

С. О. МАЙЗЕЛЬ

## ЧАСТОТА ИМПУЛЬСОВ В ВОЛОКНАХ ЗРИТЕЛЬНОГО НЕРВА ЧЕЛОВЕКА

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 5 IV 1949)

1. Как известно, передача зрительных ощущений от сетчатки глаза по волокнам зрительного нерва к коре головного мозга происходит при помощи более или менее ритмических электрических импульсов. Эти импульсы были впервые обнаружены Гартлайном<sup>(1)</sup> на свежепрепарированном глазу *Limulus*, а в дальнейшем Гранитом<sup>(2)</sup> на живых глазах разнообразных животных. При этом было установлено наличие функциональной связи между яркостью видимой глазом поверхности (или освещенностью на сетчатке) и частотой импульсов, возрастающей с увеличением яркости.

В своих опытах Гранит вводил микрозонд в живой глаз, через зрачок после удаления роговицы и хрусталика, до касания с одним из волокон зрительного нерва. Запись импульсов, после соответственного усиления, производилась при помощи осциллографа.

Очевидно, что такой метод исследования реакции сетчатки на облучение видимым светом никоим образом не применим к человеческому глазу. Между тем представляет большой интерес, для возможности исследования зрительного процесса в человеческом глазу, установление связи между внешней яркостью и частотой импульсов в волокнах зрительного нерва.

Если исходить из того, что основной процесс в светочувствительных клетках сетчатки состоит в диссоциации молекул находящихся в них фотореагентов (родопсина или иодопсина) при поглощении проникающих внутрь клеток фотонов<sup>(3)</sup>, то можно рассчитать, что средняя частота возникающих от яркости  $B$  импульсов пропорциональна произведению  $BN$ , где  $N$  — число наличных в каждой клетке молекул фотореагента при полной адаптации на яркость  $B$ , т. е.

$$\nu = cBN.$$

Если на видимой поверхности появится на очень короткое время  $\tau$  площадка с добавочной яркостью  $B'$ , то в зависимости от того, какова величина добавочной яркости, на этой площадке может быть либо обнаружена либо не обнаружена слабая вспышка света. Основываясь на опытах Гартлайна, можно считать, что порог появления вспышки определяется тем, хватит ли возникающих за промежуток времени  $\tau$  диссоциаций фотореагента на образование одного дополнительного импульса. Или пороговое значение  $B'$  будет именно таково, что, при данном состоянии адаптации, т. е. при данной концентрации  $N$  фото-

реагента, за время  $\tau$  накопится достаточное для возникновения одного импульса количество диссоциированных молекул фотореагента. Следовательно, можно написать:

$$\Delta \nu = 1 = cB'N\tau.$$

Исключая из выражений для  $\nu$  и  $\Delta \nu$  концентрацию  $N$ , легко получить:

$$\nu = \frac{1}{\tau} \frac{B}{B'}.$$

Таким образом, оказывается возможным, зная яркость адаптационного поля  $B$  и пороговую яркость  $B'$  вспышки при продолжительности

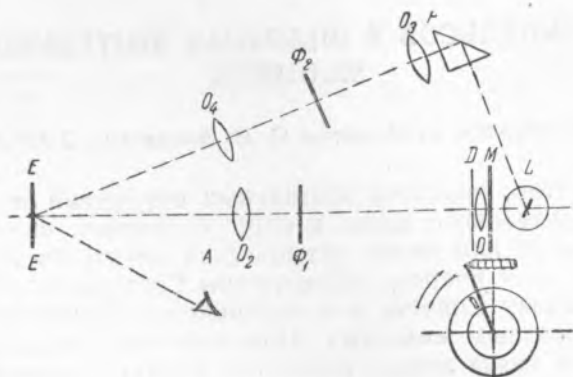


Рис. 1

ее  $\tau$ , найти частоту импульсов  $\nu$ , соответствующую яркости  $B$  при адаптации к ней.

2. Экспериментальное исследование зависимости  $\nu$  от  $B$  было проведено на установке, схема которой дана на рис. 1. Лампа накаливания мощностью 300 вт с цветовой температурой  $T_c = 2800^\circ$  посылает световой поток на две оптические системы  $OO_2$  и  $O_3O_4$ , причем на вторую — при помощи призмы  $P$  полного внутреннего отражения. Объектив  $O_4$  дает на экране  $E$  слегка эллиптическое пятно, видимое испытуемым глазом под углом около  $4^\circ$ . Объектив  $O_2$  создает в центре светового пятна изображение диафрагмы  $D$ , вырезающей из поверхности конденсора  $O$  очень малый участок. Добавочное световое пятнышко видно глазу под углом около  $10'$ , т. е. покрывает на сетчатке примерно 300 колбочек.

