

- Kerber R. ChiMerge: Discretization of Numeric Attributes // In Proc. AAAI-92, Ninth.
- Michalski R. S. AQVAL/1-Computer Implementation of Variable-Valued Logic System VL1 and Examples of its Application to Pattern Recognition // Proc. Of the First Int. Joint Conf. on Pattern Recognition. Washington, DS, 1973. P. 3–17.
- National Conference Artificial Intelligence. AAAI Press / The MIT Press. 1992. P. 123–128.

ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ОТ ВЫБРАННОЙ МЕРЫ СВЕТОВОГО И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СТИМУЛА

А. П. Пахомов

Российский университет дружбы народов (г. Москва)

Pakhomoff44@yandex.ru

В статье проверяется предположение о том, что функции, полученные в психофизическом эксперименте со световой и электрической стимуляцией, зависят от меры, выбранной для репрезентации величины физического стимула. Показано, что в зависимости от выбранной меры указанных физических стимулов результаты классических психофизических экспериментов могут иметь неклассическую интерпретацию.

Ключевые слова: психофизическое шкалирование; кривые Фехнера и Стивенса, отношение Вебера, мера физического стимула.

Измерение физического стимула обычно имеет несколько альтернатив. Отсюда выбор шкалы стимула может определять: а) величину экспоненты в показательной функции; б) величину константы k в логарифмической функции (функции Фехнера); в) будет ли общая форма психофизической функции показательной, логарифмической или какой-либо другой; г) величину отношения Вебера и степень постоянства, которую оно имеет; д) междимENSIONАЛЬНЫЕ корреляции между показателем степенной функции и динамическим диапазоном стимула.

Стимулами в психофизике являются основные физические величины длины, массы, времени и такие величины как вес, плотность, частота стимула, сила, энергия и т. д., которые обычно можно выразить через базисные величины с помощью простых математических функций. Приписывание чисел основным физическим величинам в общем случае рассматривается как пример процесса экстенсивного измерения (Krantz, Luce, Suppes, Tversky, 1971).

Как показано в работе (Myers, 1982), психофизические функции могут зависеть от того, как определен физический стимул. Ведет ли «прямое» психофизическое шкалирование к показательной, логарифмической или к любой другой функции, может определяться тем, какой аспект стимула выбран для того, чтобы представить его «интенсивность». Кроме того, величина экспоненты в показательной функции может зависеть от принятой меры стимула, а, если функция рассматривается как логарифмическая по результатам «прямого» субъективного шкалирования или же из-за принятия предположений Фехнера, величина константы k в выражении $\psi = k \log \varphi$ может зависеть от определения шкалируемого стимула.

Абсолютная величина отношения Вебера также может изменяться как функция меры стимула. Кроме того, отношение Вебера может быть константой при одном варианте измерения φ , но изменяться систематическим образом при переходе к другим вариантам измерения φ в той же самой модальности стимула. Отсюда вытекает,

что ведут ли предположения Фехнера к логарифмическому психофизическому закону или к некоторой другой функции, также может зависеть от измерения стимула. Можно привести примеры, иллюстрирующие эти утверждения.

Большая часть последующего изложения имеет дело с работами Стивенса. Есть несколько оснований для этого. Во-первых, показательный закон предположительно является общим принципом, который приложим ко всем интенсивным измерениям¹ ощущения. «В каждой сенсорной модальности ощущение является степенной функцией стимула» (Stevens, 1975). Во-вторых, степенной закон в настоящее время широко используется как наиболее удовлетворительная функция психофизического шкалирования. В-третьих, в работах Стивенса исследовалось и вводилось в единую понятийную систему больше различных сенсорных измерений, чем в работах какого-либо другого исследователя. В-четвертых, Стивенс придавал большое значение не только самой идее о том, что психофизические функции для протетического континуума являются показательными, но и абсолютной величине экспоненты, которая получается экспериментально для данной измерения ощущения. По этим причинам публикации Стивенса являются полезным источником для изучения влияния меры физического стимула на психофизическую функцию.

Рассмотрим некоторые измерения ощущений, которые во многих работах анализировались как психофизические показательные функции с эмпирически определенными величинами показателей степени n . В соответствии с работой (Stevens, 1970) величина показателя степени дает информацию об основных свойствах системы «вход–выход» рассматриваемых сенсорных измерений. Она характеризует пропорциональность, с которой выход системы, обозначенный как ψ , изменяется как функция входа стимула ϕ . Например, в работе (Stevens, 1961) перечислены 14 сенсорных измерений, имеющие величины показателя степени в диапазоне от 3,5 для субъективной величины удара как функции электрического тока, протекающего через палец, до 0,33 для яркости как функции светлоты однородной светящейся стимульной поверхности. Величины этих показателей степеней рассматриваются как характеристические параметры рассматриваемых систем, которые дают важную информацию о лежащих в их основании механизмах опосредования сенсорной интенсивности (Stevens, 1970). Показатель степени, равный 1,0, указывает на прямую пропорциональность между ощущением и стимулом. Считается, что малые величины показателя степени для громкости ($n < 1,0$) означают, что ухо действует как «компрессор», а большое значение показателя степени для электрического удара предполагает действие некоторого «расширителя» (Stevens, 1975)

Но нет смысла сравнивать показатели степени в психофизических функциях для громкости, яркости, электрического удара, тяжести и т. д., если нет осмысленного способа сравнивать измерение физического стимула в различных измерениях. Обычно существуют альтернативные способы измерения физического стимула, и часто далеко не ясно, что именно может конституировать эквивалентное измерение стимула в различных сенсорных измерениях. Эта позицию можно прояснить, если рассмотреть, как использовались физические шкалы измерения в различных задачах психофизического шкалирования, и увидеть, как это может влиять на психофизические уравнения.

