

Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет»
Уральское отделение Российской академии образования
Академия профессионального образования

В. И. Лупандин, О. Е. Сурнина

ПСИХОФИЗИКА

Учебное пособие

Екатеринбург
2008

УДК 159.9(075.8)
ББК Ю933я73–1
Л 85

Лупандин В. И. Психофизика [Текст]: учеб. пособие / В. И. Лупандин, О. Е. Сурнина. Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. 126 с.

ISBN 978-5-8050-0359-3

Учебное пособие содержит два раздела. В первом разделе отражены история развития науки, ее задачи и методы, представлены данные относительно индивидуальных особенностей обнаружения, различения и шкалирования сигналов. Второй раздел посвящен психофизике отдельных видов чувствительности.

Предназначено студентам специальности 02.04.00 Психология, а также тем, кто интересуется физиологией высшей нервной деятельности и физиологией сенсорных систем.

Рецензенты: д-р биол. наук, проф. А. Н. Лебедев (Гос. ун-т «Высш. шк. экономики»); канд. психол. наук, доц. Е. В. Лебедева (ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т»).

ISBN 978-5-8050-0359-3

© ГОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», 2008

© В. И. Лупандин, О. Е. Сурнина, 2008

Введение

Психофизика – достаточно древняя область психологической науки, которая ведет свое начало с известной (если не сказать знаменитой) книги немецкого философа и психолога Густава Теодора Фехнера «Элементы психофизики», вышедшей в свет в 1860 г. Г. Фехнер провозгласил создание новой, неведомой до тех пор науки – психофизики и достаточно четко определил ее цели и задачи. Психофизика была призвана изучать количественные соотношения «между телом и душой», т. е. между материальным и идеальным, между физическим и психическим. Она устанавливает закономерные отношения между набором (континуумом) параметров физических стимулов и субъективным отражением этих параметров в сознании человека. Другими словами, психофизика определяет возможности сенсорной системы при обнаружении, различении и опознании сенсорных стимулов.

К настоящему времени в психофизике сложилось два относительно независимых направления: психофизика – 1 и психофизика – 2. Первое занимается изучением пороговой проблемы (обнаружение, различение сигналов), второе – исследованием субъективных шкал (соответствие диапазона субъективных оценок диапазону физических величин).

Некоторые авторы подразделяют психофизику на теоретическую, экспериментальную и прикладную (Я. А. Альтман).

Теоретическая психофизика разрабатывает общие теоретические положения о психофизической оценке сенсорных стимулов и теорию построения психофизического эксперимента, независимо от конкретной сенсорной системы. *Экспериментальная психофизика* тесно связана с теоретической и использует положения теоретической психофизики при экспериментальном изучении возможностей данной сенсорной системы. *Прикладная психофизика* описывает конкретные возможности сенсорной системы при работе оператора на любой производственной установке (например, пределы различения речевых сигналов при разной скорости их поступления, необходимая громкость речевых сигналов при данном уровне звуковых помех для диспетчера, руководящего полетами самолетов; управление пультом со световым табло при изменении на экране значений отдельных световых сигналов).

Справедливости ради следует сказать, что так называемая психофизическая проблема – проблема адекватности субъективного отражения внешнего мира – своими корнями уходит в далекое прошлое. Ею занимались философы, психологи, физиологи и представители других наук, начиная, пожалуй, со времен Аристотеля и Демокрита. Однако Г. Фехнер был первым, кто вместо описательных методов и умозрительных спекуляций предложил строгий количественный подход к изучению психических процессов (в частности ощущений). Можно без преувеличения сказать, что книга Г. Фехнера «Элементы психофизики», наряду с работами Г. Гельмгольца «Физиологическая оптика» и «Физиологическая акустика», произвела подлинный переворот в мировоззрении психологов и естествоиспытателей второй половины XIX столетия.

Судьба психофизики как науки достаточно сложна и запутанна. Сразу же после выхода в свет фундаментального труда Г. Фехнера началась бурная полемика, вспыхнули ожесточенные споры как по поводу самого концептуального подхода, так и по поводу «основного психофизического закона» – универсального закона связи между раздражением и ощущением. Эти споры и дискуссии не стихают до сих пор, спустя почти полтора столетия.

После Г. Фехнера психофизическую проблему стали разрабатывать в различных психологических лабораториях в разных странах мира (в Великобритании – Е. Титченер; во Франции – Ж. Дельбеф; в Италии – Ф. Brentano; в Соединенных Штатах Америки – Л. Терстоун, У. Торгерсон, Л. Троланд, С. Стивенс, Д. Грин; в Швеции – Г. Экман, Г. Эйслер и др.). В первой половине XX столетия стали оформляться самостоятельные психофизические школы и направления. Подробнее об этом будет рассказано в первой главе, где дается экскурс в историю психофизики и анализируется ее современное состояние. Здесь хотелось бы только отметить особое положение психофизики в России. До начала 20-х гг. прошлого века психофизические исследования проводились (хотя и в незначительных по сравнению с западноевропейскими масштабах) в Москве в Психологическом институте, возглавляемом Г. И. Челпановым. Новое же поколение советских психологов, вышедшее на арену в конце 20-х гг., вооруженное идеями И. М. Сеченова и И. П. Павлова, отвергло психофизику как лженауку по той причине, что философские построения Г. Фехнера носили ярко

выраженный субъективно-идеалистический характер. Отдельные советские ученые (П. П. Лазарев, С. В. Кравков, П. О. Макаров, С. Н. Гольдбург и др.), занимаясь, по существу, психофизическими проблемами, маскировали их под разными «вывесками» – биофизики, физиологии анализаторов и т. п. И только в 1972 г., когда в Москве открылся Институт психологии АН СССР, психофизика в нашей стране стала интенсивно развиваться наравне с другими психологическими науками. В этой связи хотелось бы сказать несколько слов о месте психофизики в ряду других научных направлений. На сегодняшний день существует прочный триумвират наук, занимающихся проблемой отражения человеком внешнего мира. Психофизика, сенсорная физиология и психология чувственного познания – вот три «кита», на которых зиждется наше знание о механизмах и закономерностях сенсорного отражения. Эти научные дисциплины используют разные подходы, методы исследования, концептуальный и понятийный аппарат, но каждая по-своему приближает нас к пониманию способности человека воспринимать информацию о событиях, явлениях, изменениях, происходящих в окружающем мире. В конечном счете, психофизика, наряду с другими науками, должна привести нас к осмыслению места и роли человека во Вселенной. Именно эту мысль проповедовал в свое время основатель психофизики Г. Фехнер.

РАЗДЕЛ I

ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ПСИХОФИЗИКИ

Глава 1. Краткий очерк истории психофизики

1.1. Дофехнеровский период в истории психофизики

Как отмечалось выше, родоначальником психофизики как науки по праву считают известного немецкого физика и философа Г. Фехнера. Тем не менее истоки психофизики можно обнаружить гораздо раньше – по крайней мере в первой половине XVIII столетия. В сущности, первая психофизическая модель субъективного восприятия цвета была предложена И. Ньютоном на основании его опытов по смешению цветов (см. гл. 4, п. 4.3). В начале XVIII в. впервые в истории психологии стал дискутироваться вопрос о количественной связи между величиной раздражителя и ощущением, вызываемым данным раздражителем. Так, еще в 1743 г. И. Крюгер предположил, что между силой раздражителя и величиной ощущения, вызываемого этим раздражителем, должна существовать закономерная связь (по И. Крюгеру, эта связь должна быть линейной, т. е. ощущение изменяется прямо пропорционально силе раздражителя). На два-три десятилетия раньше Крюгера проблемой психофизического соответствия занимались Г. Крамер и И. Бернулли. Они полагали, что зависимость ощущения от силы стимула описывается не простой линейной зависимостью, а более сложными функциями типа степенной или логарифмической. Надо сказать, что в тот период проблема взаимосвязи между физическим и психическим так и не была разрешена.

Важный вклад в историю психофизики внес французский физик М. Бугер в конце XVIII в. Он исследовал способность человека различать близкие между собой уровни освещенности. Оборудование, используемое М. Бугером в экспериментах, вполне соответствовало тому времени – это стол с измерительной линейкой, на котором размещались две свечи, и экран, освещаемый этими свечами. Передвигая каждую из свечей на разное расстояние относительно экрана, ученый пытался измерить то, что мы сейчас называем разностным (дифференциальным)

порогом восприятия освещенности. М. Бугер пришел к выводу, что величина едва заметного различия (е.з.р.) между двумя освещенностями непостоянна – она возрастает пропорционально исходной освещенности: $\Delta L = k \cdot L$. Другими словами, отношение е.з.р. (ΔL) к исходному уровню освещенности есть величина постоянная: $\Delta L/L = \text{const}$. Аналогичные исследования для стимулов других сенсорных модальностей были проведены в середине прошлого столетия Э. Вебером. Так, в одном из своих опытов Вебер предлагал испытуемым определять разницу между тяжестью двух грузов, поднимаемых одновременно. Было установлено, в частности, что если в качестве исходного служил груз массой в 100 г, то испытуемый воспринимал едва заметное приращение тяжести при добавлении груза в 3 грамма. Если вес исходного груза увеличивался в 2, 3, 5 и более раз, то и величина разностного порога $\Delta P = P_1 - P_2$ повышалась в той же пропорции. Для веса в 200 г величина разностного порога составляла 6 г, для 300 г – 9 г и т. д. Нетрудно заметить, что и в этом случае соблюдается правило $\Delta P/P = \text{const}$.

Вышеуказанное отношение, выраженное в более общем виде – $\Delta S/S = \text{const}$ (S – величина раздражителя безотносительно к его сенсорной модальности), позднее стали называть правилом Вебера (или Бугера – Вебера). Как будет показано дальше, эта закономерность сыграла немаловажную роль в формулировке Г. Фехнером его «основного психофизического закона».

1.2. Возникновение психофизики как самостоятельной науки. Концепция Г. Фехнера и «основной психофизический закон»

Несмотря на то, что возникновение психофизики как науки датируется 1860 г. (год выхода в свет книги Г. Фехнера «Элементы психофизики»), некоторые авторы называют более раннюю дату – 22 октября 1850 г. Именно в этот день Г. Фехнеру пришла в голову мысль о количественной связи между физическими и психическими величинами. Надо отметить, что Г. Фехнер ничуть не сомневался в возможности количественного измерения субъективных процессов. По его мнению, не только элементарные психические процессы (в частности ощущения), но и процессы более высокого порядка (живость воспоминаний, образы фантазии, интенсивность отдельных мыслей и т. д.) могут быть выражены количественно.

Что же касается измерения ощущений, то рассуждения Г. Фехнера в основном сводились к следующему:

1. Признавая справедливость правила Бугера – Вебера $\Delta S/S = \text{const}$, можно получить элементарную единицу измерения ощущений. Другими словами, величина дифференциального порога, которая является величиной постоянной и не зависит от абсолютного значения раздражителя, есть не что иное, как элементарный «квант» ощущения, и он может быть использован как единица измерения субъективных величин. Г. Фехнер предложил следующую формулу: $\Delta S/S = \Delta R$, где ΔR – величина едва заметного ощущения. Надо было иметь смелость, чтобы математически приравнять отношение двух физических величин к субъективной (психической) величине. Справедливости ради необходимо отметить, что величина $\Delta S/S$ не имеет размерности и не может быть выражена в каких-либо физических единицах.

2. Принимая, что величины ΔS и ΔR являются бесконечно малыми (а это – наиболее уязвимый пункт фехнеровской концепции), можно записать психофизическое отношение в виде дифференциального уравнения следующего вида: $dS/S = dR$.

3. Интегрируя выражение $dS/S = dR$, можно вывести закон взаимосвязи между величинами R (ощущение) и S (сила раздражителя):

$$R = k \cdot \ln S + C \text{ или } R = k' \cdot \lg S + C''.$$

Выведенный путем чисто математических рассуждений и подтвержденный экспериментально логарифмический закон (величина ощущения пропорциональна логарифму силы раздражения) Г. Фехнер возвел в ранг «основного психофизического закона».

Насколько бы ни было амбициозным такое утверждение, надо отдать должное прозорливости Г. Фехнера. Несмотря на многочисленные и продолжительные нападки со стороны противников, логарифмический закон доказал свою жизнеспособность не только в психофизике, но и в нейрофизиологии, сенсорной физиологии и т. д. Было, в частности, показано, что физическая шкала интенсивности раздражителя на уровне рецепторов действительно претерпевает логарифмическое преобразование.

Логарифмический закон Г. Фехнера вошел практически во все учебники и пособия по психологии и сенсорной физиологии. В то же

время возражения против этого закона и альтернативные варианты психофизической зависимости, выдвигаемые современниками Г. Фехнера и последующими поколениями психофизиков, до недавнего времени оставались мало известными. О том, в чем состоит сущность этих возражений и пересмотра логарифмического закона, пойдет речь далее.

1.3. Развитие психофизики в конце XIX – начале XX столетий

Появление в 1860 г. «Элементов психофизики» Г. Фехнера совершило поистине революцию в психологии. Крупнейшие психологи второй половины XIX в. разделились на два лагеря. Одни из них правильно поняли и оценили сущность концепции Г. Фехнера о возможности количественного подхода к описанию психических явлений и процессов и сконцентрировали свои усилия именно в этом направлении. Крупнейшая фигура того времени – Вильгельм Вундт стал основателем первой в мире лаборатории экспериментальной психологии, в которой проводились исследования времени двигательной реакции, предпринимались попытки «расчлнить» психику на отдельные элементарные психические акты, зарегистрировать, измерить, рассчитать их и уже после этого сконструировать целостную картину психической деятельности. Другие ученые, например известный американский психолог Уильям Джеймс, встретили в штыки саму идею о возможности количественного подхода в психологии. У. Джеймс писал: «... ощущения как таковые вообще не имеют величины... Наше ощущение розового цвета наверняка не является «частью» ощущения красного... Одно ощущение не может быть суммой или произведением других. Если бы это было возможно, мы могли бы вычитать одно из другого и ощущать «остаток». Каждое ощущение представляет собой неделимую единицу»¹.

Некоторые ученые заняли компромиссную позицию в данном вопросе. Например, Ж. Дельбеф считал, что хотя ощущения сами по себе не могут быть измерены, однако субъект способен измерять разницу между ними.

И среди сторонников, и среди противников Г. Фехнера нашлись такие, которые попытались разрушить «вавилонскую башню». При

¹ Цит. по: *Лутандин В. И. Психофизическое шкалирование. Свердловск, 1989. С. 9.*

этом «подкоп» под психофизическое сооружение делался с разных сторон. Одни утверждали, что неправомерно принимать за основу правило Бутера – Вебера, поскольку оно справедливо только в области средних значений силы раздражителя, а при низких и высоких интенсивностях нарушается. Другие (а их было большинство) указывали на неправомерность дифференцирования величин ΔS и ΔR , поскольку они не являются бесконечно малыми. Наконец, третьи считали, что ΔR (субъективная величина едва заметного различия) не является постоянной. У. Джеймс, в частности, писал: «Едва заметное ощущение приращения тяжести воспринимается сильнее при добавлении нескольких фунтов к стофунтовому весу, нежели при добавлении нескольких унций к весу в один фунт. Фехнер игнорировал этот факт»¹.

В качестве альтернативы закона Г. Фехнера Ф. Брентано предложил уравнение следующего вида:

$$\Delta R/R = k \cdot (\Delta S/S).$$

Другими словами, правило Бугера – Вебера справедливо не только для физических параметров стимула ($\Delta S = k \cdot S$), но и для ощущений ($\Delta R = k'R$). Дифференцирование этого уравнения дает следующее выражение:

$$dR/R = k'/k \cdot (dS/S),$$

а интегрирование его приводит к двойной логарифмической (или степенной) зависимости типа:

$$\ln R = (k'/k) \cdot \ln S + C \text{ или } R = k'' \cdot S^{k'/k}.$$

Экспериментальные подтверждения такой формы зависимости были получены в конце XIX в. П. Бретоном, И. Меркелем и другими исследователями.

Помимо двух вышеприведенных трактовок основного психофизического закона (логарифмической и степенной форм зависимости), были предложены и другие его модификации: экспоненциальная (А. Пюттер), тангенциальная (Э. Зиннер), арктангенциальная (Г. Бенеш), фи-гамма-функция (Р. Хьюстон) и т. д.

¹ Цит. по: Лупандин В. И. Указ. соч. С. 11.

В конце XIX – начале XX в. психологами был разработан ряд методов измерения величины ощущений, не связанных непосредственно с определением дифференциальных порогов: равноделения (Дж. Плато), группировки (Е. Титченер), оценки, установки, кросс-модального подбора (С. Стивенс) и др.

Так или иначе в XX столетии арсенал психофизических методов существенно пополнился. Это, в свою очередь, привело к лучшему пониманию психофизических закономерностей и формулировке новых теорий, концепций и подходов к решению психофизической проблемы.

1.4. «Новая психофизика» С. Стивенса: подходы, методы и теоретические конструкты

В 1960 г. психологи всего мира отмечали столетие выхода в свет книги Г. Фехнера «Элементы психофизики». Руководитель лаборатории психофизики Гарвардского университета С. Стивенс выступил с речью по случаю этого юбилея. Название его доклада было явно претенциозным – «Воздадим честь Г. Фехнеру и пересмотрим его закон». Стивенс объявил основной психофизический закон Фехнера «укоренившимся недоразумением» и предложил в качестве его альтернативы степенную функцию типа

$$R = k \cdot S^n,$$

т. е. «величина ощущения пропорциональна силе раздражителя, возведенной в некоторую степень». По С. Стивенсу, экспонента n в уравнении основного психофизического закона зависит только от модальности раздражителя и может принимать значения от 0,33 (для восприятия яркости света) до 3,5 (для болевого ощущения при электрокожном раздражении). Величины показателей степени для стимулов других сенсорных модальностей укладываются в диапазоне между этими крайними значениями.

Нетрудно понять, что степенной закон С. Стивенса возник не на пустом месте. Аналогичные взгляды высказывали еще Ф. Brentано, Дж. Плато, Ж. Дельбеф и другие исследователи в конце XIX в. Справедливости ради следует отметить, что закон Стивенса возник не как результат математических спекуляций, а как следствие многочисленных экспериментов по шкалированию стимулов различной сенсорной модальности (см. гл. 3).

Логарифмическая и степенная функции – не одно и то же, хотя в некоторых случаях они могут быть достаточно близки между собой. Логарифмическая функция подразумевает, что если величина стимула меняется в геометрической прогрессии, то величина ощущения – в арифметической. Иначе говоря, равным отношениям интенсивностей соответствуют равные приращения (разницы) ощущений. Степенная же функция предполагает, что равные отношения между стимулами дают равные отношения между субъективными величинами. При этом показатель степени играет роль коэффициента пропорциональности между субъективной и физической шкалами в их логарифмическом выражении.

Если рассмотреть семейство степенных функций с разным показателем степени в простых линейных координатах (рис. 1), то можно видеть, что они значительно различаются между собой. Для тех сенсорных модальностей, где $n < 1$ (яркость света, громкость звука, интенсивность вкусового или запахового ощущения и т. д.), кривые возрастают с насыщением и прирост субъективной величины R значительно отстает от прироста интенсивности раздражителя S .

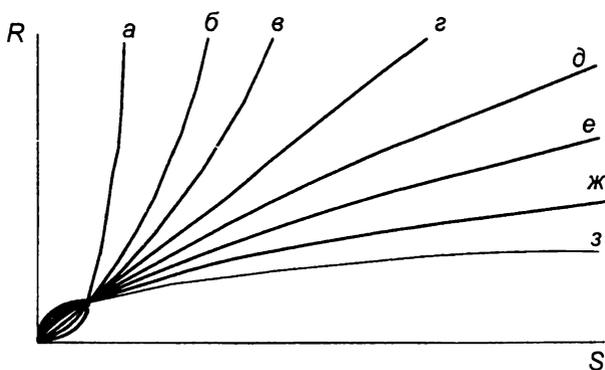


Рис. 1. Семейство степенных функций Стивенса для стимулов разной сенсорной модальности:

- а* – болевое ощущение ($n = 3,5$); *б* – ускорение ($n = 1,7$); *в* – тяжесть груза ($n = 1,3$); *г* – длина линий ($n = 1,0$); *д* – вкусовое ощущение ($n = 0,8$); *е* – громкость тонального звука ($n = 0,67$); *ж* – яркость точечного источника света ($n = 0,5$); *з* – яркость светового пятна ($n = 0,33$)

Это имеет немаловажное значение, если учесть, что человек воспринимает стимулы этих модальностей в достаточно широком физическом диапазоне (например, для интенсивности звука этот диапазон составляет около 6, а для яркости света – 8–9 логарифмических единиц). Степенное преобразование позволяет зрительной и слуховой системам работать в наиболее экономичном режиме, «сжимая» физические шкалы при их трансформации в шкалы ощущений, суждений, оценок.

Для других сенсорных модальностей (тяжесть груза, величина ускорения, собственное мышечное усилие) величина экспоненты функции немногим больше единицы ($n = 1,2 \div 1,4$), т. е. в этом случае прирост ощущения опережает прирост физических величин. По-видимому, это играет определенную защитную, охранительную роль, препятствуя чрезмерной перегрузке проприорецепторов. Еще более отчетливо это проявляется для болевого ощущения ($n = 3,5$), диапазон восприятия которого (от весьма незначительной до невыносимой боли) не превышает одной логарифмической единицы. Действительно, есть ли необходимость для организма воспринимать боль в широком физическом диапазоне, тогда как болевое ощущение само по себе сигнализирует о каком-то неблагополучии в организме? Таким образом, величина показателя степени функции Стивенса, по-видимому, играет важную роль в смысле адекватного соотношения друг с другом физических и психических (субъективных) величин.

Наконец, необходимо упомянуть о том, что некоторые сенсорные модальности (длительность воздействия, линейные размеры, удаленность) обнаруживают величину экспоненты, близкую к единице:

$$r = k \cdot S^1 = k \cdot S.$$

Это те характеристики сенсорной стимуляции, которые должны восприниматься наиболее адекватно, что называется «один к одному», без каких-либо искажений. Если бы пространственные и временные параметры сенсорного раздражителя претерпевали нелинейные искажения, наше поведение и деятельность вряд ли были бы адекватными и целесообразными.

С. Стивенс провозгласил свою психофизику «новой» – в противовес «классической» психофизике Г. Фехнера. В основе новой психофизики лежат прямые методы оценки раздражителей (в отличие от «косвенных» методов исследования, основанных на измерении едва

заметных различий, которые ведут свое начало от М. Бугера и Э. Вебера). В то же время, противопоставляя свой степенной закон логарифмическому закону Г. Фехнера, С. Стивенс не учел одного весьма важного обстоятельства. Как будет показано далее (см. гл. 3), при использовании методов шкалирования (общепринятые методы исследования в «новой» психофизике) речь идет не столько об ощущении, вызываемом тем или иным раздражителем, а о суждениях, оценках, ранжировании, категоризации стимулов и т. д., которые, кроме сенсорно-перцептивных процессов, вовлекают (в большей или меньшей степени) мыслительные, интеллектуальные операции субъекта.

Таким образом, противопоставление «новой» психофизики «классической», степенного закона логарифмическому вряд ли можно считать правомерным, поскольку они отражают разные стороны, разные механизмы работы сенсорных систем.

1.5. Современное состояние и актуальные проблемы психофизики

Отыскание универсальной формулы основного психофизического закона – далеко не единственная задача, которая решалась исследователями за сто с лишним лет существования психофизики. Изучение закономерностей восприятия в околопороговой области, психофизических механизмов пространственной и временной суммации в разных сенсорных системах, разработка разнообразных приемов и методов психофизического исследования, конструирование психофизических моделей, описывающих «субъективное пространство» для разных видов чувствительности, развитие и совершенствование концептуального и математического аппарата – вот далеко не полный перечень проблем, решаемых в психофизических лабораториях всего мира.

В современной психофизике за последние десятилетия развиваются новые направления, пересматриваются классические парадигмы науки. Эти изменения методологического и теоретического плана обусловлены противоречиями между накопленными экспериментальными данными и невозможностью их интерпретации с точки зрения традиционной психофизики. Рассмотрим некоторые новые подходы и направления в современных исследованиях.

Как известно, традиционной психофизикой ставится задача построения наиболее точной «физической» модели воспринимаемой ре-

альности. Экспериментальная парадигма классической науки предполагает создание конкретного набора стимулов, физические параметры которых могут контролироваться во время эксперимента. Экспериментатор формирует такие стимулы, стараясь в целях обеспечения «чистоты эксперимента» максимально абстрагироваться от возможных влияний неучтенных факторов среды. Следует отметить особо, что характеристики стимулов, их предварительное физическое описание, формируются самим экспериментатором. Точно также экспериментатор определяет измеряемые параметры «субъективного».

Созданная по образу и подобию естественных наук, психофизика унаследовала от них не только ориентацию на экспериментальный метод и идею измеримости психических явлений (это, безусловно, положительный момент), но и некоторые ограничения, свойственные методологии естественных наук. В частности, от естественных наук психофизика логично унаследовала так называемый *постулат непосредственности*, утверждающий, что причина (действующий стимул) всегда однозначно определяет следствие – качество и величину возникающего у человека ощущения. Такой подход и поныне остается ведущим направлением психофизических работ за рубежом и фундаментально развивается в российской науке в школе Е. Н. Соколова.

