

О взаимномъ вліяніи органовъ зрѣнія и слуха.

П. П. Лазарева.

(Доложено въ засѣданіи Отдѣленія Физико-Математическихъ Наукъ 21(8) мая 1918 г.).

Въ предварительныхъ сообщеніяхъ, опубликованныхъ въ 1905 году¹, мной было показано, что всякій разъ, когда при раздраженіи органа слуха звукомъ, одновременно раздражается органъ зрѣнія, воспринимаемый звукъ кажется наблюдателю болѣе сильнымъ. Такимъ образомъ, если постоянный звукъ выслушивается при мелькающемъ свѣтѣ, мы получаемъ впечатлѣніе біеній настолько рѣзкихъ, что подобное явленіе можно было демонстрировать въ аудиторіи.

Такія явленія наступаютъ при сильныхъ звукахъ. При ослабленіи звука до извѣстнаго предѣла вліяніе свѣтовыхъ ощущеній на слуховыя исчезаетъ и при дальнѣйшемъ ослабленіи звука вліяніе извращается, то есть звукъ при свѣтѣ представляется болѣе слабымъ².

Въ настоящемъ сообщеніи излагаются измѣрительные опыты, произведенные для установленія вліянія при большой силѣ звука, подробно развиты законы этихъ вліяній и даны объясненія явленія вліянія, основанныя на представленіяхъ іонной теоріи возбужденія.

¹ П. Лазаревъ. Труды клиники болѣзней уха, горла и носа при Московскомъ Университетѣ.

Р. Lazareff. Le physiologiste russe, vol. IV, p. 1—1905.

² Съ точки зрѣнія взаимнаго вліянія органовъ зрѣнія и слуха въ той формѣ, какъ она изложена выше, становятся понятными указанія авторовъ на увеличеніе точности установокъ въ мостѣ Уитстона съ телефономъ при затемнѣніи помѣщенія служащаго для опытовъ. (Ср. Nebel. Über die Verwendung des Mikrophons bei elektrischen Widerstandsmessungen. Exner's Repert. der Physik. 24—1888).

Методъ и расположеніе опытовъ.

Для того, чтобы составить представление о величинѣ вліянія органа зрѣнія на органъ слуха необходимо было опытъ расположить такъ, чтобы усиленіе слуховыхъ ощущеній, создаваемое одновременными зрительными впечатлѣніями, компенсировалось бы ослабленіемъ въ періоды освѣщенія силы звука, доводимого до уха. При этомъ два звука одной высоты, воспринимаемые въ темнотѣ и на свѣту, должны быть такъ подобраны по силѣ, чтобы смѣна болѣе сильнаго звука въ темнотѣ болѣе слабымъ при освѣщеніи не давала бы ощущенія измѣненія силы звука. Чѣмъ сила вліянія больше, тѣмъ значительнѣе по силѣ должны различаться два звука, дающіе на свѣту и въ темнотѣ одинаковое ощущеніе.

Расположеніе опытовъ было таково :

Глазъ помѣщался или передъ большимъ экраномъ, равномерно освѣщеннымъ электрическими лампочками, причемъ токъ, ихъ питающій, могъ быть безшумно замкнутъ и разомкнутъ, или же глазъ помѣщался у окуляра трубы съ большимъ полемъ зрѣнія, освѣщаемымъ Ауэровской горѣлкой.

Звукъ получался отъ телефона, пластинка котораго давала синусоидальныя колебанія и который или плотно приставлялся къ уху (при относительныхъ опытахъ съ цѣпями и т. д.), или помѣщался на нѣкоторомъ разстояніи отъ уха. Въ первомъ случаѣ относительное измѣненіе амплитуды колебаній пластинки телефона вычислялось изъ постоянныхъ цѣпи, служившей для питанія телефона, во второмъ случаѣ къ телефонной пластинкѣ прикрѣплялось на рычагѣ зеркальце, которое во время звучанія давало колебанія и ихъ величина находилась при помощи наблюденія размытія волоска электрической лампы, наблюдаемого въ трубу съ окулярной шкалой. Зная смѣщеніе волоска при одномъ опредѣленномъ прогибѣ пластинки, легко было найти и амплитуды колебанія во всѣхъ случаяхъ.

