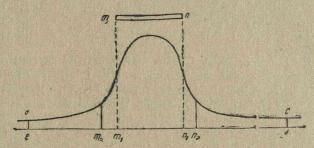


Рис. 102. Схема, поясняющая эффект иррадиации.

Эксперименты Кравкова и его сотрудников (1933, 1934, 1938) показали, что иррадиация белого объекта на черном фоне под влиянием таких побочных раздражителей, как освещение другого глаза или слуховое раздражение, увеличивается. Вместе с тем упоминавшиеся выше опыты Кравкова показали, что при воздействии таких же побочных раздражителей способность глаза различать яркости смежных полей ухудшается. Если бы данные побочные раздражители изменяли в сторону повышения величину самого физиоло-

гического разностного порога  $\frac{\Delta C}{C}$ , т. е. если бы эти побочные раздра-

жители снижали различительную чувствительность зрительных центров<sup>1</sup>, то действие их на иррадиацию должно было бы быть обратным тому, что фактически дают эксперименты. Побочные раздражители должны были бы в таком случае уменьшать эффект иррадиации: соответствующая порогу ордината освещенности по кривой *ас* (рис. 102) должна была бы смещаться в направлении своего возрастания, т. е. в направлении от серого фона к середине белой полосы. Поскольку

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Для ясности обратим внимание на то, что выше мы говорили о различительной чувствительности как величине, определяемой  $\frac{J}{\Delta J}$ , где J и  $\Delta J$  суть интенсивности применяемых раздражителей, сейчас же мы имеем в виду центральный физиологический коррелат различительной чувствительности глаза или отношение  $\frac{C'}{\Delta C'}$ , где C' и  $\Delta C'$  суть концентрации раздражающих продуктов в нервных центрах,

этого нет, мы и считаем правильным толковать здесь действие побочных раздражителей на иррадиацию и на различительную чув-

ствительность глаза (измеряемую величиной  $\frac{J}{\Delta I}$ ) как результат добавочного возбуждения, приходящего от побочных раздражений. Возбуждение в нервных центрах, затронутых прямым раздражителем, под влиянием побочных раздражителей усиливается тем больше, чем больше там наличная возбужденность, и распределяется там тем неравномернее, чем неравномернее эта наличная возбужденность. При таком допущении мы можем понять как увеличение иррадиации, так и одновременное ухудшение различительной чувствительности глаза от воздействия одних и тех же побочных раздражителей. Когда мы измеряем различительную чувствительность глаза путем нахождения минимальной, едва заметной разницы в яркости двух смежных полей. мы имеем почти совершенно одинаковую возбужденность в обоих этих полях. Следовательно, и добавочное возбуждение от побочного раздражителя (яркостный эквивалент этого добавочного возбуждения мы назовем через Z) должно, согласно сказанному выше, распределиться на оба поля равномерно. Если раньше мы замечали различие при отношении яркости более светлого поля к яркости поля более тем-

ного, равном  $\frac{J_2}{J_1}$ , то теперь, когда это отношение превратится в  $\frac{J_2+Z}{J_1+Z}$  (т. е. станет меньше), мы разницы между полями уже не заметим. Чтобы ее вновь обнаружить, потребуется увеличить объективное различие между ними, иными словами, различительная чувствитель-

ность глаза окажется сниженной.

В случаях же иррадиации изображения белой полосы на темном фоне имеется большая неравномерность возбуждения в полях, затронутых прямым раздражителем. Добавочное возбуждение поэтому распределяется по этому участку неравномерно; различие сильно и слабо освещенных зон окажется от этого увеличенным, и видимые очертания белого объекта покажутся еще более расширившимися.

Все это мы фактически и наблюдаем в опытах.

Выше мы видели также (рис. 96, 97), что эффект действия одного и того же побочного раздражителя на различительную чувствительность бывает, действительно, различен по своей величине в зависимости от интенсивности прямого раздражителя. Кравковым были поставлены и еще специальные опыты (1937) для проверки того, что величина добавочного возбуждения, вызываемого побочными раздражителями, является функцией интенсивности прямого раздражителя. Для этой цели исследовалось изменение разностного порога для одного глаза в зависимости от освещения другого.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> В пользу такого именно толкования говорят и данные недавних (1944) опытов Кравкова, касавшихся изменения величины иррадиации оранжево-красного объекта под влиянием побочного звукового раздражения. Несмотря на то, что чувствительность (возбудимость) глаза по отношению к оранжево-красным лучам от слуховых раздражений снижается (см. ниже,гл. VI, § 6), величина иррадиации при воздействии этих раздражений все же увеличивалась. Таким образом, мы имеем здесь перед собой результат именно увеличения возбужденности эрительного аппарата, затронутого прямым раздражителем.

Условия адаптации и интенсивность побочного раздражителя оставались во время всех опытов постоянными. Вариировалась только интенсивность прямого раздражителя (яркость того поля І, разностный порог для которого отыскивался). Определялась различительная чувствительность  $\frac{J}{\Lambda I}$  в опытах без побочного раздражителя и то же отношение в опытах с побочным раздражителем. В последних случаях различительная чувствительность  $\left(\frac{J}{\Lambda J}\right)$ всегда оказывалась меньшей, поскольку знаменатель вышеприведенного отношения делался большим ( $\Delta' J > \Delta J$ ). Последнее есть, как мы считаем, результат добавочного возбуждения (яркостный эквивалент которого Z), добавляющегося к числителю и знаменателю дроби  $J+\Delta J$  и превращающего эту дробь в уже меньшую  $\frac{J+\Delta J+Z}{I+Z}$  . остаться той же и дать тот же физиологический центральный коррелат в виде  $\frac{C' + \Delta C'}{C'}$ , и приходится брать больший раздражитель Δ' /. Придерживаясь подобного толкования, мы можем и вычислить

яркостный эквивалент добавочного центрального возбуждения Z. В итоге данные всех описываемых опытов определенно

показали, что с увеличением интенсивности прямого раздражителя величина Z растет, а различительная чувствительность снижается все больше. В первом столбце приводимой здесь таблицы показана интенсивность прямого раздражителя Ј (в люксах на белом), во втором — инициалы испытуемых, в третьем отношение величины различительной чувствительности при побочном раздражителе  $E_2$ к ее величине без побочного раздражителя  $E_1$ , в четвертом -- величина яркостного эквивалента добавочного центрального возбуждения Z (в люксах на белом).

-				
J	Испыту-	$\frac{\mathbf{E_2}}{\mathbf{E_1}}$		z
0,8	С. К. В.		0,84 0,87 0,85	0, 15 0, 17 0, 16
3,7	С. К. В.	В среднем:	0,85 0,82 0,75 0,77	0,16 0,7 1,2 1,0
20	С. К. В.	В среднем:	0,78 0,73 0,69 0,77	1,0 6,7 8,8 5,7
145	С. К. В.	В среднем:	0,73 0,76 0,72 0,76	7,1 44,1 61,7 44,1
		В среднем:	0,75	50,0

В недавнее время Строжецкой (1939) в лаборатории Кравкова проведено экспериментальное исследование того, как влияет побочный звуковой раздражитель на видимую сверхпороговую разницу двух смежных ахроматических полей—на ахроматический контраст. По вышеизложенной гипотезе, большая разница (большой контраст) должна бы от побочного раздражителя делаться субъективно еще больше, разница же небольшая (малый контраст), напротив, от побочного раздражителя должна сглаживаться, уменьшаться. Результаты опытов, поставленных на 9 лицах, подтвердили это ожи-

дание. На рис. 103 приведены средние данные отдельных испытуемых, показывающие влияние звукового раздражителя на величину ахроматического контраста. По ординате показана (в относительных значениях) кажущаяся яркость поля, находящегося на более светлом фоне. Сплошные линии относятся к опытам с большим контрастом, линии штрихами — к опытам с малым контрастом. Обозначения по абсциссе: *I* — до звука, *II* — при звуке, *III* — после звука.

Наша объяснительная гипотеза позволяет дать вероятное толкование и целому ряду других фактов, касающихся действия побочных раздражителей на зрение. Мы имеем в виду здесь прежде всего те случаи, когда эффект одного и того же побочного раздражителя меняет свой знак в зависимости лишь от интенсивности прямого раздражителя, действующего на исследуемый глаз. Факт этот был

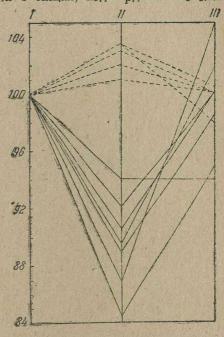


Рис. 103. Влияние одного и того же побочного раздражителя на объекты различной контрастности (по Строжецкой).

впервые наблюден (Кравков, 1934) при изучении действия побочного слухового раздражителя на иррадиацию. Побочный слуховой раздражитель оставался во всех опытах постоянным, яркость же прямого раздражителя (светлой полоски на темном фоне) вариировала. В результате опытов обнаружилось, что эффект побочного раздражителя сказывается в увеличении положительной иррадиации (т. е. в иллюзорном расширении границ светлого), если иррадиирующее поле значительно отличается от фона (при большом контрасте), эффект может быть нулевым при некоторой средней контрастности поля и фона и может быть, наконец, отрицательным при малой их контрастности. Иными словами, при малой контрастности поля и фона действие побочного раздражителя уменьшает положительную иррадиацию, т. е. усиливает иррадиацию отрицательную: границы

светлого кажутся иллюзорно суженными. Откладывая по абсциссе логарифм отношения яркости поля к яркости фона, а по ординате изменение иррадиации под влиянием побочного слухового раздражителя, мы получили, таким образом, зависимость, изображенную кривой на рис. 104. Наблюдается, следовательно, инверсия дей-

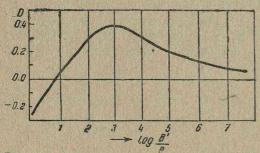


Рис. 104. Влияние одного и того же побочного слухового раздражителя на иррадиацию при различной контрастности объекта с фоном (по Кравкову).

ствия побочного раздражителя: первоначально (при малом контрасте) оно уменьшает величину иррадиации, а затем ее увеличивает, проходя при этом через максимум. Совершенно такую же картину нашли в 1939 г. Мешков и Брюллова уже при воздействии побочного раздражителя в виде блеского пятна в поле зрения испытуемого.

Данные их опытов с двумя испытуемыми приведены на рис. 105.

По абсциссе отложена яркость иррадиирующего поля (в стильбах), по ординате — изменения в величине иррадиации (в относитель-

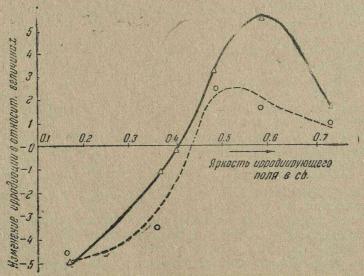


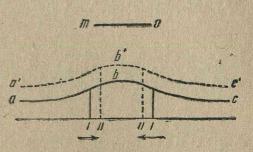
Рис. 105. Влияние одного и того же побочного светового раздражителя на иррадиацию при различной контрастности объекта с фоном (по Мешкову и Брюлловой).

ных значениях). Как в опытах Кравкова, так и в опытах Мешкова испытуемые смотрели через искусственный зрачок постоянного размера.

При малой яркости иррадиирующего поля оно отличается от фона незначительно, контрастность его с фоном мала и добавочное воз-

буждение от побочного раздражителя распределяется в участках, затронутых прямым раздражением, почти равномерно. В силу этого относительное различие уровней максимального и минимального возбуждений становится меньшим. На рис. 106 кривая аbc обозначает распределение освещенности на сетчатке (и соответственно возбуждения в центрах), имеющее место при рассматривании полоски немного более светлой, чем фон; ширина этой полоски — mn. Благодаря побочному раздражению возбужденность увеличивается и распределяется соответственно кривой a' b' c'. Если до побочного

раздражения субъективная граница светлой полоски давалась ординатами *I*, *I*, как отвечавшими величине разностного порога, то теперь, при побочном раздражении, той же величине разностного порога будут соответствовать уже ординаты *II*, *II*, лежащие ближе к середине иррадиирующего объекта. Таким образом, под влиянием побочного раздражителя здесь будет наблюдаться уменьшение эффекта положительной



ким образом, под влиянием побочного раздражителя здесь будет наблюдаться уменьшебудет наблюдаться уменьшепости. Рис. 106. Схема, поясняющая увеличение негативной иррадиации от действия побочного раздражителя при объектах малой контрастности.

иррадиации — появление иррадиации отрицательной. Обратное происходит при большом контрасте объекта с фоном в силу той же закономерности, высказанной в нашей гипотезе. Побочные раздражители, когда они действуют как усилители возбужденности нервных клеток, затронутых прямым световым раздражителем, увеличивают возбужденность в этих участках нервной системы тем неравномернее, чем неравномернее в них наличное возбуждение.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

# § 1-2

Bouguer P., Traite d'optique sur la gradation de la'lumiere etc., p. 51—54, Paris, 1760. — Weber E. H., Tastsinn und, Gemeingefuhl agner's Handbuch der Physiologie, Bd. 3, 1846. — Masson V., Ann. chim. et phys., t. 14, 1845. — Fechner G. T., Elemente der Psychophysik, T. I, 1860. — Nutting P., J. Opt. soc. Amer., p. 69, 1920. — Martin L., Colourand the methods of colour reproductions, London, p. 91—92, 1926. — Voik mann A., Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, Bd. I, 1863. — Koenig's Quantier in Bezug auf den Gesichtssinn. Koenig's Quantier Abhandlung zur physiologischen Optik, S. 116, 135, 1903. — Lasareff P., Известия Академин наук, стр. 883, 1915. — Helmholtz H. v., Die Störung der Wahrnemung kleinster Helligkeitsunterschiede durch das Eigenlicht der Netzhaut. Wissenschaftliche Abhandlungen, Bd., 3 1895. — Cobb P., Psych. rev., v. 39, 1932. — Blanchaid, Phys. rev., v. II, 1918. — Steinhardt J., J. gen. physiol., v. 20, 1936. — Houstoun R., Vision and colour vision, London, 1932. — Bothous der Helligkeitsunterschiede durch das Eigenlicht Bard der J., J. gen. physiol., v. 20, 1936. — Houstoun R., Vision and colour vision, London, 1932. — Bothous der H., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 57, 1926. — Hechts., J. gen. physiol., v. 7, 1924; Erg. Physiol., Bd. 32, 1931; Proc. Nat. acad.

sci. USA, v. 20, 1934. — Cold Spring Harbour Symposia, v. 3, 1935; J. gen. Physiol., v. 18, 1935; v. 22, 1938. — Petren K., Scand. arch. Physiol., Bd. 15, 1940. — Kravkov S. C., Gràefes Arch. Ophth., Bd. 132,1934. — Plateau J., C. r. de l'Acad. sci., v. 75, 1872. — Neiglick, Philos. Stud., Bd. 3, 1888. — Mintz A., Psychologische Forschung, Bd. 10,1928. — Федоров Н. Т. и Федорова. В. И., Доклады Академии наук СССР, т. 24, 1939.

#### § 3

Lowry E., J. Opt. soc. Amer., v. 21, 1931. — Drew G., Brit. j. psych. v. 27, 1937. — Graham C. a. Kemp E., J. gen. physiol., v. 21, 1938. — Кпоwles Middleton W., J. Opt. soc. Amer., v. 27, 1937. — Смирнов А. А., Сборник «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935.

## § 4

Kravkov S., Gräfes Arch. Ophth., Bd. 127, 1931. — В 1 anchard J.; Physic. rev., v. II, 1918. — Wright W., J. physiol., v. 83, 1935. — Несht S., J., physiol., v. 86, 1936. — Водов 1 о vsky A., Ophthalmologica, v. 97, 1939. — Ваrt I е у S., Psychol. rev., v. 46, 1939. — Барышанская Ф. С. и Федоров В. И., Журнал Русского физико-химического общества, т. 58, 1926.

#### \$ 5

Dittmers F., Zschr. f. Sinnesphysiol., Bd. 51, 1920. — Fry G. a. Bartley S., Amer. j. physiol., v. 112, 1935. — Fry G. a. Cobb F., Amer. j. psychol., v. 49, 1937. — Stiles W., Proc. Roy. soc., ser. B, No. 104, 1929. — Hollday L., J. Opt. soc. Amer., v. 14, 1927. — Kravkov S. V., Graefes Arch.Ophth., Bd. 128, Bd. 129, 1932; Bd. 132, 1934. — Кравков С. В., Вестник офталмологии, т.12, 1938. — Чупраков А. Т., Вестник офталмологии, т. 17, 1940. — Мешков В. В., Светотехника № 2, 1932; № 2, 1934. — Богословский А. И., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, т. 8, 1939.

#### \$ 6

Hippel A., Über die Wirkung des Strychnins auf das normale und kranke Auge, Berlin, 1873. — Dreser H., Arch. exp. Path. u. Pharm., Bd. 33, 1894.— Schlagintweit E., Arch. exp. Path. u. Pharm., Bd. 95, 1922. — Кравков С. В., Доклады Акад. наук СССР, т. 37, № 4, 1942.

#### \$ 7

Кравков С. В., Сборник «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935; Graefes Arch. Ophth., Вd. 129, 1933; Вd. 133, 1934; Acta ophthalmologica, v. 15, 1937; v. 17, 1939. Доклады Академии наук СССР, т. 22, 1939. — Строжецкая Э. Я., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, т. 8, 1939. — Брюллова Н. Б. и Мешков В. В., Проблемы физиологической оптики, т. 1, 1941 г.

# ГЛАВА VI ЦВЕТНОЕ ЗРЕНИЕ

§ 1. Спектры отражения. Цветовой круг Ньютона. Законы оптического смешения цветов. Приборы для оптического смешения цветов. Дополнительные цвета

В главе III мы видели, что воздействие на глаз отдельных монохроматических лучей спектра вызывает у нас ощущения того или иного хроматического цвета. Между длиной волны светового луча и цветностью существует при этом определенное соответствие. Длинноволновые лучи вызывают ощущение красного, коротковолновые фиолетового и т. д. В обычных условиях раздражителями нашего глаза являются, однако, световые лучи не одной какой-либо длины волны, но известная совокупность лучей целого ряда длин волн. Из физики хорошо известно, что всякая поверхность, кажущаяся нам вполне одноцветной, отражает и посылает нам в глаза световые волны весьма разной длины, что и показывается ее спектром отражения. Следовательно, эффекты отдельных длин волн, одновременно воздействуя на наш глаз, как-то смешиваются и дают в результате один цвет. Каким же законам подчиняется это смешение световых волн разной длины у нас в глазе? Вопрос этот имеет первостепенное значение для понимания всего процесса нашего цветного зрения. К рассмотрению явлений смешения цветов мы поэтому теперь и обратимся1.

Начало научного изучения смешения цветов, как и начало научного изучения цветов вообще, восходит к Ньютону. Открыв спектр, он обратил внимание на непрерывный переход его цветов из одного в другой. С другой стороны, от него не укрылось и то обстоятельство, что в спектре отсутствуют оттенки пурпурного цвета. Они, однако, могут легко быть воспроизведены путем смешения цветов обо-

их концов спектра — красного и фиолетового.

Если, таким образом, мы получим и пурпурные цвета, смешивая цвета обоих концов спектра — фиолетовый и красный, то, начав с красного цвета и прослеживая изменения цветового тона отодного цвета к другому, можно прийти в конце концов постепен-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> При этом мы будем иметь в виду только оптическое (или слагательное) смешение цветов, вызываемое одновременным возбуждением глаза разными цветами, а не то техническое (или вычитательное) смешение красок, которое происходит на палитре художника и вызывается тем, что лучи различных длин волы последовательно поглощаются в крупинках смешиваемых красок.

ным и непрерывным образом к отправному пункту, т. е. к красному же цвету. Многообразие цветовых тонов является, таким образом, замкнутым в себе рядом. В качестве простейшей формы такой замкнутой кривой Ньютон избрал круг, расположив по его окружности все спектральные цвета (рис. 107). Такой «цветовой круг», по Ньютону, позволяет разрешать и вопросы смешения цветов. Предположим, что к точкам цветового круга, соответствующим нашим смешиваемым цветам, приложены грузы, по своей величине пропорциональные количеству взятых смешиваемых цветовых лучей. Тогда результирующий цвет смеси будет, по Ньютону, соответствовать общему центру тяжести этих грузов на цветовом круге. В случае, если этот общий центр тяжести пройдет как раз через центр цветового круга, мы будем иметь белый цвет, во всех иных случаях — тот или иной хроматический. Цветовой тон цвета, возникающего от смешения, определяется той точкой окружности, в которую попадает радиус, прове-

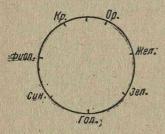


Рис. 107. Цветовой круг по Ньютону.

денный через центр цветового круга и точку, соответствующую данному цвету. Насыщенность же цвета будет тем больше, чем дальше точка его ляжет от центра круга (т. е. от белого цвета). Ньютоновская схема, несомненно, далеко не выражает всех тех количественных закономерностей, которые нам теперь известны относительно смешения цветов. Но она и есть лишь первая попытка в этом направлении. Тем не менее все основные законы смешения цветов в ней уже содержатся. Эти законы следующие.

**І закон.** Для всякого цвета имеется другой такой цвет, от смешения с которым может получиться цвет ахроматический; такие два цвета называются цветами дополнительными.

В ньютоновской схеме дополнительные цвета должны, очевидно, лежать диаметрально противоположно, тогда общий центр тяжести сможет пройти как раз через центр круга<sup>1</sup>.

II закон. Если мы будем смешивать два цвета, лежащие по цветовому кругу ближе один к другому, чем цвета дополнительные, то получим цвет, по своему тону лежащий между смешиваемыми цветами по меньшей дуге цветового круга.

Из ньютоновского же принципа нахождения общего центра тяжести следует, что этот результат смешения двух цветов будет лежать в цветовом круге на прямой, соединяющей эти два цвета.

III закон. Одинаково выглядящие цвета при смешении дают и одинаково выглядящие смеси независимо от различий в физическом составе смешиваемых цветовых раздражителей. Поэтому во всех случаях смешения цветов мы можем одинаково выглядящие цвета считать величинами, одинаково влияющими на результирующий цвет смеси.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Хотя Ньютон и сознавал логическую необходимость получения по его схеме белого из двух диаметрально противоположных цветов, однако ему фактически не удавалось таким путем наблюдать совершенно белый цвет. См. «Оптика», русжое издание в переводе С. И. Вавилова, стр. 124—125, 1927.

Эти три закона были теоретически выведены Грассманом, исходившим из ньютоновской схемы, а экспериментально доказаны в ряде работ Максвеллом, Гельмгольцем, Крисом и др.

Прежде чем перейти к изложению подробнее установленных здесь фактов смещения цветов, остановимся вкратце на тех главнейших приборах, посредством которых можно наблюдать и изучать смешение цветов. Простейшим из них является так называемое зеркало Ламберта, представляющее собой стекло, поставленное вертикально между двумя горизонтально лежащими цветными поверхностями А и В (рис. 108). Смотря в

это стекло сверху и несколько сбоку, мы видим цвета обеих цветных поверхностей А и В наложенными друг на друга вследствие того, что лучи от А проходят сквозь стекло и идут в глаз наблюдателя, лучи же от В отражаются от стекла и идут по тому же направлению. Поэтому наблюдатель видит смесь этих двух цветов. Доля цвета В в смеси может быть сделана большей или меньшей в зависимости от того угла, который составляет с поверхностью стекла взор наблюдателя; чем этот угол будет меньше, тем доля В в смеси будет больше. Другим, также чрезвычайно простым прибором, позволяющим наблюдать и изучать факты смешения цветов, служит так называемый максвелловский диск, или, как его упрощенно принято называть, «вертушка для смешения цветов» (рис. 109). Максвелловский диск составлен из секторов нескольких вдетых один в другой цветных кружков. Диск этот надевается на ось

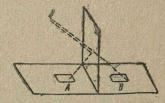


Рис. 108. Смешение цветов посредством зеркала Ламберта.

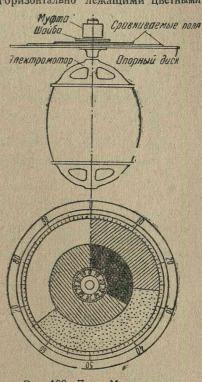


Рис. 109. Диск Максвелла.

моторчика или обыкновенной ручной центрифуги и приводится в быстрое вращательное движение. Наблюдатель, смотря на диск, увидит его в цвете, являющемся результатом смешения цветов отдельных секторов. Изменяя величину секторов, мы меняем и этот результирующий цвет. Вместо вращения самого диска соответствующее чередование всех его цветов на сетчатке глаза наблюдателя может достигаться и благодаря призме с полным внутренним отражением, вертящейся перед глазом наблюдателя, смотрящего на неподвижный сам по себе диск. Призма вертится вокруг своей продольной оси так, что относительное положение проходящих сквозь нее лучей все время чередуется. Построенный на этом принципе прибор для смешения цветов носит название циклоскопа<sup>1</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> На максвелловском диске и циклоскопе смешение происходит, следовательно, вследствие быстрого чередования различных возбуждений в глазе. Поэтому действие каждого возбуждения надо себе представлять распределенным на весь период смены данного возбуждения другим. Подобным распределением раздражения во времени и объясняется то, что смешение даже самых насыщенных цветов на вращающемся диске не даег в результате белого цвета, но лишь серый.

Смешение спектральных цветов можно производить также различными способами. Можно, например, получив обычным образом спектр на экране, выделить отдельные места спектра посредством соответствующих прорезей в экране и затем при помощилинз совместить эти выделенные лучи на следующем белом экране, где таким образом и получится результирующий цвет смеси. Можно воспользоваться обратимостью хода лучей во всякой оптической системе и применять прибор Максвелла,изображенный на рис. 110. Свет, отражаемый от белой поверхности через три щели x, y и z, попадает на призмы P и  $P_1$ , за которыми находится вогнутое зеркало S. Собирающиеся на этом зеркале лучи соответствуют в данном случае тем, которые упали бы на месте щелей x, y и z, если бы свет шел в обратном направлении, z, е. со стороны зеркала через призмы на экран со щелями. Зеркало S ориентировано так, что, отражаясь от него, лучи вновь проходят через призмы и вместе выходят из них, попадая на зеркальце e

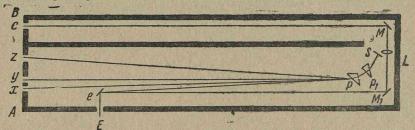


Рис. 110. Прибор Максвелла для смешения цветов.

и оттуда в глаз наблюдателя, в E. Через щель C идет неразложенный белый цвет, отражающийся от зеркал M и  $M_1$  и e и составляющий другую половину поля зрения наблюдателя. Изменяя положение и ширину щелей x, y и z, мы можем менять качество и интенсивность смешиваемых цветов. Более совершенным аппаратом для смешения спектральных цветов является прибор Гельмгольца. Прибор

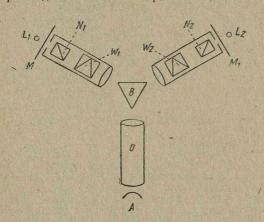


Рис. 111. Схема прибора Гельмгольца для смешения цветов.

представляет собой в сущности соединение двух спектроскопов (рис. 111). Рассмотрим устройство одного из них.Свет от источника  $L_1$  проходит через матовое стекло  $M_1$ , щель, николеву призму  $N_1$  и двоякопреломляющую призму  $W_1$ , после чего падает двумя расходящимися пучками на призму В. За призмой образуются таким образом два спектра, несколько смещенные друг относительно друга (в зависимости от степени расхождения обоих пучков, обусловливаемой положением призмы  $W_1$ ). Попадая в окулярную трубу О, они в известной своей части совмещаются для глаза наблюдателя в А. В результате наблюдатель видит одну половину поля зрения, окрашенную в цвет смеси совмещенных длин волн обоих

спектров. Таким же образом через другой спектроскоп смешение двух спектральных цветов может быть получено в другой половине поля зрения. Меняя положение коллиматорных труб по отношению к призме B и передвигая двояко преломляющую призму внутри каждого из спектроскопов, мы можем менять длины волн смешиваемых цветов. Изменением же щели и положения николевой призмы N можно изменять соотношение интенсивностей смешиваемых лучей (последнее

достигается благодаря тому, что выходящие из двоякопреломляющей призмы W два пучка света бывают поляризованы во взаимно перпендикулярных направлениях, николева же призма действует как поляризатор).

Говоря об оптическом смешении цветов, следует упомянуть еще об особом виде оптического смешения цветов, который имеет особенно широкое применение в живописи и в ткацком деле. Я имею в виду так называемое пространственное смешение цветов, которое мы имеем, смотря издали на поверхность, покрытую мелкими разноцветными пятнами или полосками. При достаточной удаленности такой поверхности от глаза она перестает казаться пестрой, но производит впечатление одноцветной, окрашенной в результирующий цвет смеси отдельных цветов. Объясняется подобный эффект тем, что при очень малой величине изображений двух соседних разноцветных пятен они оба падают на сетчатке настолько близко, что соответствующие им возбуждения в мозгу в силу своей пространственной близости сливаются и дают впечатление одного цвета. Подобным приемом смешения цветов пользуются в живописи представители так называемого пуантелизма (например, Синьяк), а также импрессионисты. В текстильном же производстве пространственное смешение цветов мы имеем всегда, когда получаем какую-либо однотонную ткань путем сплетения разноцветных нитей.

Экспериментально вопросы пространственного смешения цветов до последнего времени были изучены далеко не в достаточной степени. Эксперименты Лемпицкой, как она думала, показали, что пространственное смешение в известных отношениях отличается от того оптического смешения цветов, которое мы имеем, пользуясь максвелловским диском. Позднейшие опыты Теплова и Яковлевой, однако, говорят в пользу того, что количественные закономерности пространственного смешения цветов те же, что и для других видов оптического смешения цветов.

Авторы колориметрировали цвет, получаемый от пространственного смешения чередующихся цветных полос. Одни из этих полос давались отражением от полос амальгамы, нанесенной на стекло, другие же — просвечиванием сквозь чистые полосы того же стекла. С критическими замечаниями по поводу методики опытов Теплова и Яковлевой выступил Карбовский (1935). Им отмечалось, что в экспериментах вышеупомянутых авторов, благодаря примененной ими методике, мы не имеем пространственного смешения в его чистом виде. Едва ли, однако, эти соображения могут опорочить основной вывод, поскольку Теплов и Яковлева наблюдали, что цвет, получавшийся в их установке от пространственного смешения, не изменялся от перестановки мест цветов (отражаемого полосками амальгамы и просвечивающего сквозь полосы чистого стекла).

Общую картину того, что получается в случае оптического смешения цветов по два, можно видеть в следующей таблице, приводимой Гельмгольцем (стр. 174).

Из таблицы видно, что некоторые пары цветов дают при смешении белый цвет. Это-то и будут, как уже упоминалось выше, цвета дополнительные. Таковы, например, красный и голубовато-зеленый, оранжевый и голубой, желтый и синий, зеленовато-желтый и фиолетовый, зеленый и пурпурный.

Более точное определение длин волн дополнительных цветов дало у разных наблюдателей результаты, приведенные на кривой

Смеши- ваемые цвета	Желтый	Зелено- вато-жел- тый	Зеленый	Голубо- вато-зеле- ный	Голубой	Индиго- синий	Фиолето-
Красный	Оранже- вый	Золоти- сто-жел- тый	Белесо- вато- желтый	Белый	Белесо- вато-ро- зовый	Темноро- зовый	Пурпур- ный
Оранже- вый	_	Желтый	Желтый	Белесо- вато- желтый	Белый	Белесо- вато-ро- зовый	Темно- розовый
Желтый	_	_	Зелено- вато- желтый	Белесо- вато-зе- леный	Белесо- вато- зеленый	Белый	Беле- сова- то-ро- зовый
Зелено- вато- желтый	<u> </u>	_	<u> </u>	Зеленый	Белесо- вато-зе- леный	Белесо- вато-зе- леный	Белый
Зеленый	-			-	Голубо- вато-зе- леный	Аквама- риновый	Беле- совато- синий
Голубо- вато- зеленый		<del>-</del>				Аквама- риновый	Аква- мари- новый
Голубой	-	_	-	-	_	_	Индиго- синий

(рис. 112). На последней по абсциссе и по ординате отложены длины волн дополнительных цветов в миллимикронах. Треугольники, кружки и пр. показывают значения, найденные отдельными исследователями.

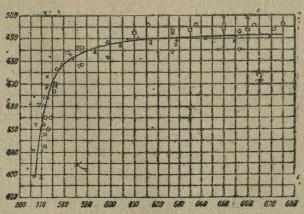


Рис. 112. Дополнительные цвета (по данным различных авторов).

Как показал Грюнберг, средняя кривая взаимной дополнительности отдельных монохроматических лучей довольно хорошо может быть выражена уравнением 174

прямоугольной гиперболы:  $(\lambda_2-559)$  (498 —  $\lambda_1)=424$ , где  $\lambda_2$  обозначает (в миллимикронах) длину волны одного цвета,  $\lambda_1$  — длину волны цвета, ему дополнительного, причем  $\lambda$  больше, чем  $\lambda_1$ . Как можно видеть на рис. 108, фактически пары оказываются несколько различными для разных наблюдателей, что следует объяснять как индивидуальными особенностями глаз, так и различиями в том «белом» цвете, с которым сравнивался цвет смеси. Для «белого», даваемого светом полуденного солнца, Международный осветительный комитет (1931) предложил пользоваться следующим уравнением, показывающим, какие монохроматические лучи спектра являются взаимно дополнительными:  $(\lambda_2-565,52)$  (497,78 —  $\lambda_1$ ) = =223,02.

Помимо различий, объясняющихся индивидуальными особенностями глазотдельных наблюдателей, Гульстрандом наблюдались некоторые изменения в парах дополнительных цветов также и в зависимости от величины раздражаемого

места сетчатки.

Получение ахроматического цвета из смешения двух дополнительных происходит не всегда, когда два дополнительных цвета одновременно попадают в глаз, но лишь при определенном соотношении их интенсивностей.

Для лучей зеленой области спектра нет монохроматических дополнительных лучей; дополнительными к ним являются цвета пурпурные, сами возникающие в результате смешения красных и фиоле-

товых лучей спектра.

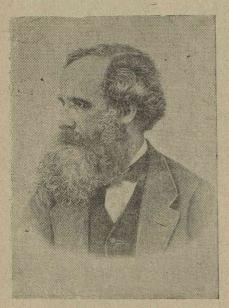
Если смешиваются у нас в глазе цвета не дополнительные, но лежащие по цветовому кругу друг к другу ближе, чем дополнительные, то по второму закону смешения цветов у нас возникает ощущение нового хроматического цвета. Цветовой тон этого нового цвета лежит между смешиваемыми цветами. Так, например, смесь красного с желтым дает оранжевый, смесь синего с зеленым — голубой и т. д.

Наблюдения показывают, однако, что возникающий цвет смеси вполне совпадает с промежуточным спектральным цветом лишь в случаях, когда друг с другом смешиваются цвета красно-зеленой части спектра (в границах от 680 до 517  $m\mu$ ) или же когда взяты два очень близких друг к другу цвета. При всех же иных условиях результирующий цвет хотя и соответствует по своему цветовому тону одному из промежуточных спектральных цветов, однако по насыщенности своей с ним не совпадает. Он оказывается менее чистым, более белесым, чем спектральный.

## § 2. Получение всех цветовых тонов из смешения трех цветов. Кривые сложения основных раздражителей

Если два любых цвета, лежащие по цветовому кругу друг к другу ближе, чем цвета дополнительные, дают при смешении все промежуточные цветовые тона, то становится очевидным, что путем смешения трех цветов можно получить вообще все цветовые тона. Для этого надолишь, чтобы треугольник, составленный прямыми, показывающими результаты смешения каждой пары этих трех цветов, заключал внутри себя центр цветового круга, т. е. точку белого. Иначе говоря, это значит, что три цвета, из которых мы хотим получить все прочие цветовые тона, должны лишь быть взяты так, чтобы цвет дополнительный к одному из них лежал между двумя остальными. Простое графическое

тостроение показывает, что можно вписать в цветовой круг множество треугольников, удовлетворяющих этому требованию. Нам важно, однако, выбрать из них такой, который давал бы возможно более насыщенные цвета. Для этого нужно поместить по углам искомого треугольника такие три цвета, которые отстояли бы друг от друга не слишком далеко. Но сближение цветов одной пары влечет расхождение цветов другой пары и обратно. Поэтому наилучшего решения поставленной задачи (получения путем смешения возможно более насыщен-



Д. К. Максвелл (1831-1897).

ных цветов), принципиально говоря, следует ожидать, очевидно, в том случае, когда мы впишем в цветовой круг треугольник равносторонний.

Первыми опытами воспроизведения всех цветовых тонов из смешения трех спектральных, принятых за основные, мы обязаны Максвеллу.

Максвелл брал в качестве основных красный 630  $m_{\rm P}$ , зеленый 528  $m_{\rm P}$  и синий 457  $m_{\rm P}$  цвета. Меняя интенсивность каждого из них, он добивался того, чтобы в результате смешения получился белый цвет. Это давало ему возможность написать уравнение: aR + bG + cB = W, где W обозначает получившийся от смешения белый цвет, а a, b и c— соответствующие количества красного (R), зеленого (G) и синего (B) компонента. Тому же белому подравнивалась затем другая смесь, в которой вместо одного из основных цветов брался какой-нибудь другой цвет, например, желтый Y. Тогда получалось новое уравнение: pY + b'G + c'B = W, где p, b' и c'— коэфициенты, показывающие интенсивность взя-

тых раздражений. Подставляя вместо W его значение из предыдущего равенства и перенося величины b'G и c'B в правую часть, Максвелл получал: pY = [aR + (b-b')G + (c-c')B] и, деля на p,

$$Y = -\frac{a}{p}R + \frac{a(b-b')}{p}G + \frac{(c-c')}{p}B.$$

Таким же образом можно было выразить через сумму трех основных раздражителей и всякий иной спектральный цвет по формуле:  $F = \alpha R + \beta G + \gamma B$ . Опыт показал, однако, что в подобных уравнениях коэфициент при одном из основных раздражителей получается для некоторых цветов отрицательным. Это значит, что данный определяемый цвет в данной степени его насыщенности не может быть точно воспроизведен посредством сложения наших R, G и B. Равенство получается только тогда, когда мы цвет, находящийся в одной части равенства со знаком минус перенесем в другую со знаком плюс, иными словами, когда мы подмещаем его к определяемому цвету. Например, уравнение, полученное для оранжевого цвета. Or = 2,36 R + 0,74 G - 0,01 B равнозначно с Or + 0,01 B = 2,36 R + 0,74 G.

Полученные Максвеллом результаты представлены в виде кривых (рис. 114) и в виде треугольника смешения цветов (рис. 115);

На рис. 114 по абсциссе отложены длины волн составляемых цветов, по ординате же — требующиеся для этого интенсивности основных красного, зеленого и синего раздражителей (в некоторых услов-

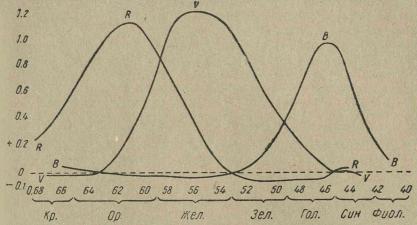


Рис. 114. Кривая сложения основных раздражителей (по Максвеллу).

ных единицах). Положение кривых в некоторых местах ниже нуля означает, что здесь данный раздражитель входит в уравнение со зна-

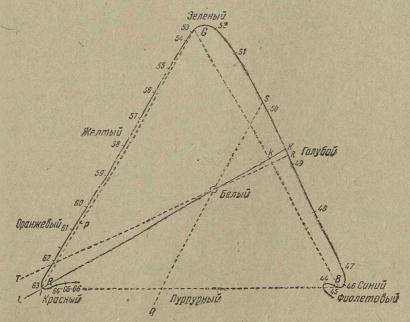


Рис. 115. Треугольник смешения цветов (по Максвеллу).

ком минус. Соответственно этим кривым Максвеллом построен треугольник смешения цветов (рис. 115). Для этого им взят равносторонний треугольник (обозначенный пунктиром). В углы его помещены

основные раздражители R, G и B в тех количествах, которые необходимы, чтобы смешение основных раздражений дало белый цвет. Положение же отдельных цветов в треугольнике определялось по принципу нахождения общего центра тяжести. Место отдельного цвета может быть тогда вычислено следующим образом. Если вертикаль, восстановленная из точки красного угла, будет координатной осью Y, а горизонталь, идущая из той же точки вправо, осью X и сторону треугольника считать равной единице, то положение любого цвета определится из уравнений:

$$Y = \frac{\sqrt{\frac{3}{4} \cdot G}}{R + G + B}$$
 w  $X = \frac{0.5 G + B}{R + G + B}$ ,

когда мы поставим в эти уравнения соответствующие каждому данному цвету величины  $R,\ G$  и B. Сплошная линия показывает найденное



А. Кениг (1856—1901).

таким путем местоположение монохроматических спектральных цветов. Как можно видеть, все они располагаются вне треугольника, т. е. все они более насыщены, чем цвета, получающиеся от смешения наших R, G и B.

Вопросу о получении всех цветов из смешения трех основных были посвящены далее многолетние исследования Кенига и Дитерици. Они работали с гельмгольцевским аппаратом для смешения цветов и пользовались методом, несколько отличным от того, который применял в своих экспериментах Максвелл. Они исходили прежде всего из того, что весь спектр можно себе представить распадающимся на пять участков. Кон-

цевые части спектра (красная и фиолетовая), где различий цветового тона не наблюдается, могут быть воспроизведены конечными лучами спектра с соответствующей вариацией лишь их интенсивности. Далее, в красно-оранжевом и синем мы имеем два промежуточных участка, в которых цвет может быть представлен смешением всего двух основных раздражителей. Наконец, средняя часть спектра требует для своего воспроизведения смешения всех трех основных раздражителей. В качестве основных раздражителей брались крайний красный цвет спектра, крайний фиолетовый и зеленый, со-

ответствующий по тону 505 mp. Между цветами составлялся целый ряд уравнений, причем цвета сопоставлялись то по два, то по три, то по четыре и брались из разных частей спектра. Путем последовательной подстановки значений, добытых в одном уравнении, в другие уравнения с произвольным подбором некоторых недостающих значений и последующей проверкой сделанных допущений другими уравнениями, наконец, учитывая взаимную дополнительность отдельных длин волн и повторно проверяя предварительно найденное, Кенигу и Дитерици удалось в конце концов выразить цвета спектра в виде функции трех основных раздражителей (которые они называют Elementarempfindungen). Подобно тому как то получалось у Максвелла, и они нашли, что для ряда цветов у основных раздражителей коэфициенты оказываются со знаком минус, т. е. для некоторых цветов наши основные раздражители при смешении должны иметь отрицательную величину. Такое положение имеется, однако, лишь поскольку основными раздражителями мы берем три реальных цвета, выделенных из спектра. Но можно допустить, что один из основных раздражителей, например, зеленый, имеет насыщенность большую, чем соответствующий ему по цветовому тону цвет спектрального луча 1. В таком случае при построении треугольника смешения цветов этот сверхнасыщенный зеленый цвет G' должен быть помещен уже вне кривой реальных спектральных цветов. При этом положение зеленого угла треугольника может быть выбрано так, что реальные спектральные цвета уместятся все внутри такого нового треугольника (а не вне его, как у Максвелла).

Это и будет означать, что в терминах наших новых основных раздражителей R, G' и B все коэфициенты для любого цвета будут положительны. Математически подобный переход от одной системы основных раздражителей к другой (включающей в себя один, два или все три каких-либо нереальных раздражителя) совершается путем

чисто формальных перечислений - перемены координат.

Так, допустим, что все спектральные цвета выражены у нас в терминах R, G и B, лежащих по углам некоторого треугольника. R, G и B таковы, что фактически имеющиеся спектральные цвета располагаются все (кроме самих точек R, G и B) вне этого треугольника. Нам хочется теперь выразить кривую спектральных цветов в терминах некоторых других основных раздражителей, например, R', C' и B' так, чтобы каждый спектральный цвет лежал внутри образуемого новыми основными раздражителями треугольника. Тогда, совершенно произвольно строя такой новый, больший треугольник, включающий в себя треугольник RGB, мы должны лишь выразить наши R, G и B как линейные функции новых величин R', G' и B'. Таким образом, мы получаем, что

$$R = aR' + bG' + cB',$$

$$G = nR' + mG' + pB',$$

$$B = qR' + sG' + tB'.$$

Тогда любой цвет, определенный нами в опыте как  $F=aR+\beta'G+\gamma B$ , может быть легко выражен через R', G' и B', стоит лишь в его уравнение вместо R подставить aR'+bG'+cB', вместо G его значение nR'+mG'+pB' и т. д.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Случай такой насыщенности — большей, чем спектральная, — мы имеем, когда, например, смотрим на спектральный цвет глазом, до того смотревшим на лучи дополнительного цвета. Так, спектральный красный, если предварительно утомить глаз голубовато-зеленым, кажется более насыщенным, чем обычный спектральный красный.

Кениг и принял для построения своих кривых в качестве основного зеленого раздражителя некоторый нереальный зеленый цвет. Благодаря этому все ординаты его кривых лежат выше нуля. Далее, масштабы кривых им были подобраны такими, чтобы площади, охватываемые этими кривыми и осью абсцисс, для всех трех кривых были равны. Это допущение вполне произвольно, как отмечает и сам Кениг. Кривые сложения «основных раздражителей» глаза, по данным Кенига, с поправками Айвса приведены на рис. 117, где по абсциссе обозначены длины волн спектральных цветов (интерференционного спектра солнечного света), по ординате же—выраженные в условных единицах интенсивности соответствующих основных раздражителей (красного, зеленого и фиолетового), нужные для получения этих спектральных цветов.

Уивер сопоставлял кениговские данные с кривыми, полученными Эбнеем. Эбней в своем построении кривых применял метод, отличный

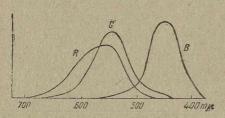


Рис. 117. Кривые сложения основных раздражителей (по Кенигу-Айвсу).

от того, какой применял Кениг. Тем не менее кривые Эбнея оказались согласующимися с данными Кенига. В более недавнее время большие работы по построению трех кривых сложения основных раздражителей были проведены Райтом, Гилдом, Кольраушем, Гамильтоном, Фримен, Федоровыми. Данные опытов всех этих исследователей

довольно близки к красной и зеленой кривым основных раздражений, найденным Кенигом и Дитерици, но обнаруживают, однако, очень большое отклонение для синей кривой. По всей вероятности, это отклонение следует объяснять тем, что в опытах более старых авторов сказывалось в известной мере влияние и сумеречного зрения.

На основании данных Гилда и Райта, Международный осветительный комитет (МОК) стандартизовал в 1931 г. кривые сложения «для стандартного наблюдателя 1931 г.». Международным комитетом даны, с одной стороны, кривые сложения из трех реальных спектральных цветов: 700, 546 и 436 mp и, с другой стороны, — кривые сложения, полученные путем перечисления на 3 нереальных стимула x, y, z. Связь этих нереальных стимулов с исходными спектральными цветами дается уравнениями:

700 
$$m\mu$$
=0,735  $x$ +0,265  $y$ +0,000  $z$ , 546  $m\mu$ =0,274  $x$ +0,717  $y$ +0,009  $z$ , 436  $m\mu$ =0,167  $x$ +0,009  $y$ +0,825  $z$ .

При воздействии на глаз всех лучей спектра с равномерным распределением энергии x=y=z.

В виде треугольника смешения цветов эти стандартные кривые сложения приведены ниже, на рис. 118, где отложенные по координатам величины x и y выражены в процентах (x + y + z = 1,00).

Подобные построения, исходящие из опытов над смешением цветов, дают нам возможность любой цветовой тон в различных ступенях его насыщенности понять как результат воздействия на наш глаз трех

основных раздражителей, взятых в определенной пропорции. Площадь треугольника сложения основных раздражителей и является плоскостью, на которой надо себе представлять расположенными все

ступени насыщенности всех возможных цветовых тонов.

Мы знаем, однако (см. гл. III), что всякое цветовое ощущение определяется тремя основхарактеристиками: цветовым тоном, насыщенностью И яркостью. Таким образом, многообразие видимых нами цветов является многообразием трехмер-Треугольник же сложения цветных раздражителей двухмерен и не дает представления о вариации цветов по их яркости.

Идею того, как в модели, построенной для выражения фактов смешения цветов, может учитываться и их яркость, высказал Шредин-

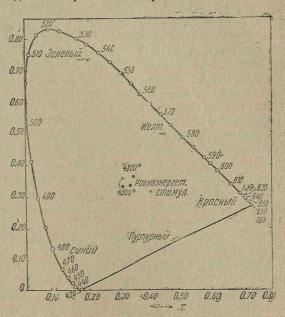


Рис. 118. Треугольник сложения основных раздражителей, принятый Международной осветительной комиссией в 1931 г.

гер. Три основных цветных раздражителя (стимулы) следует понимать как три вектора, R, G и B, направленные в разные стороны из

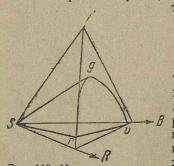


Рис. 119. Цветовое тело (по Шредингеру).

точки S и образующие таким путем некоторый пространственный угол (рис. 119). Точка S при этом соответствует нулевому значению каждого из векторов и, следовательно, отсутствию всякого стимула, т. е. точке черного цвета. Реальные цвета лежат внутри образуемого векторами R, G и B телесного угла, сами заполняя некоторый меньший телесный угол Srgv. Кениговский же треугольник смешения цветов изобразится как треугольник rgv. Точки этого треугольника, в зависимости от яркости действующего света, т. е. абсолютной величины векторов R, G и B, будут

помещаться ближе или дальше от точки S.

## § 3. Бинокулярное смешение цветов

Большой теоретический интерес представляют факты бинокулярного смешения цветов, т. е. получения некоторого одного нового, тре-

тьего цвета в результате раздражения обоих глаз двумя разными цветами. Хотя первоначально само существование такого смешения цветов не считалось вполне доказанным даже такими авторитетными исследователями, как Гельмгольц, в настоящее время факты бинокулярного смешения можно считать, с несомненностью, установленными и доступными даже количественному изучению. Так, относительно ахроматических цветов сперва Пипер, а в последнее время Де Сильва и Бартли установили, что бинокулярно видимое белое поле кажется светлее, чем то же поле, видимое монокулярно. В случае, если на одну сетчатку падает белый цвет, другая же смотрит на черную поверхность, у нас возникает ощущение своеобразного серого глянца, уступающего порой место впечатлению то черного, то белого поля. Происходит то, что называется борьбой полей зрения.

Несомненно, однако, что в известных случаях мы ощущаем уже не борьбу сменяющихся полей зрения одного и другого глаза, но устойчивый эффект их смешения. Опыты такого рода проводил еще Ходин (1876). Тренделенбург провел систематическое исследование бинокулярного смешения различных монохроматических лучей. смешивал то красные (671 тр.) и зеленые (535 тр.) лучи и получал из них оттенки желтого, то различные дополнительные цвета, получая в результате белый. Из опытов Тренделенбурга, как и из опытов Роша, следует, что лучи короткой половины спектра при бинокулярном смешении являются в общем относительно более влиятельными по сравнению с тем, что имеет место при смешении монокулярном.

Наконец, Гехт наблюдал бинокулярное получение желтого цвета путем смотрения одним глазом через красный (раттеновский № 29), а другим через зеленый (раттеновский № 58) светофильтры. При смотрении же через желтый (раттеновский № 16) и синий (раттеновский № 44А) светофильтры в качестве результирующего ему удавалось, как

он пишет, получать ахроматический цвет.

В недавнее время Лившиц (1940), учитывая особо яркость смешиваемых лучей для того и другого глаза, нашла, что результаты бинокулярного смешения цветов ничем не отличаются от результатов смешения монокулярного. Этот вывод говорит за то, что физиологический субстрат смешения цветов лежит в нашей нервной системе где-то более центрально, чем сетчатка глаза.

## § 4. Различение цветов по цветовому тону и по насыщенности

Многочисленными опытами (Добровольский, Утгоф, Кениг, Штейндлер, Джонс, Лауренс и Гамильтон и др.) в настоящее время установлено, что чувствительность глаза к изменению длины волны в раз-

личных частях спектра весьма различна.

По данным Штейндлер, Джонса и Лауренса и Гамильтона, изменение цветности особенно хорошо замечается нами в 4 областях спектра: 1) в зеленовато-голубом цвете (494 mµ) и 2) в оранжевато-желтом (585 тр.), 3) в оранжевато-красном (637 тр.) и 4) в синевато-фиолетовом (443 тм). В желтом и голубом требующаяся разница в длине волны может быть всего около 1 тр. Напротив, в средней части спектра (в зеленом) и особенно вего концах (фиолетовом и красном) глаз наш реагирует на изменение длины волны значительно грубее. От красного цвета с длиной волны в 655 mp до красного конца спектра и от фиолетового цвета с длиной волны 430 mp до фиолетового конца глаз, например, вовсе не ощущает разницы в цветовом тоне. Следует, однако, заметить, что работа Райта и Питта (1934), проведенная над 5 подопытными лицами и находящаяся в согласии с прежними результатами опытов Кенига и Дитерици, ставит под вопрос существование четвертого максимума различительной чувствительности в области оранжевато-красного цвета.

Райтом и Питтом установлена кривая, приведенная на рис. 120. По абсциссе отложены длины волн исходного цвета, по ординате — минимальная заметная разница. Яркость цветов во всех случаях одинакова. Общее количество различимых глазом в спектре цветовых тонов — около 150. Следует, однако, иметь в виду, что количество

различимых нами в спектре тонов может значительно меняться в зависимости от яркости спектра. Как в случае значительного увеличения яркости, так и в случае значительного ее ослабления число различимых нами цветовых тонов уменьшается. Вместе с тем при усилении яркости цве-

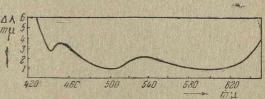


Рис. 120. Кривая величин разностного порога при различении цветовых тонов (по Райту и Питту).

та красно-оранжевой половины спектра сдвигаются к желтому, цвета же фиолетово-синие — к голубому. При значительном же ослаблении яркости наблюдается все большее расширение областей красного, зеленого и сине-фиолетового за счет всех прочих, становишхся почти незаметными (явление Бецольда-Брюкке). Аналогичным образом наша способность различать цветовые тона ослабляется и при уменьшении углового размера раздражителя. Вопрос о наблюдаемых при этом изменениях цветового тона отдельных цветов еще нельзя признать вполне выясненным 1.

Глаз может, наконец, различать и сравнивать цвета и по их насыщенности, т. е. по степени заметности цветового тона в данном цвете. Чувствительность нашего глаза к изменениям насыщенности изучалась в недавнее время экспериментально Джонсом и Лауреем. Ими было найдено, что эта чувствительность оказывается большей в случаях, когда изменяется очень насыщенный или, напротив, очень мало насыщенный цвет; по отношению же к цветам средней насыщенности наш глаз замечает изменение в насыщенности уже не так хорошо. Кроме того, число едва заметных переходов до уровня насыщенности спектральных цветов тем больше, чем меньше чистота исходного цвета. Под чистотой же цвета понимается доля хроматического компонента в общей яркости данного цвета. На приведенном ниже рис. 121 (взятом из работы Джонса и Лаурея) линия А изображает (откладываемую по ординате) чувствительность глаза к изменениям насыщенности,

<sup>1</sup> Работы в этом направлении велись у нас в Союзе Б. Н. Компанейским.

линия В — число едва заметных ступеней, остающихся до уровня спектральной насыщенности (для В ордината и обозначает это число ступеней); по абсциссе отложена чистота цвета (убывающая слева направо).

Опыты, производившиеся Донатом, а также нами посредством пигментных цветов на максвелловском диске, показали, что «средней» насыщенности соответствует среднее арифметическое из величин хрома-

дисках.

Рис. 121. Различение насыщенности цветов в зависимости от их

насыщенности своей различны.

к данному цвету от белого, равного с ним по яркости (Мартин, Уорбертон и Морган), и посредством определения «первого порога», т. е. того минимального количества хроматической подмеси к белому, которое впервые замечается нашим глазом (Прист и Бриккуэдде). Результаты, добытые обоими этими методами, насыщенность показали, что спектральных цветов неодинакова; в желтой части спектра (близ 570 тр) она имеет резко выраженный минимум; к обоим концам спектра она нарастает. На рис. 122 приведены данные Приста и Бриккуэдде, иллюстрирующие сказанное.



тических секторов, стоящих на двух других

Последнее установлено посредством метода определения числа едва заметных переходов («числа порогов»)

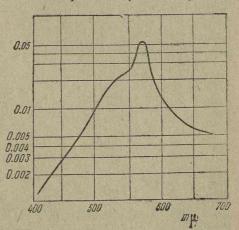


Рис. 122. Кривая величины «первого порога хроматичности» для спектральных лучей (по Присту и Бриккуэдде).

По ординате отложены величины того отношения (р) яркости монохроматического света к яркости белого, которое требуется, чтобы мы впервые ощутили, что этот белый цвет приобретает едва заметную хроматичность; по абсциссе — длины волн спектральных лучей в миллимикронах.

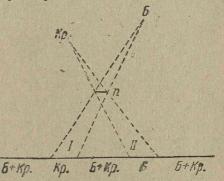
<sup>1</sup> Наши опыгы проводились в порядке учебных занятий со студентами и в печати не опубликованы.

#### § 5. Действие гомогенных побочных раздражителей на цветное зрение. Явления контраста. Явления одноименной индукции. Сенсибилизация цветного зрения

В главе о световой чувствительности глаза мы уже видели ряд примеров того, как наши зрительные ощущения зависят от других световых раздражителей, воздействующих на наши глаза сейчас или же воздействовавших на них в предшествующий момент времени. То же самое имеет место и в области цветного зрения. Побочные цветовые раздражители могут влиять на данное ощущение или содействующим образом, усиливая в нем свое качество, и тогда мы говорим о явлениях одноименной индукции, или же влияние побочных цветовых раздражителей носит обратный характер и сказывается в ослаблении

соответствующего им качества в данном ощущении. В подобном случае мы говорим об отрицательной индукции или контрасте. Явления контраста в цветном зрении проявляются чрезвычайно широко и наглядно.

Различают одновременный цветовой контраст и последовательный цветовой контраст. Контрастные изменения, происходящие от наличия других цветных раздражителей в поле зрения, могут касаться по пре- Рис. 123. Схема опыта с цветными тенями, имуществу то яркости, то насыщенности, то цветового тона,



возникающими вследствие контраста.

чаще же они затрагивают все эти три стороны сразу. Примером контраста только по яркости может служить тот факт, что цвет одной и той же серой материи, положенной в одном случае на белоснежную скатерть, а в другом — на черный бархат, выглядит совсем неодинаковым. На белом серое кажется более темным, на черном же — более светлым. Контраст по яркости называют световым контрастом в отличие от контраста собственно цветового (хроматического). Наблюдать последний также чрезвычайно просто. Поместим кусочки одной и той же серой бумаги на фоны различного цвета. Кусочки тотчас же станут казаться различными. На красном фоне серое поле приобретает зеленоватый налет, на синем фоне - золотистожелтый, на зеленоватом — оттенок малинового и т. д. Словом, цвет поля всюду изменится в зависимости от соседнего фона. Подобное же явление будет иметь место и тогда, когда мы вместо серых полей возьмем какие-либо цветные (например, желтые) и поместим их на фоны других цветов. Желтое на красном покажется слегка зеленоватым, желтое на зеленом оранжеватым, желтое на синем — более насыщенно желтым и т. д.

Одновременный же контраст объясняет те цветные тени, которые мы видим нередко при наличии двух источников освещения (рис. 123). Поставим перед белым экраном какой-нибудь непрозрачный предмет n, который и будем освещать двумя лампами — белой E и другой Kp, светящей через красное стекло. В таком случае на экране предмет отбросит две тени. Тень первая будет получать лучи только

от красной лампы и покажется насыщенной красной. Весь экран будет освещаться обеими лампами и потому будет казаться розовым. Тень же вторая получит свет только от белой лампы и должна бы поэтому быть белой или светлосерой. Между тем она приобретает явно заметный зеленый оттенок. Это и происходит в силу контраста с розовым цветом фона, на котором тень находится. Подобный же эффект одновременного контраста мы часто наблюдаем, например, при закате солнца, когда предметы отбрасывают длинные лиловато-синие тени. Здесь двумя источниками освещения являются, с одной стороны, рассеянный свет неба, с другой же — прямые оранжевые лучи заходящего солнца.

В каком же направлении изменяются цвета под влиянием контраста? В области цветов ахроматических вопрос решается просто. Цвета изменяются в сторону наибольшего удаления друг от друга: на темном фоне поле светлеет, на светлом — темнеет. Применительно же к собственно цветовому контрасту точный ответ оказывается более трудным. В общем и здесь цвет поля сдвигается в сторону цвета, наиболее отличного от цвета фона. И если принять, что такими взаимно наиболее отличными цветами являются цвета дополнительные, то можно сказать, что под влиянием цветового контраста цвета изменяются в сторону цвета дополнительного к цвету фона. Однако, если говорить точнее, то цвета, возникающие по контрасту, не вполне соответствуют цветам дополнительным. Так, например, пары дополнительных цветов — синий-желтый, желтый-синий. Соответственно мы имеем пары цветов, возникающих по контрасту, — синий-оранжевый, желтый-фиолетовый.

Эбней наблюдал следующие соотношения:

Индуцирующий цвет с дли- ной волны в mp.	Контрастный цвет соответ ствовал длине волны в тр.
466	583
499	587
541	598
569	471
612	455

В общем можно сказать, что в тех случаях, когда контрастные цвета отличаются от цветов дополнительных, они бывают несколько сдвинуты к красному (оранжевый вместо желтого и т. п.).