Следствием такого неадекватного использования постулата непосредственности в психофизике явилось недостаточное внимание к собственной активности наблюдателя как субъекта психофизического измерения и соответственно сосредоточение исследователей на стимульных, процедурных и вычислительных проблемах.

Другое ограничение на психофизические исследования накладывает методология выделения и анализа «чистых ощущений», свободных от действия несенсорных факторов).

Таким образом, можно сказать, что в психофизике (особенно в зарубежной) до сих пор преобладает *«объектная парадигма»*. В рамках этой парадигмы цель исследования заключается в количественном анализе сенсорных измерений в зависимости от изменения физических характеристик стимула, заданного извне и строго контролируемого экспериментатором. При этом психофизическое измерение уподобляется измерению приборному, а деятельность наблюдателя описывается математическими моделями, подобно работе технических систем. Психофизическое измерение здесь стремятся макси-

мально «очистить» от влияния особенностей наблюдателя (последние рассматриваются как артефакты исследования), т. е. стараются не выходить за рамки упомянутого выше «постулата непосредственности».

Ограниченность объектного подхода обнаружилась вскоре после того, как Г. Т. Фехнер сформулировал основы психофизической методологии. Авторы эмпирических исследований стали указывать на наличие «артефактов», т. е. на влияние субъективного фактора. В. Вундт отметил влияние «ожидания» и «привыкания» на величину (1913), С. Фернбергер – сильное влияние инструкции (1930), Ч. Персе и Дж. Ястров (1885), Дж. Гилфорд (1954) указывали на роль субъективной уверенности и т. д. Применение прямых методов шкалирования выявило большие индивидуальные различия в степени крутизны субъективных психофизических шкал во всех модальностях ощущений. Это обстоятельство, кстати, было одним из серьезных аргументов критики методологии психофизики С. Стивенса со стороны французской школы психологов (А. Пьерон, 1966). В соответствии с жесткой методологией «объектной психофизики» эти «ошибки» и «артефакты» (как следствие проявления активности субъекта), не укладывавшиеся в строгие рамки «постулата непосредственности» (энергия стимула → величина ощущения), подлежали устранению. Исследователи пытались процедурно ограничить их появление, т. е. как-то «очистить» (за счет введения специальных методов обработки «сырых» данных) показатели сенсорной чувствительности от влияния так называемых «несенсорных факторов».

Вариабельность полученных показателей объяснялась исследователями соответствующей нестабильностью стимульной энергии или внутренних состояний субъекта, но анализ вклада этого внутреннего состояния ограничивался простой констатацией его природы, не имеющей отношения к сенсорному процессу.

В отечественной науке наряду с традиционным психофизическим анализом сложился и развивается экспериментально-теоретический подход к наблюдателю как активному субъекту психофизического измерения. Такой подход получил название *субъектной психофизики*. Он базируется на принципе активности человека как субъекта психической деятельности и выражается в отказе от двух основных классических психофизических парадигм: парадигмы подобия психофизического и приборного измерений и парадигмы принципиальной схожести работы сенсорной системы у различных лиц.

Основываясь на достижениях количественного психологического анализа, *психофизика активного субъекта* переносит акцент на изучение внутренней обусловленности результатов сенсорных измерений активностью субъекта. Важным этапом на пути выяснения природы индивидуальных различий стали исследования, в которых было показано, что больший или меньший рост силы ощущений – не артефакт, не случайность, а достаточно устойчивая индивидуальная характеристика, распространяющаяся на ощущения разных модальностей. Огромный вклад в развитие этого нового направления внесли исследования отечественных ученых: К. В. Бардина, Ю. М. Забродина, М. Б. Михалевской, А. Н. Гусева, И. Г. Скотниковой и др. Исследование роли интра- и интериндивидуальных различий составляет предмет *дифференциальной психофизики*.

Интраиндивидуальные различия проявляются в специфике решения испытуемым сенсорной задачи в ходе одного опыта или от опыта к опыту под влиянием случайных или специально контролируемых в эксперименте факторов. Например, в изменении чувствительности под влиянием монотонии, утомления, времени суток, депривации сна и т. д.

Интериндивидуальные различия обусловлены специфическим влиянием индивидуально-психологических различий испытуемых на эффективность выполнения задачи и их взаимодействием с условиями, в которых она решается. Например, при сравнении групп испытуемых с различной степенью выраженности экстраверсии, нейротизма, мотивации достижения или когнитивных особенностей в ходе опыта проявляются различия в их сенсорных способностях и характере работоспособности.

В рамках объектной психофизики экспериментатор создает, по возможности, «простые» стимулы, описываемые минимальным числом параметров. В результате испытуемому предъявляются стимулы, ничего не имеющие общего с событиями, происходящими в естественной среде. Исследование проводится на основании допущения о том, что каждому стимулу соответствует определенная реакция (или совокупность реакций) испытуемого, и что возможно создать процедуры, позволяющие «измерять» эту «субъективную» сторону.

Задачей эксперимента здесь является построение наиболее точной «физической» модели воспринимаемой реальности. Психофизик

иногда принимает физическую модель за реальность, за действительные события, происходящие в природе, и жестоко ошибается. С целью сокращения числа параметров, используемых при интерпретации результатов, экспериментатор вынужден использовать упрощенные физические описания объекта. А упрощая физическую модель, можно потерять значимые для человеческого восприятия качества и тем самым нарушить требование точного описания используемых в эксперименте стимулов.

Этот замкнутый круг обусловлен исходной психофизической парадигмой противопоставления субъекта и якобы независимого от него объекта.

В повседневной жизни, однако, человек имеет дело, как правило, не с простыми, а сложными сигналами, отношение к которым и их оценка могут быть различными в зависимости от ситуации, мотивов, установок, общего состояния организма и т. д. Ответная реакция на такие стимулы будет отличаться даже у одного и того же человека. Таким образом, классическая психофизика с ее искусственными ситуациями лабораторного эксперимента в силу своей ограниченности не дает полного представления о реальных ощущениях человека. Для естественных ситуаций трудно построить физическую модель происходящих событий на основании исходно заданных и внешне измеряемых параметров. Возникает необходимость пересмотра экспериментальной парадигмы исследования. В центре внимания оказываются не отдельные характеристики восприятия, а их функциональный интеграл – *воспринимаемое качество* событий, которое определяет систему субъективно значимых свойств события, образующих ядро перцептивного образа. В воспринимаемом качестве отражаются одновременно как свойства события, так и включенность в это событие самого субъекта (активного наблюдателя, слушателя и т. п.). В воспринимаемом качестве содержатся указания на то, какие элементы объективной реальности являются для субъекта значимыми для составления целостного представления о внешнем мире и для адекватного взаимодействия с ним.

Получение ответа на вопросы о том, *что* воспринимается человеком при его активном взаимодействии со средой и *как* изучать воспринимаемое качество, дает важную практическую перспективу. Очевидно, что этот подход может быть использован для оценки потреби-

тельского качества разнообразных товаров. При этом могут, например, быть выявлены критерии предпочтения отдельных товаров или услуг на конкурентном рынке. Работы в этом направлении активно ведутся в Институте психологии РАН под руководством В. Н. Носуленко.

В заключение исторического обзора развития и становления психофизики хотелось бы сказать следующее. В наш век голого прагматизма тенденции чисто прагматического плана не миновали и психофизику. В последние годы остро чувствуется отход от решения базовых, фундаментальных проблем и внедрение психофизических идей в прикладные области психологии (психоакустика, инженерная, возрастная, клиническая психология, психология рекламы и др.). С одной стороны, весьма отраднo, что психофизика, возникшая как чисто теоретическая, мировоззренческая дисциплина, повернулась лицом к сиюминутным, злободневным нуждам человечества. С другой стороны, следует с сожалением констатировать некоторое снижение интереса не только к теоретической, но и к экспериментальной психофизике. Но такие исследования не должны оставаться в тени, так как ценность их для современной науки огромна, она не должна быть обусловлена сиюминутными, чисто прагматическими проблемами. Это не только важнейший элемент психологической культуры, это основа для решения общечеловеческой и философской проблемы – проблемы познания природы человека.

Вместе с тем в последние годы наметилась отрадная тенденция взаимного проникновения психофизики, нейрофизиологии, физиологии сенсорных систем, дифференциальной, когнитивной психологии и др. То, что ранее казалось не связанным между собой, сегодня находит точки пересечения, например, ресурсный подход к исследованию познания Д. Канемана и субъектный подход психофизики. Без ресурсного подхода невозможно оценить энергетический аспект психической деятельности. Таким образом, современная психофизика наряду с другими направлениями психологии и другими отраслями наук вносит весомый вклад в решение глобальной проблемы взаимодействия человека с окружающим миром.

Глава 2. Психофизика – 1. Проблема порогов чувствительности

2.1. Классическое и современное понятие порога: эволюция взглядов

2.1.1. Понятие порога в классической психофизике

Понятие порога было введено немецким философом И. Ф. Гербартом в начале XIX в. Порог он определял как границу между сферой сознания и сферой бессознательного. Г. Фехнер конкретизировал это понятие следующим образом: *абсолютный порог чувствительности* есть физическая величина раздражителя, соответствующая границе между стимулами, вызывающими и не вызывающими субъективное ощущение. Другими словами, если величина сенсорного раздражителя ниже пороговой, то он ни при каких условиях не будет вызывать ощущения, если же она выше таковой, то в любом случае стимул будет вызывать у человека субъективное ощущение (рис. 2, а). Таким образом, порог рассматривается как нижняя граница чувствительности, как барьер, который должен быть преодолен для того, чтобы возникло ощущение.

Разностный (дифференциальный) порог по Г. Фехнеру – это та минимальная разница между раздражителями, выше которой субъект замечает различие между ними, а ниже которой эти раздражители кажутся ему одинаковыми (рис. 2, б). Иначе говоря, раздражение или различие в раздражениях может возрастать до известных пределов, не вызывая ощущения; но, начиная с определенной границы, оно начинает ощущаться и его возрастание тоже.

Классическая концепция порога, сформулированная Г. Фехнером и его последователями, была подвергнута критике уже в самом начале ее существования. Одна из главных причин этого – экспериментально установленный факт, что даже у одного и того же индивида порог не является строго постоянной величиной. В опыте экспериментатору всегда приходится иметь дело с разбросом значений измеряемой пороговой величины. По этому поводу С. Стивенс писал, что как правило, порог не является инвариантным во времени, в тех или иных пределах он непрерывно меняется. То, что фиксируется как по-

рог, есть, таким образом, произвольная точка внутри области вариативности.

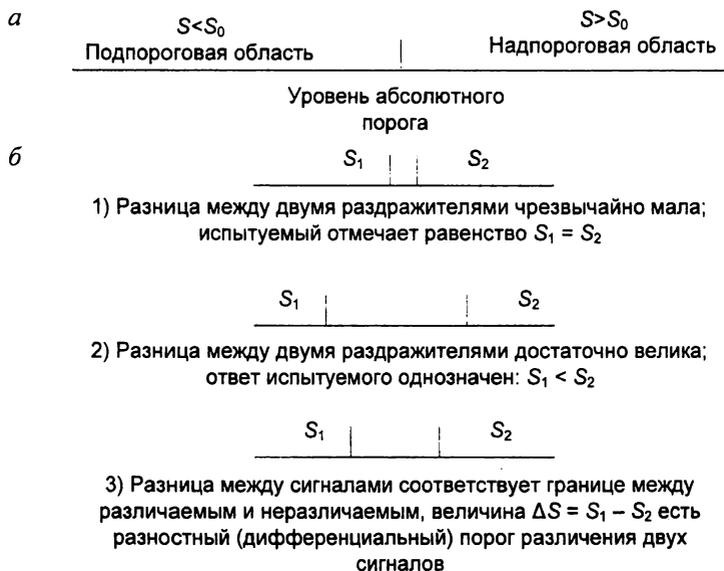


Рис. 2. Трактовка порога в классической психофизике:

a – пороговая модель обнаружения сигнала (абсолютный порог как граница между ощущаемым и неощущаемым); *b* – пороговая модель различения сигналов (разностный порог как граница между различением и неразличением двух сигналов)

Факт изменчивости пороговых величин интерпретировался по-разному. Если Г. Фехнер и его последователи признавали факт флуктуации порога во времени и разрабатывали достаточно сложные статистические приемы его вычисления, то их оппоненты делали вывод о неправомерности самого понятия порога. В качестве альтернативы пороговой концепции многие исследователи (Ж. Дельбеф, И. Мюллер, Дж. Ястров и др.) предложили концепцию непрерывности сенсорного ряда. Согласно последней ощущение представляет собой не дискретный, а непрерывный континуум. По мнению Дж. Ястрова, ощущение является непрерывной функцией, зависящей от двух переменных: интенсивности раздражителя и степени «предрасположенно-

сти» к восприятию раздражителя (т. е. состояния сенсорной системы в данный момент времени). Степень предрасположенности к восприятию зависит от многочисленных колебаний состояния, которые всегда влияют на психический процесс, т. е. от случайного сочетания множества трудно учитываемых факторов (степень утомления, концентрация внимания, понимание инструкции, уровень мотивации (интереса) к эксперименту и т. д.).

Согласно концепции непрерывности сенсорного ряда влияние интенсивности раздражителя приводит к тому, что зависимость появления ощущения от силы раздражителя будет иметь вид возрастающей функции, а влияние благоприятных и неблагоприятных факторов скажется в том, какой конкретно вид будет иметь эта функция. Так, если баланс случайных факторов имеет вид нормального распределения (рис. 3, а), то зависимость между вероятностью появления ощущения (P) и интенсивностью раздражителя (I) будет изображаться кумулятивной психометрической кривой (рис. 3, б).

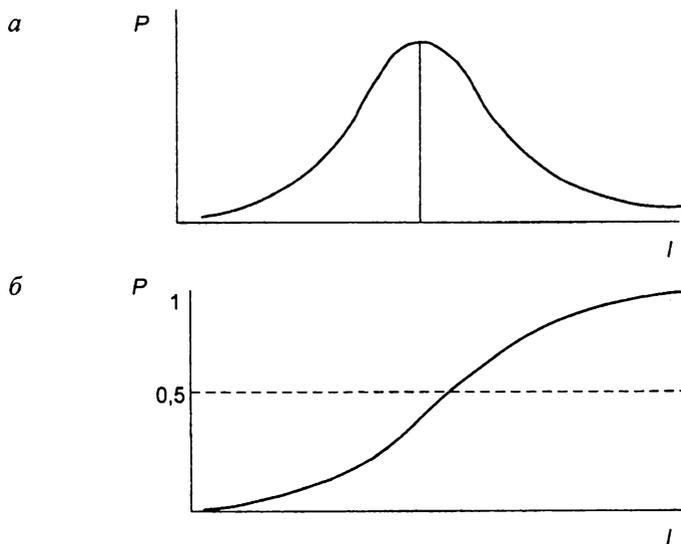


Рис 3. Распределение мгновенных значений порога (а) и соответствующая такому распределению психометрическая кривая (б)

Концепция непрерывности отрицает значение порога в том смысле, что он представляет собой фиксированную точку на физической оси. При большом числе действующих факторов положение этой точки будет постоянно варьировать внутри некоторой пороговой области и подчиняться нормальному распределению. Таким образом, абсолютный порог есть не статическая, а динамическая величина, которая может быть вычислена лишь в терминах вероятностной теории. По сути дела, сторонники концепции непрерывности признают порог лишь как операциональное понятие. (Так, на вышеуказанной кривой (см. рис. 3, б) порог соответствует точке $P = 0,5$, т. е. равной вероятности того, что сигнал будет или не будет обнаружен.) То же самое относится и к разностному порогу, который может интерпретироваться как точка 50 %-го различия или неразличия двух сигналов.

Одной из достаточно плодотворных попыток примирения двух позиций – дискретности и непрерывности сенсорного ряда – является так называемая нейроквантовая теория, разработанная в 20–40-е гг. XX в. Э. Дж. Борингом, Л. Троландом, С. Стивенсом и другими исследователями. Суть теории состоит в том, что функциональной единицей нервной (в частности сенсорной) системы является нервный квант (NQ). Каждый отдельный NQ срабатывает по закону «все или ничего», как только достигнут его порог. Поскольку таких квантов достаточно много, то психометрические кривые, как правило, имеют S-образный вид и не обнаруживают выраженных точек «перелома».

На существование нервного кванта указывает, в частности, то, что у некоторых испытуемых при определенных условиях эксперимента наблюдаются линейные психометрические функции. Они были обнаружены еще в 1940-х гг. С. Стивенсом, К. Морганом и В. Фолькманом. В этом случае вероятность обнаружения (различения) сигнала в пороговой области имеет не S-образный, а линейный вид, причем ширина пороговой области может быть определена с достаточно большой точностью.

Нейрофизиологическим аналогом NQ может являться величина активности одиночного рецептора или одиночного нервного волокна (возможно, это один-единственный нервный импульс, который несет «квант» сенсорной информации).

Тот факт, что линейные психометрические функции наблюдаются в эксперименте далеко не всегда, может быть объяснен наличи-

ем посторонних факторов (например, изменением функционального состояния организма в процессе опыта и т. д.).

Ни концепция дискретности, ни концепция непрерывности сенсорного ряда не могут объяснить обнаруженный психофизиками феномен ложной тревоги (ФЛТ). Феномен заключается в том, что наблюдатель (испытуемый) обнаруживает сигнал (раздражитель) в пустой пробе, т. е. тогда, когда он фактически не предъявляется. Делались попытки объяснить этот феномен влиянием каких-то несенсорных факторов (попытками угадывания или психологической установкой испытуемых на восприятие сигнала и т. п.). В практическом плане случаи ФЛТ расценивались как артефакты и исключались из статистической обработки.

Свое убедительное объяснение ФЛТ нашел лишь в современной психофизике, причем эта задача была успешно решена как сторонниками дискретности, так и сторонниками непрерывности сенсорного ряда.

2.1.2. Пути решения пороговой проблемы в современной психофизике

В 50-е гг. XX в. пороговая проблема стала решаться несколькими путями. Это стало возможным благодаря появлению и развитию новых теорий и совершенствованию математического аппарата, используемого в психофизических исследованиях. Рассмотрим некоторые из современных теорий и концепций порога.

Высокопороговая теория Г. Блэквелла. Теория основывается на том, что порог есть фиксированная критическая точка на сенсорной оси. Стимул, превышающий пороговое значение, всегда вызывает ощущение; подпороговый стимул не может вызвать ощущение ни при каких обстоятельствах. Другими словами, понятие порога у Г. Блэквелла не отличается от классического. Феномен ложной тревоги Блэквелл расценивает как явление несенсорной природы, связанное с психологической установкой наблюдателя (угадывание, стремление показать более высокий результат и т. д.).

По мнению Г. Блэквелла, вероятность правильного положительного ответа (вероятность обнаружения сигнала $P_{об}$) складывается из двух составляющих:

1) вероятности истинного обнаружения (P_n) надпорогового сигнала;

2) вероятности случайного угадывания ($P_{уг}$), когда ответ испытуемого, данный наугад, случайно совпал с предъявлением нижепорогового стимула:

$$P_{об} = P_{и} + P_{уг}.$$

Если $P_{и}$ – вероятность того, что предъявленный сигнал выше порогового значения, то вероятность того, что стимул окажется ниже порога, будет $1 - P_{и}$. Вероятность положительного ответа при отсутствии стимула равна $P_{лт}$. Совместная вероятность этих двух независимых событий (ложная тревога при подпороговом значении сигнала) равна их произведению: $P_{лт} \cdot (1 - P_{и})$. Следовательно, вероятность угадывания составляет

$$P_{уг} = P_{лт} \cdot (1 - P_{и}).$$

Отсюда

$$P_{об} = P_{и} + P_{лт} \cdot (1 - P_{и}).$$

Произведя некоторые алгебраические преобразования, получаем значение истинного обнаружения:

$$P_{и} = (P_{об} - P_{лт}) / (1 - P_{лт}).$$

Эта формула получила наименование поправки на случайный успех.

Теория обнаружения сигнала (ТОС). В основе теории обнаружения сигнала лежит положение о том, что сенсорное впечатление (ощущение) складывается из эффекта действия стимула и собственно «шума» сенсорной системы (рис. 4, по оси абсцисс – величина сенсорного эффекта; по оси ординат – плотность вероятности, с которой этот эффект достигает каждой величины).

Кривая $f(x/n)$ отражает появление сенсорного эффекта « x » в результате события « n » (*noise* – шум), кривая $f(x/s)$ описывает появление сенсорного эффекта в результате события « s » (*signal* – сигнал). На достаточно широком участке, соответствующем области перекрытия кривых, сенсорный эффект, имеющий одну и ту же величину, может возникнуть в результате как появления сигнала, так и действия одно-

го шума. В этой ситуации перед наблюдателем стоит задача – на основании возникающего сенсорного эффекта, который меняется только по величине, установить, элементом какого распределения является этот эффект – смеси сигнала с шумом или одного фонового шума.

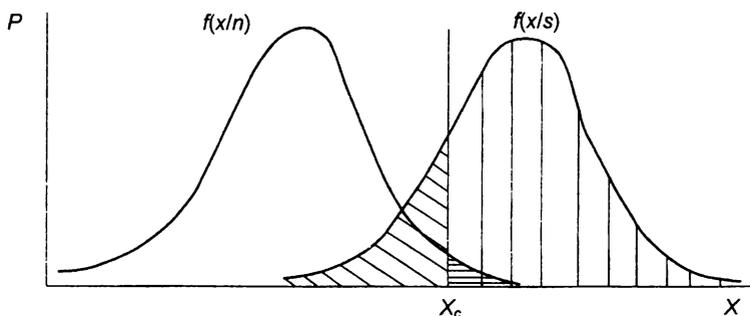


Рис. 4. Модель, иллюстрирующая выделение сигнала из сенсорного шума

В данном случае испытуемый определяет некоторый критерий (x_c), т. е. некоторое критическое значение сенсорного эффекта. Если наблюдаемый эффект оказывается выше критерия, испытуемый решает, что сигнал был, если ниже критерия – что был только шум.

Таким образом, точка критерия x_c делит всю область наблюдаемых эффектов на два подмножества. Одно подмножество (наблюдение в нем приводит к решению, что сигнал был) находится справа от x_c ; другое (наблюдение в нем приводит к решению, что сигнала нет) – слева от x_c .

Система реакций испытуемого включает в себя четыре возможных исхода:

1) Y/s – сигнал был, ответ «да»; $P(Y/s)$ есть «попадание» (обнаружение сигнала), ему соответствует площадь под кривой $f(x/s)$ справа от x_c (вертикальная штриховка);

2) N/s – сигнал был, ответ «нет»; $P(N/s)$ – пропуск сигнала соответствует площади под кривой $f(x/s)$ слева от x_c (косая штриховка);

3) Y/n – был только шум, испытуемый ответил, что был сигнал; $Pf(Y/n)$ – ложная тревога; площадь под кривой $f(x/n)$ справа от x_c (горизонтальная штриховка);

4) N/n – был шум, испытуемый ответил, что сигнала не было; $P(N/n)$ – «покой»: площадь под кривой $f(x/n)$ слева от x_c .

Вполне понятно, что эти исходы будут в значительной степени зависеть от взаимного расположения двух распределений и от положения критерия x_c на сенсорной оси. Так, для того чтобы избавиться от ложных тревог, необходимо максимально сместить x_c вправо. Однако при этом значительно увеличится число пропусков. Аналогично, для того чтобы максимизировать число обнаружений, необходимо сместить x_c влево, следовательно, увеличится число ложных тревог.

Если для наблюдателя одинаково важны все 4 категории ответов (или ни в одной из них он специально не заинтересован, или, наконец, сигнал и шум с одинаковой вероятностью могут оказаться в любой пробе), то оптимальное значение критерия будет соответствовать точке пересечения кривых $f(x/s)$ и $f(x/n)$.

Теория обнаружения сигнала, по существу, отрицает понятие порога, основываясь на концепции непрерывности сенсорного ряда.

В качестве показателя возможности обнаружения сигнала, в зависимости от параметров распределений $f(x/n)$ и $f(x/s)$, предлагается использовать величину d' , которая определяется следующим образом:

$$d' = (m_s - m_n)/\sigma,$$

где m_s есть $M\{s+n\}$ – математическое ожидание (вероятность) сенсорных эффектов, вызываемых действием смеси сигнала с шумом;

m_n есть $M\{n\}$ – математическое ожидание эффектов, вызываемых шумом;

σ – стандартное отклонение рассматриваемого распределения (в простейшем случае предполагается, что $\sigma_s = \sigma_n$).

Зависимость результатов, показываемых испытуемым, от вышеуказанных факторов (m_s , m_n , σ) получила название *рабочей характеристики приемника* (РХП). Рабочая характеристика приемника – это зависимость вероятности попадания от вероятности появления ложных тревог: $P(Y/s) = f[P(Y/n)]$. Другие два исхода в РХП не фигурируют, поскольку могут быть выражены через вышеуказанные вероятности:

$$P(N/s) = 1 - P(Y/s) \text{ и } P(N/n) = 1 - P(Y/n).$$

Теория обнаружения сигнала и высокопороговая теория Блэквелла подразумевают различные формы кривых РХП (в первом случае криволинейные, во втором – прямолинейные) (рис. 5).