Источникомъ токовъ для телефона являлась сирена Вина, связанная съ телефономъ въ одну цѣпь такъ, какъ это дѣлалъ Винъ при опредѣленіи абсолютной чувствительности уха¹. Въ цѣпи подборомъ емкости и самоиндукціи устанавливался резонансъ и тогда, мѣняя сопротивленіе цѣпи, можно было измѣримымъ образомъ измѣнять силу тока, а слѣдовательно и амплитуду колебаній пластинки телефона. Для быстрого введенія опредѣленнаго сопротивленія имѣлись 2 вѣтви, которыя содержали различныя сопроти-

¹ M. Wien. Pfünger's Archiv. 97. p. 1—1903.

Также M. Wien. Über die Messung der Tonstärke. Dissert. Berlin 1888, и Wiedem. Ann. 36. p. 384—1889.

влянія и которыя можно было поочередно ключемъ вводить въ цѣпь колебаній, при этомъ включеніе одной вѣтви (съ меньшимъ сопротивленіемъ) сопровождалось одновременнымъ затемнѣніемъ поля, включеніе другой (съ большимъ сопротивленіемъ) освѣщеніемъ его. Послѣ нѣсколькихъ измѣненій большого сопротивленія легко можно было достигъ неизмѣнности слухового ощущенія въ темнотѣ и при свѣтѣ. Для полученія очень сильныхъ звуковъ, при абсолютныхъ измѣреніяхъ силы, переменный токъ черезъ реостатъ прямо пускался въ телефонъ и по колебаніямъ зеркала опредѣлялась амплитуда колебаній. Всѣ опыты были сдѣланы со звуками, имѣвшими число колебаній отъ 200 до 2000.

Результаты.

Какъ показали опыты величина взаимнаго вліянія остается достаточно постоянной въ теченіе значительнаго промежутка времени (изслѣдованіе велось около полугода). Въ первой таблицѣ даны тѣ добавочныя сопротивленія R въ омахъ, которыя нужно было ввести въ цѣпь колебаній, чтобы парализовать вліяніе освѣщенія. Приведенныя въ трехъ рядахъ наблюденій цифры относятся къ опытамъ, раздѣленнымъ промежутками въ нѣсколько недѣль.

Таблица I.

Р я д ы н а б л ю д е н і и		
№ 1.	№ 2.	№ 3.
R	R	R
100	90	105
110	105	105
140	110	115
Среднее 117	140	120
	115	Среднее 111
	130	
	135	
	Среднее 104	

Какъ видно изъ приведенной таблицы величина введеннаго сопротивленія остается въ предѣлахъ погрѣшности наблюденій постоянной и слѣдовательно постояннымъ остается и вліяніе зрѣнія на слухъ. Величина

вліянія зависить отъ силы свѣта и величины освѣщеннаго поля, увеличиваясь съ этими послѣдними, а также зависить и отъ измѣненія цвѣтности луча. Это послѣднее вліяніе не прямое и стоитъ въ связи съ субъективной яркостью цвѣтного луча. Мы приведемъ величины сопротивленій R , которыя нужно ввести въ цѣпь для того, чтобы парализовать вліяніе освѣщенія бѣлымъ (R_w), краснымъ (R_r) и синимъ (R_b) свѣтомъ, полученными пропусканіемъ бѣлаго свѣта черезъ свѣтофильтры. Какъ понятно бѣлый свѣтъ являлся субъективно самымъ яркимъ, за нимъ далѣе слѣдовалъ красный и наконецъ синій.

Въ таблицѣ II даны R_w , R_r и R_b для опытовъ, произведенныхъ въ одинъ и тотъ же день.

Таблица II.

Цвѣтъ	бѣлый	красный	синій
сопротивл.	R_w	R_r	R_b
	105	60	30
	105	65	23
	110	55	33
	105	57	35
	116	58	27
Среднее R	108	59	29

Измѣняя яркости лучей и дѣлая, напр., красный свѣтъ субъективно ярче бѣлаго можно получить отъ краснаго большее вліяніе, чѣмъ отъ бѣлаго. Наконецъ при равенствѣ субъективной яркости и вліяніе на слухъ оказывается весьма близкимъ къ равенству. Вліяніе не измѣняется въ своей силѣ при освѣщеніи праваго, или лѣваго глаза попеременно, если звукъ доводится до одного опредѣленнаго уха, напр., праваго.