Опыты ряда авторов (Киршман, Шьельдерупп-Эббе и др.), равно как и повседневные наблюдения, говорят за то, что эффект контраста растет с величиной и насыщенностью вызывающего контраст раздражителя. Рис. 124 показывает подсчитанные нами данные опытов Шьельдеруппа-Эббе. По абсциссе отложена насыщенность индуцирующего цвета (т. е. цвета фона), по ординатам же — насыщенность цвета, который требовался, чтобы нейтрализовать в поле вызванный контрастом цвет. Жирная сплошная линия относится к цвету синему, прерывистая линия — к зеленому, тонкая сплошная — к красному и пунктирная — к оранжевому. Из рассмотрения кривых видно, что величина контрастного влияния по мере увеличения насыщенности фона возрастает. Приведенные кривые близки к прямым. Из их на-

клона, кроме того видно, что зелено-синие цвета в отношении контраста влияют наиболее сильно. Что касается значения яркости раздражителей, то, по опытам Фэрри и Рэнд, контрастный эффект бывает заметнее при небольшой их яркости.

Контрастное действие зависит, далее, и от соотношения светлот поля и фона. При большой разнице фона и поля по светлоте эффект

цветового контраста становится менее заметным. Наибольшее цветовое контрастное влияние имеется при приблизительно одинаковых светлотах поля и фона. По нашему предложению вопросо влиянии на цветовой контраст соотношения светлот поля и фона был экспериментально исследован Иваницкой 1. Работа проводилась с максвелловским диском по методу компенсации. Ниже, на рис. 125. приведены результаты опытов, касающиеся контрастного действия синего и оранжевого цветов и типичные для всех других цветов.

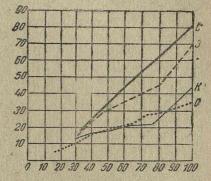


Рис. 124. Загисимость контраста от насыщенности индуцирующего фона.

По абсциссам отложена светлота поля, по ординатам — величины контраста. Светлоты, соответствующие светлоте фона, отмечены на

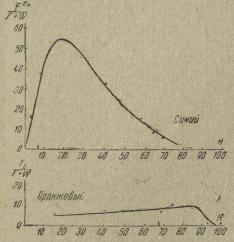


Рис. 125. Зависимость контраста от соотношения светлот поля и фона (по Иваницкой).

абсциссе вертикальной черточкой. Из кривых видно, что максимумы кривых, проведенных между наблюденными точками, во всех случаях оказались сдвинутыми в сторону большей светлоты. Это значит, что цветовой контраст наиболее заметен в том случае, когда поле несколько светлее фона.

Большая или меньшая заметность контрастной окраски зависит, далее, и от продолжительности воздействия раздражителей на глаз. Так, установлено, что эффект контраста замечается нами почти тотчас же, как только свет попадает в глаза. Контрастная окраска появляется уже при освещении, даваемом

вспышкой электрической искры (Ауберт). При смотрении периферическими местами сетчатки цветной контраст бывает более заметен, чем при смотрении центром ее.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> В физической лаборатории Высшего художественно-технического института в Москве в 1929 г.

Не без влияния на контраст остаются и такие факторы, как объединение полей, лежащих на разных фонах, в одну общую форму; в случае такого объединения различность полей, вызванная контрастом, заметно уменьшается. Два маленьких серых кружка, объективно одинаковых, будучи положены на красный и зеленый фоны, кажутся менее различными, если их соединить между собой тонкой серой полоской того же цвета и тем связать в одну общую фигуру. Хорошо установлено далее и то, что контрастный цвет делается гораздо менее заметным, если отделить поле от фона хотя бы тонким черным контуром. Вообще восприятие поля как чего-то раздельного и обособленного делает влияние контраста менее замечаемым. Здесь следует описать известный опыт Майера с так называемым «флорконтрастом» 1. Если мы возьмем вырезанный из черной бумаги крест и положим его на қақой-нибудь цветной фон, на нем появится слабо заметный налет контрастного цвета. Стоит же нам прикрыть этот черный крест вместе с фоном листом прозрачной белой папиросной бумаги, как контрастная окраска станет гораздо более заметна. Вероятным объяснением подобной разницы является то, что наложенная папиросная бумага стирает резкость границ. Кроме того, она уменьшает и разницу в светлотах между полем и фоном. Наконец, она делает реагирующее поле светлее.

Заслуживают внимания факты бинокулярного контраста. В этих случаях один глаз видит поле в цвете, контрастном

к тому, которым освещается другой глаз.

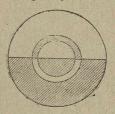
В объяснении явлений контраста мы встречаемся с двумя различными точками зрения. Одна из них может быть названа психологической, другая же — физиологической. Представителем первой является Гельмгольц, защитником второй — Геринг. По Гельмгольцу, факты контраста обусловливаются общепсихологическими установками, имеющимися у воспринимающего субъекта. Во-первых, всякое заметное различие мы вообще бываем склонны преувеличивать. Человек среднего роста рядом с очень высоким кажется нам маленького роста и т. д. Поэтому и два достаточно различных цвета видятся нами еще более раздвинутыми в противоположные стороны, а отсюда контрастно окрашенными. Во-вторых, нормы цветов (белого, и т. п.)., поскольку они даются нам нашей памятью, всегда бывают достаточно неопределенны и изменчивы. В силу же такой шаткости наших представлений о том, что такое правильный белый цвет, правильный серый и т. д., мы склонны бываем считать за белый наиболее светлый из наличных цветов, по своему тону соответствующий тону общего освещения. Так, мы видим белыми снег при вечернем освещении, скатерть, освещаемую керосиновой лампой, и т. д., хотя на самом деле (т. е. по физическому составу отражаемых ими лучей) в условиях дан+ ных освещений все данные «белые» предметы не белы. Если же у нас, действительно, существует подобная установка считать за белый цвет цвет наиболее светлый и подходящий к тону общего освещения, то появившийся цвет объективно белый уже не покажется белым. Он кажется сдвинутым от субъективно «белого» в сторону наибольшего различия,

<sup>1 «</sup>Флор»—значит, пелена, газ, дымка.

т. е. покажется окрашенным в цвет, дополнительный к цвету господствующего освещения. Наконец, в-третьих, Гельмгольц обращает внимание на то, что господствующий фон мы склонны в нашем зрительном восприятии истолковывать как некоторую материальную пелену, сквозь которую просвечивает видимый цвет поля. Поэтому, если этот цвет поля объективно является ахроматическим, то мы «путем бессознательного умозаключения» приписываем ему окраску, дополнительную к цвету фона, каковую и видим в нем как контрастный оттенок.

С точки зрения Геринга, световой и цветовой контрасты являются результатами более простого физиологического взаимодействия раздраженных мест нашего зрительного аппарата. Участия умозаключений, хотя бы и бессознательных, здесь допускать вовсе не требуется. Всякий фон не может пониматься «как пелена» уже потому, что легко, например, взять чередование одинаковых по ширине серых и цветных полос и все же серые приобретут контрастную окраску. Почему

же при равной площади и тех и других полос мы должны один из них принимать как застилающую все прочие пелену? Увеличение заметности при закрывании цветов папиросной бумагой в опыте Майера может быть понятно и чисто физиологически как результат уменьшения светового контраста. Специальными опытами Герингом далее было показано, что мы можем достаточно хорошо видеть контраст тогда, когда поле лежит явно не в одной плоскости с фо- Рис. 126. Диск, иллюном, но над ним. Опыты Осанна, произведенного контраста ные с цветными тенями, показали, что контра- (вариант диска по Шерстная цветность тени сохраняется некоторое время и при смотрении через зачерненную из-



нутри трубку, когда, следовательно, фон уже психологического влияния оказывать не может. Геринг полагает, что здесь можно говорить о последовательных образах от вызванного по контрасту цвета.

Против гельмгольцевских объяснений говорят далее и результаты такого геринговского опыта. Если перед одним глазом поставить синее стекло, а перед другим красное и обоими глазами фиксировать некоторую точку, лежащую перед белым экраном, на котором изображена черная полоса, то полоса эта увидится удвоенной. При этом для каждого глаза она будет иметь свою особую контрастную окраску в зависимости от того, через какое стекло смотрит глаз. Между тем фон будет видеться одинаковым в цвете бинокулярного смешения синего и красного. Таким образом, контрастный цвет определяется здесь не видимым общим фоном, но различными физиологическими процессами в каждом глазе отдельно. Известны, наконец, случаи, когда мы, замечая эффект контраста, никак не замечаем условий, его вызывающих. Здесь особенно показателен опыт Шеррингтона. Диск, состоящий из белого и черного, как показано на рис. 126, приводится во вращательное движение, и определяется критическая частота, при которой исчезают мелькания. Оказывается, что слияние наступает для фона раньше, чем для кольца. Когда фон уже слился, в кольце мы еще ощущаем мелькания. Это можно объяснить лишь тем, что белая часть в кольце является более яркой, чем во всем прочем диске (черное же в кольце — соответственно — более темным). В силу этой большей разницы между яркостями обеих частей для наступления слияния в кольце и требуется большая критическая частота. Более же яркой белая часть в кольце и более темной его черная часть могут быть в силу контраста с теми фонами, на которых они находятся. Разумеется, что всех этих условий мы никак не ощущаем и не сознаем во время опыта, испытывая просто лишь разницу в скорости прекращения мельканий.

Описаны далее и такие факты, как появление контрастных цветов под влиянием цветных раздражителей, которые сами как цветные не ощущаются. Фэрри и Рэнд (1934) наблюдали подобные явления, отодвигая индуцирующий цвет достаточно далеко в периферию поля зрения. Шуман видел покраснение серого поля, если оно лежало на зеленом фоне, хотя зеленого цвета этого фона в силу своей цветовой

слепоты он при этом и не ощущал.

Таким образом, несомненно, что контраст имеет место и при условиях, исключающих участие в его вызывании тех центрально-психологических моментов, о которых говорил Гельмгольц. Контраст обусловливается более непосредственным взаимодействием различно возбуждаемых частей зрительного аппарата. Факты бинокулярного контраста заставляют думать, что такого рода взаимодействие происходит, однако, не на сетчатке, но в вышележащих центрах.

Но Гельмгольц прав в том, что на большую или меньшую заметность контрастного изменения цвета могут оказывать влияние осложняющие центрально-психологические моменты, связанные с истолко-

ванием нами того, что мы видим.

Брюкке, Фехнер, Гельмгольц и Кунт обратили внимание на то, что при некоторых условиях поле, находящееся на цветном фоне, приобретает цвет этого фона, а не контрастный к нему оттенок. Подобные явления одноименной цветовой индукции можно хорошо наблюдать, если, например, на красное стекло наклеить небольшой черный кружок и посмотреть сквозь такое стекло на небо или освещенную белую стену, стараясь при этом устойчиво фиксировать взором центр черного кружка. При такой фиксации черный кружок вскоре приобретает явно красноватый оттенок. Если фиксировать яркое красное поле на белом фоне, то и фон может показаться красноватым. Подобные эффекты одноименной цветовой индукции в известной мере объясняются физическими явлениями светорассеяния в глазе. Благодаря светорассеянию лучи от цветного раздражителя распределяются по всей сетчатке. Едва ли, однако, можно отрицать участие в явлениях одноименной индукции и физиологического фактора в виде иррадиации возбуждения с одного участка нашего нервного аппарата на другой. О необходимости допустить и такой механизм влияния говорит то обстоятельство, что эффект одноименной индукции наступает не мгновенно, но развивается постепенно по мере продолжающейся фиксации объекта. Наблюдались случаи, когда поле сперва приобретает окраску цвета, контрастного к фону, и лишь при дальнейшей фиксации окрашивается в однотонный с фоном цвет.

Упомянем, наконец, о недавно описанных Шварц (1944) фактах сенсибилизации цветного зрения. Так, она наблюдала, что после

слабого раздражения глаза одним цветом чувствительность к другому дополнительному к нему цвету оказывается в течение долгого времени повышенной. Такими взаимно сенсибилизирующими парами цветов, по данным Шварц, являются: красный — зеленый, желтый — синий.

§ 6. Зависимость цветного зрения от гетерогенных побочных раздражителей — слуховых, обонятельных, вкусовых и температурных. Цветное зрение в условиях гипоксемии и гипервентиляции. Влияние кофеина. Электротонические влияния на цветное зрение

Первые описания изменений цветного зрения под влиянием побочных раздражителей, затрагивающих другие органы чувств, мы находим у Урбанчича (1888). Он предлагал своим испытуемым смотреть на небольшие цветные пятна с такого расстояния, что цвета их вовсе или почти не различались. При приближении к ушам испытуемых звучащих камертонов ранее не замечавшиеся цветные оттенки пятен становились часто уже хорошо видимыми. В иных случаях Урбанчичем наблюдалось понижение цветовой чувствительности под влиянием звуков. Какой-либо определенной закономерности в изменениях цветного зрения при воздействии слуховых раздражений Урбанчичем, однако, установлено не было. Урбанчич ставил опыты с влиянием на цветное зрение не только слуховых побочных раздражений. Так, им испытывалось и воздействие раздражителей вкусовых, обонятельных и осязательно-температурных. При воздействии всех этих агентов тоже обычно наступали те или иные изменения в цветовых ощущениях. Однако, как уже сказано выше относительно опытов Урбанчича со слуховыми раздражителями, и эти эксперименты не позволили вскрыть какой-либо определенной закономерности в реакциях глаза на применявшиеся побочные раздражители. Бесспорным недостатком методики опытов Урбанчича является то, что он не применял искусственного зрачка. От побочных раздражителей, испытывавшихся им, зрачковое отверстие у его испытуемых, несомненно, менялось, чем вызывались существенные (но не учитываемые) изменения в условиях оценки глазом раздражителей, близких к пороговым. Подобный же упрек должен быть сделан и по отношению к опытам Таннер и Андерсон (1896), наблюдавших снижение цветовых порогов при воздействии звуков.

В более недавнее время влияние слуховых раздражений на цветное зрение исследовалось Кравковым (1936, 1937, 1939) и его сотрудниками Яковлевым (1935, 1938), Добряковой (1939) и Богословским (1939). Во всех работах этих авторов влияние реакции зрачка устранялось или специально учитывалось (применением искусственного зрачка, гоматропинизацией глаза и другими способами). Испытывались цветовая чувствительность центрального зрения, критическая частота мельканий и границы цветных полей зрения. Определе-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Т. е. определение того минимального числа перерывов светового раздражения в секунду, при котором свет кажется постоянным, не мигающим. О критической частоте мельканий см. подробнее в следующей главе.

ние абсолютной цветовой чувствительности совершалось посредством установления «порога исчезновения хроматичности», т. е. установления той яркости цветного раздражителя, при которой испытуемый субъект уже переставал замечать в раздражителе какую-либо хроматичность. Мы полагаем, что подобный «порог исчезновения хроматичности» наиболее прямо характеризует наличную цветовую чувствительность глаза. Во всех ниже описываемых экспериментах величина этого порога бралась как величина относительная, даваемая процентным пропусканием того места поглощающего свет фотоклина, которое мы ставили перед источником света, служившим раздражителем. Чувствительность же определялась как величина, обратная величине порога. Методика измерения критической частоты мельканий состояла, как обычно, в определении того минимального числа периодов светового раздра-

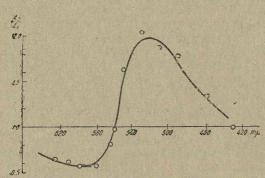


Рис. 127. Изменение цветовой чувствительности в зависимости от побочного звукового раздражения (по Кравкову).

жения в секунду, при котором прерывистый свет уже переставал казаться мигающим. Длительность периода светового раздражения и периода его перерыва были всегда равны друг другу. Границы полей зрения для цветных раздражителей определялись на периметре в условиях световой адаптации глаза. Определения же абсолютной цветовой чувствительности глаза, как и определения критической частоты мельканий, произво-

дились нами в ходе  $1^{1}/_{2}$ —2-часовой темновой адаптации обоих глаз испытуемого. В качестве прямых раздражителей нами применялись различные монохроматические лучи спектра автомобильной лампы накаливания, дававшиеся посредством спектроскопа, имевшего достаточно большую дисперсию. Побочное слуховое раздражение создавалось ламповым генератором, подводилось к обоим ушам испытуемого, длилось обычно в течение 10 минут, начинаясь приблизительно на 40-й минуте темновой адаптации, имело частоту в отдельных сериях опытов около 800 герц (колебаний в секунду) и около 2 000 герц и постоянный уровень громкости.

Опыты давали возможность, таким образом, определять уровень цветовой чувствительности глаза в отсутствии слухового раздраже-

ния  $(E_1)$  и во время звука  $(E_2)$ . Оказалось, что величина  $\frac{E_2}{E_1}$  изменяется в зависимости от длины волны раздражителя совершенно закономерным образом. Эта закономерность хорошо иллюстрируется рис. 127. Кружки на этом рисунке обозначают найденные в опытах значения  $\frac{E_2}{E_1}$ , являющиеся средними из данных четырех испытуемых. Уровень

громкости слухового раздражения был здесь близок к 90 децибеллам. Высота звука — около 800 герц.

Итак, мы видим, что чувствительность к зелено-голубым лучам под влиянием звуков заметно повышается, к лучам же оранжевато-

красным она, напротив, снижается.

Следует сказать, что в настоящее время опыты с влиянием звуков на цветовую чувствительность глаза проведены нами уже более чем на 20 лицах. У всех них наблюдалось подобное обратное действие слуховых раздражений на чувствительность к оранжево-красному и на

чувствительность к зеленому.

Обращает на себя внимание то, что для средней части спектра (для лучей желтых с длиной волны около 570 mp) цветовая чувствительность при воздействии звуков не меняется, а также и то, что изменения цветовой чувствительности под влиянием слухового раздражения уменьшаются по мере приближения к концам спектра. Специальные опыты, проводившиеся дополнительно с длинноволновыми лучами в 690 mp и коротковолновыми в 430 mp, показали, что на чувствительность к этим лучам побочные слуховые раздражения также вовсе не влияют.

Опытами Кравкова и Богословского показано, что не только звуки, но и шумы также противоположным образом влияют на цветовую чувствительность по отношению к зеленому и красно-оранжевому.

Совершенно такие же изменения цветовой чувствительности, как только что нами описанные, наблюдались Яковлевым при изучении границ цветных полей зрения при звуках и шумах. Границы полей зрения для синего и зеленого цветов от слуховых раздражений расширяются, для оранжевого, напротив, суживаются, для крайнего же красного цвета остаются без перемен. На рис. 128 приведены иллюстрирующие сказанное периметрические кривые одного из испытуемых. Кравковым проводились, наконец, опыты с целью выяснить, в какой мере изменяемость цветовой чувствительности под влиянием ОДНОВРЕМЕННЫХ ЗВУКОВ ЗАВИСИТ ОТ УРОВНЯ ГРОМКОСТИ ЭТИХ ПОСЛЕДНИХ. Определялась цветовая чувствительность к монохроматическим оранжевым лучам (с длиной волны 590 шф) и к лучам зеленым (с длиной волны 530 mp). Слуховым раздражителем служил звук от лампового генератора с частотой в 775 герц. Уровень громкости вариировал от 25 до 95 децибелл 1. Оказалось, что, несмотря на столь значительные разницы в громкости, направление изменений цветовой чувствительности под влиянием звуков оставалось тем же: повышение чувствительности к зеленому и понижение к оранжевому. В зависимости от громкости менялась лишь степень изменения цветовой чувствительности. На рис. 129 приведены графически найденные результаты опытов.

По абсциссе отложены громкости звука, по ординате — величина  $\frac{E_2}{E_1}$ .

Мы поставили затем опыты с целью выяснить, влияют ли на наше цветное зрение обонятельные раздражители, и если влияют, то как.

13 глаз

 $<sup>^1</sup>$  Для наглядности укажем, что шопот с расстояния в 1,5 м имеет громкость около 10 децибелл, громкий разговор с расстояния в 1 м — около 65—70 децибелл, шум в вагоне метро — около 90 децибелл.

Здесь в качестве основного метода мы пользовались определением критической частоты мельканий. Приблизительно на 40-й минуте темновой адаптации мы подносили к носу испытуемого флакон с тем или иным пахучим веществом. Обонятельный раздражитель оставался под носом испытуемого в течение 10—12 минут, во время которых нами проводилось несколько определений критической частоты мелька-

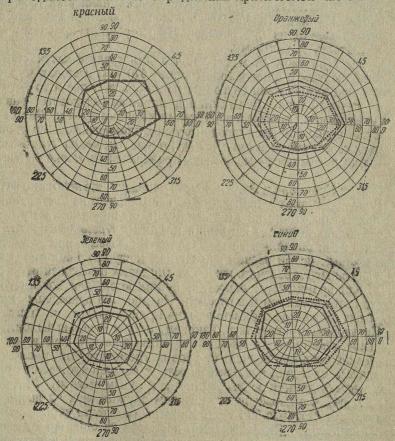


Рис. 128. Изменение границ цветных полей зрения в зависимости от побочных слуховых раздражений (по Яковлеву).

Сплошная линия— без побочного слухового раздражения; прерывистая—при звуке; пунктирная— при сильном шуме.

ний. По прекращении побочного раздражителя определение критической частоты мельканий производилось еще в течение 20-30 минут. Мы получали возможность таким путем находить критическую частоту мельканий, имевшуюся во время обонятельного раздражения,  $F_2$ , а равно и ту величину ее, которая соответствует условиям без побочного обонятельного раздражения,  $F_1$ . В качестве последнего нами применялись средней силы запахи бергамотового масла, гераниола и индола. Прерывающимся световым раздражителем были монохроматиче-

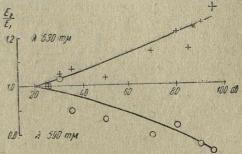
ские лучи различных длин волн. Их яркость соответствовала в начале темновой адаптации критической частоте слияния мельканий, равной 12-20 периодам в секунду. Опыты показали, что критическая частота мельканий в ответ на запахи бергамотового масла и гераниола изменяется для различных лучей спектра также вполне закономерным образом. Эту закономерность можно хорошо видеть из рис. 130, где приведены

данные опытов с бергамотовым маслом с двумя испытуе-

мыми.

По абсциссе отложены длины волн того светового луча, для которого определялась критическая частота мельканий. По ординате показаны соответствующие ве-

личины отношения ношении реакций глаза на побочные раздражители распа-



вновь видим, что спектр в от- кового раздражителя на цветовую чувствительность глаза (по Кравкову).

дается на две половины — зелено-синюю и оранжевато-красную. Совершенно так же, как то мы видели при рассмотрении результатов на-

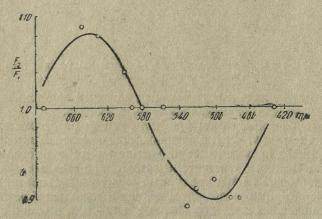


Рис. 130. Влияние побочного обонятельного раздражителя (запаха бергамотового масла) на критическую частоту мельканий (по Кравкову).

ших опытов с изменениями цветного [зрения под влиянием слуховых раздражений, и здесь мы видим, что по отношению к лучам средней части спектра (желтым, с длиной волны около 570 тм) в реакциях глаза от побочных раздражений никаких изменений не происходит. Вместе с тем мы так же видим, что влиятельность побочных обонятельных раздражений снижается и к обоим концам спектра.

При сходстве в этих двух чертах кривые рис. 127 и рис. 130 обнаруживают, однако, как кажется на первый взгляд, противоположную картину. В то время как чувствительность под влиянием звуков к зеленым лучам спектра повышается, критическая частота мельканий по отношению к этим же лучам при воздействии побочных обонятельных раздражений падает; для лучей оранжевато-красных наблюдается обратная картина. Что же это значит? Значит ли это, что применявшиеся нами звуки действуют на состояние зрительного аппарата противоположно тому, как действуют испытывавшиеся запахи? Оказывается, что нет. Специальные опыты, поставленные Кравковым, установили, что изменения критической частоты мельканий под влиянием побочных раздражителей — в смысле ее повышения или снижения — в имевшихся условиях опытов обратны изменениям чувствительности. Таким образом, наблюдавшееся нами понижение критической частоты мельканий при воздействии запахов для зеленых лучей и повышение ее в тех же условиях для лучей оранжевато-красных означает, что цвето-

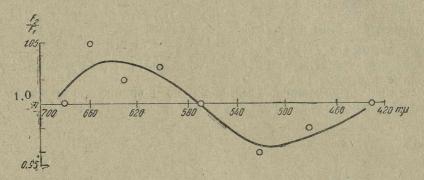


Рис. 131. Влияние температурного раздражителя (тепла) на критическую частоту мельканий (по Добряковой).

вая чувствительность к зеленому под влиянием запахов повысилась, к оранжевато-красному же, напротив, снизилась.

Иными словами, опыты с обонятельными раздражителями дали

нам ту же картину, что и с раздражителями слуховыми.

Добрякова провела далее работы по выяснению того, как сказываются на цветовой чувствительности глаза побочные раздражите-

ли, действующие на температурный и вкусовой рецепторы.

Температурным раздражителем, применявшимся в опытах Добряковой, был теплый воздух (температуры 40—45°), идущий от электрической печки, воздействовавший на кисти рук испытуемых. В качестве побочного вкусового раздражителя служил сахар. Кусок сахара держали в течение 10 минут во рту, после чего рот ополаскивали водой комнатной температуры. Большая часть опытов была проведена по методу определения критической частоты мельканий в ходе часовой темновой адаптации. Результаты опытов с температурным раздражителем можно видеть на рис. 131, который дает сводные результаты опытов с 3 испытуемыми. По ординате отложены величины

отношения  $\frac{F_2}{F_1}$ , по абсциссе — длина волны прерываемого света. Бросается в глаза, что результаты опытов с температурным побочным раз-

дражителем дают картину, совершенно такую же, что мы уже нашли, испытывая в качестве побочных раздражителей звук и запах. Опять мы видим, если говорить о цветовой чувствительности, повышение цветовой чувствительности к области зелено-синего и снижение ее к лучам оранжевато-красным. В области желтого (близ 570 mp.) имеется нейтральная зона, где никаких изменений глаз не обнаруживает. Наконец, по отношению к крайним лучам спектра реакции глаза от теплового раздражителя также остаются без перемен.

Опыты Добряковой с применением в качестве побочного вкусового раздражителя сахара дали также совершенно такую же картину изменения цветовой чувствительности по отношению к различным лучам

спектра.

Итак, такие достаточно различные, казалось бы, побочные раздражители, как слуховые, обонятельные, вкусовые и температурные, вызывают одну и ту же картину изменений в цветном зрении. В зависимости лишь от того, какие лучи спектра мы применяем в качестве прямого раздражителя, чувствительность глаза при воздействии всех этих побочных раздражителей обнаруживает или повышение, или понижение, или же отсутствие каких-либо перемен.

Ниже, когда мы будем говорить о теориях цветного зрения, мы увидим, как могут быть истолкованы эти факты. Пока же ограничимся лишь их описанием. Перейдем к ознакомлению с тем, что известно о зависимостях нашего цветного зрения от общефизиологических и не-

которых лекарственных воздействий.

Влияние на цветоощущение недостатка кислорода (гипоксемии) при падении атмосферного давления при подъеме на высоты изучалось Вишневским и Цырлиным. Ими измерялись цветовые пороги у испытуемых, помещаемых в специальную барокамеру, в которой можно было разрежать воздух соответственно естественным условиям подъема на ту или иную высоту. Уже начиная с высоты в 1 500 м, авторы находили определенное снижение цветовой чувствительности как по отношению к красному, так и по отношению к зеленому цвету. По мере увеличения высоты (что испытывалось вплоть до 4 500 м) цветовая чувствительность неизменно падала. Если чувствительность на земле принять за 100%, то на высоте в 4 500 м она снижалась, по данным Вишневского и Цырлина, для красного цвета до 42%, а для зеленого цвета — даже до 3%. При «спуске на землю» или же при даче кислорода цветовая чувствительность восстанавливалась, но не сразу.

По данным Мкртычевой и Самсоновой, опубликованным в самое последнее время (1944), цветовая чувствительность в условиях пребывания человека в барокамере, при гипоксемии, по отношению к зеленому цвету снижается, по отношению же к красному цвету, на-

против, возрастает.

Подобная же картина обратной изменяемости цветовой чувствительности глаза по отношению к геленым и красным лучам спектра под влиянием усиленного дыхания (гипервентиляции) была найдена и в работе Шварц (1944), выполненной по нашему предложению в Гос. институте психологии. Во время гипервентиляции чувствительность к зеленому снижается, к красному не повышается. Можно думать, что в основе таких сдвигов цветовой чувствительности в опы-

тах Мкртычевой и Самсоновой и в опытах Шварц лежит один и тот же фактор, а именно изменение кислотно-щелочного равновесия кро-

ви в сторону большей щелочности.

Что касается лекарственных воздействий на цветное зрение, то Кравковым было изучено влияние кофеина на цветовую чувствительность. В опытах определялся ход нарастания цветовой чувствительности во время  $1^{1}/_{2}$ -часовой темновой адаптации. В качестве раздражителей применялись монохроматические лучи спектра — зеленые (530 mp) и оранжевые (590 mp). В некоторые дни на 35-й минуте адаптации испытуемые принимали кофеин (Coffeinum purum 0,1). Как то можно видеть на рис. 132, где штрихованной линией показан ход чувствительности в дни, когда давался кофеин, а сплошной линией —

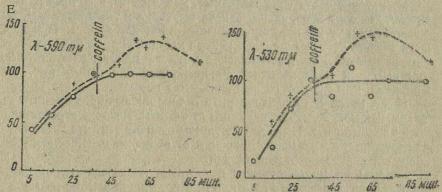


Рис. 132. Влияние кофеина на цветовую чувствительность глаза (по Кравкову)

в контрольные дни, кофеин вызывал явное повышение цветовой чувствительности как по отношению к зеленому, так и по отношению к оранжевому цвету. Повышение чувствительности бывает при этом, как видим, достаточно продолжительным.

Упомянем, наконец, о том, что в самое последнее время (1944) Кравковым и Галочкиной изучалось действие на цветовую чувствительность глаза слабого электрического тока, пропускаемого через глазное яблоко. Оказалось, что постоянный ток (силой в 0,2 миллиампера и длительностью в 2—4 минуты) вызывает явные изменения

цветовой чувствительности.

Характер этих изменений зависит от длины волны светового раздражения и от того, какой полюс тока прикладывается к глазу (явление электротона). В случае анэлектротона (анод на глазном яблоке) чувствительность к зелено-синим лучам спектра оказывается повышенной, к оранжево-красным лучам — сниженной, к лучам же концов спектра и к области желтого чувствительность глаза под влиянием тока изменений не обнаруживает. При катэлектротоне наблюдается картина как раз обратная: повышение чувствительности к красно-оранжевым и понижение ее к лучам зелено-синим.

Поскольку электротон связан с относительным увеличением на аноде ионов кальция, а на катоде — ионов калия, эти данные

представляют несомненный интерес для толкования природы цветного зрения. Подробнее этого вопроса мы коснемся ниже.

# § 7. Аномалии цветного зрения. Методы установления аномалий цветного зрения

Все лица с ненормальным цветоощущением могут быть распределены на три большие группы в зависимости от того, оказываются ли они способными различать главные цветовые тона спектра <sup>1</sup> или же нет. Внутри каждой из этих трех групп имеются свои особые под-

группы — виды расстройств цветного зрения.

К группе первой относятся те, кто могут различать все главные цветовые тона спектра, но все же уклоняются по свойствам своего цветного зрения от большинства лиц с нормальным зрением. Это отклонение от нормы может быть чисто количественным: цветовая чувствительность снижена, пороги цветоощущения повышены. Раздражитель должен быть более сильным (более ярким, более насыщенным, большим по площади, более продолжительным), чтобы вызвать соответствующее цветовое ощущение у лиц, страдающих подобной аномалией цветного зрения. Подобные лица являются лицами с ослабленным цветоощущением. Другим видом расстройств цветного зрения, относящимся к рассматриваемой первой группе, будут те случаи, когда, наряду с симптомами ослабленного цветоощущения, у больных наблюдаются иногда и неверные с точки зрения нормально видящих отождествления цветов, ошибочные с точки зрения нормально видящих цветовые уравнения. Наряду с этим эффекты контраста замечаются лицами, относящимися к рассматриваемой подгруппе, лучше, чем нормально видящими. Если, например, желтое поле находится рядом с красным или серое рядом с зеленым, они видят на первом явный оттенок зеленоватого, на втором — красноватого даже и при таких условиях, когда субъект с нормальным цветоощущением этих окрасок не замечает. Больных, относящихся к этой подгруппе, мы можем назвать цветоаномалами.

Группа вторая объединяет в себе уже более значительные расстройства цветного зрения. Относящиеся сюда случаи характеризуются тем, что больные вовсе неспособны различать ряд главных цветовых тонов спектра. Поэтому здесь мы говорим уже о частичной цветовой слепоте. Наблюдаются различные виды частичной цветовой слепоте. Наблюдаются различные виды частичной цветовой слепота. Наиболее частым из них является так называемая красно-зеленая слепота, характеризуемая тем, что страдающие ею лица не различают оттенков красного от оттенков зеленого. Весь спектр для таких цветнослепых распадается всего на два цветовых тона: желтый, каким кажется вся красно-оранжевожелто-зеленая половина спектра, и голубой, каким представляется для них другая, голубовато-сине-фиолетовая часть его. При этом в области голубовато-зеленого эти цветнослепые видят место ахроматическое, кажущееся им серым. О том, какие именно цветовые ощущения имеются у цветнослепых, мы знаем на основании показаний

<sup>1</sup> Как красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый.

лиц, у которых цветной слепотой поражен лишь один глаз, другой

же видит нормально.

Различают две группы красно-зеленослепых. Лиц, относящихся к первой из них, иногда называют краснослепыми, ко второй — зеленослепыми. Обозначения эти нельзя признать удачными, поскольку представители обеих групп равным образом не имеют ощущений ни красного, ни зеленого. Более удобно поэтому пользоваться обозначениями, предложенными для этих видов расстройства цветоощущения Крисом. Краснослепых Крис называет протанопами, или цветнослепыми первого рода, зеленослепых же он обозначает как девтеранопов, или цветнослепых второго рода. Разница между теми и другими состоит в следующем. У протанопов: 1) красный конец спектра является укороченным; 2) место наибольшей яркости в спектре сдвинуто по сравнению с нормальным к фиолетовому концу спектра и лежит в области желтовато-зеленого, 3) ахроматическое место в спектре («нейтральная точка») приходится приблизительно на 490 тр. Характерными ошибками протанопов является отождествление цветов светлокрасных с темнозелеными и пурпурными и фиолетовых с синими. Протанопией страдал знаменитый английский химик Дальтон (1766—1844), который впервые подробно и описал этот вид расстройства цветного чувства. Поэтому протанопию называют еще дальтонизмом. В обыденной жизни склонны бывают термином «дальтонизм» обозначать все вообще виды цветовой слепоты, что, однако, неточно.

В отличие от протанопов у девтеранопов: 1) спектр не является укороченным с его красного конца, 2) место наибольшей светлоты по сравнению с нормальным сдвинуто несколько к красному концу спектра и лежит в области оранжевого, 3) нейтральная точка приходится приблизительно на 500 m р. Характерными ошибками девтеранопов бывает неразличение светлозеленого от темнокрасного и фиолетового от голубого, между тем как пурпурный цвет с голубым

ими не смешивается, но смешивается с серым.

Наблюдается также, хотя и значительно реже, третий вид частичной цветовой слепоты, так называемая «слепота на фиолетовый цвет», или тританопия (слепота третьего рода). При этом виде цветовой слепоты наблюдается следующее: 1) спектр видится несколько укороченным с фиолетового конца; 2) максимум светлоты лежит в области желтого, там же, где и для нормального зрения; 3) в спектре имеются два нейтральных серых места — одно в желтом, а другое в синем. Весь спектр содержит для тританолов лишь оттенки красного и зеленого. Тританопы характерным образом смешивают желтовато-зеленый с синевато-зеленым, а также пурпурный с оранжевато-красным. Для наглядности мы приводим рис. 133, где схематически показано, как видят спектр нормально видящие и лица, страдающие различными видами частичной цветовой слепоты. Кроме этих трех видов частичной цветовой слепоты, наблюдались еще некоторые нетипичные случаи, заслуживающие, однако, упоминания. Так, например, Шуманом описано своеобразное расстройство цветоощущения, констатированное им на себе самом. У него отсутствовало ощущение зеленого цвета, между тем как ощущение красного, наряду с ощущениями синего и желтого, сохранилось. Зеленый раздражитель, не будучи сам видим как зеленый, вызывал у него, однако, вполне определенные эффекты как одновременного, так и последовательного контраста. По описанию Шумана этот казавшийся ему ахроматическим зеленый цвет оказывался способным при оптическом смешении нейтрализовать дополнительный к нему хроматический цвет. Киршманом описан случай, когда у цветнослепого весь спектр сводился к цветам красно-оранжевому, с одной стороны, и синему — с другой. В области зеленовато-желтого имелась «нейтральная точка», т. е. место, казавшееся серым. Подобный же случай описан позже и Дитером.

Наиболее тяжкие случаи расстройства цветного зрения, характеризуемые полной потерей способности видеть хроматические тона,

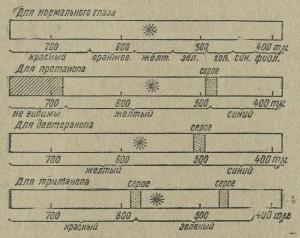


Рис. 133. Спектр, как он видится нормально видящим и лицами с частичной цветовой слепотой. Звездочка обозначает максимум яркости.

составляют третью группу аномалий цветного зрения. Это случаи полной цветовой слепоты, или ахромазии. Страдающие ею лица вообще никаких цветовых тонов различить не всостоянии. Различия цветов сводятся для них лишь к различиям по светлоте. Мир видится ими как одноцветная фотография. В каком именно одном цвете они все видят, мы можем сказать на основании редких случаев, когда полная цветовая слепота поражала лишь один глаз, другой же оставался нормальным. По данным таких больных, цветнослепой глаз видит все в более или менее темном сером цвете (О. Бэкер).

Обычно с полной цветовой слепотой бывают связаны и некоторые другие аномалии зрения, как-то: пониженная острота зрения, нистагмические движения глазного яблока, светобоязнь. Распределение яркости в спектре для лиц с полной цветовой слепотой бывает обычно таким же, как для сумеречного зрения нормально видящих, т. е. максимум светлоты лежит в зеленом; крайние же красные

лучи невидимы, как они невидимы и при сумеречном зрении. Распределение яркости в спектре для цветнослепого глаза не зависит от его световой или темновой адаптации. Эксперименты Кравкова (1927), произведенные над 3 лицами, страдавшими полной цветовой слепотой, подтвердили существование этих симптомов. Исследование темновой адаптации, проведенное Кравковым на одном из цветнослепых, показало, кроме того, что по сравнению с нормой адаптационная кривая этого больного была сниженной. Барбель (1938), проведший исследование хода темновой адаптации у 3 ахроматов, у одного из них не нашел отклонения от нормы, у двух же других наблюдал ускоренное по сравнению с нормой восстановление световой чувствительности глаза в темноте. Вопрос о скорости темновой адаптации у ахроматов представляет особый интерес, потому что, согласно гипотезе о тормозном влиянии колбочек на палочки, у ахроматов, поскольку у них колбочки не функционируют, палочковая чувствительность должна бы быть повышенной. Возможно, однако, думать, что прочие патологические условия могут в иных случаях и маскировать этот эффект.

Одни авторы утверждают далее наличие у лиц с полной цветовой слепотой полной слепоты фовеальной области сетчатки (наличие центральной скотомы). Многим, однако, наблюдать таковую у цветнослепых не удавалось. Поэтому вопрос о ее существовании, повидимому, допускает двоякий ответ: у одних лиц такая скотома имеет-

ся, у других нет.

В заключение здесь следует указать, что иногда наблюдались и отличные от вышеописанных случаи полной цветовой слепоты, в которых распределение яркости в спектре для цветнослепого соответствовало более или менее распределению ее для светло адаптированного нормального глаза (максимум приходился на желтый цвет).

Насколько часто встречаются все вышеописанные виды ненормального цветоощущения? Многочисленные статистики, имеющиеся по этому вопросу, приводят к таким цифрам: ненормальности цветоощущения имеются приблизительно у 8% всех мужчин, причем около 4% страдают цветовой слепотой того или иного вида; расстройства цветоощущения типа девтеранопии наиболее часты; полная цветовая слепота, и особенно тританопия, напротив, встречается весьма редко. Интересно отметить, что у женщин ненормальное цвето-

ощущение встречается гораздо реже — всего у 0,5%.

Цветовая слепота чаще является аномалией прирожденной. Однако бывают случаи и приобретенной цветовой слепоты. Врожденная цветовая слепота передается по менделеевским законам по наследству как рецессивный признак, связанный с полом. Передача совершается через женщин, которые сами чрезвычайно редко страдают цветовой слепотой. Таким образом, цветовая слепота обычно обнаруживается у внуков цветнослепого и именно у сыновей его дочери, но не его сына. В отношении передачи по наследству только через женщин цветовая слепота подобна некоторым другим болезням, как, например, гемофилии (несвертываемость крови). Наследственная цветовая слепота неизлечима. Что касается приобретенных расстройств цветоощущения, то они могут вызываться различными при-

чинами, как-то: отслоением сетчатки, воспалительными процессами в ней, различными нарушениями в проводящих путях зрительного аппарата, мозговыми кровоизлияниями и сотрясениями и пр. Нам пришлось наблюдать два случая полной потери цветоощущения после черепномозговых ранений.

В результате чрезмерно сильного освещения сетчатки часто наступает так называемая эритропсия, характеризуемая тем, что все

поле зрения окрашивается в красноватый цвет.

Многие лекарственные вещества также оказывают влияние на цветоощущение. Так, например, есть наблюдения, говорящие о том, что известные дозы стрихнина временно повышают цветовую чувствительность. Мы уже говорили, что аналогичным же образом действует и кофеин. Инстилляция адреналина повышает цветовую чувствительность к лучам зелено-синим и понижает ее по отношению к лучам оранжевато-красным (Кравков, 1939, об этом подробнее см. ниже). Прием сантонина, а также пикриновой кислоты влечет за собой укорочение видимого спектра с его фиолетового конца, окраску всего светлого в зеленовато-желтый цвет с появлением на темных местах поля зрения дополнительного фиолетового оттенка. Картина наступающих здесь изменений цветов подобна тому, как если бы мы поместили перед глазом зеленовато-желтый светофильтр. Возможно, что причиной здесь и служит временное окрашивание глазных сред в желтоватый цвет.

В литературе есть, наконец, указания на то, что в иных случаях цветовая слепота может вызываться и устраняться путем гипноти-

ческого воздействия на субъекта.

Цветнослепые и тем более лица просто с пониженным цветоощущением сплошь и рядом долгое время не замечают своего дефекта; не замечают его часто и окружающие их. Так, Дальтон, например, не знал о своей слепоте до 26 лет. Происходит это благодаря тому, что цветнослепые с детства выучиваются называть цвета обыденных предметов общепринятыми обозначениями. Кроме того, они сохра-

няют способность хорошо различать цвета по их яркости.

Нарушения нормального цветоощущения могут иметь очень существенное практическое значение. Мы знаем, например, что на всех видах транспорта пользуются обычно сигнальными огнями красного и зеленого цветов. Цветнослепой, не различающий этих цветовых тонов, работая в качестве машиниста, шофера, рулевого и т. п., всегда может вызвать катастрофу, приняв один сигнальный цвет за другой. Подобного рода катастрофы, действительно, не раз имели место. Особенно много жертв повлекло за собой крушение поезда в Лагерлунде в 1875 г., явившееся следствием цветовой слепоты машиниста. Это несчастье послужило толчком к тому, чтобы при приеме на службу по всем видам транспорта обязательно обследовалась нормальность цветоощущения. Профессия художника-колориста, портного, ботаника, медика и некоторые другие, несомненно, также требуют нормального цветного зрения. Между тем цветнослепые встречаются даже и среди художников. Цветнослепыми были, например, художники Корнелиус, Вильгельм Каульбах и др. В 1907 г. на конгрессе итальянского офталмологического общества

Ангелуччи демонстрировал ряд картин, написанных художниками, страдавшими ненормальностями цветоощущения. Характерным для многих из этих картин было именно смешение оттенков красного с оттенками зеленого. Крыши домов, например, с одной освещенной стороны изображались красными, с другой же — зелеными и т. п. Часто замечалась в них также чрезмерная разноцветность. На работе художника-графика, правда, ненормальность его цветового чув-

ства может заметным образом и не сказываться. Ввиду того что в обыденной жизни цветнослепые часто остаются незамеченными, в настоящее время выработан ряд специальных методов определения цветовой слепоты. Наиболее старым из них является метод подбора мотков цветной шерсти по Гольмгрену. Испытуемому предлагается из кучки мотков цветной шерсти самых различных оттенков выбрать все подходящие по цветному тону к тому или иному мотку, данному ему в виде образца. Цветнослепые обычно делают здесь характерные ошибки (протанопы подбирают, например, к красному темнозеленый, девтеранопы — светлозеленый к пурпурному, протанопы смешивают синий и фиолетовый, девтеранопы — серый и зеленый и т. д.). Существует далее ряд испытательных таблиц, построенных по тому принципу, что среди пятен одного цвета помещены пятна другого цвета, составляющие вместе для всякого нормально видящего какую-нибудь цифру, букву или фигуру. Цветносленые же цвет этих пятен от цвета пятен, служащих фоном, отличить не могут, не могут они, следовательно, прочесть и соответствующие цифры, буквы или фигуры. Таковы таблицы Штиллинга, Ишихара, Рабкина и др.1.

Таблицы Нагеля содержат расположенные в виде колец мелкие кружки ненасыщенных цветов, легко смешиваемых цветнослепыми. Испытуемому предлагается из нескольких подобных колец указать такие, на которых имеются красноватые кружки, и такие, которые содержат только серые, только красные или только зеленые кружки. Цвета таблиц подобраны так, что в них используется и имеющаяся у лиц с ослабленным цветоощущением повышенная чувствительность к цветовому контрасту. По ответам испытуемых можно судить о нор-

мальности их цветоощущения.

Существуют испытательные таблицы еще других авторов, равно как и различные приборы для определения цветовой слепоты (Шибре, Геринга, Рабкина и др.). Скажем здесь несколько слов лишь об аномалоскопе Нагеля, как о приборе особенно широко распространенном и важном. Прибор этот представляет собой спектроскоп прямого видения, устроенный так, что поле зрения наблюдателя состоит из двух половин: верхней и нижней. Нижняя обычно освещается монохроматическими желтыми лучами, соответствующими линии натрия (589 mp.). Интенсивность этого желтого света можно менять изменением щели, имеющейся в коллиматоре аппарата. Верхняя же половина поля зрения освещается двумя монохроматическими лучами: красным 671 mp (линия лития) и зеленым 536 mp (линия тал-

¹ Таблицы Ишихара хорошо переизданы под редакцией проф. Рабкина Всеукраинским институтом офталмологии в Харькове.

лия). Таким образом, в верхней половине поля зрения мы имеем цвет, получающийся от смешения красного с зеленым. Красные и зеленые лучи, падающие на эту верхнюю половину поля зрения аномалоскопа, получаются от двух щелей, имеющихся в коллиматоре прибора. Посредством специального винта ширина этих щелей может меняться и притом всегда так, что увеличение одной щели влечет за собой соответствующее уменьшение другой, и наоборот. Положение винта определяется по шкале, разделенной на 100 делений. При значениях ее от «100» до «75» винт во многих аномалоскопах имеет холостой ход и открытой остается без изменения только щель, дающая лучи красные. Промежуточные положения винта дают различные пропорции красных и зеленых лучей в смеси.

На рис. 134 дан вертикальный разрез аномалоскопа Нагеля. K — коллиматорная труба, R — окулярная труба, P — призма прямого видения,  $S_1$  — верхняя щель,  $S_2$  и  $S_3$  — две нижние щели. Свет, идущий в прибор через эти три щели, разлагается прямой P в три спектра, два из которых (получившиеся от щелей  $S_2$ 



Рис. 134. Разрез аномалоскопа Нагеля.

и  $S_3$ ) частично перекрываются; стоящая за линзой  $L_2$  бипризма так отклоняет своими гранями і и n падающие на нее лучи спектров, что глаз, приставленный к окулярной щели A; в плоскости фокуса трубы BR видит верхнюю половину бипризмы, освещенной лучами перекрывающихся спектров от  $S_2$  и  $S_3$ , а нижнюю — освещенной лучами от  $S_1$ . Щели  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  в первой модели аномалоскопа взаимно расположены так, что  $S_1$  должна давать лучи желтые — 589 мр, а  $S_2$  и  $S_3$ — соответственно красные — 671 мр и зеленые — 536 мр. Во второй модели аномалоскопа окулярная труба R может вращаться около вертикальной оси 00 и позволяет выделять в поле зрения и другие участки спектров.

Задача, ставящаяся испытуемому на аномалоскопе Нагеля, состоит обычно в том, чтобы установить равенство обеих половин поля зрения, т. е. подравнять желтый цвет смеси красного с зеленым (так называемое уравнение Рэлея)<sup>1</sup>. Рэлеем было найдено, что при подобном уравнении требующееся отношение красных лучей к зеленым для большинства людей оказывается почти одним и тем же. Однако для некоторых лиц нормальное уравнение Рэлея равенством не кажется. Одни из таких лиц удовлетворяются лишь установками, в которых взято слишком много красного. Для нормальных лиц установки их кажутся поэтому слишком красными. Другие в своих уравнениях, напротив, берут в смешиваемом цвете слишком много зеленого. Подобные лица, не принимающие нормального уравнения Рэлея, а устанавливающие вместо него иные уравнения, являются цветоаномалами. Тех из них, которые берут в смеси красного с зеленым сли-

 $<sup>^1</sup>$  Желтый цвет, получающийся от смешения красного (671 m $\mu$ ) и зеленого (536 m $\mu$ ), оказывается все же несколько менее насыщенным, чем монохроматический желтый (589 m $\mu$ ). В настоящее время рекомендуется поэтому брать в качестве красного и зеленого более близкие друг к другу цвета, а именно: красный 665 m $\mu$  и зеленый 537 m $\mu$ .

шком много красного, Нагель предложил называть протаном алами, тех же, которые берут в своих смесях слишком много зеленого, девтераном много зеленого, девтераном много зеленого, девтераном много зеленого, девтераном чувствительность как бы специально к красным лучам спектра, в чем они подобны протанопам; вторые же подобно девтеранопам характеризуются ослаблением чувствительности более к зеленым лучам. В зависимости от степени аномалии цветоощущения отклонение от нормального уравнения Рэлея может быть большим или меньшим.

Если же установку равенства полей на аномалоскопе Нагеля производит протаноп или девтераноп, то, кроме нормального уравнения Рэлея, для него приемлемыми оказываются и любые иные со-

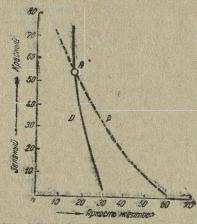


Рис. 135. Протанопическая и девтеранопическая кривые, устанавливаемые посредством аномалоскопа Нагеля.

отношения красного к зеленому. Ему надо лишь для полного равенства полей так или иначе менять в этих случаях яркость желтого поля. При этом для подравнивания одному и тому же, например, красному, для протанопа требуется желтый, менее яркий, чем для девтеранопа, для уравнения с зеленым ему, напротив, нужно взять в другой половине поля зрения желтый, более яркий, чем то требуется девтеранопу. Встречаются также лица, которые принимают как нормальное уравнение Рэлея, так и несколько других уравнений, удовлетворяющих анопов. Подобного рода расстройства цветного зрения характеризуются как крайняя цветоаномалия. Она является, как можно видеть, как бы промежуточной сту-

пенью между просто цветоаномалией и цветовой слепотой.

Результаты испытаний, проводимых на аномалоскопе Нагеля, можно изображать графически, например, так, как показано на рис. 135. По абсциссе отложены деления барабанчика, регулирующего яркость желтого поля, даваемого монохроматическим желтым лучом; по ординате же отложены деления барабанчика, регулирующего отношение количества красных и зеленых лучей, смешивающихся в другой половине поля зрения (при «75» в смеси вовсе нет зеленых лучей, при «0» вовсе нет лучей красных). Кривые D и P соответствуют типичным кривым, даваемым (на имеющемся у нас аномалоскопе Нагеля) уравнениями, которые устанавливают девтеранопы и протанопы. Точка R соответствует нормальному уравнению Рэлея, которое, как сказано выше, удовлетворяет гакже и цветнослепых.

Цветовые неравенства, видимые на аномалоскопе (как и на всяком другом аппарате), при длительном их фиксировании могут превращаться в равенства: первоначально ясно заметные различия сглаживаются и смежные поля «сливаются» по цвету в одно. Явление это носит центральный характер (поскольку оно передается и на другой глаз). При длительном, пристальном (в течение I минуты и более) фиксировании даже вполне нормальный глаз способен принять за одина-

ковые такие цвета, которые по первому впечатлению являются весьма различными (Рабкин, Яковлева). Одни люди отличаются от других по величине подобных неравенств, принимаемых за равенства, по тому, как скоро такое нивелирование цветовых различий у них наступает и как продолжительно оно сохраняется. В связи с этим рядом авторов (Энгелькинг, Гартунг, Самойлов) поставлен вопрос о цветовой астенопии как об особом патологическом уклоне цветного зрения. Вопрос этот требует еще дальнейшего изучения. Важно, однако, подчеркнуть, что при установках на аномалоскопе испытуемый не должен длительно (более 2—3 секунд) фиксировать сравниваемые поля.

Получаемые при установках на аномалоскопе цифровые значения зависят от того источника света, который применяется в данном приборе. Поэтому прямо сравнивать можно лишь величины, найденные при одинаковых лампах и при одинаковом их режиме. Для того же, чтобы иметь возможность сопоставлять между собой данные, полученные при обследовании аномалов на аномалоскопах с различными источниками света, рекомендуется пользоваться так называемым к о э ф и ц и е н т о м а л ь н о с т и.

с различными источниками света, рекомендуется пользоваться так называемым коэфициентом аномальности. Предположим, мы получили для нормального глаза равенство между желтым и смесью красного (Li), с зеленым (Ti)при значении шкалы 52. Это значит, что в смеси мы имеем 52 доли красного и 75-52=23 доли зеленого  $^1$ . В этом

случае отношение  $\frac{Tl}{Li}=\frac{23}{52}=0,44.$  Находим подобное же отношение для субъ-

екта с ненормальным цветоощущением и делим его на отношение  $\frac{Tl}{Li}$ , соответ-

ствующее нормальному глазу, т. е. берем  $\frac{Tl}{Li}$  (анормальное):  $\frac{Tl}{Li}$  (нормальное).

Полученное в результате частное и будет упомянутым коэфициентом аномальности. Для девтераномалов этот коэфициент будет больше единицы, для протаномалов — меньше.

В литературе приводятся следующие значения коэфициентов аномальности, как характерные:

Ненормальности цветоощущения могут, наконец, наиболее тщательным образом быть определены при помощи ряда цветовых уравнений, устанавливаемых испытуемыми и на каком-либо другом спект-

ральном аппарате для смешения цветов.

Из того, что сказано в этой главе выше, мы знаем, что все цветовые тона для нормально видящего глаза могут быть воспроизведены путем смешения не менее как трех раздражителей, принятых за основные. В этом смысле цветовая система нормального глаза является системой «трехцветной», трихроматической, и нормально видящие соответственно называются трихроматами. В случае же протанопии, девтеранопии и тританопии мы все цветовые тона для цветнослепого глаза можем воспроизвести путем смешения всего двух цветных раздражителей. Таким образом, при частичной цветовой сле-

<sup>1</sup> Если в данном аппарате щели меняются, лишь начиная с деления 75 до 0.

поте мы имеем перед собой дихроматическую систему, и цветнослепые называются поэтому дихроматами. Наконец, субъект с полной
цветовой слепотой является монохроматом, поскольку все различаемые им цвета могут быть даны вариациями интенсивности всего
одного цветового раздражителя.

## § 8. Теории цветоощущения,

Теперь мы познакомились уже не только со свето- и цветоощущением нормального глаза, но также и со случаями аномальными. Таким образом, мы стоим перед обширной и сложной группой фактов. Своевременно поэтому перейти к их теоретическому толкованию.

Подобное теоретическое толкование должно, очевидно, давать нам вероятную картину тех физиологических процессов, которые лежат в основе нашего цветного и сумеречного зрения. Идеалом же и конечной целью теории зрительных ощущений, как и всякой естественно-научной теории вообще, должно являться установление количественно-математических соотношений между объясняемыми явлениями. Общее число предложенных разными авторами теорий зрения в настоящее время превышает уже несколько десятков. Поэтому

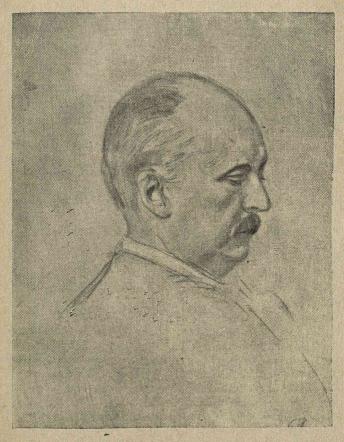
излагать их все здесь нет ни возможности, ни надобности.

Основным теоретическим пониманием, которое может служить отправным пунктом для дальнейшего развития теорий и которое позволяет достаточно хорошо объяснить главнейшие явления цветного зрения следует признать гипотезу Юнга-Гельмгольца о трехкомпонентности цветного зрения. В 1802 г. Томас Юнг отметил малую вероятность того, что для каждой длины волны попадающего в глаза света должны иметься особые воспринимающие аппараты в сетчатке. «Необходимо предположить, — писал он, — что число этих воспринимающих аппаратов («частиц») ограничено, например, числом трех основных цветов: красного, желтого и синего» (позже он заменил эти цвета красным, зеленым и фиолетовым). Каждый из этих воспринимающих элементов глаза, по Юнгу, может реагировать не только на длины волн, прямо соответствующие ему, но в известной мере и на другие длины волн. Сообразно трем воспринимающим аппаратам сетчатки следует допустить, по Юнгу, наличие и трех сортов волокон в зрительном нерве. Высказанная Юнгом гипотеза была затем принята и далее разработана Гельмгольцем. Согласно Гельмгольцу, мы должны допустить существование в нашем зрительном органе трех сортов нервных аппаратов. Изолированное возбуждение одного из них давало бы ощущение насыщенного красного, возбуждение другого давало бы ощущение насыщенного зеленого и возбуждение третьего — ощущение насыщенного фиолетового. Обычно, однако, раздражающий свет действует не на один только из этих трех воспринимающих цвет аппаратов, но на все три или на два из них. При этом волны различной длины возбуждают эти аппараты в различной степени. От соотношения величин этих трех возбуждений зависят все особенности возникающего цветового ощущения. Приводимая на рис. 137 схема иллюстрирует идею Гельмгольца: по торизонтали отложены различные цвета спектра, по ординатам же —

величины возбуждения «красно»-«зелено»- и «фиолетовоощущающих»

аппаратов нашего глаза.

Что представляют собой эти аппараты, Гельмгольц конкретнее не определял. По современным представлениям, допускаемая троякость возбуждений должна обусловливаться различиями в мозго-



Г. Гельмгольц (1821—1894)

вых центрах, к которым нервные волокна, идущие от сетчатки, в конце концов приводят, а также и различиями в периферических воспринимающих аппаратах. Без последнего нельзя себе представить, почему разные длины волн вызывают неодинаковое возбуждение в

трех конечных центрах.

Лазарев, развивая идеи Юнга-Гельмгольца, далее стремился придать им более конкретное и допускающее количественную обработку толкование. Он полагает, что начальной стадией зрительного возбуждения служит процесс фотохимического распада трех особых светочувствительных веществ, обладающих различными спектрами поглощения. Распад молекул этих веществ освобождает ионы, кото-

14 глаз

рые при известной концентрации и служат толчком к возникновению нервного возбуждения. Как и Гельмгольц, Лазарев допускает, что, в случае воздействия на глаз одновременно всех лучей видимого спектра, когда мы, следовательно, имеем ощущение белого цвета, распад во всех трех цветоощущающих веществах одинаково велик. Поэтому площади, охватываемые кривыми «красного», «зеленого» и «фиолетового» возбуждения, и должны изображаться равными друг другу. Отсюда же следует, что дополнительными цветами должны быть такие цвета, сложение которых дает одинаковые суммы «крас-

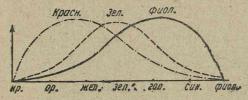


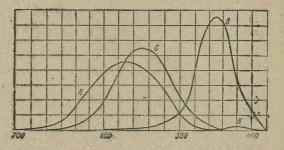
Рис. 137. Схема теории цветного зрения Гельмгольца.

ного», «зеленого» и «фиолетового» возбуждений.

Такова основная мысль трехкомпонентной теории цветного зрения. В дальнейшем возник вопрос о построении кривых трех реальных основных возбуждений глаза. Эти кривые, очевидно, не могут быть вполне произвольными (подобно схематическим

кривым рис. 137), а должны иметь совершенно определенную форму, чтобы объяснять нам все известные факты цветного зрения. К построению таких кривых, выражающих три вида физиологических

возбуждений в нашем зрительном аппарате, впервые приступил Кениг, исходя из данных, полученных им при изучении смешения цветов. Данные эти показали, как мы знаем, что все цвета спектра, действительно, могут быть получены путем смешения трех цветных раздражителей. Необходимо было, однако, чтобы



трех цветных раздра- Рис. 138. Кривые основных цветовых возбуждежителей. Необходимо ний глаза (по Кенигу-Айвсу).