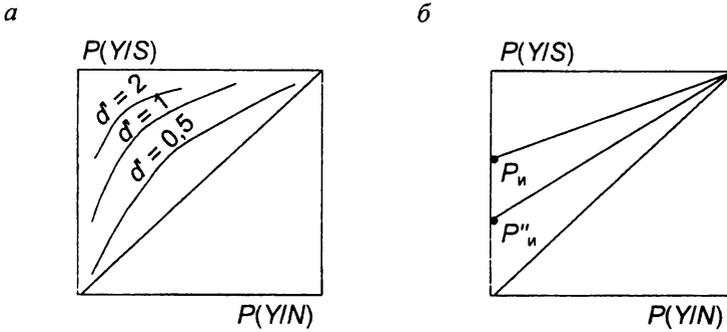


Рис. 5 Кривые РХП, предсказываемые теорией обнаружения сигнала (а) и высокопороговой теорией Блэквелла (б)

Экспериментальная проверка справедливости той и другой теории дала больше доказательств в пользу теории обнаружения сигнала, так как в большинстве случаев кривые РХП в самом деле не являются линейными. Тем не менее ряд исследователей получили данные в пользу высокопороговой теории. Таким образом, проблема непрерывности-дискретности сенсорного ряда с точки зрения вышеуказанных теорий на сегодняшний день остается открытой.

Теория двух состояний (ТДС). Теория двух состояний разработанная Р. Д. Люсом в начале 1960-х гг., является в некотором смысле компромиссной между теориями, признающими дискретность, и теориями, отстаивающими непрерывность сенсорного ряда. С одной стороны, ТДС признает существование порога, выше которого все сенсорные раздражители вызывают одно и то же состояние $D+$ (*detection* – обнаружение сигнала). Все раздражители, которые оказываются ниже порога, соответственно дают состояние $D-$. Кроме того, Р. Д. Люс вводит допущение, что при отсутствии сигнала вероятность превышения порога не равна нулю. Отсюда следует, что в какой-то части пустых проб может возникнуть состояние $D+$. Таким образом, функции $f(x/s)$ и $f(x/n)$ будут иметь следующий вид (рис. 6).

Р. Д. Люс принимает также, что ответ испытуемого определяется не только двумя возможными сенсорными состояниями. Предполагается, что существует еще и независимый от сенсорных процессов механизм угадывания, причем испытуемый может использовать этот механизм двояким образом. В одном случае он избирает стратегию риска, т. е. стремится обнаружить как можно больше сигналов. Естественно, что при этом растет и число ложных тревог. Другая стратегия – стратегия осторожности, когда испытуемый стремится минимизировать число ложных тревог. В любом из этих случаев возможны 4 исхода: 1) $P(D(+)/s) = q_s$; 2) $P(D(-)/s) = 1 - q_s$; 3) $P(D(+)/n) = q_n$; 4) $P(D(-)/n) = 1 - q_n$. Кривые РХП в данном случае будут иметь вид ломаной линии (рис. 7, а), на которой положение «точки перелома» (q_s, q_n) будет определяться стратегией испытуемого в данном конкретном эксперименте.

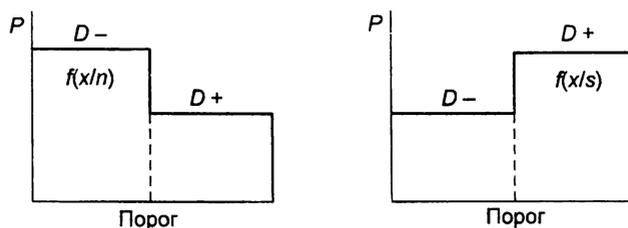


Рис. 6. Функции $f(x/s)$ и $f(x/n)$ согласно теории двух состояний Люса

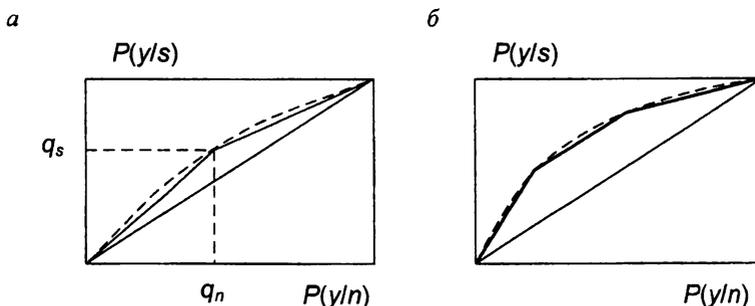


Рис. 7. Форма кривых РХП, предсказываемая теорией двух состояний Люса (а) и «двухпороговой» моделью Грина (б)

Одной из модификаций ТДС является «двухпороговая» модель, предложенная Д. М. Грином. Она предусматривает, кроме $D+$ и $D-$, некоторую область неопределенности. В этом случае кривая РХП будет иметь вид функции с двумя точками перехода (рис. 7, б), которая больше согласуется с РХП, предсказываемой теорией обнаружения сигнала.

Низкопороговая теория. Теория, предложенная Дж. Светсом, основана на том, что экспериментальные кривые РХП часто являются асимметричными. Согласно психофизической модели ТОС такая форма РХП может быть получена, если у распределений $f(x/s)$ и $f(x/n)$ окажутся разные дисперсии (рис. 8).

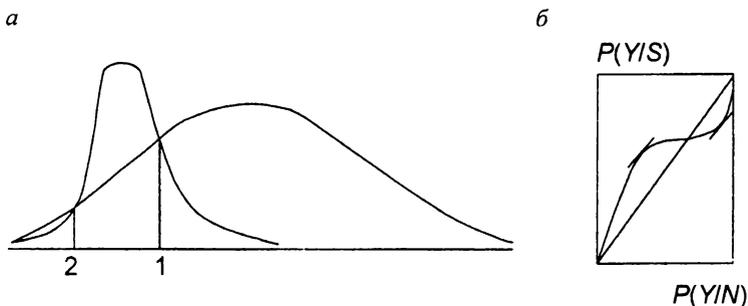


Рис. 8. Форма РХП, предсказываемая теорией обнаружения сигнала для случая неравновариативности распределений $f(x/n)$ и $f(x/s)$: а – распределения $f(x/n)$ и $f(x/s)$ (в точках 1 и 2 РХП наклон кривой равен единице); б – кривая РХП, соответствующая этим распределениям

Идея Дж. Светса о низком пороге состоит в том, что порог лежит ниже точки, соответствующей 50%-й вероятности обнаружения сигнала.

Существуют и другие модели и теории, претендующие на решение пороговой проблемы (в частности модель Р. Ч. Аткинсона, стохастическая рекуррентная модель Ю. М. Забродина и др.), которые не получили столь широкого распространения в психофизике, как предыдущие, и поэтому рассматриваться не будут.

Современное состояние проблемы не позволяет отдать предпочтение принципу дискретности или принципу непрерывности. Исследования последних десятилетий показали, что пороговая проблема имеет отношение не только к сенсорной чувствительности как таковой, но и к чисто психическим процессам и состояниям индивида.

Другими словами, определяющими факторами в пороговых измерениях являются не только величина сигнала и состояние рецепторных аппаратов, но и концентрация и устойчивость внимания испытуемого, его установка на восприятие, выбор оптимальной стратегии и критерия обнаружения сигнала и т. д.

2.2. Методы исследования порогов чувствительности

Для определения абсолютных и дифференциальных порогов чувствительности в психофизике используются шесть основных методов исследования: 1) метод минимальных изменений; 2) метод постоянных раздражителей; 3) метод средней ошибки; 4) метод «да – нет»; 5) метод оценки; 6) метод вынужденного выбора.

2.2.1. Метод минимальных изменений

Метод минимальных изменений (метод пределов, метод границ) является одним из наиболее простых (в плане экспериментальной процедуры и обработки полученных результатов) психофизических методов. Относительно измерения *абсолютных порогов чувствительности* суть его заключается в следующем. Через определенные промежутки времени (как правило, после предупредительного сигнала иной модальности) испытуемому предъявляется сенсорный раздражитель, который с каждым «шагом» (предъявлением) весьма незначительно уменьшается (убывающая, или нисходящая, серия) или увеличивается (возрастающая, или восходящая, серия). Испытуемый должен обнаружить границу исчезновения (в первом случае) или появления сигнала (во втором). Ответы могут даваться либо в вербальной форме («да – нет», «слышу – не слышу» и т. д.), либо нажатием на соответствующую кнопку. За пороговое значение принимается среднее значение интервала между осязаемым и неосязаемым раздражителем (рис. 9).

Как правило, нисходящие и восходящие серии (убывание и возрастание сигнала) многократно чередуются, а значение порога соответствует среднему арифметическому значению нескольких серий:

$$S_{\text{пор}} = \sum S_0 / n,$$

где n – число серий;

S_0 – граница перехода от категории «осязаю» к категории «не осязаю», или наоборот.

В некоторых случаях (если позволяют возможности стимулирующей аппаратуры) раздражитель изменяется не дискретно, а непрерывно. Задача испытуемого в этом случае несколько изменяется: он должен дать ответ (нажать на кнопку) в тот момент, когда стимул, по его мнению, исчез (в нисходящей серии) или появился (в восходящей). При использовании этого варианта экспериментатор фиксирует пороговую точку в момент ответа испытуемого (вербального или инструментального).

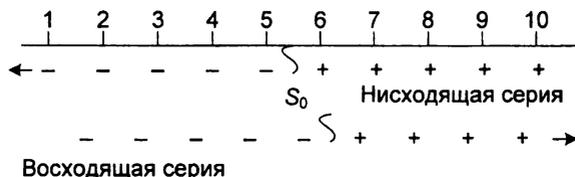


Рис. 9. Определение абсолютного порога методом минимальных изменений

При использовании метода минимальных изменений должен выполняться ряд требований:

1. При дискретном предъявлении сигналов ряды стимулов должны варьировать по числу «шагов», т. е. «точка отсчета» (первоначально предъявляемый сигнал) должна варьировать от серии к серии. Величина «шага» изменений раздражителя при этом должна оставаться постоянной. Такая постановка эксперимента препятствует выработке у испытуемого установки на то, что стимул должен исчезнуть (или появиться) на определенном по счету «шаге».

2. В опыте экспериментатор выбирает оптимальную величину «шага» между стимулами, а следовательно, количество «шагов» в каждой серии. И то и другое не должно быть большим: в первом случае определение порога будет недостаточно точным, во втором – увеличение числа «шагов» может привести к утомлению и снижению концентрации внимания испытуемого.

3. Ответы испытуемого даются, как правило, по двухкатегорийной системе. Иногда допускается использование промежуточной категории («не уверен», «не знаю» и пр.). В этом случае за точку порога принимается среднее значение интервала при переходе от положительной (отрицательной) к нейтральной категории.

4. Желательными являются предварительные (тренировочные) опыты, в которых испытуемый осваивает методику эксперимента, а экспериментатор, в свою очередь, выбирает оптимальный режим предъявления сигналов, величину шагового интервала и т. д.

Важным при использовании метода минимальных изменений является то, что пороговые точки в нисходящей и восходящей сериях часто не совпадают между собой. Если пороговое значение в нисходящей серии ниже, чем в восходящей, это свидетельствует о *тенденции привыкания*; при обратном соотношении имеет место *тенденция (стратегия) ожидания* исчезновения или появления сигнала. Использование пар нисходящих и восходящих серий и соответственно усреднение значений в этих сериях в определенной мере нивелирует ошибки, связанные с привыканием к сигналу или ожиданием его.

При исследовании *дифференциальных порогов* (в отличие от измерения абсолютной чувствительности) метод минимальных изменений предполагает одновременную или последовательную подачу двух раздражителей, один из которых (в пределах одной серии) является постоянным и выступает в качестве стандарта, а второй раздражитель (тестовый стимул) изменяется в порядке возрастания или убывания (дискретно или непрерывно). Как правило, первоначально предъявляемый тестовый стимул должен быть существенно больше (в нисходящей серии) или меньше стандарта (в восходящей). Задача испытуемого состоит в определении равенства или едва заметного различия между стандартным и варьирующим раздражителями. Используется трехкатегорийная система оценок: «меньше стандарта», «больше стандарта», «равен стандарту». В данном случае определяются не две (как при измерении абсолютной чувствительности), а четыре пороговые точки: две верхние (точки перехода от категории «равно» к категории «больше» в восходящей серии и от категории «больше» к категории «равно» в нисходящей) и две нижние точки (переход от категории «меньше» к категории «равно» в восходящей серии и от категории «равно» к категории «меньше» в нисходящей) (рис. 10).

Обработка результатов состоит в определении средних значений верхнего и нижнего порогов. Величина разностного порога определяется как половина диапазона между этими значениями:

$$\Delta S = (S_{\text{ср. в}} - S_{\text{ср. н}}) / 2.$$

Верхний и нижний пороги ограничивают интервал неопределенности, т. е. зону стимульного ряда, где преобладают ответы равенства. Стимул, находящийся в средней точке интервала неопределенности, всегда оценивается как равный эталону, т. е. является его субъективным эквивалентом, и поэтому получил название *точки субъективного равенства* – *PSE (point of subject equality)*. Точка субъективного равенства вычисляется в соответствии с формулой

$$PSE = (S_B + S_H) / 2.$$

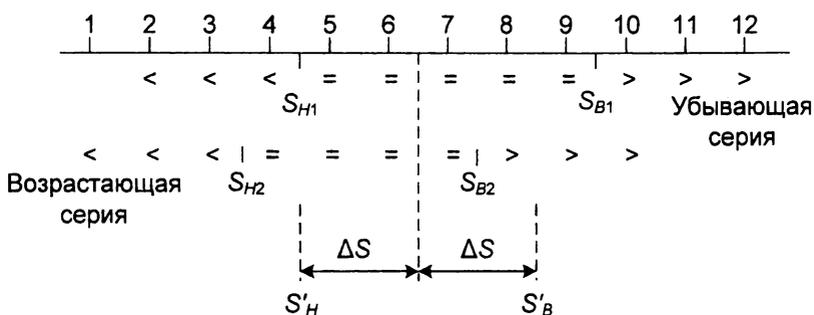


Рис. 10. Определение дифференциальных порогов методом минимальных изменений

Если верхний и нижний пороги равны, то середина интервала неопределенности совпадает со стандартным стимулом. Однако на практике чаще всего верхний и нижний пороги не равны, поэтому середина интервала неопределенности не совпадает со стандартом. Иначе говоря, испытуемый допускает погрешность в оценке эталона. Эта погрешность получила название *константной ошибки* – *CE (constant error)*, которая определяется как разность между *PSE* и стандартом (S_{st}).

$$CE = PSE - S_{st}.$$

Если $CE > 0$, то эталон переоценивается, если $CE < 0$, то он недооценивается.

Иногда вычисляется еще так называемое *пороговое отношение* (q). Оно представляет собой отношение величины верхнего или нижнего порога к величине стандартного стимула:

$$q_v = S_v / S_{st},$$

$$q_n = S_n / S_{st}.$$

Пороговые отношения удобно использовать в тех случаях, когда нужно выразить верхний или нижний порог в долях или процентах.

При измерении абсолютной чувствительности все требования, предъявляемые к методу минимальных изменений, остаются в силе.

2.2.2. Метод постоянных раздражителей

Метод постоянных раздражителей имеет много общего с методом минимальных изменений. Существенным отличием от последнего является то, что стимулы предъявляются не в порядке их возрастания и убывания, а в случайной последовательности. При измерении абсолютного порога опыт состоит из нескольких серий, причем предъявляемые стимулы лежат в заведомо околопороговой области. Испытуемый дает ответы по двухкатегорийной системе («да – нет», «ощущаю – не ощущаю» и т. д.). Иногда допускается использование трехкатегорийной системы («да», «нет», «не знаю»).

Обработка данных эксперимента заключается в построении и анализе психометрической кривой, которая представляет собой вероятность отнесения данного стимула к категории «ощущаю». Вероятность вычисляется по достаточно простой формуле:

$$P (+) = N (+)/n,$$

где $N (+)$ – число «плюсовых» ответов («да», «есть», «ощущаю»);
 n – общее число ответов для каждого из предъявляемых сигналов: для двухкатегорийной системы ответов $n = N (+) + N (-)$;
при использовании трех категорий $n = N (+) + N (0) + N (-)$.

В случае использования трехкатегорийной системы оценок, когда присутствуют «нейтральные» (нулевые) ответы $N (0)$, формула noticeably усложняется:

$$P (+) = [N(+)+ N(0) : 2]/n.$$

Обычно психометрическая кривая имеет типичный S-образный вид. В том случае, когда она не является идеально гладкой, ее аппроксимируют кумулятивной кривой нормального распределения или методом наименьших квадратов. Пороговая точка определяется при экстраполяции на ось абсцисс значения психометрической кривой, соответствующей 50% -й вероятности ($P = 0,5$, см. рис. 11).

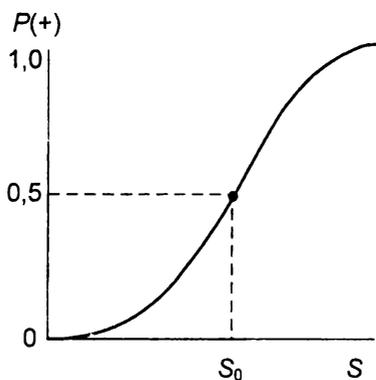


Рис. 11. Определение абсолютного порога методом постоянных раздражителей

При исследовании дифференциальных порогов метод постоянных раздражителей включает в себя одновременное или последовательное (в зависимости от сенсорной модальности) предъявление стандартного и переменного стимулов, причем величина последнего варьирует случайным образом. Ответы испытуемого даются по трехкатегорийной шкале: «больше», «меньше», «равно». Диапазон варьирующих сигналов должен подбираться таким образом, чтобы его крайние значения субъективно были отличимы от стандарта с вероятностью около 1, а середина диапазона приблизительно соответствовала значению стандарта. Обработка результатов сводится к построению психометрической кривой (рис. 12).

Величина дифференциального порога здесь может вычисляться двумя способами. Наиболее простой из них состоит в том, что по скорректированным значениям $P(>) = [N(>) + N(=) : 2] / n$ строится психометрическая кривая. На оси ординат в данном случае отмечаются две точ-

ки: $P = 0,25$ (середины интервала перехода от категории «равно» к категории «меньше») и $P = 0,75$ (середины интервала перехода от категории «равно» к категории «больше»). Проекции точек пересечения с кривой, экстраполируемые на ось абсцисс, ограничивают интервал, равный удвоенному дифференциальному порогу. Таким образом, ΔS вычисляется как половина этого интервала (рис. 12, а).

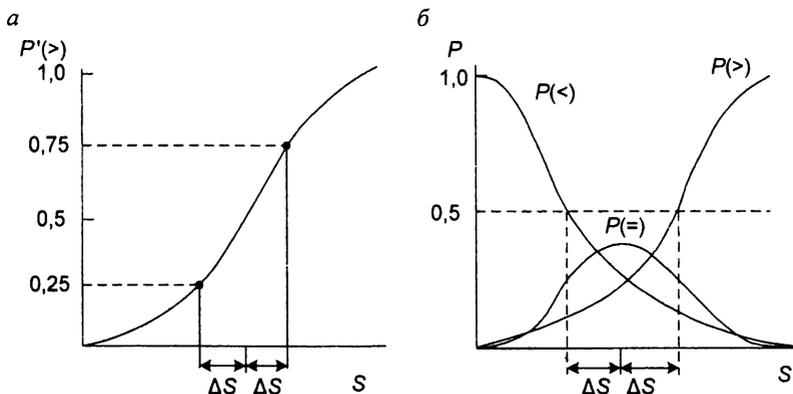


Рис. 12. Определение дифференциальных порогов методом постоянных раздражителей

Другой способ заключается в том, что на одном графике строятся три кривые – вероятности «больше стандарта» (кривая $P(>)$ на рис. 12, б), «меньше стандарта» (кривая $P(<)$) и «равно стандарту» (кривая $P(=)$). В этом случае вероятности не корректируются с учетом ответов «равно», т. е. вычисляются по формулам: $P(>) = N(>)/n$, $P(=) = N(=)/n$ и $P(<) = N(<)/n$, где n – общее число ответов. В этом случае величина дифференциального порога будет равна половине интервала между точками пересечения горизонтали $P = 0,5$ с кривыми $P(>)$ и $P(<)$ (рис. 12, б). Значения кривой $P(=)$ при использовании этого способа не учитываются.

2.2.3. Метод средней ошибки

Метод средней ошибки (метод подравнивания, метод воспроизведения), в отличие от других методов измерения абсолютной чувствительности, предусматривает активные манипуляции испытуемого

с величиной сенсорного раздражителя. Задача испытуемого состоит в том, чтобы, изменяя величину сигнала, добиться его исчезновения (нисходящая серия) или появления (восходящая серия). Экспериментатор по показаниям прибора фиксирует физическое значение раздражителя, соответствующее субъективному исчезновению и появлению ощущения. Как правило, первые значения исчезающего и появляющегося сигналов, устанавливаемые испытуемым, довольно грубы, но с каждой новой пробой работа становится все более точной. Одна из возможных стратегий испытуемого при использовании метода средней ошибки, представлена на рис. 13.

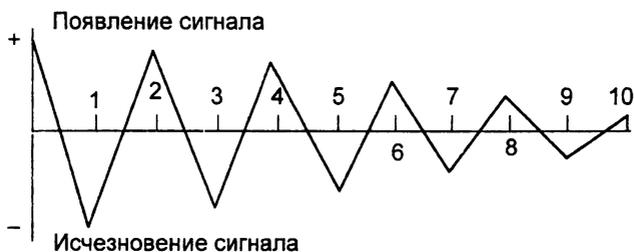


Рис. 13. Стратегия испытуемого при определении абсолютного порога методом средней ошибки

Поскольку в разных пробах (сериях) пороговые точки могут не совпадать друг с другом, используются гистограммы (полигоны распределений) полученных значений с последующей их обработкой стандартными статистическими методами (определение моды, медианы, среднего значения, стандартного отклонения и т. д.). При этом можно проигнорировать начальные результаты, где размах вариаций довольно велик, и взять для обработки результаты, полученные во второй половине опыта. Другим вариантом является проведение сначала тренировочной, а затем контрольной серии (при этом учитываются только результаты последней).

При несовпадении распределений устанавливаемых значений исчезновения и появления сигнала (как это чаще всего случается) прибегают к операции усреднения данных (так же как и при использовании метода минимальных изменений).

При исследовании *дифференциальных порогов* метод средней ошибки предусматривает наличие двух раздражителей: стандартного и переменного. Испытуемый, манипулируя с величиной переменного стимула, начальное значение которого может быть либо больше, либо меньше стандарта, «подстраивает» переменный сигнал к стандартному так: 1) чтобы оба стимула были субъективно равны; 2) чтобы тестовый стимул был едва заметно меньше стандарта; 3) чтобы тестовый стимул был едва заметно больше стандарта.

Как правило, проба начинается со значений тестового сигнала, заведомо больших или меньших стандартного стимула. Так же как и при измерении абсолютного порога, в процессе опыта испытуемый прогрессивно сужает диапазон устанавливаемых сигналов и, в конечном счете, манипулирует только в околороговой области.

Обработка результатов состоит в построении полигонов (гистограмм) распределения частот устанавливаемых испытуемым значений с последующим статистическим анализом.

2.2.4. Метод «да – нет»

Метод «да – нет», являющийся одним из методов современной психофизики, используется только для измерения абсолютных порогов чувствительности. Этот метод, в отличие от рассмотренных, предусматривает предъявление испытуемому как проб (серий), содержащих сигнал, так и проб, не содержащих его (пустые пробы или пробы-ловушки). В связи с этим ответы испытуемого включают в себя не только обнаружение или необнаружение сигнала (вероятности $P(Y/s)$ и $P(N/s)$ соответственно), но и случаи ложной тревоги ($P(Y/n)$, когда испытуемый «обнаруживает» сигнал в пустой пробе. По результатам опыта строятся кривые РХП в координатах $P(Y/s) = f(P(Y/n))$. При этом показатель d' (возможность обнаружения сигнала, см. п. 2.1) определяется графически или с помощью таблиц нормального распределения.

2.2.5. Метод оценки

Метод оценки имеет много общего с методом «да – нет». Так же как и предыдущий, он используется для определения абсолютного порога и включает в себя «сигнальные» и «пустые» пробы. Отличие

состоит в том, что оценка сигнала дается не по двухкатегорийной («да – нет») шкале, а по шкале, включающей большее число категорий (обычно 5–7). При этом оценочные категории могут быть как количественными, так и качественными (вербальное описание типа «стимул был», «скорее всего, был», «возможно, был» и т. д.). Для нетренированных испытуемых вербальное описание представляется более предпочтительным. Обработка результатов опыта достаточно сложна, так как экспериментатору приходится определять вероятности $P(Y/s)$ и $P(Y/n)$ для каждой категории ответов. В целом же построение кривых РХП и вычисление показателей чувствительности мало отличается от такового при использовании метода «да – нет».

2.2.6. Метод вынужденного выбора

Метод вынужденного выбора, в отличие от метода «да – нет» и метода оценки, также используется для изучения абсолютной чувствительности и включает в себя пробы с несколькими интервалами наблюдения. Задача испытуемого состоит в том, чтобы назвать интервал, в котором присутствовал стимул. Обработка результатов в целом такая же, как в методе «да – нет».