1 Димензия – характеристика стимула (например, сила тока, интенсивность, высота и т. д.). Данное понятие использовалось в работах К. В. Бардина.

При шкалировании яркости света используется обычно как мера стимульной интенсивности. Независимо от используемой единицы света является линейной функцией плотности мощности светового потока на единицу телесного угла на единицу площади проекции целевой поверхности в направлении смотрящего глаза, т. е. если принять постоянным распределение спектральной энергии, то света прямо пропорциональна энергии стимула. Тем не менее вместо того, чтобы описывать интенсивность видимого электромагнитного излучения при помощи его плотности мощности, можно встретить определение интенсивности видимого электромагнитного излучения через интенсивность его поля. Такова обычная практика при измерении полей радиочастоты, которую можно распространить и на измерение света. В соответствии с ней света является линейной функцией мощности (пропорция потока энергии), но она пропорциональна квадрату интенсивности поля (когда мы имеем дело с полем с постоянным затуханием, что здесь предполагается). Можно полагать, что есть широко распространенная привычка считать, что света связана с мощностью, а не с интенсивностью поля.

С позиций измерения оптической интенсивности мощность поля и его интенсивность могут быть одинаково информативны, но с точки зрения психофизического шкалирования есть различия в том, какая мера используется. В последующей дискуссии надо помнить, что если ψ является показательной функцией одной шкалы стимула φ и, если надо сохранить показательную функцию второй шкалы стимула φ^* , то эти две шкалы стимулов должны быть показательными трансформациями друг друга, т. е., если $\psi = a\varphi^n$ и $\psi = b(\varphi^*)^m$, то тогда $\varphi^* = [(a/b)\varphi^n]^{1/m}$ или (принимая, что $a/b = c$), $\varphi^* = c\varphi^{n/m}$. Этот вывод также следует из того, что когда две альтернативные шкалы стимула являются показательными трансформациями друг друга и между ними существует простая связь, а психофизическая показательная функция была получена для одной из шкал стимула, то ψ должна быть также показательной функцией другой шкалы стимула φ^* , и при этом отношение двух психофизических показателей степени должно равняться показателю степени экспоненциальной трансформации между двумя шкалами стимула.

Простым примером этого положения является случай, когда имеются описания мощности светового поля (светота) и интенсивности электромагнитного поля, что является альтернативными экспоненциальными трансформациями видимой интенсивности стимула. В эксперименте, в котором испытуемые в темноте оценивали светящиеся круги малого размера (Stevens, 1975), делается вывод о том, что яркость является показательной функцией светлоты вида $\psi = k\varphi^{0,33}$. Но если интенсивность стимула была бы связана с интенсивностью электромагнитного поля, а не с мощностью, то тогда показатель был бы равен 0,66, а не 0,33, так как мощность пропорциональна квадрату интенсивности электрического поля. Если психофизическая функция действительно является показательной, то тогда она должна оставаться показательной независимо от того, какая из шкал используется, так как они являются степенными трансформациями друг друга. Но при этом величина показателя степени будет зависеть от используемой меры стимула.

О том, что существуют шкалы, относящиеся и к энергии, и к интенсивности стимула, вероятно, лучше знают работающие в области исследования слуха, чем в области зрения. При предположении, что среда имеет постоянную величину акустического затухания (как это принято в экспериментах со слухом), мощность фронта акустической волны считается пропорциональной квадрату давления акус-

тического поля. При исследовании слуха или в психофизических экспериментах по слуху обычно используются и та, и другая шкалы.

Так же, как и в случае шкалирования яркости, если принять, что громкость является показательной функцией акустической интенсивности, то тогда показатель степени должен быть удвоен при условии, что φ в формуле $\psi = k\varphi^n$ является акустическим давлением, а не акустической мощностью. Этот факт используется в некоторых работах Стивенса по шкалированию громкости (Stevens, 1971, 1975). В одних работах он определяет стимул просто как акустическое давление и приводит величину показателя степени, равную 0,6 (Stevens, 1959); в других работах он определяет стимул как акустическую мощность и приводит показатель степени равный 0,3 (Stevens, 1961); есть работы, в которых он переходит от одного показателя степени к другому (Stevens, 1975).