Измѣненіе возбужденія слухового аппарата благодаря возбужденію органовъ зрѣнія происходитъ какъ при однократномъ раздраженіи этихъ послѣднихъ, такъ и повторномъ измѣненіи яркости свѣта падающаго въ глазъ, причемъ съ увеличеніемъ частоты затемнѣній и освѣщеній глаза вліяніе уменьшается и при четырехъ мельканіяхъ свѣта въ секунду вліяніе исчезаетъ.

Абсолютная величина вліянія при звукахъ средней силы такова, что требуется измѣненіе амплитуды колебаній на 0,3, чтобы парализовать вліяніе дѣйствія свѣта.

Законъ Вебера-Фехнера въ приложеніи къ взаимному вліянію органовъ зрѣнія и слуха.

Изъ изложеннаго выше ясно, что слуховое ощущеніе, воспринимаемое нами при одновременномъ раздраженіи уха звукомъ силы U и глаза свѣтомъ J , является функціей величинъ U и J , такъ что

$$E = \varphi(U, J), \quad (I)$$

гдѣ E величина слухового ощущенія.

Прирость ощущенія ΔE можетъ быть написанъ въ слѣдующей формѣ

$$\Delta E = \frac{\partial \varphi}{\partial U} \cdot \Delta U + \frac{\partial \varphi}{\partial J} \cdot \Delta J, \quad (II)$$

если пренебрегать высшими степенями ΔU и ΔJ .

Пусть въ нашемъ предполагаемомъ опытѣ звукъ сохраняетъ свою силу, такъ что $\Delta U = 0$, мы имѣемъ тогда случай вліянія органа зрѣнія на органъ слуха и можемъ простыми разсужденіями и элементарными опытами опредѣлить видъ функцій $\frac{\partial \varphi}{\partial U}$ и $\frac{\partial \varphi}{\partial J}$.

При $\Delta U = 0$, мы имѣемъ изъ (II)

$$\Delta E = \frac{\partial \varphi}{\partial J} \Delta J;$$

пусть ΔE соотвѣтствуетъ въ этомъ послѣднемъ случаѣ минимальному приросту ощущенія при измѣненіи силы свѣта на величину ΔJ , если общая величина силы свѣта есть J и сила звука U .

Измѣняя величину силы звука U , во время серіи опытовъ, мы получаемъ при замѣнѣ свѣта яркости J свѣтомъ яркости $J + \Delta J$ едва замѣтное ощущеніе всякій разъ когда ΔJ достигаетъ одной и той же величины, при разныхъ величинахъ U . При этомъ предполагается, что J и ΔJ постоянны и ΔJ для какой нибудь одной величины U даетъ едва замѣтный приростъ слухового ощущенія ΔE .

Изъ этого опыта ясно, что $\frac{\partial \varphi}{\partial J}$ должно быть при значительныхъ си-

лахъ звука U (при которыхъ опыты были сдѣланы) независимо отъ U , такъ что $\frac{\partial \phi}{\partial J} = F(J)$, гдѣ $F(J)$ есть функція отъ J .

Если при постоянной силѣ звука U , подобрать ΔJ , такъ, чтобы приростъ ощущенія ΔE былъ минимальный, то оказывается, что $\frac{\Delta J}{J}$ въ этихъ случаяхъ должно быть постояннымъ, а это значить, что $F(J) = \frac{a}{J}$, гдѣ a постоянная¹.

Выраженіе закона Вебера-Фехнера получаетъ при звукахъ значительной силы видъ

$$\Delta E = \frac{\partial \phi}{\partial U} \Delta U + \frac{a \Delta J}{J};$$

$\frac{\partial \phi}{\partial U}$ можетъ быть функціей отъ U и J .

