

С. С. Стивенс

ПСИХОФИЗИКА СЕНСОРНОЙ ФУНКЦИИ¹

Исследование природы сенсорного процесса начинается с психофизики — дисциплины, зародившейся сто лет назад и изучающей ответные реакции организма на воздействие энергий окружающей среды.

...С самого начала необходимо признать, что психофизике зачастую не удавалось выполнить стоящую перед ней задачу на должном уровне. Ее задача не из легких. Прежде всего всякий раз, когда выдвигались предположения о возможности подвергнуть ощущение упорядоченному количественному исследованию, старые предрассудки, унаследованные в основном от дуалистической метафизики, порождали целый ряд упорных возражений. Вы не можете, говорили критики, измерить внутреннюю, индивидуальную, субъективную силу того или иного ощущения. Может быть, это и так, говорим мы, в том смысле, в каком это понимают те, кто нам возражает. Однако в другом и весьма полезном смысле сила ощущения может быть, как мы увидим далее, с успехом определена количественно. Нам нужно оставить в стороне споры о внутренней жизни разума. Мы должны задать себе разумные объективные вопросы об отношениях между входом и выходом сенсорных преобразователей, учитывая при этом то, как эти отношения раскрываются в поведении организмов, будь то животные или люди.

Другая трудность состоит в том, что у психофизики было несчастливое детство. Хотя еще в пятидесятых годах XIX века Плато сделал нерешительную попытку правильно определить форму функции путем соотнесения воспринимаемой интенсивности с интенсивностью раздражителя, тем не менее его голос был заглушен Фехнером, который сковал развитие только что зародившейся дисциплины, обременив ее глубоко ошибочным «законом», носящим его имя (Стивене, 1957). Быть может, самой трудной задачей, стоящей перед нами, является освобождение науки от господства столетней догмы, утверждающей, что интенсивность ощущения возрастает как логарифм интенсивности раздражителя (закон Фехнера). На самом деле

«Sensory communication». N.Y., J. Wiley and Sons, Inc. W.A. Rosenblith (ed.), 1961, pp. 1—33.

$$\Delta S/S = k \Delta R/R$$

данное отношение вовсе не выражается логарифмической функцией. К настоящему времени на примере более чем двадцати сенсорных континуумов² показано, что кажущаяся или субъективная величина возрастает как *степенная функция* от интенсивности раздражителя и что показатели степенной функции лежат в пределах от 0,33 для яркости до 3,5 для электрического раздражения (60 герц) пальцев руки. Иными словами, по-видимому, существует простой и повсеместно действующий психофизический закон — закон, о котором одно время догадывался Плато и от которого он впоследствии отказался. Этот закон целиком соответствует не только все увеличивающемуся потоку эмпирических данных, но также и известным разумным принципам построения теории (Льюс, 1959). О степенном законе более подробно будет сказано далее, здесь же следует сказать несколько слов о Фехнере.

...Выводя свой логарифмический закон, Фехнер ошибочно предполагал, что минимальный прирост ощущения (ΔS) будто бы есть постоянная величина на всем протяжении психологической шкалы. Хотя он хотел предположить, что постоянным является отношение едва заметного изменения раздражителя (ΔD)² к его исходной величине (D), т. е.

$$\frac{\Delta R}{R} = k \text{ (закон Вебера),}$$

у него получилось, что постоянно ΔS .

Из этих двух предположений он вывел отношение

$$S = k \log R$$

и тем самым нанес большой вред всему делу⁴.

...Предположим, что Фехнер принял бы положение о постоянстве отношения не только для е. з. р. стимуляции ΔR , но также и для субъективного коррелята е. з. р.— ΔS . Тогда он смог бы написать:

Континуум — непрерывный ряд переменных величин, т. е. такой ряд величин, в котором всегда между двумя значениями, как бы близки они ни были, можно взять третье.

Существуют континуум раздражителей и континуум ощущений (*прим. ред.*). ДД — минимальное изменение величины раздражителя, необходимое для возникновения ощущения едва заметного различия, принято называть едва заметной разницей (е. з. р.), или различительной ступенью.

Более подробное изложение основных допущений Фехнера и вывод его закона см. в статье П. О. Макарова в данном сборнике.

откуда следовало бы, что психическая величина S является степенной функцией физической величины R . Однако он отбросил это предположение, когда оно впервые было сделано Brentano. В результате временной победы Фехнера в психофизике открылся период бесплодных исследований, когда казалось, что нет более интересной работы, чем измерение е. з. р. Так логарифмический закон стал «пещерным идолом»⁵.

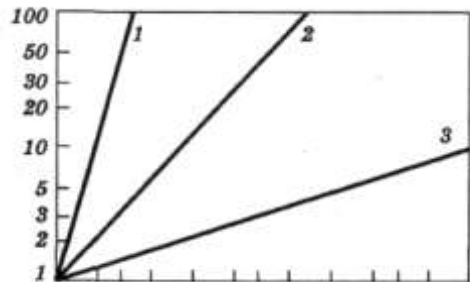
Но довольно о прошлом. Начиная с 30-х годов XX века значение психофизики стало восстанавливаться. Новый интерес к очень старой проблеме сенсорного ответа возник благодаря изобретению методов, описывающих соотношение входа и выхода сенсорных систем⁶. Эти методы показывают, что сенсорные ответы возрастают по степенному закону. При изучении поведения так редко удается показать, что простое отношение сохраняется при самых различных видах стимуляции, что широкое распространение и постоянство степенного закона действительно приобретают большое значение.