2.3. Влияние ситуационных и индивидуально-психологических факторов на эффективность обнаружения сигналов

Эффективность решения сенсорных задач по обнаружению и распознаванию сигнала обусловлена *влиянием ситуационных факторов* (условий решения задачи) и *индивидуально-личностных особенностей испытуемых*.

Существенную роль в обнаружении и различении параметров сенсорных сигналов играют *временные параметры стимула*. Влияние времени предъявления стимула сказывается как на пороговом, так и на надпороговом уровне интенсивности сигнала. В общем виде это влияние принято описывать уравнением

$$I \cdot t = \text{const},$$

где I – интенсивность стимула;
 t – время его предъявления.

Абсолютный порог обнаружения сигнала по мере увеличения длительности стимула постепенно снижается до определенной длительности стимула. Время, в течение которого происходит снижение абсолютного порога, получило название *времени суммации*. Последующее увеличение длительности стимула уже не вызывает снижения абсолютного порога.

Максимальное значение длительности сигнала, после которого прекращается снижение значений абсолютного порога, получило название *критического времени суммации*. В зависимости от параметров стимула и сенсорной модальности критическое время суммации колеблется от 100 до 200 мс.

Что касается надпорогового уровня интенсивности стимула, то увеличение длительности сигнала приводит к росту величины ощущения. Однако этот рост ограничен по времени. С определенных значений длительности стимула величина ощущения начинает постепенно снижаться, что свидетельствует о снижении чувствительности сенсорной системы к использованному стимулу. Снижение чувствительности при длительном воздействии стимула получило название *адаптации*. Это явление хорошо известно из повседневных наблюдений. Так, если опустить кисть руки в горячую или холодную воду (температура которой значительно выше или ниже температуры тела) то вначале возникает резкое ощущение тепла или холода. По прошествии некоторого времени это ощущение исчезает. Такое исчезновение (в данном случае ощущения горячего или холодного) и есть проявление феномена адаптации.

Помимо временного, в работе сенсорных систем существенную роль играет и пространственный фактор. Напомним, что любое сенсорное раздражение воздействует на определенное количество рецепторов данной сенсорной системы. Увеличение количества возбужденных рецепторов за счет увеличения физических размеров приложенного сенсорного стимула или же воздействие одним и тем же стимулом на симметричные рецепторные поля сенсорной системы называется *пространственной суммацией*.

В качестве примера пространственной суммации при одновременном возбуждении двух билатерально-симметричных рецепторных полей можно указать на бинауральную суммацию громкости: при раздражении двух ушей (бинауральное раздражение) идентичным

сигналом громкость восприятия этого стимула в 2 раза больше, чем при раздражении одного уха (моноуральное раздражение).

Отметим еще одно важное явление, оказывающее влияние на обнаружение и распознавание сигналов. Оно получило название *маскировки*. Под маскировкой понимают любое мешающее действие одного стимула (шума) на восприятие другого стимула той же модальности. Классическим примером маскировки может служить затруднение восприятия речевых сигналов при громкой музыке, уличном шуме и т. д. В реальных ситуациях шумовая помеха имеет непостоянный, прерывистый характер. Если сигнал и шум действуют одновременно, то маскировку называют симультанной, или *одновременной*. Приведенный выше пример как раз является примером одновременной маскировки. Если сигнал и шум разделены во времени, то говорят о *последовательной* маскировке. В зависимости от порядка, в котором следуют шум и сигнал, различают *прямую маскировку* (первым звучит шум, за которым следует сигнал) и обратную (первым звучит сигнал, за ним следует шум). Влияние маскировки необходимо учитывать при последовательности предъявления сигналов: межстимульный интервал должен быть достаточным для устранения эффекта маскировки.

Влияние индивидуальных особенностей на эффективность решения пороговых и околопороговых задач является предметом изучения дифференциальной психофизики. Многие экспериментальные работы, заложившие ее основы, выполнены в рамках так называемой *активационной теории Г. Айзенка*. Для оценки уровня активации испытуемых широко применяется известный опросник Айзенка, с помощью которого всех членов выборки можно разделить на противоположные группы: экстраверты – интроверты; нейротичные – эмоционально стабильные.

Представления самого Г. Айзенка об активационной природе экстраверсии и нейротизма сводились к следующему. Ретикулярная формация ствола мозга через регуляцию активности коры определяет индивидуальные различия по фактору экстраверсии. Структуры висцеральных отделов, регулируя взаимодействие симпатической и парасимпатической нервной системы, детерминируют уровень нейротизма. Таким образом, теоретически при стабильном эмоциональном фоне (т. е. при исключении значимого влияния висцеральной регуляции и стабилизации нейротизма) интроверты выполняют определенную

деятельность в состоянии более высокой корковой регуляции, чем экстраверты. Преобладание корковой регуляции делает поведение интровертов более скованным, произвольным. И наоборот, дефицит корковой регуляции у экстравертов обуславливает большую непроизвольность и лабильность их деятельности.

В ситуации эмоционального напряжения, связанного с активацией висцеральных структур мозга, а кора активруется автоматически, различия в активированности экстравертов и интровертов должны сглаживаться.

В опытах по изучению сенсорной чувствительности было установлено, что у *интровертов* чувствительность ниже, чем у *экстравертов*. Это справедливо по отношению к разным сенсорным модальностям: слуховые пороги, вестибулярная чувствительность, вкусовая чувствительность, болевые пороги, пороги слияния световых мельканий. По мнению Д. Коркорана, если полагать, что уровень активации у интровертов выше, чем у экстравертов, а активация, по сути дела, отражает повышенное возбуждение коры, то при идентичной стимуляции эффективность сенсорного процесса у интроверта будет выше, чем у экстраверта.

Главный факт, установленный большинством исследователей в рамках данной парадигмы, заключается в том, что более активированные испытуемые решают задачи на бдительность успешнее, чем менее активированные испытуемые. Это доказывается тем, что интроверты (стабильные или нейротичные) решают сенсорную задачу более эффективно, чем экстраверты (стабильные или нейротичные). Как правило, для оценки моторного компонента в этих задачах используется среднее время реакции на правильные ответы.

Данные, полученные разными авторами, дают основание предполагать неодинаковую эффективность решения сенсорных задач интровертами и экстравертами при изменении активации. При уменьшении уровня активации наблюдается падение эффективности обнаружения сигнала, выражающееся в увеличении времени реакции и(или) снижении сенсорной чувствительности, а также в увеличении вариабельности этих показателей.

Анализируя исследования о влиянии стимуляторов на интровертов и экстравертов, М. Хамфрис и У. Ревель отмечают, что амфитамин и кофеин ухудшают познавательные процессы у интровертов (более активированных) и улучшают их у экстравертов (менее активированных).

Была выявлена разная эффективность выполнения экстравертами и интровертами когнитивных задач *в утренние и вечерние часы*: в силу более высокой активации утром интроверты имели явное преимущество перед экстравертами, а в вечерние часы – наоборот.

Не всегда и не у всех исследователей показатели по шкале интроверсия – экстраверсия считались надежными психометрическими индексами активированности. В ряде работ показано, что *импульсивность* как основной компонент экстраверсии в большей степени связана с активацией, чем другой ее компонент – социабельность. Именно импульсивность, а не экстраверсия или социабельность в большей степени зависит от активации (времени суток, приема кофеина).

Основной характеристикой высокоимпульсивных испытуемых является быстрое привыкание к стимулам. В начале решения задачи высоко- и низкоимпульсивные чаще всего не различаются по эффективности деятельности, но первые обнаруживают неспособность поддерживать высокий уровень эффективности на протяжении всего времени работы. Это выглядит так, как если бы в ходе выполнения монотонной задачи уровень активации у них снижался быстрее, чем у низкоимпульсивных.

Помимо экстраверсии и нейротизма в настоящее время достоверно установлено влияние следующих ситуационных и индивидуально-личностных факторов на изменение уровня активации испытуемых: время суток, длительность опыта, трудность обнаружения сигнала, многосуточная депривация сна. Высокая мотивация достижения, эмоциональная стабильность и низкая тревожность способствуют повышению эффективности и стабильности решения сенсорной задачи.

Существенное значение имеет характер взаимодействия указанных факторов:

- экстраверты успешнее решают задачу обнаружения зрительного сигнала вечером, а интроверты – утром;
- в условиях депривации сна более высокий уровень произвольного усилия влияет на решение более трудных (пороговых) задач и не влияет на решение легких (надпороговых) задач;
- в обнаружении сигналов более успешны испытуемые, сочетающие высокий уровень активации с большим усилием, – это интроверты, мотивированные на достижение успеха и(или) эмоционально стабильные;

- менее успешны испытуемые, мотивированные на избегание неудачи, и(или) нейротичные или тревожные экстраверты.

Наиболее полное современное представление о влиянии указанных факторов на обнаружение сигнала можно получить, ознакомившись с работами Н. Г. Бибикова, А. Н. Гусева, В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой, Л. К. Римской-Корсаковой.

2.4. Теоретические и прикладные аспекты изучения порогов чувствительности

В теоретическом плане исследования абсолютных и дифференциальных порогов для стимулов разной модальности дали достаточно большую информацию для понимания основных закономерностей работы различных сенсорных систем. На сегодняшний день можно говорить о тесной стыковке двух научных дисциплин – психофизики и сенсорной физиологии. В большинстве случаев субъективные (вербальный отчет) и объективные (нейронная активность) показатели достаточно хорошо совпадают друг с другом. Изучение нейронных кодов (амплитуды рецепторного потенциала, частоты нервных импульсов в афферентных волокнах, числа импульсов в группах (пачках), генерируемых центральными нейронами, и т. д.) позволило понять, как кодируется информация о физических параметрах раздражителя (интенсивность), как происходит ее переработка на разных «этажах» сенсорной системы и т. д.

Исследование абсолютного порога и его временной динамики позволяет оценить возможности (в том числе и предельные) различных анализаторов. Это имеет огромное практическое значение, особенно для тех видов деятельности, которые непосредственно связаны с сенсорно-перцептивными процессами (работа радистов, телеоператоров, гидроакустиков, дизайнеров, дегустаторов и др.). Несомненно, важное значение исследование порогов чувствительности имеет для профотбора и профориентации человека на соответствующие специальности, особенно у тех лиц, чья профессия так или иначе связана с неординарными, часто экстремальными ситуациями (летчики, космонавты, спасатели и др.). Нередко встает вопрос о возможности тренировки некоторых видов чувствительности, ее повышения, а в некоторых случаях и снижения (например, снижение чувствительности вестибулярной системы у космонавтов).

Определенную роль играет измерение порогов чувствительности в возрастной (в частности детской) психологии и психофизиологии. Динамика изменения порогов с возрастом дает достаточно ценную информацию о развитии сенсорно-перцептивных процессов у детей.

Особую важность имеют исследования порогов чувствительности для клиницистов. Некоторые методы служат непосредственно для постановки клинического диагноза (пробы Рине, Вебера, метод адаптометрии и др.). Исследование порогов может являться достаточно хорошим индикатором поражений той или иной сенсорной системы, а также восстановления ее функций в результате лечения.

Глава 3. Психофизика – 2. Сенсорные шкалы

3.1. Основные понятия о шкалах измерений

Обычно шкалу (в широком смысле этого слова) определяют как изоморфное отображение эмпирической системы с отношениями в численную систему с отношениями. Другими словами, задача построения шкал состоит в упорядочении, ранжировании ряда объектов, событий, изменений и пр. по какому-либо признаку и присвоении им количественных (численных) значений в соответствии с определенными правилами. Однако на практике шкала не всегда представляет собой упорядоченный численный ряд, но может задаваться и некоторыми качественными обозначениями (категориями) (рис. 14).



Рис. 14. Пример шкалы с качественными обозначениями

Таким образом, понятие *шкалирования* часто оказывается шире понятия *измерения*. Иногда оно подразумевает преобразование метрической шкалы какого-либо признака в систему понятий, суждений и умозаключений, которая должна быть определенным образом упорядочена.

Выделяют четыре типа измерительных шкал: номинальную, порядковую, интервальную шкалу и шкалу отношений.

Номинальная шкала (шкала наименований) основана на присвоении определенных обозначений (названий) тем или иным объектам, явлениям, свойствам и т. д. Номинальная шкала предусматривает группирование изучаемых признаков или свойств в классы (категории) и обозначение этих категорий определенными символами или логическими понятиями. Приписывание классам (группам) различных обозначений предполагает лишь их отличие друг от друга, но не пре-

обладание одного класса над другим. Например, если разные вкусовые качества обозначить числами 1 (сладкое), 2 (соленое), 3 (кислое) и 4 (горькое), то это ни в коей мере не означает, что $2 > 1$ или $3 < 4$. Разделение на группы свидетельствует лишь о том, что они отличаются друг от друга. Поэтому нахождение численных отношений между группами бессмысленно.

Крайним вариантом номинальной шкалы является дихотомическая шкала наименований, когда изучаемые объекты по какому-либо критерию делятся на две группы, например: 1 – мужчина, 0 – женщина; 1 – верующий, 0 – атеист и т. д.

Порядковая (ординарная) шкала предполагает ранжирование ряда объектов по какому-либо признаку. Например, по местам, занятым школьниками или студентами на олимпиадах, спортивных состязаниях, ранжирование испытуемых по коэффициенту интеллектуальности, студентов по среднему баллу успеваемости и пр. Порядковая шкала (если ранг задан числами 1, 2, 3, ..., n) устанавливает, что $1 > 2 > 3$ и т. д. (или наоборот), но не определяет степень различия, т. е. не позволяет количественно сравнивать между собой выраженность свойства (признака) объектов, отнесенных к разным классам.

Интервальная шкала предполагает точку отсчета (условный ноль на шкале), а также определение равенства или неравенства интервалов внутри исследуемого ряда (например, температурная шкала Цельсия). На интервальной шкале правомерны операции сложения и вычитания, но невозможны операции умножения, деления и возведения в степень. Так, если вчера на улице было $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а сегодня $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, то мы можем сказать, что сегодня на 5 градусов теплее, чем вчера. В то же время мы не можем утверждать, что сегодня вдвое теплее, чем вчера, поскольку ноль на шкале Цельсия – произвольная точка, которая не указывает на отсутствие измеряемого свойства.

Шкала отношений отличается от интервальной шкалы тем, что нулевая точка не произвольна, а указывает на полное отсутствие свойства (шкалы длины, массы, времени, площади, объема, расстояния и т. д.). Шкала отношений предусматривает любые виды математических операций, является наиболее информативной шкалой, на ней основано измерение практически всех физических величин.

Существуют определенные приемы и методы работы с различными типами шкал (возможные трансформации шкалы, определение

уровней связи между шкалами и т. д.), однако это не является предметом психофизики, а подробно рассматривается в курсе «Математические методы в психологии».

3.2. Методы психофизического шкалирования

Психофизическое шкалирование, по сути дела, представляет собой своеобразную «градуировку» субъективных шкал (шкал ощущений, оценок, суждений и т. д.) по отношению к физическимшкалам сенсорного раздражителя. Классификация методов шкалирования может быть проведена по принципиально разным критериям. Так, выделяют метрические и неметрические методы, методы одномерного и многомерного шкалирования, вербальные и невербальные, «активные» и «пассивные» методы и т. д. Мы остановимся на методах, наиболее часто используемых в психофизике.

3.2.1. Методы воспроизведения и идентификации

Метод воспроизведения (репродукции) сигнала состоит в том, что испытуемый, активно манипулируя разного рода кнопками, клавишами, регуляторами и пр., должен воспроизвести значение предъявляемого ему стимула (S_p) как можно точнее. Таким образом, предъявляя (как правило, в случайном порядке) разные стимулы, экспериментатор получает соответствующий им ряд воспроизводимых значений (S_r).

Обработка результатов может производиться как для каждого отдельного стимула, так и для их совокупности. В первом случае может быть вычислена абсолютная или относительная ошибка воспроизведения каждого сигнала. Абсолютная ошибка представляет собой разность значений воспроизводимого и предъявляемого сигналов, взятая либо по абсолютной величине ($\sigma_a = S_r - S_p$), либо по модулю ($\sigma_a = |S_r - S_p|$), если знак разницы не имеет значения. Относительная ошибка вычисляется как отношение абсолютной ошибки к величине предъявляемого раздражителя: $\sigma_r = (S_r - S_p)/S_p$. При построении субъективной шкалы анализируется вид функции $S_r = f(S_p)$. Как правило, эта функция имеет вид степенной зависимости с показателем, несколько меньшим единицы.

Метод идентификации, в отличие от воспроизведения, является «пассивным» методом: испытуемый не манипулирует с величиной

сигнала; он должен лишь выбрать значение стандартного стимула в ряду раздражителей, предъявляемых экспериментатором. Обработка данных включает в себя вычисление вероятности идентификации различных сигналов как стандарта.

Методы воспроизведения и идентификации довольно редко используются для изучения сенсорно-перцептивных процессов, однако представляют определенную ценность для изучения кратковременной памяти, так как позволяют оценить характер трансформации субъективного образа сигнала при его запечатлении и хранении.

3.2.2. Интервальные методы

Интервальные методы подразумевают ознакомление испытуемого с диапазоном предъявляемых сигналов: $r_s = S_{\min} + S_{\max}$. Задача испытуемого состоит в том, чтобы, ориентируясь на максимальное и минимальное значения стимула, подобрать среднее значение, которое делит заданный диапазон на две субъективно равные части. В данном случае может использоваться как «активная» модификация метода, когда испытуемый сам манипулирует со значениями сигнала, так и «пассивная», когда ряд сигналов, расположенных внутри заданного диапазона, предъявляется экспериментатором, а задача испытуемого состоит в отнесении каждого из этих сигналов к одной из трех категорий: «больше середины», «середина», «меньше середины». В некоторых случаях дается инструкция подбирать не среднее значение стимула, а такое, которое делит диапазон на две части, находящиеся в заданном соотношении (например, 1 : 2, 1 : 3, 2 : 3 и т. д.).

При построении интервальных шкал отмечено, что они могут иметь характер различных психофизических функций (линейной, логарифмической, степенной) или же функций промежуточного типа. Вид функции в значительной степени зависит от модальности раздражителя, а также от ширины предъявляемого диапазона. Замечено, что при расширении этого диапазона субъективная средняя точка закономерно смещается в сторону максимального значения. Это объясняется тем, что увеличение диапазона стимулов ведет к закономерному переходу от интервальной шкалы к шкале отношений.

3.2.3. Методы группировки (категориальные методы)

Методы группировки имеют много общего с интервальными методами. Задача испытуемого состоит в том, чтобы относить сигналы, значения которых лежат внутри заданного диапазона, к одной из групп (категорий), число и обозначения которых задаются экспериментатором. Категории могут обозначаться числами: 1, 2, ..., n (при этом количество их, как правило, не превышает десяти) либо качественными определениями типа «тусклый», «яркий», «легкий», «тяжелый» и т. д. При обработке результатов качественные обозначения могут быть переведены в количественные, хотя эта процедура в известной степени произвольна и правомерность ее математически не обоснована.

Как правило, категориальные шкалы имеют вид функции, промежуточной между логарифмической и степенной зависимостью, причем увеличение числа используемых категорий ведет к закономерному изменению кривизны функции (от почти логарифмической до почти степенной).

3.2.4. Методы оценки

Методы оценки являются наиболее распространенными методами психофизического шкалирования. Суть их состоит в том, что предъявляемые раздражители должны быть оценены числами (как целыми, так и дробными) по отношению к стандартному стимулу, которому присваивается определенное численное значение (как правило, 1, 10 или 100).

Оценка должна даваться по следующему принципу: во сколько раз значение сигнала больше (меньше) стандарта, во столько же раз его оценка должна быть больше (меньше) численного обозначения, присвоенного стандартному стимулу. В некоторых случаях оценка стимула может даваться без использования стандарта (при условии, что испытуемый предварительно ознакомлен с предъявляемым стимульным рядом). Такая модификация метода более предпочтительна при изучении индивидуальных особенностей испытуемых, поскольку вносит минимум ограничений, а следовательно, обеспечивает испытуемому большую свободу в выборе оценок.

Естественно, что при использовании методов оценки возникает ряд вопросов, связанных с выбором стандарта (должен ли он иметь

минимальное или максимальное значение в предъявляемом ряду сигналов или занимать промежуточное положение), с выбором численного обозначения, присваиваемого стандарту, с порядком предъявления сигналов и т. д. Все эти вопросы решаются экспериментатором исходя из конкретных задач данного исследования.

Шкалы оценки в большинстве случаев подчиняются степенному закону Стивенса, причем величина показателя степени зависит не только от сенсорной модальности, но и от ряда других факторов.

3.2.5. Методы установки (продуцирования)

В данном случае испытуемый решает задачу, в принципе, противоположную оценке. Экспериментатор предъявляет стандартный сигнал и сообщает его численное значение. Затем испытуемый должен подбирать (устанавливать) значения сигналов в соответствии с числами, задаваемыми экспериментатором. Характер субъективных шкал, в принципе, мало чем отличается от шкал оценки, за исключением некоторых различий в величине показателя степени функции Стивенса.

Наиболее простыми модификациями методов продуцирования являются *методы мультипликации и фракционирования*. Первые (мультипликация) предполагают подбор стимула в N раз больше, вторые (фракционирование) – в N раз меньше предъявляемого. В простейшем случае это – равноделение или удвоение значения стандарта, т. е. подбор стимула вдвое меньшего или вдвое большего по сравнению со стандартом. В некотором смысле эти методы можно считать как бы промежуточными между методами установки и воспроизведения.

3.2.6. Кросс-модальный подбор

Задача испытуемого состоит в подборе стимулов одной модальности к стимулам другой (предъявляемой экспериментатором) по принципу соответствия: чем больше (меньше) величина предъявляемого сигнала, тем больше (меньше) величина сигнала, устанавливаемого испытуемым. Например, испытуемому предъявляются световые вспышки разной яркости, в ответ на которые он должен подбирать звуки разной громкости и т. д.

В отличие от большинства предыдущих методов, шкалы кросс-модального подбора (как предъявляемая, так и подбираемая) пред-

ставлены значениями физических величин сигнала. В этом плане метод кросс-модального подбора аналогичен методу воспроизведения и его можно рассматривать как двухмодальный вариант последнего.

С целью стандартизации кросс-модального подбора в лаборатории С. Стивенса в качестве подбираемой модальности была предложена динамометрическая шкала: испытуемый должен был сжимать динамометр с силой, пропорциональной величине предъявляемого стимула. Этим методом были определены основные параметры психофизических функций (в первую очередь величина экспоненты Стивенса) для стимулов разной сенсорной модальности.

3.2.7. Неметрическое и многомерное шкалирование

В основе методов неметрического и многомерного шкалирования, как правило, лежит оценка сходства или различия между сигналами. Обычно испытуемому задается размерность шкалы оценок (чаще всего 10- или 100-балльная шкала). Например, если два стимула абсолютно идентичны, то эта пара обозначается нулем (отсутствие различий), если же наблюдатель не находит между ними никакого сходства (абсолютное различие), он обозначает пару максимальным баллом шкалы и т. д. Чаще всего неметрическое и многомерное шкалирование используется в тех случаях, когда физическая шкала стимула не является одномерной, например, при шкалировании вкусовых качеств, цветовых оттенков и т. д.

В заключение можно отметить следующее. Различные методы шкалирования часто дают психофизические шкалы, не совпадающие друг с другом. Поэтому наиболее ценную информацию об организации исследуемых шкал можно получить, используя весь арсенал методов в их совокупности. В то же время следует подчеркнуть, что психофизические шкалы (независимо от метода) не являются шкалами ощущений в прямом смысле слова – они вовлекают в себя, кроме сенсорно-перцептивных процессов, разного рода мыслительные (интеллектуальные) операции (оценку сходства, различия, величины и пр., отнесение стимулов к той или иной категории, идентификации их со стандартом и т. д.). Поэтому неудивительно, что результирующие шкалы далеко не всегда описываются логарифмическим законом Г. Фехнера, который основан на оценке разницы ощущений, вызываемых близкими между собой раздражителями. В этом, очевидно,

и состоит основная причина несовпадения между собой двух «основных психофизических законов».

3.3. Эффекты (феномены) шкалирования

Сущность эффектов, или феноменов, психофизического шкалирования заключается в том, что параметры психофизической функции зависят не только от модальности сенсорного раздражителя, как полагал в свое время С. Стивенс, но могут также изменяться при варьировании процедуры эксперимента. Чаще всего изменение параметров функции касается ее крутизны (для степенной зависимости – величины показателя степени), которая может меняться либо во всем диапазоне физических величин исследуемого признака, либо в локальных его участках. Часто даже при шкалировании стимулов одной и той же сенсорной модальности эти изменения могут быть весьма существенны, и это не может не сказаться на результатах психофизического эксперимента.

Для удобства рассмотрения все эффекты шкалирования можно разделить на четыре типа: 1) пороговые эффекты; 2) эффекты, связанные с шириной исследуемого диапазона; 3) эффекты, связанные с последовательностью предъявления стимулов; 4) эффекты, обусловленные информационной значимостью тех или иных сигналов.