Опредѣляя едва замѣтное раздраженіе ΔU для звука, вызывающее минимальный приростъ ощущенія, при различныхъ степеняхъ освѣщенія ($\Delta J = 0$), легко можно убѣдиться въ томъ, что $\frac{\partial \phi}{\partial U}$ есть функція независимая отъ J , такъ какъ при измѣненіи J и постоянствѣ $\frac{\Delta U}{U}$ величина ΔE остается постоянной, соответствуя минимальному приросту ощущенія. Называя черезъ b постоянную, мы имѣемъ

$$\Delta E = \frac{b \Delta U}{U} + \frac{a \Delta J}{J}$$

или въ предѣлѣ

$$dE = \frac{b dU}{U} + \frac{a dJ}{J}$$

откуда

$$E = b \lg U + a \lg J + C \quad (\text{III})$$

гдѣ C постоянная.

Это и есть обобщенный законъ Вебера-Фехнера для взаимнаго вліянія органовъ чувствъ. Можно думать, что не только два указанные органа чувствъ могутъ взаимно вліять другъ на друга, но что это есть общій законъ для всѣхъ органовъ чувствъ и въ такомъ случаѣ C должно зависѣть отъ состоянія раздраженія остальныхъ центровъ ощущенія.

¹ Опыты были сдѣланы такъ, что передъ отверстіемъ трубы съ освѣщеннымъ полемъ продвигалась прозрачная поглощающая ширма изъ жидкости, толщину которой легко можно было мѣнять. Подбирая толщину такъ, чтобы ΔJ и ΔE соответствовали порогу и одновременно опредѣляя относительное значеніе J , легко можно было найти предыдущее соотношеніе.

Формула (III) можетъ быть вѣрна при значительныхъ силахъ звука, такъ какъ допуская ея справедливость для звуковъ всѣхъ интенсивностей мы получили бы, что при отсутствіи звукового раздраженія [$U=0$] свѣтъ своимъ измѣненіемъ ΔJ можетъ одинъ создать появленіе звукового ощущенія; этого быть не можетъ и поэтому на самомъ дѣлѣ при широкихъ измѣненіяхъ величины $U \frac{\partial \phi}{\partial J}$ не можетъ оставаться постояннымъ, независимымъ отъ U , а должно сложнo зависѣть отъ U . При этомъ, если сила звука равна нулю $\frac{\partial \phi}{\partial J} = 0$; такъ какъ при слабыхъ силахъ звука U наблюдается ослабленіе слухового ощущенія и при нѣкоторой силѣ звука U^0 вліяніе опять равно нулю, то кривая связи $\frac{\partial \phi}{\partial J}$ и U должна представлять вѣтвь OAB

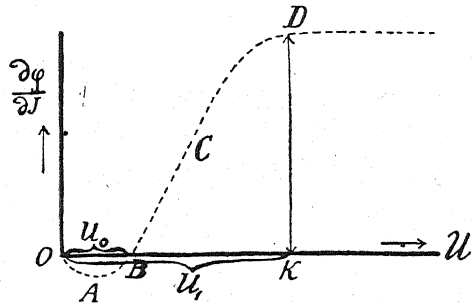


Рис. 1.

(рис. 1) съ отрицательными ординатами. Послѣ точки B съ возрастаніемъ U вліяніе растеть, соотвѣтственно чему увеличивается и $\frac{\partial \phi}{\partial J}$, какъ это представлено вѣтвью BCD . Наконецъ съ точки D (при силѣ звука U , и больше) вліяніе постоянно и $\frac{\partial \phi}{\partial J}$ вездѣ выражается величиною DK .

Теорія явленія.

Явленія вліянія органовъ зрѣнія и слуха при значительныхъ силахъ звука легко объяснить, если въ основу объясненія положить іонную теорію возбужденія¹. По этой теоріи возбужденіе должно получаться каждый разъ, когда концентрація іоновъ, дѣйствующихъ на бѣлки органа удовлетворяетъ опредѣленному соотношенію и при одномъ видѣ возбуждающихъ іоновъ ихъ концентрація C должна достигать опредѣленной рубежной величины A или быть больше ея, такъ что возбужденіе характеризуется условіемъ:

$$C \geq A$$

Если такимъ образомъ органъ изъ состоянія покоя переходитъ въ со-

¹ П. Лазаревъ. Исслѣдованія по іонной теоріи возбужденія (Изд. Моск. Научн. Инстит.). Москва 1916.