отыскиваемые кривые «основных возбуждений» глаза отвечали не только фактам смешения цветов и цветовым уравнениям, устанавливаемым нормальными трихроматами, но позволяли бы понять особенности зрения и цветнослепых. Учитывая это обстоятельство, Кениг и пересчитал свои кривые «сложения основных раздражителей»<sup>1</sup>, предположив, что искомые кривые трех основных возбуждений являются их линейными функциями. Этот пересчет с математической точки зрения есть изменение системы координат. Кениговские кривые трех «основных возбуждений глаза» с теми поправками, которые были внесены в них Айвсом, приведены на рис. 138, где по абсциссе отложены длины волн монохроматических лучей

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Называемые им кривыми «элементарных ощущений».

дифракционного спектра солнечного света, а по ординате — основные возбуждения (красное, зеленое и синее) в относительных величинах.

Масштаб кривых выбран так, чтобы ограничиваемые ими площади были равны. Это отвечает допущению, что при одинаковом возбуждении всех трех цветоощущающих аппаратов мы ощущаем белый цвет (оптическое смешение всех лучей спектра дает белый).

Кривые сложения основных раздражителей, как и кривые трех основных возбуждений глаза, были построены в более недавнее время Федоровыми. Авторы соблюдали в своих экспериментах условия строгого фовеального зрения и световой адаптации. Для построения кривых трех основных возбуждений глаза они, наряду с пересчетом кривых сложения основных раздражителей, применяли метод искусственного вызывания временной цветовой слепоты (протанопии и девтеранопии). Результаты обоих этих методов обнаружили весьма хорошее совпадение.

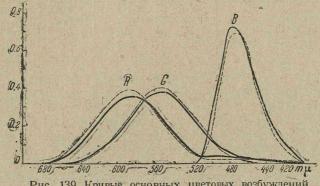


Рис. 139. Кривые основных цветовых возбуждений глаза (по Федоровым).

Ниже нами и приводятся кривые основных возбуждений глаза, полученные Федоровыми для двух наблюдателей (рис. 139). Кривые относятся к нормальному (дифракционному) спектру стандартного источника белого света B (соответствующего цветовой температуре 4  $800^{\circ}$  К). Масштаб кривых выбран так, чтобы для белого цвета площади всех трех кривых были равны. В таблице на стр. 212 приве-

дены и соответствующие цифровые значения.

Необходимо, однако, отдавать себе отчет в том, что эти кривые основных возбуждений сами по себе ничего еще не говорят ни об абсолютной, ни об относительной яркости (светлоте) определяемых ими цветов. Для того чтобы судить о светлоте цветов отдельных смесей, нам надо знать коэфициенты яркости, присущие каждому из основных возбуждений. Для суждения же об абсолютной яркости их необходимо знать яркость того ахроматического цвета, который получается от их смешения. Светлоту того или иного цвета смеси можно вычислить, зная коэфициенты яркости красного, зеленого и синего основных возбуждений и исходя из доказанного опытами факта, что яркости отдельных смешиваемых цветов суммируются. Так как кривая распределения яркости в спектре достаточно хорошо известна, то возможным оказалось ближе определить и эти яркостные коэфициенты. Для

Длина волны в тр	Величина возбуждения (в условных единицах)		Длина	Величина возбуждения (в условных единицах)			
	R красное	G зеленое	В	волны в	R красное	G зеленое	В
670	0,0172	0,00207		530	0,104	0,300	
660	0,0355	0,00492		520	0,055	0,232	
650	0,0648	0,0104		510	0,0365	0,148	0,0558
640	0,108	0,0198		500	0,0323	0,122	0,251
630	0,162	0.0359		490	0,0338	0,0843	0,501
620	0,219	0,0628		480	0,0326	0,0432	0.717
610	0,274	0,1013	<u> </u>	470	0,0293	0,0204	0.690
600	0,317	0,154	_	460	0.0255	0,0046	0,579
590	0,348	0,214	_	450	0,0203	0,0011	0.492
580	0,356	0,281		440	0,0135	0,000	0,287
570	0,322	0,332		430	0,0072	0,000	0,225
560	0,290	0,366	<u> </u>	420	0,0027	_	0,110
550	0,222	0,378		410	0,000	_	0,040
540	0,158	0,357		400	_	4.—	0,040

кривых основных возбуждений, построенных Федоровыми, яркостный коэфициент для красного основного возбуждения R равен 1,00, для зеленого G равен 1,47 и для синего B равен 0,006. Перемножив на них ординаты кривых (рис. 139) и просуммировав полученные для R, G и B произведения для каждого значения абсциссы, мы получим

как раз кривую распределения яркости в спектре.

Если кривым основных возбуждений придавать реальное значение, то они должны, повторяем, соответствовать уравнениям смещения цветов, кривой распределения яркости в спектре, кривой различения цветов, явлению Бецольда-Брюкке и фактам, наблюдаемым на зрении цветнослепых (приемлемость и для анопов цветовых уравнений, составленных нормально видящими, укорочение красного конца спектра у протанопов, положение нейтральных точек в определенных и различных друг от друга местах у протанопов и девтеранопов, смещение максимума яркости и др.). Этим требованиям и удовлетворяют вышеприведенные кривые основных возбуждений глаза. Пользуясь ими, трехкомпонентная теория цветного зрения ныне оказывается в состоянии подойти к объяснению ряда основных фактов цветного зрения. Так, ощущение белого цвета, как мы уже упоминали, толкуется ею как результат равновеликого возбуждения всех трех воспринимающих аппаратов глаза. Ощущение же хроматического цвета возникает согласно ей тогда, когда мы имеем неравное возбуждение их. Так, например, лучи с более длинными волнами возбуждают по преимуществу красноощущающий аппарат (R), слабее — зеленоощущающий (G) и совсем слабо — синеощущающий (В). Поскольку мы знаем, что (в широких пределах) изменение интенсивности раздражителя не влечет за собой изменения его цветового тона, нам следует признать, что цветовой тон ощущения определяется не абсолютной величиной R, G и В возбуждений, не величиной их разности, но их отношением. При этом минимальное возбуждение (например, В при раздражении зеленым светом), величина которого повторяется и в остальных двух, более сильно возбужденных аппаратах, очевидно, на цветовой тон влиять не должно, поскольку равновеликие величины R, G и B вызывают ощущение белого. Поэтому долю, идущую на эту белую подмесь, мы должны вычесть из R и из G и взять отношение оставшихся величин R и G возбуждения. Таким образом, цветовой тон для длинноволновой половины спектра и будет определяться, по Лазареву, отношением

 $F_1 = \frac{R - B}{G - B}$ , а для коротковолновой половины его отношением  $F_2 = \frac{B - R}{G - R}$ . В случае раздражения глаза пурпурным (в спектре не имеющимся) цветом цветовой тон будет определяться аналогичным соотношением  $F_3 = \frac{R - G}{B - G}$ . В случае монохроматического раздражения

R, G и B в этих формулах обозначают просто величины соответствующих ординат, взятые из трех основных кривых. В случае же действия на глаз смешанного света R, G и B берутся как суммы ординат возбуждения, взятые по всему тому участку спектра, который содержится в раздражителе. Иначе говоря, в этом случае R, G и B обозначают площади или интегралы всего R, G и B возбуждения. Что касается яркости цвета, то H — яркость — есть линейная функция яркости вызывающих этот цвет основных возбуждений.  $H = h_r R + h_g G + h_b B$ , где  $h_r, h_g$  и  $h_b$  — яркостные коэфициенты. Поэтому подсчет относительной яркости любого цвета, если нам известны соответствующие величины R, G и B, трудности не представляет. Ч и с т о т а цвета как величина (p), характеризуемая отношением яркости чисто цветной компоненты возбуждения к общей яркости данного цветового возбуждения, может быть определяема на основании кривых трех основных возбуждений глаза, согласно Экснеру, посредством следующей формулы:

$$p = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + 3x_3}{x_1 + x_2 + x_3} = \frac{x_1 + x_2 + 2x_3}{x_1 + x_2 + x_3},$$

где  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  — соответствующие величины R, G и B возбуждений, причем  $x_3$  является наименьшей, т. е. дающей подмесь белого. Подсчет, произведенный по этой формуле, показывает, что концы спектра являются наиболее чистыми, минимум же чистоты приходится на цвет зеленый, близкий к  $500 \, m_{\rm p}$ . Здесь мы видим, таким образом, что чистота цвета не совпадает с его насыщенностью, поскольку мы хотим сравнивать цвета различного цветового тона. Насыщенность как величина (S), характеризуемая числом едва заметных переходов до серого равной яркости, для спектральных цветов является наименьшей для желтого, а не для зеленого. Поэтому для сравнения по насыщенности каких-либо цветов разного цветового тона следует учитывать как их чистоту, так и насыщенность соответствующего им спектрального цвета.

Наряду с основными характеристиками цветового впечатления теория Юнга-Гельмгольца позволяет объяснить как факты смешения цветов, так и явления цветовой слепоты. Цветовая слепота, с точки

зрения гельмгольцевской теории, есть «выпадение» одного из основных цветоощущений. У протанопа отсутствует «красноощущающий» аппарат глаза, у девтеранопа — «зеленоощущающий» аппарат его. Федоровы получали временную протанопию и девтеранопию искусственно путем утомления глаза весьма интенсивным красным (660-680 тр) или зеленым (около 500 тр) светом. Наступавшие после этого на некоторое время изменения в распределении светлоты в спектре как раз соответствовали тем, которые наблюдаются у протанопов и девтеранопов и которые должны иметься по теории, если кривым основных возбуждений придавать реальное значение. Некоторые факты, в частности, факты, касающиеся изменений в цветном зрении дихроматов под влиянием побочных раздражителей, говорят в пользу того, что случаи частичной слепоты мы, с точки зрения трехкомпонентной теории Юнга-Гельмгольца, должны толковать уже не как «выпадение» кривой одного из цветовых возбуждений глаза, но как «совпадение» двух таких кривых. Такое толкование придавал цветовой слепоте и видный последователь теории Юнга-Гельмгольца — Фик.

Цвета последовательного контраста (о чем подробнее у нас будет речь в следующей главе) толкуются теорией Гельмгольца как результат пониженной возбудимости тех цветоощущающих аппаратов, которые по преимуществу функционировали в предшествующий момент. Изменение цветового тона, наблюдаемое часто при продолжающемся воздействии раздражения на глаз, также может быть понято, с точки зрения трехкомпонентной теории цветного зрения, как результат неодинаковой скорости утомления R, G и B цветоощущающих аппа-

ратов.

В качестве аргумента в пользу признания реальности трех кривых основных возбуждений можно привести, наконец, и упоминавшееся уже выше явление Бецольда-Брюкке, состоящее в том, что при ослаблении интенсивности света видимый спектр, прежде чем стать совсем бесцветным, сводится для нас всего к трем цветам: красному, зеленому и фиолетово-синему. Цвета эти как раз соответствуют предполагаемым трем основным возбуждениям и объясняются тем, что при ослаблении раздражителя более слабые возбуждения скорее опускаются ниже порога ощущения, чем значительные возбуждения.

Делались попытки вывести теоретически из трех кривых основных возбуждений и такие факты, как различительную чувствительность нашего глаза к изменению длины волны в разных участках спектра. Так, Кениг полагал, что чувствительность глаза к различению цветов у нас должна быть наибольшей там, где отношения R, G и B возбуждений меняются наиболье быстро. Напротив, в тех областях спектра, где эти отношения меняются при переходе от  $\lambda$  к  $\lambda$  +  $\Delta\lambda$  мало, мы плохо замечаем изменение длины волны. Федорова показала, что нужное число и положение минимумов чувствительности для различения цветности мы можем получить, исходя из кенигайвсовских кривых основных возбуждений, если будем вычислять не просто разность отношений R, G и B для двух соседних длин волн, T, е. не  $f(\lambda_2)$ , —  $f(\lambda_1)$ , но относительное значение этой разности по отношению к величине отношения R, G и B, характеризующего среднюю между взятыми длину волны  $\lambda_m$ , T, е. будем вычислять значение

 $\frac{f(x_2)}{f(\lambda_m)}$ . Чем эта величина меньше, тем меньше и разностная чувствительность глаза. Позже (1935) Федоровыми были сделаны понытки вывести из трех кривых возбуждений глаза и такие явления, как изменение цветового тона при подмешивании белого (так называемое явление Эбнея) и изменение цветового тона при изменении яркости (явление Бецольда-Брюкке). С точки зрения трехкомпонентной теории Юнга-Гельмгольца оказывается пока наиболее удобно истолковывать и данные касательно изменений в цветном зрении под влиянием побочных раздражителей. Об этом мы скажем подробнее ниже в § 9.

В недавнее время трехкомпонентная теория цветного зрения получила известное подтверждение со стороны электрофизиологии. Так, Гранит и Светихин (Principles and technique of the electrophysiological analysis of colour reception with the aid of microelectrodes. Upsala Läkareförenings Förhandlingar. N. F. Том 45, № 1—4, Stockholm, 1939), пользуясь микроманипулятором и микроэлектродами, отводили токи действия от отдельных нервных волокон сетчатки светлоадаптированной лягушки, раздражая сетчатку различными монохроматическими лучами. Перемещая электроды на сетчатке, авторы нашли, что электрический ответ бывает обычно трояким. При одних положениях электродов наибольная чувствительность обнаруживается при раздражении сетчатки красно-оранжевым светом, при других — зеленым, при третых — синим. См. также об этом работу Гранита в «Journ. of the Optic. soc. of America» v, 31, 1941.

Заметим здесь, что трехкомпонентная теория цветного зрения Юнга-Гельмгольца может привести в свою пользу и некоторые, пока, правда, еще недостаточные, данные характера гистологического. Так, Гассе (Zschr. f. ration Medizin, Bd. 29, 252—273, 1867) описывает троение колбочковых окончаний при переходе их в межзернистый слой сетчатки. Лебук (Archives d'anatomie microscopique, т. 10, стр. 583, 1908) говорит о существовании 3—4 нервных волоконец, имеющихся в колбочках, в отличие от одиночного, находимого в сетчаточных

палочках.

От вышеизложенной теории цветного зрения отличается теория, предложенная Герингом. Если исходной точкой трехкомпонентной теории Гельмгольца были факты смешения цветов, то отправным пунктом для построения теории Геринга было психологическое описание особенностей отдельных цветов спектра. Именно, рассматривая спектр, мы можем заметить, что одни цвета производят на нас впечатление цветов простых, не носящих переходного характера. Таковы четыре цвета: красный, желтый, зеленый и синий. Другие же цвета, напротив, нашему непосредственному ощущению кажутся именно переходными, одновременно заключающими в себе оттенки соседних с ними цветов. Такими переходными цветами являются оранжевый, голубой и фиолетовый. Наряду с красным, желтым, зеленым и синим впечатление простоты производят на нас еще и цвета белый и черный. Все эти шесть цветов Геринг и полагает за основные.

Физиологическим субстратом шести основных ощущений служит по Герингу шесть особых химических реакции. Реакции эти протекают в трех цветоощущающих веществах глаза. По Герингу, реакции в одном из этих веществ дают нам ощущение белого или черного («белочерное» вещество глаза), реакции в другом обусловливают ощущение красного или зеленого («красно-зеленое» вещество) и реакции в третьем веществе вызывают ощущения желтого или синего («желто-синее»

вещество). При этом упомянутые химические реакции носят, по Герингу, двоякий характер: или это есть разложение вещества — диссимиляция его, или, наоборот, восстановление вещества — ассимиляция. Диссимиляция вещества вызывает в упомянутых трех веществах ощущения белого, красного и желтого. Ассимиляция же соответствует ощущениям черного, зеленого и синего. Каждое из цветоощущающих веществ глаза стремится к состоянию равновесия между распадом и восстановлением. Такому равновесию в веществах красно-зеленом и в желто-синем отвечает отсутствие у нас всякого ощущения, в веществе же бело-черном ему соответствует некоторый серый цвет («собственный свет сетчатки»). Внешние раздражители нарушают естественное равновесное состояние веществ и тем самым вызывают то или иное ощущение. При этом лучи волн различной длины действуют на одно и то же вещество по-разному. Так, голубые и зеленые лучи вызывают ассимиляцию красно-зеленого вещества, лучи же красные и оранже-

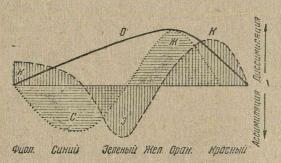


Рис. 140. Схема теории цветного зрения Геринга.

вые — его диссимиляцию. Желтые лучи обусловливают распад желтосинего вещества, синие же лучи — его восстановление. Лишь белочерное вещество реагирует на все лучи спектра только диссимиляцией. Обратный же ассимиляционный процесс в нем вызывается причинами внутренними-упомянутой тенденцией всех веществ к состоянию рав-

новесия. Многообразие всех цветовых тонов и получение их путем смешения, по Герингу, есть результат одновременно имеющихся ассимиляционных и диссимиляционных процессов в различных веществах различные комбинации их и дают нам впечатление различных цветов. Схема, приведенная на рис. 140, иллюстрирует такое понимание: по абсциссе на этом рисунке отложены цвета спектра, по ординатам же величины, характеризующие скорость химической реакции в каждом из веществ. Положение ординаты выше абсциссы обозначает процесс диссимиляции. Смешение дополнительных цветов толкуется Герингом как такой случай, когда ассимиляционные процессы, вызываемые одним цветом, как раз нейтрализуются диссимиляционными процессами, вызываемыми другим дополнительным цветом; остается лишь одно ахроматическое ощущение от всегда имеющегося разложения бело-черного вещества. Отрицательные последовательные образы, с точки зрения теории Геринга, есть проявление того обратного процесса, который в силу тенденции к равновесию возникает после цветного раздражения в цветоощущающем веществе и имеет целью вернуть его вновь в начальное нейтральное состояние. Явления одновременного контраста обусловливаются, по Герингу, тем, что процесс диссимиляции в одном участке нашего зрительного аппарата

влечет за собой обратный процесс ассимиляции в местах соседних, и наоборот. Благодаря этому смежные цвета приобретают всегда взаимно контрастный оттенок. Частичная цветовая слепота, по Герингу, есть результат отсутствия в глазе красно-зеленого вещества (в случае красно-зеленой слепоты) и желто-синего вещества (в случае тританопии). Полная цветовая слепота обусловлена отсутствием обоих хроматических веществ: и красно-зеленого и желто-синего. Распределение яркости у вполне цветнослепых соответствует таковому при сумеречном зрении, когда, по Герингу, функционирует только черно-белое вещество.

Что касается, наконец, различий между протанопами и девтеранопами, а также между протаномалами и девтераномалами, то Геринг приписывает эти различия всецело физическим причинам — различному поглощению света в пигменте желтого пятна и в

хрусталике.

Теория Геринга в ее оригинальном виде, хотя ее и придерживаются многие авторы, не может, однако, быть признана удовлетворительной. Трудными для понимания представляются уже самые основы этой теории — мысль о том, что увеличение распада (диссимиляция) и уменьшение распада (ассимиляция), происходящие в одном и том же веществе, могут повлечь за собой две качественно совершенно различные реакции нервного аппарата, иными словами, допущение того, что нервный аппарат качественно различно реагирует на направление химической реакции.

Лазарев в своем разборе геринговской теории с точки зрения кинетики химических реакций показал, что если считать, что наш глаз отвечает ощущением только на текучий процесс ассимиляции или диссимиляции, т. е. на известную скорость течения химической реакции, то для того, чтобы у нас могло иметься длящееся, постоянное ощущение, пришлось бы допустить, что концентрация цветоощущающего вещества все время линейно растет со временем, чего на самом

деле нет.

Помимо этих общих соображений, следует указать на известную внутреннюю нестройность теории, поскольку бело-черное вещество ведет себя совсем иначе, чем два остальных. Никакой раздражитель ассимиляции в нем вызывать не может, в то время как в красно-зеленом и желтосинем веществах волны некоторой длины вызывают ассимиляцию. Ряд конкретных фактов также не находит себе объяснения в вышеизложенных взглядах Геринга. Как с несомненностью показал Крис, различия между протаномалами и девтераномалами обусловливаются не физическими (различным поглощением зелено-синих лучей в глазных средах), но физиологическими причинами.

Если бы различие обусловливалось тем, что пропускание зеленых, например, лучей глазными средами у аномалов было бы равно  $\frac{1}{}$  той интенсивности, которая

пропускается глазными средами у нормально видящих, то при приравнивании различных цветов к цвету смеси красного с зеленым мы всегда должны были бы у аномалов иметь отношение требующегося количества красных лучей к количеству зеленых в n раз меньше, чем у лиц, у которых пропускание зеленого света в глазных средах равно 1. В таком случае раз мы берем для смеси одни и те же зеленые лучи, отношение этих отношений для нормального и протаномала должно

было бы быть постоянным. Между тем найденные Крисом величины этих отношений оказались далеко не постоянными, как то можно видеть из следующих цифр:

Монохроматический свет, длина волны в тр	Отношение отношений красных лучей к зеленым, потребовавшихся для составления этого монохроматического цвета у нормально видящего и у аномала
628	4,51
693	3,15
581	2,68
561	2,15

Дополнительные цвета, по Герингу, вызывают ангагонистические процессы и ведут к равновесию процессов в хроматическом веществе, т. е. к отсутствию всякого хроматического возбуждения. В таком случае и в последовательном образе от белого раздражения, вызванно-

го смешением двух таких дополнительных цветов, не должно бы было возникать никаких цветовых оттенков. Между тем последовательный образ от белого в ходе своего затухания обнаруживает определенные перемены цветности. Орбели (1910) в работе, выполненной им в лаборатории самого же Геринга, нашел, что последовательный образ от двух смешавшихся друг с другом возбуждений дополнительного цвета не оказывается бесцветным, несмотря на то, что эти дополнительные возбуждения и создают вместе ощущение цвета ахроматического. Не объясняет геринговское понимание и таких случаев цветовой слепоты, какие описаны Шуманом, Киршманом и Дитером. Первый, как мы видели, ощущал красное, между тем как зеленое ощущение у него отсутствовало. В случае же Киршмана и Дитера весь спектр сводился к отгенкам красного и синего.

Важным аргументом против теории Геринга являются факты, наблюдавшиеся Фэрри и Рэнд при определении границ поля зрения для разных цветов. Как мы уже упоминали выше, по данным этих исследователей, оказалось, что границы видения зеленого цвета не совпадают с границами видения красного. В то время как последние при достаточном усилении интенсивности раздражения оказываются теми же, что и границы для белого, зеленый раздражитель в периферических частях поля зрения ни при какой интенсивности не видится как зеленый. С точки же зрения Геринга, границы видения зеленого

и красного должны совпадать.

Кравковым (1937) показано, что цветовая чувствительность протанопа по отношению к оранжево-желтым лучам спектра под влиянием побочных слуховых раздражений не изменяется в противоположность тому, что наблюдается у лиц с нормальным цветным зрением. Между тем, по Герингу, «желтоощущающее вещество», обслуживающее желтый участок спектра, при протанопии должно оставаться неизмененным. Следовательно, найденное Кравковым отсутствие реакции на звук у протанопа при раздражении глаза оранжево-желтыми лучами спектра говорит против теории Геринга, допускающей самостоятельное существование желтоощущающей субстанции цветного зрения.

Брюкнер на основе опытных данных стремился, исходя из теории Геринга, дать количественную картину основных процессов ассимиляции и диссимиляции в красно-зеленом и желто-зеленом веществах глаза.

Вместе с тем им делается попытка согласовать построенные им геринговские кривые основных возбуждений с тремя основными кривыми трехкомпонентной теории.

Геринговские кривые основных возбуждений Брюкнер строит следующим образом. Он берет какой-нибудь спектральный цвет, например, оранжевый, вызывающий, по Герингу, два процесса: красный и желтый. Путем примеси к нему дополнительного к желтому синего цвета он добивается нейтрализации «желтого процесса», так что видимый цвет становится чисто красным. Количество потребовавшегося для этого синего и полагается пропорциональным «желтой валентности», имеющейся во взятом оранжевом цвете. Обратно: подмешивая зеленый до тех пор,пока цвет не покажется чисто желтым,он находит меру «красной валентности»,имеющейся в оранжевом. Подобным путем нейтрализации антагонистического процесса Брюкнер проходит по всему спектру, получая в конце концов кривые, приведенные на рис. 141, где максимальные значения возбуждений всюду приняты за 100, вверх от абсциссы отложены процессы диссимиляционные, вниз — ассимиляционные.

Чтобы установить связь подобных кривых с кривыми основных раздражителей (Elementarempfindungen) Кенига и Дитерици, Брюкнер исходит из допущения, что «желтая валентность» цвета (по Герингу) пропорциональна сумме

щения, что «желтая валентность» цвета ординат кениговских R и G раздражителей. «Синяя валентность» пропорциональна разности B-(R+G); «красная валентность» — разности (R-G) и «зеленая» — (G-R), где B, R и G обозначают соответствующие ординаты кениговских кривых. Внося некоторые дополнительные поправки и выбирая масштаб, Брюкнер в результате находит кривые красно-зеленого и желто-синего возбуждений, весьма близкие к тем, которые были найдены им описанным выше другим методом и приведены на рис. 141.

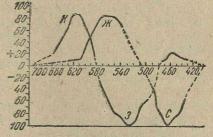


Рис. 141. Кривые основных цветовых возбуждений глаза, вычисленные согласно теории Геринга Брюкнером.

Шредингер, наконец, математическим путем показал, что линейной грансформацией можно от

координат трехкомпонентной теории перейти к кривым, построенным по принципу Геринга, и обратно. Таким образом, формально возможно и согласование обеих теорий.

Поскольку, однако, это не устраняет сомнений, возникающих по поводу основных пониманий геринговской теории, нам представляются все же более вероятными и плодотворными идеи трехкомпонентной теории Юнга-Гельмгольца. Это не значит, конечно, что все вопросы и факты являются данной теорией уже вполне разрешенными и что

дальнейшего развития и дополнения теории не требуется.

С первым и главнейшим таким дополнением мы уже знакомы. Это — теория двойственности нашего зрительного аппарата, разработанная Воиновым, Парино и затем Крисом. Носителем сумеречного ахроматического видения служат палочки сетчатки, в то время как хроматическое, дневное зрение обусловливается функционированием колбочек. Мы видели выше и те аргументы, которые имеются в пользу этой теории, в настоящее время почти общепринятой. Здесь можно лишь дополнительно указать на то, что полная цветовая слепота (при которой распределение яркости в спектре оказывается тем же, что и при сумеречном зрении) понимается теперь как нефункционирование анпарата колбочек, гемералопия же (когда субъект при слабых ярко-

стях оказывается совсем слепым), напротив, - как отсутствие или

понижение чувствительности аппарата палочек.

Редкие случаи полной цветовой слепоты, при которой распределение яркости в спектре сохраняется тем же, что и при нормальном дневном зрении могут быть, наконец, истолкованы как результат «совпадения» всех трех кривых основных цветовых возбуждений глаза.

Фик, Лэдд-Фрэнклин и Шенк, придерживаясь основных пониманий трехкомпонентной теории цветного зрения Юнга-Гельмгольца, допускают, что существование трех цветоощущающих аппаратов (R, G и B) есть результат филогенетической эволюции. Первоначальноимелся один «белоощущающий» аппарат, затем он диференцировался на два: «желтоощущающий» и «синеощущающий». Позже «желтоощущающий» аппарат диференцировался в свою очередь дальше на аппараты «красно» - и «зеленоощущающие».

Факты бинокулярного смешения цветов, вызывания контрастного красного цвета невидимым самим по себе зеленым цветом (случай Шумана), появления контрастного цвета на цветнослепых местах сетчатки в случае хроматического раздражения соседних с ним мест (наблюдения Чермака), изменения цветоощущения под влиянием ряда побочных раздражений и некоторые другие факты заставляют думать, что для удовлетворительного объяснения всей совокупности явлений цветного зрения требуется принимать в расчет не только периферические процессы, происходящие в сетчатке, но и более центральные физиологические процессы, имеющие место в вышележащих местах нашей нервной системы. Правда, наши знания об этих процессах еще весьма малы, и то или иное высказывание о них является в большинстве случаев не более, как только формальной гипотетической схемой.

Ниже мы поэтому лишь коротко остановимся на главнейших из таких многоступенных теорий зрения. В общей форме необходимость учитывать при объяснении фактов цветного зрения не только периферические, но и центральные процессы была высказана впервые Аубертом и затем развита Крисом. Согласно «теории зон» последнего, сетчаточные процессы соответствуют пониманиям трехкомпонентной теории, мозговые же процессы следуют, вероятно, иным закономерностям. По Мюллеру, надо различать три уровня физиологических реакций, обусловливающих цветовое ощущение. Во-первых, первичные процессы в сетчатке, носящие характер сенсибилизаторов, во-вторых, хроматические, «промежуточные» процессы в сетчатке же и, наконец, в-третьих, более центральные возбуждения. Нижеследующая схема может иллюстрировать то, как Мюллер понимает каждую из этих ступеней цветового возбуждения (рис. 142). «Первичных» процессов три:  $P_1$ ,  $P_2$ , и  $P_3$ , причем интенсивность каждого из них также зависит от длины волны раздражающего света, как три основные возбуждения по гельмгольцевской теории цветоощущения. Каждый из этих первичных процессов влияет непосредственно на конечное возбуждение белого-W. Кроме того, каждый же первичный процесс влияет и на хроматические «промежуточные» процессы. При этом  $P_1$  вызывает r и gb,  $P_2$  вызывает g и gb и  $P_3$  вызывает b. Промежуточные процессы ги д, дб и в парно связаны друг с другом, как то мыслится Герингом о красно-зеленом и желто-синем возбуждениях. Выпадать красное и зеленое (или желтое и синее) могут здесь лишь оба сразу. Одновременное наличие r и g или gb и b может нейтрализовать друг друга. Каждый из промежуточных процессов в свою очередь связан с тремя конечными центральными процессами. Всего таких центральных возбуждений Мюллер допускает шесть: красное -R, желтое -E, зеленое -G, синее -B, белое -W и черное -S. Они не связаны друг с другом и могут выпадать изолированно. Связь промежуточных процессов с этими конечными такова: r вызывает

R, E и W; gb вызывает E, G и W; g влечет за собой G, B и S и b обусловливает возбуждение B, R и S. При помощи этой схемы Мюллера (или же при помощи подобной ей схемы Шьельдеруппа) можно объяснить все известные случаи цветовой слепоты, как случаи выпадения того или иного периферического, промежуточного или центрального процесса. Так, например, у протанопов мы имеем выпадение промежуточного r-g процесса, у девтеранопов — выпадение конечных R и G; случай цветовой слепоты Шумана может толковаться как выпадение конечного G, полная цветовая слепота с сохранением того же распределения яркости в спектре, какое

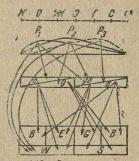


Рис. 142. Схема теории цветного зрения Г. Мюллера.

имеется при цветном зрении, будет, согласно схеме Мюллера,

выпадением промежуточых r - g и gb - b.

Оригинальная теория цветного зрения предложена была Вейтертом. Этот исследователь наблюдал, что при освещении очень слабых растворов некоторых светочувствительных веществ (фотохлориды, зрительный пурпур) наблюдается уподобление цвета раствора цвету раздражающего света. Таким образом, в зависимости от длины волны этого последнего один и тот же раствор может приобретать самые различные оттенки. Всякий раздражитель вызы-

вает таким путем свое специфическое действие.

Вейгерт предполагает, что зрительный пурпур имеется не только в палочках сетчатки, но и в колбочках. В колбочках он имеет лишь гораздо более слабую концентрацию. Поэтому его и не удается там открыть прямым наблюдением. Вместе с тем именно благодаря такой весьма слабой концентрации он, по Вейгерту, и подчиняется вышеупомянутым законам уподобления цвету раздражителя. Это же уподобление, связанное с механическими перемещениями внутри частиц светочувствительного вещества, и служит, по Вейгерту, тем физиологическим процессом, который определяет собой наше цветное ощущение. На специальных моделях «искусственных сетчаток», сделанных из слоев желатины, содержащих зрительный пурпур в очень слабой концентрации, Вейгерт и Накашима наблюдали ряд явлений «цветового уподобления», в известной мере аналогичных с процессами цветного зрения.

Идеи Вейгерта, хотя и представляют интерес, вызывают большие затруднения, если мы зададимся вопросом, как же себе следует пред-

ставлять связь описываемых Вейгертом периферических процессов сетчатки с конечными зрительными центрами. Можно принять, что проводящих путей и центров существует столько же, сколько может быть особых периферических процессов. Такое допущение, однако, весьма невероятно и отвергается самим Вейгертом. Далее можно думать, что одни и те же проводящие пути и центры служат для всех качественно различных возбуждений. Такое допущение, к которому, повидимому, склоняется Вейгерт, требовало бы пересмотра принятой в физиологии закономерности, говорящей о специфичности нервных центров, выработанной в результате многовекового приспособления к адэкватным раздражителям. Наконец, Вейгерт говорит и о третьей возможности: считать сетчаточные процессы за конечные физиологические процессы, определяющие собой цветовое ощущение. Такая мысль, помимо всего прочего, делает совершенно необъяснимыми факты бинокулярного смешения цветов. Ввиду всего этого взгляды Вейгерта пока еще не приводятся в удовлетворительную связь со всеми прочими данными физиологий зрения.

## § 9. О взаимоотношении цветоощущающих аппаратов глаза. Цветное зрение и вегетативная нервная система

Применение метода побочных раздражителей позволило нам несколько ближе подойти к выяснению физиологической природы воспринимающих аппаратов цветного зрения. Так, описанные выше в § 6 факты зависимости цветного зрения от целого ряда различных побочных раздражителей — слуховых, обонятельных, вкусовых и температурных — нарисовали картину неожиданную и на первый взгляд удивительную. Оказалось, что все эти различные, применявшиеся Кравковым и его сотрудниками побочные раздражители меняют цветовую чувствительность глаза одинаковым образом: чувствительность к зелено-синим лучам спектра повышается, чувствительность же к лучам оранжево-красным снижается. Очевидно, что такая закономерность реакции цветного зрения должна зависеть, во-первых, от свойств тех отдельных рецепторов, тех отдельных цветоощущающих аппаратов, которые лежат в основе нашего цветного зрения, и, во-вторых, от свойств тех побочных раздражителей, которые применялись.

Придерживаясь основных воззрений трехкомпонентной теории цветного зрения Юнга-Гельмгольца, возьмем кривые основных цветовых возбуждений глаза (в том виде, как они установлены Федоровыми) и сопоставим их с той картиной изменений цветовой чувствительности от побочных раздражителей, которая была найдена в опытах Кравкова и Добряковой. Это сопоставление наглядно дается на рис. 143, где кривые изменения цветовой чувствительности под влиянием звука и кривые изменения критической частоты мельканий под влиянием обонятельного, теплового и вкусового раздражителей воспроизведены на фоне кривых основных возбуждений глаза (R — красного, G — зеленого и B — синего). Из рис. 143 можно видеть прежде всего, что нейтральная область, в которой цветовая чувствительность под влиянием побочных раздражителей никак не меняется, близка к месту пересечения кривых R и G. В сторону коротко-

волновых лучей от этого места, т. е. в той части спектра, где преобладает возбуждение зеленое (G), побочные раздражители повышают цветовую чувствительность; по отношению же к цветам, лежащим в другую, длинноволновую сторону спектра, т. е. там, где преобладает возбуждение красное (R), чувствительность при воздействии побочных раздражителей снижается. Отсюда возникает естественное предположение, что описанные выше побочные раздражители повышают возбудимость «зеленоощущающего» аппарата нашего глаза и снижают возбудимость его «красноощущающего» аппарата. При некотором же соотношении возбуждений «зелено»-и «красноощущающего» аппаратов эти обратные изменения чувствительности для зеленого и красного могут уравновешивать одно другое, в результате чего при воздействии побочного раздражителя мы и не будем наблюдать для

света данной длины волны ни повышения, ни понижения чувствительности. Как можно видеть из кривых, такая безразличная зона в спектре лежит около 570 mp, т. е. там, где ординаты кривых основных возбуждений глаза R и G друг другу равны, т. е. где кривые пересеканотся.

Данные опытов говорят также о том, что эффективность побочных раздражителей уменьшается по мере того, как мы берем в качестве светового раз-

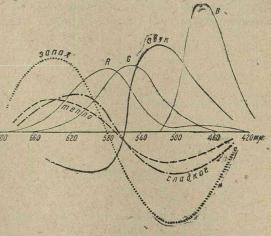


Рис. 143. Сопоставление эффекта действия различных побочных раздражителей с кривыми основных цветовых возбуждений глаза.

дражителя лучи, приближающиеся к концам спектра — к крайнему красному и фиолетовому. Опыты показали, что, например, по отношению к лучам красным с длиной волны 680—690  $m_{\mu}$ , равно как и по отношению к лучам фиолетовым с длиной волны в 430  $m_{\mu}$ , реакции глаза под влиянием побочных раздражителей остаются без изменения. Упомянем здесь, что такая неизменность эрительных реакций по отношению к крайним красным лучам спектра была описана впервые в проведенной в нашей лаборатории работе Яковлева, касавшейся изменения границ цветных полей зрения под влиянием побочного звукового раздражения.

О чем же говорят эти факты? Обратимся опять к кривым трех основных цветовых возбудителей глаза, изображенным выше. Не трудно увидеть в таком случае, что глаз не реагирует на побочные раздражители как раз в тех лучах, которые не затрагивают (или почти не затрагивают) «зеленоощущающего» аппарата глаза. Отсюда напрашивается вывод, что цветное зрение меняется под влиянием побочных раздражителей лишь в том случае, если попадающие в глаз световые лучи

возбуждают «зеленоощущающий» рецептор нашего зрения. «Красноощущающий» же аппарат глаза, равно как и «синеощущающий» аппарат его, применявшимися нами побочными раздражителями непо-

средственно не затрагивается.

Теперь, если мы пришли к выводу, что «зеленоощущающий» аппарат повышает свою возбудимость под влиянием применявшихся побочных раздражителей и, с другой стороны, если мы признали, что побочными раздражителями непосредственно затрагивается лишь «зеленоощущающий» аппарат глаза, то как же объяснить снижение чувствительности от побочных раздражителей, наблюдаемое по отношению к лучам оранжево-красной части спектра? Очевидно, приходится допустить, что возбуждаемый побочными раздражителями непосредственно «зеленоощущающий» аппарат глаза в свою очередь оказывает уже вторичное — тормозное — действие на аппарат «красноощущающий». В силу же этого чувствительность к той части

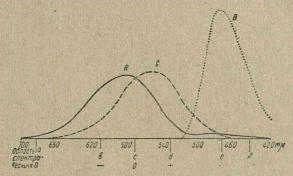


Рис. 144. Эффект действия побочных раздражителей на цветовую чувствительность глаза в зависимости от затрагиваемой области спектра (по Кравкову).

спектра, которая возбуждает по преимуществу этот «красноощущаю-

щий» аппарат, и оказывается сниженной.

Из кривых, приведенных на рис. 143 можно далее видеть, что побочные раздражители оказывают заметное влияние на реакции глаза по отношению к лучам синим, в частности, и к тем, которым соответствует второе место пересечения кривых основных возбуждений R и G. Чтобы истолковать этот факт в связи со всем тем, что было нами найдено выше, остается признать, что возбуждение «зеленоощущающего» аппарата действует на «синеощущающий» рецептор сенсибилизирующим образом.

Итак, в итоге нашего анализа влияний, оказываемых побочными раздражителями на цветное зрение, мы пришли к следующему толкованию этого влияния для реакций глаза по отношению к отдельным участкам спектра. См. рис. 144, где приведены ривые основных цветовых возбуждений глаза и типичные участки в спектре, обозначенные

буквами a, b, c, d, e и f.

Зона a (G почти не затрагивается) — нет и реакции на побочные раздражители.

Зона b (участвует G, преобладает R) — тормозная реакция  $\mathbf B$  силу угнетающего действия G на R.

Зона c (равновеликое участие G и R) — отсутствие реакции.

Зона d (преобладание G)— реакция повышения чувствительности. Зона e (равновеликое G и R, также имеется возбуждение B) — реакция повышения чувствительности в силу сенсибилизирующего действия G на B.

Зона f (отсутствие G) — реакция на побочные раздражители от-

сутствует.

Таким образом, изучение фактов изменяемости нашего цветного зрения под влиянием побочных раздражений заставляет нас, во-первых, признать, что «зеленоощущающий» аппарат в трихроматическом зрении занимает особое положение в смысле своей способности реагировать на побочные раздражители и, во-вторых, допустить существование между отдельными аппаратами цветного зрения особых функциональных связей как тормозного, так и содействующего характера.

Со всем этим все же оставался непонятным и требовал своего истолкования тот факт, что применявшиеся нами весьма различные побочные раздражители — и слуховые, и обонятельные, и температурные, и вкусовые — все влияли на цветное зрение одинаковым образом. Очевидно, в физиологической природе этих побочных раздражений было что-то сходное. В чем же это сходное можно усматривать?

В настоящее время мы уже можем дать на этот вопрос ответ, имеющий известную вероятность. Найти этот ответ нам помогло следующее обстоятельство. Испробовав в качестве побочного обонятельного раздражителя, наряду с запахом бергамотового масла и гераниола, также и запах индола, мы натолкнулись на факт отсутствия какойлибо заметной реакции цветного зрения на этот запах. Между тем по своей интенсивности запах индола был не слабее, чем запахи берга-

мотового масла или гераниола.

Обратившись же к соответствующей литературе, мы нашли, между прочим, классификацию запахов по их различному действию на вегетативную нервную систему. Одни запахи симпатикотропны, другие ваготропны. Согласно Мартинэ, индол должен быть отнесен к запахам ваготропным, в то время как запахи бергамотового масла и гераниола поднимают тонус специально симпатического отдела вегетативной нервной системы — они симпатикотропны. Мы предложили сотруднику нашей лаборатории Зарецкой проверить это различение. В качестве условного показателя симпатико- или ваготропности испытываемого запаха мы брали изменение частоты пульса при 5—10-минутном пассивном вдыхании запаха. Опыты, проведенные более чем с 10 лицами, показали, что запахи бергамотового масла и гераниола вызывают учащение пульса, запах же индола или никак не сказывается на пульсе, или же вызывает некоторое его замедление. Таким образом, можно было думать, что разница в действии запахов бергамотового масла и гераниола, с одной стороны, и индола — с другой, связана с тем, что первые два запаха оказывают на организм симпатикотропное действие.

Возникал вопрос, как же ведут себя в отношении симпатикотропности все прочие, применявшиеся нами побочные раздражители,

225

влиявшие на цветное зрение совершенно так же, как запах бергамотового масла?

По нашей просьбе Зарецкой были проведены опыты с влиянием на частоту пульса и других раздражителей, применявшихся у нас в качестве побочных раздражителей для цветного зрения, а именно звукового (соответствующей высоты и громкости), теплового (согревание рук) и вкусового (вкус сахара). Во всех случаях оказалось, что эти раздражители учащали пульс, т. е. тоже действовали симпатикотропно. Возникала, естественно, гипотеза, не лежит ли в основе действия побочных раздражителей на цветное зрение изменение состояния вегетативной нервной системы и, в частности, симпатического отдела ее. Проверить такую гипотезу нам казалось возможным, если испытать. как влияет на цветное зрение прямое воздействие симпатикомиметических средств. Для этого мы выбрали введение адреналина. Адреналин (1—2 капли концентрацией 1:1000) инстиллировался в конъюнктивальный мешок одного из глаз испытуемого. Инстилляция производилась обычно на 60-й минуте темновой адаптации. Общая продолжительность темновой адаптации равнялась 2 часам. Испытываемыми зрительными функциями опять были абсолютная цветовая чувствительность глаза и критическая частота мельканий. Световыми раздражителями служили различные монохроматические лучи спектра. Опыты показали, что под влиянием адреналина, введенного в конъюнктивальный мешок одного глаза, происходят определенные изменения в цветном зрении как в критической частоте мельканий, так и в абсолютной цветовой чувствительности. При этом было обнаружено, что изменения происходят не только в том глазе, в который введен адреналин, но и в другом глазе. Таким образом, оказалось, что инстилляция адреналина (1:1000) в конъюнктивальный мешок может оказывать общее действие.

Особый интерес для нас представило то обстоятельство, что эффект действия адреналина на цветное зрение оказался различным в зависимости от того, по отношению к каким лучам спектра мы данную зрительную функцию испытывали. По отношению к лучам оранжевато-красным адреналин вызывает понижение цветовой чувствительности, по отношению к лучам зелено-синим, напротив, цветовая чувствительность повышалась.

На рис. 145 приведены типичные результаты опытов с одной испытуемой, в которых изменение цветовой чувствительности под влиянием

адреналина было определено для ряда спектральных лучей.

По ординате отложены величины  $\frac{E_2}{E_1}$ , где  $E_1$  обозначает уровень цветовой чувствительности, имеющийся на 100-й минуте темновой адаптации без введения в глаз адреналина, а  $E_2$  — уровень чувствительности на той же 100-й минуте адаптации, найденный после того, как на 60-й минуте в глаз был инстиллирован адреналин.

Бросается в глаза одинаковость найденной здесь картины с той, что была уже описана нами при изложении действия на цветное зрение применявшихся нами побочных раздражителей (рис. 143).

Все побочные раздражители, вызывавшие в наших опытах изменения в цветном зрении испытуемых, как мы уже говорили выше, 226

оказывали в то же самое время симпатикотропное действие. Теперь мы видим, что совершенно такие же изменения цветовой чувствитель-

ности может повлечь за собой введение в глаз адреналина.

Не вправе ли мы после этого считать, что физиологической основой всех описанных изменений цветного зрения при воздействии побочных раздражителей является, помимо прочего, изменение состояния вегетативной нервной системы и, в частности, симпатического отдела ее? В этом-то одинаковом влиянии на симпатическую нервную систему и приходится усматривать то общее, что имеют в своем действии на организм различные побочные раздражители (слуховые, обонятельные, термические и вкусовые), которые применялись нами

и которые, несмотря на свое различие, влияли на цветное зрение совершенно одинаковым образом.

Таким образом, вся совокупность фактов, найденных в нашей лаборатории в последние годы при изучении изменений цветного зрения под влиянием побочных раздражителей, приводит к выводу о зависимости цветного зрения от вегетативной нервной системы. Больше того, мы имеем основания делать и более конкретные утверждения и говорить о связи с состоянием симпатической нервной системы спе-

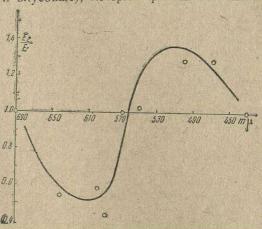


Рис. 145. Изменение цветовой чувствительности глаза под влиянием инстилляции адреналина (по Кравкову).

циально «зеленоощущающего» аппарата нашего глаза. Поскольку же «зеленоощущающий» аппарат нашего зрения имеет определенные функциональные связи с остальными двумя аппаратами глаза («красным» и «синим»), приходится признать, что особенности нашего цветного зрения в целом тесно связаны с состоянием вегетатив-

ной нервной системы.

О зависимости цветного зрения от вегетативной нервной системы говорят и данные последних опытов Кравкова и Галочкиной (1944) относительно влияния электротсна на цветовую чувствительность. Об этих результатах нами уже упоминалось выше. Электротон характеризуется увеличением отно ительной концентрации иснов калия на катоде и ионов кальция на аноде. По ряду своих физиологических действий калий и кальций взаимно антагонистичны. При этом для нас особенно интересно отметить сейчас то, что эти противоположные действия ионов калия и кальция оказываются совершенно подобными эффектам раздражения вегетативных нервовпарасимпатического (в случае калия) и симпатического (в случае кальция) (Цондек 1922,1923). Поскольку при анэлектротоне у нас наблюдалось повышение цветовой чувствительности к зелено-синим

лучам и понижение ее қ лучам красно-оранжевым (см. рис. 146), высказанное выше соображение о симпатикотропности зеленоощущающего аппарата находит себе подтверждение и с этой стороны.

Наконец, еще ранее того выполненные в нашей же лаборатории эксперименты Зарецкой (1941) показали, что под влиянием освещения глаз зеленым светом внутриглазное давление снижается, при освещении же светом красным — оно, напротив, повышается.

Регуляция внутриглазного давления, несомненно, зависит от вегетативных реакций, влияющих на образование жидкостей в глазе и на сосудистую систему его. Поэтому вышеупомянутые наблюде-

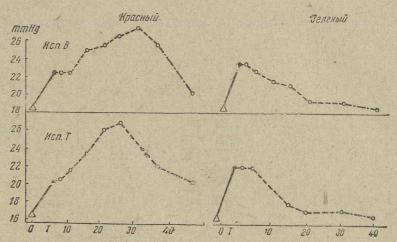


Рис. 146. Изменение внутриглазного давления под влиянием освещения другого глаза (по Зарецкой),

По ординате — величина давления; по абсциссе—O—момент начального измерения в условиях комнатной оевещенности; T — после часа темновой адаптации; цифры — минуты освещения другого глаза.

ния Зарецкой должны также говорить о вегетативной противоположности красно-и зеленоощущающих аппаратов нашего глаза.

## § 10. Основы измерения цветов (колориметрия)

Теоретические представления о природе цветоощущения, изложенные выше в связи с трехкомпонентной теорией Юнга-Гельмгольца, могут быть приведены в естественную связь и с такими чисто практическими вопросами, как, например, измерение цвета.

В измерении и однозначном обозначении цветов заинтересован

ряд специальностей.

Вопросы методики измерения цветов составляют в настоящее время особую область цветоведения — колориметрию. Излагать здесь колориметрию со сколько-нибудь исчерпывающей полнотой не входит в план нашей книги. Мы хотели бы, однако, показать, как основы колориметрии связываются с вышеизложенными факторами физиологии зрения.

Цвет зависит от тех лучей, которые попадают нам в глаз. Мы знаем, что, изменяя длину световой волны, мы будем менять и видимый цвет.

Однако связь цветового впечатления с физическим составом раздражителя не является однозначной. Весьма различные по своему физическому составу лучи могут вызывать у нас ощущения совершенно одинакового цвета. Например, один и тот же белый цвет может быть получен путем смешения различных пар дополнительных цветов, монохроматический желтый может быть для нас совершенно таким же, как и желтый, полученный от смешения красных лучей с зелеными. Для колориметрии из этого отсутствия однозначной связи ощущения цвета с физическими свойствами раздражителя следует тот важный вывод, что от спектра отражения какой-либо цветной поверхности мы не можем еще прямо умозаключать об ее цвете.

Почему же свет различного спектрального состава может казаться одинаковым? Наиболее вероятным здесь будет ответ: потому, что волны различной длины в своей комбинации могут обусловливать одинаковое соотношение основных физиологических возбуждений глаза. Таким образом, поиски конечного и вполне однозначного определения цвета приводят нас к необходимости определить картину возбуждения тех основных цветоощущающих аппаратов глаза, которые данным цветом вызываются. Если придерживаться взглядов Юнга-Гельмгольца, это означает, что для того, чтобы вполне точно определить цвет, нам надо знать соответствующие ему R', G' и B'. Зная же R', G' и B', мы, пользуясь формулами, приведенными выше, сможем количественно подсчитать все три основные характеристики цвета, т. е. его цветовой тон, светлоту и чистоту. Чтобы найти R', G' и B', соответствующие данному цветному раздражителю, например, цвету данной цветной ткани, нам надо знать, во-первых, ее спектр отражения S, во-вторых, три общеустановленные кривые основных возбуждений глаза —  $\hat{R}, G$   $\hat{u}$  B u, B-третьих, распределение энергии J B том освещающем источнике, которым мы имеем в виду пользоваться при рассматривании цвета данной ткани. Когда все эти величины известны, надлежит поступать следующим образом. Во-первых, разделить ординаты кривых основных возбуждений глаза R,  $\hat{G}$  и B на соответствующие ординаты кривой распределения энергии в том спектре, для которого построены эти кривые. Это деление даст картину кривых основных возбуждений для спектра с равномерным распределением энергии; назовем их через  $R_e,\ G_e$  и  $B_e$ . Теперь следует перемножить ординаты спектра отражения S на ординаты каждой из этих трех кривых основных возбуждений  $R_e$ ,  $G_e$  и  $B_e$  и полученные произведения (для каждой из точек абсциссы) помножить еще на ординаты кривой распределения энергии Ј в освещающем источнике света, т. е. для каждой из точек абсциссы должно быть найдено произведение SJ на соответствующее значение кривых  $R_e$ ,  $G_e$  и  $B_e$ . Так как такие произведения для каждой из трех основных кривых будут особыми, то в результате у нас получатся три новые кривые основных возбуждений R', G' и B', как раз соответствующие цвету с данным спектром отражения S, рассматриваемому в свете источника с распределением энергии J. В таком случае остается лишь взять площади новых кривых R', G' и B' возбуждений. Величинами их будут:

 $R' = \int_{\lambda_{400}}^{\lambda_{700}} (\lambda) S(\lambda) J(\lambda) d\lambda,$ 

$$G' = \int_{\lambda 400}^{\lambda 700} (\lambda) S(\lambda) J(\lambda) d\lambda,$$

$$B' = \int_{\lambda 400}^{\lambda 700} B_e(\lambda) S(\lambda) J(\lambda) d\lambda.$$

Подставим их в те формулы для подсчета цветового тона чистоты и яркости, которые были приведены нами выше. Это и даст нам окончательную количественную и вполне однозначную характеристику данного цвета.

В практике колориметрии пользуются в настоящее время, однако, не самими кривыми основных возбуждений глаза, а связанными с ними

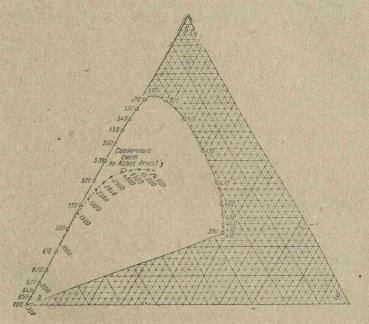


Рис. 147. «Равноступенный» треугольник сложения основных раздражителей (по Джэдду).

кривыми сложения основных раздражителей, принятыми Международной осветительной комиссией 1931 г. (см. выше рис. 118). Цветовой тон и чистота цвета, поскольку найдены величины основных раздражителей х и у, легко определяются графически по треугольнику сложения основных раздражений. Джэдд (1935) предложил особым образом трансформировать международно принятые кривые основных раздражителей и выразить их в координатах новых раздражителей г, g и b. Эта трансформация замечательна тем, что возникающий в результате ее треугольник смешения основных раздражителей (рис. 147) по замыслу автора обладает свойством «равноступенности», т. е. расстояния точек на треугольнике пропорциональны видимой разнице цветов, соответствующих этим точкам.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### § 1

Grassmann H., Poggendorffs Annalen der Physik, Bd. 89, 1853. — Қгагир Н., Physisch-ophthalmologische Grenzprobleme, Leipzig, 1906. — Тго-land L., J. Opt. soc. Amer., v. 6, No. 6, 1922. — Grünberg V., Wien. Ber. II a, Bd. 113, 1904. — Sinden R., J. Opt. soc. Amer., v. 7, 1923. — Gullstrand A., Graefe's Arch. Ophth., Bd. 62, 1906. — Angier u. Trendelen burg W., Zschr. Psych., Bd. 39, 1905. — Goodlove J. H., J. Opt. soc. Amer., v. 24, 1934. — Lempicka W. v., Zschr. Sinnesphys., Bd. 50, 1918. — Қаг bows ki M., Graefe's Arch. Ophth., Bd. 135, 1935. — Ньютон И., Опгика, перев. С. И. Вавилова, Гиз, 1927. — Теплов Б. М. и Яков дева С. П., Сборник «Зрительные ощущения и восприятия», М. — Л., 1935.

#### §§ 2-3

MaxwellJ.C., On the theory of compound colours and the relations of the colours of the spectrum (1860), Scientific papers, Cambridge, v. 1, p. 410, 1890. — KōnigA.u.DietriciC., KōnigAs gesammelte Abhandlungen zur physiologischen Optik, 1903. — Abney W., Researches in colour vision, 1913. — Roesch S., Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Bd. 30, 1929. — Exner F., W. Ber., IIa, Bd. III, 1902. — Ives H., J. Frankl. inst., v. 195. — Wright W., A re-determination of the trichromatic mixture data, London, 1929. — Schroedinger, E., Die Gesichtsempfindungen; Müler-Pouillet's Lehrbuch d. Physik, 2-te Aufl., Bd. 2, 1926. — GuildJ., Trans. Roy. soc., London, ser. B, v. 230, 1931. — Hamilton W., Freeman E., J. Opt. soc. Amer., v. 22, 1932. — JuddD. B., J. Opt. soc. Amer., v. 23, 1933. — Piper H., Zschr. Psych., Bd. 32, 1903. — Silva H. a. de Bartleys., Brit. j. psych., v. 20, 1930. — Sherrington of Ch., Integrative action of the nervous system, London, 1920. — Trendelen burg W., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 48, 1913. — Rochat G., Graefe's Arch., Bd. 114, 1924. — Rochat G., Arch. Neerland. de physiologie de l'homme et des animaux, v. 7, 1922. — Trendelen burg W., Pfl. Arch., Bd. 201, 1923. — Hecht S., On the b. nocular fusion of colours and its relation to theories of colour vision, Proc. Nat. acad. sci., Washington, v. 14, 1928. — Федоровы В. И.и. Н. Т., Известия Академии наук СССР, стр. 1431, 1935. — Лившиц Н. Н., Доклады Академии наук СССР, № 6, 1940. Ходин О. В., Воен.-мед. журн., ноябрь—декабрь, 1876.

#### 8 4

Dobrowolsky W., Graefe's Arch. Ophth., Bd. 18, 1872. Pfl. Arch, Bd. 24, 1881. — König A., Ges. Abhandlungen, 1903. — Steindler O., Sitzber. Wien. Akad., Bd. 115A, 1906. — Jones, J. Opt. soc. Amer., v. 1, 1917. — Laurens a. Hamilton, Amer. j. physiol., v. 65, 1923. — C. Rosencrantz, Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 58, 1927. — Wright W., a. Pitt F., Proc. Physic. soc, v. 46, 1934; v. 47, 1935. — Bruecke E., Sitzber. Wien. Akad., Abt. 3, Bd. 77, 1878. — Bezold W., Poggendorffs Annalen der Physik, Bd. 150, 1873. — Jones A. a. Lowry E., J. Opt. soc. Amer., v. 13, 1926. — Priest J. a. Brickwedde F., J. Opt. soc. Amer., v. 13, 1926. — Martin L., Warburton F. a. Morgan W., Report of a joint discussion on vision, London, 1932. — Компанейский Б. Н., Труды Института мозга имени Бехтерева, т. 9, 1939.

#### \$\$ 5-6

Tschermak A., Kontrast und Irradiation, Erg. Physiol., II, 1902. — Kirschmann A., Philos. Studien, Bd. 6, 1891. — Schjelderupp-Ebbe, Neue Psychol. Studien, S. 63, 1926. — Ebbinghauss, Sitzber. der Berliner Akademie, Bd. 49. — Eberhardt M., Psychologische Forschung, Bd. 5, 1924. — Hartridge, J. physiol., v. 50, 1915. — Fechner G. T., Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 7, 1860. — Helmholtz H., Handbuch physiol. Opt., Bd. 2, § 24. — Hering E., Lehre vom Lichtsinn, 1920; Pfl. Arch., Bd. 40, 41, 1887. — Schumann Fr., Berichte ü. d. Psycholog. Kongress zu

Giessen, 1904. — Ferree G. E. a. Rand G., J. gen. psychol., v. 11, 1934. — Bruecke E., Pogg. ann., Bd. 84, 1851. — Kuhnth., Graefes Arch. Ophth., Bd. 27, 1881. — Urbantschitschitschi. — Kuhnth., Bd. 42, 1888. — Taner A. a. Anderson K., Psych. rev., v. 3, 1896. — Kravkov S. V., Actamedica URSS, No. 3, 1939; Journ. Opt. soc. Amer., v. 31, 1941. — Jakovlev P. A., J. Opt. soc. Amer., v. 28, 1938. — Tennobe omymehum ubochpumtum, Cophum «Зрительные ощущения и восприятия», 1935. — Эббингхаус Г., Основы психологии, СПБ, 1911. — Кравков С. В., Известия Академии наук СССР, 1937, серия биолог., № 1; Советский вестник офталмологии, т. 8, 1936; Вестник офталмологии, т. 10, 1937; т. 11, 1937; т. 14, 1939; т. 15, 1939; Доклады Академии наук СССР, т. 22, 1939; Физиологический журнал СССР, т. 28, 1940. — Сборник «Зрительные ощущения и восприятия», М., 1935. — Богословский А. И. и Кравков С. В., Тезисы докладов на конференции по авиамедицине, Л., 1939. — Вишневский невский журнал СССР, т. 18, 1935. — Шварц Л. А., Докл. Акад. наук СССР, т. 45, № 5, 1944. — М кртычева Л. и Самсонова В., Докл. Акад. наук СССР, т. 44, № 1. 1944.