3.3.1. Пороговые эффекты

Чаще всего пороговые эффекты проявляются в виде возрастания крутизны психофизической функции вблизи абсолютного порога (рис. 15, а). Причина этого состоит, очевидно, в ухудшении различительной способности сенсорных систем в околороговой области. Отсюда и ухудшение субъективных оценок – при шкалировании стимулов малой интенсивности испытуемые дают более грубые, менее дифференцированные оценки, что и ведет к возрастанию крутизны функции. Несомненно, что это явление имеет общую природу с нарушением правила Бугера – Вебера вблизи абсолютного порога: снижение дифференциальной чувствительности закономерно должно приводить к огрублению оценок.

Аналогично поправке Брока-Гельмгольца для дифференциального порога был предложен ряд изменений формулы Стивенса для объяснения порогового эффекта. Наиболее простое из них – введение

в формулу пороговой константы: $R = k \cdot S^n + a$, где константа a представляет собой достаточно малую величину, которая оказывает влияние только при малых значениях S .

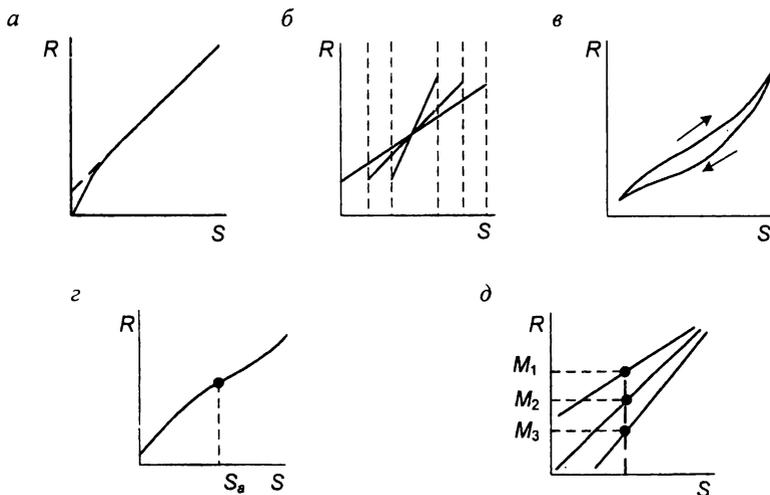


Рис. 15. Эффекты психофизического шкалирования:

a – пороговый эффект; b – эффект диапазона; c – психофизический гистерезис;
 d – якорный эффект; e – эффект «потолка»

Существуют и другие выражения закона Стивенса с поправками на величину абсолютного порога: $R = k \cdot (S - S_0)^n$, $R = k \cdot (S^n - S_0^n)$ и др. По поводу того, какая из этих модификаций степенного закона лучше описывает экспериментальные данные, существуют некоторые разногласия. Следует отметить, что пороговые эффекты для стимулов разной сенсорной модальности выражены в неодинаковой степени, а в ряде случаев, например, при шкалировании пространственных параметров (длина, площадь и пр.) они вообще не проявляются, а для шкалирования времени имеют принципиально иную природу.

3.3.2. Эффекты, связанные с шириной исследуемого диапазона

Известно, что ширина диапазона физических характеристик оказывает существенное влияние на форму и параметры психофизических

функций. Так, при использовании методов интервального шкалирования, как уже отмечалось, субъективная средняя точка может менять свое положение: чем шире исследуемый диапазон, тем больше смещается положение точки в сторону максимума. Очевидно, при расширении диапазона стимулов происходит закономерный переход от интервальной шкалы к шкале отношений. Методы оценки, установки и кросс-модального подбора обнаруживают четкую закономерность, известную в психофизике как *эффект диапазона*: чем шире исследуемый диапазон, тем меньше крутизна психофизической функции, т. е. тем меньше величина показателя степени функции Стивенса (рис. 15, б). Наиболее разумное объяснение этого феномена состоит в том, что субъективная шкала оценок является достаточно жесткой, стабильной и не может варьировать в значительных пределах. В то же время в психофизическом опыте экспериментатор может «навязать» испытуемому практически любой диапазон физических характеристик. Величина же показателя степени является своего рода «коэффициентом сопряженности» между физической и субъективной шкалами, который позволяет сенсорной системе оптимальным образом «подогнать» лабильную физическую шкалу к жесткой субъективной шкале.

Как было установлено, эффект диапазона может быть описан достаточно простым уравнением следующего вида:

$$\log n = \log a_r - k_r \cdot \log (\log r_s),$$

где n – показатель степени;

r_s – диапазон стимулов;

k_r – коэффициент пропорциональности, который для стимулов разной модальности может варьировать в пределах от 0,06 до 0,57;

a_r – константа.

Отсюда следует, что величина показателя степени является, в свою очередь, степенной функцией логарифма диапазона физических величин:

$$n = a_r / (\log r_s)^k.$$

Частным вариантом эффекта диапазона является зависимость крутизны психофизической функции от числа стимулов, предъявляе-

мых в фиксированном физическом диапазоне раздражителей. Чем больше этот диапазон насыщен стимулами, тем больше величина показателя степени. Другими словами, чем больше плотность расположения стимулов, тем больше увеличивается, «растягивается» диапазон оценок. В этом случае увеличение диапазона субъективных оценок можно объяснить суммированием отдельных поддиапазонов (межстимульных интервалов). Математическое описание этого феномена мало отличается от описания эффекта диапазона и в общем виде может быть представлено следующей формулой:

$$\log n = \log a_d + k_d \cdot \log d,$$

где d – плотность расположения стимулов в диапазоне.

$$d = (N - 1) / \log r_s.$$

Отсюда

$$n = a_d \cdot d^k = a_d \cdot [(N - 1) / \log r_s]^k.$$

При этом для разных сенсорных модальностей величина экспоненты k_d может варьировать от 0,13 до 0,37.

3.3.3. Эффекты, связанные с последовательностью предъявления стимулов

Как правило, оценки одних и тех же сигналов, предъявляемых в возрастающей и убывающей последовательности, не совпадают друг с другом. Наиболее ярко это проявляется при использовании метода группировки, где средние значения категорий, присваиваемых стимулам возрастающего ряда, будут больше по сравнению с убывающим рядом сигналов. Это явление, по аналогии с известным физическим феноменом, получило название *психофизический гистерезис* (рис. 15, в). Детальное исследование этого явления показало, что в его основе лежат, по меньшей мере, две причины. Первая – это сенсорная адаптация. Установлено, что для тех модальностей, к которым сенсорные системы хорошо адаптируются (например, для восприятия яркости света, громкости звука или интенсивности вкусового ощущения), гистерезис выражен значительно лучше, чем для низкоадаптируемых (например, для восприятия и оценки тяжести груза). Второй причиной психофизического гистерезиса является относительность суждений (оценок). Испы-

туемые дают завышенные оценки по отношению к предыдущему стимулу, если он меньше предъявляемого, и заниженные, когда соотношения между ними обратные. Это зависит как от относительной величины двух сравниваемых сигналов, так и от того, манипулирует ли испытуемый с прямым или обратным рядом численных значений.

В наиболее общем виде эффект последовательности был сформулирован Д. Кроссом и Л. Уордом. Он состоит в том, что на оценку каждого сигнала оказывают влияние оценки предыдущих сигналов. Другими словами, каждый сигнал играет роль своеобразного «якоря» (переменной точки отсчета), по отношению к которому оцениваются последующие стимулы. Д. Кросс предложил модификацию формулы Стивенса, учитывающую эффект последовательности, в следующем виде:

$$R_j = aS_j^n \cdot (S_i/S_j)^b = aS_j^m \cdot S_i^b, \text{ где } m = n - b.$$

В данном уравнении S_j – величина оцениваемого сигнала, S_i – величина предшествующего сигнала и R_j – оценка j -го стимула.

Учитывая, что на оценку сигнала оказывает влияние не один, а, по меньшей мере, до пяти предшествующих стимулов, Л. Уорд усложнил формулу Д. Кросса:

$$R_j = aS_j^n \cdot (S_{j-1}/S_j)^{b_1} \cdot (S_{j-2}/S_j)^{b_2} \dots (S_{j-5}/S_j)^{b_5},$$

что, в принципе, не меняет существа дела. Однако следует отметить, что влияние предшествующих сигналов прогрессивно ослабевает по мере их удаления от оцениваемого, т. е. $b_1 > b_2 > \dots > b_5$.

При детальном изучении эффекта последовательности показано, что оценка зависит не столько от абсолютной величины предшествующего стимула, сколько от соотношения величин предыдущего и последующего сигналов.

3.3.4. Эффекты, обусловленные информационной значимостью стимула

Как правило, испытуемые оценивают предъявляемые им раздражители по отношению к определенному стандарту, который играет роль своеобразной точки отсчета. Поэтому неудивительно, что оценка стимулов, мало отличающихся от стандартного (другими словами, стимулов, расположенных в окрестности стандарта), будет

осуществляться более успешно, нежели остальных – близкие между собой по величине сигналы легче сравнивать между собой, а следовательно, и оценивать. Графическим выражением этой закономерности является то, что психофизическая функция вблизи стандарта является более пологой, чем в других ее участках.

Одной из разновидностей рассматриваемой закономерности является так называемый *якорный эффект*. Он проявляется в том, что если один из сигналов предъявляется с большей частотой (вероятностью), чем другие, то он начинает выполнять роль «якоря» (дополнительной точки отсчета) и крутизна функции в окрестности такого якоря также будет уменьшаться (рис. 15, з).

Другой разновидностью рассматриваемых эффектов является *эффект модуля*, или *эффект потолка* (рис. 15, д). Он заключается в следующем. Одному и тому же стандартному стимулу экспериментатор может присваивать разные численные значения (модуль) (например, 1, 5, 10, 20 и т. д.). Суть эффекта состоит в том, что чем больше это значение ($M_1 < M_2 < M_3$), тем меньше крутизна функции (см. рис. 15, д). Хотя эффект модуля также связан с информационной значимостью стандарта (присвоенным ему численным значением), он имеет много общего с эффектом диапазона и еще раз иллюстрирует жесткость, ригидность шкалы субъективных оценок, которая не может расширяться бесконечно, а наоборот, как бы противодействует навязываемой в эксперименте все увеличивающейся шкале численных значений.

В завершение можно отметить следующее. Несмотря на то, что эффекты шкалирования значительно усложняют классическую формулу Стивенса, они не опровергают ее, а лишь дополняют и конкретизируют по отношению к различным модификациям процедуры психофизического эксперимента. Эффекты психофизического шкалирования вскрывают более тонкие закономерности работы сенсорных систем, закономерности сенсорно-перцептивных процессов в целом, чем те, которые подразумевались во время формулировки «основного психофизического закона».

3.4. Индивидуальные особенности в психофизическом шкалировании

Индивидуальные вариации психофизических шкал достаточно велики. Это может быть обусловлено разными причинами: полом, возрастом, типологическими и психологическими особенностями испытуемых.

Многочисленные исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что с возрастом увеличивается величина экспоненты Стивенса при шкалировании стимулов разной модальности (оценка тяжести, размера круга, длины линий; кинестетическая оценка толщины; оценка и отмеривание временных интервалов). Было также показано, что величина показателя степени становится более или менее информативным показателем лишь по достижении 10-летнего возраста, когда индивидуальные психофизические функции в большинстве своем могут быть описаны степенной зависимостью. Дети дошкольного возраста (5 лет) используют в своих оценках порядковую шкалу, т. е. присваивают стимулу порядковый номер в зависимости от его величины, а не соотносят эти стимулы друг с другом, как это делают взрослые. Чаще всего ошибки шкалирования связаны с ограниченностью использования числового ряда. Иначе говоря, дети нередко присваивают одно и то же число разным стимулам.

К 7-летнему возрасту у детей формируется шкала интервалов и только к 10 годам – шкала отношений. Это не означает, однако, что дети в этом возрасте не используют шкалы низшего порядка. Показано, что иногда к интервальной шкале прибегают даже 16–17-летние подростки.

Что касается особенностей шкалирования у лиц разного пола, то на сегодняшний день накоплен значительный экспериментальный материал по шкалированию стимулов разных модальностей. Но множество полученных данных не позволяет сделать однозначный вывод. Действительно, средние значения экспонент, полученных при шкалировании громкости, тяжести и интенсивности вкусового ощущения, статистически не отличались у мужчин и женщин. И только анализ распределения индивидуальных значений показал большую однородность в оценках громкости и интенсивности вкусового ощущения у женщин по сравнению с мужчинами. Но это не относится к оценке тяжести. Таким образом, имеющиеся данные пока не позволяют сделать однозначный вывод в отношении гендерных различий в шкалировании.

Вариативность субъективных шкал обусловлена не только возрастными, половыми, но также психофизиологическими и психологическими особенностями испытуемых. Проиллюстрируем это на примере. Пусть перед испытуемым ставится задача оценить тестовый

стимул по отношению к стандарту, т. е. определить во сколько раз тестовый стимул больше или меньше стандартного. Чтобы осуществить такую операцию, испытуемый должен сопоставить свои ощущения, возникающие при предъявлении этих стимулов. Но они разные у разных испытуемых. Было показано, что испытуемые достаточно четко делятся на «усилителей» и «уменьшителей», причем первые склонны к переоценке стимулов, вторые – к их недооценке. Предполагается, что в основе переоценки или недооценки сигнала лежат не субъективные операции с численным рядом, а неодинаковый у разных индивидуумов рост ощущения с увеличением силы раздражителя. Эти различия, по мнению ряда исследователей, обусловлены особенностями основных свойств нервной системы (силы, уравновешенности, подвижности), которые выделил еще И. П. Павлов. В классических работах Б. М. Теплова и В. Д. Небылицына и более поздних исследованиях Т. А. Ратановой и Н. И. Чуприковой доказано, что лица со слабой нервной системой обладают более высокой абсолютной чувствительностью, но значительно меньшим приростом величины ощущения при изменении стимуляции по сравнению с «сильными» испытуемыми. При шкалировании громкости тонального звука Т. А. Ратанова обнаружила достоверные различия между величинами показателей степени в группе «сильных» ($n = 0,44$) и «слабых» ($n = 0,32$) испытуемых, связанные с неодинаковым приростом ощущения у тех и других. Это и обусловило разную крутизну психофизических функций.

Таким образом, одной из существенных причин межиндивидуальных различий в шкалировании является сила нервной системы. Свойство «силы – слабости» нервной системы не является единственным фактором, определяющим параметры психофизических функций. Вопрос же о роли других типологических особенностей в шкалировании на сегодняшний день представляется весьма далеким от своего разрешения.

Особый интерес представляет шкалирование времени как важнейшей характеристики стимулов любой модальности. Ориентация во времени обеспечивает адекватность поведения человека, поэтому логично предположить, что шкалирование временных интервалов не должно существенным образом зависеть от тех или иных индивидуальных особенностей испытуемых. Действительно, как удалось пока-

зять в многочисленных опытах, средние значения экспонент психофизической функции оценки (отмеривания) существенно не отличаются у мужчин и женщин. Однако при отмеривании временных интервалов у мужчин обнаружено большее разнообразие временных шкал, чем у женщин.

Кроме того, было исследовано влияние различных индивидуальных особенностей (сила нервной системы, уравновешенность нервных процессов, экстраверсия – интроверсия, различные свойства характера) на величину показателей степени психофизической функции субъективной оценки и отмеривания длительностей. Полученные данные свидетельствуют о том, что размерность субъективной шкалы не зависит напрямую от отдельной индивидуальной особенности человека, но определяется их совокупным влиянием. И влияние это будет тем сильнее, чем активнее ведет себя субъект. Активное поведение будет способствовать проявлению индивидуальных характеристик. Метод отмеривания как раз предполагает активное манипулирование испытуемого со временем (он должен приложить физические усилия, нажимая на клавиши, кнопки и т. д.). Таким образом, субъективная шкала отмеривания длительностей должна в большей степени зависеть от индивидуальных особенностей испытуемого, чем шкала оценки. Регрессионный анализ полученных данных полностью подтвердил это предположение. Использование метода отмеривания приводит к реализации более разнообразных стратегий шкалирования, что особенно ярко проявляется у мужчин.

3.5. Основной психофизический закон и его современная интерпретация

Как уже отмечалось, на сегодняшний день существует, по меньшей мере, два математических выражения, претендующих на звание основного психофизического закона. Первое из них – логарифмическая функция Г. Фехнера, которая выводится косвенным путем из правила постоянства дифференциальных порогов и утверждает, что величина ощущения пропорциональна логарифму силы раздражителя:

$$R = k \cdot \log S.$$

Второе – степенной закон Стивенса, который вытекает непосредственно из данных эксперимента по субъективному шкалированию:

$$R = k \cdot S^n.$$

Существуют и другие выражения психофизических законов (линейная, экспоненциальная, тангенциальная и другие формы зависимости), которые тем не менее имеют ограниченные области применения.

В психофизике неоднократно предпринимались попытки «примирения» логарифмического и степенного законов, хотя следует отметить, что они отражают разные стороны сенсорно-перцептивных процессов. В самом деле, различие двух близких между собой сигналов и субъективная оценка сигналов, значительно отличающихся друг от друга по своим физическим характеристикам, – не одно и то же. Очевидно, в первом случае субъект выносит свое суждение исключительно на основе двух сиюминутных сенсорных впечатлений, используя элементарные вербальные категории «больше», «меньше» или «равно». Для этого не требуется каких-либо эталонов сравнения, так как сравниваются между собой два образа, хранящиеся короткое время в оперативной памяти. Другое дело – оценка сигнала, которая подразумевает не только сопоставление образа сигнала с эталоном (стандартом), но и операции с численной шкалой, которая хранится в долговременной памяти. Другими словами, субъективная оценка основана на внутренней эталонной шкале и предполагает поиск, выбор необходимого эталона сравнения, т. е. вовлекает мыслительную деятельность субъекта. Отсюда субъективная величина R , которая фигурирует и в законе Г. Фехнера, и в законе Стивенса, очевидно, отражает разные процессы.

По сути, проблема формулировки основного психофизического закона сводится к нахождению такой математической формулы, которая описывала бы взаимосвязь между физическими величинами и их субъективным выражением независимо от метода исследования, сенсорной модальности, всевозможных преобразований эксперимента и т. д.

В 60-е гг. XX в. Д. Мак-Кей и Г. Экман почти одновременно высказали мысль о том, что степенную функцию Стивенса более логич-

но во всех отношениях рассматривать как двойную логарифмическую функцию типа:

$$\log R = n \cdot \log S,$$

где величину показателя степени можно рассматривать как своего рода «коэффициент сопряжения» между двумя шкалами – физической и психической (субъективной). К такой же мысли пришел и Ю. М. Забродин, предложивший выражение основного психофизического закона в виде дифференциального уравнения, включающего дополнительную экспоненту z :

$$dR/R^z = dS/S.$$

По мнению Ю. М. Забродина, экспонента z может принимать значения от 0 до 1. Нетрудно видеть, что если $z = 0$, то левая часть уравнения превращается в dR и интегрирование этого выражения приводит к логарифмической функции Г. Фехнера. Если же $z = 1$, то интегрирование уравнения дает степенной закон Стивенса. При $0 < z < 1$ можно получить семейство математических функций, промежуточных между логарифмическими и степенными.

Дж. Бэрд и Э. Нома выдвинули четырехальтернативную модель, согласно которой в дифференциальном уравнении должна присутствовать не одна, а две экспоненты:

$$R/R^x = dS/S^y.$$

Учитывая, что каждая из экспонент может принимать значения 0 или 1, можно, в принципе, получить четыре формы психофизической зависимости: линейную, логарифмическую, степенную и экспоненциальную. Однако существование экспоненциальной психофизической функции остается под вопросом (по крайней мере экспериментально существование такой формы зависимости не доказано).

В 1989 г. В. И. Лупандиным была выдвинута концепция иерархии психофизических функций, которая подробно анализируется в монографии «Психофизическое шкалирование» (Свердловск, 1989). Суть этой концепции состоит в том, что элементарные математические функции типа линейной, логарифмической, степенной и других

форм зависимости могут описать лишь те психофизические взаимоотношения, которые соблюдаются при достаточно жестких, однозначных условиях эксперимента. Для того чтобы описать более общие закономерности, необходимо последовательное обобщение элементарных функций, что, в свою очередь, ведет к отказу от жестко детерминированных математических уравнений и переходу к вероятностному выражению психофизических законов (рис. 16).

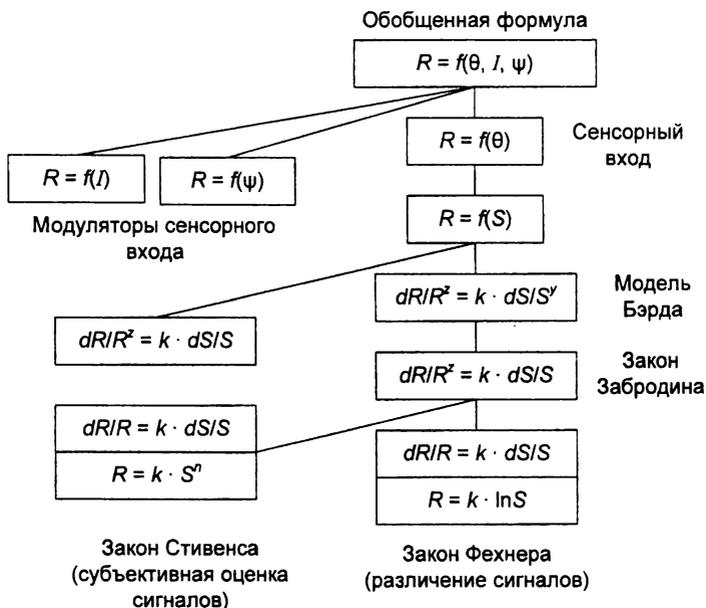


Рис. 16. Модель, иллюстрирующая концепцию иерархии психофизических функций

Рассмотренные выше эффекты и феномены психофизического шкалирования еще более усложняют общую картину и вынуждают исследователей в каждом конкретном случае вводить различные поправки, коррективы и т. д. Все это в конечном счете может привести к пессимистическому выводу о том, что единой, универсальной психофизической зависимости вообще не существует. Вероятно, так оно и есть. Однако, принимая во внимание чрезвычайную сложность психических (в данном случае сенсорно-перцептивных) процессов, наив-

но предполагать, что все они могут быть однозначно описаны элементарными математическими формулами. В данном случае известное выражение «природа стремится к простоте», по-видимому, неприемлемо. С другой стороны, основная цель психофизики состоит не в том, чтобы любой ценой вогнать эмпирические закономерности в прокрустово ложе математических функций. Скорее, наиболее важной является прогностическая ценность описания этих закономерностей, а это может быть достигнуто путем использования вероятностных моделей. По сути дела, в этом и состоит сущность концепции иерархии психофизических функций.

РАЗДЕЛ II

ПСИХОФИЗИКА ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Глава 4. Психофизика зрения

Зрение у человека занимает ведущее место среди всех видов чувствительности. По мнению одного из крупных отечественных специалистов по психофизиологии зрения В. Д. Глезера, зрительная система принимает и анализирует до 90% всей сенсорной информации. Зрение играет в жизни человека не только первосигнальную, но и второсигнальную роль (восприятие письменной речи (чтение, письмо) и т. д.).

Поскольку зрительное восприятие всегда связано со светом (излучаемым или отражаемым), то, прежде чем говорить о психофизических закономерностях зрения, необходимо коснуться вопроса об основных характеристиках света.

4.1. Основные физические характеристики света

Сократ в свое время высказал любопытную мысль о том, что глаз видит потому, что он устроен так же, как Солнце. Трудно сказать однозначно, что имел в виду древний философ. Однако если перефразировать это выражение, то все становится на свои места: «Глаз видит потому, что существует Солнце». Действительно, Солнце является фактически единственным (не считая звезд) естественным генератором того спектра электромагнитных излучений, который мы называем видимым светом.

Электромагнитные колебания, излучаемые Солнцем, могут быть охарактеризованы частотой (f) и длиной волны (λ). Соотношения между этими параметрами, как и для любого колебательного процесса, достаточно просты: $f = v/\lambda$ и $\lambda = v/f$, где v – скорость распространения колебаний (в данном случае $v = 3 \cdot 10^7$ м/с).

Диапазон длин волн электромагнитных колебаний чрезвычайно велик (приблизительно от 10^{-12} до 10^6 м). Однако зрительная система

человека способна воспринимать лишь очень узкий участок этого диапазона (от 4^{-7} до 8^{-7} м, или, иначе, от 400 до 800 нм). Этот участок длин волн и называется видимым светом.

Различают хроматический и ахроматический свет. Хроматический свет соответствует колебаниям со строго определенной длиной волны. Он воспринимается как вполне определенный цвет (цветовой тон). Ахроматический свет включает в себя колебания в широком диапазоне длин волн и воспринимается (в зависимости от яркости излучения) от белого до темно-серого. Кроме того, различают свет излучаемый и отражаемый; для каждого из них существуют свои физические единицы измерения.

Основной физической единицей является *сила света* (I_v), испускаемого точечным источником. Она определяется по соответствующему эталону и выражается в канделах (кд).

Световой поток (Φ_v) вычисляется как произведение силы света и величины телесного угла (Ω), в котором распространяется свет: $\Phi_v = I_v \cdot \Omega$. Единицей светового потока является люмен (лм), равный 1 канделе, умноженной на 1 стерадиан: 1 лм = 1 кд · 1 ср.

Световая энергия (Q_v) равна произведению величины светового потока на время действия света ($Q_v = \Phi_v \cdot t$) и выражается в люмен-секундах (лм · с).