Конечно, можно себе представить, что ощущения всех модальностей возрастают одинаково с увеличением интенсивности стимуляции. На самом деле это совсем не так, и это легко показать при помощи элементарного сравнения. Заметьте, что, например, происходит при удвоении освещенности пятна света и, с другой стороны, силы тока (частота 60 гц), пропускаемого через палец. Удвоение освещенности пятна на темном фоне удивительно мало влияет на его видимую яркость. По оценке типичного наблюдателя, кажущееся увеличение составляет всего лишь 25%. При удвоении же силы тока ощущение удара увеличивается в десять раз.

...При более близком рассмотрении, однако, обнаруживается, что у яркости и удара имеется одна общая главнейшая чер-

Игра слов: деп по-английски означает «пещера», а также «кабинет ученого» (*прим. перев.*).

Автор, по-видимому, имеет в виду подход, получивший широкое распространение в связи с развитием кибернетики,— подход к сенсорной системе как черному ящику, функциональные характеристики которого могут быть получены из сопоставления того, что подается на вход, и того, что получается на выходе системы (*прим. ред.*).



1 2 3 5 10 20 30 50 100 200 300 500 1000

Рис. 1. Зависимости субъективной величины (ощущения) от величины раздражителя для трех модальностей, представленные в логарифмическом масштабе на обеих осях. 1. Электрический удар. 2. Кажущаяся длина. 3. Яркость. Абсцисса — величина раздражения (условные единицы); ордината — психологическая величина (произвольные единицы).

та. В обоих случаях психологическая величина S относится к физической величине R следующим образом: $S = kR^n$.

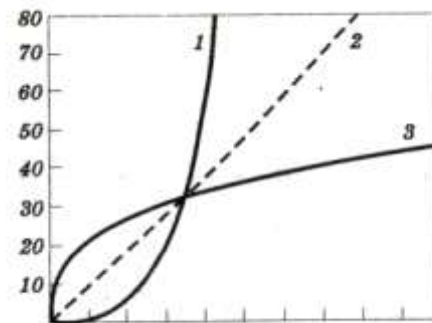
Показатель n принимает значение 0,33 для яркости и 3,5 — для удара. Значение k зависит только от выбранных единиц.

...Степенная функция имеет то преимущество, что при использовании логарифмического масштаба на обеих осях она выражается прямой линией, наклон которой соответствует значению показателя. Это видно на рис. 1: медленное увеличение яркостного контраста и быстрое усиление ощущения удара электрическим током. Для сравнения на этом рисунке показана также функция оценки видимой длины линий, сделанной несколькими наблюдателями. Здесь, как и следовало ожидать, показатель функции лишь немного отличается от 1,0. Иначе говоря, для большинства людей отрезок 100 см кажется вдвое длиннее, чем отрезок 50 см.

На рис. 2 те же самые три функции представлены в линейных координатах.

...В настоящее время уже известно свыше 25 континуумов, на которые, как было показано, распространяется по крайней мере в первом приближении степенной закон. В своей практике автор еще ни разу не встретил исключения из этого закона (отсюда и смелость называть эту зависимость законом).

В табл. 1 указаны показатели степенных функций некоторых из исследованных континуумов.



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Рис. 2. Те же зависимости, что и на предыдущем рисунке, представленные в линейных координатах. Форма функции, вогнутая или выпуклая, зависит от величины показателя степени: n больше или меньше 1,0. Обозначения кривых и осей те же, что и на предыдущем рисунке.

МЕЖМОДАЛЬНЫЕ СРАВНЕНИЯ

Немного найдется ученых, которые бы не ощущали неудовлетворения вышеописанным методом, надежность которого всецело полагается на выражение мнения наблюдателей и зависит от того, насколько хорошо они знают числовую систему. Эта неудовлетворенность методом вполне обоснована, ибо поверхностные знания чисел, особенно отсутствие понятия о пропорции, естественно, затрудняют способность некоторых наблюдателей хорошо выполнить свою роль в этих экспериментах. Обозначение силы ощущения числом не является чем-то таким, что человек выполняет с большей точностью и уверенностью, хотя обыкновенный выпускник высшего учебного заведения, как правило, может производить целый ряд непротиворечивых числовых оценок.