#### § 7

Müller G. E., Typen der Farbenblindheit, Göttingen, 1924.— Kries I. v., Normale und anomale Farbensysteme, Helmholtz's Handbuch, Bd. 2, S. 333. — В I и т Р. et Schaaf E., Le daltonisme, Paris, 1929. — Rydin H., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 60, 1929. — Нірре I V., Graefe's Arch., Bd. 26, 1880; Bd. 27, 1881. — I shihara S., Tests for colour-blindness, 5 ed., Tokio. — Schumann F., Bericht. d. I Kongress f. exp. Psychologie in Giesen, 1904. — Kirschmann A., Philos. Stud., Bd. 8, 1893. — Becker O., Graefe's Arch., Bd. 25, 1879. — Grunert K., Graefe's Arch., Bd. 56, 1903. — Cohn H., Breslauer ärztliche Zeitschrift, Nr. 6, 1880; Dtsch. med. Wschr., Nr. 16, 1880. — Angeluc ci, Annali di oftalmologia, t. 36, 1907. — Rayleich, Nature, v. 25, 64, 1881. — Schroed in ger E., Die Gesichtsempfindungen. — Mueller-Pouillet's, Lehrbuch der Physik, Bd. 2, 1926. — Nagelw., Zschr. Augenhk., Bd. 17, 1907. — Rosmanit J., Anleitung zur Feststellung der Farbentüchtigkeit, 1914. — Trendelen burg W., Klin. Mbl. Augenhk., Bd. 83, 1929. — Engelking, Klin. Mbl. Angenhk., Bd. 90, 1933. — Головин С. С., Клиническая офталмология, т. І, вып. 2, 1923. — Крав бель И. Э., Вестник офталмологии, т. 13, 1933. — Самойлов А. Я., Советский вестник офталмологии, т. 8, 1936. — Рабкин Е. Б., Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения, 2-е изд., Госмедиздат, 1939.

## §§ 8—9

Young Th., Lecture on the theory of light and colours, Philos. trans. Roy soc., London, p. 21, 1802; An account of some cases of the production of colours, not hitherto described, p. 395. — He I m holtz H. v., Handbuch. — Hering E., Sitzb. Wien. Akad. Math.-nat. Kl. d, 69, 1874; Lehre vom Lichtsinu. Wien. 1874; Lotos, N. F. B-de 1 u. 2, 1880, 1882; Wissenschaftliche Abhandlungen. Leipzig, 1931. — Hechts., J. Opt. soc. Amer., v. 20, No. 5, 1930. — Parsons J. H., An introduction to the study of colour vision, Cambridge, 1924. — Fick A., Pfl. Arch., Bd. 47, 1890. — Ladd-Franklin, Zschr. Psych., Bd. 14, 1893; Brit. j. ophth., v. 7, 1923. — Kries J. v., Helmholtz's Handbuch, Bd. 2. — Fedorow N. T. u. Fedorowa V. J., Zschr. Physik, Bd. 57, 1929; Die Naturwissenschaften, H. 40, 1928. — Allen E., Philos. mag., v. 38, 1919; J. Opt. soc. Amer., 1923 и ряд других его статей в этом же журнале за последние годы. — Troland L., The present status of visual science, p.67, 1922. — König A., Gesammelte Abhangdlungen, 1903. — Bruekner A., Zschr. Sinnesphysiologie, Bd. 58, 1927. — Weigert F., Bethes Handbuch er normalen und pathologischen Physiologie, Bd. XII, S. 536, 1929. — Weigert F. u. Nakaschima. Zschr. physik. Chemie. Bd. 7, 1930. — Schroedinger E., Berichte der Wiener Akademie, Abt. II a, 1920. — Schjelder upp H., Zschr. Sinnesphysiologie, Bd. 51, 1920.—Orbeli L. u. Dittler R.

Рflügers Archiv, Bd. 132, 1910.— Р і е г о п Н., La connaissance sensorielle et les problèmes de la vision, Paris, 1936.—Z о п d е k S. G., Klin. Woshenschr. № 9, 1923, Biochem. Zeitschr. Bd. 132. 1922.—W о і п о w М., Arch. f, Ophtalm., Bd. 16, 1870; Bd. 21, 1875, Г и р ш ма н Л., Материалы для физиологии цветоощущения, Харьков, 1868. — Ф е д о р о в а В. И., Журнал прикладной физики, т. 5, вып. 3—4, 1928. — Л а з а р е в П. П., Теория Геринга с точки зрения ионной теории возбуждения, Известия Физического института, вып. 3, 1920. — Ф и к А., Учение о световом ощущении; см. «Руководство к физиологии» Л. Германна, т. III, СПБ, 1887. — К р а в к о в С. В., Вестник офталмологии, т. 10, 1937. — Доклады Академии наук СССР, т. 22, 1939; Проблемы физиологической оптики, т. 1, 1941. — З а р е ц к а я Р. Б., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, т. 9, 1941; Проблемы физиологической оптики, т. 1, 1941. — К р а в к о в С. В. и Г а л о ч к и н а Л. П., Электротон в цветном зрении. Доклады Академии наук СССР, 1945 (в печати).

#### § 10

Ји d d D., J. Opt. soc. Amer., v. 25, 1935. — Вогіп д Е., Amer. j. psychol., v. 52, 1939. — Флери П., Цвета и их измерение, М. — Л., 1932. — Нюберг Н. Д., Курс цветоведения, М. — Л., 1932. — Федоров Н. Т., Общее цветоведение, М., 1939. — Светильники, фотометрия и колориметрия, Сборник под ред. С. О. Майзель, Энергоиздат, 1941.

### ГЛАВА VII

## РАЗВИТИЕ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОЩУЩЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ОБРАЗЫ. СЛИЯНИЕ МЕЛЬКАНИЙ

# § 1. Скорость возникновения зрительного ощущения и его развитие во времени. Цветовая адаптация

При воздействии света на глаз, прежде чем у нас возникает возбуждение в соответствующих центрах головного мозга, ряд физико-химических процессов должен совершиться как в сетчатке, так и в нерве. Естественно, конечно, что на все эти процессы требуется известный,

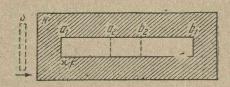


Рис. 148. Опыт Фрелиха для определения «времени зрительного ощущения».

хотя бы и очень короткий, промежуток времени. Вследствие же этого между моментом воздействия света на сетчатку и моментом возникновения у нас соответствующего зрительного ощущения всегда проходит известный промежуток времени. Этот промежуток времени обозначают обычно как «время ощу-

щения». Для измерения его предложено несколько способов. Довольно широко применялся метод Фрелиха, состоящий в следующем. В экране K (рис. 148) имеется продолговатая прорезь, за которой может продвигаться сделанная в картоне того же цвета, что и экран K, ос-

вещенная сзади вертикальная щель S.

На экране дана точка F, которую глаз наблюдателя должен фиксировать. Светящаяся щель S движется в направлении, отмеченном стрелкой. Если движение щели достаточно быстро, то оказывается, что наблюдатель видит не светлую вертикальную черту, появляющуюся у левого края, но светлую полосу, более широкую, чем щель, вспыхивающую не у начала прорези в  $a_1$ , но несколько отступя от него, например, в  $a_2$ . Таким образом, ощущение возникает пространственно несколько смещенным по сравнению с местом объективного начала воздействия раздражителя на глаз. Время, соответствующее этому смещению, Фрелих и считает за искомое время ощущения. Высчитать его при таком допущении, конечно, очень легко, зная расстояние от  $a_1$  до  $a_2$  и скорость движения щели S.

При помощи подобного метода самим Фрелихом и его учениками произведено весьма большое количество работ по определению зави-

симости такого «времени ощущения» от различных факторов. Несмотря на это, применение Фрелихом вышеописанного явления как средства найти время, прошедшее между воздействием раздражителя и появлением ощущения, вызывает серьезные сомнения. Действительно, если это время, как думает Фрелих, дается как раз продолжительностью движения щели до места  $a_2$ , то для места сетчатки, на которое падает раздражение щели от самого места  $a_2$ , «время ощущения» должно равняться нулю, что невероятно. Не подлежит сомнению, что для того, чтобы мы увидели появление щели в  $a_2$ , надо, чтобы объективно щель продвинулась вправо еще дальше, за  $a_2$ , например, до места  $b_2$ . Эдгар Рубин, выступивший с критикой фрелиховского толкования, экспериментально показал, что для того, чтобы место появления светлой полосы осталось в некотором  $a_2$ , надо, чтобы светящаяся щель объективно продвинулась перед глазом дальше еще на некоторый промежуток прорези, например, до  $b_2$ . Иными словами, появление ощущения в а, обусловливается продолжительностью раздражителя, отвечающей уже не фрелиховскому времени  $a_1$ ,  $a_2$ , но некоторой большей длительности сообразно пройденному щелью расстоянию  $a_1 - b_2$ . Кроме того, и теоретически остается невыясненным, какое явление лежит в основе наблюдаемого Фрелихом факта субъективного смещения места появления щели. По Лебединскому и Бронштейну (1939), феномен Фрелиха зависит от соотношения сенсибилизирующих и тормозных влияний, идущих от смежных мест сетчатки. Во всяком случае методом Фрелиха «время возникновения ощущения» не измеряется. Поэтому мы не будем здесь останавливаться на более подробном ознакомлении с многочисленными работами учеников Фрелиха, произведенными по его методу.

Другой прием определения «времени ощущения» предложен Хацельхоффом и Вирсма. Он может быть назван «методом локализационной ошибки» и состоит в следующем. Вдоль некоторой прозрачной шкалы движется с определенной скоростью тень в виде вертикальной полоски. При некотором положении тени на шкале вместо нее на короткое время вспыхивает светящаяся полоска, сменяемая затем вновь тенью, продолжающей двигаться по шкале дальше. Наблюдатель должен все время фиксировать глазом движущуюся тень и отметить то деление шкалы, на котором им замечается вспышка светового раздражения. При некотором навыке глаза прослеживать ползущую тень неизменно оказывается, что вспышка видится наблюдателем не там, где она на самом деле происходит, но несколько смещенной по направлению движения тени. Авторы справедливо думают, что эта ошибка в локализации вспышки на шкале обусловливается тем, что ощущение возникает неодновременно с раздражением, но спустя некоторое время, в течение которого глаз успевает, фиксируя тень, продвинуться дальше. Поскольку раздражение воздействовало на центральную ямку сетчатки наблюдателя, он и увидит световую вспышку в месте, соответствующем центральной ямке его сетчатки; вследствие же того, что глаз успевает несколько сдвинуться по шкале в направлении движения тени, это место придется уже на несколько иное деление шкалы по сравнению с объективным местом раздражения. Таким образом, здесь величина подобной ошибки в локализации места вспышки говорит, действительно, о времени, прошедшем между моментом воздействия света на глаз и моментом появления соответствующего ощущения. Зная скорость движения тени и величину смещения, можно легко определить «время ощущения» в долях секунды.

Опыты, произведенные Хацельхоффом и Вирсма над 40 лицами, показали, что в том случае, когда интенсивность раздражающего света в 400 раз превосходит пороговую интенсивность (при адаптации глаза к слабому свету), это «время ощущения» равняется приблизительно 0,1 секунды. Их же опытами установлено, что продолжительность «времени ощущения» весьма зависит от интенсивности раздражителя.

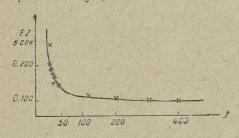


Рис. 149. Зависимость времени зрительного ощущения от интенсивности раздражителя (по Хацельхоффу и Вирсма).

Для более слабых раздражений оно удлиняется (до  $^{1}/_{4}$  секунды и более), для более сильных—значительно укорачивается, причем связь между интенсивностью раздражающего света I и временем EZ, проходящим между воздействием раздражения и появлением ощущения, является, как можно видеть на графике (рис. 149), гиперболической.

Подобный характер зависимости времени ощущения от яркости раздражителя был под-

твержден и в нашей лаборатории (проведенными по методу Хацельхоффа и Вирсма) опытами Басурманова, еще не опубликованными.

На том, что для сильных и для слабых раздражителей время ощущения различно, основывается интересная иллюзия приближения и удаления от нас спицы, на самом деле движущейся в одной, перпендикулярной к линии нашего взора, плоскости. Возьмем черный картон, проведем на нем вертикальную белую полосу и начнем проводить перед ним вертикально направленную белую спицу, двигая ее то в одну, то в другую сторону. Наблюдателю предлагается при этом фиксировать

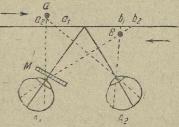


Рис. 150. Эффект стереоскопичности вследствие различной скорости возникновения ощущения (по Пульфриху).

обоими глазами проведенную на картоне белую линию и сказать, как движется спица. Оказывается, что если перед одним из глаз наблюдателя поставить серое дымчатое стекло, то спица покажется движущейся не в одной плоскости, параллельной картону, а описывающей некоторый эллипс вокруг фиксируемой черты, так что при движении в одну сторону спица кажется движущейся впереди картона, при движении же в другую сторону она кажется движущейся сзади него. Объяснение иллюзии станет понятно из рис. 150. Оба глаза  $A_1$  и  $A_2$  фиксируют одну точку. Перед левым глазом при этом постав-

лено затемняющее стекло М. В силу этого левый глаз получает впечатление с большим запозданием, чем правый. Спица, движущаяся слева направо, глазом  $A_1$  увидится в некоторой точке  $a_2$ , в то время как для глаза  $A_2$ , получающего ощущение более быстро, та же спица дает ощущение, соответствующее точке  $a_1$ . По общим законам зрительных восприятий, о которых у нас будет речь в одной из следующих глав книги, мы увидим вместо  $a_2$  и  $a_1$  одну точку  $a_2$ , лежащую на пересечении зрительных линий обоих глаз, идущих к  $a_1$  и  $a_2$ . Точка a увидится поэтому находящейся за плоскостью картона. Аналогичным же образом при движении спицы в обратном направлении, т. е. справа налево, более запаздывающее ощущение глаза  $A_1$  идет из точки  $b_2$ , в то время как для глаза  $A_2$  впечатление идет из точки  $b_1$ . Фактически же спица увидится на пересечении соответствующих линий, в точке В перед плоскостью картона. Следовательно, при движении спицы вправо и влево она будет казаться проходящей то за картоном, то перед картоном. Совершенно такой же факт наблюдается и тогда, когда мы вместо черного картона берем просвечивающее матовое стекло, а вместо белой черты и белой спицы берем черные черту и спицу.

Описанная иллюзия стереоскопичности была использована Пульфрихом в качестве особого метода фотометрирования, так называемого стереофотометрирования. Сущность этого метода состоит в том, что о равенстве или неравенстве ослабления света какими-нибудь поглощающими средами, поставленными перед глазами, мы можем судить по тому, получается ли у нас иллюзорное впечатление выхождения спицы из плоскости ее действительного движения или же не получается.

Стереофотометрический метод Пульфриха может, однако, при некоторых условиях вести и к ложным выводам. Дело в том, что, пользуясь стереофотометрическим методом для установления относительной светлоты двух цветов, различных по своему цветовому тону, мы исходим из предпосылки, что если скорости возникновения ощущения («время ощущения») для того и другого цвета равны, то равны, следовательно, и их яркости. В действительности же это не всегда бывает так. Если один цвет по преимуществу возбуждает более быстро реагирующий аппарат палочек сетчатки, а другой, напротив, воздействует главным образом на медлениее реагирующие колбочки, то в силу различия в длительности «времени ощущения» для палочек и колбочек цвета, одинаковые стереофотометрически, при непосредственном сравнении их друг с другом могут совсем не казаться одинаково светлыми и, наоборот, одинаково светлые по непосредственному впечатлению цвета могут неодинаково быстро вызывать ощущение и потому будут казаться стереофотометрически неравными. Скорость возникновения и развития ощущения во времени зависит от длины волны раздражителя. Это обстоятельство значительно ограничивает приложимость стереофотометрического метода.

Зрительное ощущение возникает не сразу таким, каким мы его испытываем при длящемся действии раздражителя на глаз, но следует определенному ходу развития. Сперва оно нарастает, достигает через короткое время некоторого максимума своей яркости и затем постепенно тускнеет, понижаясь до уровня более или менее стационарного.

Экспериментально положение максимума яркости в ходе развития зрительных ощущений определялось сперва Экснером. Он пользовался при этом таким приемом: давались два смежных световых раздражения, объективно одинаковых по интенсивности. Одно из них (I) начинало действовать на глаз несколько ранее другого (II);

спустя некоторое время оба раздражения прекращались; в глазах у испытуемого оставался тогда в первое время световой след в виде так называемых последовательных образов<sup>1</sup>. Если перерыв произошел прежде, чем более раннее раздражение І достигло своего максимального действия, наблюдатель увидит последовательный образ, соответствующий раздражению ІІ более темным, чем последовательный образ, соответствующий раздражению І. Если, напротив, перерыв произошел позже, чем раздражение І достигло максимума своего действия,

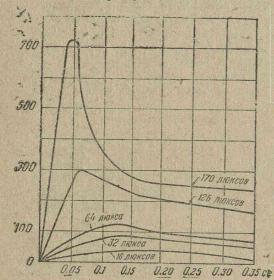


Рис. 151. Изменение яркости по мере действия раздражителя (по Брока и Зульцеру).

т. е. если перерыв происходит уже во время спадания яркости I, то, напротив, более темным покажется последовательный образ от раздражения I.

Можно, очевидно, путем проб найти как раз такой момент для прекращения раздражений, когда последовательные образы от них обоих будут одинаково яркими. Это время, по Экснеру, и позволяет определить время достижения первым раздражением его максимальной яркости. Ход кривой развития ощущения во времени, в зависимости как от интенсивности. так и от цветности раздражителя, изучался также Брока и Зульцером.

Они пользовались для этого прямым сравнением ощущений, вызываемых кратковременными раздражителями разной длительности, с другими, уже стационарными, яркостями. На рис. 151 приведены кривые, полученные ими для раздражения белым светом разной интенсивности. По абсписсам отложена длительность раздражения, по ординатам — яркость эквивалентного стационарного раздражителя в люксах на белую поверхность; надписи же над кривыми показывают, каким яркостям данные раздражители соответствуют при длительном своем воздействии на глаз. Яркость в максимуме может превосходить яркость последующего более или менее постоянного уровня ощущения раза в 4—5. Этим именно обстоятельством и объясняется тот факт, что несколько кратких световых раздражений бывают заметнее для глаза, чем одно продолжительное, хотя бы интенсивность раздражителей была одинаковой и длительность продолжительного раздражения была не меньше суммарной длительности отдельных кратких световых вспышек.

Производились опыты для выяснения специально и того, как

<sup>1</sup> О последовательных образах будет подробнее речь ниже.

скорость нарастания яркости ощущения зависит от цветности раздражителя (Брока и Зульцер, Кункель, Биллс). В более недавнее время скорость нарастания ощущения в зависимости от цветности стремился определить Пьерон. Его метод состоял в установлении той длительности раздражения, при которой возникающее ощущение оказывается одинаковым с тем, которое получается от того же раздражителя на стационарном уровне ощущения. Им определялся, следовательно, момент, когда нарастающее ощущение по пути к максимуму своей яркости пересекает свой стационарный уровень, на котором оно потом после прохождения этого максимума установится. Раздражителями служили красный цвет (раттеновский светофильтр № 70 с максимумом пропускания около 700 тм), зеленый (раттеновский светофильтр № 74 с максимумом пропускания у 530 тр) и синий (с максимумом пропускания у 470 тр). Интенсивность этих цветных раздражителей подравнивалась так, что брались интенсивности, в одно и то же число раз кратные пороговым.

Опыты производились с центральным зрением. Оказалось, что синее раздражение требует наибольшего времени для пересечения со стационарным уровнем, поэтому скорость нарастания силы ощущения синего следует признать наименьшей. Затем в порядке возрастающей скорости идет зеленое, наибольшую же скорость развития обнаруживает, по Пьерону, ощущение красное. Но в ряде случаев дело обстояло и иначе. Наиболее краткие промежутки времени соответствовали раздражению зеленому. Кроме того, при решении на основе данных Пьерона вопроса о том, какой же раздражитель, красный или зеленый, вызывает скорее нарасгающие ощущения, необходимо принимать во внимание еще то, что стационарные уровни равнократных пороговому



Рис. 152. Диск, иллюстрирующий различную скорость возникновения ощуще-

красному зеленых и синих раздражений будут не равны друг другу по своей яркости. Наши опыты, касающиеся цветовой адаптации, о которых мы скажем ниже, показали, что стационарный уровень для зеленого, равно-яркого вначале некоторому красному, будет лежать выше, чем стационарный уровень для этого последнего: зеленый цвет утомляет глаз меньше красного. И если, несмотря на это, в значительном числе случаев время именно для зеленого оказалось самым коротким, то это, по нашему мнению, может говорить скорее за то, что вероятный порядок цветовых возбуждений в отношении скорости нарастания ощущений по направлению убывающей скорости таков: зеленый, красный, синий. Окончательно выясненным вопрос этот, однако, еще нельзя признать.

Различной скоростью возникновения и развития у нас цветовых возбуждений объясняются некоторые интересные явления, в существовании которых можно убедиться путем простых опытов. Так, если взять диск, разделенный на белые и черные секторы, как показано на рис. 152, и привести его во вращение, то при некоторой—не слишком большой скорости последнего в наружном кольце диска мы увидим красноватый налет, а во внутренней части его — синеватый оттенок.

При ускорении вращения красноватость переходит на внутреннюю часть диска.

Из содержащихся в белом свете лучей волн различной длины красные, следовательно, скорее дают себя почувствовать, чем синие. То же самое сказывается еще в кажущемся пространственном смещении друг относительно друга двух полос в том случае, когда одна из них синяя, а другая красная и обе они наклеены по радиусу на черный вращающийся диск. При вращении такого диска кажется, что синяя полоска несколько отстает от красной. Известен также опыт с диском Бенхэма. Половина этого диска закрашена черным, на другой же белой половине нанесены черные дуги по 45° каждая. Нанесены они по паре на разных расстояниях от центра, как показано на рис. 153. При вращении диска мы видим, что эти дуги кажутся цветными. При вращении диска в направлении стрелки І эти пары дуг (по порядку — от внешних периферических к центральным) кажутся имеющими красноватый, желтоватый, зеленоватый и сине-фиолето-



вый оттенки. При вращении диска в направлении стрелки II этот порядок цветов на кольцах является обратным, т. е. самые внешние дуги ка-// жутся фиолетово-синеватыми, самые же центральные — красноватыми. Вращение диска должно происходить с некоторой не очень большой и не очень малой скоростью, иначе описан-Рис. 153. Диск Бенхэма. ного явления наблюдаться не будет. Появляющуюся цветность в кольцах диска Бенхэма Пье-

рон объясняет тем, что скорость нарастания ощущений убывает по мере перехода от цветов красных к цветам фиолетового конца спектра. Поэтому на протяжении первых 45° белого полукруга красное возбуждение обгоняет все прочие, на протяжении следующих 45° перевес будет иметь цвет желтоватый, при дальнейшем раздражении начинает превалировать зеленый цвет, и, наконец, в последнем, четвертом, секторе белого полукруга бенхэмовского диска максимума своей яркости достигает возбуждение фиолетовое. По Пьерону, эти цветные оттенки, не будучи сами заметны на белом фоне белого полукруга, распространяются на тонкие черные дуги и придают им вышеописанную уже заметную расцветку. Принимая предполагаемый нами (см. выше) порядок скорости возникновения цветных возбуждений, цвета колец Бенхэма могут быть поняты как цвета, возникающие по контрасту к оттенкам, последовательно появляющимся на белых секторах диска, служащих фоном.

После кратковременного максимума яркости ощущения, который, как мы видели выше, достигается обычно в самые первые доли секунды, яркость ощущения постепенно идет на убыль, стремясь к некоторому уже устойчивому уровню. Это длящееся снижение яркости, имеющее место при продолжающемся действии раздражителя на глаз, известно как процесс световой адаптации глаза. Речь об этом уже шла у нас выше в главе о световой чувствительности глаза. Сейчас мы коснемся его вновь в связи с вопросом о роли здесь цветности раздражителя. Изучение хода цветовой адаптации глаз в зависимости от цветности раздражителя производилось нами в 1928 г. В качестве раздражителей мы пользовались монохроматическими лучами красными (656 mp), зелеными (550 mp) и сине-фиолетовыми (451 mp), получаемыми в поле зрения гельмгольцевского аппарата для смешения цветов. Диаметр

раздражающего поля был 1,27°.

Опытные данные, полученные нами на 4 испытуемых, показали, что ход цветовой адаптации следует показательной, экспоненциальной кривой, выведенной Лазаревым. Для выяснения вопроса о влиянии специально цветности раздражителя, очевидно, надо было взять такие разноцветные раздражители, которые в отношении своей яркости были бы одинаковы. Задача подравнивания цветов различного цветового тона по яркости — задача достаточно трудная. Пользуясь вычислительным методом, а отчасти и приемом непосредственного уравнивания, мы все же подобрали разноцветные раздражители одинаковой субъективной яркости. При этом в силу технических условий

нами были подобраны две пары на разных уровнях яркости: одна — это красный (656 mp) и сине-фиолетовый (451mp) и другая — красный же (656 mp), но более яркий, и зеленый (550 mp).

Полученные результаты приведены на рис. 154, где показаны как опытно наблюденные точки, так и вычисленные теоретические кривые, наиболее к ним подходящие. По абсциссе отложено время действия раздражителя в секундах, по ординате — чувствительность глаза

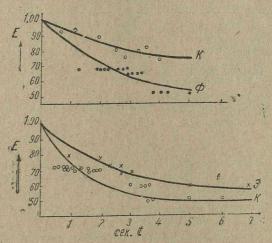


Рис. 154. Кривые хода цветовой адаптации глаза (по Кравкову).

(соответственно — видимая яркость раздражителя). Колебания яркости, имеющие место в первые доли секунды, этими кривыми не учитываются.

Из рассмотрения кривых видно, что в первые секунды наиболее круто падает кривая для сине-фиолетового раздражителя, наиболее же полого идет кривая для раздражения зеленого. Таким образом, можно сказать, что наиболее утомляющим глаз (в рассматриваемом смысле) является цвет сине-фиолетовый, наименее же утомляющим — зеленый; красный занимает в этом отношении некоторое среднее положение.

Допущение найденного нами порядка цветов по их утомляющему действию (сине-фиолетовый, красный, наименее утомляющий — зеленый) находит себе подтверждение и в некоторых фактах изменения цветового тона хроматических раздражителей при цветовом утомлении. Так, Фесте наблюдал, что в результате длящегося фиксирования монохроматического цветного поля цвета длинноволновой части спектра

(660—560 mp) приобретают цветовой тон, соответствующий укорочению длины волны (т. е. смещаются в сторону зеленого); равным образом в сторону к зеленому сдвигается при длящейся фиксации и цветовой тон голубовато-зеленых и синих лучей. Тем же Фесте наблюдались, правда, в некоторых участках спектра и такие смещения цветового тона, которые пока еще не могут быть прямо истолкованы с нашей точки зрения.

# § 2. Последействие светового раздражения. Последовательные образы. Последовательный контраст

Подобно тому как зрительное ощущение не возникает у нас одновременно с возникновением раздражителя и не остается неизменным при постоянстве этого последнего, оно и не исчезает вполне одновременно с прекращением раздражения. Всякому известно, что если, взяв в руку тлеющий уголь, вращать им в темноте по кругу с достаточной скоростью, то видна будет не одна светлая, перемещающаяся с места на место точка, но сплошной огненный круг. Не менее хорошо известно, что после взгляда на яркую лампу мы видим еще некоторое время ее образ. Вызванные воздействием света раздражающие вещества не могут исчезать мгновенно. С другой стороны, раздражение всегда расходует известную долю светочувствительного вещества глаза. Поэтому при последующем воздействии раздражения на глаз глаз будет реагировать уже не так, как он реагировал бы, если бы предварительного расхода светочувствительного вещества не было. На восстановление убыли вещества также требуется известное время. В течение вот этого-то времени, идущего на исчезновение из глаза раздражающих продуктов распада и на восстановление первоначального запаса неразложенного вещества, мы и испытываем некоторый «след» от предыдущего раздражения в виде так называемого последовательного образа. В тех случаях, когда он по своей светлоте (относительно к фону) и по своей цветности соответствует первоначальному раздражению, говорят обычно о положительном последовательном образе; в иных случаях последовательные образы называют отрицательными. Если смотреть на яркую лампу и затем зажмурить глаза, мы увидим ее в первые моменты в качестве положительного последовательного образа, переведя же глаза на светлую стену, увидим образ лампы уже более темным, чем стена, т. е. будем иметь отрицательный последовательный образ. Имея в виду те изменения в зрительном ощущении, которые наступают в результате того, что глаз перед тем подвергался какому-нибудь другому световому раздражению, в физиологической оптике говорят о явлениях последовательного контраста. Явления последовательного контраста в сущности есть не что иное, как явления отрицательных последовательных образов.

Точная картина того, что происходит у нас в глазе после прекращения действия какого-либо краткого раздражения, как показывают опыты, довольно сложна. Так, оказывается, что на раздраженном месте возникает прежде всего несколько очень быстро следующих одна за другой пульсаций светового сшушения, т. е. прояснений и потемнений. Отмечалось, например, что после освещения комнаты вспышкой электрической искры предметы, находящиеся в комнате,

появляются для нашего глаза из темноты в быстрой последовательности несколько раз. После серии таких очень быстрых последовательных вспышек наступает некоторый период темноты длительностью приблизительно в 1/, секунды, после чего следует опять светлая фаза дополнительного цвета (так насываемый последовательный образ Пуркинье), прерываемый вновь темным промежутком, за которым наступает вновь стадия све глого и уже более продолжительного последовательного образа (так называемый третичный последовательный образ), постепенно

затухающего. На рис. 155 приведены эти три последовательных образа, как они видятся при быстром вращении перед неподвижным глазом по окружности (слева направо) узкой светящейся щели. Мы видим сперва первую стадию — пульсацию, затем вторую вспышку (последовательный образ Пуркинье) и, наконец, третью стадию последовательного образа. При более долго длящихся раздражениях все эти отдельные фазы последовательного образа, разделенные другот друга чрезвычайно короткими промежутками времени (долями секунды), соединяются в один слитный, сплошной последовательный образ. С этим-



Рис. 155. Впечатления, возникающие при продвижении перед неподвижным глазом яркой полосы (по ј Мак Дауголлу).

то третичным последовательным образом, слившимся с предыдущими двумя стадиями, мы практически и имеем дело.

Количественно разработанную теорию явлений последогательных образов мы находим у Лазарева и Пюттера.
Точка зрения Лазарева в истолковании последовательных образов сводится

к следующему. Если на некоторое место сетчатки подействовал свет, вызвавший в нем концентрацию раздражающих веществ, равную  $\Delta C$ , то при последующем воздействии на сетчатку света интенсивности J общая концентрация раздражающих веществ в рассматриваемом месте сетчатки будет равна:

$$C'_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} kJC + \Delta C'$$

(каждая буква имеет смысл, уже указанный нами раньше). В месте, не подвергавшемся предварительному освещению, на которое воздействует теперь тот же свет Ј, концентрация раздражающих веществ будет, очевидно, следующей:

$$C'_2 = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} kJC_0$$

 ${C'}_2 = rac{{{a_1}}}{{{a_2}}} \ kJ{C_0}.$  Если  ${C'}_1 = {C'}_2$ , то мы никакого последовательного образа не увидим, так как разницы в разложении веществ на ранее освещавшихся и на ранее не освещавшихся местах сетчатки не будет. Последовательный образ мы увидим лишь, когда  $C_1 \neq C_2$ . Из предыдущих уравнений следует, что

 $C'_1-C'_2=\Delta C'-rac{lpha_1}{lpha_2}~kJ(C_o-C).$  Если J очень мало, то эта разница между  $C'_1$  и  $C'_2$  будет величиной положительной, и мы увидим положительный (более светлый, чем фон) последовательный образ. Если же J растет, то, проходя через момент, когда  $C'_1=C'_2$ , мы при

 $J > \frac{C'a_n}{k (C_0 - C)a}$ 

получим для  $C'_1$ — $C'_2$  величину уже отрицательную, чему и будет соответство-

вать отрицательный (более темный, чем фон) последовательный образ.

Что касается теперь самого хода затухания последовательного образа, то уже Плато было отмечено, что последовательные образы затухают сперва быстро, а затем медленно. Количественная же теория хода затухания дана впервые Лазаревым. Он предполагает, что реакция удаления раздражающих веществ из глаза идет по типу мономолекулярной реакции. Тогда концентрация этих раздражающих веществ в глазе, после того как глаз подвергался некоторому освещению и затем помещен в темноту, будет во времени итти по уравнению:

$$\frac{dC'}{dt} = -\alpha_3 C' + \alpha,$$

где  $\alpha_3$  есть коэфициент скорости реакции уноса из глаза раздражающих продуктов распада, а  $\alpha$  есть концентрация продуктов распада, образующаяся в глазе под влиянием внутренних тепловых процессов (соответствует тому, что понимается под «собственным светом сетчатки»). Интегрирование выше описанного уравнения дает:

$$C' = \frac{\alpha}{\alpha_s} + Be^{-\alpha_s t}$$
.

Постоянная B может быть определена из условий t=0 и  $C'=C_{\delta}'$  (т. е. начальному количеству продуктов распада) и оказывается равной:

$$B=C_o'-\frac{\alpha}{\alpha_o}.$$

Подставляя это значение в предыдущее равенство, имеем:

$$C' = \frac{\alpha}{\alpha_3} + \left(C_o' - \frac{\alpha}{\alpha_3}\right) e^{-\alpha_3 t}.$$

Это соотношение и определяет собой ход уменьшения в глазе концентрации раздражающих веществ по мере увеличения времени, протекшего после окончания раздражения. Мы знаем, с другой стороны, что концентрация продуктов распада пропорциональна при постоянстве прочих условий яркости воздействующего света J. Формулу затухания последовательных образов, по Лазареву, мы можем поэтому написать окончательно в виде:  $J=A+Be^{-a_3t}$ , где A и B — некоторые постоянные, J — величина, пропорциональная яркости последовательного образа, e — основание логарифмов Непера, t — время, прошедшее с конца раздражения, и  $\alpha_3$  — коэфициент скорости реакции уноса продуктов распада. Таким образом, яркость последовательного образа должна по теории затухать по экспоненциальному закону.

Подсчитываемый по теории Пюттера ход спадания яркости последовательного образа оказывается несколько отличным по сравнению с выведенным по теории Лазарева. Именно: вначале затухание последовательного образа идет здесь сравнительно медленнее, чем в средний период, поэтому вся кривая затухания имеет S-образную форму. Имеющиеся эксперименты, к сожалению, еще недостаточно точны, чтобы на основании их можно было с определенностью сделать выбор между

обеими теориями 1.

Экспериментальная проверка теоретической формулы производилась как самим Лазаревым, так и Кравковым. Применявшийся при этом метод состоял в том, что вызванный определенным раздражи-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Крайк (Nature, v. 145, р. 512, 1940) привел недавно такое доказательство периферической (сетчаточной) природы последовательных образов. Если на глаз надавливать в течение некоторого времени, он, вследствие аноксемии, станет временно слепым. Отбросим на его сетчатку в это время изображение какогонибудь яркого предмета (не видимого сейчас этим глазом); поскольку раздражитель невидим, центры им не возбуждаются — нервная связь блокирована давлением. После прекращения давления, когда глаз прозреет, он, однако, будет видеть нормальный последовательный образ. Следовательно, последовательный образ — сетчаточного фотохимического происхождения.

телем последовательный образ относился на черное поле, равное ему по размеру и находящееся на фоне, яркость которого можно было менять, подравнивая его к яркости последовательного образа в различные моменты его затухания. Опыты производились как с белым светом, так и с цветными раздражителями.

Результаты показали, что опытно наблюдаемые яркости затухающего последовательного образа достаточно хорошо могут быть

уложены в экспоненциальную формулу, даваемую теорией Лазарева.

Яркость последовательного образа падает вначале быстро, а затем затухание его идет более медленным темпом. На рис. 156 приведены типичные кривые затухания яркости последовательных образов от 3 раздражителей различной яркости. Кривые взяты из недавней работы Золиной (1940), посвященной изучению различных факторов, влияющих на ход затухания последовательных образов. В различных сериях экспериментов Золиной, проведенных по методу Лазарева и Кравкова, были испытаны следующие вариации условий:

а) яркость раздражителя, зывающего последовательный раз: 0,5 стильбов, 1,7 стильбов и

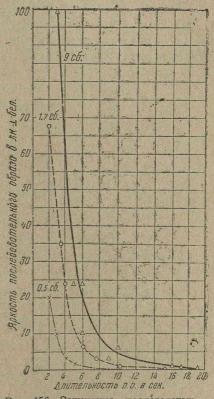
9 стильбов;

b) угловой размер светового раздражителя;

с) продолжительность раздражителя: 1 секунда, 5 секунд и 15 секунд;

d) яркость, к которой глаз был предварительно адаптирован.

Кроме того, Золиной было изу- Рис. 156. Затухание последовательчено влияние утомленности глаза ных образов от раздражителей разной предшествующей зрительной работой, а также влияние цветности



яркости (по Золиной).

раздражителя. В последнем варианте ею сравнивались кривые затухания последовательных образов от одинаковых по яркости, длительности и размеру белого и желтого раздражителей. Последний давался посредством светофильтра. Полученные в опытах результаты показали, что продолжительность положительного последовательного образа нарастает вместе с увеличением яркости, продолжительности и углового размера раздражителя. Это нарастание идет вначале быстро, а затем все медленнее. Таким образом, рассматриваемая зависимость может быть выражена показательной кривой. Рис. 157 иллюстрирует сказанное применительно к влиянию продолжительности раздражения.

Подсчет величины, характеризующей скорость удаления продуктов распада светочувствительного вещества в глазе, говорит за то, что эта скорость уменьшается с увеличением яркости, продолжительности и площади раздражителя. Заслуживает внимания также то, что в глазах, утомленных какой-нибудь длительной зрительной работой, последовательные образы длятся более продолжительное время, чем в глазах, не утомленных, при тех же самых условиях адаптации.

Цветность раздражения также не остается без влияния на ход затухания последовательного образа. Первые эксперименты в этой области были произведены еще 100 лет назад Плато. Из них вытекало, что по быстроте хода затухания медленнее всего тухнет послеловательный образ от синего раздражения, затем от красного, затем от

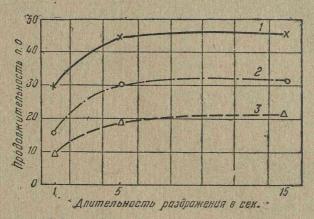


Рис. 157. Зависимость длительности последовательных образов от длительности раздражителей различной яркости (по Золиной).

желтого. По общей же продолжительности последовательного образа порядок цветов оказывался, по Плато, как раз обратным. Выходило, что быстро тухнущие вначале последовательные образы оказываются более длительными.

За то, что отдельные цветные возбуждения, возникающие у нас в глазе, исчезают после окончания раздражения не с одинаковой скоростью, говорят и многочисленные наблюдения над изменениями в цвете последовательных образов от белых раздражителей. По наблюдениям Гельмгольца и большинства других исследователей, вслед за прекращением белого раздражения мы видим в последовательном образе переливы нескольких цветовых оттенков. Оттенки синеватозеленоватые предшествуют при этом оттенкам красновато-оранжевым. Если вместе с Гельмгольцем думать, что в основе ощущения белого лежат три вида нервных возбуждений (красное, зеленое и сине-фиолетовое), то подобный порядок смены оттенков в последовательном образе от белого раздражителя и будет означать, что красное возбуждение затух т вначале быстрее прочих, но является наиболее длительным. Эксперименты Кравкова дали результаты, согласные с этими наблю-

дениями Плато и Гельмгольца. В работе Золиной, как уже упоминалось, было проведено сравнение длительности последовательных образов от равно-ярких раздражителей белого и желтого. Опыты производились в условиях темновой адаптации и показали, что последовательные образы от желтого раздражителя затухают быстрее.

Таким образом, данные Золиной касательно влияния цветности раздражителя на продолжительность последовательного образа являются аргументом в пользу введения в автотранспорте желтых фар, что уже принято как обязательное в некоторых странах в целях умень-

шения слепящего действия автомобильных огней.

Мы остановимся теперь на явлении отрицательных последовательных образов, поскольку они сказываются на цветности видимых нами цветов. Речь идет, таким образом, о явлениях последовательного контраста. Последовательный контраст может быть или световым (если имеется в виду изменение светлоты), или цветовым, когда учитывается изменение цветового тона, или же (что чаще) и тем, и другим одновременно. Белые обои комнаты покажутся нам более темными, если мы до того смотрели на яркий кусочек неба, видимый в окно. После смотрения на зеленый абажур лампы белая бумага кажется первое время уже не белой, но малиноватой.

Цвета последовательного контраста, возникающие на белом фоне, по своему цветовому тону обычно несколько отличаются от цветов дополнительных. Это обстоятельство отмечал еще Гете. Относящиеся к этому же вопросу экспериментальные данные Боненбергера таковы.

Цвет раздражителя	Цвета последовательного контраста на белом	Дополнительные цвета
Оранжевато-желтый Оранжевый Кобальтово-синий Голубовато-зеленый	Ультрамарин синий Синий Красновато-оранжевый Оранжевато-красный	Голубовато-синий Голубой Оранжевато-желтый Красный цвет

Для цветов красного и зеленого цвет последовательного контраста не уклоняется от цвета дополнительного. По нашим опытам, цветом последовательного контраста к синему (453  $m_{\mu}$ ) является оранжевато-желтый (586  $m_{\mu}$ ), дополнительным же служит правильно желтый (572  $m_{\mu}$ ). Цветом же последовательного контраста к этому желтому (572  $m_{\mu}$ ) оказывается не синий, но пурпуровый. Словом, мы можем сказать, что цвета последовательного контраста несколько отодвинуты от зеленого или, что то же, сдвинуты к красному или синему по сравнению с цветами дополнительными.

Для объяснения подобного несоответствия было высказано несколько предположений. Геринг и Чермак указывали на вероятность того, что наш глаз обычно является адаптированным к красноватому свету. В силу этого его чувствительность к красному оказывается пониженной. Поэтому при воспроизведении цветов, соответствующих цветам последовательного контраста, мы и берем объективно более красный цвет. Но, во-первых, предполагаемая адаптированность

к красному должна бы сказываться также и на цветах дополнительных; во-вторых же, она не делает понятным, почему естественно возникающие цвета последовательного контраста непосредственно кажутся нам более красными. По Розенштилю, покраснение цветов последовательного контраста есть результат некоторой иллюзии, в которую мы невольно впадаем. Именно при материальном смешении красок с белым часто наблюдается изменение цветового тона краски в сторону ее позеленения. Когда же мы видим отрицательный последовательный образ, мы имеем как бы оптическое смешение цвета дополнительного с белым. Не видя в этом случае позеленения, но невольно ожидая его, мы, как думает Розенштиль, иллюзорно и видим цвет более красным, чем он есть на самом деле. Помимо всего прочего, подобное объяснение не может быть принято уже потому, что знание результатов материальной разбелки красок присуще лишь очень немногим, в то время как цвета последовательного контраста, сдвинутыми в сторону красного, видят все.

Ввиду такого положения вопроса нами было высказано иное возможное объяснение. В нашей работе относительно адаптации глаза к цветным раздражителям было установлено, что чувствительность глаза к красному, зеленому, фиолетовому по мере действия раздражения на глаз снижается не с одинаковой скоростью. Наиболее быстро чувствительность падает по отношению к фиолетовому раздражителю, наименее же быстро — по отношению к зеленому. Поэтому при всяком более или менее длительном смотрении на цвет вызываемое им соотношение основных возбуждений изменяется по сравнению с первоначальным так, что относительная доля зеленого возбуждения становится больше. Цветовой тон наличного раздражителя сдвигается, следовательно, в направлении к зеленому. Цвет же последовательного контраста является цветом дополнительным к этому, уже изменившему свой первоначальный цветовой тон, цвету. При таком толковании становится понятным, что цвета последовательного контраста по сравнению с цветами дополнительными должны сдвигаться именно в направлении от зеленого (т. е. к красному), что фактически и наблюдается.

Разумеется, явления последовательного контраста сказываются не только при смотрении на белую поверхность, но и на всякую иную. Сущность явления остается той же. После предварительного, например красного, раздражения чувствительность глаза к красным лучам оказывается пониженной, и мы менее замечаем их подмесь в тех цветах, на которые переводим свой взор. Явления последовательного контраста бесспорно играют большую роль при всех наших оценках и подборах цветов. Ниже мы приводим поэтому приблизительную таблицу того, какой оттенок приобретают различные цветные поверхности после того, как наш глаз смотрел на другие цвета.

Возникновение цветов последовательного контраста в известной мере может зависеть и от центрально-психологических моментов. Геринг, например, описывает опыт, когда при одном и том же состоянии сетчатки контрастный цвет может быть заметен или незаметен в зависимости от того, видим ли мы перед собой одну или две пло-

скости.

Цвет поверхности, на которую глаз смотрит  Цвет, на который только что смотрел глаз	Қрасный	Желтый	Зеленый	Синий	Фиолето- вый	Белый
Красный	Грязно- красный	Зелено- вато- желтый	Насы- щенно зеленый	Голубой	Синий	Изум- рудно- зеленый
Желтый	Пурпур- ный	Серо- вато- желтый	Голубо- вато- зеленый	Насы- щенно синий	Насы- щенно синевато- фиолето- вый	Фиолето - вый
Зеленый	Насы- щенно красный	Оранже- вый	Серовато зеленый	Фиолето- вый	Пурпур- ный	Пур- пурно- красный
Синий	Оранже- ватый	Насы- щенно золо- тисто- желтый	Желто- вато- зеленый	Серо- вато- синий	Пурпур- ный	Оранже— ватый
Фиолетовый	Оранже- ватый	Насы- щенно лимонно- желтый	Желто- вато- зеленый	Голубо- вато- синий	Серо- вато- фиолето- вый	Зелено- вато- желтый

## § 3. Слияние мельканий. Закон Тальбота. Метод мельканий в фотометрии

Выше мы рассмотрели, как наш глаз реагирует на возникновение и на прекращение раздражения. Обратимся теперь к вопросу о том, какой эффект получается, если на глаз действует периодически прерывающийся раздражитель. В этом случае, как мы знаем, у нас обычно возникает неприятное ощущение мелькания. Если мы будем, однако, делать перерывы света достаточно частыми, то получим уже не ощущение мелькающего, но впечатление ровного, немигающего света. Этот момент и является моментом слияния мельканий. Минимальная же частота перерывов света в секунду, при которой наступает слияние мельканий, называется критической частотой мельканий.

Картину того, что происходит в нашем зрительном аппарате при воздействии на глаз прерывающегося светового раздражителя,

дает схематический рис. 158.

Во время краткого светового раздражения возбуждение (в сетчатке и в вышележащих центрах) развивается по кривой ab; во время перерыва света возбуждение затухает в виде последовательного образа по кривой bc. Заметим мы мигание или не заметим, зависит, очевидно, от разницы уровней возбуждения в точках b и c. При этом значение имеет не абсолютная величина этой разницы, а ее относительная ве-

личина по сравнению с максимальным уровнем возбуждения в b. Таким образом, мы видим, что критическая частота мельканий зависит от различительной чувствительности глаза. Уровень же b, достигаемый при данной длительности раздражителя, определяется наличной световой чувствительностью глаза. Выше мы уже устано-

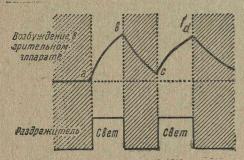


Рис. 158. Схема действия прерывистого светового разлражителя.

вили, что световая чувствительность зависит как от фотохимических процессов в сетчатке (процессов периферических), так и от состояния нервных клеток (т. е. процессов более центральных). В результате мы вправе сказать, что критическая частота мельканий есть функция периферической и центральной световой чувствительности глаза и его различительной чувствительности. Называя же

различительную чувствительность через  $E_r$ , световую чувствительность, поскольку она определяется фотохимическими процессами, через  $E_p$  и центральную световую чувствительность через  $E_z$ , можно написать:

критическая частота мельканий  $= f(E_p, E_z, E_r)$ . Это обстоятельство полезно иметь в виду при анализе действия на критическую частоту мельканий различного рода фак-

торов.

Относительно условий, от которых зависит наступление слияния, мы располагаем в настоящее время уже довольно многочисленными экспериментальными данными. Так, Фэрри, Портер, Аллэн и Айвс нашли, что критическая частота (п), т. е. число периодов смены света и темноты в секунду, необходимое для того, чтобы наступило слияние мельканий, растет пропорционально логарифму интенсивности Ј раздражающего света  $n = a \log f + b$ , где a и b суть некоторые постоянные (зажон Фэрри-Портера). На рис. 159

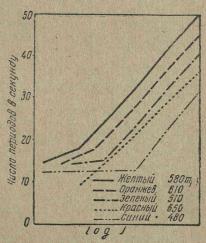


Рис. 159. Зависимость критического числа мельканий от интенсивности раздражителя (по Айвсу).

приведены прямые, полученные Айвсом для различных монохроматических лучей. По абсциссе отложены логарифмы интенсивности раздражителя, взятой в условных единицах. Из разного наклона этих прямых видно, что величины а и в зависят от цветности луча. Как показывают опыты, это влияние длины волны, однако, очень незначительно. Определяющим фактором является яркость, а не цветность. Постоянная а за-

висит, как можно видеть, и от абсолютной интенсивности; при очень слабых яркостях (меньших чем 0,25 люкса на белую поверхность) а меньше, чем при яркостях более сильных. Этому соответствует перелом прямых. Для красных лучей или при весьма малых полях раздражения центра сетчатки подобного перелома не наблюдается, и вся прямая имеет один наклон (т. е. одно значение для а). На этом основании следует думать, что перелом прямых и меньшее значение а обусловливаются включением аппарата сумеречного зрения — палочек.

В бол е недавнее время измерение критической частоты мельканий для большого диапазона яркостей раздражителя произведено было Гехтом и Веррийпом (Verrijp). Поле зрения равнялось 2°. Полученные результаты приведены на рис. 160, где по ординатам отложены соответствующие слиянию мельканий числа периодов в секунду, по абсциссе — логарифмы освещенности на сетчатке (в фотонах).

Из кривой Гехта можно видеть, что формула Портера верна лишь применительно к средним яркостям.

Все сказанное относилось к простейшим случаям, когда

периоды освещения и затемнения равны друг другу.

Пьерон изучал специально связь между критической частотой и соотношением продолжительности периода освещения и периода затемне-

Опыты показали, что это соотношение далеко не без-

различно. Для раздражителей, урав-

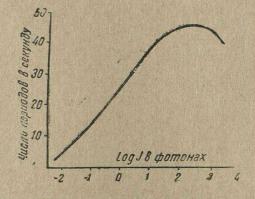


Рис. 160. Зависимость критического числа мельканий от интенсивности раздражителя (по Гехту и Веррийпу).

ненных по своей яркости, но перемежающихся с затемнениями разной относительной продолжительности, оказалось, что чем период затемнения относительно больше (т. е. чем большую долю всего времени смены света и темноты он составляет), тем большим он может быть и абсолютно для случая критической частоты, когда ощущение мель-каний уже пропадает. Найденные опытные данные хорошо укладываются в формулах  $t = k \alpha^n$ , где t абсолютное время, предельно длинное для наступления слияний,  $\alpha$  — относительное время затемнения, k и n — некоторые коэфициенты; при этом п есть функция интенсивности раздражителя.

Увеличение площади раздражения влияет подобно увеличению его яркости: повышает критическую частоту мельканий (Гранит и Харпер, 1930). Место раздражения на сетчатке также не безразлично для критической частоты мельканий. Согласно экспериментам Пьерона, Крида и Реша и некоторых других авторов, при достаточной световой адаптации, критическая частота мельканий бывает наибольшей для раздражений, падающих на центральную ямку сетчатки. Таким образом, следует считать, что колбочковый аппарат нашего зрения требует более высокой критической частоты мельканий, чем аппарат палочковый.

Большое значение для критической частоты мельканий имеет адаптация глаза. При палочковом зрении темновая адаптация сказывается на критической частоте мельканий так же, как объективное усиление раздражителя, т. е. критическая частота возрастает. При колбочковом же зрении наблюдается обратная картина. По мере пребывания глаза в темноте критическая частота мельканий постепенно понижается. Это явление, установленное первоначально Шатерниковым, было затем подтверждено Федоровыми, Литго и Кравковым.

Необходимо, однако, здесь сказать, что и для сумеречного (палочкового) зрения кривая критической частоты мельканий в темноте снижается, если только мы будем соответствующим образом ослаблять объективную интенсивность раздражителя так, чтобы она, несмотря на нарастающую адаптацию к темноте, имела бы все время одинако-

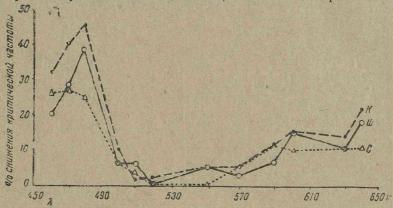


Рис. 161. Снижение критической частоты мельканий в ходе темновой адаптации для различных монохроматических лучей (по Кравкову).

вую физиологическую интенсивность (Алексанян и Лившиц, 1939). Кравковым (1938) исследовалось влияние темновой адаптации на критическую частоту мельканий различных монохроматических лучей при фовеальном зрении. Яркость этих монохроматических лучей была такова, что критическая частота мельканий в начале темновой адаптации для всех лучей была близка к 15—19 периодам в секунду. Предварительно испытуемый адаптировался к белому свету постоянной яркости (около 0,35 стильба). Темновая адаптация продолжалась в течение 40 минут. При таких условиях опыта оказалось, что больше всего критическая частота снижается для лучей голубых и синих, в меньшей мере — для лучей оранжевых и красных и в еще меньшей степени она снижается в ходе темноты для лучей зеленых.

Для характеристики скорости уменьшения критической частоты мельканий при темновой адаптации вычислялось снижение критической частоты мельканий на 30-й минуте темновой адаптации в процентах по отношению к величине критической частоты, имевшейся на 5-й минуте темновой адаптации.

Подсчитанные таким образом для 3 испытуемых и для всех раздражителей величины снижения критической частоты, выраженные в процентах того, что имелось на 5-й минуте, приведены на рис. 161. 252

Сопоставдение кривой относительного снижения критической частоты мельканий для различных монохроматических раздражителей с кривыми трех основных возбуждений глаза показывает, что наибольшее снижение критической частоты обнаруживает синеощущающий аппарат глаза, а наименьшее — его зеленоощущающий аппарат. Опыты, проведенные Кравковым над протанопом, обнаружили значительное снижение критической частоты мельканий для раздражителей голубых и синих, для всех же прочих лучей спектра величина снижения критической частоты оставалась приблизительно на одном уровне. Последнее может говорить за то, что у протанопа «зелено» и «красноощущающие» аппараты глаза не являются диференцированными.

Усиленное дыхание (гипервентиляция) вызывает быстрое повышение критической частоты мельканий, сменяющееся длительным снижением (Рубинштейи и Термэн, 1935). Инъекции стрихнина вызывают понижение критической частоты, но усиливают эффект взаимодействия отдельных раздраженных мест сетчатки (Гранит, 1932). По другим авторам (Мкртычева и Федоров, 1938), инъекции стрихнина уничтожают реакции критической частоты мельканий на условия адаптации. Различные заболевания органа зрения бывают связаны с изменениями критической частоты как в сторону ее понижения, так и в сторону повышения (Браунштейн, 1903, Ломанн, 1908, Филлипс, 1933, Энрот и Вернер, 1935, и др.). Зрительное утомление, наконец, влечет за собой снижение критической частоты мельканий (Снелл, Маркштейн). Не без влияния на критическую частоту мельканий остаются и разного рода побочные раздражители. Как о том мы уже упоминали выше, критическая частота мельканий повышается от раздражения других мест сетчатки. Увеличение площади раздражения или создание светлого фона вокруг мигающего поля также повышают уровень критической частоты. Световое раздражение другого глаза также действует на критическую частоту мельканий в исследуемом глазе повышающим образом. При продолжающейся световой адаптации другого глаза критическая частота для центрального зрения глаза исследуемого, находящегося в условиях темновой адаптации, может не снижаться, но оставаться на постоянном уровне. Заслуживает здесь упоминания то, что заметно мигающий световой раздражитель, действующий на другой глаз, подобного влияния не оказывает: критическая частота мельканий в исследуемом глазе от такого мигающего побочного раздражителя не повышается (Кравков, 1934, неопубликованные эксперименты). Роль цветности побочных световых раздражений в связи с критической частотой мельканий еще, насколько нам известно, не изучалась.

Кравковым (1935) изучалось изменение критической частоты мельканий как периферического, так и центрального зрения под влиянием побочных слуховых раздражений. В последнем случае в качестве прямого раздражителя применялся как смешанный белый свет (достаточно яркий), так и различные монохроматические лучи спектра. Опыты с таким белым светом с центральным и периферическим зрением показали, что слуховое раздражение (звук от лампового

генератора частотой в 2 100 герц, достаточно большой громкости) критическую частоту для центрального зрения повышает, критическую

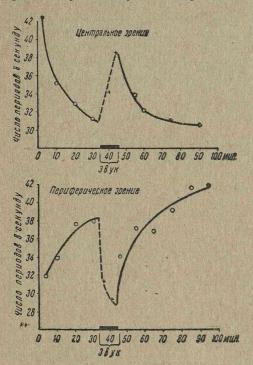


Рис. 162. Действие побочного звукового раз- чей спектра. Так, эксперимендражения на критическую частоту мельканий тируя с яркостями спектральбелого света при центральном и при периферическом эрении (по Кравкову).

же частоту для зрения периферического, напротив, понижает. Рис. 162 и воспроизводит результаты двух опытных дней с воздействием одного и того же звука на критическую частоту мельканий — один раз при зрении центральном, а другой — при периферическом. По абсциссе отложено время темновой адаптации в минутах, по ординате — число периодов в секунду, ответствующее критической частоте. Прерывистой линией проведен участок кривой, полученный во время слухового раздражения. Дальнейшие эксперименты Кравкова показали, однако, что реакции колбочкового зрения на побочное слуховое раздражение оказываются различными, если мы определяем критическую частоту мельканий для отдельных монохроматических лучей спектра. Так, эксперименных лучей, соответствующими критической частоте 12-20

периодов в секунду, Кравков нашел, что для лучей зелено-синей ча-сти спектра критическая частота мельканий от звуков понижается,

для лучей же оранжевокрасных она, напротив, повышается. На рис. 163 приведены типичные peзультаты одного из опытов с воздействием звука критическую частоту лучей зеленых (520 тр) и лучей оранжевато-красных тµ). Совершенно подобную же картину изменения в критической частоте мельканий различных хроматических лучей нашел Кравков и под влиянием побочных раздражи-

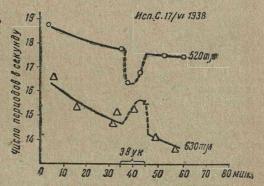


Рис. 163. Действие побочного звукового раздражителя на критическую частоту мельканий в зависимсти от цветности (по кравкову).

телей обонятельных (запахов бергамотового масла и гераниола). Так же влияют на критическую частоту мельканий монохроматических лучей и побочные раздражители вкусовые (сахар) и температурные (тепло), как то установили опыты Добряковой, уже упоминавшиеся нами выше.

Если мы сопоставим теперь изменение критической частоты мельканий в различных лучах спектра под влиянием побочного слухового раздражителя с изменением цветовой чувствительности глаза к тем же спектральным лучам при воздействии подобного же слухового раздражения, то бросается в глаза обратный характер изменений

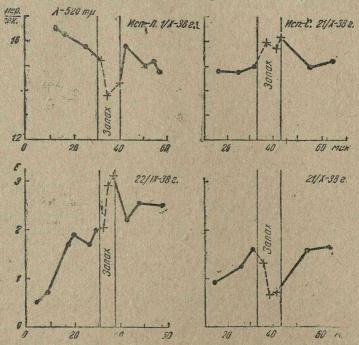


Рис. 164. Обратная изменяемость цветовой чувствительности и критической частоты мельканий при центральном срении под влиянием побочного раздражителя (по Кравкову).

критической частоты мельканий и цветовой чувствительности. Повышение цветовой чувствительности в данных условиях опыта идет параллельно не с повышением, а с понижением критической частоты мельканий; наоборот, понижение чувствительности может вызывать увеличение критической частоты мельканий. Это было подтверждено нашими специальными опытами, в которых мы в ходе темновой адаптации в один и тот же сеанс определяли как критическую частоту мельканий, так и цветовую чувствительность глаза, применяя около 30-й минуты адаптации 10-минутное побочное раздражение: в одних опытах слуховое, в других — обонятельное. 1 езультаты, типичные для всех опытов этой серии, приведены на рис. 164 в виде данных отдельных дней.

Из рис. 164 видно, что в то время как цветовая чувствительность Eпод влиянием побочного раздражения возрастает, критическая частота мельканий в тех же условиях падает, и наоборот. Такая обратная изменяемость чувствительности и критической частоты может быть, как мы полагаем, понята следующим образом. Заметность мельканий зависит, как мы уже видели, от относительной разницы уровней светового возбуждения в периоде действия света на глаз и в периоде отсутствия объективного светового раздражителя. В этом последнем периоде (затемнения) в глазе затухает остаточное возбуждение (положительный последовательный образ), которое мы и испытываем как некоторую яркость. Чем больше чувствительность глаза, тем больше будет, очевидно, и эта яркость, создаваемая в периоды затемнения мелькающего света последовательными образами. От повышения чувствительности повысится, конечно, и яркость света в периоды освещения, но если допустить, что повышение этой яркости будет менее заметным, чем повышение яркости затухающего последовательного образа в периоды затемнения, то относительная разница уровней яркости в периоды освещения и затемнения от повышения светочувствительности глаза может сделаться меньшей. Прямым следствием этого обстоятельства и будет снижение критической частоты мельканий. Ухудшение же чувствительности глаза (под влиянием тех или иных побочных раздражителей) повлечет за собой уменьшение яркости прежде всего последовательных образов в периоды затемнения мелькающего света. Благодаря этому относительная разница уровней яркости в периоды затемнения и освещения может стать большей. Критическая частота мельканий при таких условиях должна повыситься. Словом, наблюденные нами факты понижения критической частоты слияния мельканий при повышении чувствительности глаза и, наоборот, ее повышение в случае снижения этой чувствительности могут быть удовлетворительно объяснены, если мы допустим, что изменения уровня чувствительности глаза заметнее сказываются на менее ярких периодах затемнения прерывающегося света, чем на более ярких периодах самого светового раздражения.