Нормально отверстие диафрагмы  $D$  закрыто ободом кольцевого маятника  $M$ . Маятник снабжен железным конусом, удерживаемым в поднятом положении при помощи электромагнита. При выключении тока из обмотки электромагнита маятник совершает одно колебание, в конце которого снова включается ток в обмотку электромагнита, и железный конус закрепляется в верхнем положении с другой стороны. В обод маятника имеется отверстие, которое открывает проходящий через  $D$  пучок света на  $\tau = 0,0025$  сек. и этим создает на экране  $E$  вспышку добавочной яркости  $B'$ . Менять яркость  $B'$  можно при помощи нейтральных светофильтров и клина из нейтрального стекла. Точно так же при помощи нейтральных светофильтров может быть установлена яркость поля адаптации в пределах от 10 до  $10^4$  асб.

\* Уравнение для  $\nu$  — только приближенное. Более точное рассмотрение условий расчета  $\nu$  будет дано в другом месте

Пересечение тонкого креста на экране  $E$  в центре адаптационного поля создает фиксационную точку, рядом с которой между двумя перекрещивающимися прямыми появляется вспышка. Глаз наблюдателя закрепляется в достаточно неподвижном положении при помощи регулируемого подбородника и налобника.

3. При помощи схематически описанной установки были определены средние частоты импульсов при различных уровнях адаптации  $B$  для ряда лиц. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

| $B$ , асб. | $(B'/B)_1$ | $(B'/B)_2$ | $(B'/B)_3$ | $\nu_1$ | $\nu_2$ | $\nu_3$ |
|------------|------------|------------|------------|---------|---------|---------|
| 10         | 18,9       | 19,6       | 11,5       | 21      | 20      | 35      |
| 40         | 8,1        | 9,6        | 7,8        | 49      | 42      | 51      |
| 60         | 8,0        | 7,5        | 6,1        | 50      | 57      | 65      |
| 100        | 7,3        | 6,4        | 5,6        | 55      | 61      | 72      |
| 400        | 4,0        | 5,4        | 5,3        | 100     | 74,5    | 75,5    |
| 600        | 3,35       | 5,3        | 5,2        | 120     | 75      | 77      |
| 1000       | 3,25       | 5,2        | 5,0        | 123     | 76,5    | 80,5    |
| 4000       | 5,42       | —          | 3,0(?)     | 165     | —       | 133(?)  |
| 6000       | 2,16       | 4,2        | 3,0        | 185     | 100     | 133     |
| 10000      | 1,88       | 3,4        | —          | 210     | 168     | —       |

В табл. 1 значками 1, 2, 3 обозначены различные наблюдатели, подвергшиеся испытанию. На приведенные в ней данные следует смотреть как на предварительные. Для установления более надежных данных необходимо накопить значительно более обширный материал, пригодный для статистической обработки. Однако и имеющиеся результаты позволяют сделать некоторые общие выводы.

У всех подопытных частота  $\nu$  растет с увеличением  $B$  и притом несравненно медленнее, чем скорость возрастания  $B$ . Так, у первого наблюдателя  $\nu$  увеличивается всего в 10 раз при возрастании  $B$  в 1000 раз; у второго — в 8,5 раз при таком же увеличении  $B$ ; у третьего — несколько менее, чем в 4 раза, при росте  $B$  в 600 раз. Частоты  $\nu$  при одинаковых яркостях значительно различаются у разных наблюдателей.

Причины медленности увеличения  $\nu$  при возрастании  $B$  лежат, видимо, главным образом в значительном уменьшении концентрации фотореагента в колбочках соответственно возрастанию среднего числа действующих фотонов, падающих в секунду на каждую колбочку, а также в постепенном сокращении площади отверстия зрачка глаза.

Из данных о  $\nu$  и  $\sigma$  (площадь отверстия зрачка) можно рассчитать изменение концентрации фотореагента, если принять концентрацию, например, при яркости 10 асб за единицу. Точно так же можно рассчитать абсолютную величину поглощения света в колбочках при разных яркостях. Однако эти расчеты правильнее отложить до получения более достоверных средних величин  $\nu$  для одного или нескольких лиц.

Все измерения в работе проводила Р. Л. Фольб.

Всесоюзный электротехнический институт  
им. В. И. Ленина

Поступило  
21 III 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Hartline, JOSA, 29, 383 (1940). <sup>2</sup> R. Granit, JOSA, 31, 570 (1941).  
<sup>3</sup> С. О. Майзель, Сборник материалов Всесоюзной научно-технической сессии по светотехнике, Госэнергоиздат, 1948.