В этом отношении димензия величины удара током вызывает особый интерес. При сравнении показательных функций различных димензий ощущений, электрический удар всегда имеет самую крутую форму с показателем степени, примерно равным 3,5. Эти графики и таблицы многократно повторяются во всех учебниках и обычно сопровождаются утверждениями о том, что величина показателя степени (или наклон функции) указывает на пропорцию, с которой выход системы (ощущение) растет как функция входа системы (физическая интенсивность). Функция для электрического удара является наибольшей в списке по этой характеристике. Но что является входом системы? В экспериментах Стивенса физическим стимулом является электрический ток (I) в миллиамперах, проходящий через палец испытуемого (Stevens, Shickman, 1958). Это служило димензией стимула, которая использовалась в большинстве психофизических работ по электрическому удару (Hawkes, 1960).

Интересно отметить, что начиная с работы 1959 г. Стивенс, очевидно, решил использовать шкалу дБ для интенсивности электрического удара так же, как это он делал для света и звука (Stevens, 1959). Хотя и не было показано, как величина удара конвертируется в дБ, но видно, что дБ электрического удара должны быть подсчитаны как $\text{дБ} = 10\log(I_a^2/I_b^2)$, где I_a является током удара, который должен быть выражен в дБ, а I_b является током референтного стимула. Можно только догадываться о том, что Стивенс решил, что квадрат тока пропорционален мощности стимула, и потому для того, чтобы сделать дБ электрического удара аналогичными дБ звука или света, его надо отнести к мощности стимула. Но интересно, что, предварительно выбрав I^2 как меру, в наибольшей степени сходную с мощностью света и звука, он, видимо, не считал необходимым использовать I^2 для шкалирования φ в психофизических экспериментах при получении показательных функций субъективной интенсивности электрического удара. Если бы φ было шкалировано в I^2 , а не в I , то тогда показатель степенной функции имел бы меньшую величину и был бы равен 1,75, а не был бы самым большим и равным 3,5. В действительности есть весомые доказательства того, что при работе с обычными электродами в процедурах электрической стимуляции импеданс человеческой ткани постоянно изменяется как функция величины тока и потому I^2 не является точной мерой мощности стимула. По этой же причине, когда стимул определяется через приложенное напряжение (U), то не существует простой связи между мерой стимула и рассеиваемой в стимулируемой ткани мощностью. При средней константе импеданса мощность прямо пропорциональна U^2 .

Этот факт был принят во внимание в работе, в которой импеданс кожи контролировался таким образом, что могли быть определены психофизические функ-

ции для тока или мощности. В работе делается вывод о том, что субъективный электрический удар является показательной функцией стимульного тока и имеет показатель степени, примерно равный 2,26. При этом субъективный удар электро-током является показательной функцией мощности стимула с показателем степени примерно вдвое меньшим. Эта единственное исследование, в котором получен результат, что различные способы измерения воздействия электрического тока результируются в различные функции ощущения.

Таким образом, как показано выше, расчеты показывают, что при обращении к корректным альтернативным физическим мерам в психофизическом эксперименте при шкалировании яркости и воздействия электрическим током могут быть получены результаты, интерпретируемые неклассическим образом.

Литература

- Fechner G. T.* Elemente der Psychophysik. Leipzig: Breitkopf & Hartel, 1860.
- Hawkes G. R.* Cutaneous communication: Absolute identification of electrical intensity // *Journal of Psychology*. 1960. 49. 203–212.
- Kranz D. H., Luce R. D., Suppes P. & Tversky A.* Foundations of measurement. New York: Academic Press, 1971.
- Myers A. K.* Psychological scaling and scales of physical stimulus measurement // *Psychological bulletin*. 1982. V. 92. N 1. 203–214.
- Stevens S. S., Shickman G. M.* The perception of repetition rate // *Journal of Experimental Psychology*. 1959. 433–440.
- Stevens S. S.* Mathematics, measurement, and psychophysics // S. S. Stevens (Ed.). *Handbook of experimental psychology*. New York: Wiley, 1951.
- Stevens S. S.* Decibels of light and sound // *Physics Today*. 1959. V. 10. 1217.
- Stevens S. S.* On the psychophysical law // *Psychological Review*. 1957. 64. 153–181.
- Stevens S. S.* Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration and electric shock // *Journal of Experimental Psychology*. 1959. 201–245.
- Stevens S. S.* Tactile vibration: Dynamics of sensory intensity *Journal of Experimental Psychology*. 1959. 210.
- Stevens S. S.* The psychophysics of sensory function. Mass.: M. I. T. Press, 1961.

ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ТЯЖЕСТЬЮ, ЗАПАХАМИ И ВКУСОМ ОТ ВЫБРАННОЙ МЕРЫ ФИЗИЧЕСКИХ СТИМУЛОВ

*А. П. Пахомов**, *Н. Г. Шпагонова***

* Российский университет дружбы народов (Москва)

** Институт психологии РАН (Москва)

Pakhomoff44@yandex.ru

В статье проверяется предположение о том, что функции, полученные в психофизическом эксперименте с тяжестью, запахом и вкусом, зависят от меры, выбранной для репрезентации величины физического стимула. Показано, что в зависимости от выбранной меры указанных