Действие на зрение всякого побочного раздражителя может сказываться, как о том мы говорили уже выше, не только в изменении чувствительности (возбудимости) зрительного рецептора, но и в изменении его возбужденности. Мы видели выше также, что ряд фактов заставляет признать, что усиление возбуждения, даваемое побочным раздражителем, зависит от того, какова интенсивность возбуждения, вызванного прямым раздражителем. Чем прямой световой раздражитель сильнее, тем относительно большим оказывается и усиление возбуждения раздражителем побочным.

Применительно к описываемым опытам с критической частотой мельканий мы должны, следовательно, думать, что усиление светового возбуждения, вызываемое побочным раздражителем, будет тем различнее для периодов освещения и затемнения мелькающего света, чем интенсивнее этот последний. Иначе говоря, относительная разница уровней возбуждения, соответствующих периодам освещения и затемнения для светового раздражителя большой интенсивности, от побочного раздражителя должна увеличиваться. Для светового

же раздражителя интенсивности малой, напротив, под влиянием того же побочного раздражения относительная разница уровней возбуждения должна уменьшаться, поскольку добавочное возбуждение от побочного раздражителя распространится на оба периода (освещения и затемнения) более равномерно. Естественным следствием такого положения дел должно явиться повышение критической частоты мельканий под влиянием побочного раздражения в первом слу-

чае и ее снижение при тех же условиях во втором случае.

В специальной серии опытов мы поставили себе целью проверить приведенное выше рассуждение. Для этого мы определяли влияние одного и того же побочного раздражителя на критическую частоту мельканий при центральном зрении для света одной и той же длины волны, но различной яркости. Изменение яркости мелькающего монохроматического раздражителя могло легко осуществляться экспериментатором посредством реостата. Опыты с двумя уровнями яркости мелькающего света производились в течение одного и того же сеанса 60-минутной темновой адаптации. Определение критической частоты мельканий для одной и другой яркости производилось поочередно. Таким образом, как чувствительность зрительного рецептора подопытного лица, так и интенсивность применявшегося побочного раздражителя были в каждом опыте одинаковыми; единственным различием в условиях для действия побочного раздражителя была лишь интенсивность прямого раздражителя.

Опыты подтвердили вышеприведенное предположение и показали, что в зависимости от интенсивности прямого раздражения эффект действия побочного раздражителя на критическую частоту мельканий может изменяться вплоть до перемены своего характера на обратный.

Так, по отношению к лучам зеленым с длиной волны 520 тр мы наблюдали, что при запахе бергамотового масла критическая частота мельканий снижается, если мелькает свет, соответствующий начальной критической частоте около 15 периодов в секунду. Если же раздражителем служит свет более яркий (соответствующий начальной критической частоте мельканий около 27 периодов в секунду), то под влиянием того же побочного раздражителя, во время того же самого опыта критическая частота повышается. В качестве иллюстрации типичных результатов на рис. 165 мы приводим данные одного опыта. По абсциссе отложено время темновой адаптации, по ординате — крити-

ческая частота (периоды в секунду).

Выше мы видели, что чувствительность (возбудимость) «зеленоощущающего» аппарата нашего цветного зрения под влиянием побочного слухового раздражения повышается. В силу этого именно может снижаться критическая частота. Добавляющееся от побочного раздражителя возбуждение для сравнительно слабого мелькающего света должно распределяться на периоды освещения и затемнения более или менее равномерно, в силу чего также будет снижаться критическая частота. В случае же более яркого мигающего света при центральном зрении добавочное возбуждение от побочного раздражения распределяется на периоды освещения и затемнения уже неравномерно и тем повышает заметность миганий (соответственно увеличивает критическую частоту их). В этом случае, очевидно,

окончательный эффект определится тем, какое из двух действий побочного раздражителя окажется более влиятельным — повышающее ли критическую частоту мельканий увеличение возбужденности, или же снижающее критическую частоту увеличение возбудимости зрительного рецептора.

Таким образом, в зависимости от яркости мигающего света критическая частота от одного и того же побочного раздражителя может изменяться различным образом. При малых яркостях прямого раздражителя критическая частота мельканий может снижаться, при сильных же она, напротив, возрастает. Подобного рода инверсию дей-

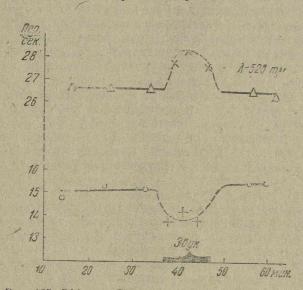


Рис. 165. Эффект побочного звукового раздражителя в зависимости от интенсивности прямого светового раздражителя (по Кравкову).

ствия побочного раздражителя в зависимости от интенсивности прямого наблюдали недавно в своих опытах Мешков и Брюллова. Результаты, полученные ими на 2 испытуемых,приведены ниже на рис. 166, где по абсциссе отложены яркости мелькающего белого света (в стильбах), а по ординате - величины. характеризующие изменение критической частоты мельканий, наступавшее в результате действия побочного раздражителя. Последним служило яркое световое пятно посто-

янной яркости, находившееся в поле зрения. Опыты проводились с искусственным зрачком.

Если, таким образом, различные изменения критической частоты мельканий в ответ на те или иные побочные раздражители могут быть поняты как результат определенных изменений возбудимости и возбужденности нашего зрительного аппарата, то оставался еще открытым вопрос, чем же объяснить наблюдавшееся всеми авторами снижение критической частоты мельканий в ходе темновой адаптации. Напомним, что снижение это наблюдалось не только в колбочковом, но и в палочковом зрении (если только, как то делали Алексанян и Лившиц, сохранять более или менее постоянной физиологическую интенсивность мигающего раздражителя).

Гранит думает, что снижение критической частоты мельканий в ходе темновой адаптации объясняется тормозным действием на колбочки со стороны палочек, восстанавливающих в темноте свои функциональные способности. С этим объяснением, однако, никак нельзя

согласиться. Во-первых, снижение критической частоты мельканий наблюдается, как мы только что упомянули выше, и в палочковом зрении нормального глаза. Оно наблюдалось также и у лиц с полной цветовой слепотой (Айо и Терескели, 1937). Наконец, объяснение Гранита не дает возможности понять тот факт, что снижение критической частоты в темно адаптирующемся глазе может прекращаться в случае освещения другого глаза (Кравков). Мы считаем возможным думать, что снижение критической частоты мельканий в ходе темновой адаптации есть результат ухудшения в темноте различительной чувствительности глаза. Что различительная чувствительность глаза в ходе темновой адаптации падает, мы знаем теперь из специальных экспериментов Богословского (см. гл. V). Соответственно тому, что

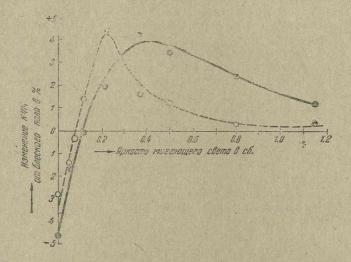


Рис. 166. Изменение критической частоты мельканий при центральном зрении под влиянием побочного светового раздражителя в зависимости от интенсивности раздражителя прямого (по Мешкову и Брюлловой).

наблюдалось нами относительно зависимости величины снижения критической частоты мельканий в темноте от цветности, Богословским найдено, что и различительная чувствительность глаза по отношению к зеленому цвету падает в темноте всего медленнее.

Относительно физиологических процессов, лежащих в основе слияния мельканий, высказано несколько теорий. Мы упомянем здесь о некоторых из них. Лазарев в своих теоретическ их построениях исходил из предположения, что критическая частота мельканий зависит от той разницы возбуждений глаза, которая имеется между периодом действия света на глаз и периодом, когда свет прерывается. Эта разница возбуждений конкретно понимается Лазаревым как разность концентраций продуктов фотохимического распада светоощущающего вещества в сетчатке  $\Delta C'$ 1. Число вспышек света в секунду,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Смысл буквенных обозначений, применяемых Лазаревым, уже объяснен нами выше.

соответствующее критической частоте мельканий, N, таким образом, является функцией от  $\Delta C'$ . Если же  $\Delta C'$  весьма мало, то вышесказанное приводит к формуле:  $N=a\cdot\Delta C'$ . При дальнейших определениях величины  $\Delta C'$ , вытекающих из общих представлений ионной теории, Лазарев приходит к зависимости:

$$N \cdot \sqrt{\alpha^2 + (2\pi N)^2} = a \cdot \alpha_1 KJC$$
.

Эта формула показывает что N должно расти с увеличением яркости раздражителя. Вместе с тем эта же формула говорит и о зависимости критической частоты мельканий от адаптации. Величина С, т. е. концентрация светочувствительного вещества, в ходе темновой адаптании растет; должна, следовательно, увеличиваться и величина N. Мы видим, таким образом, что теория слияния мельканий, опубликованная Лазаревым (1916, 1926), не объясняет фактов снижения критической частоты в темноте. То же следует сказать и о теории Гехта (1933, 1934), хотя он сам и утверждает обратное. Гехт допускает при этом в своих выводах смешение процесса длительной световой адаптации, в течение которого запас светоощущающего вещества убывает и световое раздражение вызывает в силу этого все меньшую и меньшую концентрацию продуктов распада, с процессом реакции сетчатки на краткое световое раздражение, проявляющимся в увеличении концентрации продуктов фотохимического распада в момент этого раздражения. Помимо отмеченной недостаточности теорий Лазарева и Гехта, следует сказать вообще, что попытки истолковать явления слияния мельканий в терминах лишь самых периферических, фотохимических процессов в сетчатке едва ли могут дать объяснение всей сложности наблюдаемых здесь явлений. Фотохимические процессы сетчатки сказываются на ощущениях лишь постольку, поскольку они порождают импульс возбуждения в нервных элементах сетчатки и вышележащих путей и центров нашего зрительного аппарата. Закономерности, определяющие собой возбуждение нервных клеток и проведение нервных импульсов по нервным волокнам через синапсы, несомненно, также влияют на эффект прерывистого светового раздражения глаза (Бартли, 1937, Федоров, 1938). Состояние корковых и подкорковых центров так же, как следует думать, небезразлично для критической частоты мельканий. О последнем говорят, помимо прочего, и описанные уже выше многочисленные факты зависимости критической частоты мельканий от побочных раздражителей. Нельзя поэтому не признать наиболее правильной ту постановку вопроса о теории физиологических процессов, лежащих в основе явлений слияния мельканий, которую мы находим у Айвса (1922). Он считает, что удовлетворительная теория должна здесь принимать во внимание три уровня процессов, происходящих в нашем зрительном аппарате. Во-первых, фотохимические процессы в сетчатке, во-вторых, процессы распространения возбуждения по нервным путям, в-третьих, процессы центральные, связанные прямо с нашим ощущением.

Выше, когда у нас шла речь об электрических явлениях в глазе (гл. II), мы видели, что периферическое световое раздражение сетчатки может вызывать соответствующие по ритму колебания электрического потенциала на электроретинограмме. Спрашивается, в какой

мере эти осцилляции электроретинограммы идут параллельно с нашим ощущением миганий света? Пипер (1911), записывавший токи действия сетчатки различных животных посредством струнного гальванометра, наблюдал, что у млекопитающих осцилляции в электроретинограмме перестают замечаться при увеличении числа периодов светового раздражения приблизительно до 25 периодов в секунду. Поскольку этому числу периодов в секунду часто соответствует критическая частота мельканий и для человеческого глаза, Пипер высказывается за то, что слияние возбуждений, отвечающее критической частоте мельканий, происходит в самой сетчатке, возбуждение же вышележащих центров уже не носит осциллирующего характера. В пользу такого же утверждения склоняется и Сакс (1929). Сакс записывал электроретинограммы у человека один раз от раздражителя, явно мигающего, другой же раз — от раздражителя, уже до-

стигшего критической частоты слияния мельканий. В первом случае ретинограмма обнаруживала заметные осцилляции, во втором же она их не обнаруживала. По поводу этих данных мы считаем нужным заметить, что незаметность осцилляций в электроретинограмме еще не означает их действительного отсутствия. Результаты же опытов Пипера, приведенные на животных, не могут решать вопроса о строгом совпадении момента субъективного исчезновения мельканий у человека с моментом исчезновения осцилляций в ретинограмме. Если бы такое соответствие и было когда-нибудь строго доказано, перед нами возникли бы вопросы об измене-

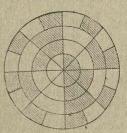


Рис. 167. Диск, иллюстрирующий закон Тальбота.

ниях электроретинограмм под влиянием всех тех побочных раздражителей, которые оказываются не безразличными для критической частоты слияния мельканий.

Какова же бывает яркость слитного ощущения, возникающего в том случае, когда прерывающийся раздражитель достиг критической частоты перерывов? Эта яркость определяется законом Тальбота-Плато, по которому яркость слитного ощущения равняется той, которая имелась бы, если бы интенсивность прерывающегося света была равномерно распределена на весь период смены раздражения и темноты. Таким образом, если в прерывающемся раздражителе период затемнения как раз равен периоду освещения, т. е. раздражение занимает половину всего периода смены, то результирующая яркость слитного ощущения составит половину яркости раздражающего света, действующего без перерывов, и т. д. При этом дальнейшее увеличение скорости смены периодов значения не имеет, если критическая частота уже достигнута и мелькания исчезли. Простым доказательством закона Тальбота может служить опыт с вращающимся диском, разделенным на белые и черные секторы так, как показано на рис. 167. При достаточной скорости вращения вся поверхность диска кажется нам одинаково серой.

Закон Тальбота важен практически. Основываясь на нем, мы можем количественно вариировать яркость света путем прерывания

его быстро вращающимся черным сектором (так называемым эпискотистером).

Закон Тальбота в широких пределах подтвержден специальными экспериментами как для центрального, так и для периферического эрения. Отмечались, однако, и некоторые отклонения; при слабых интенсивностях раздражения результирующее слитное ощущение оказывалось менее ярким, чем соответствующее ему по закону Тальбота; при весьма больших интенсивностях раздражителей, напротив, наблюдалось, что возникающее слитное впечатление бывает ярче, чем следует

по закону Тальбота.

Теоретическое толкование закона Тальбота давалось многими. Так, по Крису, закон Тальбота может быть выведен из простых предположений о действии раздражителя. Предположим, что раздражитель, воздействуя на глаз, влечет двойного рода реакции в этом последнем. Во-первых, он вызывает распад вещества, пропорциональный яркости воздействующего света, во-вторых, протекающую независимо от наличия света обратную реакцию регенерации светоощущающего вещества. В таком случае при воздействии на глаз непрерывного раздражителя  $\beta i$  изменение концентрации раздражающего вещества g во времени выражается как  $\frac{dg}{dt} = \beta i - f(g)$ , где i — яркость раздражающего света,  $\beta$  — некоторый коэфициент и f(g) — функция, характеризующая регенерацию. Для состояния равно-

весия:  $\frac{dg}{dt} = 0$  и, следовательно,  $\beta i = f(g)$ . Возьмем теперь случай прерывающе-

гося раздражителя с яркостью i; предположим, что периоды действия света на глаз и периоды перерывов соответственно длятся t и t' секунд, тогда для такого прерывающегося света (предполагая, что функция регенерации в течение перерыва освещения остается той же) dg=it-f(g). (t+t'). Для состояния равновесия, когда dg=0, имеем здесь, очевидно, it=f(g). (t+t'), откуда f(g)=it

 $=rac{it}{t+t'}$  . Для одинаковости ощущения в обоих случаях одинакова должна быть величина распада g, и тогда из сопоставления уравнений для eta it оказы-

вается  $\beta i = \frac{it}{t+t'}$  и, следовательно,  $\beta = \frac{t}{t+t'}$ , т. е. прерывающийся свет,

дающий слитное впечатление, бывает равен по яркости непрерывному свету, интенсивность которого равна интенсивности этого прерывающегося света, помноженной на некоторый коэфициент, равный отношению продолжительности периода освещения к общей длительности смены освещения и затемнения. Это и есть

закон Тальбота. Сходные соображения мы находим у Лазарева.

Хашек, наконец, в своем теоретическом выводе закона Тальбота исходит из представлений о постепенном уменьшении запаса светоощущающего вещества по мере увеличения числа вспышек раздражающего света. Это уменьшение не компенсируется вполне в течение пауз между такими вспышками. Поэтому запас вещества все снижается, стремясь к уровню, соответствующему действию непрерывного раздражения той же интенсивности. Чувствительность же пропорциональна запасу вещества. Субъективный же эффект — ощущение — является по нему произведением величины чувствительности и величины подведенной к глазу световой энергии. Поскольку в вышеприведенном случае чувствительность является той же, что при длящемся раздражении, объективная же энергия попадающего в глаз света равняется (при равенстве, например, периодов освещения и затемпения) половине той энергии, то и ощущение — яркость, вызываемая прерывающимся раздражителем, должна быть вдвое меньше яркости раздражителя непрерывного. Хашек полагает, что и наблюдаемые порой отклонения от закона Тальбота могут быть выведены из его теоретических формул.

До сих пор мы говорили о действии раздражителя, прерывающегося темнотой. Возможны, однако, и такие случаи, когда данный раздражитель прерывается не моментами полного отсутствия света, но каким-нибудь другим цветовым раздражителем. При таких условиях, когда ачстота смены периодов одного и другого цвета недоста-

точна, мы ощущаем крайне неприятное мелькание разных цветовых тонов. При учащении же этих смен мелькание пропадает. При этом важно отметить, что сперва пропадают мелькания цветовых тонов и лишь затем при дальнейшем ускорении смен цветов исчезают и мелькания по яркости — светлоте. В результате мы видим один новый немигающий цвет, являющийся результатом смешения отдельных чередующихся цветов. На том факте, что мелькания яркости исчезают не одновременно с мельканиями цветового тона, основывается важный прием сравнения светлоты различных цветов — так называемый «метод мельканий». Метод этот состоит в том, что два сравниваемых цвета в последовательности чередуются друг с другом перед глазами наблюдателя. Светлота обоих цветов считается равной, если при подобном их чередовании глаз не ощущает никаких мельканий в яркости. Частота периодов смены одного цвета другим при этом должна быть такова, чтобы малейшее изменение интенсивности одного из цветов сейчас же сказывалось появлением мельканий. Айвс, тщательно изучавший «метод мельканий», высказывается за наибольшую его чувствительность и точность по сравнению с другими приемами гетерохромного фотометрирования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

## \$ 1

Fröhlich Fr., Die Empfindungszeit, Jena, 1929; Pfl. Arch., Bd. 202, 1924; Bd. 208, 1925; Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 55, 1923; Bd. 60, 1929.— Rubin E., Psychologische Forschung, Bd. 13, 1929.— Hazelhoff F. u. Wiersma H., Zschr. Psych., Bd. 96, 1924; Bd. 97, 1925.— Pulfrich C., Stereoscopie im Dienste der Photometrie, Jena, 1923.— Kries. I. v. Die Naturwissenschaften, H. 24, 1923.— Lasareff P., Arch. des sci. phys., v. I, Moscou, 1918.— ExnerS., Sitzber. Wien. Akad., Abt. II, Bd. 58, 1868.— Bills M., Psychological monographs, No. 127, 1920.— Pieron H. et Kleitmann N., C. r. Soc. biol., t. 92, 1925.— Pieron H., Amer. j. psych., v. 50, 1937.— Broca A. et Sultzer D., C. r. Acad. sci., t. 134, 1902; t. 137, 1903.— Voeste H., Zschr. Psych., Bd. 18, 1898.— Бронштейн А. И. и Лебединский журнал СССР, т. 26, 1939.— Кравков С. В., Журнал прикладной физики, т. 5, 1928.

### § 2

I v e s H., Philos. mag., v. 33, 1917. — B i d w e 11 S., Proc. Roy. soc. v. 61, 1879. — P i e r o n H., op. cit. — P a u 1 i R. u. W e n z l A., Arch. Ges Psych., Bd. 48, 1928. — F r a n z S.h. After-images, Psychological monographs, No. 12. 1899. — P l a t e a u, Pogg. Ann. Physik., Bd. 20, 1830. — W a s h b u r n M., Psych. rev., v. 7, 1900. — P u e t t e r A., Pfl. Arch., Bd. 180, 1920. — G o e t h e W., Farbenlehre, Sāmtl. Werke, Bd. 37—38, 1858. — T s c h e r m a k A., Pfl. Arch., 117, 473, 1907. — B o h n e n b e r g e r F., Zschr. Sinnesphysiologie, 57, 235, 1926. — H e r i n g E., Die Lehre vom Lichtsinn, 44—46, 1874. — R o s e n s t i e h l A., Traité de la coleur, Paris, p. 59, 1913. — Л а з а р е в П. П., Известия Российской академии наук, стр. 1245, 1251, 1918. — К р а в к о в С. В., Известия Физического института, b. 2, М., 1920; Журнал прикладной физики, т. I, в. 1—4, 1924; также Pfl. Arch., Bd. 202, 1924. — З о л и н а З. М., Физиологический журнал СССР, т. 28, 1940.

#### \$ 3

H. T a 1 b o t, Philos. mag., vol. 5, 1834. — Ferry, Amer. j. sci. (3), v. 44, 1892. — Porter T., Proc. Roy. soc. London, t. 63, 1898; t. 70, 1902. — A 11 e n F.,

Phys. rev., t. 11, 1900; v. 28, 1909; Philos. mag., May 1911. — I v e s H., Philos. mag., v. 24, 1912. — F e d o r o w N. T. u. F e d o r o w a V. I., Zschr. Physik, Bd. 57, 1929. — P i e r o n H., L'année psychologique, v. 28, 1927. — L y t hg o e R. a. T a n s I e y K., The adaptation of the eye: its relation to the critical frequency of flicker, London, 1929. — S c h a t e r n i k o f f M., Zschr. Psych., Bd. 29, 1902. — L u m m e r O. u. B r o d h u n E., Zschr. Instrumentenkunde, Bd. 16, 1896. — H y d e E., Bull. Bureau Stand., v. 2, 1906. — E x n e r F., Zschr. Wien. Akad. (2a), Bd. 127, 1928. — L a s a r e f f P., Thèorie ionique de l'excitation des tissus vivantes, Paris, 1928. — L v e s H. a. K i n g s b u r y E., Philos. mag., November, 1914. — M a r b e K., Pfl. Arch., Bd. 97, 1903; I v e s I., Philos. mag., v. 24, 1912; J. Opt. soc. Amer., No. 6, 1922. — S c h r o e d i n g e r F., Die Gesichtsempfindungen, Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik, Bd. 2, S. 525, 2. Aufl. — H a s c h e k E., Sitzb. Wien Akad., 2a. Bd. 138, 1929. — H e c h t S. a. V e r r i j p C., J. gen. physiol., v. 17, 1933. — G r e e d R. S. a. R u c h T. C., J. physiol., v. 74, 1932. — F e d o r o v N. T. a. M k r t i c h e v a L., Nature, No. 3599, 1938. — R u b i n s t e i n B. a. T h e r m a n, Scand. Arch. Physiol., Bd. 72, 1935. — A j o A. a. T e r a s k e l i H., Acta ophth., v. 15, 1937. — P h i I i p s G., Brain, v. 56, 1933. — S n e l 1 P., Journ. Soc. motion picture eng., v. 20, 1933. — B r a u n s t e i n E. P., Zschr. Psych., Bd. 33, 1903. — G r a n i t R., Report of a joint discussion on vision, 1932. — B a r t l e y S., J. exp. psych., v. 21, 1937; v. 22, 23, 1938. — B e a t t i e E., Proc. Roy, soc. Edinb., v. 59, 1939. — R o s s P., Psychol. bull., v. 31, 1934. — K p a b κ o b C. B., Φизиологический журнал СССР, т. 19, 1935; Вестник офталмологии, т. 13, 1938; Доклады Академии наук СССР, т. 22, 1939. — А л е к с а н я н А. и Л и в ш и ц Н., Физиологический журнал СССР, т. 26, 1939. — H e й ш т а д т Я. Я., Д а н ц

### ГЛАВА VIII

## восприятие пространства

Глаз позволяет нам судить и о пространственных соотношениях вещей. Правда, в пространстве ориентируются и лица, лишенные зрения, однако им это удается гораздо хуже и с гораздо большим трудом, чем людям зрячим. Поэтому будет правильным признать, что восприятие пространства есть по преимуществу функция нашего глаза. Что же значит видеть пространственно ориентированные предметы? Это значит видеть их форму, их размер, направление, в каком они от нас находятся, и расстояние, на которое они от нас удалены.

# § 1. Острота зрения. Определяющие ее факторы

Чтобы видеть форму, необходимо достаточно четко видеть очертания предмета, его границы. Если, например, перед нами пила, но имеющихся у нее зубцов мы не различаем, мы не видим и ее формы. Для того же, чтобы отчетливо видеть контуры, глаз должен достаточно чувствительно реагировать на малейшие разницы раздражения, объективно имеющиеся в поле зрения. Лишь при этом условии малейший выступ, малейшая выемка или перерыв в очертании будут замечены. Рассматриваемая способность глаза и есть то, что называют остротой зрения. Острота зрения характеризуется обычно тем минимальным промежутком между двумя объектами, который мы в состоянии видеть.

Для того чтобы видеть две точки раздельными, необходимо, чтобы между их изображениями на сетчатке оставалось некоторое пространство, возбуждение которого вызывает у нас ощущение иное, чем те места, на которые падают изображения самих точек. На рис. 168 дана схема того, что мы имеем в случае различения глазом двух темных точек A и B, находящихся на светлом фоне. На сетчатке точки A и B, падая на элементы сетчатки a и f, обусловливают определенный уровень их возбуждения. На лежащие в промежутке между a и f элементы сетчатки падает свет от светлого фона и возбуждает их уже в иной степени, чем возбуждены a и f. В силу этого мы и видим между A и B светлый промежуток. Практической мерой остроты зрения глаза V и считается величина, обратная разрешающему углу AKB, под которым виден минимальный промежуток между A и B (таким образом,  $V = \frac{1}{a}$ ). При этом точка K обозначает объединенную узло-

образом,  $V = \frac{1}{\lfloor 0}$  ). При этом точка K обозначает объединенную узло-

вую точку глаза. Нетрудно видеть, однако, что при таком способе определения остроты зрения протяжение аf на сетчатке (т. е. величина сетчаточного изображения промежутка AB) для глаз разной длины будет различно, несмотря на одинаковость угла AKB. Для того чтобы одной и той же величине остроты зрения соответствовала бы и одна и та же величина изображения на сетчатке, в глазах с одной преломляющей силой, но с различной длиной глазного яблока необходимо при измерении остроты зрения учитывать разрешающий угол с вершиной не в узловой точке глаза, а с вершиной, приходящейся в точке переднего главного фокуса глаза. Величину остроты зрения, высчитанную таким именно способом, Гульстранд называет абсолютной остротой зрения. Чтобы одинаковая величина остроты зрения отвечала бы одинаковой величине изображения на сетчатке в глазах

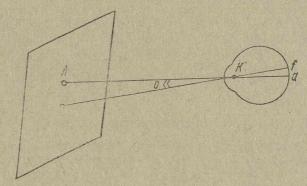


Рис. 168. Схема, иллюстрирующая понятие остроты зрения.

с одинаковой длиной глазного яблока, но различной преломляющей силой, следует, наконец, вершиной разрешающего угла считать

переднюю главную точку глаза.

При применении объектов, достаточно удаленных от глаза, разрешающие углы с вершинами в узловой или главной точках глаза различаются друг от друга весьма мало. Поэтому обычные отсчеты разрешающего угла при практических определениях остроты зрения и совершаются применительно к главной точке глаза (для редуцированного глаза, как мы знаем, совпадающей с вершиной роговицы).

Острота зрения глаза в основе своей зависит от условий двоякого рода: физических, с одной стороны, и анатомо-физиологических—

с другой.

Физические условия обусловливают прежде всего большую или меньшую четкость изображения на сетчатке. От анатомо-физиологических моментов зависит, увидим ли мы объект сообразно четкости

его изображения на сетчатке, или не увидим.

Если изображение на сетчатке не четко, а расплывчато, как то бывает в плохо фокусированном фотографическом аппарате, то различие возбуждения в a и f, с одной стороны, и в промежуточных между ними элементах сетчатки— с другой, может стереться, так как расплывчатые изображения точек A и B будут покрывать собой

не только *а* и *f*, но и промежуточные элементы сетчатки. Четкость изображения на сетчатке обусловливается диоптрическими свойствами глаза. В главах I и II мы уже видели, что для получения четкого изображения от предметов, находящихся на различном расстоянии, требуется специальным образом приспособить хрусталик, т. е. аккомодировать. С другой стороны, и при вполне соответствующей аккомодации полного отсутствия размытых границ изображения (расплывчатости их) не получается в силу аберрации глаза и явлений дифракции света при прохождении через отверстие зрачка.

Круги светорассеяния, происходящие от сферической аберрации, бывают, как мы видели, тем больше, чем больше зрачковое отверстие, дифракция же света сказывается в этом отношении как раз обратно. Дифракционный диск и светлые и темные кольца, получающиеся вокруг него на сетчатке после прохождения света через диафрагму зрачка, будут иметь тем больший радиус, чем отверстие зрачка меньше.

Встает поэтому вопрос: какое же отверстие зрачка является наилучшим в отношении четкости изображения на сетчатке? Очевидно, что таким будет та величина зрачка, при которой диаметр дифракционного кружка на сетчатке равен диаметру кружка аберрационного. Произведя соответствующий подсчет, Вербицкий нашел, что наилучшим для остроты зрения в этом смысле диаметром зрачка является диаметр около 3 мм. Опыты Кобба и более поздние опыты Вербицкой этот вывод подтвердили.

Из физики известно, что радиус первого темного кольца, окружающего центральный светлый дифракционный диск, будет пропорционален величине  $\frac{\lambda f}{r}$ , где  $\lambda$  — длина световой волны, f — расстояние

зрачка от сетчатки и r — радиус зрачкового отверстия. Чтобы две точки могли быть видимы как раздельные, необходимо, чтобы максимум яркости дифракционного диска от одной точки падал бы вне максимума яркости другого такого диска. Дифракционные диски, даваемые изображениями обеих точек, и определяют собой тот физический предел остроты зрения глаза, который называется разрешающей силой или разрешающей способностью оптической системы.

Что касается далее влияния хроматической аберрации глаза, то здесь надо сказать, что изображение на сетчатке будет тем более четким, чем меньше различия в длинах волн действующего на глаз света, чем ближе он к монохроматическому. Астигматизм, наконец, как то само собой понятно, также уменьшает четкость изображения

на сетчатке и тем самым ухудшает и остроту зрения.

Физиологической функцией, лежащей в основе остроты зрения,

является различительная чувствительность глаза.

Изображение объектов, рассматриваемых глазом, в силу несовершенной аккомодации, аберрации, дифракции и возможного астигматизма имеют на сетчатке границы, всегда не вполне резкие, но несколько размытые. Соответствующая изображению границы освещенность на сетчатке всегда дает постепенный переход от наибольшей интенсивности к наименьшей. Это именно обстоятельство и лежит, как мы знаем, в основе явлений иррадиации. Если, например, глаз видит два белых квадрата А и В на некотором темном фоне (рис. 169),

то вызываемое ими освещение на сетчатке распределится не по лома ной линии afghqsptn, а по кривой ademn. Соответственно этому элементы сетчатки, на которые падают изображения, например, три колбочки I, II и III (см. тот же рис. 169), будут освещены различно: средняя колбочка (II) получит освещение меньшее, чем соседние с ней колбочки (І и ІІІ), и будет поэтому возбуждена слабее, чем эти последние. В зависимости от того, насколько велико здесь различие в степени возбуждения соседних колбочек, мы заметим или не заметим существование между квадратами А и В темного промежутка.

Мы видим, следовательно, что острота зрения зависит от различительной чувствительности глаза. Минимальный видимый глазом промежуток между двумя объектами может поэтому давать на сет-

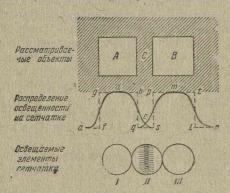


Рис. 169. Схема распределения возбужде- ти могут быть заметны на бения в зрительном аппарате при различении двух белых объектов.

чатке изображение и меньшее, чем диаметр одной колбочки. Этот случай как раз и изображен на вышеприведенном рисунке. В согласии с ним опыты Вилькокса установили, что минимальный черный промежуток, видимый глазом, может соответствовать углу всего в 15-17 секунд, в то время как диаметру фовеальной колбочки соответствует почти вдвое больший угол (25-31 секунда).

По Ризу (1939), темные нилом фоне при угловой ширине их всего в 3-4 секунды. Мы

имели случай наблюдать (1941) то же при ширине нитей, равной 6 секундам. Гехт и Минц (1939) нашли даже, что черная нить на светлом фоне может быть заметна при своей угловой толщине всего в полсекунды!

Таким образом, анатомические размеры элементов сетчатки, вообще говоря, не предопределяют собой предела возможной остроты зрения. Они ставят остроте зрения пределы лишь в тех случаях, когда различаемые объекты чрезвычайно малы по своим размерам, так как в пределах одного светоощущающего элемента сетчатки различение яркости или цвета невозможно.

Имея в виду эти основные факторы, определяющие остроту зрения, обратимся к обозрению отдельных частных условий, на нее влияющих.

Монохроматический свет дает большую остроту зрения, чем свет смешанный. Так, например, Беллем производился опыт над одинаковой легкостью чтения при разных освещениях. Один раз освещение давалось монохроматическим зеленым светом от ртутной лампы, в другом случае — смешанным светом того же цветового тона. Оказалось, что если при монохроматическом свете бралось освещение в 20 люксов, то «для одинаковой читаемости» при свете смешанном требовапось 35 люксов. В случае же слабых освещенностей эта разница между монохроматическим и смешанным освещением была особенно велика: монохроматическое освещение в 6 люксов дало ту же «читаемость», что смешанное освещение в 30 люксов. Опыты Эллиот также подтвердили преимущество для остроты зрения освещения монохроматического. Согласно ее экспериментам, очертания на фоне, освещаемом ртутной

лампой, узнаются нами быстрее, чем на фоне смешанного света при той же яркости. В связи с мешающим действием смешанного света на остроту зрения, что следует объяснять хроматической аберрацией глаза, стоит и следующий интересный опыт, на первый взгляд кажущийся парадоксальным. Если смотреть на какие-нибудь мелкие детали сквозь стекло пурпурного цвета, а затем к пурпурному стеклу приставить еще добавочное желтое, то оказывается,

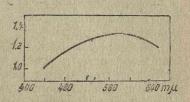


Рис. 170. Зависимость остроты зрения от длины волны света (по Лекишу).

что острота зрения от этого улучшается, хотя яркость видимого поля становится меньше (из-за Добавочного поглощения света в желтом

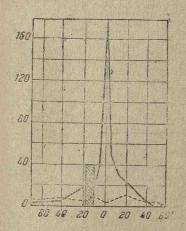


Рис. 171. Зависимость остроты зрения от места сетчатки (по Фику).

стекле). Монохроматические лучи не все одинаково благоприятны для четкости видения. По данным Лекиша и Фэрри, относящимся к различению черных объектов на белом фоне, наиболее выгодны желтые лучи 580 тр.). Это можно видеть из кривой рис. 170, где по оси абсцисс отложены длины волн, а по ординатам - острота зрения (в условных единицах). Яркость была предварительно сделана одинаковой. Возможно, что преимущественное положение лучей желтых следует объяснять тем, что глаз наш в естественных условиях наиболее приспособлен именно к этим лучам и лучше всего к ним аккомодирует.

Физиологические условия сказываются в факте чрезвычайной зависимости остроты зрения от места раздражения на сетчатке. По мере удаления

от центральной ямки сетчатки острота зрения для колбочкового зрения весьма быстро падает, как то и видно из кривой (рис. 171, сплошная линия), полученной Фиком. Ординаты показывают значение остроты зрения в условной мере, абсцисса же — отстояние раздражения на сетчатке от fovea centralis в градусах. Пунктирная кривая показывает остроту зрения для сумеречного (палочкового) зрения. Кривая, подобная кривой Фика для колбочковой остроты зрения различных мест сетчатки, была получена и Вертхеймом. Что касается влияния темновой адаптации на остроту зрения, то, по дан-

ным Брока, по отношению к слабым световым раздражениям острота зрения при темновой адаптации возрастает, по отношению же к объектам более ярким, напротив, оказывается меньшей. Опыты Брока были

проведены с постоянным искусственным зрачком.

Крайк (1939) нашел, что острота зрения оказывается худшей, если глаз адаптирован к яркостям меньшим, чем яркость тестового поля, или же, напротив, к яркостям, значительно превышающим эту яркость. Определения остроты зрения производились им во время 2-секундной экспозиции тестового поля, тотчас за адаптацией к той или другой яркости.

Особенно важным с практической точки зрения является далее влияние на остроту зрения интенсивности освещения. Ряд авторов, изучавших этот вопрос, установили, что по мере увеличения яркости белого фона острота зрения (сказывающаяся в различении черных объектов, находящихся на этом фоне) растет. Так, например,

см. таблицы.

По Фэрри и Рэнд

Освещение в люксах	Наименьший угол, под которым видится промежуток (в угловых минутах)	Освещение в люксах	Наименьший угол, под которым видится промежуток (в угловых минутах)
0,01 0,1 1,0 10,0	7,15 3,76 1,21 0,74	50,0 100,0 200,0	0,52 0,51 0,50

По Кенигу

Освещение в люксах	Острота зрения (в условных единицах таблицы Снеллена)	Освещение в люксах	Острота зрения (в условных единицах таблицы Снеллена)
0,0004	0,038	54,5	1,169
0,003	0,088	123	1,283
0,037	0,132	264	1,556
0,16	0,200	645	1,683
0,34	0,346	878	1,700
0,67	0,423	2346	1,703
1,19	0,596	7414	1,708
3,95	0,769	14040	1,708
13,6	0,872	64480	1,750
26,1	1,093		_

Откладывая по абсциссе логарифмы освещенности, а по ординате — остроту зрения, мы получаем S-образную кривую. Аналитическим выражением для средней части кривой будет  $V=a\log J+b$ , где V — острота зрения, J — освещенность поля, a и b — мекоторые константы.

При уменьшении контрастности между рассматриваемыми объектами и фоном, на котором они находятся, острота зрения снижается. Это и понятно, если вспомнить то, что было сказано выше о роли различительной чувствительности глаза в деле замечания нами минимального промежутка между объектами.

Зависимость остроты зрения от освещенности (соответственно — от яркости фона), а также от контрастности рассматриваемых темных объектов с фоном показана на рис. 172. Рассматриваемыми объектами в ней служили кольца Ландольта; контраст вычислялся как умноженное на 100 отношение разности яркостей объекта и фона к яркости фона. Яркость фона отложена по абсциссе в апостильбах (т. е. люксах

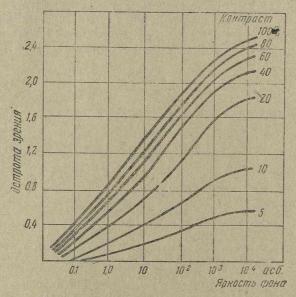


Рис. 172. Зависимость остроты зрения от освещенности и контраста в случае различения темных объектов на светлом фоне (по Зидентопфу).

на белом). По ординате отложена острота зрения в обычных врачебных единицах.

Из кривых можно видеть, что своего высшего, более или менее постоянного уровня острота зрения, при различении черных объектов на белом, достигает лишь при освещенности в тысячи люксов.

Совсем отличную от рассмотренной выше зависимость от освещения обнаруживает острота зрения в случае, когда перед глазом стоит задача различения светлых объектов на темном фоне, а не темных на светлом. Как то показали опыты Вилькокса, а затем Кленовой и Музылева, при различении белых объектов на черном фоне острота зрения от увеличения освещения сперва возрастает, сравнительно быстро достигает максимума и при дальнейшем усилении освещенности неуклонно идет на снижение. Данные опытов Кленовой (полученные в условиях монокулярного зрения с искусственным зрачком

ANDU 271

3 мм в диаметре и при адаптированности глаза к слабой яркости) приведены ниже в таблице и кружками на рис. 173.

Как мы видим, оптимум остроты зрения падает здесь уже на освещенности совсем небольшие — порядка всего нескольких люксов. Подобный ход кривой остроты зрения в зависимости от освещенности, наблюдаемый нами в случае различения белых объектов на черном фоне, может быть понят, если принять во внимание совместное действие двух факторов, влияющих на остроту зрения, а именно влияние иррадиации и влияние различительной чувствительности глаза. Мы

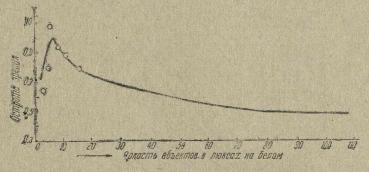


Рис. 173. Зависимость остроты эрения от освещения в случае различения белых объектов на темном фоне (по Кленовой).

не можем согласиться с мнением Вилькокса (1936), считающим, что здесь следует иметь в виду лишь иррадиацию. Иррадиация, увеличиваясь по мере усиления яркости белых объектов, делает промежуток между ними все меньшим и меньшим. Различительная чувствительность, напротив, с увеличением яркости сравниваемых объектов возрастает. Если бы острота зрения в рассматриваемом случае зависела только от иррадиации, она с усилением освещения должна бы была неуклонно снижаться. Если бы она определялась только различительной чувствительностью, она бы неизменно возрастала. Поскольку же она зависит и от того и от другого, ход ее будет пропорционален произведению ординат обеих кривых, т. е. кривой, показывающей уменьшение темного промежутка, видимого между белыми объектами, по мере увеличения яркости этих последних, и кривой, показывающей нарастание различительной чувствительности при тех же условиях. Взяв данные относительно различительной чувствительности из опытов Хаустона и данные относительно иррадиации из наших опытов и произведя соответствующий подсчет, мы, действительно, получили

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Лишь для объектов очень малого углового размера изменение иррадиации по мере увеличения яркости проходит через минимум (см.; выше в гл. I).

кривую, довольно хорошо совпадающую с данными опытов Кленовой над остротой зрения. Полученная нами таким путем теоретическая кривая и приведена выше на рис. 173 вместе с данными опытов Кленовой. Сравнительное изучение остроты зрения при различении черных объектов на белом фоне и белых объектов на черном фоне, произведенное у нас в лаборатории Музылевым (1937), показало, что при низких уровнях освещенности большая острота зрения достигается в случае различения белых объектов на темном фоне, чем при обратной комбинации светлот объектов и фона. Найденные им же зависимости остроты зрения (для различения белых объектов на черном) от адаптации глаза приведены ниже в виде пространственной модели на рис. 174. Влиянием эффекта иррадиации и контрастной чувствительно-

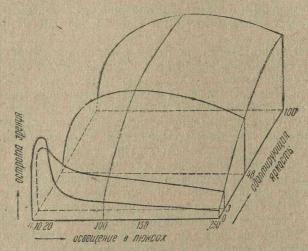


Рис. 174. Зависимость остроты зрения при различении белых объектов на темном фоне от освещенности и от адаптации глаза (по Музылеву).

сти объясняется, с нашей точки зрения, и ранее упоминавшаяся кривая зависимости остроты зрения от освещенности при различении черных объектов на белом фоне. С усилением света нарастает как различительная чувствительность, так и эффект иррадиации, в данном случае способствующий замечаемости светлого промежутка между темными объектами.

В своем объяснении зависимости остроты зрения от освещения Лазарев, а затем Гехт исходят из того, что острота зрения есть функция числа возбужденных элементов сетчатки. Чем больше элементов сетчатки, лежащих между изображениями двух, например, черных точек А и В (см. выше рис. 165), придет в возбуждение, тем ближе мы можем свести эти точки и все же будем замечать существование между ними светлого пробела. Следующее допущение, делаемое здесь, состоит в том, что отдельные элементы сетчатки имеют неодинаковую чувствительность. Они приходят в возбуждение при различных интенсивностях раздражающего света. Чем больше интен-

сивность этого света, тем больше и количество пришедших в возбуждение элементов, а следовательно, соответствующим образом лучше и острота зрения. Количество элементов, имеющих ту или иную пороговую чувствительность, распределяется, по Гехту, по законам вероятности, давая кривую с максимумом, приходящимся на некоторую среднюю чувствительность. Для палочек и для колбочек Гехт допускает две особые кривые. Строя (совершенно произвольно) такие кривые и беря затем по ним сумму (интеграл) общего количества элементов, возбужденных при каждой данной интенсивности, Гехт в результате получает кривую, хорошо подходящую к опытным данным Кенига.

Близкую к взглядам Гехта теорию остроты зрения предлагает и Хаустон. По его мнению, острота зрения пропорциональна количеству возбужденных элементов, приходящихся лишь не на единицу площади, как полагал Гехт, а на единицу линейного протяжения сетчатки.

С нашей точки зрения попытки объяснять изменение остроты зрения с освещенностью изменением числа возбужденных элементов сетчатки наталкиваются на следующие затруднения. Во-первых, и при самом редком расположении возбужденных элементов сетчатки, т. е. при наибольшей средней удаленности одного возбужденного элемента от другого, все же вполне возможны такие случаи, что изображение промежутка двух различаемых объектов покроет собой как раз возбуждаемые элементы. При таких условиях острота зрения, несмотря на минимальную освещенность, может оказаться все же весьма высокой, между тем этого не наблюдается. Во-вторых, если при усилении освещения приходят в возбуждение все новые и новые элементы сетчатки, это значит, что при более слабых освещенностях ряд элементов на сетчатке остается невозбужденным. Между тем опыты Вилькокса показали, что уже одна невозбужденная колбочка замечается нами как темная точка в поле зрения. Почему же при слабых освещенностях мы не видим все же подобной пятнистости? Что касается субстрата различной интенсивности зрительного возбуждения, то здесь следует иметь в виду не только количество возбужденных нервных волокон, как то делают вышеупомянутые авторы, но и частоту импульсов, протекающих через одно чувствительное нервное волокно. Нарастающая интенсивность возбуждения может сказываться учащением подобных импульсов, а не только возбуждением новых, оставшихся еще невозбужденными, элементов сетчатки.

Предметом специальных экспериментов Кравкова был вопрос о влиянии побочных раздражений на остроту зрения. Прежде всего здесь исследовался вопрос, как влияет освещение одного глаза на остроту зрения другого. При этом мы интересовались ролью специально центрального возбуждения, которое возникает от освещения второго глаза. Все периферические изменения в исследуемом глазе были поэтому по возможности устранены. Мы заставляли исследуемый глаз смотреть всегда через искусственный зрачок (размером 1,5 мм в диаметре). Кроме того, впусканием в глаз нескольких капель гоматропина мы вызывали временный паралич аккомодации. В качестве рассматриваемых объектов нами брались маленькие квадраты, кото-

рые можно было сближать друг с другом или раздвигать. Испытуемый устанавливал тот минимальный промежуток, при котором квадраты видятся раздельно. Опыты производились как с черными квадратами на белом фоне, так и с белыми квадратами на черном фоне. Сперва проводился ряд определений сстроты зрения для одного глаза, когда другой глаз был закрыт или смотрел в слабо освещенное прост-

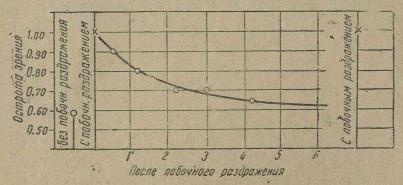


Рис. 175. Зависимость остроты зрения от освещения другого глаза при различении черных объектов на белом фоне (по Кравкову). Кружками обозначены значения, полученные без освещения другого глаза, крестиками—при освещении другого глаза.

ранство, затем ряд определений, когда этот второй глаз освещался стоящей прямо перед ним молочной лампой в 40 ватт. Найденная

обоих случаях остзрения сопоставлялась друг с друвсех сериях опытов, произведенных более чем над 20 линеизменно оказывалось, что побочное раздражение (освещение другого глаза) заметно меняло остроту зрения. При этом острота зрания по отношению к различению черных квадратов на белом фоне от побочного раздра-



Рис. 176. За висимость остроты зрения от освещения другого глаза при различении белых объектов на черном фоне (по Кравкову).

Кружками обозначены значения, полученные без освещения другого глаза, крестиками — при освещении другого глаза.

жения увеличивалась; острота же зрения при различении белых квадратов на черном фоне, напротив, уменьшалась. Опыты показали, что такое способствующее и вредящее влияние побочного возбуждения не проходит сразу по прекращении побочного раздражения, но идет на убыль постепенно. Кривые рис. 175 и 176 иллюстрируют сказанное. На кривых по ординате отложена острота зрения (в условных единицах), по абсциссе же обозначены определения «без побочного раздражения», «с побочным раздражением»

и цифры, показывающие число минут, протекших после прекраще-

ния побочного раздражения.

Эти опыты Кравкова над изменением остроты зрения под влиянием освещения другого глаза были затем повторены и подтверждены в Японии Гото и Тамура (см. Zbl, ges. Ophth., Bd. 26, S. 224, 1931;

Ber. ges. Physiol. Bd. 79, S. 660, 1934).

В качестве вероятного объяснения того, почему на различении черных и белых квадратиков добавочное возбуждение сказывается по-разному, нам кажется нужным допустить следующее. В силу ряда уже известных нам оптических дефектов глаза границы белого с черным никогда не рисуются на сетчатке (и соответственно в мозговых центрах) резко очерченными. Всегда имеет место постепенный переход от вполне раздраженного места (белого) к нераздраженному (черному). В силу своей малой интенсивности крайние места этих «сходящих на-нет» раздражений не вызывают в мозгу сверхпорогового возбуждения и, следовательно, не вызывают у нас и соответствующих ощущений. Если же мозг уже несколько возбужден, то приходящее слабое возбуждение, суммируясь с уже имеющимся, оказывается способным стать сверхпороговым и вызвать у нас впечатление некоторого увеличения белого объекта (то, что мы и наблюдаем в так называемой иррадиации). Подобного рода процесс следует допустить и для наших случаев различения черных точек на белом и белых на черном. От побочного раздражения белые поля в силу сказанного должны в известной мере «расползаться». При черных точках «расползается» белый промежуток, и оказывается поэтому возможным сделать его объективно меньше (острота зрения возрастает). При белых же точках на черном фоне «расползаются» сами точки, и промежуток субъективно уменьшается. Чтобы сделать его заметным, приходится объективно его увеличивать (острота зрения, следовательно, становится меньшей).

Как о том уже была речь выше, наши опыты прямым образом показали, что эффект иррадиации, действительно, может усиливаться под влиянием побочных раздражителей, действующих на субъекта. Как гомогенные побочные раздражители можно рассматривать и световые раздражения других мест сетчатки исследуемого глаза. Здесь возникает вопрос о роли фона, окружающего поле, на котором нанесены подлежащие различению знаки. Влияние углового размера фона на остроту зрения изучалось Пинегиным (1936) в Государственном оптическом институте и Музылевым (1937) в нашей лаборатории. Оба автора нашли, что при достаточной яркости фона увеличение его угловых размеров ведет к повышению остроты зрения центральной ямки сетчатки при различении черных объектов на белом. Следует отметить, что, по данным Музылева, в случае различения белых объектов, находящихся на черном поле, окруженном белым фоном, угловое увеличение этого последнего влечет за собой уже обратный эффект, а именно ухудшение остроты зрения. Эти результаты, полученные Музылевым в условиях постоянного искусственного зрачка (3 мм диаметр), изображены на рис. 177, где по абсциссе отложены размеры стороны фона в градусах (яркость фона была около 200 люксов на белом), по ординате — разрешающий угол в секундах. Сплошная линия относится к опытам с черными объектами на белом, прерывистая же — к опытам с различением бе-

лых объектов на черном.

Подобное различие в действии фона на остроту зрения при различении черных объектов на белом и белых объектов на черном является новым подтверждением того, что гомогенные побочные раздражители действуют здесь на остроту зрения главным образом путем увеличения возбужденности, влекущего за собой увеличение эффекта иррадиации, чрезвычайно существенного для остроты зрения.

Но выше мы уже более подробно останавливались на том, что распределение добавочной возбужденности от побочного раздражителя в зоне прямого возбуждения может быть более или менее равномерным в зависимости от того, велика или мала разница в возбужденности прямо возбужденных смежных полей. В первом случае побочное раздражение увеличивает контраст, во втором — сглаживает.

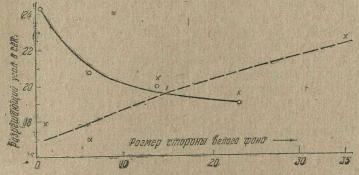


Рис. 177. Острота зрения в зависимости от величины светлого фона (по Музылеву).

Применительно к остроте зрения это означает, что под влиянием побочных раздражений различение темных объектов на светлом поле может увеличиваться, если контраст их с полем достаточно велик, и, напротив, будет ухудшаться в обратном случае. Эта закономерность подтверждается некоторыми, еще неопубликованными опытами над изменениями остроты зрения при воздействии на глаз отдельных ярких пятен, находящихся в поле зрения (так называемых «блеских» полей), проведенными в светотехнической лаборатории Мешкова в Москве.

Если влияние естественного зрачкового рефлекса не устранено, действие побочных световых раздражителей в значительной мере

определяется, конечно, и этим моментом.

Зрачковый рефлекс и добавочное центральное возбуждение объясняют, в частности, и тот факт, хорошо известный офталмологам из практики, что бинокулярная острота зрения бывает обычно лучше

монокулярной.

К числу еще невыясненных вопросов, касающихся остроты зрения, хотя и неоднократно затрагивавшихся в литературе, следовало до недавних пор относить вопрос о зависимости остроты зрения от удаленности объекта, в частности, вопрос о так называемом явлении

Ауберта-Ферстера. Ауберт, изучая остроту зрения периферических частей сетчатки, нашел, что мелкие, но близкие объекты различаются более периферическими местами сетчатки, чем объекты крупные, но удаленные, даже в том случае, когда угол, под которым они видятся, остается одним и тем же.

Иными словами, применительно по крайней мере к боковому зрению, выходило, что острота зрения по отношению к объектам близким у нас лучше, чем по отношению к объектам далеким. Якобсон, а также Теплов наблюдали то же самое и при исследовании центрального зрения. Возникал естественный вопрос о роли здесь аккомодации. Пытались устранить различия аккомодации глаза тем, что при рассматривании близких объектов ставили перед глазом собирательную линзу, что заставляло глаз соответственно расслаблять аккомодацию. Тем не менее феномен Ауберта-Ферстера наблюдался. Фримэн, наконец, при одной методике своего опыта констатировала даже явление, как раз обратное феномену Ауберта-Ферстера. Именно, раздвигая два черных квадрата до тех пор, пока испытуемый, смотрящий боковыми местами сетчатки, не заметит между квадратами промежутка, Фримэн нашла, что для больших, но удаленных объектов острота зрения оказывается большей, чем для малых, но близких. Опыты Фримэн были проведены, правда, при особых условиях (чрезвычайно малой освещенности, при которой и острота зрения была вообще очень плохой; близкое же расстояние равнялось у нее 30 см). Анализ условий опытов тех авторов, которые находили явление Ауберта-Ферстера, позволил предноложить, что полученные ими результаты могут быть объяснены различными угловыми размерами того фона, на котором были видны в их экспериментах испытательные объекты при рассматривании их с близкого и далекого расстояния. При приближении объектов угловой размер светлого фона делался больше. Величина же светлого фона, на котором видятся объекты, для различия их далеко не безразлична, как мы уже говорили выше. Поэтому, по нашему предложению, Музылев вновь исследовал вопрос о влиянии удаленности объектов на величину разрешающего угла. Испытуемые смотрели через искусственный зрачок. Расстояния различных объектов от глаз равнялись в одном случае 2,8, в другом же 14 м. Строго соблюдалось постоянство угловой величины как самих различаемых объектов, так и того белого фона, на котором они находились. При таких условиях оказалось, что никакого явления Ауберта-Ферстера не возникает, т. е. острота зрения остается той же самой, как для близких (2,8 м), так и для далеких (14 м) объектов.

Наблюдения же Фримэн подтвердились лишь для значительно приближенных объектов (расстояние 20—30 см от глаза), острота зрения вблизь оказывалась несколько худшей, хотя подопытные

лица дальнозоркостью и не страдали.

Что касается, далее, зависимости остроты зрения от раздражителей, воздействующих на другие органы чувств, то нами (1930) были поставлены опыты по вопросу о действии на остроту зрения слуховых раздражителей. Оказалось, что острота зрения под влиянием звуков меняется так же, как под влиянием освещения другого глаза. Различение черных объектов на белом от побочного слухового раздражения

улучшается, различение же белых объектов на черном, напротив, делается хуже.

Для иллюстрации ниже приведены некоторые из полученных нами здесь данных.

Испытуе-	Различение черных квадратов на белом фоне		Испытуе-	Различение белых квадратов на черном фоне		
	без звукового раздражения	при звуковом раздражении		без звукового раздражения	при звуковом раздражении	
Т. С. Л. Е. Ст.	25±3,0 21±2,3 23±4,1 38±2,7 32±2,9	18±4,0 13±2,5 14±4,1 23±4,3 18±2,3	Т. С. Л. Ст.	60±3,5 54±3,1 69±4,5 67±5,5	85±5,6 66±4,4 93±2,9 84±8,2	

Цифры показывают тот минимальный промежуток между квадратами (в угловых секундах), при котором они виделись еще раздельно.

Таким образом, по данным и этих опытов влияние центрального мозгового возбуждения на остроту зрения может считаться установленным.

Роль центрального фактора в остроте зрения выясняется также с полной очевидностью опытными данными Севрюгиной [(1938), полученными в нашей лаборатории и показавшими, что острота зрения может изменяться вследствие образования условно-рефлекторных связей. Если неоднократно сочетать легкое постукивание метронома с увеличением освещенности различаемых объектов, то затем уже и одно постукивание метронома начинает вызывать повышение остроты зрения, хотя бы мы освещения и не увеличивали. Данные опытов Севрюгиной приведены на рис. 178.

По абсциссе отмечены дни опытов, по ординате — разрешающий угол в секундах. Сплошной линией соединены данные, полученные при слабом освещении и без метронома, пунктирной линией — данные, полученные при усиленном освещении и с метрономом; наконец, линией штрихами показаны величины, полученные в опытах со сла-

бым же освещением, но при постукивании метронома.

Из всего сказанного можно видеть, что острота зрения (как величина, обратная тому минимальному углу, под которым мы можем замечать промежуток между двумя точками) есть нечто переменное, зависящее от целого ряда как физических, так и физиологических условий. Можно все же поставить вопрос, как велика может быть острота зрения при наиболее благоприятных условиях? Простейшим ответом казалось допущение, что для того, чтобы промежуток между некоторыми двумя точками А и В мог быть виден, надо, чтобы по крайней мере один элемент сетчатки, лежащий между изображениями от А и В, оказался возбужденным. Отождествляя этот концевой воспринимающий элемент сетчатки с колбочкой и полагая диаметр колбочки приблизительно равным 0,004 мм, находим, что изображе-

нию такого протяжения соответствует объект, видимый под углом приблизительно в одну угловую минуту. Величина в одну угловую минуту и принимается обычно врачами в качестве нормы для остроты зрения.

Выше мы уже видели, однако, что анатомические размеры колбочек еще не предопределяют предела остроты зрения. Кроме того, размер колбочек в области центральной ямки сетчатки обычно бывает

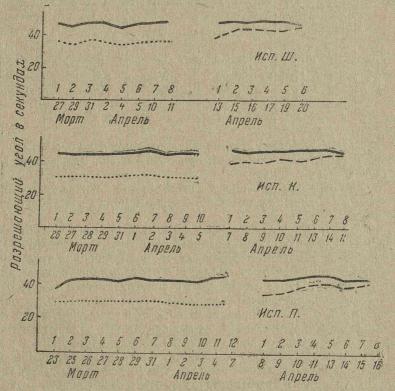


Рис. 178. Условно-рефлекторные изменения остроты зрения (по Севрюгиной).

и меньше вышеуказанного. В силу всего этого и предельный угол для остроты зрения может быть значительно меньше одной минуты. Так, Ауберт, например, мог видеть белый квадрат на черном фоне при стороне квадрата, равной всего 18 угловым секундам. Угол в 30 секунд наблюдался в вышеупомянутых опытах Фэрри и Рэнд. Углы еще того меньшие (до 11 секунд) наблюдались нами в наших опытах с влиянием побочных раздражений на остроту зрения. Кон сообщает о случаях, когда такие предельные углы достигали 15, 10 и 7,5 секунд.

Здесь не следует забывать того, что в силу иррадиации угловой размер изображения (белого) предмета на сетчатке будет фактически

всегда больше этих подсчитанных для него величин.

Особое значение имеют здесь поэтому предельные величины, найденные для минимальных видимых черных объектов на белом фоне:

По Ауберту, эта величина равняется 25 секундам, по Теплову, она менее 22 секунд, по Вилькоксу — равна 15—17 секундам. По данным Риза (1939) и Кравкова (1941), — о чем мы уже упоминали выше, — темные нити на светлом фоне замечаются даже при их толщине всего в 3—6 угловых секунд и даже меньше.

Особенно большой острота зрения может быть при оценке смещения одной половины прямой линии по отношению к другой. С подобного рода оценками мы имеем дело при отсчетах по нониусу и т. п. Опыты Вюльдинга, Бурдона и др. показали, что здесь нами вполне

могут быть замечены смещения всего на 12, 5, 4 се-

кунды и даже на 2,5 секунды (по Бесту).

Обычным методом определения остроты зрения в практических врачебных целях служат таблицы <sup>1</sup>, заключающие в себе буквы или знаки, которые испытуемый должен различать. Наиболее распространенными являются таблицы Снеллена (рис. 179). Они состоят из строк букв, подобранных так, что с расстояний, указанных сбоку каждой строки, толщина каждого штриха буквы виделась бы под углом в 1 минуту. Освещение таблиц равняется приблизительно 150 люксам. Испытуемого помещают на определенном расстоянии (5 или 6 м) и предлагают ему (каждым глазом отдельно)<sup>2</sup> читать буквы в каждой строке, начиная от самых крупных. Самая мелкая



Рис. 179. Одна из букв, применяемых для определения остроты зрения в таблицах Снеллена.