Однако интересно не то, уверены или не уверены мы в полноценности этого метода. Интересно другое: можем ли мы подтвердить правильность степенного закона, вообще не предлагая наблюдателям производить численные оценки? Если да, то можем ли мы проверить правильность отношений между показателями, приведенными в табл. 1? Утвердительный ответ на этот вопрос дают результаты проведения эксперимента по методу, согласно которому наблюдатель производит уравнение интенсивностей ощущений двух различных модальностей. Посредством таких межмодальных сравнений, произ-

Таблица

Характерные показатели степенных функций, соотносящие психологическую величину с величиной стимуляции в протетических континуумах

Континуум	Показатель	Условия раздражения
Громкость	0,6	Бинауральное
Громкость	0,54	Моноуральное
Яркость	0,33	Размер раздражителя — 5°, наблюдатель адаптирован к темноте
Яркость	0,5	Точечный источник света в условиях темновой адаптации
Светлота	1,2	Отражательная способность серой бумаги
Запах	0,55	Кофе
Запах	0,6	Гептан
Вкус	0,8	Сахарин
Вкус	1,3	Сахароза
Вкус	1,3	Соль
Температура	1,0	Холод на руку
Температура	1,6	Тепло на руку
Вибрация	0,6	250 гц на палец
Вибрация	0,95	60 гц на палец
Длительность	1,1	Раздражитель — белый шум
Период повторения	1,0	Свет, звук, прикосновение, электрическое раздражение
Расстояние между пальцами	1,3	Толщина деревянных брусков
Давление на ладонь	1,1	Статическое усилие на кожу
Тяжесть	1,45	Поднятие тяжести
Усилие сжатия кисти руки	1,7	Точный ручной динамометр
Аутофонический уровень	1,1	Звуковое давление при произнесении звуков
Электрическое раздражение	3,5	Ток 60 гц, пропущенный через пальцы

водимых при разных интенсивностях стимуляций, можно получить «функцию равных ощущений», а затем сравнить ее с такой же функцией, предсказанной на основании величин показателей для этих двух модальностей.

Если обе модальности при соответствующем выборе единиц описываются уравнениями:

и если субъективные величины S_1 и S_2 уравниваются путем межмодального сравнения на различных уровнях стимуляции, то результирующая функция равных ощущений примет вид:

$$R_1^m = R_2^n.$$

Или в логарифмах

$$\log R_1 = \frac{n}{m} \log R_2.$$

Иначе говоря, в логарифмических координатах функция равных ощущений будет прямой линией, наклон которой определяется отношением двух данных показателей.

Что касается самого эксперимента, то вопрос заключается в том, способны ли наблюдатели делать межмодальные сравнения и могут ли быть предсказаны эти сравнения, исходя из шкалы отношений кажущихся величин, определяемой независимо путем оценки величин? Способность наблюдателей высказывать простые суждения о кажущемся равенстве была твердо установлена в другом контексте.

...Звук и механическая вибрация являются такими стимулами, кажущуюся силу которых приравнять сравнительно легко. В качестве звука в экспериментах использовался шум умеренно низкой частоты. Вибрация имела постоянную частоту (60 гц) и подавалась на кончик среднего пальца (Стивенс, 1959).

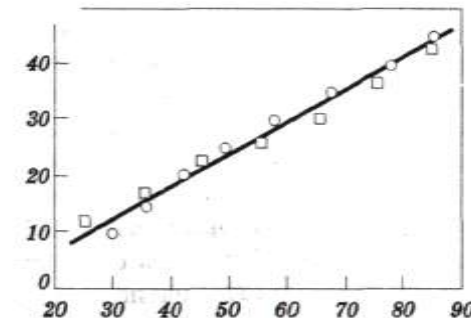


Рис. 3. Функция равных ощущений, соотносящая вибрацию (частота 60 гц), подаваемую на кончик пальца с интенсивностью полосы шума. Наблюдатели подгоняли громкость так, чтобы она соответствовала вибрации (кружки) и чтобы вибрация соответствовала громкости (квадратики). Значения раздражений даны по логарифмической шкале (в децибелах). Абсцисса — шум; ордината — амплитуда вибрации.

Соотнесение кажущейся интенсивности звука и вибрации проводилось в двух дополняющих друг друга экспериментах. В одном из них звук подравнивался под вибрацию, в другом вибрация подравнивалась под звук. И звук, и вибрация подавались одновременно. 10 наблюдателей производили в каждом эксперименте два подравнивания на каждой интенсивности.

Результаты этих экспериментов приведены на рис. 3. Кружочки обозначают средние уровни вибрации в децибелах, к которым подравнивались звуки, а квадратики — средние уровни звука в децибелах, в котором подравнивалась вибрация. Оси координат даны в децибелах относительно ориентировочно определенных порогов обоих раздражителей.

Интересно, что на рис. 3 наклон линии равен 0,6, т. е. близок к наклону, требуемому отношением показателей двух функций, полученных отдельно для звука и вибрации методом оценки величин. Эта зависимость в основном линейна, и, следовательно, в диапазоне использованных стимулов как гром-кость, так и вибрация подчиняются степенному закону.

Литература

1. *Luce R. D.* On the possible psychophysical laws. *Psychol. Rev.* 1959, 66, 81—95.
2. *Stevens S. S.* On the psychophysical law. *Psychol. Rev.*, 1957, 64, 153—181.
3. *Stevens S. S.* Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration and electric shock. «*J. exp. Psychol.*», 1959, 201—209.