Единицы силы света, светового потока и световой энергии применимы к точечному источнику, хотя в реальных условиях зрительной системе чаще приходится иметь дело с источниками света, имеющими определенную пространственную протяженность. Для протяженных источников света используют такие единицы измерения, как яркость и светимость.

Яркость (L_v) выражается в канделах на квадратный метр ($\text{кд}/\text{м}^2$) и соответствует отношению силы света протяженного источника к площади светящейся поверхности: $L_v = I_v/S$.

Светимость (M_v) соответствует отношению светового потока, испускаемого светящейся поверхностью, к площади этой поверхности: $M_v = \Phi_v/S$. Выражается в люменах на квадратный метр ($\text{лм}/\text{м}^2$).

Интенсивность *отраженного света* характеризуется *освещенностью* (E_v) отражающей поверхности, которая также вычисляется как отношение величины светового потока к площади ($E_v = \Phi_v/S$) и выражается в люменах на квадратный метр, или в люксах (лк):

1 лк = 1 лм/м². Другими словами, 1 люкс равен освещенности поверхности площадью 1 м² при падающем на нее световом потоке в 1 люмен.

4.2. Восприятие света

Зрительная система способна работать в исключительно широком диапазоне изменения интенсивности светового раздражителя – от 10^{-6} ÷ 10^{-5} кд/м², что приблизительно соответствует абсолютному порогу световой чувствительности в условиях темновой адаптации, до 10^4 ÷ 10^5 кд/м² (это значение близко к уровню интенсивности, вызывающему тепловой ожог сетчатки). Чрезвычайно широкий диапазон восприятия амплитудных характеристик света связан, во-первых, с высокой адаптационной способностью зрительной системы, во-вторых, с трансформацией физической шкалы яркости на уровне нейрофизиологических механизмов, что имеет своим следствием выраженную нелинейность психофизических функций восприятия яркости.

4.2.1. Абсолютные пороги световой чувствительности

Световая чувствительность характеризует способность зрительной системы воспринимать излучение света. Наибольшую световую чувствительность глаз имеет в темноте. Минимальное количество света, необходимое в этих условиях для возникновения ощущения, называют *абсолютным порогом*. Палочка сетчатки глаза способна возбуждаться при действии всего 2–5 квантов света, однако для возникновения светового ощущения необходима суммация возбуждения нескольких рецепторов. Площадь, занимаемая близлежащими рецепторами, суммирующими возбуждение, называется зоной *пространственной суммации* и измеряется в относительных величинах – угловых градусах или угловых минутах. Диаметр зоны суммации неодинаков для центрального (колбочкового) и периферического (палочкового) зрения. В центре *fovea* он составляет 5 угл. мин, а на периферии сетчатки увеличивается до 1 угл. град.

В пределах зоны пространственной суммации действует *закон Рико – Пайпера*, согласно которому пороговый эффект может быть достигнут как увеличением интенсивности света, действующего на определенную площадь S , так и наоборот – увеличением площади ос-

вещаемой поверхности при неизменном световом потоке. Математическое выражение закона Рико – Пайпера: $I \cdot S = \text{const}$, т. е. для достижения уровня светового порога увеличение площади компенсирует уменьшение освещенности, и наоборот.

Кроме пространственной, известна и *временная суммация*: $I \cdot t = \text{const}$ (закон Блоха – Шарпантье), причем эта закономерность справедлива лишь для коротких длительностей светового стимула ($t < 100$ мс).

4.2.2. Адаптация

Если человек находится в абсолютной темноте, то порог световой чувствительности постепенно снижается (на 3–4 порядка), причем в первые 7–8 минут – за счет колбочковой, а в дальнейшем – за счет палочковой адаптации.

Типичная кривая хода темновой адаптации представлена на рис. 17 (по оси ординат – уровень абсолютного порога в логарифмических единицах). Видно, что она распадается на две ветви (колбочковую и палочковую). Колбочковая адаптация дает незначительное повышение световой чувствительности (в 50–100 раз), палочковая же в течение нескольких десятков минут приводит к весьма существенному (на несколько порядков) снижению абсолютного порога.

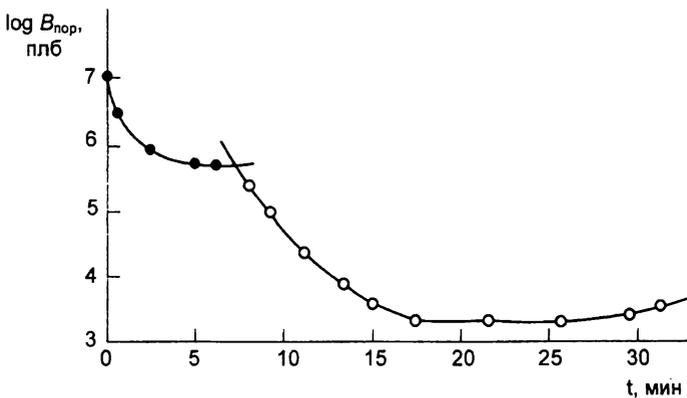


Рис. 17. Кривая хода темновой адаптации во времени:

● – работа колбочкового; ○ – работа палочкового аппарата

Изучение хода кривой адаптации (адаптометрия) имеет не только теоретическое, но и прикладное значение – для диагностики различных нарушений световой чувствительности. Так, если световая чувствительность снижена, но форма кривой адаптации не изменена, то нарушение зрения связано с патологией светопроводящих путей (оптической системы глаза). Нарушение же формы адиптометрической кривой (ее уплощение, размывание границ между колбочковой и палочковой ветвью и пр.) позволяет заподозрить патологические изменения в рецепторном аппарате сетчатки.

4.2.3. Дифференциальная световая чувствительность

В повседневной жизни человеку редко приходится иметь дело со световыми раздражителями околопороговой интенсивности. Основное значение для зрения имеет контрастная чувствительность, т. е. способность различать между собой участки зрительного изображения, незначительно отличающиеся по освещенности. Как правило, измерение контрастной чувствительности проводится при определенном уровне адаптации субъекта.

Если тестирующий стимул (световое пятно определенной конфигурации), имеющий определенную яркость E , находится на освещенном фоне меньшей яркости E_{ϕ} , то минимальную разность $E - E_{\phi}$, которая еще воспринимается наблюдателем, называют *разностным (дифференциальным) порогом*: $\Delta E = E - E_{\phi}$, а отношение $\Delta E/E_{\phi}$ – *относительным дифференциальным порогом*, или *пороговым контрастом*. *Правило Бугера – Вебера* устанавливает, что $\Delta E/E_{\phi} = \text{const}$, т. е. разностный порог растет пропорционально яркости фона: $\Delta E = k \cdot E_{\phi}$.

Однако, как показали А. Кениг и Е. Бродхун, это правило соблюдается лишь в диапазоне средних освещенностей, в то время как в области малых дифференциальная чувствительность значительно снижается (рис. 18).

Г. Фехнер и Г. Гельмгольц предложили поправку к правилу Бугера – Вебера применительно к восприятию освещенности:

$$\Delta E/(E_{\phi} + E_0) = \text{const},$$

где E_0 – величина так называемого собственного света сетчатки (в полной темноте наблюдатель видит слабое свечение, связанное со спонтанным распадом молекул зрительного пигмента).

Согласно формуле Гельмгольца правило Бугера – Вебера выполняется только в том случае, когда $E_{\phi} \gg E_0$ и величиной E_0 можно пренебречь. Если же значения E_{ϕ} и E_0 сопоставимы, правило постоянства дифференциальных порогов нарушается.

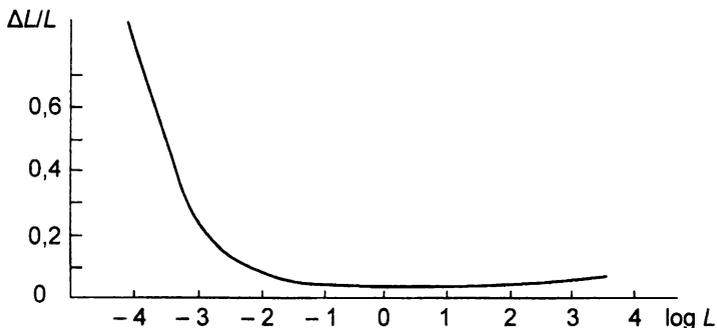


Рис. 18. Изменение относительного дифференциального порога по яркости в зависимости от интенсивности светового стимула

Вышеуказанные закономерности контрастной чувствительности справедливы в тех случаях, когда световой фон является однородным. При неоднородности светового фона, что чаще встречается в реальных условиях, дифференциальная чувствительность неодинакова в разных участках зрительного поля – дифференциальные пороги резко возрастают на границах перепада освещенностей. Для описания контрастной чувствительности в этих условиях чаще всего используют вероятностный подход и основные положения теории обнаружения сигнала (см. гл. 2, п. 1).

4.2.4. Субъективные шкалы яркости

Как правило, при конструировании психофизических шкал яркости используют излучаемый, а не отражаемый свет, поскольку интенсивность последнего зависит от оптических свойств отражающей поверхности и не всегда линейно связана с интенсивностью падающего на нее света.

В психофизических исследованиях с использованием прямых методов шкалирования показано, что в «стандартных» условиях (темновая адаптация, достаточно большой диаметр тестового пятна и боль-

шая длительность его экспозиции) субъективная яркость связана с физической яркостью степенной зависимостью типа $R = k \cdot (L - L_0)^n$ с экспонентой $n = 0,33$, хотя индивидуальные показатели могут варьировать в значительных пределах (по некоторым данным, от 0,14 до 0,59). Существенное влияние на параметры психофизической функции оказывает изменение условий световой стимуляции. В светоадаптированном состоянии величина показателя степени может увеличиваться до $0,4 \div 0,5$. В лаборатории С. Стивенса было показано, что при переходе от темновой адаптации к светоадаптированному состоянию изменяются все параметры степенной функции (в вышеуказанном уравнении – величины k , n и L_0). При этом показатель степени n и пороговая константа L_0 увеличиваются (последняя приблизительно в миллион раз), а коэффициент k , наоборот, уменьшается.

Изменение параметров функции шкалирования имеет место и при варьировании диаметра тестирующего светового пятна. Так, при уменьшении диаметра пятна с 5 угл. град до точечного источника света показатель степени увеличивается до 0,5. Считают, что в данном случае субъективная яркость представляет собой степенную функцию величины светового потока: $R = k \cdot \Phi^{0,5}$, т. е. пропорциональна корню квадратному из произведения площади и светимости:

$$R = k\sqrt{M_v \cdot S}.$$

К увеличению показателя степени функции Стивенса приводит также изменение времени экспозиции светового стимула. При этом величина экспоненты повышается как при очень коротких, так и при длительных (десятки секунд) воздействиях раздражителя. При этом показано, что субъективная оценка яркости коротких световых вспышек представляет собой степенную функцию величины световой энергии: $R = k \cdot Q^{0,5}$, т. е. пропорциональна квадратному корню из произведения светового потока и длительности: $R = k\sqrt{Q \cdot t}$.

По-видимому, существуют достаточно сложные отношения между площадью тестирующего пятна и временем его экспозиции. Если уменьшается и то и другое (оценка яркости точечного источника света при очень короткой экспозиции), то величина показателя степени функции Стивенса может повышаться до единицы. Другими словами, в этих условиях субъективная оценка яркости описывается линейной функцией величины световой энергии: $R = k \cdot Q$.

Данные о влиянии других факторов на субъективную оценку яркости менее однозначны. Так, при оценке стимула на фоне индуцирующего поля более высокой яркости экспонента степенной функции может возрасти до единицы и более. По-видимому, определенную роль в оценке яркости играет спектральный состав света, хотя, по данным шведских исследователей, его влияние несущественно. Показано также, что параметры психофизической функции меняются в зависимости от локализации изображения на сетчатке, причем соотношения между локализацией стимула и другими его параметрами (спектральным составом, временем экспозиции и пр.) являются достаточно сложными и неоднозначными.

Некоторые авторы считают, что степенная функция Стивенса с $n = \text{const}$ описывает психофизическую шкалу яркости только в области средних и высоких освещенностей. При приближении же к абсолютному порогу крутизна психофизической функции прогрессивно увеличивается и величина показателя степени приближается к единице. Субъективная шкала яркости обнаруживает все описанные выше эффекты (феномены) шкалирования (см. гл. 3, п. 3).

4.3. Цветовое зрение

Ощущение цвета представляет собой субъективное качество, возникающее при воздействии на рецепторы сетчатки монохроматического света определенной длины волны. За восприятие цвета ответственны колбочки, имеющие в своем составе пигменты с различной спектральной чувствительностью. Согласно теории Ломоносова – Юнга – Гельмгольца, существует три «основных» цвета (красный, зеленый и синий), при смешении которых в разных пропорциях можно вызвать ощущение любого цвета или цветового оттенка. Соответственно этому в колбочках имеются три разновидности зрительного пигмента с максимумами поглощения в красном, зеленом и сине-фиолетовом участках спектра.

Исследование цветового зрения у человека проводят с помощью полихроматических таблиц или аномалоскопа (принцип работы последнего основан именно на эффекте смешения монохроматических цветов со строго фиксированной длиной волны). Более сложным является метод денситометрии, позволяющий непосредственно оценить спектральную чувствительность колбочкового аппарата.

4.3.1. Основные характеристики цвета

Как отмечалось выше, зрительная система человека способна воспринимать относительно узкий диапазон электромагнитных колебаний – приблизительно от 400 до 800 нм (длина волны), или от $3,75 \cdot 10^{14}$ до $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц (частота колебаний). Волны с длиной менее 400 нм относят к ультрафиолетовому диапазону, а более 800 нм – к инфракрасному участку спектра электромагнитных колебаний. В отличие от ультрафиолетовых лучей, для восприятия которых у человека не существует специализированных рецепторов, инфракрасное излучение улавливается терморепцепторами, вызывая ощущение тепла. Психофизические закономерности чувства тепла и холода будут рассмотрены ниже (см. гл. 6). Здесь же будут освещены проблемы, связанные с закономерностями восприятия видимого участка спектра.

Несмотря на то, что физическая шкала частот (длин волн) монохроматического света одномерна и непрерывна, субъективная шкала воспринимаемых цветовых тонов в определенном смысле дискретна: субъект способен выделять «основные» и «промежуточные» цвета, хотя по поводу точного числа тех и других нет единого мнения. Наиболее популярна основанная на жизненном опыте номинальная шкала, включающая 7 основных градаций цвета (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый) с промежуточными (переходными) цветовыми оттенками между основными цветами. В таблице показано соответствие «основных» цветов их физическим параметрам – длине волны и частоте электромагнитных колебаний.

Соотношения длин волн и частот электромагнитных колебаний, соответствующих основным цветам видимого света

Цвет (цветовой тон)	Длина волны, нм	Частота, Гц $\cdot 10^{14}$
Красный	750	4,0
Оранжевый	630	4,8
Желтый	600	5,0
Зеленый	540	5,6
Голубой	500	6,0
Синий	480	6,2
Фиолетовый	400÷450	6,7÷7,5

Субъективная шкала цвета не является одномерной, так как помимо цветового тона включает в себя, как минимум, еще две переменные: светлоту и насыщенность.

Светлота (степень зачернения) поверхности, излучающей или отражающей свет, зависит в первую очередь от интенсивности светового потока (физической яркости, освещенности), но не исчерпывается ею. Большое значение для восприятия светлоты имеет и структура зрительного поля (перепад яркостей разноосвещенных объектов, световой контраст и т. д.).

В реальных условиях человеку довольно редко приходится иметь дело с источниками (или отражателями) монохроматического света. Чаще физические объекты излучают или отражают свет в определенном диапазоне длин волн, т. е. воздействующий свет в большей или меньшей степени ахроматичен. Субъективно ширина воспринимаемого диапазона электромагнитных колебаний характеризуется **насыщенностью** того или иного цветового тона: при прочих разных условиях насыщенность цвета тем больше, чем выше степень его монохроматичности (т. е. чем уже полоса пропускания цветового спектра).

Необходимо отметить, что между тремя составляющими цвета (цветовым тоном, светлотой и насыщенностью) существует достаточно сложная взаимосвязь. Субъективно это проявляется в том, что в реальных условиях гамма цветовых ощущений включает в себя не только все оттенки «основных» цветов, но также цвета, отсутствующие в спектре (например, бурый, коричневый, кирпичный и др.).

4.3.2. Цветоразличение

Способность человека различать близкие между собой *оттенки* монохроматического света может быть исследована с помощью общепринятых методов измерения разностных дифференциальных порогов (см. п. 2.2). Бедфордом и Г. Вышецки были получены на основе прямых пороговых измерений данные, согласно которым величина $\Delta\lambda$ соответствует разностному порогу двух близких между собой длин волн: $\Delta\lambda = \lambda_i - \lambda_j$. Можно видеть, что величина разностного порога относительно стабильна в диапазоне от 410 до 600 нм и значительно увеличивается за пределами этого диапазона. В то же время на кривой имеются три максимума чувствительности (разностные

пороги минимальны), которые соответствуют сине-фиолетовому, желто-зеленому и красному участкам спектра. Эти данные согласуются с результатами колориметрических исследований по изучению спектров поглощения сетчатки глаза, что подтверждает трехкомпонентную теорию цветового зрения.

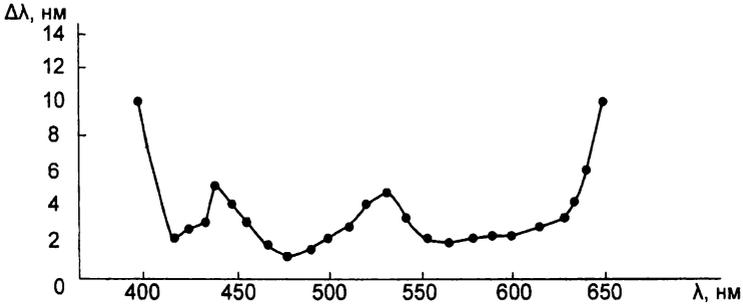


Рис. 19. Пороги различения цветового тона

На различение цветового тона влияют не только длина волны, но и взаимодействие зрительной системы с другими анализаторами. Так, С. В. Кравковым было показано, что слабые звуковые сигналы увеличивают цветовую чувствительность, в то время как громкие звуки типа шума авиационного двигателя, напротив, резко ухудшают цветоразличение.

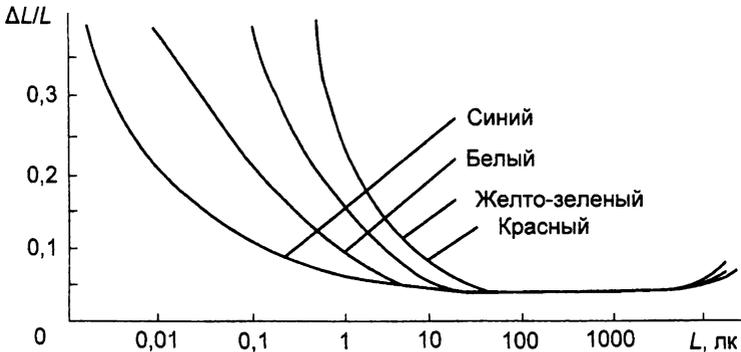


Рис. 20. Относительные дифференциальные пороги по светлоте для белого и некоторых монохроматических цветов

Разностные пороги по *светлоте* для монохроматических цветов несколько иные, нежели для субъективной яркости белого света, хотя в диапазоне максимальной чувствительности они практически совпадают (см. рис. 20, по оси абсцисс – яркость в логарифмических единицах). Так же как и для ощущения яркости ахроматического света, в диапазоне средних освещенностей соблюдается правило Бугера – Вебера; для высоких и еще в большей степени для малых яркостей света оно нарушается (дифференциальные пороги увеличиваются).

Интересную модель цветоразличения, включающую в себя две составляющих цвета (цветовой тон и светлоту), предлагает Ч. А. Измайлов. Его модель основана на многомерном шкалировании больших цветовых различий и в геометрической интерпретации представляет собой двумерную сферическую поверхность, на которой расположено все многообразие равноярких цветов (расстояния между точками соответствуют величине субъективных различий между соответствующими цветами).

4.3.3. Субъективные шкалы цветового зрения

Субъективная шкала цвета многомерна. Она включает в себя по меньшей мере три переменные: цветовой тон, насыщенность и светлоту. Оценка *светлоты* (субъективной яркости) монохроматического света формирует метрическую шкалу, которая с хорошим приближением подчиняется закону Стивенса, причем величина показателя степени психофизической функции незначительно варьирует в зависимости от длины волны (от 0,32 до 0,38).

Насыщенность цветового тона также можно рассматривать как количественную переменную, субъективная оценка которой дает метрическую шкалу, в первом приближении описываемую степенной функцией Стивенса. В то же время величина показателя степени этой функции значительно выше, чем для субъективной яркости и составляет (для красного цвета) около 1,7. Это вполне объяснимо в терминах «эффекта диапазона» (см. п. 3.3), так как физический параметр насыщенности цвета может меняться в значительно более узких пределах, нежели физическая яркость источника света.

Третью составляющую (*цветовой тон*) в субъективном отношении нельзя назвать количественной, так как изменение длины волны (физическая переменная) ведет к изменению не интенсивности, а качества ощущения. Поэтому для описания ощущения цвета (субъек-

тивной оценки цветового тона) чаще всего используют неметрические методы шкалирования (см. п. 3.2) и моделирование субъективного «цветового пространства» в виде различных геометрических моделей.

4.3.4. Модели цветового зрения

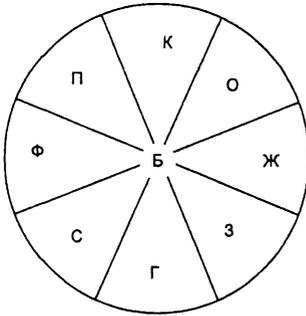
Существующие на сегодняшний день модели цветового зрения представляют многообразие субъективно воспринимаемых цветов в форме геометрического (чаще евклидова) двух-, трех- или многомерного пространства. Рассмотрение этих моделей логично провести в хронологическом порядке. Первые из них (цветовой круг Ньютона и цветовой треугольник Юнга – Максвелла) представляют субъективное пространство цветов в двумерной плоскости; более поздние модели (цилиндр Манселла и конусы Оствальда) – в трехмерном пространстве, а современная модель Соколова – Измайлова предполагает наличие четвертого измерения.

Цветовой круг Ньютона. Цвета, различаясь по цветовому тону от синего к зеленому, желтому, оранжевому, красному, через пурпурный соединяются с фиолетовым, образуя замкнутый ряд. В центре круга находится белый цвет; насыщенность каждого из монохроматических цветов возрастает от центра к периферии. Цветовой круг охватывает все множество самосветящихся единичных источников и часть цветов отражающих поверхностей; он не включает в себя цвета с разной степенью почернения (кирпичный, бурый, коричневый), характерные для окрашенных поверхностей (рис. 21, а).

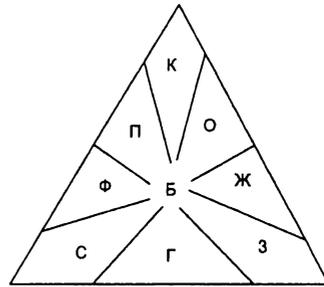
Треугольник Юнга – Максвелла. Аналогичен цветовому кругу Ньютона. Представляет собой равносторонний треугольник, на вершинах которого расположены основные цвета (красный, зеленый, синий); все остальные располагаются на сторонах и внутри треугольника. Так же, как и в модели Ньютона, в середине треугольника расположен белый цвет, а насыщенность каждого из монохроматических цветов возрастает от центра к периферии (рис. 21, б).

Цилиндр Манселла. Трехмерная модель в виде цилиндра, продольная ось которого соответствует ахроматической составляющей (светлоте) и включает к себя 10 градаций – от 1 (черный) до 10 (белый). Радиусы цилиндра соответствуют насыщенности цвета (15 градаций), а дуги окружности – цветовым тонам. В модели Манселла выделяется 10 цветовых тонов: пять основных (синий, зеленый, желтый, красный и пурпурный) и пять промежуточных (рис. 21, в).

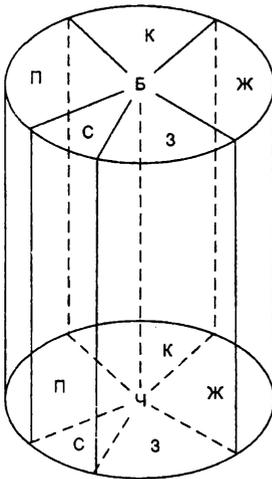
a



б



в



г

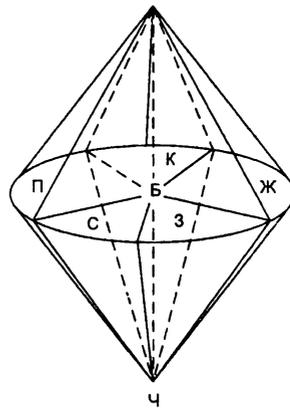


Рис. 21. Модели цветового зрения:

a – цветовой круг Ньютона; *б* – треугольник Юнга – Максвелла; *в* – цилиндр Манселла; *г* – конусы Оствальда; обозначения цветов: Б – белый; Ч – черный; К – красный; О – оранжевый; Ж – желтый; З – зеленый; Г – голубой; С – синий; Ф – фиолетовый; П – пурпурный

Модель Манселла представляет собой не что иное, как стопку наложенных друг на друга кругов Ньютона, отличающихся по величине ахроматической составляющей. Недостатком этой модели является то, что части объема цилиндра вблизи черного и белого оказываются не заполненными реальными цветами.