строка, которая прочитывается безошибочно или по крайней мере с ошибками не более как в 20% всех ответов, учитывается как харак-



v во врачебной практике выражается дробью, где числитель d обозначает фактическое расстояние таблицы от испытуемого, а знаменатель D — то расстояние, с которого штрихи данных букв видятся под углом водну минуту.

Рис. 180. Кольцо Ландольта.

 $v = \frac{d}{D}$ 

теризующая остроту зрения. Численно острота зрения

Весьма пригодны (также и для неграмотных) могут быть таблицы с кольцами («оптотипами») Ландольта. Образец такого кольца показан на рис. 180. От испытуемого требуется, чтобы в ландольтовских таблицах он указал, в каком направлении находится разрыв в кольце (вправо, влево, вверх или вниз). Для научных целей определение остроты зрения может производиться при помощи различных опти-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Более свободными от недостатков, присущих многим другим испытательным таблицам, являются таблицы для определения остроты зрения, выпущенные Головиным совместно с Сивцовым. В настоящее время подготовляется издание новых таблиц, использующих результаты большого исследования, проведенного И. М. Авербахом, относительно сравнительной читаемости различных буквенных знаков.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Другой глаз при этом рациональнее не совсем закрывать, но лишь заслонить от испытательной таблицы светлой же карточкой. В этих условиях, как показал Литинский, мы устраняем ошибку, происходящую от содружественного расширения зрачка в исследуемом глазе.

ческих установок, ставящих перед испытуемым глазом задачу увидеть некоторый минимальный промежуток между полями<sup>1</sup>. Таблицы с черными знаками на белом фоне или с белыми на черном в силу большой разницы яркостей объектов и фона создают наиболее легкие условия для прочитывания. Если же мы хотим, как то и делают обычно врачи, посредством таблиц для определения остроты зрения устанавливать и исправлять возможно более слабые степени аметропии, нам выгоднее было бы, как то предлагают Фэрри и Рэнд, пользоваться таблицами более трудными. Такими могли бы быть специальные таблицы с меньшей разницей коэфициентов отражения знаков и фона или же обычные таблицы при значительно сниженной освещенности. Для наилучшего обнаружения астигматизма и для его коррекции Фэрри и Рэнд рекомендуют применять кольца Ландольта с двумя разрывами, отстоящими друг от друга на угол в 90° и ориентируемыми на таблице по разным меридианам.

## § 2. Бинокулярное зрение. Соответствующие точки сетчаток. Стереоскопия. Порог глубины

Существеннейшее значение для наших зрительных ориентировок в пространственных соотношениях вещей имеет тот факт, что мы пользуемся обычно двумя глазами. Этому обстоятельству обязаны мы по преимуществу тем, что можем зрительно оценивать расстояние, удаленность.

Наше ознакомление с основами бинокулярного зрения вообще и с восприятием третьего измерения, в частности, начнем с выяснения вопроса о физиологическом соответствии обеих сетчаток. Если мы бинокулярно будем фиксировать какую-нибудь звезду, затем закроем один глаз, не меняя при этом положения головы, то кажущиеся направления, в каких нам до того виделись на небе звезды, не изменяются. Можно произвести опыт и иначе. Продолжая смотреть обоими глазами на звезду, приставим к правому глазу справа какую-нибудь непрозрачную карточку так, чтобы она прикрывала для этого глаза всю правую половину поля зрения вплоть до фиксируемой звезды; к левому же глазу приставим таким же образом непрозрачную карточку слева, прикрыв для него, таким образом, всю левую половину поля зрения тоже вплоть до фиксируемой звезды. Оказывается, что и при таких условиях никакого изменения в направлениях, в которых виделись звезды, не происходит. Это означает, что при параллельно направленных зрительных линиях обоих глаз (что имелось в описанном опыте в силу фиксации очень удаленного объекта — звезды) изображения удаленных предметов, падающих на сетчатку, видятся нами в одних и тех же местах пространства независимо от того, падают ли эти изображения на сетчатку правого глаза или на сетчатку левого глаза, или же на обе сетчатки сразу. Следовательно, некоторым

 $<sup>^1</sup>$  Величина угла, под которым виден глазу тот или иной предмет, может определяться по формуле  $\operatorname{tg} \frac{d}{2} = \frac{0,5 \cdot S}{L},$  где d — искомый угол, S — линейная величина предмета и L — его расстояние от глаза.

местам одной сетчатки соответствуют определенные места другой сетчатки в том смысле, что раздражающие их объекты видятся нами в одних и тех же точках пространства. Такие места сетчаток носят название соответствующих или «корреспондирующих», точек. Они характеризуются, говоря иначе, тем, что возбуждение их дает ощущение одного объекта в поле зрения. Мы хорошо знаем, что все, что мы фиксируем, т. е. то, на что мы направляем центральную ямку сетчатки, видится нами в одиночном виде. Поэтому прежде всего центральные

ямки обеих сетчаток следует признать такими корреспондирующими точками. Корреспондирующими точками сетчаток являются также, как показывает опыт, как правило, и все те места сетчаток, которые лежат в одном и том же направлении и на одном и том же расстоянии от центральной ямки сетчатки. При каждом положении глаз этим корреспондирующим точкам сетчаток соответствуют строго определенные точки во внешнем пространстве. Совокупность всех точек пространства, которые дают изображение на корреспондирующих местах сетчаток, носит

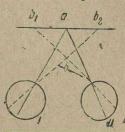


Рис. 181. Разноименные двойственные изображения.

название гороптера. Для различных положений глаз гороптер

имеет различную форму.

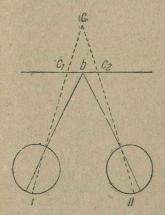


Рис. 182. Одноименные двойственные изображения.

Раздражение корреспондирующих точек вызывает впечатление одиночного предмета. Что же происходит, если изображение предмета падает в обоих глазах на различно от центральной ямки удаленные, некореспондирующие или, как их еще иначе называют, диспаратные точки сетчатки? В этих случаях у нас могут возникать двойственные изображения. В существовании их легко убедиться на следуюшем опыте. Возьмем два тонких карандаша или лучше две спицы а и в и будем их держать перед глазами так, чтобы они находились на одной прямой, в медиальной плоскости головы и стояли друг за другом приблизительно на 15-20 см. Будем фиксировать дальнюю спицу а; в таком случае изображение от ближней спицы в

упадет на диспаратные точки сетчатки (в левом глазе — влево, в правом глазе —вправо от центральной ямки). Сообразно с этим мы увидим спицу b в двойном виде. При этом двойственные изображения носят перекрестный характер (рис.181). Левое изображение видится правым глазом, а правое —левым. Если же, как это изображено на рис. 182, мы будем бинокулярно фиксировать ближнюю спицу b, то раздвоится дальняя спица c. Возникающие в этих условиях двойственные изображения  $c_1$  и  $c_2$  будут, однако, уже одноименными. Правый глаз будет видеть правое изображение, а левый — левое. Подобное различие в ха-

рактере двоения объясняется тем, что раздражения, падающие на сетчатке влево от центральной ямки, мы относим к предметам, находящимся вправо от фиксируемой точки, и наоборот. Но всегда ли в случае раздражения диспаратных точек возникает двоение? Оказывается, что не всегда. Если несоответствие раздраженных мест сетчатки не чрезмерно и если это несоответствие к тому же носит односторонний характер (т. е. в обоих глазах раздражение попадает лишь на левые или лишь на правые половины сетчатки), то вместо двоения у нас возникает новое впечатление — впечатление большей или меньшей удаленности данного объекта по сравнению с фиксируемым. Так, когда мы фиксируем а (рис. 183), то объект b, находящийся ближе и сбоку по сравнению с a, раздражает, очевидно, диспаратные точки сетчатки b, и b2, однако, диспаратность здесь одноименная (т. е. на обеих сет-

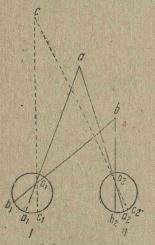


Рис. 183. Односторонняя диспаратность раздражаемых мест сетчатки.

чатках изображение «b» падает слева от центральной ямки), и предмет в кажется нам не двоящимся, но лежащим ближе, чем а. Аналогичным образом объект с (см. тот же рисунок) видится одиночным же, лежащим дальше, чем фиксируемая точка а. Будет ли предмет казаться ближе или он будет казаться дальше фиксируемой точки, зависит от направления так называемого бинокулярного параллакса. Под бинокулярным же параллаксом понимается разность углов, образуемых в обоих глазах зрительными линиями, идущими к фиксируемой точке, и теми прямыми, которые можно провести к сетчаткам через узловые точки глаз от какойлибо другой, не фиксируемой точки объекта. В наших примерах это будет разность углов  $b_2 o_2 a_2$  и  $b_1 o_1 a_1$  в одном случае и разность углов  $a_2 o_2 c_2$  и  $a_1 o_1 c_1$ —

в другом. Если эта разность оказывается в пользу угла, лежащего в височной половине сетчатки, предмет кажется ближе, чем фиксируемая точка. Если же большим будет угол в носовой половине сетчатки, предмет покажется дальше ее.

Таким образом, известное несоответствие изображений на сетчатке дает нам возможность судить об относительной удаленности предмета. На этом обстоятельстве и основано устройство стереоскопа.

Существуют разные системы стереоскопов. Ниже нами приводятся схемы стереоскопа Брьюстера (рис. 184) и зеркального стереоскопа Уитстона (рис. 185). В стереоскопе Брьюстера глаза наблюдателя смотрят на стоящие перед ними изображения аb и аз через призмочки p, отклоняющие лучи, идущие от этих изображений к височным половинам сетчаток. При этом изображения поставлены перед глазами так, что некоторая часть их падает на корреспондирующие места сетчаток, как раз на fovea centralis, в то время как все прочие части изображений падают на односторонние диспаратные точки сетчаток и в силу вышеизложенного закона кажутся нам или ближе, или дальше фиксируемой точки: у нас возникает впечатление рельефной картины. В зеркальном стереоскопе Уитстона тот же

эффект достигается посредством двух зеркал  $ss_2$  и  $s_2s_1$ , поставленных под некоторым углом друг к другу и отражающих два изображения  $A_1C_1$ и AC, которые опятьтаки в известных своих точках падают на центральные ямки сетчаток, в других же дают одностороннюю диспаратность. Субъект вместо двух отражаемых сбоку изображений  $A_1C_1$  и AC видит одно, но уже рельефное изображение abc. То, что стереоскоп дает искусственным путем, то имеем мы и в обычных условиях, когда

смотрим двумя глазами. В силу того, что наши глаза удалены друг от друга на некоторое расстояние (около 65 мм), изображение, полученное одним глазом, всегда несколько отличается от изображеняя, получаемого другим. Очертания видимых предметов раздражают, таким образом, несколько диспаратные точки сетчатки. В результате слияние этих немного различающихся изображений и дает впечатление телесной рельефности вещей.

Наряду с диспаратностью изображений на сетчатке при бинокулярном зрении также и конвергенция помогает восприятию большей или меньшей удаленности предмета. Сведение зрительных осей есть для нас всегда признак близости объекта, разведение их, напротив, говорит нам о его большей удаленности. Как то показывают подсчеты

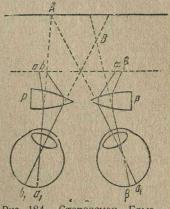


Рис. 184. Стереоскоп Брьюстера.

Лауренса и Вуда, конвергенция отсутствует совершенно лишь при рассматривании предметов, удаленных более чем на 450 м, практи-

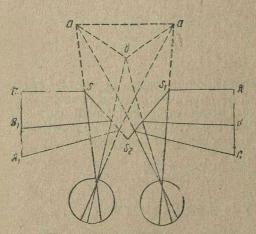


Рис. 185. Стереоскоп Уитстона.

чески она оказывается, однако, совсем незначительной уже и при гораздо более близком расстоянии. Между тем наибольшей удаленностью объекта, при которой мы все еще способны бываем видеть рельефность, является 1 340 м (по Гофману) и даже 2 600 м (по Цоту), т. е удаленность, далеко переходящая границы конвергенции. Поэтому конвергенцию нельзя считать необходимым условием восприятия глубины. Это доказывает также и известный опыт Геринга-Греефа. Он состоит

в том, что испытуемый должен оценить, падает ли шарик, бросаемый сбоку и сверху экспериментатором, ближе или дальше фиксируемой точки. При этом испытуемый не видит положения руки экспериментатора, бросающего шарик, а равно и места падения шарика на дно прибора. Единственным основанием для его суждения здесь может быть очень быстро мелькающий образ падающего шарика. Падение это настолько быстро, что никаких движений конвер-

тенции наблюдатель совершить не успевает. Тем не менее при бинокулярном смотрении оценка того, ближе или дальше фиксируемой точки падает шарик, совершается достаточно легко и правильно. Далее, ряд исследователей (в недавнее время Лэнглэндс) производили опыты с бинокулярным восприятием рельефа при очень кратких экспозициях объекта. По данным Лэнглэндса, оказалось, что впечатление рельефности может возникать даже тогда, когда объект освещается вспышкой искры в течение всего  $10^{-5}$ — $10^{-7}$  секунды. Все это с несомненностью показывает, что наиболее важным и решающим фактором в оценке третьего измерения является именно несоответствие изображений на сетчатке, конвергенции же принадлежит лишь вспомогательная роль.

Бинокулярная оценка третьего измерения может быть необычайно точна. В опытах Хауорда испытуемый с расстояния в 6 м должен был фиксировать одну спицу (2 мм в диаметре), в то время как другая такая же спица, находящаяся на 6 см сбоку, могла перемещаться по направлению к наблюдателю или от него; при этом испытуемому видны были лишь средние части этих спиц через специальное отвер-

стие. Всего было обследовано 106 лиц.

Острота стереоскопического зрения их для некоторых постоянных условий характеризовалась следующими данными:

Количество испытуемых	Порог глубины (бинокуляр- ный параллакс) в угловых секундах
14	1,8—2,07
30	3,67 (в среднем)
15	5,5 (в среднем)
23	7,3 (в среднем)
24	10,6—136,2

Исходя из величины «порога глубины», можно подсчитать те абсолютные разницы в расстоянии, которые нами должны замечаться при различных абсолютных удаленностях отправной точки сравнения. Для случаев, когда различаемые объекты лежат близко к медианальной плоскости, здесь можно пользоваться формулой:

$$\alpha = \frac{D \cdot \Delta l}{l^2}$$
 (в радианах)

или

$$\alpha = \frac{D \cdot \Delta l}{l^2}$$
 20 600 (в угловых секундах),

где  $\alpha$  — бинокулярный параллакс, соответствующий «порогу глубины», D — межзрачковое расстояние, l — расстояние от глаза исходной точки сравнения и  $\Delta l$  — то минимальное изменение этого расстояния, которое впервые нами замечается. Бурдон полагает порог глубины равным 5 секундам и приводит таблицу (см. стр. 287).

Приведенная выше формула может быть, очевидно, написана и в виде:  $\Delta l = \frac{\alpha l^2}{D}$ , откуда видно, что едва заметное изменение уда-

ленности будет тем меньшим, чем больше величина D. Телестереоскоп 286

Уда ленность отправной точки сравнения (в м)	Удаленность точки впервые видимой как более близкая (в м)	Разница (в м)
00,	2642	co
2000	1138	862
1000	726	276
500	421	79
200	186	14
100	96,3	3,4
50	49	
20	19,85	0,1
10	9,96	0,04
5	4,987	0,013
2	1,9985	0,001
1	0,9996	0,0004
0,50	0,4999	0,000
0,20	0,199963	0,00001

Гельмгольца и дает нам возможность искусственно увеличить межзрачковое расстояние путем смотрения на объекты при помощи двуж

зеркал, как то показано на рис. 186, где  $A_1$  и  $A_2$  изображают левый и правый глаза,  $S_1 S_2$  и  $S'_1 S'_2$ —две пары зеркал; свет от рассматриваемых предметов идет, как показано стрелками. Благодаря телестереоскопу мы можем, таким образом, обострить наше стереоскопическое зрение и сделать рельеф заметным там, где при смотрении невооруженными глазами мы его заметить не в состоянии.

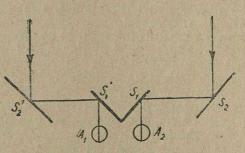


Рис. 186. Телестереоскоп Гельмгольца.

По данным Белостоцкого (1939), величина порога стереоскопического зрения для черных объектов на белом фоне следующим образом снижается при увеличении освещенности фона:

Освещенность в люксах	Порог в угл. секундах	
0,04	108	
0,1	45	
0,2	23	
1,0	16	
2,0	15	
21,0	13	

Выяснению зависимостей нашего стереоскопического зрения от освещенности и формы объектов посвящены были также недавние работы Самсоновой (1936).

Расстояние можно воспринимать, смотря и одним глазом, монокулярно. Подобное восприятие, однако, гораздо менее совершенно, чем бинокулярная оценка расстояния. В этом легко убедиться совсем простым опытом. Если, например, из-за ширмы показывать испытуемому надетую на спицу пробку, пододвигая ее то ближе, то дальше, испытуемого же попросить при этом прикрыть один свой глаз ладонью и, быстро подойдя к ширме, щелчком пальца сбить пробку со спицы, то окажется, что при монокулярном смотрении испытуемый будет весьма часто ошибаться, щелкая или слишком впереди, или же налетая своей рукой на пробку. Стоит же ему открыть другой глаз, как поставленную задачу он сможет выполнять легко и безошибочно.

В силу подобного несовершенства монокулярной оценки глубины к работе, связанной с необходимостью точно определять расстояние, должны допускаться лишь лица, обладающие бинокулярным зрением.

Монокулярное восприятие третьего измерения осуществляется главным образом благодаря вторичным, вспомогательным признакам удаленности, как то видимая величина предмета, линейная перспектива, воздушная перспектива, наполненность промежуточного пространства, загораживание одних предметов другими, различный характер кажущегося движения предметов при движении головы и др. Заметную роль при монокулярном восприятии глубины близких предметов может играть и аккомодация, усиливающаяся по мере приближения фиксируемого предмета и ослабляющаяся при его удалении.

Все, что до сих пор мы говорили о восприятии третьего измерения, касалось наших оценок относительной удаленности объекта, т. е. его большей или меньшей удаленности по сравнению с некоторой фиксируемой точкой. Как же можем мы зрительно оценивать удаленность абсолютным образом, т. е. удаленность от нас самой основной фиксируемой нами точки? Обычно мы учитываем в таком случае заполненность промежуточного пространства, отделяющего нас от этой точки. Чем оно более заполнено, тем более далекой она нам видится. Кроме того, на основании опыта мы знаем примерный угловой размер обычных предметов при различной их удаленности. Линейная перспектива в очертании предмета помогает нам судить о расстоянии от нас видимого объекта, а при достаточно больших расстояниях основанием для абсолютной оценки удаленности может служить и воздушная перспектива. Благодаря ей далекие предметы кажутся в синеватой дымке и не так четко очерченными, как объекты близкие. Относительная скорость кажущегося смещения предметов, наблюдаемая при движениях нашей головы, также дает нам основания для подобной оценки. Известную роль, наконец, играют здесь и аккомодационные и конвергенционные движения. Надо, однако, здесь опять заметить, что они одни дают весьма несовершенные и ограниченные оценки. Посредством конвергенции мы сколько-нибудь правильно оцениваем абсолютную удаленность лишь в границах ближайших 2-3м.

Укажем, наконец, еще на то, что самая удаленность вблизи и вдали оценивается нами неодинаково. Более дальние от нас расстояния

мы склонны считать за большие. Так, при делении пополам какогонибудь протяжения, идущего от нас вдаль, мы дальнюю половину устанавливаем объективно более короткой.

# § 4. Оценка величины видимых предметов. Явления микропсии и макропсии

С зрительной оценкой расстояния тесно связано и наше восприятие величины видимых предметов. Видимая величина предмета является функцией двух обстоятельств: во-первых, площади раздражения на сетчатке и, во-вторых, кажущейся удаленности видимого объекта. Если эта последняя остается постоянной, то предмет кажется нам тем больше, чем большую площадь на сетчатке занимает его изображение, т. е. чем под большим углом он видится. Если же он кажется нам находящимся на разных от нас расстояниях, то видимая величина его будет совсем разной, хотя бы площадь раздражения на сетчатке оставалась во всех случаях одной и той же. Доказательством тому является следующий простой опыт. Посмотрим пристально на какой-нибудь белый диск и переведем затем свой взор на экран, находящийся от нас на том же расстоянии, как и рассматриваемый диск. В таком случае мы увидим последовательный образ диска той же величины, как и сам диск. Если же мы переведем свой взор на экран, вдвое более удаленный от нас, чем диск, то диаметр последовательного образа покажется нам вдвое большим; если расстояние экрана будет от нас втрое большим, мы увидим и диаметр последовательного образа втрое большим и т. д. Таким образом, при постоянстве угла, под которым видится в этом опыте последовательный образ, линейный размер его изменяется прямо пропорционально расстоянию от нас той поверхности, на какой мы его локализуем (закон Эммерта).

Зависимость кажущейся величины объекта от расстояния может быть показана еще и посредством описанного уже выше стереоскопа Уитстона. Если мы подвинем обе карточки (стоящие против зеркал стереоскопа) несколько ближе к себе, но при этом так, чтобы стереоскопическое слияние их изображений не расстроилось, то мы обычно получим впечатление приближения и уменьшения видимого предмета. Между тем, построение хода лучей, отражаемых от зеркал в случае передвижения карточек, показывает, что площадь сетчатки, занимаемая изображением, при таком передвижении не меняется и, следовательно, угловая величина видимого объекта не изменяется. Однако отражаемые лучи падают на более височные части сетчаток; это же вызывает увеличение конвергенции глаза. Увеличение же конвергенции есть для нас признак большей близости объекта. Отсюда впечатление приближения. Поскольку же, как выше сказано, видимый размер зависит от кажущегося расстояния, то возникает впечатление не только приближения, но и уменьшения видимого предмета. В связи с этим же может быть упомянуто и объяснение, данное Шуром. известной иллюзии, состоящей в том, что полная луна в зените кажется нам явно меньшей, чем она же при своем восходе близ горизонта. По его мнению, подтвержденному экспериментально, здесь несомненную роль играют усиленные импульсы к конвергенции глаз,

289

19 глаз

которые у нас возникают при поднятии взора кверху, когда глаза сами по себе стремятся дивергировать. Усиление же конвергенции есть симптом близости. Отсюда и кажущееся уменьшение объекта. Эксперименты автора, в которых он предлагал сравнивать величины белых кругов, находящихся над головой и прямо перед глазами, подтвердили высказанное объяснение, поскольку иллюзия наблюдалась и при лежачем положении испытуемого, и при полной темноте всего прочего пространства. Последнее обстоятельство говорит, между прочим, за то, что сравнение с окружающими предметами или учет заполненности промежуточного пространства решающего значения для возникновения описываемой иллюзии не имеет.

Связь кажущейся величины предмета с кажущимся расстоянием его от нас носит взаимный характер. В зависимости от того, что в данных условиях восприятия является для нас фиксированным (расстояние или величина), у нас возникает или впечатление изменения величины, или же впечатление изменения удаленности объекта. Так, например, когда мы часть страницы печатного текста рассматриваем через лупу, то вызванное этим увеличение сетчаточного изображения воспринимается нами как увеличение видимых букв. Когда же мы смотрим в театре в бинокль на сцену, то увеличение размера образов на сетчатке порождает у нас впечатление уже не увеличения рассматриваемых объектов, но впечатление их приближения к нам. Движениям глаза, совершающимся при осмотре контуров предмета, в процессе восприятия его величины принадлежит лишь вспомогательная роль.

Интересны далее для понимания зависимости впечатления о величине предмета от кажущегося расстояния его от нас и наблюдаемые порой случаи микропсии и макропсии. Микропсия сказывается в том, что все предметы кажутся субъекту уменьшенными, а вместе с тем часто и более удаленными, примерно, как если бы мы посмотрели в бинокль с обратного конца. Микропсия наступает в случаях чрезмерного импульса к усилению аккомодации, не сопровождаемого, однако, соответствующим изменением площади изображения на сетчатке. Это случается, когда у нас ослаблена способность хрусталика становиться более выпуклым (например, в старости, при пресбиопии) или же она вовсе устранена (например, впусканием в глаз атропина, парализующего, как известно, окончания глазодвигательного нерва и тем расслабляющего ресничную мышцу). Порой микропсия может быть вызвана и просто смотрением на близкие предметы через рассеивающую линзу. Во всех этих случаях мы имеем усиленное старание глаза аккомодировать на близкое расстояние; близкому же расстоянию должны были бы отвечать большие образы на сетчатке. Последнего нет, отсюда иллюзия уменьшения размера. Кажущаяся же большая удаленность видимых вещей представляет, как думает Вундт, уже вторичное явление, обусловленное нашим знанием об истинных размерах видимых предметов и невозможностью для нас понять их кажущееся уменьшение как реальное. Макропсия ха-

1 Изменение, конечно, бывает не таким большим.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Объективное уменьшение изображений на сетчатке при этом, как показывают подсчеты, не объясняет того субъективного уменьшения, которое здесь наблюдается.

рактеризуется тем, что окружающие предметы (особенно удаленные) кажутся нам, напротив, увеличенными. Макропсия обусловливается усилиями расслабить аккомодацию глаза, чему соответствует обычно видение более далеких предметов. Если же изменения сетчаточных образов, имеющего место при удалении предметов (их уменьшения), при этом не наступает, то у нас и порождается впечатление увеличения размера рассматриваемого объекта. Макропсия может быть вызвана помещением перед глазом собирательной линзы, а также искусственным напряжением аккомодационной мышцы, наступающим, если впустить в глаз эзерин или пилокарпин. Микропсия и макропсия наступают обычно не сразу после создания для глаза соответствующих условий, но лишь спустя несколько минут.

## § 5. Восприятие направления. Глазомер

Направление, в котором мы видим объект, определяется тем местом сетчатки, на которое падает его изображение. Каждая точка

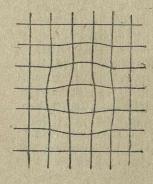


Рис. 187. Извращение видимого при так называемой метаморфопсии.

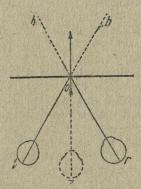


Рис. 188. Закон «циклопического глаза».

сетчатки локализует получаемое ею раздражение в определенном направлении поля зрения. Это особенно ясно при монокулярном зрении на патологических случаях так называемой метаморфопсии. В силу различных патологических процессов сетчатка может подвергаться местным стягиваниям или растягиваниям. Сообразно с этим изображение предмета (например, правильной решетки) затрагивает уже другие элементы сетчатки, чем при нормальном состоянии ее. В результате мы видим изображение предмета извращенным, как это и показано на рис. 187 для случая местного стягивания сетчатки.

При бинокулярном зрении направление видимого предмета определяется так называемым законом тождественного направления. По этому закону раздражители, падающие на корреспондирующие точки сетчаток, видятся нами в одном и том же (тождественном) направлении. И направление это дается линией, идущей как бы от одного «циклопического глаза», находящегося у нас по середине лба (несколько ближе к затылку, чем реальные глаза). Этот важный закон доказы-

вается следующим несложным опытом (рис. 188). Будем с расстояния приблизительно в полметра смотреть на стекло сперва одним, например, левым глазом, так, чтобы этот глаз видел находящийся за стеклом предмет h; отметим на стекле ту точку o, за которой этот предмет как раз лежит. Затем, не меняя совершенно положения головы, закроем левый глаз и посмотрим правым глазом на эту точку o; допустим, что мы увидим за ней лежащий за стеклом предмет b. В таком случае очевидно, что и b и h будут падать за корреспондирующие точки сетчаток, на их желтые пятна. Раскроем теперь оба глаза (опятьтаки, не сдвигая головы) и посмотрим ими обоими на точку o; в таком случае мы увидим за ней вместе и b и h наложенными друг на друга и лежащими в плоскости, проходящей через эту точку o и середину нашего лба. Таким образом, то, что раздражает корреспондирующие точки сетчаток, действительно, лежит для нас в одном направлении.

Все упомянутые закономерности зрительного восприятия формы, удаленности, размера и направления лежат в основе глазомера, как способности глаза сравнивать пространственные величины. Сравнение длины линий бывает неодинаково точно в зависимости от абсолютной длины их, их положения, подвижности или неподвижности наших глаз и некоторых других обстоятельств. Линии, видимые под очень малым углом, или, напротив, очень большие линии оцениваются нами относительно менее точно, чем линии среднего размера. Вопрос о приложимости к различению нами длины линий закона Вебера-Фехнера еще нельзя считать окончательно решенным, хотя большинство авторов склоняются к признанию его приложимости и здесь. По Фехнеру, относительная разница в длине линии бывает приблизительно постоянной, равняясь 1/40. По Фолькману и Кизову, разностный порог длины при сравнении линий средней величины достигает 1/90-1/100. По Эббингауссу, разностный порог достаточно постоянен, будучи равен  $\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{60}$ . Ходин, однако, не нашел требуемого веберовским законом постоянства относительной величины для едва заметной разницы. Сравнение длины вертикальных линий менее точно, чем сравнение линий горизонтальных. Кроме того, при оценке длины вертикальных линий у нас всегда обнаруживается тенденция переоценивать их по сравнению с горизонтальными.

Возможно, что объяснением этой постоянной ошибки нашего глазомера может служить, как то думает Вундт, тот факт, что верти-кальные движения глаз требуют большей мышечной работы, чем движения горизонтальные. В случаях, когда глаза фактического движения не производят, роль этих движений заменяют невольно и полубессознательно возникающие у нас представления о движениях, кото-

рые бы потребовались для просмотра данных линий.

Значение двигательных ощущений в процессе сравнения длины линии, вообще говоря, различными исследователями оценивается

по-разному.

Здесь следует также иметь в виду, что при обозревании нашим движущимся взором линий и очертаний фигур глаз наш, как то по-казали опыты Страттона, отнюдь не следует точно по данным линиям рисунка, но движется обычно скачкообразно и достаточно произвольно. Ухудшение глазомерных оценок при неподвижности глаз может

объясняться в иных случаях тем, что при неподвижных глазах изображение сравниваемых линий падает на хуже видящие периферические места сетчатки.

Изменение в направлении прямой линии, малейший надлом или изгиб ее замечаются нами чрезвычайно точно. При благоприятных условиях здесь достаточно оказывается отклонения всего на несколько угловых секунд. Оценка нами размера площадей совершается непосредственно сразу в случае, если сравниваемые площади тождественны или подобны по форме. Точность сравнения при этом достаточно велика. Так, мы замечаем обычно, что один диск больше другого в случае, если одна площадь на  $^{1}/_{50}$ — $^{1}/_{60}$  больше другой. При значительном же различии в форме сравниваемых фигур мы стараемся оценить площади фигур уже косвенным путем, прямо сравнивая некоторые линейные величины очерчивающих их линий.

Опыты Бюлера, касавшиеся зрительного восприятия формы, установили удивительную чувствительность глаза в оценке соотношений линий фигуры, в оценке определенной пропорциональности ее частей. Так, от испытуемого требовалось определить, когда один прямоугольник покажется едва заметно «вытянутее» другого, имеющего одинаковое с ним основание. Оказалось, что это замечается уже при различии их высот всего на  $^{1}/_{60}$ — $^{1}/_{154}$ . В оценке пропорциональности линий мы оказываемся часто чувствительнее к изменениям их длины,

чем при оценке линий, даваемых изолированно.

# § 6. Зрительное восприятие движений. Стробоскопические движения. Кино. Теории зрительного восприятия движений

Посредством зрения, наконец, мы можем воспринимать и движение окружающих предметов. Зрительное восприятие движения является одним из наиболее сложных вопросов психофизиологии зрения.

Мы можем видеть движение или непосредственно, или косвенно, собственно лишь заключая о нем на основании замечаемых перемен, происшедших в положении вещей. Так, о движении часовой стрелки часов мы судим лишь потому, что она в различные моменты времени видится нами в разных местах. Движение же секундной стрелки видится нами уже непосредственно как непрерывное перемещение ее. Нас более интересует здесь это второе, непосредственное видение движений. Видимые нами движения могут быть или действительными, когда объекты на самом деле перемещаются из одной точки пространства в другую, или же кажущимися, когда видимые предметы на самом деле с одного места на другое не передвигаются. К числу подобных кажущихся движений принадлежат, например, движения предметов, видимые нами в кино. Далее, движения мы можем видеть как движущимися глазами, например, когда прослеживаем в небе полет аэроплана, так и при фиксированном взоре, например, когда мы пристально смотрим на неподвижный корабль и вместе с тем видим движение волн и полет птиц. Наиболее естественным и простым объяснением возникновения у нас зрительного впечатления движения, казалось бы, могло быть допущение, что движение видится нами тогда, когда

изображение объекта перемещается на сетчатке и, следовательно, последовательно раздражает различные ее точки. На самом деле, однако, явление обусловливается гораздо более сложными сочетаниями условий. При прослеживании взором движущейся точки (за которой при этом имеется какой-нибудь однородный фон) мы не имеем такого смещения изображения объекта по различным местам сетчатки. Поэтому здесь, очевидно, впечатление видимого движения обусловливается уже не сетчаточными моментами, но двигательными ощущениями, возникающими у нас при передвижении взора. При восприятии движений птиц, когда взор наш фиксирован, имеет место, напротив, как раз изменение сетчаточного раздражения, его непрерывное перемещение по отдельным точкам сетчатки. С другой стороны, такое же непрерывное перемещение образов по сетчатке мы имеем и тогда, когда, например, переводим свой взор из одного конца комнаты в другой, и тем не менее в этом случае мы не видим, чтобы все предметы в помещении сдвигались. Таким образом, смещение изображений на сетчатке при известных условиях может и не порождать впечатления движения. Для объяснения последнего примера остается допустить, что произвольные движения глаз и связанные с ними двигательные ощущения дают такой смысл сетчаточным смещениям, что в результате вещи не кажутся относительно нас смещающимися. Опыты с парализованием глазных мышц говорят за то, что такую роль играют не столько фактически совершающиеся движения глаз, сколько те импульсы к движению, которые у нас возникают. Поэтому, например, когда наш глаз движется непроизвольно, то подобного нейтрализующего «перетолковывания» сетчаточных смещений не наступает, и движущееся по сетчатке изображение видится нами как движущийся предмет. Таковы те кажущиеся движения светящейся точки, которые мы обычно видим, стараясь в темноте длительно фиксировать ее. Заметность движения в большой мере зависит также от того, видим ли мы данный предмет изолированно или же на фоне других неподвижных вещей. Так, например, минимальная скорость перемещения объекта, нужная для того, чтобы мы могли движущимся глазом увидеть его как движущийся, если предмет дан изолированно, равняется примерно 15—20 угловым минутам в секунду; в случае же, если движущийся объект дан на фоне других неподвижных предметов, эта минимальная скорость равняется всего 1 угловой минуте в секунду. То же самое и минимальная величина смещения, которая впервые может быть нами замечена: для фиксируемой изолированной движущейся точки она равняется приблизительно угловым 1 минуте 15 секундам, при наличии же вокруг неподвижных объектов величина минимального смещения падает всего до 7—20 угловых секунд. Максимальная скорость, за которой уже наступает впечатление сплошной полосы, а не движения, вариирует в зависимости от яркости раздражителя приблизительно в пределах от 1,4 до 3,5 угловых градуса в 0,01 секунды. В случае прослеживания нашим взором движущегося объекта скорость его движения кажется нам меньшей, чем в том случае, когда глаза наши остаются неподвижными. Для того чтобы мы могли неподвижным глазом заметить разницу в скоростях двух движений, при последовательном их сравнивании, по опытам Бурдона, требуется, чтобы одна скорость превосходила другую на 1/12. При этом такая величина разностного порога остается в известных пределах постоянной, несмотря на вариацию абсолютной величины исходной скорости. При очень малых скоростях порог этот

увеличивается до 1/8.

Продолжительное смотрение на движущийся предмет оставляет после себя своеобразный отрицательный последовательный образ движения. «Так, — как справедливо описывает Титчнер, — если мы некоторое время смотрим на воду, уходящую от движущегося судна, или наблюдаем водопад, или устремляем глаза на валик механиче-

ского рояля и затем переводим их на обшивку палубы, на берега реки или на клеймо фирмы, находящееся на крышке музыкального инструмента, мы получаем впечатление обратного движения, некоторого рода отрицательное последовательное изображение первоначального движения». Подобный же последовательный образ движения можно наблюдать и после продолжительного фиксирования спирали Плато (рис. 189). При вращении такого диска по часовой стрелке у нас возникает впечатление проис-



Рис. 189. Спираль Плато.

ходящего стягивания всех колец к центру, при движении в обратном направлении, напротив, мы видим расхождение их от центра к



ложения линии, могущие дать иллюзию непрерывного ее дви-

периферии. Если после смотрения на подобные движения взглянуть на неподвижные вещи, мы видим на них движение обратного направления. Отрицательный последовательный образ движения обусловливается периферически сетчаткой, так как появляется только на раздраженных местах ее, а не во всем поле зрения, как то должно было быбыть, Рис. 190. Отдельные если бы причиной его служили, например, двипоследовательные по- жения нашего глаза.

Мы часто можем видеть движения и там, где их на самом деле нет. Таковы стробоскопические движения слева направо. Жения, лежащие в основе нашего восприятия движущихся объектов в кинематографе. Здесь впечат-

ление движущегося предмета возникает у нас от последовательного восприятия отдельных положений предмета, отделенных друг от друга как некоторым пространственным промежутком, так и некоторой временной паузой. Если, например, в поле нашего зрения в достаточно быстрой последовательности показываются изображения черной линии в положении 1-м, затем 2-м, затем 3-м и, наконец, 4-м (рис. 190). то мы видим сплошное движение одной черной черты, падающей вправо. Другой пример: за экраном, имеющим одно прорезанное окошечко В, вращается диск с нанесенными на нем черными прямоугольниками А (рис. 191). Если вращение совершается, например, в направлении часовой стрелки, то при известной скорости его у нас возникает впечатление движения черного прямоугольника в направлении, обратном действительному, т. е. впечатление того, что в окошечке этот прямоугольник падает вниз. Эта иллюзия является доказательством имеющейся у нас всегда тенденции видеть движение одного предмета там, где несколько сходных объектов последовательно видны в разных местах пространства. Появляющееся в окошечке снизу изображение прямоугольника мы воспринимаем как следующую фазу движения прямоугольника, только что скрывшегося за верхним краем прорези. Отсюда — иллюзия падения черного прямоугольника вниз.

Естественно, конечно, что для того, чтобы у нас возникали стробоскопические эффекты, нужно, чтобы отдельные раздражители были не слишком удалены друг от друга как в пространственном отношении, так и в смысле продолжительности паузы между одним и другим. В качестве продолжительности перерыва, дающей явное впечатление движения, Вертхеймер нашел 0,06 секунды; при перерыве в 0,03 секунды раздражители казались уже одновременными; при перерывах же порядка 1 секунды и более они воспринимались как раздельные,

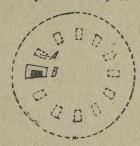


Рис.191. Иллюзорное впечатление падения черного прямоугольника вниз.

следующие друг за другом. Таким образом, для получения наилучшего впечатления о плавном движении объекта необходимо, чтобы интервалы времени между предъявляемыми раздражителями не были бы ни слишком малыми, ни слишком большими. Марбе в условиях своих опытов наблюдал хорошо воспринимаемое движение при перерывах длительностью около 1/5 секунды. В качестве предельно большого пространственного расстояния от одного раздражителя до другого он нашел 4,5 углового градуса. Следует, однако, иметь в виду, что наилучшая пауза и наилучшее отстояние между раздражителями

зависит от их интенсивности и формы. Чем раздражители интенсивнее, тем больше может быть пространственная удаленность их друг от друга; укорочение паузы требует уменьшения этой послед-

ней или увеличения интенсивности раздражителей.

Сначала может казаться, что наиболее простым объяснением стробоскопических явлений в кино должны служить последовательные образы. При появлении второго раздражения возбуждение, вызванное предыдущим раздражителем, еще остается у нас в виде последовательного образа и служит той связью между обоими раздражителями, которая и создает иллюзорное впечатление непрерывного движения некоего одного объекта. Однако это не так. Последовательные образы, сохраняющиеся от предыдущих фаз неподвижного в момент экспозиции раздражителя, сами по себе могут дать лишь остаточные впечатления, стационарные и локализованные в тех местах, где был раздражитель; между тем мы видим переход объекта из одной фазы в другую. Кроме того, Бурдон экспериментально установил, что пауза между раздражителями может быть более продолжительной, чем последовательный образ первого раздражения, и тем не менее впечатление движения сохраняется. Наконец, Линке описывает опыт, когда впечатление стробоскопического движения возникло в виде своеобразного «превращения из белого в черное» при переходе от

раздражения белой полосой на черном фоне к раздражению черной полосой на белом фоне. По теории последовательных образов понятьтакой эффект здесь также нельзя. Поэтому в настоящее время и ищут иных объяснений для рассматриваемых нами сейчас интересных явлений. Вертхеймер стоит на той точке зрения, что зрительное восприятие движения есть своеобразное впечатление, отличное от восприятия движущихся объектов. Мы можем по нему явственно воспринимать движение и без воспринимания самих движущихся объектов (так называемый «фи-феномен». Физиологическим же субстратом явления служит по нему, вероятно, как бы «короткое замыкание» тех волн возбуждения в центре, которые возникают от первого и второго раздражений. Другие полагают, однако, что восприятие движения есть всегда более или менее явственное восприятие движущихся объектов. При этом отождествление, идентифицирование объекта, даваемого в двух последовательных фазах, является

существенным для того, чтобы у нас возникло впечатление движения. Только подобным допущением можно объяснить вышеописанный опыт превращения белой черты в черную. Равным образом только с такой точки зрения можно истолковать и то, что

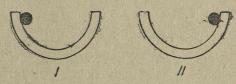


Рис. 192. Иллюзия перекатывания диска по дуге (по Линке).

при стробоскопическом предъявлении таких изображений, как, например, приведенные на рис. 192 (I и II), мы, по Линке, видим движение черного диска слева направо не по прямой, но черный диск нам кажется перекатывающимся по дуге. Таким образом, помимо отождествления объекта, здесь привходят еще и влияния различных представлений, имеющихся у нас из опыта. Со всем этим мы подошли уже к сложным психологическим вопросам восприятия, рассмотрение которых выходит за рамки нашей книги. Интересующиеся могут обратиться к указываемой литературе.

## § 7. Зрительные иллюзии

В заключение главы остановимся на обозрении главнейших видов зрительных иллюзий, которых не может обычно избежать наш

глаз в своих оценках.

Первая группа таких ошибок обязана своим происхождением эффекту иррадиации и сказывается в том, что белые (и вообще светлые) предметы кажутся нам большими по сравнению с равными им черными предметами (и вообще темными). Так, светящийся серп луны кажется нам относящимся к диску большего диаметра, чем темная и слабо видимая прочая части диска луны. Белая полоса кажется шире черной (см. рис. 32).

Постоянной иллюзией глаза является далее переоценка вертикальных линий по сравнению с горизонтальными. Так, вертикальное протяжение на рис. 193 нам кажется явно длиннее горизонтального. Если попросить ряд лиц провести одинаковой длины горизонтальную и вертикальную линии, то в большинстве случаев проведенная вертикальная линия будет более короткой. Правильный квадрат кажется нам несколько вытянутым кверху. В печатных цифрах «3» и «8» верхняя половина нам кажется одинаковой с нижней, между тем как на

Рис. 193. Иллюзия при сравнении вертикального направления с горизонтальным,

самом деле она меньше. В последнем легко убедиться, если цифры перевернуть.

Вертикально идущие параллельные линии при значительной длине их кажутся обычно в верхней 'своей части расходящимися. Это обстоятельство учитывается, между прочим, в архитектуре, где высокие колонны для того, чтобы казаться нам правильно параллельными, делаются кверху несколько сходящимися. Так, например, построена колоннада Парфенона в Греции.

Всякое заполненное отдельными объектами протяжение кажется нам больше не-

заполненного (рис. 194).

При этом расстояние, заполненное поперечными делениями, удлиняется для нас больше, чем расстояние, заполненное линиями продольными. Так, из двух квадратов (рис. 195)

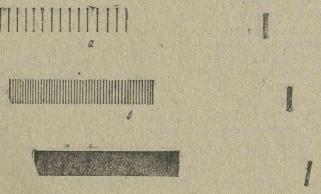


Рис. 194. Иллюзия при сравнении заполненного и пустого пространств.

В кажется уже и выше, чем A. В основе весьма многих иллюзий лежит далее переоценка нами острых углов. Они кажут-

ся нам большими, чем есть на самом деле, и тем самым производят определенные извращения в истинном соотношении частей видимой фигуры. На рис. 196 приведены параллельные линии, составляющие с некоторыми другими линиями острые углы. В силу иллюзорного преувеличения этих последних параллельные линии претерпе-

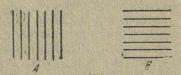


Рис. 195. Иллюзия при сравнении продольно и поперечно зачерченного пространства.

вают смещение и уже перестают казаться параллельными. В силу той же причины круг (рис. 197) кажется несколько втянутым в

местах, соответствующих углам вписанного в него квадрата. Вероятно, то же объяснение может быть приложено к иллюзии Поггендорфа (рис. 198): отрезки прямой, пересекающие два вертикальных прямоугольника, не кажутся отрезками одной и той же прямой, но каждый

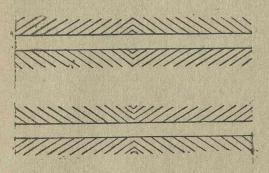


Рис. 196. Иллюзия Геринга.

правый отрезок кажется слишком сниженным по сравнению с тем, как он должен был бы итти, являясь продолжением



Рис. 197. Иллюзорная деформация круга.

более высоколежащего отрезка. Целый ряд иллюзорных впечатлений обусловливается, наконец, тем, что мы воспринимаем видимую фигуру и каждую отдельную часть ее не изоли-



рованно, но всегда в известном соотношении с окружающими другими фигурами, всегда в

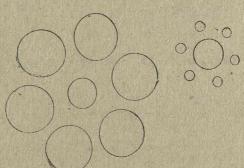


Рис. 198. Иллюзия Поггендорфа.

Рис. 199. Иллюзия вследствие контраста.

известном «целом». Поэтому здесь прежде всего сказывается общепсихологический закон контраста. Средние круги на рис. 199 и средние углы на рис. 200 друг другу равны, но видятся нами совсем разными, изменяясь в сторону преувеличенной разницы с окружающими их другими кругами и другими углами. С другой стороны, воспринимая всю отдельную фигуру как нечто целое, мы часто в результате уподобления — ассимиляции — переносим на отдельные части ее ту характеристику, которая верна лишь по отношению к фигуре в целом. Так, в нижеприведенных треугольниках (рис. 201) мы склонны считать сторону ab большей, чем сторону cd, в то время как на самом деле они равны. Наша часто непреодолимая склонность оценивать фигуру «в целом» и по этому «целому» судить об ее отдельных частях лежит, повидимому, в основе и очень известной иллюзии Мюллера-Лайера(рис. 202).

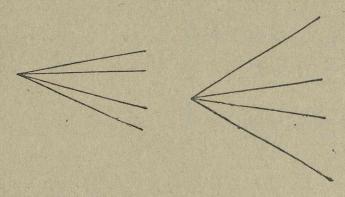


Рис. 200. Иллюзия вследствие контраста.

Расстояние ab кажется определенно длиннее, чем равное ему объективно расстояние cd. Если в последних примерах мы имеем

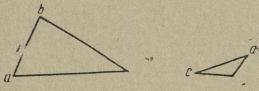


Рис. 201. Иллюзия вследствие оценки фигуры ного же различия и фигу-«в целом». ры в целом. Поэтому из

уподобление части целому («целое больше — больше и его части»), то возможны случаи и обратного рода. От явного различия двух соседних частей у нас рождается впечатление подобного же различия и фигуры в целом. Поэтому из двух равных по площади

фигур, приведенных на рис. 203, верхняя кажется меньше нижней, поскольку нижняя сторона верхней фигуры явно меньше смежной



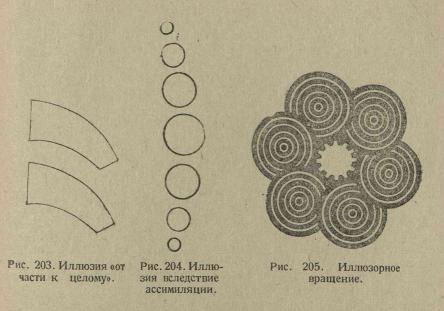
Рис. 202. Иллюзия Мюллера-Лайера.

с ней верхней стороны нижней фигуры. Бывает порой и иллюзорное уподобление (ассимиляция) одной части фигуры другой, как то можно видеть на рис. 204. Левые края всех кружков на самом деле лежат на одной прямой, однако кажутся нам лежащими на кривой, выгнутой вправо соответственно линии, составляемой правыми сторонами кружков.

Особую, группу иллюзий составляют так называемые анортоскопические 1 иллюзии, состоящие в том, что при продвижении какой-

<sup>1</sup> От греческих слов «ан»—отрицание, «ортао»—делать прямым; буквально нарушающие прямой вид, деформирующие. 300

либо фигуры мимо щели в экране мы видим обычно ее деформированной, в извращенных очертаниях. Так, например, круглый диск кажется нам эллипсом. При этом, если продвижение фигуры за щелью было достаточно быстро, то большая ось эллипса лежит вертикально, если же оно было очень медленным, то большая ось эллипса бывает направлена горизонтально. Полного объяснения подобного вида иллюзий пока еще не имеется. Несомненно лишь, что фактические движения глаз здесь роли не играют, так как иллюзии наблюдались и при их устранении. Известное значение, напротив, имеют здесь последова-



тельные образы и те иллюзорные движения, которые возникают при

прохождении за щелью косых линий контура.

Об обычных стробоскопических движениях речь у нас уже была выше. Существуют, однако, еще иллюзорные движения и несколько иного вида. Если, например, рис. 205 двигать перед собой, описывая им маленький круг, то можно явственно видеть, что диски с чернобелыми кольцами начинают вращаться в направлении движения рисунка, белое же зубчатое колесо, нарисованное в центре фигуры, приобретает кажущееся вращательное движение обратного направления. Для истолкования того, почему возникает подобная иллюзия, высказывались соображения о том, что при движении рисунка происходит частичное смещение черных и белых частей рисунка; эти последние ясно видятся нами лишь в отдельных местах. Соответствующие им места могут быть различны в зависимости от очертаний фигуры. Видя же зубцы и полосы несмазанными лишь в отдельных местах и в отдельные последовательные моменты времени, мы и испытываем иллюзию движения, в сущности основывающуюся на принципетого же стробоскопического восприятия.

К числу иллюзорных восприятий относят, наконец, и наши восприятия меняющегося рельефа в рисунке. Так, например, очертания, данные на рис. 206, видятся нами то как раскрытая книга, лежащая корешком к нам, то как раскрытая книга, лежащая корешком от нас.

Эти изменения могут наступать как по нашему желанию, так и непроизвольно и порой даже наперекор нашему хотению. Наиболее вероятным объяснением подобного рода изменений рельефа является

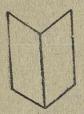


Рис. 206. Меняющийся рельеф.

объяснение, предложенное Лебом. Согласно ему, изменение рельефа происходит от изменения в аккомодации. То, что мы фиксируем и на что аккомодируем, кажется нам ближе. В тех же случаях, когда фактическое изменение аккомодации устранено (например, атропином), роль его в деле порождения иллюзии заменяет остающийся все же у нас центральный импульс к такому изменению аккомодации.

Одни теории стараются объяснить зрительные иллюзии больше периферически — иррадиацией, аккомодацией, движениями глаз, нечеткостью изображений на периферических местах сетчатки и т. п. (Эйнтховен,

др.). Другие, напротив, считают необходимым видеть в зрительных иллюзиях проявление некоторых центральных факторов. В качестве таковых указываются общепсихологические закономерности нашего суждения (контраст, ассимиляция, вмешательство истолковывающих представлений и центробежные иннервации глаза). Представителями «центральных» теорий являются Гельмгольц, Витачек, Леб и другие, К числу теорий этого же рода следует отнести и теорию «вчувствования» Липпса. По нему, мы при всяком почти зрительном восприятии невольно вкладываем в воспринимаемые объекты наши человеческие двигательные стремления и усилия. Видимые линии мы воспринимаем как носителей некоторых движущих сил, определенным образом направленных. Вертикальные линии, например, воспринимаются «как растягивающие силы, преодолевающие тяжесть», стремящуюся сделать их меньшими. В восприятии горизонтальной линии мы такого содержания не чувствуем. Отсюда — иллюзия большей длины вертикальной линии. Едва ли толкованию, даваемому Липпсом, можно приписать общеприложимое значение.

Вообще же зависимость зрительных иллюзий не только от периферических, но в значительной мере и от центральных факторов, от известного «истолковывания», «оформления» нами видимого представляется несомненной. Здесь, как видим, вопросы физиологической оптики опять подводят нас также к общим вопросам психологии восприятия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

8 1

Helmholtz H., v., Handbuch der physiologischen Optik, Bd. 3, III Aufl. — Guillery H., Sehschärfe, Bethes Handb. Physiol., Bd. 12/2, 1931. — Uhthoff W., Graefes Arch. Ophth., Bd. 36, 1890. — Schober H., Zschr. techn. Physik, Bd. 19, 1938. — Reese H., Journ. Opt. soc Amer., v. 23, 200

1939. — Lapique Ch., Revue d'optique, No. 9, 1938. — BellL., Electr. world, v. 58, 1911. — H offmann F., Die Lehre vom Raumsinn des Auges, T. I, 1920. T. II, 1925.— Ferree C., Rand C. a. Buckley, J. exp. psych., v. 3. 1920.— Wertheim Th., Zschr. Psych., Bd. 7, 1894.— Fick A., Graefes Arch. Ophth., Bd. 45, 1898.— Flügell., Brit. j. psych., v. 11, 1921.— Boltunow A., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 42, 1908.— Loeser L., Graefes Arch. Ophth., Bd. 69, 1909.— König A., Gesammelte Abhandlungen zur physiologischen Optik, S. 383.— Banister H., Hartridge H. a. Lythgoe R., Proc. Optic convention, London, 1926, part II, p. 551. — K r a v k o v S. W., Graefes Arch. Ophth., Bd. 124, H., 1930; то же в Журнале прикладной физики, r. VII, 1930. — K o e n i g A., Verh. Physik. Ges., Berlin, 16, 1885; Gesammelte Abhandlungen zur physiologischen Optik, Leipzig, 1903. — U h t h o f f W., Graefes Arch. Ophth., 32, 171, 1886. — L y t h g o e R., Measurment of visual acuity, London, 1932.— He cht S. a. Mintz, A. Journ. gener. Physiol. V. 22. 1939.— Broca A., J. physique théor. et prat., v. 3, 1894. — Be yne et Worms, C. r. Soc. biol., v. 91, 1924; J. physiol. et path. gén., v. 24, 1926.— Conner J. a. Ganoung R., J. Opt. soc. Amer., v. 25, 1935. — Siedentopf H., Das Licht, Nr. 2, 1941. — Whitmer C. A., J. gén. psych., v. 9. — Lasareff P., Pfl. Arch., 199, 200, 1923; C. r. Acad. sci., de Russie, v. 180, 1924.— Taysie ionique de l'excitation, p. 104—109, Paris, 1928; Zschr. Physik, Bd. 48, 1928. — Hecht S., Proc. Nat. acad. sci., Washington, 13, 569, 1927; J. gen. physiol., 11, 1255, 1928. — Aubert H., Physiologie der Netzhaut, Breslau, S. 235, 1865. — Aubert H. u. Foerster R., Graefes Arch. Ophth., Bd. 3, 1857. — Heinrich W., Zschr. Psych., Bd. 11, 1896. — Landolt E., Graefe-Saemische Und high der gesamter Augenheilleunde Bd. I. Berlin, 1920. — Craik I. misches Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Bd. I, Berlin, 1920. — Craik J., Brit. j. psych., v. 29, 1939. — Jaensch, Zschr. Psych., Ergzb. 4, 1909. — Kreiker A., Graefes Arch. Ophth., Bd. 118, 1927. — Bourdon B., La perception visuelle de l'espace, Paris, 1902. — De Wecker et Masselon, Echelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, Paris. Ed. Doin. - Freeman E., J. exp. psych., v. 12, 1929; Amer. j. psych., v. 42, 1930; J. Opt. soc. Amer., v. 22. 1932. — Wilcox W., D. Mc L. Purdy, Brit. j. psych., v. 23, 1933; J. gen. psych., v. 15, 1936. — Ferree C. a. Rand G., Amer. j. ophth., v. 17, 1934. — Hartmann G., J. exp. psych., v. 16, 1933. — Warren W., Wilcox, Proc. Nat. acad. sci. USA, v. 18, 1932. — Қ ra v k o v S. W., J. exp. psych., v. 17, 1934. — Қ ra v k o v S. W., Graefes Arch. Ophth., Bd. 131, 1933. — Вербиц-кий В. К., Русский офталмологический журнал № 2, 1928. — Литинский Г. А. и Ильина С. А., Русский офталмологический журнал № 1, 1930. — Вейнберг В. Т., Калашникова Л. И. и Латинская Е. А., Светотехника № 8, 1937. — Головин С. С., Клиническая офталмология, М., 1923.— Вербицкая Е. А., Русский офталмологический журнал № 7, 1930. — Пинегин Н. И., Труды 1-й конференции по физиологической оптике, Л., 1935.— Музылев Ф. И., Вестник офталмологии, т. 10, 1937. — Кленова Е. В., Советский вестник офталмологии, т. 5, 1934; Труды 1-й конференции по физиологической оптике, Л., 1935. — Севрюгина М. А., Вестник офталмологии, 12, 1938.

#### §§ 2-3

Hoffmann F., Die Lehre vom Raumsinn des Auges, Bd. I u. II, 1920 и. 1925. — Кönig A., Physiologische Optik, 1929. — Laurence L. a. Wood O., Amer.j. physiol. optics, January 1925. — Greeff R., Zschr. Psych., Bd. 3, 1892. — Langlands N., Experiments on binocular vision, Med. 1es. counc., London, 1929. — Howard I., Amer. j. ophth., v. 3, ser. 11, 1919. — Tschermak A., Optischer Raumsinn, Bethes Handb. Physiol., Bd. 12/2, 1931. — Hillebrand E., Raumsinn, Wien, 1929. — Southall J., Introduction to physiol. optics, London, 1937. — Vernon M., Visual perception, Cambridge, 1937. — Геринг Э., Пространственное чувство и движение глаза; см. Германн А., ред. Руководство к физиологии, т. III, стр. 521, СПБ, 1887. — Челанов Г. И., Проблема восприятия пространства, ч. I, Киев, 1896. Самсонов В. Б., Физиолог. журнал СССР, т. 19, 1936. — Белостоцкий Е. М., Сб. «Вопросы медицинского обеспечения авиации», т. I, 1939.

Emmert S., Klin. Mbl. Augenhk., 19 Jg., 1881. — Schur E., Psychol. Forschung, Bd. 7, 1925. — Katona C., Zschr. Psych. Bd. 97, 1925. — Dem-

ber H. u. Uibe M., Ann. Physik, Nr. 4, S. 353, 1922. — Foerster R., Ophthalmologische Beiträge, Berlin, 1862. — Koster W., Graefes Arch. Ophth., Bd. 42, 1896. — Wundt W., Grundzüge der physiologischen Psychologie, Bd. 2, S. 645, 1910.

#### §§ 4-5

Kesow F., Arch. ges. Psych., Bd. 56, 1926. — Muensterberg H., Augenmäss., Beiträge zur experimentellen Psychologie, H. 2, 1889. — Binnefeld M., Arch. ges. Psych., Bd. 37, 1918. — Hillebrand Fr., Zschr. Sinnesphysiologie, Bd. 59, 1928. — Stratton G., Psych. rev., t. 13, 1906. — Buehler K., Die Gestaltwahrnehmungen, 1913.

#### 8 6

Hillebrand E., Zschr. Psych., Bd. 89, 1922. — Poschoga N., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 58,1927. — Hillebrand F., Zschr. Psychol., Bd. 104, 405, 1927. — Brown I., Psychol. Forschung., Bd. 10, 1927. — Granit R., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 58, 1927. — Landolt M., Le mouvement complementaire, Nature, No. 2764, 1927. — Wertheimer M., Zschr. Psychol. Bd. 61, 1912. — Marbe K., Theorie der kinematographischen Projektionen, Leipzig, 1910. — Korte, Zschr. Psych., Bd. 72, 1915. — Linke P., Grundfragen der Wahrnehmungslehre, München, 1918. — Koehler W., Psychol. Forschung, Bd. 3, 1923. — Hoffmann F., op. cit. — Титчнер Э., Учебник исихологии. Университетский курс, т. II, М., 1913.

#### § 7

Luckiesh M., Visual illusions, London, 1922. — Lehmann A., Arch., ges. Physiol., Bd. 103, 1904. — Hoffmann F., op. cit. — Loeb I., Pfl. Arch., Bd. 60, 1895. — Werner H., Zschr. Psych., Bd. 94, 1924. — Hecht Hans, Zschr. Psych., Bd. 94, 1924. — Bowditcha. Hall G., J. physiol., v. 3, 1882. — Loeb I., Pfl. Arch., Bd. 40, 1887. — Henri V., L'année psychologique, t. 3, 1896. — Lipps, Th., Zschr. Psych., Bd. 12, 1896; Bd. 38, 1905; Leittaden der Psychologie, S. 116, 1909.