P. Lasareff. Recherches sur la théorie ionique de l'excitation. Moscou — 1918.

стояніе возбужденія, то концентрація іоновъ въ немъ увеличивается. Если возбужденіе пробѣгаетъ по нерву и доходитъ до концевыхъ развѣтвленій нервовъ, то измѣненія концентраціи іоновъ, вызванныя въ нихъ возбужденіемъ, переходятъ путемъ диффузіи на сосѣдніе нейроны и распространеніе возбужденія продолжается въ сосѣднемъ нервонѣ такъ же, какъ оно происходило и въ первомъ нервонѣ.

Способъ передачи возбужденія съ одного нейрона на другой, описанный здѣсь, осуществляется очевидно и при передачѣ возбужденія при рефlekсахъ. Всѣ законы рефlekсовъ легко могутъ быть выведены изъ той схемы, которая, по нашему представленію, соответствуетъ передачѣ возбужденія съ нейрона на нервонъ. Прежде всего понятно, что передача можетъ совершаться въ спинномъ мозгу между нейронами, окончанія которыхъ соответствуютъ определенной высотѣ. Концентрація іоновъ должна превосходить извѣстный предѣлъ для того, чтобы сосѣдній нервонъ сталъ доступенъ дѣйствію іоновъ и этотъ рубежный предѣлъ, повидимому, долженъ быть связанъ съ процессами въ оболочкѣ нейрона, вызываемыми іонами, которые дѣлаютъ ее проходимою для солей. Увеличеніе раздраженія чувствительныхъ нервовъ, увеличивая концентрацію іоновъ въ телодендріяхъ, увеличиваетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и диффузионный токъ въ окружающія мѣста, вызывая раздраженіе сосѣднихъ центровъ, и поэтому, если при слабыхъ раздраженіяхъ рефlekсъ строго ограничивается передачей возбужденія съ одного нерва на другой, то при сильныхъ раздраженіяхъ въ возбужденіи принимаетъ участіе цѣлая группа нервовъ и рефlekсъ становится болѣе распространеннымъ. Какъ показываютъ патологическія наблюденія, рядомъ лежащіе нервные волокна не вліяютъ другъ на друга взаимно изъ за существованія міелиновой оболочки и ея уничтоженіе вызываетъ появленіе ряда явленій, объясняющихся передачей съ нейрона на нервонъ. Если поэтому мы хотимъ съ точки зрѣнія іонной теоріи возбужденія объяснить вліяніе одного возбужденнаго нерва на другой, то во первыхъ необходимо ихъ близкое соседство и затѣмъ необходимо отсутствіе міелиновыхъ оболочекъ, какъ это на примѣръ, имѣетъ мѣсто въ центрахъ. Въ этомъ отношеніи для зрительныхъ и слуховыхъ нервовъ мы имѣемъ слѣдующія анатомическія отношенія.

Невриты сѣтчатки попадая въ черепъ и давая частичный перекрестъ въ Chiasma продолжаются до Corpus geniculatum laterale и далѣе до Corpora quadrigemina anteriora. Здѣсь имѣются гангліозныя кѣтки, образующія первичный центръ и дающія начало новымъ нейронамъ, ведущимъ къ затылочнымъ долямъ мозга (синеус и вторая и третья затылочная бо-

розда), гдѣ заложены вторичные зрительные центры, доводящіе до сознанія процессы, возникшіе въ сѣтчаткѣ.

Волокна *Nervi cochlearis*, являющіяся начальными нейронами слухового нерва, начинаются въ *Ganglion spirale cochleae*. Они оканчиваются по большей части въ *Nucleus ventralis*, откуда начинается благодаря заложеннымъ здѣсь клеткамъ второй нейронъ, дающій отчасти перекрестъ и вступающій въ оливу той и другой стороны. Далѣе возникаетъ третій нейронъ, идущій отъ оливы до задняго четверохолмія, откуда возникаетъ четвертый нейронъ, посылающій невриты черезъ внутреннюю капсулу къ височнымъ частямъ мозга (*Girus temporalis superior*)¹.