Конусы Оствальда. Модель представляет собой два конуса, соединенных основаниями. Линия, проходящая через вершины конусов, образует ахроматическую ось (рис. 21, з). Все остальное такое же, как и в модели Манселла. Отличие лишь в том, что модель Оствальда практически исключает несуществующие цвета.

Сферическая модель Соколова – Измайлова. Эта модель разработана в 1970–80-х гг. Она имеет некоторые преимущества перед другими, поскольку в ней субъективное цветовое пространство представлено как многомерное, а следовательно, модель лишена многих ограничений, которые присущи другим моделям. Сферическая модель Соколова – Измайлова представляет собой четырехмерную сферу в евклидовом пространстве. Спектральные изменения различной интенсивности отображаются точками на поверхности четырехмерной сферы так, что евклидовы расстояния между ними пропорциональны субъективным различиям между представляющими их цветами. Три угла, образующие полярные координаты четырехмерной сферы, совпадают с субъективными характеристиками цвета: цветовым тоном, насыщенностью и светлотой. Горизонтальный угол сферы соответствует цветовому тону, вертикальный – насыщенности, параметр светлоты предполагает введение четвертого измерения.

Кроме вышеперечисленных моделей цветового зрения, существует большое число определенным образом ранжированных по цвету диаграмм, таблиц, атласов (например, цветной атлас Хассельгрена; диаграммы цветности CIE и др.), которые имеют в основном прикладное значение. Так, система цветов DIN является модификацией модели Манселла и отличается от нее лишь незначительно. В этой системе шкала насыщенности зависит только от цветности и не меняется с изменением относительной светлоты; окружность цветовых тонов разделена не на 10 (как у Манселла), а на 24 части и т. д.

В заключение следует подчеркнуть, что модели цветового зрения представляют не только теоретический интерес, но имеют и важ-

ное практическое значение (для инженеров, дизайнеров, художников, клиницистов-офтальмологов и т. д.). Можно, в частности, отметить, что сферическая модель Соколова – Измайлова с успехом использована в клинике для диагностики разного рода цветоаномалий.

4.3.5. Феномены цветового зрения

В психологии и психофизике известны так называемые феномены одновременного и последовательного цветового контраста. Феномен одновременного контраста состоит в том, что определенный цветовой фон искажает или изменяет восприятие изображения, выполненного в другом цвете и даже ахроматическом. Так, серое пятно на красном фоне приобретает зеленоватый оттенок, на зеленом – розоватый, на синем – грязно-желтый, а на желтом – голубоватый. Аналогично круги из цветной бумаги, помещенные на цветные листы не совпадающего (лучше всего оппонентного) цвета, субъективно приобретают другие, не свойственные им цветовые оттенки.

Феномен последовательного контраста впервые был описан И. В. Гете еще в начале XIX столетия. Некоторым своим гостям Гете сначала предлагал пристально посмотреть на изображение зеленого чертика на черном фоне, а после этого перевести взгляд на белую стену, гость уже видел на ней ярко-красного черта.

Феномены одновременного и последовательного цветовых контрастов послужили основой теории оппонентных цветов Г. Геринга. В настоящее время они нашли разумное нейрофизиологическое объяснение с точки зрения существования цветооппонентных рецептивных полей центральных нейронов зрительной сенсорной системы.

4.4. Зрительное восприятие пространства

Зрительную сенсорную систему по праву называют системой пространственного чувства или пространственным анализатором (в отличие, например, от слуховой системы, для которой наиболее важным является восприятие временных соотношений между звуковыми сигналами). Наиболее важными пространственными характеристиками объектов, воспринимаемых зрительной системой, являются их пространственная локализация, форма, размер, удаленность, направление и скорость перемещения объекта в поле зрения и т. д.

Восприятие этих характеристик в значительной мере зависит от периферических структур зрительной системы (оптическая система глаза, устройство сетчатки и пр.), обеспечивающих нормальную остроту зрения, поле зрения и другие основополагающие свойства зрительного восприятия.

4.4.1. Острота зрения

Остротой зрения называют предельную пространственную разрешающую способность зрительной системы. Другими словами, острота зрения – это порог пространственного различения, своего рода «пространственный квант» зрения, который характеризует возможность различать мелкие детали рассматриваемого изображения.

Для измерения остроты зрения на практике чаще всего пользуются специальными таблицами, на которых на белом фоне изображены черные тест-объекты различного углового размера. Наблюдатель должен опознать те или иные буквы; определить, показывают ли ему две или одну точку или линию, разделенные промежутком; определить наклон решетки, состоящей из параллельных полос и т. д. Наибольшее распространение получили кольца Ландольта, имеющие разрывы сверху, снизу, справа или слева, а также буквы алфавита различного углового размера (рис. 22).

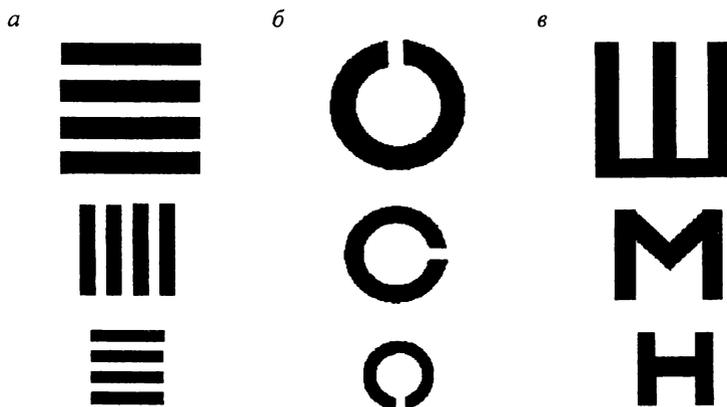


Рис. 22. Стандартные тесты, используемые для определения остроты зрения:

a – решетки; *б* – кольца Ландольта; *в* – буквы

Человек с нормальным зрением воспринимает как отдельные две точки, видимые под углом в 1 угл. мин (1/60 угл. град). Именно эта величина и принимается за показатель нормальной (стандартной) остроты зрения. На практике же в качестве меры остроты зрения (*visus* – V) используется отношение двух расстояний: «стандартного» ($L_{ст}$), с которого испытуемый должен видеть детали изображения под углом в 1 угл. мин, и реального (L), с которого он начинает различать эти детали: $V = L/L_{ст}$. Таким образом, острота зрения выражается в относительных единицах от 0 до 1.

В норме острота зрения зависит от двух основных факторов: уровня освещенности и проекции изображения на сетчатке. И то и другое связано с тем, что в сетчатке глаза существует два типа фоторецепторов: палочки и колбочки. Палочки обладают большей световой чувствительностью, т. е. срабатывают уже при слабых уровнях освещенности, однако они имеют довольно крупные рецептивные поля, что не позволяет достичь высокой остроты зрения; колбочки же наоборот – обладают низкой чувствительностью, но максимальной остротой зрения. Этим объясняется тот факт, что зависимость остроты зрения от освещенности имеет вид характерной S-образной кривой (рис. 23).

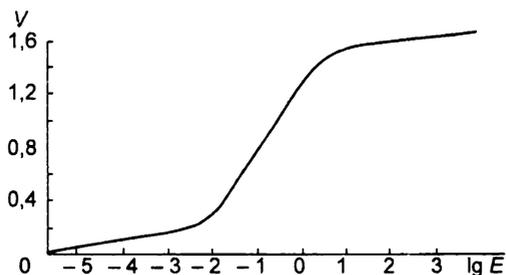


Рис. 23. Зависимость остроты зрения от уровня освещенности

Зависимость остроты зрения от проекции изображения на сетчатке объясняется тем, что центральная часть сетчатки (желтое пятно) представлена исключительно колбочками, поэтому острота зрения здесь максимальна. К периферии от желтого пятна количество колбочек уменьшается, а количество палочек возрастает, так что на

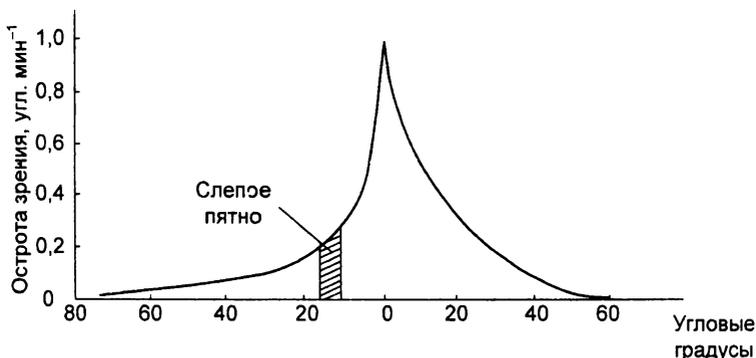


Рис. 24. Зависимость остроты зрения от проекции зрительного изображения на сетчатке

периферии сетчатки находятся исключительно палочки. Естественно поэтому острота зрения на периферии сетчатки будет минимальной (рис. 24).

4.4.2. Поле зрения

Поле зрения называется область (участок) пространства, воспринимаемая глазом при неподвижно фиксированном взоре. Поле зрения каждого глаза имеет округлую, несколько неправильную, форму и слегка сужено с внутренней (назальной) стороны (рис. 25). Для определения поля зрения используют прибор, называемый периметром. Суть процедуры состоит в том, что испытуемый фиксирует взглядом белую точку, находящуюся в середине оси прибора и одновременно определяет момент появления (исчезновения) другой точки, которую экспериментатор передвигает с помощью маркера в вертикальном, горизонтальном и других направлениях относительно глазной оси.

Показано, что границы поля зрения для белого и монохроматических цветов отличаются друг от друга (последние значительно уже) (см. рис. 25). Это связано опять-таки с тем, что палочки сетчатки, расположенные на ее периферии, не воспринимают монохрома-

тических цветов (напомним, что функцию цветового зрения выполняют колбочки).

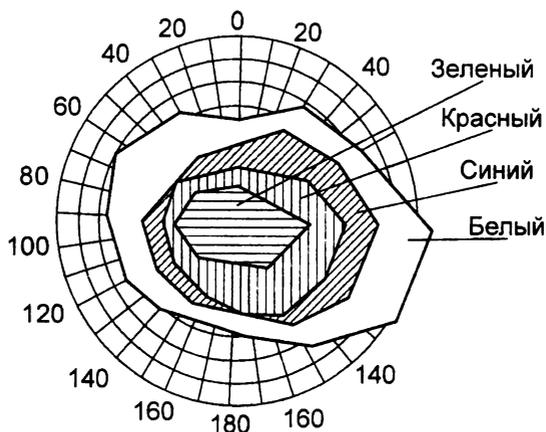


Рис. 25. Границы поля зрения правого глаза для белого и некоторых монохроматических цветов

Различные нарушения поля зрения (скотомы, гемианопсии, сужение поля зрения или выпадение его центральной части) имеют большое значение для диагностики ряда заболеваний (причем не только зрительной системы), поэтому исследования границ полей зрения имеют важное прикладное значение в офтальмологии и других областях медицины.

4.4.3. Восприятие формы объектов

Гештальтпсихологами еще в начале XX в. было определено, что зрительное восприятие формы в значительной мере обусловлено наследственными механизмами. В 60–70-х гг. прошлого века американскими нейрофизиологами Д. Хьюбелем и Т. Визелем было обнаружено, что в зрительной коре существуют специализированные нейроны-детекторы, которые предназначены для выделения простейших параметров изображения (ориентации, направления движения и т. д.). Существование таких детекторов обеспечивает своего рода «каркас», который в течение жизни усложняется, обогащается жизненным опытом и обеспечивает восприятие

конфигурации сложных зрительных изображений. Известно, однако, что младенцы уже на второй неделе жизни чаще фиксируют взгляд на оформленных изображениях типа человеческого лица, чем на абстрактных изображениях типа геометрических фигур.

У взрослого человека восприятие формы изображения складывается, по-видимому, посредством двух различных механизмов:

1) определения пространственных соотношений между деталями изображения (отношения «справа – слева», «сверху – снизу») и в соответствии с этим структурирования образа объекта. Этот механизм связан с функционированием заднетеменной ассоциативной коры и достаточно поздно формируется в процессе онтогенеза (известно, что дети дошкольного и младшего школьного возраста часто пишут R вместо $Я$, N вместо $И$ и т. д.);

2) способности к инвариантности, константности восприятия. Этот механизм значительно больше обусловлен врожденными (наследственными) факторами. Его суть заключается в способности субъекта воспринимать зрительные изображения независимо от поворотов, перемещений, размера, ракурса, уровня освещенности и т. д. Этот механизм связан в основном с развитием нижневисочной области коры, которая также усложняется и совершенствуется в течение жизни.

Таким образом, восприятие формы зрительного изображения основано на генетических, т. е. врожденных, механизмах и в значительной мере определяется жизненным опытом.

4.4.4. Зрительное восприятие размера

Размер объектов воспринимается благодаря согласованной работе двух психофизиологических механизмов: оценки величины изображения объекта на сетчатке и оценки удаленности объекта от наблюдателя. Показано, что субъективная оценка одномерных объектов (длина и высота линий) связана с реальными (физическими) размерами функцией, близкой к линейной. Размер двумерных объектов (например, площадь геометрических фигур), как правило, недооценивается. Так, опыты по оценке площади круга обнаруживают степенную функцию $R = k - S^n$ с показателем степени, равным 0,7. Еще больше занижается размер трехмерных фигур (например, объем шара).

Известно, что размер знакомых объектов, особенно находящихся на определенном расстоянии от наблюдателя, воспринимается и оценивается

значительно точнее, чем незнакомых. Это позволяет признать большую роль жизненного опыта субъекта в зрительном восприятии размера.

4.4.5. Восприятие удаленности

Поскольку изображение любого объекта на сетчатке двумерно, то оценка третьего измерения (расстояния, удаленности, пространственной глубины) включает в себя дополнительные механизмы, в частности оценку соотношения глазных осей. Понятно, что чем удаленнее объект от наблюдателя, тем более параллельными являются глазные оси. С другой стороны, степень удаленности (особенно знакомых объектов) может оцениваться по величине его изображения на сетчатке.

Зависимость между физической удаленностью (расстоянием от наблюдателя до объекта) и ее субъективной оценкой, как правило, нелинейна. Для описания этой зависимости А. Жилинска предложила формулу следующего вида:

$$R_D = AD/(A + D),$$

где D – реальное расстояние;

R_D – его субъективная оценка;

A – максимальное (предельное) воспринимаемое расстояние для конкретного испытуемого в определенных условиях эксперимента.

Исследования показали, что оптимальной функцией для описания субъективной оценки расстояния является степенная зависимость. При этом величина показателя степени функции может варьировать от 0,8 до 1,27, в зависимости от конкретных условий эксперимента: наличия ориентиров, оценки удаленности в замкнутом или открытом пространстве, угла возвышения (для оценки расстояния до летящих целей) и т. д. Существуют также данные о том, что субъективная оценка удаленности может зависеть и от субъективной установки субъекта (ориентация на видимую величину или на удаленность).

4.4.6. Восприятие движения

Восприятие направления движения практически не требует жизненного опыта и научения. Существование нейронов-детекторов направления движения генетически предопределено. Известно, что дети

первого года (и даже первых месяцев жизни) способны вполне адекватно следить за движущимся объектом. Исследование восприятия движения с помощью психофизических методик показало соответствие субъективной оценки реальному направлению движущегося объекта.

Пороги восприятия движения достаточно низкие. Человек способен заметить движение точки, если она изменяет свое положение со скоростью 1–2 угл. мин в секунду. Тем не менее величина порога обнаружения движения зависит от ряда факторов. Главный из них – это наличие определенных ориентиров (точек отсчета). Так, в пустом неструктурированном поле порог восприятия движения будет значительно выше, чем в структурированном. По-видимому, величина порога зависит и от направления движения объекта: мы легче замечаем движение объекта в горизонтальном направлении. Однако данные на этот счет несколько противоречивы.

Субъективная оценка скорости движения представляет собой степенную функцию реальной скорости: $R_v = k \cdot V^n$, причем величина показателя степени подтверждена значительным индивидуальным вариациям – по некоторым данным, она может изменяться от 0,2 до 2,6 со средним значением около 1,2. При этом интересно, что в большинстве случаев для оценки скорости испытуемые используют внутренний эталон, величина которого составляет примерно 1,2 м/с (или 4,3 км/ч), что соответствует средней скорости ходьбы человека.

Существуют некоторые психологические феномены, связанные с восприятием движения, в частности так называемый *стробоскопический эффект*. Он заключается в том, что если в поле зрения демонстрировать периодически появляющуюся точку, которая с каждым предъявлением закономерно меняет свою пространственную локализацию, то возникает четко выраженная иллюзия движения. Стоит напомнить, что с изучения стробоскопического эффекта началась история гештальт-психологии.

Следует отметить, что восприятие пространства и пространственных соотношений наиболее стабильно, наиболее инвариантно, так как оно несомненно играет важную роль в жизни человека. Во-первых, зрительная система – это важнейший пространственный анализатор, во-вторых, адекватное отражение пространства является необходимым условием адекватного и целесообразного поведения и деятельности.

Глава 5. Психофизика слуха

Слуховое восприятие является, пожалуй, вторым по значимости (после зрения) видом чувствительности. Так же как и зрение, это дистантное чувство, которое позволяет на значительном расстоянии воспринимать механические колебания упругой среды (воздуха), которые имеют биологическую или социальную значимость для человека, анализируя об определенных событиях и изменениях во внешней среде.

Слух играет не только первосигнальную, но и второсигнальную роль (восприятие речи) и, следовательно, является весьма важным звеном межличностной коммуникации.

Слуховое восприятие складывается из ряда взаимосвязанных механизмов восприятия звукового сигнала: его интенсивности, частоты, длительности, пространственной локализации и пр.

5.1. Восприятие интенсивности звука

Интенсивность (энергия) звуковых колебаний соответствует квадрату звукового давления: $I = k \cdot P^2$. В свою очередь, *звуковое давление* – это давление, оказываемое частицами колеблющейся среды на единицу площади поверхности (при условии, что эта поверхность перпендикулярна направлению движения частиц). Общепринятыми единицами измерения звукового давления являются: ньютон на квадратный метр (Н/м^2); дина на квадратный сантиметр (дин/см^2) или микробар (мкбар). Между этими единицами существует следующее соотношение: $1 \text{ Н/м}^2 = 10 \text{ дин/см}^2 = 10 \text{ мкбар}$.

В норме слуховая система человека воспринимает звуковое давление от $2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$ (давление, приблизительно соответствующее уровню абсолютного порога) до 20 Н/м^2 (порог неприятных ощущений). Оперировать с этими величинами не очень удобно, а потому на практике принято пользоваться не абсолютными, а относительными единицами: белами (Б), децибелами (дБ) и неперами (нп).

При использовании относительных единиц принято говорить не о звуковом давлении, а об *уровне звукового давления*. При этом за точку отсчета P_0 (0 дБ или 0 нп) принимается уровень *условного абсолютного порога*, соответствующий $2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$. При использовании десятичных логарифмов уровень звукового давления вычисляется

в децибелах: увеличение звукового давления в 10 раз соответствует возрастанию уровня звукового давления на 20 дБ; в 100 раз – на 40 дБ и т. д. При использовании натуральных логарифмов (по основанию e) уровень звукового давления вычисляется в неперах ($1 \text{ нп} \approx 8,67 \text{ дБ}$).

Уровень абсолютного порога восприятия звукового сигнала зависит от частоты звуковых колебаний: $P_0 = \phi(f)$. Эта зависимость, выраженная в графической форме, получила название *частотно-пороговой кривой* (ЧПК). Типичная ЧПК для человека с нормальным слухом изображена на рис. 26, а.

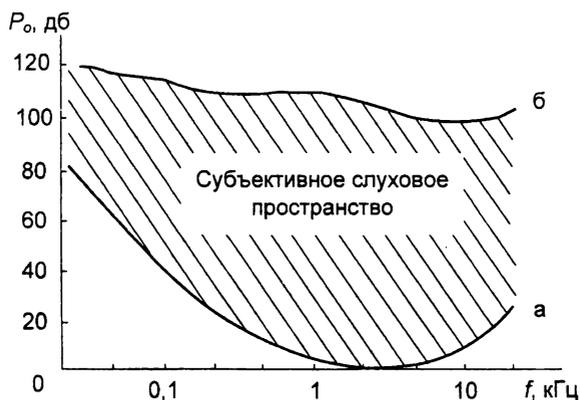


Рис. 26. Частотно-пороговая кривая (а), кривая неприятных ощущений (б) и субъективное слуховое пространство у человека с нормальным слухом

Можно видеть, что уровень порога минимален при средних частотах (максимальная слуховая чувствительность наблюдается в диапазоне частот от 1 до 5 кГц, в области же высоких и (в еще большей степени) низких частот чувствительность уменьшается, т. е. уровень абсолютного порога повышается).

Кроме кривой изменения уровня абсолютного порога, можно построить кривую неприятных ощущений: $P_{us} = \phi(f)$, которая по своей форме несколько напоминает ЧПК, но имеет более уплощенный вид (рис. 26, б). Область между ЧПК и кривой порога неприятных ощущений называется *субъективным слуховым пространством*.

Дифференциальные пороги по интенсивности в первом приближении подчиняются правилу Вебера ($\Delta I/I = \text{const}$), однако в области низких интенсивностей звукового сигнала наблюдается отклонение от правила. Оно выражается (так же как и для зрительного восприятия) в увеличении порога (рис. 27). Кроме того, величины дифференциальных порогов в определенной степени зависят и от частоты звуковых колебаний (рис. 28). При этом интересно отметить, что правило Вебера лучше соблюдается в области средних частот, нежели в области высоких и низких.

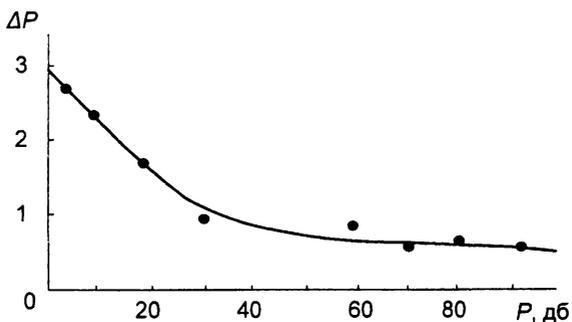


Рис. 27. Зависимость дифференциального порога по громкости от интенсивности звукового сигнала (частота колебаний 1 кГц)

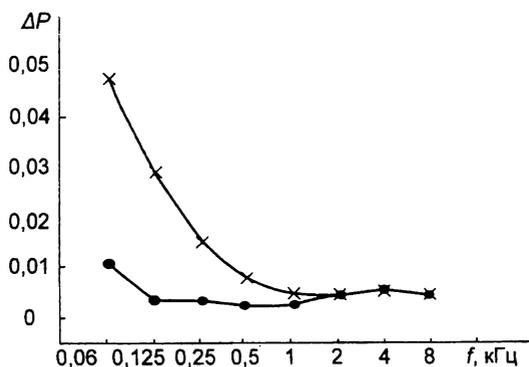


Рис. 28. Зависимость дифференциального порога по громкости от частоты звуковых колебаний (по данным разных авторов)

Восприятие *громкости* тонального звука, которое, как правило, измеряется по субъективным оценкам испытуемых при использовании разных методов шкалирования, описывается степенной функцией Стивенса $R = k \cdot P^n$ с $n \approx 0,5$. Другими словами, субъективная оценка громкости пропорциональна квадратному корню звукового давления. В области низких значений P величина показателя степени возрастает, но не так значительно, как например, для восприятия яркости света. Небольшое повышение экспоненты имеет место также и при высоких интенсивностях (уровень звукового давления выше 90 дБ над порогом).

Влияние на оценку громкости оказывает и частота звуковых колебаний. При этом отмечено, что величина показателя степени функции Стивенса при использовании низкочастотных сигналов имеет тенденцию к увеличению.

5.2. Восприятие высоты тона

Слуховая система человека способна воспринимать звуковые колебания с частотой от 16–20 Гц до 20 кГц. Колебания с частотой ниже 16 Гц называются инфразвуками, а с частотой свыше 20 кГц – ультразвуками. С возрастом верхняя граница воспринимаемых частот сдвигается и диапазон слухового восприятия соответственно укорачивается. В еще большей степени слух на высокие частоты ухудшается у лиц, длительное время работающих с производственными шумами: верхняя граница воспринимаемого частотного диапазона может снижаться до 12–14 кГц, в то время как нижняя граница остается в пределах нормы.

Дифференциальные пороги по частоте подчиняются правилу Вебера только в области средних значений (от 500 Гц до 2 кГц), в области же низких и высоких частот дифференциальные пороги увеличиваются.