#### ГЛАВА ІХ

## ГИГИЕНА ОСВЕЩЕНИЯ. УТОМЛЕНИЕ ГЛАЗА

# § 1. Понятие хорошего освещения. Общая оценка разных видов и способов освещения

Зрение настолько важно для всех видов нашей деятельности, что необходимость создания наилучших условий для работы глаза является совершенно естественной и понятной. Эту работу и берут на себя светотехники и гигиенисты. Но условия освещения могут быть рациональны или нерациональны всегда лишь по отношению к какому-нибудь определенным образом устроенному и функционирующему органу зрения. Освещение, рациональное для среднего человеческого глаза, будет нерациональным для глаза крота, больше того — рациональное для нормально видящего оно может быть нерациональным для глаза с пониженным зрением. Высшим судьей при оценке всех осветительных установок является поэтому глаз.

Вот почему к постановке и обсуждению вопросов создания наиболее рациональных и гигиенических условий освещения мы и можем обратиться лишь теперь, после того как основные закономерности анатомии и психофизиологии зрения нам уже известны из предыдущих глав.

Хорошее освещение, вообще говоря, должно отвечать следующим трем требованиям. Во-первых, оно должно быть подходящей интенсивности; во-вторых, оно должно быть достаточно равномерным; в-третьих, оно должно быть подходящим по своему качеству, т. е. по своему спектральному составу. Требование подходящей интенсивности освещения вытекает из тех простых фактов, что при слишком слабом освещении наше зрение терпит явный ущерб, мы видим хуже и с большим субъективным напряжением. При слишком большом освещении мы опять-таки попадаем в неблагоприятные условия, поскольку чувствуем себя ослепленными. Что касается равномерности освещения или, точнее говоря, равномерности в яркостях, заполняющих поле нашего зрения, то подобное требование вытекает из следующего. Если отдельные более или менее значительные части поля нашего зрения очень отличаются друг от друга по своей яркости, то при переходе взора от одной яркости к другой изменяется адаптация глаза, т. е. его чувствительность. Мы видели выше, что достаточно уже совсем краткого раздражения, чтобы чувствительность глаза понизилась. Представим себе, что мы, работая за письменным столом над чертежами, время от времени отрываем свой взор от рабочей поверхности и смо-

20 глаз

305

трим в эти моменты на что-нибудь гораздо более яркое. Тогда всякий раз, когда мы вновь обратимся к чертежам, в первое время мы будем. чувствовать себя в известной мере ослепленными, будем хуже видеть детали. Здесь не надо забывать еще и о зрачковом рефлексе. Взгляд на поверхности, более яркие, чем та, на которую мы в данное время смотрим, влечет за собой тотчас же сужение зрачка. При этом, как мы уже видели выше, суживание зрачка происходит быстрее, чем последующее расширение, когда он вновь возвращается к своей норме. Поэтому достаточно даже очень краткого раздражения, чтобы зрачок сузился на 2—3 минуты. Сужение же зрачка уменьшает количество света, попадающего в глаз, и тем затемняет для нас видимое. Третьим моментом, заставляющим нас считать большие неравномерности яркости в поле зрения нежелательными, является то, что после повторных взглядов на большие яркости у нас каждый раз остаются последовательные образы. Эти последовательные образы, накладываясь на все, на что мы затем смотрим, в течение некоторого времени туманят для нас видимое. При переходах взора от одной яркости к другой происходят, наконец, и постоянные изменения аккомодации, что дает лишнюю работу аккомодационной мышце. Мы видели такжевыше, что наличие резких контрастов в поле зрения ухудшает различительную чувствительность глаза. Неравномерность освещения во времени, т. е. непостоянство его, которое мы имеем при мигании, неприятна в силу вызываемых быстрых смен в деятельности зрачкового и аккомодационного аппаратов глаза. Что касается того, чтобы освещение было соответствующим и по качеству своему спектральному составу, то здесь следует иметь в виду прежде всего устранение излишнего количества вредно действующих на глаз ультрафиолетовых лучей и выбор такого качества освещения, которое было бы нам наиболее приятно и вместе с тем наиболее выгодно для различения тех объектов, которые мы должны рассматривать.

Различают два вида освещения: освещение общее и освещение местное. Общим освещением называется такое, которое предназначено для единовременного освещения как рабочей поверхности, так и всего прочего помещения. Местным освещением, напротив, является освещение, предназначенное только для сравнительно небольшого пространства самого рабочего места. Если общее освещение достаточно сильно, чтобы создать на рабочем месте нужную освещенность, то с чисто гигиенической точки зрения оно предпочтительнее освещения местного. Оно дает более равномерное распределение яркостей в поле зрения. В тех случаях, однако, когда характер выполняемой работы требует очень значительной освещенности, соображения экономии побуждают переходить к местному освещению. Иначе требовались бы слишком мощные и дорого стоящие источники света. Опасностью местного освещения является часто создаваемая им неравномерность яркости в поле зрения: на рабочем месте очень светло, вокруг же темно. Для устранения этого применяют сочетание местного (более сильного) освещения с общим (более слабым), что несколько и сглаживает упо-

мянутую неравномерность.

Возможны далее и различные способы освещения освещение прямое или направленное, освещение отраженное и освещение полу-

отраженное. При прямом освещении лучи от источника света падают прямым путем на рабочее место. Примером здесь может служить освещение, даваемое голой лампой или лампой с обычным колпачкообразным абажуром. При отраженном освещении лучи попадают на рабочее место не прямо, а в качестве отраженных от какой-либо другой поверхности. Таков случай, когда лампы помещаются над непрозрачными рефлекторами. Эти рефлекторы отбрасывают свет назад на потолок и стены. Отражаясь оттуда, свет освещает все прочее. Полуотраженное освещение мы имеем тогда, когда часть лучей от источника прямым путем падает на рабочую поверхность, часть же — лишь после отражения. Такое именно освещение дает широко распространенная в учреждениях и конторах арматура, состоящая из опалового полушара с помещающейся внутри его лампой и из металлического эмалированного диска сверху, играющего роль рефлектора, отражающего свет вниз. С гигиенической точки зрения прямое освещение является самым неблагоприятным. Создавая, правда, большую освещенность на рабочем месте, оно вместе с тем создает и большую неравномерность и дает нам более резкие тени. Далее, сами источники света, находясь часто в поле зрения, являются для глаза блескими, слепящими. Наконец, такими же блескими пятнами могут быть и «блики», даваемые зеркальным отражением источников света от всякого рода полированных поверхностей. Во всех этих отношениях отраженное освещение создает для работы глаза условия более благоприятные: большая равномерность и мягкость света, отсутствие резких теней, отсутствие слепящих «бликов». Однако с экономической точки зрения освещение только отраженным светом является невыгодным, так как при нем всегда происходит значительная потеря света. Поэтому наиболее широко рекомендуемым является освещение полуотраженным светом. Но в зависимости от специальных условий наиболее рациональным может оказаться и прямое освещение. Так, например, обстоит дело в помещениях со стеклянным или очень высоким потолком, с сильно закапчиваемым потолком и стенами, в тех случаях, когда односторонний, направленный световой поток помогает видеть нужные детали в виде неровностей поверхности и т. п.

# § 2. Зависимость функций зрения от условий освещения по данным экспериментальных исследований. Вопрос о блескости

Таковы характеристики, которые можно дать различным видам и способам освещения, исходя из тех общих требований, которые ставит физиология зрения по отношению к хорошему освещению. Попытаемся теперь наметить наилучшие условия для работы глаза несколько более конкретно, поскольку это нам позволяют сделать данные, добытые рядом психо-физиологических экспериментов, большею частью уже упомин вшихся в предыдущих главах настоящей книги. Остановимся сперва на влиянии интенсивности освещения (или соответственно яркости) тех полей, на которые мы смотрим. На основании упомянутых выше опытов Кенига и Бродхуна, Блэнчарда, Лаурея и др. мы можем считать, что различение нами яркостей или различительная чувствительность глаза достигает своего максимума при яркостях

больших, чем яркость, даваемая 200 люксами перпендикулярно к белой поверхности. При этом и освещенности в несколько сот люксов, вплоть до 2 500—3 000 люксов, все еще лежат в границах этого оптимума. Напротив, уменьшение освещенности, особенно ниже 15—10 люксов, заметно увеличивает разностный порог. Острота зрения, как мы видели выше, также есть функция интенсивности освещения. По мере увеличения яркости поля наша способность различать на нем мелкие детали растет. Опыты Утгоффа, Кенига, Банистера и др. показали, что своего более или менее постоянного максимального значения острота зрения достигает при освещенностях, близких к 200 люксам. Эта величина, найденная для различения черных объектов на белом, может, очевидно, вариировать в зависимости от того фона, на котором нанесены черные детали, подлежащие нашему различению. Чем этот фон темнее, тем требуется большая освещенность. Если же глаз должен различать светлые объекты, находящиеся на темном фоне, то наилуч-

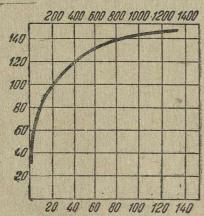


Рис. 207. Кривая скорости зрительного восприятия (по Коббу).

шая острота зрения требует, как мы видели, напротив, сравнительно небольшой освещенности.

Чрезвычайно большое значение для успешности работы зрения, а тем самым и для производительности всех связанных с ним видов деятельности имеет скорость зрительного восприятия. Зависимость скорости зрительного восприятия от интенсивности освещения изучалась Коббом, Фэрри и Рэнд, Самсоновой и др. В одном из своих опытов Кобб определял ту наименьшую продолжительность экспозиции, которая необходима, чтобы успеть увидеть черную точку, находящуюся на белом или темносером фоне. Размер точки был равен 2,43 уг-

ловой минуты; коэфициент отражения фонов был (при белом фоне) 80% и (при темносером фоне) 8%. Полученные результаты приведены на кривой рис. 207, где по абсциссе отложена освещенность в футосвечах <sup>1</sup>, по ординате же — скорость восприятия как величина, обратная времени экспонирования карточки. Нижняя шкала абсциссы относится к белому фону, верхняя же шкала абсциссы — к тому случаю, когда фон был серым с коэфициентом отражения = 8%. Как видим, зависимость скорости восприятия от интенсивности освещения является логарифмической. Говорить о достижении уровня, за которым нарастание скорости восприятия идет уже медленно при сером фоне, можно во всяком случае лишь для больших освещенностей порядка 600—1 000 люксов. Фэрри и Рэнд производили опыты по определению скорости зрительного восприятия, вариируя как размер объектов от 1 до 5,2 угловой минуты, так и коэфициент отражения того фона

Футо-свеча = 10,76 люкса.

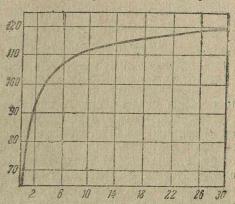
на котором эти объекты находились. В качестве фонов ими брались ахроматические поверхности с коэфициентом отражения в 78% (белая поверхность), в 29% (что соответствует полированной стали или латуни), 21% (соответствует неполированной стали или латуни) и в 16% (соответствует железу). Освещенность вариировала от минимальной до 1 200 люксов. Как и следовало ожидать, опыты показали, что скорость восприятия растет по мере увеличения размера объекта или же его контрастности с фоном. В качестве критической силы освещения авторы определяли такую величину освещенности, до которой прибавка каждых 60 люксов увеличивала скорость восприятия более чем на 5% предыдущей и сверх которой каждые дополнительные 60 люксов увеличивали эту скорость уже менее чем на 5%. Найденные ими таким образом критические величины освещенности (в люксах) для объектов разной величины и для фонов разных коэфициентов отражения приведены ниже.

Коэфициент отражения фона (в %)	Угол зрения, под которым видитс объект в угловых минутах				
	1	2	3	4	5
78	444	276	288	162	156
29	720	468	324	276	276
21	756	540	420	300	312
16	810	612	456	360	336

Мы видим, что для различения объектов большего размера искомая критическая сила освещения достигается раньше, чем для разли-

чения совсем мелких предметов. Во всяком случае можно сказать, что ей соответствует освещенность в несколько сот люксов.

Лекиш, Кобб и др. изучали влияние интенсивности освещения на максимальную скорость чтения. Полученные здесь результаты приведены на кривой рис. 208, где по абсциссе отложены величины освещения в футо-свечах, по ординате же — максимальная скорость чтения, выраженная в относительных величинах.



в относительных величинах. Рис. 208. Кривая скорости чтения (по Коббу).

Из кривой можно видеть, что при увеличении освещения сверх 100—150 люксов нарастание скорости чтения идет уже медленно. Следует, однако, иметь в виду, что в этих опытах от испытуемых требовалось чтение вслух. Несомненно, что уже сами артикуляционные движения речи ставили здесь определенные границы дальнейшему ускорению чтения.

Если же мы могли бы учитывать скорость чтения чисто зрительного, то, вероя но, наилучшая величина освещенности оказалась бы большей.

Наряду со скоростью зрительного восприятия для нас практически весьма важным является и то постоянство, та устойчивость, с которой глаз может сохранять данную степень остроты зрения, иными словами, устойчивость ясного видения. На эту сторону работы зрения специально обратили внимание американские исследователи Фэрри и Рэнд. Ниже мы увидим, что отсюда возник и один из удачных мето-

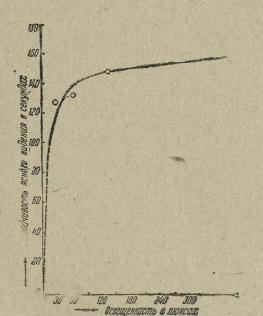


Рис. 209. Зависимость устойчивости ясного видения от освещенности (по Семеновской).

дов измерения зрительного утомления.

Опыты показали, что по мере увеличения освещенности экрана, на котором находятся рассматриваемые детали, устойчивость ясного видения становится большей

Приводимая на рис. 209 кривая иллюстрирует это по данным опытов Семеновской, проведенных в лаборатории Всесоюзного электротехнического института.

Своего максимума устойчивость ясного видения достигает приблизительно при 200 люжсах на белой поверхности.

Помимо интенсивности освещения, определенное влияние на функ-

ции зрения оказывает и его качество. О ряде экспериментов, сюда относящихся, нами уже упомянуто раньше. Остановимся сейчас еще на нескольких работах, ближе касающихся тех практических гигиенических вопросов, которые нас интересуют в настоящей главе. Так, Лекиш ставил над 35 испытуемыми опыты относительно того, какое освещение ими субъективно предпочитается: освещение обыкновенными газонаполненными лампочками или же освещение лампочками «дневного света». Последние, как известно, сделаны из синеватого стекла и дают поэтому свет более близкий по своему цвету к естественному дневному освещению. Работой для глаз являлось чтение. Распределение света в поле зрения было в обоих случаях одинаковое. Результаты опытов приведены ниже.

В еще большей мере лампы «дневного света» предпочитаются большинством, когда речь идет о добавочном освещении к естественному

дневному свету.

Освещенность, создаваемая обыкновенными лампами в люксах	Освещенность, создаваемая лам- пами «дневного света» в люксах	Процент лиц, пред- почитающих освеще- ние лампочками «дневного света»
8,0	5,3	75
64,5 145,2	43,0 96,8	62 54
225,9	150.6	54 54
306,6	204,4	77

Тот же Лекиш приводит следующие данные опытов, проводившихся при добавочном освещении.

При освещении обык-	При освещении лампами «днев- ного света»	Процент лиц, пред-
(в люксах)		«дневного света»
64,5	43,0	75
145,2	96,8	67
225,9	150,6	72
306,6	204,4	89

О предпочтительности освещения лампами «дневного света» свидетельствуют и опыты Приста. Там, где при сравнительно малых освещенностях требуется очень большая острота зрения, выгоднее, как показали опыты Белла и Лекиша, пользоваться уже не белым, но монохроматическим светом — предпочтительно цветом желтым. Эксперименты Фэрри и Рэнд также показали, что из монохроматических лучей (при одинаковой их яркости) желтые лучи являются наиболее благоприятными в отношении скорости зрительного восприятия, равно как и в отношении устойчивости ясного видения.

Мкртычевой и Нейштадтом в Москве было проведено (1936) исследование о влиянии различных цветных освещений на остроту зрения, скорость зрительного восприятия, устойчивость ясного видения и утомляемость глаза. Цветные освещения создавались смешанным светом посредством светофильтров. Испытывались освещенности приблизительно от 7 до 30 люксов. По всем обследованным функциям оказалось, что освещение желтым светом наиболее выгодно, самым же неблагоприятным оказывалось синее освещение. Выгодность для остроты зрения желтого света подтверждена и опытами Вейнберга, Калашниковой и Лапинской (1937) в лаборатории Государственного оптического института.

В последнее время в качестве источников освещения начинают все чаще применять трубки со светящимися в них газами и парами. Таковы ртутные, натриевые, неоновые, кадмиевые и иные трубки. Ртутные трубки применяются на заводах Форда в Америке. Натриевые трубки служат для уличного освещения в некоторых местах Голландии и Норвегии. Все более широкое распространение подобных газо-

светных трубок объясняется большой дешевизной этих источников света. При затрате того же количества энергии излучаемый ими световой поток значительно больше, чем у обыкновенных ламп накаливания.

Вполне понятно, однако, что здесь возникли тотчас же и вопросы физиологического порядка, вопросы о влиянии света газосветных трубок на функции зрения. Характерной особенностью этого света является то, что он содержит в себе лучи лишь некоторых отдельных длин волн, иными словами, свет газосветных трубок дает спектр линейчатый, а не сплошной, как у ламп накаливания. Освещение газосветными трубками обычно бывает цветным: натриевые трубки дают желтый свет, неоновые — красный, ртутные — зеленоватый и т. д.

Имеются работы о влиянии света ртутной, натриевой и неоновой трубок на остроту зрения и на скорость зрительного восприятия. По данным этих работ, как острота зрения, так и скорость зрительного восприятия в желтом свете натриевой трубки и в зеленоватом свете ртутной трубки оказались значительно большими, чем при освещении

обыкновенными лампами накаливания.

По Арндту и Дреслеру, при этом ртутная трубка благоприятнее натриевой, по Лекишу, однако, наиболее благоприятной оказалась натриевая. Что касается неоновой трубки, дающей красный свет, то, по Арндту, она дает результаты, почти совпадающие с освещением обычными лампами накаливания. По опытам, ставившимся Холмской и Семеновской во Всесоюзном электротехническом институте, из трех испытанных источников света — ртутной трубки, неоновой трубки и обыкновенной лампы накаливания — для остроты зрения и устойчивости ясного зрения наиболее благоприятным оказался свет ртутной трубки, свет же неоновой трубки дал самые плохие результаты, — худшие, чем обыкновенный свет лампы накаливания.

Посмотрим теперь, что говорят эксперименты по вопросу о влия-

нии различного распределения света в поле зрения.

Неравномерная яркость в поле зрения может вызываться различными причинами. Таковы различие в коэфициентах отражения разных предметов, различие в их освещенности, наличие в поле зрения самих светящихся источников света или их зеркальных отражений («бликов»). К известной неравномерности в распределении яркостей мы привыкли и считаем ее естественной и для себя приятной. Это — большая яркость верхней половины поля зрения по сравнению с нижней. Тот факт, что подобного рода неравномерность нам, действительно, нравится, нашел себе подтверждение и в специальных опытах Айвса и Лекиша, которые предлагали ряду лиц выбрать на рисунках наиболее нравящиеся условия распределения света.

Но больше всего внимания и забот со стороны светотехников привлекает к себе проблема неравномерной яркости, вызываемой тем, что в поле зрения находятся или сами источники света, или их «отсветы», «блики». Вредящее зрению действие ярких полей подобного рода называется слепящим действием и относится обычно за счет блескости этих полей. Проблема блескости практически весьма важна. Для ее успешной разработки необходимо уяснить себе, что ухудшение условий зрения при наличии блеского поля (например, голой электрической лам-

почки) может обусловливаться весьма различными причинами и сказываться различно на разных функциях глаза. Прежде всего блеское поле может вызывать неприятное ощущение (1) в глазе. Помимо этого, непосредственно неприятного, «слишком яркого» впечатления, вредное влияние блескости поля на зрение может обусловливаться вызы-ваемым им зрачковым рефлексом, связанным с изменением аккомодации (2). Далее, яркое поле влияет на окружающее и эффектом светорассеяния и иррадиации (3). Оно же может воздействовать на прочие места сетчатки и путем физиологического взаимодействия с ними через центральные связи (4). Наконец, всякое яркое раздражение, падающее на сетчатку, рефлекторно вызывает у нас двигательный импульс (5), направленный к тому, чтобы направить взор на это яркое поле. Вследствие этого имевшаяся фиксация глаза может претерпевать нарушение. Взгляд на яркое поле изменяет адаптацию глаза (6). От ярких раздражителей у нас остаются заметные последовательные образы (7). Наконец, наличие мешающих, блеских раздражителей может сказываться и на степени напряженности нашего мышечного аппарата (8).

Эти влияния отличаются друг от друга по своему механизму. Естественно поэтому ожидать, что и закономерности для каждого

из этих проявлений блескости будут свои.

Относительно неприятного ощущения, вызываемого блеским полем, мы из работы Неттинга знаем, что это неприятное, «слепящее» ощущение зависит от уровня адаптации глаза и (для центрального зрения и поля размером 4°) подчиняется следующей закономерности:

G=8  $\sqrt{B}$ , где G есть яркость (в стильбах) поля, впервые кажущегося субъективно слепящим, а B есть яркость адаптирующего поля. Величины «впервые слепящих» яркостей для различно адаптированного глаза, экспериментально найденные Неттингом, приведены ниже.

В — яркость адаптировав- шего поля	G — впервые слепящая яркость	$\frac{G}{B}$
в стильбах		
$\begin{array}{c} 3,2 \cdot 10^{-9} \\ 3,2 \cdot 10^{-7} \\ 3,2 \cdot 10^{-5} \\ 3,2 \cdot 10^{-3} \\ 3,2 \cdot 10^{-1} \\ 3,2 \end{array}$	$ \begin{array}{c} 1,3 \cdot 10^{-2} \\ 5,35 \cdot 10^{-2} \\ 2,69 \cdot 10^{-1} \\ 1,11 \\ 4,65 \\ 9,9 \end{array} $	4 070 000 186 000 8 100 347 14,5 3,1

Если нам известна адаптировавшая глаз яркость, то, учитывая данные этой таблицы, мы можем всегда сказать, в каких пределах эта яркость может быть превзойдена без того, чтобы не производить

на глаз впечатления уже яркости слепящей.

Чтобы определить яркость, безусловно слепящую при всякой адаптации, мы должны положить в формуле G=B. Подсчет показывает, что такая безусловно слепящая яркость близка к 22,5 стильбам. Эта яркость примерно в 7 раз больше, чем яркость белой бумаги, освещенной прямыми лучами летнего полуденного солнца.

Не следует, однако, забывать здесь того, что данные Неттинга получены в определенных условиях, при малом размере слепящего поля. При иных же размерах слепящего поля постоянные, входящие в формулу Неттинга, будут, вероятно, уже другими. Вопрос о зависимости слепящего действия от площади раздражения на сетчатке заслуживает дальнейшего изучения. Открытым остается также и вопрос о влиянии на величину специально цветности раздражителя.

Фэрри и Рэнд нашли, что различные части сетчатки неодинаково чувствительны к блескости. Умеренно периферические части сетчаток скорее вызывают ощущение «неприятного», чем центральные части сетчаток или крайние периферические места их. В горизонтальном меридиане этот максимум чувствительности лежит около 45°, в вертикальном — около 15°. При этом носовые и верхние половинки сетчаток скорее начинают давать ощущение неприятного от блеских полей, чем височные и нижние части сетчаток.

Холлэдэй нашел, что при возникновении у нас ощущения неприятного существует определенная связь между яркостью поля и его угловым размером. Чем поле больше, тем при меньшей яркости оно уже производит на нас впечатление неприятно слепящего. При этом зависимость эта укладывается в эмпирическую формулу:  $\log B = a \log Q + c$ , где B есть яркость слепящего поля, выраженная в миллиламбертах $^1$ , Q — его угловой размер в стерадианах, a и c — постоянные.

Им же предложена формула и для различных субъективных оценок впечатления от «едва заметного» через «приятное», «удобовыносимое», «неприятное» до «невыносимо неприятного» (всего 12 ступеней) в их зависимости от яркости поля В, его угловой величины Q и яркости F того поля, к которому глаз был перед тем адаптирован. Формула эта:  $K=\log B+0.25\log Q-0.3\log F$ , где K есть коэфициент, характеризующий субъективное впечатление.

При K=0,3 раздражение «едва заметно», » K=0,6 «наиболее приятно»,

K = 1,9 «на грани неприятного»,
 K = 2,6 «почти невыносимо»,
 K = 2,8 «очень болезненно».

Что касается зрачкового рефлекса, то, как мы видели выше в главе II, сужение зрачка сказывается тем заметнее, чем интенсивнее раздражитель, чем больше его площадь и чем ближе к центру сетчатки падает раздражение.

Светорассеяние от блеского поля при весьма большой его яркости, по данным Кларка, может простираться на 5—6°. Эффект иррадиации также растет по мере интенсивности блеского поля.

Лекиш и Холлэдэй, например, определяли, какой ширины черное кольцо может стать в первый момент невидимым, если его поместить на белый фон той или иной яркости. Чем к большей яркости глаз был предварительно адаптирован, тем, как оказалось, эта ширина может быть меньше; напротив, для темно адаптированного глаза эффект иррадиации бывает наиболее заметен. В качестве эмпирической формулы для выражения результатов своих опытов названные авторы нашли, что  $A=10,7~\log B-2,07~F-37,4$ , где A есть максимальная ширина кольца в угловых минутах, B — яркость белого фона, выраженная в миллиламбертах, и F — та яркость, қ қоторой глаз был предварительно адаптирован.

В последнее время в нашей лаборатории закончена работа Колесниковой (1944), изучавшей влияние блеских раздражителей (белых и цветных) на чувствительность центрального зрения по отношению к различным монохроматическим раздражителям. Оказалось, что от

<sup>1</sup> Определение миллиламберта см. выше, стр. 67.

блескости наиболее страдает чувствительность к зеленым и синим лучам спектра, что же касается его чувствительности к лучам красным, то она снижается сравнительно гораздо меньше.

По наблюдениям Федоровых (1944) цветовая чувствительность к красным раздражителям, падающим на боковые места сетчатки,

от наличия блескости даже выигрывает.

Ухудшение различительной чувствительности глаза под влиянием блеских раздражений изучалось главным образом Холлэдэй, Стайльсом и Мешковым. С физиологической точки зрения мы имеем здесь перед собой вопрос, уже затрагивавшийся нами выше, — вопрос о

действии на зрение гомогенных побочных раздражителей.

Стайльс поставил себе задачей изучить влияние точечного блеского источника на увеличение разностного порога в зависимости от интенсивности и местоположения блеского поля. Испытуемый должен был отмечать появление или исчезновение некоторого пятна, видимого под углом 2° на фоне, яркость которого вариировала от 0 до 0,22 свечи с квадратного фута. Блеское поле диаметром 0,47 градуса помещалось прямо над испытательным полем и могло создавать освещенность на зрачке наблюдателя до 1 футо-свечи. Положение блеского поля вариировало по вертикальному меридиану в пределах от 1 до 10°. В качестве показательной цифры бралась разность яркостей испытательного поля и фона. Будучи выражена в процентах яркости фона, эта разность соответствовала величине разностного порога Фехнеру. В опытах Стайльса максимум различительной чувствительности лежал при яркости фона, равной 1 свече с 1 квадратного фута. Разностный порог в этих условиях был равен всего 0,6%. При наличии же блеского поля величина порога всегда оказывалась больше. При этом для небольших яркостей фона это увеличение было особенно значительно. Следуя методу, ранее примененному Холлэдэй, Стайльс подыскивал для разных яркостей и положений блеского поля такие яркости фона, которые и без присутствия блеского поля дали бы ту же абсолютную величину разностного порога. Подобные «эквивалентные» фоны находились им из сопоставления данных, показывающих зависимость разностного порога от яркости фона (в отсутствии блеского поля), с данными зависимости разностного порога от яркости блеского поля при постоянной яркости фона. Между освещенностью E, создаваемой на зрачке блеским полем, с одной стороны, и яркостью в такого эквивалентного фона, -- с другой, оказалась зависимость линейная, удовлетворяющая равенству:  $\beta = B_s + m(\vartheta) E$ , где  $B_s$  есть некоторая имеющаяся одновременно с блеским полем яркость фона, т — некоторая независимая от яркости наличного фона функция в угла отстояния блеского источника от фиксируемой точки. По мере увеличения этого угла величина т уменьшается. Для яркости фона, не превышающей 0,22 свечи с 1 квадратного фута, Стайльсом предлагается для нахождения эквивалентных фонов нижеследующая

окончательная формула:  $\beta = B_s + \frac{4,16}{\vartheta^3/2} E$ , где  $\vartheta$  выражается в гра-

дусах, а все прочие величины — в футо-свечах.

Итак, из опытов Стайльса над различительной чувствительностью мы видим, что вредящее действие блеского поля увеличивается с уве-

личением освещенности глаза и уменьшается при увеличении угла,

на который это блеское поле удалено от фиксируемой точки.

Свит, Кобб, Кларк и Новаковский определяли влияние блеского источника на остроту зрения. По данным Свита, оказалось, что резкое уменьшение вредящего действия блеского поля наблюдается при увеличении углового расстояния этого поля от фиксируемой точки вплоть до 25°, после чего острота зрения остается уже постоянной. По опытам Кобба (проведенным при искусственном зрачке) и более удаленные блеские поля все же ухудшают остроту зрения, хотя наиболее заметным это ухудшение оказывается лишь в случаях, когда блеское поле отстоит от фиксируемой точки меньше чем на 15°. По опытам Кларка и Новаковского вредящее действие продолжается и при удалении блеского источника от фиксируемой точки больше чем на 25°. На основании всех подобных экспериментов можно в общем все же считать, что заметный ущерб остроте зрения от блеских полей бывает лишь при небольшой освещенности рассматриваемых деталей и при блеском поле, удаленном от фиксируемой точки на сравнительно малый угол.

Повидимому, вредящее влияние блеского источника следует относить в известной мере за счет того рассеянного света внутри глаза, который блеским источником вызывается и играет роль известной световой завесы, мешающей нам видеть рассматриваемые детали. О таком именно понимании говорят упомянутые опыты Кобба, в которых изображение блеского источника в некоторых сериях падало на слепое пятно. Будучи сам невидим, блеский источник все же снижал

остроту зрения.

В случае, когда блеский источник сам виден, не исключено влияние и того, что нарушается наличная фиксация взора благодаря рефлекторному импульсу, влекущему нас посмотреть на блеское поле прямо. Не надо забывать, однако, что блеское поле может оказывать и влияние, содействующее увеличению остроты зрения, благодаря тому, что, во-первых, оно суживает зрачок, во-вторых, приводит мозг в более возбужденное состояние. Это последнее обстоятельство делает эффект иррадиации более заметным. В случае же различения глазом темных объектов на светлом фоне увеличение иррадиации улучшает остроту зрения. Об этом мы уже говорили выше, в главе VIII, касаясь вопроса о действии на остроту зрения побочных раздражителей. Наконец, при большой контрастности объектов с фоном побочный раздражитель может эту контрастность увеличить, отчего также острота зрения может выиграть. Опыты Холмской, проведенные в лаборатории Мешкова (еще неопубликованные), действительно, показали, что при некоторых размерах и контрастах различаемых объектов блеское поле влияет на остроту зрения не ухудшающим, а улучшающим образом.

Поэтому в каждом случае влияние блеского поля на остроту зрения есть некоторая равнодействующая всех этих отрицательных и

положительных воздействий.

Вредящее действие блеского источника на скорость зрительного восприятия установлено опытами Джонса. Эксперименты, поставленные Летаветом, Нейштадтом и Фрадкиным (1935), показали, что вредя-

щее действие блеского поля здесь особенно заметно по отношению к объектам, мало контрастирующим с фоном, по отношению же к объектам, очень отличающимся по своему коэфициенту отражения от фона, блескость может и не вредить.

Какая же функция зрения все же особенно страдает от блескости? Опыты Мешкова говорят за то, что такой наиболее уязвимой функцией является различительная чувствительность. Все же другие об-

следованные им функции, как-то: острота зрения, сксрость зрительного восприятия и устойчивость ясного видения, терпят от наличия блеских источников в поле зрения уже меньший ущерб. Можно даже думать, что они вообще нарушаются главным образом лишь постольку, поскольку зависят от различительной чувствительности. На рис. 210 по ординате отложено снижение функций, выраженное в процентах.

Из рассмотрения кривых легко видеть, что, действительно, наиболее снижается различительная чувствительность; скорость различения снижается также значительно лишь при малой контрастности объекта с фоном.

На изменении различительной чувствительности глаза под влиянием блеского раздражителя основываются и современные методы количественного определения слепящего действия блескости. Международным осветительным

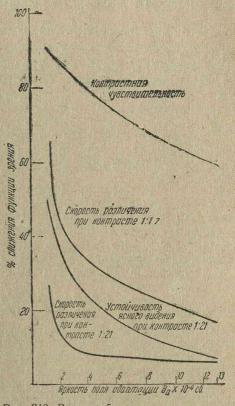


Рис. 210. Влияние блескости на различные функции зрения (по Мешкову).

комитетом (МОК, 1935) принята следующая методика. Находят ту яркость фона  $\beta$ , которая в отсутствии блеского поля дает ту же величину разностного порога, что и яркость фона B при наличии данного блеского источника. Если имеется слепящее действие блескости, то  $\beta > B$ . Мерой блескости и принимается величина

$$G=rac{\gamma}{eta}$$
, где  $\gamma=eta-B$ . По данным Лекиша, Холлэдэй и Стайльса;  $\gamma=rac{kE}{8^n}$ , где  $E$  есть освещенность, создаваемая на зрачке наблюда-

теля блеским источником,  $\vartheta$  — угловое расстояние блеского источника от фиксационной линии, k и n — некоторые постоянные величины.

Мешков и Боума обратили, однако, внимание на то, что выше-приведенная формула не учитывает яркости блеского источника, поскольку в нее входит лишь величина создаваемой им освещенности на зрачке наблюдателя. В случае блеских полей неточечного размера и с яркостью меньшей, чем 100 стильбов, отмеченное обстоятельство вносит уже заметные неточности.

Мешков предложил для учета влияния блескости пользоваться так называемым коэфициентом слепимости или, лучше сказать, коэ-

фициентом слепящего действия  $S = \frac{\Delta B'}{\Delta B}$ , где  $\Delta B$  есть прирост или убыль яркости, впервые замечаемые при отсутствии в поле зрения блескости, а  $\Delta B'$  есть прирост или убыль яркости, впервые замечаемые в присутствии блеского источника. Как легко видеть, если слепящее действие отсутствует, то S = 1. Во всех иных случаях величина этого коэфициента будет больше единицы. Опыты показали, что для углов  $\vartheta$ , не превышающих  $30^\circ$ , можно с достаточной для практики точностью пользоваться следующими уравнениями, определяющими коэфициент слепимости или коэфициент слепящего действия. Для блеских полей с яркостью меньшей, чем 100 стильбов,

$$S=1+(3 \lg B+3,46) \frac{0,305 \cdot I \cdot 10^{-3}}{H^{2}(B_a \cdot 10^4+0,207)},$$

где B есть яркость блеского источника в стильбах, I — сила света блеского источника по направлению к глазу наблюдателя в свечах, H — высота блеского источника в метрах над уровнем глаза наблюдателя и  $B_a$  — яркость, к какой глаз адаптирован. Для блеских источников с яркостью большей, чем 100 стильбов,

$$S=1+\frac{2,88I\cdot 10^{-3}}{H^2(B_a\cdot 10^4+0,207)}$$
.

Пользуясь этими формулами, мы можем количественно характеризовать слепящее действие того или иного блеского поля. Не надо, однако, забывать, что эта характеристика касается лишь влияния блескости на замечаемость нашим глазом минимальных пороговых различий в яркостях. Там же, где дело идет о различении объектов с контрастами сверхпор'оговыми, дело осложняется, поскольку эффект блескости в иных случаях может оказываться здесь и положительным. В этих случаях сказываются все те закономерности, касающиеся зависимости действия побочных раздражителей от распределения возбуждения в прямо раздраженных местах нашего зрительного аппарата, о которых у нас уже была речь выше.

Заслуживает внимания найденный Брюлловой и Мешковым (1939) факт зависимости слепящего действия блеского источника от зрительного утомления. По данным их опытов, в ходе нарастающего зрительного утомления от длящейся зрительной работы неизменно увеличивается и коэфициент слепимости глаза, несмотря на объективное

постоянство всех осветительных условий.

Что касается последовательных образов, возникающих у нас от блеских полей, то здесь экспериментально ставился вопрос главным образом о сравнительной длительности последовательных образов от

блеских полей белого и желтого цвета. Ряд авторов (Монье и Мутон, 1933, Боума, 1935, Золина, 1939, и др.) нашли, что последовательные образы от желтого света затухают быстрее, чем последовательные

образы от белого света той же яркости.

Увеличение мускульного напряжения от присутствия блеских раздражителей было найдено в опытах Лекиша и Мосса (1939). Испытуемые в этих опытах должны были нажимать рукой на реактивный ключ при появлении на показываемом им объекте определенных деталей; во все время опыта палец руки лежал на ключе, так что малейшие непроизвольные сокращения мускулов пальца замыкали ток и регистрировались незаметным для испытуемых образом. Продолжительность таких непроизвольных нажатий на ключ и бралась в качестве индикатора мышечного напряжения. Гинзбург (1939), наконец, наблюдал ослабление способности глаз совершать движения конвергенции и дивергенции при наличии в поле зрения блеского раздражителя.

Новый подход к вопросу об оценке неравномерной яркости поля зрения находим мы в недавней работе Лекиша и Мосса (1939). Авторы предлагают учитывать отношение яркости центрально фиксируемого объекта к общей освещенности, создаваемой на зрачке наблюдателя светом, идущим и от этой центральной части поля зрения й от его периферии. По их наблюдениям, это соотношение меняется параллельно с некоторыми другими показателями качества осветительной установки и может поэтому характеризовать это последнее.

### § 3. Существующие нормы освещения. Правила для избежания слепящего действия блескости

Существующие нормы освещения отчасти стремятся учесть экспериментальные данные, подобные приведенным выше. В большей же мере, однако, они основываются на общих врачебных наблюдениях и на соображениях экономического характера. В советском проекте осветительного кодекса, как и во всех иностранных нормах, предписываются определенные правила, касающиеся прежде всего интенсивности освещения и его равномерности. Предписываемая интенсивность освещения разделяется на нормальную и минимальную (допустимую лишь временно, всякий раз с особого разрешения инспекции труда). Нормы освещенности различны в зависимости от характера той деятельности, которую должен выполнять глаз. Общая ориентировочная схема этих требуемых по нашим правилам нормосвещенности внутренних рабочих и жилых помещений приведена ниже

Что касается равномерности в распределении яркости в поле зрения, то здесь в качестве общих правил предписывается, чтобы общее освещение составляло не менее 25% всей (общей и местной) освещенности, падающей на данное рабочее место, и чтобы наибольшая яркость, имеющаяся в одной части поля зрения, превосходила наименьшую не более чем в 3 раза.

Устранение вредного действия блескости по советским правилам искусственного освещения регулируется высотой допустимого под-

Наименьшая допускаемая осве- щенность в люксах в зависи- мости от коэфициентов отраже- ния рабочей поверхности
100—200
30—100
30—100
20—30

веса источников света, обусловливаемой в свою очередь защитным углом применяемой арматуры.

Под защитным углом понимается угол, составляемый горизонталью и прямой, проведенной от края светящейся нити лампы к диаметрально противоположному нижнему краю колпака арматуры.

Чем этот угол больше, тем ниже может быть подвешена лампа, и наоборот. При защитном угле в 64° и больше высота подвеса лампы не ограничивается. В иных же случаях она вариирует от 2,8 м над уровнем пола и выше.

# § 4. Условия естественного освещения. Коэфициент дневного освещения. Условия искусственного освещения. Характеристика арматур. Смешанное освещение

Мы пользуемся освещением естественным (дневным), искусственным и смешанным. Каждый из этих видов освещения имеет свои характеристики и ставит перед гигиенистом свои особые вопросы. Естественное освещение обусловливается солнечным светом: прямыми лучами, падающими на данную поверхность, или отраженными и рассеянными лучами. Освещенность, создаваемая рассеянным солнечным светом, зависит от ряда условий и прежде всего от географической широты места, времени года и времени дня. Так, для средних широт летом мы имеем максимальную естественную освещенность около 40 000 люксов, как можно видеть на рис. 211, где приведены кривые естественной освещенности по часам дня и временам года.

Максимальная прямая освещенность солнечными лучами в сред-

них широтах близка к 125—150 тыс. люксов.

По данным Калитина, максимальная дневная освещенность рассеянным светом для Ленинградской области — около 23 000 люксов. Солнечный свет в виде прямых солнечных лучей служит источником освещения в рабочем помещении сравнительно редко. Чаще нам светит «небо», рассеивающее падающий на него от солнца свет. Этими рассеиваемыми «небом» (атмосферой) лучами объясняются такие общеизвестные явления, как посветление неба еще до восхода солнца и постепенность его потемнения после заката. Известно также, что на высоких местностях, где слой атмосферы тоньше, небо кажется гораздо темнее. Лекишем приводятся нижеследующие приблизительные цифры, характеризующие процентное участие прямого и рассеянного солнечного света в общем дневном освещении.

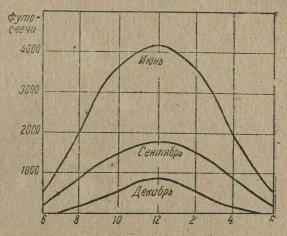


Рис. 211, Горизонтальная естественная освещенность по часам дня и временам года для средних широт (по Уинслоу).

	Рассеянный свет неба	Прямой свет солнца
Вне атмосферы	0	100
Очень ясный день	10 .	90
Ясный день	20	80
Слегка пасмурный день	30	70
Пасмурный день	50	50
Очень пасмурный день	100	0

Что касается средней яркости неба, то по данным, приводимым тем же автором, она оказывается равной:

		Стильбы
Вне атмосферы		0,0
Нормальное голубое небо		0,16
Пасмурное небо		0,48
Наиболее яркие облака, освещенные	солнцем .	3,20

Наиболее постоянной величина естественной освещенности бывает от 11 до 1 часа дня. Яркость неба, конечно, не остается одинаковой в течение всего дня, но постоянно меняется. При этом изменение яркости неба бывает особенно значительно на восточной и западной сторонах небесного свода. Не постоянно, наконец, и качество дневного освещения. На рис. 212 приведены кривые распределения энергии в прямом солнечном свете в разное время дня. По содержанию ультрафиолетовых лучей, в частности, солнечный свет бывает также весьма различен в зависимости от высоты данной местности над уровнем моря. Чем местность выше, тем больше доходит от солнца ультрафиолетовых лучей, так как их меньше поглощается в атмо-

321

сфере. Для средних равнинных местностей все лучи короче 290 мил-

лимикрон оказываются уже поглощенными в атмосфере.

Как же наилучшим образом с гигиенической точки зрения использовать естественное освещение внутри здания? Здесь следует иметь в виду ряд обстоятельств. Прежде всего сама ориентировка здания должна учитывать то, что в нашем полушарии больше света получает фасад, обращенный на юг. С другой стороны, наиболее равномерным бывает свет с северной части небесного свода. Противостоящие здания не должны быть чрезмерно высоки. В противном случае соответственно должна быть увеличена ширина улицы, иначе дневной свет, получаемый нашим помещением, будет всегда недостаточным. Весьма существенно также и то, чтобы противостоящие строения были

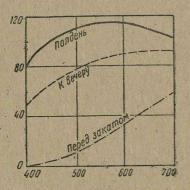


Рис. 212. Распределение энергии в солнечном свете в разное время дня.

окращены в достаточно светлый цвет и благодаря этому служили хорошим экраном, отражающим свет. Окна, через которые свет проникает в помещение, должны занимать предпочтительно верхнюю часть стены, так как небо, не заслоненное противолежащими строениями, бывает видно обычно под большим углом в горизонтальной поверхности. Для сохранения в помещении достаточной равномерности освещения окна должны размещаться на более или менее равномерном расстоянии друг от друга. Площадь оконных стекол не должна быть слишком малой по сравнению с площадью пола. Разные авторы в зависимости от рода работы, которая будет произво-

называют в качестве нормы отношения диться в данном помещении, площади оконных стекол к площади пола от  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{12}$ . Надо, однако, иметь в виду, что результирующее освещение определяется еще и рядом других факторов. Самые стекла в окнах могут быть более или менее прозрачны. В обычных стеклах теряется от 5 до 10% падающего на них света, в матовых—до 20% и более, в молочных—до 60%. Чрезвычайно большое значение для достаточности или недостаточности дневного освещения имеет окраска стен, потолка и прочих предметов, находящихся в данном помещении. Свет, проникающий через окна и падающий на светлые поверхности, претерпевает многократное отражение и тем чрезвычайно усиливает освещенность на рабочей поверхности; попадая же на поверхности с малым коэфициентом отражения, он в значительной мере теряется. Приводимые ниже цифры хорошо иллюстрируют подобное влияние цвета отражающих поверхностей на результирующую среднюю освещенность. В центре шарового фотометра помещен постоянный источник света определенной силы. В зависимости от того, каков коэфициент отражения внутренней стороны фотометра, освещенность, получающаяся на его стенке, вариирует следующим образом(стр. 323).

Учитывая, наряду с гигиеническими, и мотивы экономического порядка, рекомендуют для окраски стен употреблять цвета с коэфи-

циентами отражения в 60-35%.

Цвет внутренней стороны шаро- вого фотометра	Коэфициент отражения	Освещенность на стенке фотометра в относительных вели- чинах
Черный ·	0 50 90	1 2 10
Абсолютно белый	100	00

Для того чтобы судить о достаточности или недостаточности естественной освещенности, получаемой данным рабочим местом, нельзя ограничиться просто промеркой на нем этой освещенности посредством люксметра. В зависимости от различного положения солнца, различных атмосферных условий, облачности и т. п. дневное освещение весьма непостоянно. Если сейчас наша промерка показывает освещенность, скажем, в 100 люксов, то через очень короткое время, когда на солнце набежит облако, эта освещенность может упасть до 10 и менее люксов. Поэтому условия естественного освещения для каждого места характеризуются в настоящее время не просто промеркой освещенности, сейчас имеющейся на нем (это дает его характеристику лишь для одного данного момента), но установлением так называемого коэфициента естественного освещения. Под коэфициентом же естественного освещения К для данной точки понимается отношение горизонтальной освещенности в данной точке к горизонтальной освещенности, имеющейся в то же самое время на открытом пространстве вблизи здания (при исключении, однако, освещенности прямыми солнечными лучами). Вдали от окон коэфициент этот бывает порядка 0,01—0,02; при комбинированном освещении — окон и верхнего света потолка — он может достигать величин 0,05—0,10. По Уинслоу, если K < 0,002, то освещение должно быть признано плохим, при К от 0,004 до 0,01 оно удовлетворительно и хорошо, при K > 0.01 условия естественного освещения должны считаться прекрасными. В советском проекте правил освещения учебных заведений устанавливаются следующие нормы минимального естественного освещения, определяемые коэфициентом естественного освещения. Для классов и помещений, в которых совершается тонкая зрительная работа, коэфициент естественного освещения — 1,25%, в аудиториях для взрослых и т. п. — 1,0%, для спортивных зал, учебных мастерских с грубой работой и т. п. - коэфициент естественного освещения — 0,75%.

Само собой понятным, наконец, является гигиеническое требование касательно того, чтобы свет падал слева (и тем избегалась заметность тени от работающей руки), а не справа и отнюдь не прямо в

глаза, спереди.

Между тем в производственных помещениях мы довольно часто видим, что рабочие сидят прямо против окна, а не боком к нему. Недостаточность и отсутствие естественного освещения вечером и ночью, недостаточная равномерность и недостаточное постоянство его днем заставляют нас прибегать к искусственному освещению.

Источниками искусственного освещения являются свечи, керосиновые лампы, газовые горелки, электрические лампы (угольные, пустотные и газонаполненные), электрические дуговые лампы, лампы, использующие свечение разреженных газов при электрических разрядах (ртутные лампы, трубки Мура, неоновые лампы и др.), свечение фосфоресцирующих красок и пр. Все эти источники весьма различаются как по своему качеству (спектральному составу), так и по своей яркости.

Ниже приведены в относительных единицах величины распределения энергии в некоторых из этих источников наряду с распреде-

лением энергии в свете солнца и неба.

Длина волны в m µ	Полуден- ное солнце	Голубое небо	Экономиче- ская лампа накаливания	Угольная лампа накаливания	Газонапол- ненная лампа накаливания (100 ватт, 120 вольт)	Вольтова дуга (посто- янного тока, 13 ампер)
410 430 450 470 490 510 530 550 570 590 610 630 650 670 690	63 73 90,5 101 105,5 106,5 106 104 100 98 96 94 90,5 87	177 185 187 180 162 146 132 120 108 100 93 87 82 77 72,5	9,5 12 16,7 23,5 32,7 42,6 54,6 68,6 83,4 100 117 136 157 179 202	4 7 12 18 25,5 34,5 47 62 79 100 123 148 176 204 234	21,6 30,6 39,1 50 61,5 72,6 88,7 100 111,5 131 151 174 492	

Яркости светящейся поверхности обычных источников искусственного света приблизительно следующие:

		Стильбы
Газовое пламя		0,4
Керосиновое пламя		1,4
Угольная лампа		50
Вольфрамовая пустотная лампа		140
Вольфрамовая газонаполненная лампа		600
Кратер дуговой лампы		15 000

Гигиеническое значение имеет нагревание, вызываемое лампами, а равно и порча воздуха, которая может происходить при горении. Со всех этих точек зрения наиболее здоровым является освещение электрическое. С ним главным образом мы в настоящее время и должны считаться на практике. Заботы гигиениста сводятся, как уже выше сказано, здесь к тому, чтобы создать освещение, достаточное по силе, достаточно равномерное и не дающее вредной блескости. Для того чтобы придать ее световому потоку, идущему от данного источника света, желательное направление и прикрыть от глаз субъекта сами

излучающие части светового источника, пользуются всякого рода арматурами. В зависимости от того, каким способом освещения желают пользоваться, арматура может быть предназначена для прямого,

отраженного или полуотраженного освещения.

Каждая арматура с данной ламиой характеризуется определенным распределением светового потока в окружающее пространство. Если силу света в каждом направлении мы изобразим в виде прямой соответствующей длины и концы таких прямых соединим общей поверхностью, то получим так называемое фотометрическое тело, характеризующее данную арматуру и лампу. Сечение этого тела по плоскости продольной оси лампы даст продольную кривую лампы в данной арматуре.

В тех случаях, когда мы пользуемся прямым освещением и все же хотим избежать блескости, мы должны прибегать к достаточно глубоким колпакам. Чем защитный угол арматуры больше, тем ниже можем мы вешать лампу, не боясь ослепления. Мы считаем не лишним привести здесь в несколько дополненном виде выпущенную Американской всеобщей компанией электричества обзорную таблицу различных арматур с их продольными кривыми и характеристиками их с точки зрения даваемых горизонтальной и вертикальной освещенностей, приятности общего впечатления от освещенной ими комнаты, наличия прямой или отраженной блескости, наличия резких теней и легкости поддержания данной арматуры в чистоте (рис. 213). Условная оценка со всех этих точек зрения дана буквами, причем буквы имеют следующие значения:

Помимо дневного и искусственного освещения, нам весьма нередко приходится прибегать к освещению смешанному, т. е. зажигать лампы еще при наличии естественного света. Это требуется делать вечерами, а часто и днем при недостаточности дневного света в условиях скучен-

ных зданий большого города.

По отношению к подобного рода смешанному освещению порою высказывались опасения, не является ли такой «двойной» свет вредным для зрения. Общефизиологические соображения, однако, не дают никаких оснований опасаться, чтобы дополнение дневного света некоторым количеством лучей, исходящих от искусственного источника, могло причинить вред зрению. Иное дело, конечно, если дневной и искусственный свет исходит из явно разных направлений и обусловливает в поле зрения работающего глаза заметную пестроту благодаря возникающим цветным теням. Подобного рода эффект является, действительно, субъективно неприятным и раздражающим. Однако тому виной не смешение дневного света с искусственным, а несовершенное распределение того и иного света в поле зрения. Пренебрегать достаточной освещенностью только из-за того, что приходится подмешивать к дневному освещению искусственное, безусловно, нерационально.

	0	
	20	
	. 25	
	<b></b>	
	* \$ \$	
	多额	
STATE OF THE PARTY		
THE REAL PROPERTY OF THE PARTY	00-	
- Constitution	Cas	
一十二日 日本	ਰਵ	
THE PERSON NAMED IN	8 0	
San and Articular and an article		
The section of the land of the land	<b>⇔</b> ☆	
The state of the s		
SCHOOL STATE OF THE PARTY OF TH		

Вид арматуры и соответствующая ей кривая распреде-
ления света
"RLM", прозрачный баллон
То же, матовый баллон (близка к советской арматуре ГЭТ "Универсаль")
Металлический с рассеивателем (близка к совет- ской арматуре ГЭТ "Универсаль с затенителем")
Глубокая чаша, прозрачный баллон
То же, матовый баллон
Плоский металлический рефлектор с затенением, прозрачный баллон
Плоский прозрачный баллон
Светломолочный опаловый прозрачный баллон
Густомолочный опаловый прозрачный баллон
Гофрированный стеклянный прозрачный баллон .
Светломолочный опаловый рассеивающий шар
Полуотраженного освещения металлический рефлектор
Полуотраженного освещения "Campo Reflector"
Опаловая чаша
Полуотраженного освещения гофрированное стекло (близка к советской арматуре ГЭТ с верхними матовыми, нижними молочными стеклами)
"Люцетта" ГЭТ, нижнее стекло матовое, верхнее— молочное
Эмалированная непрозрачная чаша для отраженного освещения

На вер- тикаль- ной по- верхности	На гори- зонталь- ной по- верхности	Субъектив- ное впечат- ление от ос- вещения	Прямая блескость	Отраженная блескость	Тени, нерав- номерность	Легкость ухода за арматурой
A+	В+	c+	С	D	c+	A+
A-	В	В	B+	В	B+	A—
В+	В	A-	A—	B+	A-	B+
В+	В—	c	c—	D	C	A
• в	c+	c	В	C+	c+	В+
В	C+	c+	c+	D	c	B+
В	В	C	D	D -	c	A+
в+	В	B+	c+	D	В—	В
A+	в-	B+	В	D	c+	A-
A+	A-	B+	c+	D ·	c+	В—
В—	В-	A	В—	В	в+	B+
В	В	A	В	В	в+	В—
В	В	A	A	A—	A-	· C+
В—	c+	A	B+	В+	A—	c .
В—	C+	A	A-	A	A—	В
В	В	A	A	A	A	В
C	- C	в+	A+	A	A+	c
	- 75		1	1		

Рис. 213.

Надо лишь заботиться о том, чтобы естественное и искусственное освещение не чувствовались как два совершенно особых, раздельных и даже конкурирующих друг с другом световых потока. Опыты Фэрри и Рэнд, специально посвященные выяснению вопроса о сравнительной ценности смешанного освещения, показали, что острота зрения, скорость зрительного восприятия и устойчивость ясного видения при условиях одной и той же освещенности нижеследующим образом зависят от того, имеется ли одно дневное, одно искусственное или же смешанное (наполовину дневное, наполовину искусственное) освещение:

Освещение	Острота зрения	Скорость зрительного восприятия	Устойчивость ясного видения (отношение гремени ясного видения ковремени неясного видения)
Дневное	1,35	11,90	7,57
Смешанное	1,33	11,49	6,20
Искусственное	1,32	11,17	5,00

По опытам Кван-Тэнга скорость зрительного восприятия при смешанном освещении оказалась большей, чем при одном лишь искусственном.

Из всех этих данных видно, что наиболее благоприятно для функций зрения освещение дневное, затем смешанное и уже на последнем месте стоит освещение искусственное. Таким образом, говорить о каком-либо вредном действии «двойного» освещения не следует.

## § 5. Повреждения глаз, вызываемые условиями освещения. Близорукость. Скотомы. Действие ультрафиолетовых и инфракрасных лучей

Обсуждая вопросы создания возможно более здоровых условий для работы нашего глаза, мы не можем не коснуться того, что же нам угрожает в случае пренебрежения гигиеническими предписаниями и нормами. Нерациональное распределение света в поле нашего зрения, как мы уже выяснили выше, заставляет наш глаз стараться не замечать возникающие последовательные образы, щуриться, постоянно менять ширину зрачка и связанную с этим аккрмодацию. Это влечет субъективное ощущение усилия, неудобства и напряжения глаза и часто сказывается понижением продуктивности работы как в отношении количества, так и в отношении качества. Явно недостаточная освещенность рабочей поверхности обусловливает прежде всего подобные же субъективные признаки напряжения и неудобства. Глаз всегда стремится видеть объект ясно и для этого пускает в действие все имеющиеся у него средства (фиксация, зрачковый рефлекс, аккомодация, конвергенция). Если же объективные условия таковы, что ясного восприятия все же возникнуть не может, то естественно, что появляются лишь тщетное напряжение, утомление глаза и затем болевые ощущения в глазнице и головная боль. Если недостаточная освещенность является постоянным условием работы глаза, то возникает необходимость подносить рассматриваемое ближе к глазам или наклонять ближе голову (чтобы рассматриваемая деталь увиделась под большим углом). Создается, таким образом, постоянная установка на «смотрение вблизь», т. е. на такой режим для глаз, при котором они сильно конвергируют. По мнению некоторых авторов, при конвергенции внешние мышцы оказывают с боков давление на глазные яблоки, зажимают вены, отводящие кровь, и-тем увеличивают внутриглазное давление. При этом может происходить и механическое оттягивание назад заднего полюса глаза. В результате всего этого глазное яблоко может несколько деформироваться и принять более удлиненную в переднезаднем направлении форму, что ведет к развитию близорукости. Вот почему прогрессирующая близорукость может быть одним из следствий длительной работы в условиях недостаточного освещения. Многими статистическими данными установлено, что процент близоруких среди лиц, работающих над рассматриванием близких объектов, больше, чем среди лиц, подобным образом не работающих; среди лиц, работающих в закрытых и недостаточно освещаемых помещениях, процент близоруких больше, чем среди

таких же работников, поставленных в лучшие условия освещения. И сама степень близорукости растет с годами работы, требующей смотрения на близком расстоянии. Так, Кон приводит следующие данные о близорукости среди на-

борщиков:

Хлопин обследованием 100 000 русских школьников установил неизменное

нарастание процента близоруких по мере перехода к более старшим классам.

При стаже

роботы

(в годах)

1-10

11 - 20

21 - 30

31 - 40

Средняя степень

близорукости

(в диоптриях)

1,75

2,00

2,50

3,00

Не следует, однако, здесь забывать и о первостепенном значении наследственности, определяющей наличие близорукости и предрасположение к ее росту. Без таких унаследованных особенностей глаза и плохие внешние условия миопии могут не вызвать. В случае же наличия известного наследственного предрасположения к ней, обстановка, в которой приходится глазу работать, оказывается уже не безразличной. С этим-то обстоятельством и должен считаться светотехник, заботясь о достаточной освещенности рабочего места.

Однако не только недостаточность освещения, но и чрезмерная яркость попадающего в глаз света может быть причиной определенных нарушений и болезненных расстройств зрения. Так, после взгляда на кратер дуговой лампы или на солнце у нас появляется на раздраженных местах сетчатки более или менее длительная слепота (скотома). Смотрение на снежную поверхность, ярко освещенную солнцем, может вызвать слезотечение, покраснение глаз, субъективные болезн нные ощущения в них. Длительная работа при очень большой освещенности в связи с недостаточностью жирового питания нередко ведет к гемералопии («куриной слепоте» — неспособности видеть что-либо в сумерки).

Значительное содержание ультрафиолетовых лучей в освещении

может обусловливать воспалительные процессы в конъюнктиве и роговой оболочке глаза. Это наблюдается, например, после смотрения на кварцевые, ртутные лампы, высокогорное солнце и тому подобные источники света, богатые ультрафиолетовыми лучами. Характерным для подобных повреждений глаза является то, что болезненные симптомы (резь) появляются не сразу, но спустя 6 и более часов после раздражения. Сетчатка от ультрафиолетовых лучей обычно не страдает, так как все световые волны, более короткие, чем  $313~m_P$ , почти целиком поглощаются впереди дежащими глазными средами. Для защиты глаза от вредного действия ультрафиолетовых лучей пользуются предохранительными очками со специальными стеклами, имеющими обычно желтоватый или желтоватозеленый цвет. Спектры пропускания некоторых таких стекол, наряду с кривой спектра пропускания обыкновенного белого стекла, приведены ниже (рис. 214).

Другие невидимые лучи — инфракрасные — при значительной

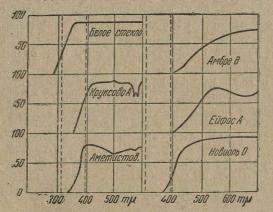


Рис. 214. Кривые пропускания ультрафиолетовых лучей некоторыми сортами защитных стекол.