Изъ этого краткаго описанія ясно, что единственнымъ мѣстомъ, гдѣ проводящіе пути зрительныхъ и слуховыхъ нервовъ сближены, является четверохолміе. Здѣсь мы и должны ожидать, что переменная концентрація іоновъ, создаваемая въ центрѣ зрѣнія, передается на центръ слуха путемъ диффузіи; этимъ путемъ создается увеличеніе возбужденія слуховыхъ нервовъ. Какъ предварительный стадій необходимо возбужденіе слухового нерва для того, чтобы сдѣлать оболочку нейроновъ проводимой для іоновъ и это достигается благодаря тому, что повышенная концентрація іоновъ въ нервахъ при возбужденіи создавая электродвижущія силы даетъ замыканіе цѣпей черезъ оболочку.

При освѣщеніи того и другого глаза вліяніе на органъ слуха должно быть одинаково, такъ какъ въ *Chiasma* приблизительно около половины зрительныхъ нервовъ совершаютъ перекрестъ и слѣдовательно, освѣщая одинъ или другой глазъ, мы создаемъ въ четверохолміи приблизительно одинаковую концентрацію раздражающихъ іоновъ, почему и величина вліянія остается постояннымъ. Увеличивая освѣщенную площадь сѣтчатки, мы тѣмъ самымъ увеличиваемъ общее число іоновъ въ центрѣ, отчего вліяніе должно усиливаться.

Создавая періодически освѣщеніе глаза и тѣмъ самымъ мѣняя въ четверохолміи періодически концентрацію іоновъ въ зрительномъ центрѣ, мы получимъ періодическій диффузионный токъ, который будетъ ослабляться съ разстояніемъ, затухать, по мѣрѣ увеличенія числа періодовъ въ секунду. Такимъ образомъ при сравнительно небольшомъ числѣ мельканій (до 4 въ сек.) мы можемъ получить настолько сильное ослабленіе амплитуды концентраціи въ области центра слуха, что вліяніе практически будетъ равно нулю.

¹ Ср., напр., G. von Bunge. *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*. Bd. I. Dreizehnter Vortrag. Leipzig.

Изъ изложенной теоріи ясно, что для возможности вліянія органовъ зрѣнія и слуха, нѣтъ необходимости во внѣшнемъ происхожденіи звуковъ, или шумовъ. Шумы могутъ быть и внутричерепнаго происхожденія, но только ихъ источникъ долженъ быть такъ локализованъ, чтобы доходящее до коркового центра слуха возбужденіе проходило четверохолміе. Поэтому всѣ шумы, возникающіе благодаря патологическимъ процессамъ въ среднемъ и внутреннемъ ухѣ, должны при освѣщеніи получить увеличеніе и это было указано впервые Урбанчикомъ и многократно проверено мною. Съ другой стороны, если шумы чисто нервного происхожденія, когда нѣтъ наличности раздражающихъ процессовъ въ среднемъ ухѣ и когда шумъ можетъ зависѣть отъ раздраженія корковыхъ центровъ, то вліяніе свѣта должно равняться нулю. Наконецъ теоретически мыслимъ и такой случай: представимъ что въ проводящихъ путяхъ зрѣнія повреждены только корковые центры зрѣнія въ затылочной доли мозга, тогда возбужденіе можетъ передаваться съ сѣтчатки на четверохолміе и далѣе и, вызывая въ четверохолміи измѣненіе концентраціи, не доходитъ до сознанія. Если при такомъ случаѣ центральной слѣпоты мы стали бы при непрерывномъ раздраженіи уха звукомъ освѣщать слѣпой глазъ свѣтомъ, то больной при каждомъ освѣщеніи глаза, не получая зрительныхъ впечатлѣній, ощущалъ бы усиленіе звука.

Изученная область представляетъ часть той области фізіологіи ощущеній, которая можетъ имѣть большое значеніе для теоріи субъективныхъ процессовъ при физическихъ наблюденіяхъ и которая систематически изучается мною съ точки зрѣнія іонной теоріи возбужденія въ Физическомъ Институтѣ Московскаго Научнаго Института.