их концентрации также способны вызывать определенные повреждения глаза. Профессиональной болезнью глаз стеклодувов, литейщиков и других рабочих, имеющих дело с расплавленными массами, является катаракта, т. е. помутнение хрусталика. При этом в отличие от старческой катаракты здесь характерным явпяется то, что помутнение затрагивает только ту часть хрусталика, через которую идут све-

товые лучи. Швейцарский офталмолог Фогт, основываясь на своих специальных опытах с кроликами, глаза которых подвергались длительному освещению инфракрасным светом, и на опытах других авторов, которым не удалось получить катаракты воздействием ультрафиолетовых лучей, утверждает, что причиной катаракты стеклодувов являются именно инфракрасные лучи. И специально особое значение здесь, по его мнению, играют короткие инфракрасные лучи, как проникающие через роговицу и водянистую влагу передней камеры глаза. В качестве защитных стекол от этих коротких инфракрасных лучей рекомендуются особые стекла, содержащие в себе окись железа: темносерые, зеленые и золотистые.

Другой профессиональной болезнью зрения, относимой за счет условий освещения, является нистагм углекопов, сказывающийся постоянным дрожанием глаз. Согласно выводам специальной английской комиссии, созданной для выяснения причин этого явления, нистагм обусловливается слишком слабой освещенностью рабочей поверхности

в шахтах. В силу этого у работающего появляется желание смотреть на объект не прямо, а несколько периферическими местами сетчатки; подобная же привычка и может вести к постоянному движению нистагмического характера. Возможно, однако, что нистагм углекопов обусловливается отчасти также и неестественным положением их тела при работе, а также и некоторыми отравлениями (газом метаном).

Помимо подобных влияний специально на зрение, условия освещения весьма значительно влияют вообще на продуктивность работы, поскольку эта последняя зависит от зрения. Входить здесь в рассмотрение вопроса о связи осветительных условий с производительностью труда мы не можем. Скажем лишь, что эта связь несомненна, и американцы, учитывающие все экономические выгоды, отсюда происходящие, не жалеют средств на все большую и большую рационализацию условий освещения, идя в этом отношении много дальше того, что предписывается в качестве минимума осветительным кодексом.

# § 6. Гигиеническое обоснование норм освещения. Виды зрительного утомления

Вернемся к вопросу об установлении норм освещения. В какой мере могут рассматриваться как действительно научно обоснованные нормы, предлагаемые различными осветительными кодексами? Следует признать, что строгого обоснования они не имеют. В их оправдание (поскольку мы оставим в стороне вопросы экономические) приводятся частью общие наблюдения врачей-гигиенистов, частью данные специальных лабораторных экспериментов, приведенные нами выше. Подобного рода эксперименты весьма ценны, интересны и важны. Однако прямым обоснованием для установления тех или иных точных осветительных норм во вне лабораторных и в производственных условиях они являться не могут. Во-первых, условия лабораторных экспериментов обычно отличаются от условий обыденной работы глаза: иной размер объекта, иное состояние адаптированности глаза. Главное же — это то, что при лабораторном испытании функций зрения исследуемый субъект обычно проявляет краткое, но максимальное напряжение внимания, чего при обычной повседневной работе глаза не имеется; при последней глаз поддерживает некоторый средний уровень напряжения внимания, но работает длительно. Большинство лабораторных экспериментов, касающихся психофизиологии зрения, ничего не говорит об утомляемости глаза при длительной работе в данных световых условиях. Из опытов мы, например, знаем, где лежит оптимум различения яркостей, когда острота зрения достигает своего максимума, когда скорость зрительного восприятия при увеличении освещенности приходит к более или менее постоянному уровню. Но вправе ли мы, основываясь на этом, предписывать именно эти величины как наилучшие для обыденного режима глаза в тех или иных производственных условиях? Нетрудно понять, что такой вывод не был бы оправдан. Нам необходимо учитывать всегда утомляемость зрения в условиях продолжительной работы при данном световом режиме. Об этой же чрезвычайно важной для светотехника стороне вопроса обычные лабораторные опыты ничего не говорят.

Светотехнику надо найти такой световой режим, такие световые нормы, которые бы давали максимальную продуктивность при длительной работе зрения при минимальном его утомлении. Для установления же таких норм необходимы, очевидно, специальные эксперименты, учитывающие именно эту последнюю сторону вопроса — утомляемость зрения. Таким образом, потребность в должном гигиеническом обосновании световых норм приводит к проблеме измерения

зрительного утомления. Орган зрения — глаз — можно в этой связи рассматривать состоящим из двух аппаратов: светоощущающего и двигательного. Светоощущающий аппарат глаза — это, с одной стороны, светочувствительные вещества, которые находятся в палочках и колбочках, а с другой — оптические центры в сетчатке же и выше в мозгу. Двигательным аппаратом глаза служат все те мышцы, посредством которых движутся глазные яблоки при сведении и разведении зрительных осей, при фиксации рассматриваемого, а также мышцы, имеющиеся в радужной оболочке, от сокращения которых зависит величина зрачкового отверстия, и мышца аккомодационная, своим сокращением и расслаблением обусловливающая изменение кривизны хрусталика и соответственную приспособленность глаза к фокусированию близких или далеких объектов. Утомляться, т. е. понижать свою работоспособность, может как светоощущающий, так и двигательный аппарат глаза. Утомление светочувствительного аппарата глаза сводится к явлению световой адаптации. Как доказано опытами и как это теоретически выведено Лазаревым, спадание чувствительности глаза к световым раздражителям по мере их действия (адаптация к свету) идет по экспоненциальной кривой. Падение чувствительности совершается главным образом в первые минуты и даже кунды действия света на глаз. В дальнейшем же чувствительность устанавливается практически на постоянном уровне. Уровень этот лежит тем ниже, чем интенсивнее свет, действовавший на глаз. Есть основания думать, что понижение световой чувствительности глаза зависит не только от яркости раздражающего света, но также и от величины изображения на сетчатке. По мере увеличения этой последней понижение чувствительности становится большим. Что касается влияния длины волны раздражителя, то мы уже видели, что, по данным наших опытов, из трех равно ярких цветов (красного, зеленого и сине-фиолетового) наименее утомляющим оказывается зеленый, а наиболее утомляющим — сине-фиолетовый цвет.

Оценивая практическое значение утомления светоощущающего аппарата в условиях рабочей обстановки, мы должны признать его относительно менее важным, чем утомление аппарата двигательного. Светоощущающий аппарат через весьма короткое время приходит уже к некоторому стационарному состоянию и дальше в этом смысле не утомляется. Кроме того, если бы мы захотели прежде всего избежать утомления светоощущающего аппарата сетчатки, нам следовало бы лишь как можно более ослабить освещение. Это же приводило бы тотчас к ущербу для функционирования глаза как органа, не только ощущающего свети тень, но и различающего формы, т. е. вредило бы явно остроте зрегия стата достроте достроте зрегия стата достроте достроте за достроте достроте за достроте достроте

остроте зрения, а тем и всей работе зрения.

Роль нервной части светочувствительного аппарата глаза в процессах его утомления остается еще очень мало изученной. Богословский (1937) наблюдал снижение электрической чувствительности глаза в ходе длящейся зрительной работы вышивания, чтения, сортирования зерен, смотрения кинокартин и др. Поскольку электрическое раздражение не затрагивает светочувствительных веществ сетчатки, здесь приходится видеть картину снижения возбудимости нервной части

светочувствительного аппарата нашего глаза.

Двигательный аппарат глаза, состоящий из мышц, движущих глазное яблоко, мышц радужной оболочки и мышц аккомодационной, как всякий мышечный аппарат, также способен утомляться, т. е. ослабленно реагировать на раздражение в силу длящегося чрезмерного напряжения или же частых, повторяющихся смен напряжения и расслабления. Такие условия для глаза как раз и создаются при необходимости фиксировать очень близкие объекты, рассматривать мелкие детали, фиксировать предметы движущиеся, часто переводить взор с одного объекта на другой, при резком переходе от света к тени и обратно. Утомление двигательного аппарата глаза может нарастать в течение рабочего дня. Световой режим работы не остается при этом без влияния.

Для того чтобы подобрать наилучший световой режим с гигиенической точки зрения, надо, очевидно, уметь как-то судить остепени утомленности глаза, т. е. надо уметь измерять зрительное утомление.

# § 7. Методы измерения зрительного утомления и полученные посредством их данные. Метод визибилитиметра

Существует ряд субъективных симптомов утомления глаз: «расплывчатость» всего рассматриваемого в глазах, ломота в глазах и пр. Очевидно, однако, что эти признаки не дают количественной характеристики имеющегося утомления. Стремление найти таковую привело к выработке целого ряда приемов и методов измерения зрительного

**УТОМЛЕНИЯ.** 

Пробовали измерять световую чувствительность глаза, его способность различать яркость (различительную чувствительность), остроту зрения. При этом первый раз испытание производили до утомляющей работы, затем после нее. Из сопоставления результатов надеялись получить возможность судить об утомляющем действии работы. Опыты, однако, обнаружили, что световая чувствительность и различительная чувствительность глаза не являются функциями, на которых зрительное утомление сказывалось бы сколько-нибудь заметным образом (Фэрри). Богословский, правда, наблюдал некоторое повышение световых порогов в ходе зрительных работ. Экспериментальные данные Шубовой не обнаружили понижения различительной чувствительности после 3—4 часов утомительной зрительной работы при слабом освещении. Обычное испытание остроты зрения также мало показательно в смысле обнаружения утомления органа зрения (Фэрри), хотя, по данным других исследователей, все же до известной степени и отражает его (Холина, Маркштейн, Нейштадт).

Ширину аккомодации тоже использовали в качестве показателя утомления глаза. Опыты Баура, нашедшего как будто постоянное изменение в ширине аккомодации после работы (увеличение этой ширины), не нашли себе, однако, подтверждения в более тщательных опытах Кимура. Да и независимо от этих последних одновременное приближение ближней точки и удаление дальней, что якобы наблю-

дал Баур, непонятно.

В недавнее время влияние утомления на целый ряд основных величин оптического аппарата глаза было исследовано статистическим методом в лаборатории физиологической оптики Государственного оптического института в Ленинграде Гассовским и Самсоновой. В результате обследования нескольких десятков лиц было установлено, что зрительное утомление влечет за собой в большинстве случаев приближение дальней точки к глазу; положение ближней точки при этом оказалось в среднем неизменным. Таким образом, следует признать, что под влиянием утомления уменьшается объем аккомодации.

Более показательными, чем кратковременные тесты, зависящие от усилий произвольного внимания, могут быть, как мы думаем, эксперименты над непроизвольными реакциями нашего эрительного

аппарата.

Сюда относится прежде всего испытание так называемого мышечного баланса глаз, т. е. того положения, которое принимают зрительные оси обоих глаз при отсутствии бинокулярно-фиксируемого объекта. У одних лиц может преобладать относительное разведение зрительных осей (экзофория), у других — сведение (эзофория). Есть наблюдения, позволяющие думать, что под влиянием зрительной работы первоначальный мышечный баланс изменяется. По данным Гассовского и Самсоновой, это изменение идет в направлении увеличения эзофории. Есть далее указание на то, что под влиянием утомления изменяется и зрачковый рефлекс: сужение зрачка становится большим, чем в глазе неутомленном (Кувре). Обратное, однако (расширение зрачка после работы), наблюдали в своих опытах Лекиш и Мосс, а также Гассовский и Самсонова. Заслуживают внимания факты, установленные в лаборатории Мешкова, касательно действия блескости на утомленный глаз и касательно длительности последовательных образов в утомленном глазе. Утомленный глаз, как оказалось, в большей мере подвержен действию ослепления, чем глаз неутомленный (Брюллова и Мешков). Последовательные образы исчезают в утомленном глазе медленнее, чем в неутомленном (Золина).

Ленинградский офталмолог Кац в качестве метода определения степени зрительного утомления еще давно (1895) предложил регистрировать число миганий, совершаемых глазом в минуту. Дело в том, что мигания производят краткое затемнение сетчатки и вызывают усиленную циркуляцию крови в сосудах глаза. Вследствие этого, благодаря им, глаз несколько отдыхает. Чем более глаз утомлен, тем он чаще мигает. В качестве иллюстрации этой зависимости можно привести следующие данные, полученные Кацем (см. табл. на стр. 335).

Более позднее испытание этого метода Ньюхоллом показало, однако, что частота миганий зависит от очень многих факторов и помимо зрительного утомления. Таковыми являются аккомодация, яркость рассматриваемой поверхности, влажность роговицы, заинтересованность субъекта в рассматриваемом и некоторые другие моменты. Наши

Условия работы (чтение)	Частота мигания в 1 минуту (в среднем)
Прямой свет от лампы в глаза не по-	
Освещенность — 12 люксов	1,8
ность — 12 люксов	2,8 6,8

наблюдения подтверждают данные Ньюхолла. В недавнее время метод подсчета числа миганий был вновь применен Лекишем и Моссом (1939). По их наблюдениям, метод этот может быть с успехом применяем для характеристики качества осветительных условий. Так, ими получены были, например, следующие данные:

Освещенность (в футо-свечах)	1	10	100
Число миганий в первые и по-			
следние пять минут часа чтения	35—60	35-46	36—39
Прирост миганий в последние пять минут (в %)	71.5	31.4	8.3

Выше мы видели, что приемы кратких испытаний плохи тем, что результат их может очень зависеть от быстро переходящих волевых напряжений субъекта. Поэтому в настоящее время внимание психофизиологов, занимающихся проблемой зрительного утомления. и должно быть направлено на выработку методов, учитывающих степень устойчивости глаза в поддержании определенного уровня работоспособности. Таковым именно является метод определения «устойчивости ясного видения», предложенный Фэрри и Рэнд<sup>1</sup>. Метод этот состоит вследующем. Испытуемому предлагают в течение 3 минут фиксировать какую-нибудь мелкую и с трудом им различаемую деталь, нарисованную на таблице. Такой деталью может быть разрыв в прямой линии, разрыв в кольце Ландольта и т. п. При подобных условиях деталь то видится испытуемым вполне ясно, то расплывается у него в глазах и становится неясной. Испытуемый должен посредством какого-нибудь сигнала (например, нажатия на реактивный ключ) отмечать все те моменты, когда деталь перестает им видеться вполне ясно, а равно и все те моменты, когда она вновь проясняется. Эти сигналы испытуемого механически записываются на закопченной ленте

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Метод этот описан авторами в ряде работ, опубликованных главным образом в Transact. Illum. Eng. Soc., начиная с 1913 г. Метод вызвал критику со стороны Лекиша, Кобба и Мосса, в свою очередь породившую пространные методические указания со стороны Фэрри и Рэнд, отстаивавших показательность метода при условии достаточной тренированности испытуемых и учета влияний адаптации и утомления (см. Luckiesh M., Cobb P. a. Moss F., Transactions Illum. Eng. Soc., v. 22, № 1, 1927). Эксперименты Кравата также подтвердили пригодность метод Фэрри (Cravath, Trans. III. Eng. Soc., р. 1036, 1914).

вращающегося барабана рядом с параллельно идущей записью времени или же просто отмечаются экспериментатором по секундомеру и тотчас же записываются. По окончании опыта подсчитывается сумма всех отрезков времени, в течение которых деталь была видна вполне ясно. Отношение всей длительности периодов ясного видения к общей длительности всего опыта или ко всей длительности неясного видения и берется как показатель устойчивости ясного видения.

Полезно, пользуясь методом Фэрри и Рэнд, учитывать также и число смен периодов ясного и неясного видения: у многих лиц нарастание зрительного утомления сказывается главным образом в увеличении частоты этих смен. Успешность работы по методу Фэрри требует известной тренировки испытуемых, соблюдения достаточных (около

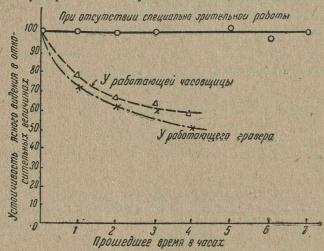


Рис. 215. Устойчивость ясного видения и зрительное утомление (по Семеновской и Шубовой).

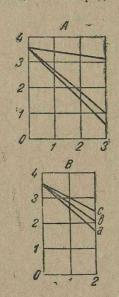
15—20 минут) пауз между отдельными испытаниями и постоянства адаптированности глаз. В настоящее время произведено значительное количество опытов при помощи этого метода как самими Фэрри и Рэнд в Америке, так и у нас в Москве. Общая картина полученных данных позволяет утверждать, что степень «устойчивости ясного видения», действительно, может служить индикатором большего или меньшего утомления эрения. Скорость спадания этой устойчивости (в ходе работы) идет параллельно с совершенством или несовершенством световых условий.

При отсутствии же зрительной работы устойчивость ясного видения в течение дня остается постоянной. Об этом говорят специальные опыты Семеновской, проведенные по нашему предложению в лаборатории физиологической оптики Всесоюзного электротехнического института в Москве.

Вместе с тем можно констатировать непрерывное падение «устойчивости ясного видения» от часа к часу по мере продолжения зрительной работы. На рис. 215 приведены кривые, полученные Шубовой при исследовании зрительного утомления у граверов и часовщиц, работавших в течение 4 часов при некоторых постоянных условиях освещения. Рядом с этими снижающимися кривыми приведена горизонтальная прямая, полученная Семеновской при определении устойчивости ясного видения у лиц, находившихся целый день в определенных

световых условиях, но не производивших какой-либо специально зрительной работы.

По ординатам этих кривых отложены величины «устойчивости ясного видения», по абсциссам — часы работы. Величина, полученная до работы, принята за 100. За большую чувствительность метода определения «устойчивости ясного видения» по сравнению с методами установления скорости зрительного восприятия или обычным приемом определения остроты зрения могут говорить и следующие кривые (рис.216), полученные Фэрри и Рэнд. Эти кривые показывают, как функции глаза зависят от длины волны (при одинаковой яркости). По абсциссам отложены длины волн в миллимикронах, по ординатам же — увеличение продуктивности соответствующей функции глаза в процентах минимальной продуктивности. Устойчивость ясного зрения,



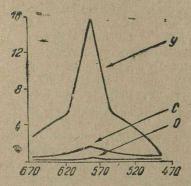


Рис. 216. Устойчивость ясного видения (у), скорость эрительного восприятия (с) и острота эрения (о) в зависимости от цветности раздражителя (по Фэрри и Рэнд).

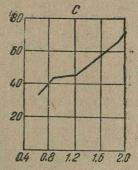


Рис. 217. Снижение устойчивости ясного видения в зависимости от различных условий работы глаз (по Фэрри и Рэнд).

как мы видим, является и здесь показателем, наиболее чувствительным.

В качестве иллюстрации того, как показания этого метода реагируют на различные изменения в условиях освещения, могут служить еще и три графика (рис. 217).

В них в  $\overline{A}$  по абсциссе отложена продолжительность длящейся работы (чтение) в часах, по ординате же — показатель устойчивости ясного видения как отношение продолжительности ясного видения к

продолжительности неясного видения, найденное до работы и после нее. Мы видим здесь влияние различных способов освещения (при той же освещенности): прямого, дающего наибольшее спадение устойчивости, отраженного, утомляющего глаз меньше всего, и полуотраженного, занимающего в этом смысле промежуточное положение. На графике В, где ордината имеет тот же смысл, что и в А, по абсциссе отложены часы смотрения на киноэкран. Исследуется утомляющее влияние на глаз различных расстояний, с которых смотрят на экран. Нижняя линия— а — относится к случаю, когда на экран смотрели с расстояния в 7,5 м, линия b — с расстояния в 14,5 м и линия c — с расстояния в 21,3 м. На графике С, наконец, по абсциссе отложены яркости (в свечах на квадратный дюйм) различных просвечивающих арматур, в которых помещались освещающие помещение лампы; по ординате отложен процент снижения устойчивости ясного видения через 3 часа работы при данных арматурах (при одинаковой освещенности на рабочей поверхности).

Остается, однако, открытым и требующим своего разрешения вопрос о том, какой же собственно механизм глаза по преимуществу сказывается на результатах подобных экспериментов по методу Фэрри: сетчаточные изменения, аккомодация, конвергенция или просто устойчивость фиксации глаза? Последнее является, повидимому, наиболее

вероятным.

Несомненно, как то и отмечает на основании своих опытов Холина, что на показаниях метода определения устойчивости ясного видения сказывается в известной мере и общее психическое утомление испытуемого субъекта. То обстоятельство, однако, что снижение устойчивости ясного зрения идет параллельно с большим или меньшим совершенством чисто световых условий работы, позволяет нам все же видеть в нем показатель и специально зрительного утомления.

Метод определения устойчивости ясного видения в том виде, как он предложен Фэрри и применяется до сих пор, позволяет устанавливать степень устойчивости остроты зрения по отношению к некоторому определенному объекту, используемому в качестве теста. Он не дает, однако, нам картины того, как вообще меняется наша способность видеть детали на протяжении более или менее продолжительного отрезка времени. Чтобы получить более полную картину работоспособности глаза в течение всего времени опыта, Трухановым предложен новый тест, представляющий собой в известном смысле модификацию метода Фэрри. Испытуемому предлагается с достаточно большого расстояния смотреть на восьмерку, изображенную на черном фоне посредством линий, даваемых светлыми пятнами. При этом отдельные участки этих линий составлены из пятен разного размера, разно удаленных друг от друга. Так как острота зрения у испытуемого субъекта во время испытания не остается постоянной, отдельные участки очертаний восьмерки для него то сливаются в сплошные линии, то видятся как пунктирные, в силу чего в «восьмерке» испытуемым читаются различные цифры. По тому, какие промежутки между белыми пятнами оказываются в тот или иной момент для испытуемого лица уже неразличимыми, можно судить об изменениях уровня его остроты зрения в течение эксперимента.

Устойчивость специально конвергенции и аккомодации исследуется посредством специального «глазного эргографа», предложенного Хау и усовершенствованного Беренсом, Харди и Пирсом. Этот «глазной эргограф» позволяет испытуемому приближать объект (черная точка на белом фоне) до тех пор, пока не появится субъективного двоения точки. Движения объекта к испытуемому и от него записываются на вращающемся барабане. Опыты ставились как на устойчивость удержания испытуемым максимально сведенных зрительных осей в их крайнем положении, так и на способность испытуемого многократно сводить и разводить зрительные оси (рис. 218). Произведенные до сих пор автором опыты не имели в виду исследовать влияние утомления глаза от какой-нибудь предшествовавшей работы. То, что ими установлено, говорит пока лишь о возможности находить посредством

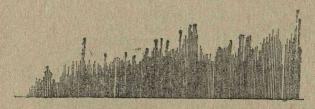


Рис. 218. Смещение ближайшей точки конвергенции при повторных усилиях максимально конвергировать (по Беренсу, Харди и Пирсу).

подобных опытов лиц с ослабленным против нормы мышечным аппаратом глаз.

Испытание этого метода, произведенное Холмской в Институте охраны труда в Москве, показало, что для выявления зрительного утомления под влиянием зрительной работы или тех или иных осветительных условий метод глазного эргографа является мало чувствительным.

В качестве метода измерения зрительного утомления применяли и определение критической частоты слияния мельканий. Так, Маркштейн нашел, что критическая частота снизилась после трудной чертежной работы. Снелл констатировал то же после смотрения на мигающий экран. Последнее подтвердилось и в позднейших опытах Мкртычевой и наших.

В заключение упомянем еще о существующих попытках оценивать качество наличных осветительных условий посредством определения видимости объекта при помощи особых «измерителей видимости», или визибилитиметров. Визибилитиметры имеются разных систем. Одни из них основаны на принципе уменьшения яркости рассматриваемого объекта или принципе гашения (визибилитиметры, предложенные Кацем и Лекишем и Моссом). Гашение яркости рассматриваемого поля достигается помещением между глазом и объектом нейтральных поглощающих стекол, позволяющих менять коэфициент пропускания света. Смотря через такой прибор на объект и включая стекла, все менее и менее пропускающие свет, мы затемняем поле зрения и можем дойти

до такого затемнения, когда рассматриваемый объект окажется не различимым. Другой принцип построения визибилитиметров есть принцип наложения световой пелены. По этому принципу построены приборы Лекиша и Холлэдэй, Ллойд Джонса, Труханова. Наложение световой пелены достигается отражением света от стекла, через которое наблюдателю предлагается смотреть на объект. Если яркость пелены делается достаточно большой, рассматриваемый объект перестает быть видимым в силу чрезмерного уменьшения контраста.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

§ 1

Kohn H., Lehrbuch der Hygiene des Auges, Wien u. Leipzig, 1922. — Possey W. C., Hygiene of the eye, London, 1918. — С 1 ark I. H., Lighting in relation to public health, Baltimore, 1924. — Truc H., Hygiène et inspection du travail, Paris, 1926. — Teichmüller I., Moderne Lichttechnik in Wissenschaft und Praxis, 1928. — Darmois E., L'éclairage. Solutions modernes des problèmes d'éclairage industriel, Paris, 1923. — Luckies h. a. Moss F., Seeing, Baltimore, 1931. — Parry Moon, The scientific basis of illuminating engineering, N. Y., 1936. — Майзель С. Л., Основы рационального освещения, Гостехиздат, 1929. — Майзель С. О., Свет и зрение, Л., 1932. — Зеленцов М., Световая техника, Л., 1925. — Несмачный К., Что такое хорошее и плохое освещение мастерских, Гиз, 1927. — Мешков В. В. и Смелянский З. Б., Освещение промышленных предприятий, М., 1931. — Лекиш М., Свет и работа, М. — Л., 1934. — Смелянский З. Б. и Мешков В. В., Гириена освещения, М. — Л., 1934. — Федоров Б. Ф. и Сиротинский Л. И., Основы техники электрического освещения, М. — Л., 1934.

§§ 2-4

L y t h g o e R., Illumination and visual capacities, London, 1926.—С o b b P., J. exp. psych., No. 6, 1923; Trans Illum. eng. soc., v., 19, 1924. — Fe r r e e C. a. R a n d, Licht und Lampe, H. 20, 1927. — L u c k i e s c h M., T a y l o r a S i n d e n, J. Franklin inst., v. 192, 1921. — Fe r r e e C., Trans. Ill., eng. soc. v. 8, 1913; Ztschr. Sinnesphysiol., Bd. 49, 1915. — Fe r r e e a. P a n d G., Trans. Ill. eng. soc., v. 15, 1920. — P r i s t I. G., J. Opt. soc. Amer., v. 15, 1927. — Fe r r e e C. a. R a n d G., Trans. Ill. eng. soc., February 1922. — R u f e r W., Industrielle Psychotechnik, Nr. 6, 1928. — I v e s H., L u c k i e s c h M., Trans. Ill. eng. soc., v. 6, 1911. — Fe r r e e C. a. R a n d G., Arch. ophth., v. 2, 1929; J. Opt. soc. amer., v. 12, 1926. — S t i l e s W., Proc. Roy soc., ser. B., v. 104, No. 731, 1926. — M i l l a r P. a. G r a y S., Procceding International Congress on Illumination, 1928. New York, 1929. — L u c k i e s c h M. a. H o l l a d a y L., Trans. Ill. eng. soc., v. 30, 1925. — Licht und Lampe H. 14, 1925. — S t r o e r H. Licht u. Lampe, 1927. — S w e e t J.A., J. Franklin inst., v. 169, 1910. — J o n e s W., J. good lighting, v. 21, 1928. — H o l l a d a y D., J. Opt. soc. Amer., v. 14, 1927. — L y t h g o e R. J., The measuretent of visual acuity, London, 1932. — L u c k i e s c h M. a. M o s s F., J. gèn. psych., v. 8, 1933. — A r n d t W., Das Licht Nr. 11, 1933. — A r n d t W. u. D r e s l e r A., Das Licht, Nr. 12, 1933. — L u c k i e s c h M. a. M o s s F., J. Opt. soc. amer., v. 24, 1934. — M o n n i e r et M o u t o n, C. r. Ac. sci., v. 1916, 1938. — International Commission on illumination, 4 Report Comité d'études sur l'éblouissement, 1939. — B o u m a P., Intern. commission on illumination, 4 report, 1939. — L u c k i e s c h a. M o s s, Trans Ill. eng. soc., v. 34, 1939. — K o r f f - P e t e r s e n A., Schulhygienische Arbeitsmethoden. Abderhaldens Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Lief. 108, 1923. — F e r r e e C. a. R a n d G., Trans. Ill

кость», изд. Ленинградского института труда, Л., 1939. — Искусственное и естественное освещение промышленных предприятий, Труды Научно-исследовательского института гигиены труда и промсанитарии, в. IV, под ред. С. В. К р а вкова, А. А. Летавета и Я.Э. Нейштадта, М. — Л., 1935. — 3 оли на З. М., Физиологический журнал СССР, 1940. — НейштадтЯ. Э., Шубоват. Б. и Мкртычева Л. И., Труды 1-й конференции по физиологической оптике, Л., 1936. — Мешков В. В., Светотехника № 2, 1932, — Мешков В. В. и Брюллова Н. Б., Сборник Ленинградского института гигиены труда, «Блескость», Л., 1939.; Проблемы физиологической оптики, т. 1,1941. — Гинзбург М. С., Сборник «Блескость», Л., 1939. — Правила искусственного освещения промышленных предприятий, обязательное постановление Известия Наркомтруда, № 57, 1933. — Белькин Д. Д., Электрические осветительные приборы ближнего действия, ОНТИ, 1934. — Федоровы Н. Т. и В. И., Проблемы физиологической оптики, т. 3, 1945. — Самсонова В. Г., Проблемы физиологической оптики, т. 2, 1944.

## \$\$ 5-7

Van der Hoeve, Graefes Arch. Ophth., Bd. 116, 1925. - Gibson K. a. McNicholas N., Technol. papers of the Bureau of standards, No. 119, 1919. - Vogt A., Ueber normale und krankhafte Wirkungen des Lichtes auf das Auge, Zürich, 1923. — Baur A., Pādagogisches Magazin, H. 397, Lagensalza, 1910. — Kimura R., Zschr. Hygiene und Infektionskrankheiten, Bd. 98, 1922; Klin. Mbl. Augenhk., 1895. — Сои vreux J., op. cit. к § 4, главы 11. — Ferree C., Zschr. Sinnesphysiol., Bd. 49, 1915. — Ferree a. Rand, ряд статей в журнале Trans. III. eng. soc., начиная с 1913 года. — Вегеn s Сопта d, Hardy L., Pierce H., Studies in ocular fatigue. The ophthalmic ergograph. Contributions to ophthalmic science, 1926; Studies in ocular fatigue. II. Convergence fatigue in practice. Trans. Amer. ophth. soc., 1926. — Вегеn s Сопта d, Trans. Amer. acad. ophthalmology and otolaryngology, 1929. — Newhall S. M. Amer. I psych. v. 44, 1932. — Buettger Lieber Lidschlagfer. hall S. M., Amer. J. psych., v. 44, 1932. — Buettger, Ueber Lidschlagfrequenz. Gottingen, 1923. — Luckiesch a. Moss, Trans. III. eng. soc., v. 34, 1939. - Markstein R., Industr. Psychotechnik, Merz, 1932. - Snell P. A. J. Soc. motion picture engineers. v. 20, 1933. — Luckiesch M. a. Moss F. K., Amer. A. ophth., v. 16, 1933. — Luckiesch a. Holladay, Trans. И.І. eng. soc., v. 20, 1925. — L u k i e s c h a. M o s s, J. Opt. soc. Amer., v. 26, 1936. — К а ц Р., Об утомлении глаза, СПБ, 1915. — Ш а ф р а н о в Б. В., Гигиена, безопасность и патология труда № 8, М., 1929. — Н е г р о б о в А. И., Профгигиена и охрана труда № 5, Л., 1936. — Б о г о с л о в с к и й А. И., Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, т. III, 1937. — X о л м с қ а я О. П., Труды 1-й конференции по физиологической оптике, J., 1936. — X о л и н а А. А., Труды 1-й конференции по физиологической оптике, Л., 1936. — Ш у б о в а Т. Б., Советский вестник офталмологии, 1933. — Гассовский Л. Н. и Самсонова В. Г., Глаз и пути к повышению эффективности его работы, Труды Государственного оптического института, Л., 1934. — Лекиш М., Свет и работа, ОНТИ, 1934. — Сборник «Искусственное и естественное освещение промышленных предприятий«, Труды Института промсанитарии РСФСР, М. — Л.,1935. — Сапожни ков Г. А., Светотехника № 3, 1935. — Труханов А. А., Труды Ленинградского института охраны труда, т. 9, в. 10, Л., 1935. — Самсонов В. Г., Физиологический журиал СССР, т. 26, 1939.—Шаронов В., Видимость далеких предметов и огней. Военморизд., 1944.

# предметный указатель

A

Аберрация, сферическая 40 — хроматическая 41 Авитаминоз 122 Адаптация 100 — темновая 100 — световая 105 — цветовая 241 Адаптометр 100 Адреналин 227 Аккомодация 56 — измерение силы а 59 — зависимость от возраста 62 — связь с конвергенцией 64 относительная а 64 — спазм а 65 Аметропия 46 Аномалоскоп 205 Аномалия цветовая 199 Аномальности коэфициент 207 Анопия 200 Анортоскопические иллюзии 301 Арматуры 326 Астенопия цветовая 207 Астигматизм 46 Ауберта-Ферстера явление 278

E

Баланс мышечный глаз 62 Бенхэма диск 240 Бесцветный интервал 92 Бецольда-Брюкке явление 183 Бинокулярное зрение 282 Бинокулярный контраст 188 Бинокулярный параллакс 284 Бинокулярное смешение цветов 182 Блескость 313 Ближайшая точка ясного видения 59 Близорукость 45 Блоковые нервы 56 Борьба полей зрения 182 Бунзена-Роско закон 114

B

Вебера-Фехнера закон 145

Вегетативная нервная система 227 Величина предметов видимая 289 Взаимодействие палочек и колбочек 49 цветоощущающих аппаратов глаза 223 Видность спектральных лучей 89 Витамин А 75 Визибилитиметр 339 Внутриглазное давление 15 Возбужденность 99 Возбудимость 99 Восприятие движений зрительное 293 Восприятие пространства 265 Время ощущения 234 Вторичное положение глаз 54

Г

Гельмгольца аппарат для смещения цветов 172 Гемералопия 139 Гемианопсия 18 Гигиена освещения 305 Гипервентиляция 197 Гипоксемия 197 Главные точки и плоскости 22 Глаз, его строение 8 — эмбриология 7 редуцированный 38 схематический 34 Глазодвигательный нерв 56 Глазомер 291 Гороптер 283 Гуморальные влияния зрительных раздражений 76

Д

Давление внутриглазное 15 Дальнозоркость 45 Дальняя точка ясного видения 59 Дальтонизм 200 Движения глаз 52 Двойственные изображения 283 Двойственности эрения теория 92 Девтеранопия 200 Девтераномалия 206 Дивергенция 54 Диоптрийное исчисление 27 Диоптрия 28 Дихромазия 208 Дифракция света в зрачке 42 Дневная освещенность 321 Дондерса закон 54 Дополнительные цвета 174

E

Естественное освещение 320 Естественного освещения коэфициент 323

Ж

Желтое пятно сетчатки 13

3

Запахи 225 «Засветы» 129 Затылочные доли коры мозга 16 Защитные стекла 330 Защитный угол арматуры 320 Зрачок, его иннервация 66 - зависимость от яркости раздражителя 68 - скорость реакции 69 — связь с аккомодацией 68 Зрение бинокулярное 282 — дневное 89 — сумеречное 90 Зрительное желтое 71 Зрительный бугор 17 Зрительные иллюзии 297 Зрительная линия 35 Зрительный пурпур 70 Зрительные нервы и центры 15

#### И

Измерение цвета 228
Иллюзии зрительные 297
Инверсия действия побочного раздражения 127
Индукция 127
Инфракрасные лучи, их влияние на глаз 330
Ионная теория зрения 98
Иррадиация 43

K

Кардинальные точки глаза 22 Каротин 74
Катаракта 330
Квант света 85
Колбочки сетчатки 11
Коленчатое тело 17
Колориметрия 228
Кольцо Ландольта 281
Конвергенция 54

Контраст световой 125

— цветовой 185
Конъюнктива 8
Корреспондирующие точки сетчаток 283
Коэфициент аномальности цветоощущения 207

— естественного освещения 323
Кофеин 198
Кривые основных возбуждений глаза 210

— основных раздражителей глаза 180
Критическая частота слияния мельканий 249

I

Ламберт 67 Ламберта зеркало 171 Листинга закон 54 Локализация зрительных возбуждений в мозговой коре 18 Люке 94 Люмен 89

#### M

Макропсия 288
Максвелла диск 171
Максвелла аппарат для смешения цветов 172
Массона диск 144
Мелькания, их слияние 249
Местное освещение 306
Метаморфопсия 291
Метровый угол 63
Микропсия 288
Миопия 45
Митогенетическое излучение 81
Моллюска глаз 6
Монокулярное восприятие глубины 288
Морской звезды глаз 5

H

Направление видимое 291 Насыщенность цвета 87 — различение 184 — сверхспектральная 179 Нистагм углекопов 330 Нормы освещения 319

0

Образы последовательные 242 Оптическая зона 35 Оптическая ось 19 Оптограмма 70 Освещение 305 — виды 306 — способы 306 — качество 305

— качество 303— нормы 319

Освещение — дневное 320 — смешанное 328 Основные возбуждения глаза 210 Острота зрения 265 — — и освещенность 271 — — и побочные раздражители 275 Отводящий нерв 56 Офталмометрия 33 Офталмоскоп 14

П

Палочки сетчатки 11 Парасимпатическая нервная система 227 Параллакс бинокулярный 284 Первичное положение глаз 53 Перекрест зрительных нервов 17 Передвижение пигмента 69 Пигментный слой сетчатки 9 Периметрия 112 Площадь раздражения 116 Побочные раздражители 99 Поглощение света в глазных средах 47 Подравнивание цветов 206 Порог зрительного ощущения 137 Последовательный контраст 247 Последовательные образы 242 Пресбиопия 62 Продолжительность раздражения 113 Протанопы 200 Протаномалы 206 Профессиональные болезни зрения 330 Проекция поля зрения на кору мозга 18 Пуркинье изображения 56 Пуркинье явление 91 Пурпур зрительный 70 — — получение раствора 70 — — выцветание 71 — — регенерация 72

P

Равномерность освещения 319 Радужная оболочка 9 Различительная чувствительность глаза 143 – и побочные раздражители 157 Различия сверхзаметные 151 Различение ступеней насыщенности 184 Различение цветовых тонов 182 Разностный порог 144 Разрешающая способность оптической системы 267 Распределение энергии в свете различных источников 324 Расстройства цветоощущения 199 Редуцированный глаз 38

Рельеф меняющийся 302
Ретинин 74
Реобаза 115
Ресничное тело 9
Ретиномоторные явления 69
Рефлекс зрачковый 65
Рефлекс условный 135
Рефракция 38
Рикко закон 116
Роговая оболочка 8
Родопсин 70

C

Светлота цвета 87 Светорассеяние 45 Сетчатая оболочка 10 Сезонные изменения цветового зрения 90 Симпатическая нервная система Скорость возникновения зрительного ощущения 234 Скорость зрительного восприятия 309 Слепое пятно 12 Слепота цветовая 199 Слепящая яркость 313 Слуховые раздражения 132 Слияние мельканий 249 Смешанное освещение 328 Смешение цветов 170 — — пространственное 173 — — бинокулярное 181 Снеллена таблицы 281 Собственный свет сетчатки 147 Сосудистая оболочка 8 Спектр 169 Стереоскоп 285 Стереофотометрирование 237 Стрихнин 160 Сумеречное зрение 90 Суммация бинокулярная 118

T

Тальбота закон 261
Теории цветоощущения 208
Тождественного направления закон 291
Токи действия сетчатки 77
— зрительного нерва 80
— мозговой коры 81
Тормозные процессы в зрительном аппарате 95
Третичное положение глаз 54
Треугольник смешения цветов 177
Тританопия 200

y

Узловые точки 23 Удаленности оценка 288 Удлинение палочек 69 Укорочение колбочек 69
Ультрафиолетовых лучей видность 91
— влияние на глаз 330
Уравнение Рэлея 205
Устойчивость ясного видения 335
Утомление зрительное 332

Ф

Флорконтраст 188 Фонтановы пространства 9 Фотон 85

X

Хиазма 17 Хронаксия 115 Хрусталик 14

— тон 87

П

Цвета дополнительные 174
— последовательного контраста 247
— спектра 86
Цветовая адаптация 241
— слепота 199
— методы ее определения 204
Цветовое тело 181
— утомление 241
Цветовой круг 170

Цветоощущения теории 208 Центральная ямка сетчатки 13-Центры нервные эрения 16 Циклопический глаз 291 Циклоскоп 172 Цинновы связки 15

Ч

Червя глаз 6 Чистота цвета 213

Ш

Шейнера опыт 60 Шлеммов канал 9

Э

Электрическая чувствительность глаза 109 Электрические явления в глазе 77 Электротон 227 Эммерта закон 289 Эргограф глазной 339

Я

Яркость 87

## УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

A

Аббе 34 Абельсдорф 70, 71, 75 123 Абрамс Авербах 281 Айвс 125, 180, 210, 250, 260, 263, 312 Айо 259 Акуне 76 Алексанян 251, 258 Аллен 250 Альтенбургер 123 Амент 152 Андерсон 191 Ангеллуччи 76, 204 Антри 115, 137 Арндт 89, 157, 312 Ауберт 119, 129, 131, 145, 184, 187, 220, 278, 280, 281 Ахелис 109 Ахматов 100 Ашкинасс 49 Ашнер 123

Б

Бабский 123 Банистер 308 Барбель 94, 202 Бартли 118, 157, 182, 260 Барышанская 155, 157 Басурманов 236 Баур 333, 334 Бейтель 127 Белл 268, 311 Белостоцкий 134, 140, 287 Бенхэм 240 Беренс 339 Бергмейстер 86 Бест 281 Бецольд 183, 212, 214, 215 Беритов 81 Бирн 59 Бирх-Хиршфельд 100 Биллс 239

Биэтти 123 Блондель 114 Блэнчард 146, 155, 157, 307 Бови 77 Богословский 81, 109, 110, 120, 123, 129, 133, 134, 135, 136, 156, 157, 160, 191, 193, 259, 333 Болтунов 111 Болль 69, 70 Боненбергер 247 Боума 318, 319 Браунштейн 253 Брест 64 Бриквуэдде 184 Бродман 16 Бродхун 145, 146, 150, 152, 307 Брока 153, 238, 270 Бронштей 131, 235 Брока 153, 238, 270 Бронштей 131, 235 Брюллова 166, 258, 259, 318, 334 Брюкке 88, 183, 190, 212, 214, 215 Брюкнер 109, 119, 218, 219 Брьюстер 284, 285 Бугер 143, 144, 145 Бунзен 114 Бюллер 293 Бунзен 154 Бурдон 281, 286, 295, 296 Бэкер 201 Бэр 119 B

Вавилов 90, 91, 137 Валкер 119 Вебер 143, 144, 145, 147, 151, 292 Вейгерт 221, 222 Веймус 64 Вейнберг 311 Вейсс 115 Вербицкий 38, 267 Вернер 253 Верье 93 Вертхейм 269
Вертхеймер 296
Вилькокс 44, 268, 271, 272, 274, 281
Вильяме 73, 89, 91
Вирьма 235, 236
Витачек 302
Вишневский 13, 114, 120, 121, 131, 132, 139, 197
Воган 111
Войнов — 92, 219
Вредэ 79
Вуд 55, 285
Вундт 290, 292
Вюльдинг 281

#### F

Галочкина 44, 45, 128, 134, 198,

Гамильтон 180, 182 Гартен 70, 71 Гартунг 207 Facce 215 Гассовский 112, 334 Гейманс 126 Гейнц 153 Гельмгольц 14, 33, 35, 42, 58, 76, 119, 144 147, 148, 171, 172, 182, 188, 189, 190, 208, 209, 210, 213, 214, 215, 219, 220, 222, 228, 229, 246, 247, 287, 302 Ген 155 Геринг 188, 189, 204, 215, 216, 217, 218, 219, 221, 247, 285, 299 Гесс 58 Гете 247 Гельдард 125 Fext 70, 72, 73, 74, 90, 91, 98, 101, 102, 105, 121, 122, 137, 149, 150, 182, 251, 260, 268, 273, 274 Гилд 180 Гинзбург 319 Гиппель 160 Гобар 64 Головин 281 Гольмгрен 77, 204 Гофман 285 Гото 276 Гранит 77, 78, 79, 117, 125, 215, 251, 253, 258, 259 Грассман 171 Грациоле 17 Грефе 285 Грийнс 114 Грифин 13 Грушенкая 114 Грехэм 48, 154 Грюнберг 174 Грудив 74, 85, 91 Гульстранд 27, 28, 29, 31, 32, 34, 35, 38, 46, 47, 175, 266

Гурвич 81 Гурвич А. 82

Д

Дальтон 200, 203 Дартнолл 74 Дашевский 100 Дауголл 126, 243 Декарт 56 Де-Сельва 182 Диммер 47 Дионесов 95, 96, 134 Дитер 201, 218 Джерард 81, 132 Джонс 182, 183, 184, 316 Джэдд 230 Дитерции 178, 179, 180, 183, 219 Добровольский 182 Добрякова 95, 96, 119, 134, 136, 191, 196, 197, 222, 255 Долин 135 Донат 184 Дондерс 38, 52, 64, 62 Дрезер 160 Дресле 90, 312 Дрю 154 Дюан 62 Дю-Бау Реймон 77 Дюруп 81 Дюайон 59 Дю-Нуи 137 Дьюар 77

E

Естерберг 12, 93, 96, 112

Ж

Жаваль 33 Жанделиз 76 Жорес 77

3

Загорулько 95, 96, 134 Зайдеманн 85 Зарецкая 225, 226, 228 Зидентопф 271 Золина 245, 246, 247, 219, 334 Зульцер 238, 239

И

Иваницкая 187 Ильина 134 Ишихара 204

K

Ковторина 123 Калашникова 311

Кац 334, 339 Калитин 320 Калькутина 13 Карбовский 173 Карвоский 127 Карн 124, 134 Каульбах 203 Кван-Тэнг 328 Кекчеев 123, 133, 134, 135 Келер 126 Кениг 47, 70, 145, 146, 150, 152 178, 179, 180, 182, 183, 210, 214, 219, 274, 307, 308 Кеттрен 70, 73 Кизов 292 Кимура 334 Киршман 126, 186, 201, 218 Кларк 314, 316 Клаэс 81, 82 Кленова 271, 272, 273 Кнолль 138 Кобб 154, 157, 267, 308, 309, 316, 335 Коган 59 Коллен 76, 77 Кольбрауш 77, 79, 80, 101, 105, 180 Компанейский 183 Корнелиус 203 Крават 335 Кравков 44, 48, 74, 94, 121, 122, 129, 131, 132, 133, 139, 147, 148, 155, 157, 158, 160, 162, 163, 165, 166, 191, 192, 193, 195, 198, 202, 203, 218, 222, 223, 224, 227, 241 244, 246, 251, 253, 254, 255, 258, 259, 274,275, 276, 281 Крайк 155, 156, 157, 270 Краузе 74 Крауфорд 112 Крид 125, 251 Крис 92, 94, 106, 107, 137, 171, 200, 218, 219, 220, 262 Кролль 123 Кюне 69, 70, 71, 72, 76, 109 Куватов 123 Кувре 67, 334 Кункель 239 Кунт 190 Кэмп 154 Л

Лагранж 94
Лазарев 98, 100, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 111, 115, 119, 120, 123, 132 134, 148, 149, 151, 153, 154, 209, 210, 217, 241, 243, 244, 245, 259, 260, 262, 273, 332
Ламберт 171
Ландольт 271, 281, 335
Ланглэндс 286
Лапик 115

Лапинская 311 Лауренс 55, 68, 182, 285 Лаурей 153, 154, 183, 184, 307 Леб 302 Лебединский 95, 96, 134, 235 Лебук 215 Лекиш 269, 309, 311, 312, 317, 319, 334, 335, 339 Леле 116 Леман 123, 151, 152, 302 Лемпицка 173 Летавет 316 Ливанов 81 Лившиц 182, 251, 258 Линке 296, 297 Липпай 153, 154 Липс 302 Листинг 35, 38, 54 Литго 70, 71, 72, 91, 118, 252 Литинский 281 Ломан 106, 253 Людвиг 49 Лэдд-Френклин 220

M

Майер 188 Макаров 116, 132, 133 Мак-Карти 49 Мак-Кендрик 77 Максвелл 171, 172, 176, 177, 179 Мальцева 140 Марбе 296 Маркштейн 253, 333, 339 Мартин 184 Мартинэ 225 Маршалл 81, 132 Массон 144 Махлин 140 Меркель 152 Меркулов 76, 109 Мешков 124, 125, 158, 166, 258, 259, 277, 315, 317, 318, 334 Мийаке 122 Миллер 134 Минц 151, 268 Мкртычева 197, 198, 253, 311, 339 Монье 319 Mopa 59 Морган 184 Mocc 154, 319, 334, 335, 339 Музылев 95, 96, 271, 273, 276, 277 Мунстерхьельм 79 Мутон 319 Мюллер Г. 11 Мюллер Георг 70, 94, 109, 220, Мюллер-Лайер 153, 300 Мэтьюс 80

Нагель 100, 106, 129, 131, 205, 206
Нейглик 151, 152
Накомура 122
Накашима 221
Нейштадт 311, 316, 333
Нельсон 113
Неттинг 100, 313, 314
Никифорова 130, 131
Никольская 112
Новаковский 316
Ноульс-Миддльтон 155
Нуайон 114
Ньюхолл 335
Ньютон 24, 169, 170

0

Огуши 76 Окита 76 Орбели 94, 96, 134, 218 Оссан 189

П

Павлов 135
Парино 92, 219
Пинегин 67, 68, 85, 91, 276
Пипер 77, 78, 116, 118, 119, 124, 182, 261
Пирс 339
Питт 183
Планк 85
Плато 151, 244, 246, 247, 261, 295
Погендорф 299
Полак 42
Портер 250, 251
Престон 90
Претори 126
Прист 184
Пуркинье 56, 57, 91, 92, 139, 146, 243
Пульфрих 236, 237
Пюттер 98, 103, 243
Пьерон 115, 239, 240, 251

P

Рабкин 204, 207 Райт 113, 155, 157, 180, 183 Рачевский 75 Ревеш 118 Рей 114 Рессель 137 Реш 125, 251 Риггс 127 Ридел 79 Ривс 66, 69, 137 Риз 268, 281 Рикко 116 Робинзон 123 Роденвальд 76 Розенберг 94 Розенблюм 131 Розенштиль 248 Роско 114, 154 Ротхан 123 Роша 182 Рубин 235 Рубино 123 Рубинштейн 253 Рубинштейн 253 Рунге 153 Рэлей 205, 206 Рэнд 111, 187, 190, 218, 280, 282, 308, 310, 311, 314, 328, 335, 336, 337

C

Сакс 77, 261 Самойлов 207 Самсонова 197, 198, 308, 334 Саул 81, 132 Светихин 215 Свит 316 Севрюгина 117, 124, 136, 279, 280 Семеновская 74, 121, 122, 128, 129, 131, 132, 310, 312, 336, 337 Сенебье 113 Сеченов 76 Сидуэлл 74 Сивцев 281 Сименс 146 Синьяк 173 Скулов 123 Скардационе 77 Смирнов 153 Снелл 253, 339 Снеллен 281 Снякин 13 Соколов 137 Спенсер 126 Стайльс 112, 113, 146, 157, 158, 315, 317 Стивен 122 Строжецкая 165

T

Тальбот 249, 261, 262 Тамура 276 Таннер 191 Теплов 117, 126, 127, 134, 173, 278, 281 Терескели 259 Титчнер 152, 295 Тренделенбург 70, 71, 73, 182 Трильч 107 Труханов 338 Турцаев 134 Тэнсли 70, 72 74, 93, 121 Тэрмен 253,

У

Утгофф 182, 308 Урбанчич 133, 191 Уивер 180 Уинслоу 323 Уитстон 284, 285, 289 Уолд 70, 71, 74, 75, 76, 96, 122,

Ф

Федоров 89, 149, 180, 211, 212, 215, 222, 251, 253, 260, 315 Федорова 89, 114, 155, 157, 211, 212, 214, 215, 222, 251, 315 Ферстер 278 Фессар 81 Фесте 242 Фехнер 119, 143, 145, 151, 190, 292 Филлипс 118, 253 Фик 117, 124, 220, 269 Финхэм 58 Фишер 81 Фогт 47, 330 Фолькман 44, 52, 145, 147, 292 Фрадкин 316 Фрай 118, 157 Фребес 152 Фрелих 78, 234, 235 Фримэнн 180, 278 Фэрри 111, 187, 190, 218, 250, 280, 282, 308, 310, 311, 314, 328, 335, 336, 337, 338

X

Харпер 251 Хартридж 49 Харид 339 Хартлайн 77, 80 Хашек 108, 262 Хацельгофф 235, 236 Хау 339 Хаустон 146, 150, 272, 274 Хауорд 286 Хеншен 94 Хесс 126 Хидано 19 Хидано 19 Ходин 75, 182, 292 Холлэдей 158, 314, 315, 317 Хосайя 76 Холина 333, 338 Холмская 312, 316, 339 Хольмс 18 Хохштедт 154 Хэмпсон 77

Ц

Цветков 123, 124 Цеви 79 Цондек 227 Цот 285 Цырлин 114, 120, 121, 197

4

Ченцов 124 Чермак 119, 220, 247 Чернинг 35, 58 Чупраков 157 Чэз 70, 71, 75, 76

m

Шаад 119 Шатерников 73 Шварц 190, 191, 197, 198 Шеварев 126 Шейнер 60 Шенвальд 116 Шенк 220 Шеррингтон 189 Шефи 77 Шибре 204 Ширд 42 Шлягинтвейт 160 Шмидт-Римплер 124 Шнейдер 91 Шобер 107 Шпильберг 77, 80, 81 Шредер 67, 146 Шредингер 181, 219 Штейнгардт 146, 152, 157 Штейндлер 182 Штиллинг 204 Штудниц 75, 96 Шубова 333, 336 Шульце 92 Шуман 190, 200, 201, 218, 220, Шумахер 118 Шур 289 Шьельдерупп 186, 221 Шьетц 33

3

Эббингхауз 151, 152, 292 Эбней 180, 186 Эдриан 80 Эйнтховен 77, 302 Эйстер 137 Экснер 213, 237, 238 Эллиот 269 Эммерт 289 Энрот 253 Энгельгарт 76 Эйгелькинг 207

Юнг 208, 209, 213, 214, 215, 219, 220, 222, 228, 229 Юнге 155

Я

Яинский 89 Якобсон 278 Яковлев 191, 193, 194 Яковлева 173, 207, 223 Ямамото 74

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к первому изданию	3
Предисловие ко второму изданию	4
Предисловие к третьему изданию	4
Глава І. Строение глаза	5
§ 1. Эволюция органа зрения. Эмбриология человеческого глаза.	5
§ 2. Строение глазного яблока	7
§ 3. Зрительные нервы. Зрительные центры ;	15
§ 4. Диоптрика. Построение изображений на сетчатке	19
§ 5. Определение оптических характеристик глазных сред	32
§ 6. Схематический глаз	34
§ 7. Редуцированный глаз	36
§ 8. Оптические несовершенства глаза. Аберрация. Дифракция. Иррадиация. Аметропия: близорукость, дальнозоркость.	
Астигматизм	40
§ 9. Поглощение света в глазных средах	47
Библиографические указания	50
Глава II. Движение глаза. Изменения в глазе при воздействии на него света	52
1. Мышцы глазного яблока. Общие закономерности движений глаза. Конвергенция	52
§ 2. Аккомодация. Ее механизм. Измерение аккомодации	56
§ 3. Аккомодация и конвергенция. Мышечный баланс глаз	62
§ 4. Зрачковый рефлекс. Связь величины зрачка с яркостью раздражения. Зрачковый рефлекс и аккомодация	65
§ 5. Прочие объективные реакции глаза на световые раздражения. Ретиномоторные явления. Выцветание и регенерация зрительно- го пурпура. Фотохимические изменения в колбочках. Флюорес- ценция. Гуморальные реакции. Электрические изменения в ор-	
гане зрения. Митогенетическое излучение	69
Библиографические указания	82
Глава III. Основы свето- и цветоощущения	85
§ 1. Физические основы ощущения света и цвета	85
§ 2. Основные характеристики всякого цвета	87
§ 3. Чувствительность глаза к разным лучам спектра	88
3 or all portations of the control o	1

	§ 4. Двойственность нашего зрительного аппарата	91 97
	Библиографические указания	
ла	ва IV. Световая чувствительность	98.
	§ 1. Чувствительность глаза и факторы, ее определяющие	98
	§ 2. Темновая адаптация	100
	§ 3. Световая адаптация	105
	§ 4. Электрическая чувствительность глаза	109
	§ 5. Влияние различных характеристик прямого раздражения. Роль	
	длины волны. Влияние места раздражения на сетчатке. Вдияние места падения света на зрачок. Влияние длительности раз-	+1.
	дражения. Влияние площади раздражения	111
	§ 6. Влияние общих физиологических условий. Возраст. Влияние	
	пониженного барометрического давления. Влияние условий	
	питания. Влияние вегетативной нервной системы, времени дня и пр	119
	§ 7. Влияние гомогенных побочных раздражителей. Положительная	
	и отрицательная индукция. Инверсия действия побочного раз-	
	дражения. Влияние световых раздражений другого глаза. Последействие гомогенных побочных раздражителей	124
	§ 8. Влияние гетерогенных побочных раздражителей. Действие слу-	127
	ховых раздражений. Влияние обонятельных, температурных,	
	вкусовых, проприоцептивных, энтероцептивных и др. раздражи-	100
	телей	132
	§ 9. Условно-рефлекторные изменения световой чувствительности § 10. Пороги световой чувствительности глаза	135 137
	§ 11. Расстройство светоощущения. Гемералопия	138
	Библиографические указания	140
Гла	ва V. Различительная (фотометрическая) чувствительность глаза.	. 143
	§ 1. Закон Вебера-Фехнера; его опытная проверка; толкование экспе-	
	риментальных данных	143
	§ 2. Оценка сверхпороговых различий	151
	§ 3. Свойства прямого раздражителя в их влиянии на различительную чувствительность глаза	152
	§ 4. Роль места раздражения. Влияние адаптации	155
	§ 5. Зависимость различительной чувствительности от гомогенных	
	побочных раздражителей. Фон. Другие световые раздражители	
	в поле зрения. Освещение другого глаза. Различительная	157
	чувствительность глаза и слуховые раздражения	
	§ 6. Влияние стрихнина на различительную чувствительность глаза.	160
	§ 7. О некоторых закономерностях действия побочных раздражи- телей на различительную чувствительность глаза при централь-	k de
	ном зрении. Эффект побочного раздражителя как функция интен-	
	сивности раздражителя прямого	161
	Библиографические указания	167
¬ла	ва VI. Цветное зрение	169
	§ 1. Спектры отражения. Цветовой круг Ньютона. Законы оптиче-	
	ского смешения цветов. Приборы для оптического смешения	
	цветов. Дополнительные цвета	169
	§ 2. Получение всех цветовых тонов из смешения трех цветов. Кривые сложения основных раздражителей	175
	§ 3. Бинокулярное смешение цветов	181
		353

§ 4. Различение цветов по цветовому тону и по насыщенности	182
§ 5. Действие гомогенных побочных раздражителей на цветное эрение. Явления контраста. Явления одноименной индукции. Сенсибили- зация цветного эрения	185
§ 6. Зависимость цветного зрения от гетерогенных побочных раздражителей — слуховых, обонятельных, вкусовых и температурных. Цветное зрение в условиях гипоксемии и гипервентиляции. Влияние кофеина. Электротонические влияния на цветное	191
зрение \$ 7. Аномалии цветного зрения. Методы установления аномалий цветного зрения	199
§ 8. Теории дветоощущения	208
§ 9. О взаимоотношении цветоощущающих аппаратов глаза. Цветное зрение и вегетативная нервная система	222
§ 10. Основы измерения цветов (колориметрия)	228
Глава VII. Развитие зрительных ощущений во времени. Последовательные образы. Слияние мельканий	234
§ 1. Скорость возникновения зрительного ощущения и его развитие во времени. Цветовая адаптация	234
§ 2. Последействие светового раздражения. Последовательные образы. Последовательный контраст	242
§ 3. Слияние мельканий. Закон Тальбота. Метод мельканий в фотометрии	249
Библиографические указания	263
Глава VIII. Восприятие пространства	265
§ 1. Острота зрения, определяющие ее факторы	265
скопия. Порог глубины	282 288
§ 4. Оценка величины видимых предметов. Явления микропсии и макропсии	289
§ 5. Восприятие направления. Глазомер	291
Кино. Теории зрительного восприятия движений	293 297
§ 7. Зрительные иллюзии	303
Глава IX. Гигиена освещения. Утомление глаза	305
§ 1. Понятие хорошего освещения. Общая оценка разных видов и спо- собов освещения	305
§ 2. Зависимость функций зрения от условий освещения по данным экспериментальных исследований. Вопрос о блескости	307
§ 3. Существующие нормы освещения. Правила для избежания сле- пящего действия блескости	319
§ 4. Условия естественного освещения. Коэфициент дневного освещения. Условия искусственного освещения. Характеристика арматур. Смешанное освещение	320
§ 5. Повреждения глаз, вызываемые условиями освещения. Близорукость. Скотомы. Действие ультрафиолетовых и инфракрасных	
пучей	328

§ 6. Гигиеническое обоснование норм освещения. Виды зрительного утомления	331
§ 7. Методы измерения зрительного утомления и полученные по- средством их данные. Метод визибилитиметра	333
Предметный указатель	342
Указатель имен	346



Подписано в печать 31/V 1945 г. Печ. л. 22<sup>1</sup>/<sub>4</sub>. Уч.-изд. л. 29,42. Формат 60×92<sup>1</sup>/<sub>14</sub>. Тираж 3000 экз. НС 17355. Цена 36 р. 50 к.

5-я типография треста «Полиграфкнига» Огиза при СНК РСФСР. Свердловск, ул. Ленина, 47. Зак. 994.