Субъективным аналогом частоты звуковых колебаний является *высота тонального звука*. Высота звука складывается из двух составляющих: количественной и качественной. *Количественная составляющая* высоты тона – это такая характеристика, которая позволяет определить, что тон S_1 выше тона S_2 (или наоборот). При попытке использования методов шкалирования применительно к оценке высоты тона было показано, что психофизическая функция не соответст-

вует ни степенной, ни логарифмической форме зависимости – она как бы занимает промежуточное между ними положение. Причиной отклонения от «классической» степенной функции, очевидно, является то, что высота тонального звука представляет собой «метатетический» (по классификации С. Стивенса) континуум, так как может рассматриваться не только как количественная, но и как качественная характеристика (при изменении высоты меняется качество звука).

Качественная составляющая высоты тона меняется не монотонно, а циклически. Известно, что звуки, частоты которых находятся в соотношении 2 : 1, кажутся сходными (близкими по характеру звучания), как, например, одна и та же нота в разных октавах. Это явление получило название *феномена октавы*.

Таким образом, для того чтобы описать «субъективное пространство» высоты тонального звука, необходима модель, которая учитывала бы и качественную, и количественную составляющие. Такая модель, имеющая вид трехмерной, разворачивающейся в пространстве спирали, была предложена Р. Шепардом в 1964 г. и получила название *спирали Шепарда*. Каждый виток этой спирали соответствует одной октаве (человек воспринимает около 10 октав), а движение вдоль спирали соответствует изменению количественной составляющей высоты тона.

Феномен октавы имеет в своей природе физические и физиологические механизмы, связанные с разложением основной частоты звука в геометрической прогрессии на составляющие частоты (Фурье-разложение).

5.3. Восприятие длительности звука

Длительность звукового сигнала является одним из информативных признаков, определяющих его опознание и оценку биологической или социальной значимости. Известно, что еще И. М. Сеченов относил слуховую систему к анализаторам «временного чувства». Для человека роль слуха как анализатора времени особенно важна, поскольку членораздельная речь представляет собой не что иное, как сложный звуковой сигнал, модулированный во времени по амплитуде, частоте и другим параметрам.

В качестве психофизического показателя различения длительностей звукового сигнала используют относительный дифференциальный

порог временного различения ($\Delta T/T$). Показано, что в диапазоне длительностей порядка $1 \div 10$ с величина порога приблизительно соответствует 0,1, а в области более коротких длительностей имеет тенденцию повышаться (т. е. дифференциальная чувствительность ухудшается).

5.4. Пространственная локализация звука

5.4.1. Локализация неподвижного источника звука

Локализация неподвижного источника предполагает определение координат этого источника в трехмерном пространстве, т. е. в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно головы наблюдателя, а также степени удаленности источника.

Механизм локализации источника звука в *горизонтальной плоскости* связан с физическими параметрами сигнала. При низкочастотных сигналах (до 1,5 кГц) длина волны звуковых колебаний (λ) больше междушного расстояния, равного в среднем 21 см. В этом случае локализация источника осуществляется благодаря разному времени прихода звуковой волны на каждое ухо (в зависимости от азимута). При частотах больше 3 кГц ($\lambda < 13$ см) длина волны меньше междушного расстояния и локализация осуществляется за счет разницы по интенсивности звука, которая создается благодаря экранирующему эффекту головы. В области же частот от 1,5 до 3 кГц ($\lambda \approx 13 \div 26$ см) происходит смена временного механизма локализации на механизм оценки интенсивности, а область перехода оказывается наименее благоприятной для локализации.

Кроме двух основных механизмов локализации, упомянутых выше, существует и третий, связанный с приходом звуковой волны в правое и левое ухо в разной фазе колебания. Этот механизм работает в области низких частот (до 600 Гц), где длина волны превышает 0,6 м.

В целом отмечается, что локализация источника звука в горизонтальной плоскости точнее, чем в вертикальной.

Оценка удаленности неподвижного источника звука осуществляется посредством разных механизмов. Суть первого заключается в оценке интенсивности сигнала, которая уменьшается пропорционально квадрату расстояния. Особенно это касается знакомых (стандартных) источников звука при расстояниях до них от 3 до 15 м. При более близких (< 3 м) и далеких (> 15 м) расстояниях включается вто-

рой механизм, связанный со спектральным составом звуковой волны. При близких расстояниях звук искажается вследствие отражения от головы наблюдателя, а при больших – из-за разной степени затухания компонентов с различной длиной волны.

Одним из факторов, существенно облегчающих оценку удаленности, является реверберация звукового сигнала от отражающих поверхностей, т. е. восприятие отраженного звука.

5.4.2. Локализация движущегося источника звука

Локализация движущегося звука также включает в себя целый ряд психофизиологических механизмов. При изменении азимута источника звука в горизонтальной или вертикальной плоскости меняется интервал времени, соответствующий разнице прихода звуковой волны в правое и левое ухо. При удалении или приближении источника звука по отношению к наблюдателю меняется, во-первых, интенсивность звучания, во-вторых, его спектральный состав: приближение источника дает иллюзию увеличения высоты основного звука, а удаление, наоборот, понижение высоты тона (так называемый *эффект Доплера*). Эффект значительно лучше выражен при действии звука, близкого к тональному, или узкополосного шума, чем при действии широкополосных шумов.

Глава 6. Психофизика кожной чувствительности

Выражение «кожная чувствительность» – несомненно, правильное выражение. Однако, когда мы употребляем понятие «кожное чувство», мы, скорее всего, грешим против истины, поскольку существует по крайней мере три различных вида кожной чувствительности: тактильная, температурная и болевая. Каждая из них связана со специализированными рецепторами кожи, избирательно реагирующими на механические, термические и болевые (ноцицептивные) воздействия. Восприятие каждой из этих модальностей имеет свои особенности, поэтому имеет смысл рассмотреть отдельно каждый из вышеупомянутых видов кожной чувствительности.

6.1. Тактильная чувствительность

Тактильная чувствительность объединяет четыре качества ощущения: *прикосновение, давление, вибрацию и щекотание*. Исследование ощущения прикосновения обычно включает в себя определение абсолютных порогов чувствительности и пространственных порогов различения.

Абсолютные пороги ощущения прикосновения чаще всего определяются с помощью стандартного набора волосков Фрея (нейлоновые волоски или щетинки разного диаметра, градуированные в миллиニュтонах в соответствии с силой, вызывающей сгибание волоска). Давление, производимое таким волоском, зависит от отношения действующей силы к поперечному диаметру волоска. Чем толще волосок, тем больше его сопротивление. Необходимо учесть, что ощущение прикосновения можно вызвать только в определенных (тактильных) точках кожи. Так как тактильные рецепторы распределены по коже неравномерно, то разные ее участки обладают разной чувствительностью. Участки кожи с большим количеством тактильных точек – кончики пальцев, губы, кончик носа, кончики пальцев ног – обладают наименьшими порогами чувствительности. Так, например, кончики пальцев рук способны воспринимать давление $0,028 \div 0,170 \text{ г/мм}^2$. Совершенно ясно, что это определяется наибольшей частотой и интенсивностью взаимодействия именно этих органов с твердыми телами, свойства которых отражаются в тактильных ощущениях. В проксимальных участках кисти,

стопы, плеча и предплечья количество тактильных точек меньше, на плечах, бедрах, спине и поверхности живота тактильные точки особенно редки, поэтому и чувствительность здесь значительно ниже.

В современных стимуляторах используют сменные стержни, позволяющие стимулировать разные по площади участки кожи.

Существенное влияние на величину абсолютного порога тактильной чувствительности оказывает изменение общего состояния кожной поверхности, например ее температуры. Так, нагревание кожи вызывает повышение кожной чувствительности, а охлаждение влечет за собой ее понижение.

Субъективная оценка интенсивности ощущения прикосновения и давления описывается степенной функцией Стивенса с показателем степени чуть большим единицы:

$$R = k \cdot S^{1,1} \text{ или } \log R = 1,1 \log S + C.$$

Другими словами, субъективная шкала восприятия тактильного раздражителя почти не отличается от физической шкалы. В то же время имеет место значительная индивидуальная вариабельность субъективных шкал, и величина экспоненты может варьировать от 0,36 до 1,72.

Пространственные пороги различения двух тактильных раздражителей исследуются с помощью эстезиометра (циркуля Вебера), который имеет затупленные ножки (во избежание воздействия на болевые рецепторы) и измерительную шкалу, градуированную в миллиметрах и показывающую расстояние между ними. Экспериментатор касается определенного участка кожи ножками циркуля, периодически сдвигая или раздвигая их, а испытуемый должен давать отчет о том, ощущает ли он одно или два прикосновения. По сути эта процедура аналогична исследованию остроты зрения, так как здесь также измеряется предельная разрешающая пространственная способность.

Различают *пороги одновременного* (ОПР) и *последовательного* (ППР) *пространственного различения* (в зависимости от того, раздражаются ли близлежащие точки кожной поверхности одновременно или последовательно). При этом ППР на аналогичных участках кожи всегда в 3–5 раз меньше, чем ОПР. Это, по всей видимости, обусловлено физиологическими механизмами взаимодействия (возможно, взаимного торможения) рядом расположенных кожных рецептивных полей.

С другой стороны, и ОПР, и ППР варьируют в значительной степени на разных участках тела. На наиболее чувствительных, информативных участках (кончики пальцев, кончик носа, губы) величина пространственного порога соответствует 2–5 мм, в то время как на поверхности шеи и спины она составляет 50–70 мм.

Хотя пространственные пороги, как и пороги по интенсивности, в значительной мере определяются плотностью расположения рецепторов на разных участках кожи, величина порога не является фиксированной, неизменной. Так, М. Фрей показал, что если не менять расстояние между прикосновениями, а изменять лишь временные условия воздействия, то пороги оказываются гораздо более низкими.

Величина абсолютных порогов прикосновения и пространственная разрешающая способность на одних и тех же участках кожи достаточно хорошо коррелируют между собой, что указывает на неодинаковую информационную значимость разных частей тела у человека.

Вибрационная чувствительность у человека исследуется достаточно редко – в первую очередь с целью клинической диагностики вибрационной болезни. Чувству вибрации мы обязаны существованием в коже специализированных быстроадаптирующихся рецепторов – теллец Пачини, которые не реагируют на длительные раздражения, а только на кратковременные, прерывистые. В клинике используется иногда методика КЧСТ (критическая частота слияния толчков), которая заключается в постепенном увеличении частоты вибрационных стимулов до тех пор, пока ощущение отдельных толчков не переходит в специфическое ощущение щекощущего постоянного воздействия. В норме это соответствует частоте 150–300 Гц. Резкое изменение порогов КЧСТ может наблюдаться при вибрационной болезни, контузиях мозга и т. д.

Необходимо отметить, что виброрецепторы являются наиболее чувствительными среди всех кожных рецепторов – их пороги приблизительно на порядок ниже, чем у рецепторов прикосновения.

6.2. Температурная чувствительность

Температурное ощущение формируется из двух, относительно независимых друг от друга, качественно различающихся ощущений: тепла и холода. В том, что существуют два отдельных типа рецепторов – тепловые и холодные, можно убедиться на достаточно простом

опыте. На тыльной стороне кисти (обычно на участке кожи между первой и второй пястными костями) рисуют квадратик размером 1×1 см. С помощью двух щупов из медной проволоки (один охлаждается во льду, другой нагревается до $45\text{--}50$ °С) можно, последовательно прикасаясь к разным точкам кожи внутри этого квадратика, «картировать» наличие тепловых и холодных точек, т. е. составить субъективную карту температурной чувствительности данного участка кожи. Первых, как правило, в 7–10 раз меньше, чем вторых.

Различают статические и динамические ощущения температуры.

Статические ощущения касаются тех условий, когда уровень температуры не меняется в течение определенного времени. При этом субъективное ощущение тепла или холода может со временем меняться за счет температурной адаптации. Температурный диапазон, в пределах которого происходят полная адаптация и исчезновение каких-либо температурных ощущений, называется *нейтральным диапазоном* или «*зоной комфорта*». Выше и ниже этого нейтрального диапазона постоянные ощущения тепла и холода сохраняются даже тогда, когда температура кожи длительно поддерживается на одном уровне. Ширина «зоны комфорта» зависит от площади стимулируемой поверхности кожи: чем меньше эта поверхность, тем шире зона полной адаптации – при раздражении очень маленького участка кожи она может достигать $8\text{--}10$ °С (от $28\text{--}30$ до $36\text{--}38$ °С). При тотальном же температурном воздействии нейтральный диапазон сужается до $1\text{--}2$ °С.

Следует отметить, что температурные рецепторы кожи реагируют, строго говоря, не на температуру окружающей среды, а на внутрикожную температуру, которая составляет в среднем $33\text{--}35$ °С.

При сильном охлаждении (ниже 17 °С) и нагревании кожи (выше $43\text{--}44$ °С) ощущения тепла и холода становятся болезненными: в этих случаях, кроме температурных, возбуждаются и болевые рецепторы кожи.

Динамические температурные ощущения возникают при относительно быстром переходе от одного уровня температуры к другому. При этом качество ощущения в значительной степени зависит от исходного уровня температуры. Хорошо известен опыт Вебера с тремя сосудами, один из которых наполнен холодной водой, второй – теплой и третий – горячей. Если погрузить указательный палец одной руки в холодную воду, а другой – в горячую, подержать их там в течение 2–3 мин, а затем оба пальца перенести в сосуд с теплой водой, то

ощущения, возникающие при этом, для правой и левой руки будут различаться: один палец будет ощущать тепло, другой – холод.

Разностные пороги ощущения тепла и холода могут варьировать в широких пределах – от 0,1 до 1. При этом большое значение имеет исходный уровень температуры. При температурах ниже нейтральной уменьшаются разностные пороги к дальнейшему снижению температуры, т. е. рецепторы становятся более чувствительными к холоду, и наоборот, если исходная температура выше нейтральной, уменьшаются разностные пороги на повышение, т. е. становятся более чувствительными тепловые рецепторы.

Субъективная оценка тепла и холода, которую испытываемые могут давать либо в градусах, либо в относительных (условных) единицах, подчиняется степенной функции Стивенса: $R_T = k \cdot T^n$, где показатели степени для оценки тепла и холода существенно отличаются друг от друга (соответственно 1,7 и 1,0). Это можно объяснить двумя причинами. Во-первых, холодовых рецепторов больше, чем тепловых, и, следовательно, оценка холода осуществляется в более оптимальном режиме (субъективная шкала соответствует физической шкале температуры). В то же время оценка тепла совершенно неадекватна реальному изменению температуры. Во-вторых, физический диапазон температур восприятия тепла (от «точки комфорта» до ощущения жжения) значительно уже, чем диапазон восприятия холода. Таким образом, различия показателей степени субъективной оценки тепла и холода можно, по-видимому, связать и с «эффектом диапазона» (см. п. 3.3).

Существуют особые виды температурных ощущений; некоторые из них до сих пор не имеют четкого физиологического объяснения. Так, известны *следовые ощущения* тепла и холода. Если нагреть или охладить какой-либо участок кожи, а затем устранить термический раздражитель, то ощущение тепла или холода остается даже тогда, когда температура кожи возвращается к исходному уровню. Следовые ощущения могут быть связаны либо с инерционностью терморепрепторов, которые продолжают импульсировать спустя некоторое время после прекращения воздействия, либо имеют в своей основе центральные механизмы.

Парадоксальное ощущение холода, которое возникает в результате быстрого нагревания тела (например, при погружении в горячую

ванну), по-видимому, связано с кратковременным возбуждением холодовых рецепторов, причина которого не совсем понятна.

Ощущение жжения, которое возникает при температуре кожи выше 45 °С, по-видимому, следует рассматривать не как разновидность тепла, а как разновидность боли. Очевидно, при этих температурах вовлекаются в работу, кроме тепловых, и специфические болевые нервные окончания.

6.3. Болевая чувствительность

Болевая чувствительность является, по-видимому, одним из самых древних видов чувствительности. Боль – это сигнал опасности; предупреждение о том, что в организме имеют место какие-то неполадки, что субъект должен принять необходимые меры по устранению источника боли (или отстранению от этого источника) и т. д.

Долгое время дискутировался вопрос о том, существуют ли специализированные болевые рецепторы, которые избирательно реагируют только на соответствующее болевое (ноцицептивное) воздействие. Согласно теории специфичности рецепторов, предложенной в конце XIX в. М. Бликсом и М. Фреем, такими рецепторами являются свободные нервные окончания, лишённые каких-либо вспомогательных структур. Они обладают высоким порогом и могут возбуждаться при воздействии только достаточно сильных раздражителей. Согласно «теории паттернов» (образов), выдвинутой в 1920-е гг. Дж. Нейфом, любой рецептор при достаточно сильной стимуляции может стать болевым. При этом его активность изменяется вполне определенным образом – он начинает генерировать ритмические низкоамплитудные «болевые» импульсы, которые вызывают в высших отделах мозга ощущение боли. Х. Гед в 1920 г. ввел понятие о двух видах боли: *эпикритической* и *протопатической*. Первая характеризуется острым, локальным, кратковременным болевым ощущением, вторая – неопределённым «тянущим» чувством, не имеющим четкой локализации.

Очевидно, справедливы отдельные положения и той, и другой, и третьей теорий. В самом деле, при воздействии чрезмерно сильного раздражителя любой рецептор может стать «болевым». В то же время свободные нервные окончания (а также нервные окончания волоса-

ных фолликулов) являются специализированными болевыми рецепторами, так как способны отвечать только на очень сильные воздействия. Наличие же эпикритической и протопатической боли связано с проведением болевых импульсов по разным нервным путям: в первом случае по лемнисковому (пути Голля и Бурдаха, система медиальной петли), во втором – по спинно-таламическому тракту. Более подробно эти вопросы обсуждаются в курсе сенсорной физиологии.

Различают несколько разновидностей болевого ощущения. Если боль имеет кожное происхождение, ее называют *поверхностной*; если же ее источник находится в мышцах, костях, суставах, связках, соединительной ткани, она называется *глубокой болью*. Особое место занимают *висцеральные боли*, связанные с патологией внутренних органов. Это, пожалуй, наиболее распространенный вид боли, причиняющий человеку много мук и страданий.

С психофизической точки зрения боль изучена значительно хуже, чем другие виды чувствительности. Это обусловлено, прежде всего, методическими трудностями: не так много добровольцев соглашается принять участие в подобных экспериментах в качестве испытуемых.

С другой стороны, перед экспериментатором встают проблемы этического плана: насколько гуманно подвергать испытуемого болевому воздействию, не нанесет ли это ущерб его здоровью и психике и т. д.

Субъективная оценка болевого ощущения впервые была исследована в лаборатории С. Стивенса. При этом в качестве раздражителя использовалось электрическое воздействие на кончики пальцев. Было показано, что ощущение боли возрастает по степенному закону с чрезвычайно высоким показателем степени (около 3,5). Другими словами, увеличение силы электрокожного воздействия в 2 раза увеличивает ощущение примерно в 10 раз, а увеличение стимула в 3 раза соответствует возрастанию болевого ощущения в 50 раз.

Разностные пороги болевого ощущения достаточно велики. Это свидетельствует о том, что болевая чувствительность довольно груба и мало дифференцирована. В то же время, поскольку диапазон восприятия боли достаточно узок, в нем укладывается всего 12–15 разностных порогов. Другими словами, между едва заметным болевым ощущением и уровнем нестерпимой боли насчитывается всего 12–15 различных градаций.

Существует ли *адаптация* к боли? Ответ на этот вопрос неоднозначен. Повседневный опыт и экспериментальные данные показывают, что привыкнуть к боли нельзя, ее можно только терпеть. В то же время есть центральные адаптационные механизмы (точнее, механизмы, снижающие болевые ощущения). Об этом свидетельствует практика гипнотерапии, внушения и самовнушения. Кроме того, в центральной нервной системе обнаружена целая группа нейропептидов (эндорфины), которые являются естественными болеутоляющими веществами, выделяющимися, когда организм находится в критической ситуации.

Глава 7. Психофизика кинестетической и вестибулярной чувствительности

Кинестетическое и вестибулярное чувства имеют много общего. Их назначение – определять положение и изменение положения тела в пространстве (относительно гравитационного поля Земли), положение частей тела относительно друг друга (углы поворота суставов, степень напряжения и растяжения мышц, сухожилий и т. д.). Рецепторы и проводящие пути кинестетической и вестибулярной чувствительности, несмотря на то что они структурно обособлены друг от друга, формируют единую функциональную систему – систему проприорецепции. Поэтому неудивительно, что системы кинестетического и вестибулярного чувства в психофизическом аспекте имеют достаточно много общих закономерностей.

7.1. Кинестетическая чувствительность

Кинестетическое чувство складывается из двух более или менее обособленных видов чувствительности:

- *ощущения тяжести* при противодействии гравитационному полю Земли, которое возникает при поднятии или перемещении различных грузов, что связано с напряжением скелетных мышц и растяжением соответствующих связок и сухожилий;
- *пространственной кинестезии*, которая обеспечивает ощущение и оценку взаимного расположения конечностей, головы, туловища, т. е. создает субъективно воспринимаемую «схему тела» по отношению к окружающему пространству.

7.1.1. Восприятие тяжести груза

Этот вид чувствительности впервые стал изучаться психологами и психофизиками более полутора столетий назад. Именно по отношению к этой сенсорной модальности Э. Вебер вывел известное правило постоянства *дифференциальных порогов* ($\Delta P/P = \text{const}$). Дальнейшие исследования показали, что правило Вебера (как и для стимулов других модальностей) хорошо выполняется в диапазоне средних грузов (минимальный дифференциальный порог соответствует грузам массой от 100 до 600 г), а в области больших и малых грузов величина

порога возрастает. Следует отметить, что величина дифференциального порога существенно зависит от способа подъема груза, т. е. от того, какие группы мышц принимают в этом участие. В среднем, как было установлено в свое время Вебером, величина дифференциального порога восприятия тяжести равна 0,03.

Абсолютные пороги восприятия тяжести груза не имеют серьезного методологического значения; кроме того, они трудноопределимы. В самом деле, если положить на ладонь испытуемого груз весом в 0,1 г, то он почувствует только прикосновение к ладони, но не тяжесть. Если постепенно наращивать массу этого груза, то ощущение прикосновения переходит в ощущение давления на кожу. Более точно определить абсолютный порог восприятия тяжести можно, подвешивая разные грузы к бечевке, привязанной к указательному пальцу. В этом случае величина порога (едва заметного ощущения тяжести) обычно составляет 5–10 граммов.

Верхний порог восприятия тяжести соответствует тому максимальному грузу, который субъект в состоянии поднять. Понятно, что он зависит от развития скелетных мышц и степени физического развития и в среднем составляет 50–100 кг.

Субъективная оценка тяжести описывается степенной функцией $R = k \cdot m^n$ с экспонентой, равной 1,2÷1,3. Обращает на себя внимание то, что величина показателя степени больше единицы, т. е. субъективная шкала тяжести шире физической. В то же время величина экспоненты зависит от разнообразных факторов: способа поднятия груза, диапазона предъявляемых грузов, характера оценок (в граммах или условных единицах), положения стандарта на физической шкале и т. д.

Достаточно высока индивидуальная вариабельность; в частности, показано, что женщины дают более точную и более адекватную оценку тяжести по сравнению с мужчинами.

Среди разнообразных феноменов восприятия тяжести наиболее известна *иллюзия Шарпантье* (иллюзия размера – веса, *size – weight illusion*). Суть ее заключается в том, что из двух объектов одинакового веса, но разных по величине, больший по размеру воспринимается как более тяжелый. Очевидно, в основе иллюзии лежит жизненный опыт субъекта и формирующаяся у него установка на то, что более крупные объекты, как правило, являются более тяжелыми. Иллюзия же

возникает в результате рассогласования этой установки с реальным ощущением тяжести. То, что иллюзия Шарпантье не является врожденной, доказывается отсутствием ее у детей дошкольного возраста. Иллюзия формируется, начиная с 7–8-летнего возраста, а к 10–12 годам она становится выраженной так же хорошо, как и у взрослых.

Близким к механизму восприятия тяжести является *восприятие собственного мышечного усилия*. Если испытуемому предложить сжимать ручной динамометр с определенным усилием и давать численную оценку величины этого усилия, то оценка будет изменяться в соответствии со степенным законом (величина экспоненты $1,4 \div 1,7$). Как уже отмечалось, эта своеобразная модальность послужила в качестве эталона для шкалирования стимулов других сенсорных модальностей.

7.1.2. Пространственная кинестезия

Данный вид чувствительности состоит в способности субъекта устанавливать или оценивать (без зрительного контроля) положение конечности, степень ее сгибания-разгибания в том или ином суставе и т. д. Для исследования пространственной кинестезии используются различные модификации кинематометров, наибольшее распространение из которых получил *кинематометр Жуковского*. Оценка положения конечности, как правило, адекватна ее реальному положению (степенная зависимость с показателем, близким к единице). При этом установлено, что оценка положения при активном движении в суставе (метод установки) значительно точнее, чем при его пассивном перемещении (метод оценки).

7.2. Вестибулярная чувствительность

Рецепторы вестибулярного аппарата дают информацию о положении тела в гравитационном поле Земли, а также о перемещении тела в пространстве (угловое и линейное ускорение). Доказано, что за линейное ускорение (движение вверх – вниз, вперед – назад) ответственны рецепторы преддверия лабиринта, формирующие отолитовый аппарат, а за угловое ускорение (вращение, повороты головы, наклон туловища) – волосковые клетки полукружных каналов.

Абсолютные пороги вестибулярной чувствительности чрезвычайно низки. Если выражать их в общепринятых единицах (g – уско-

рение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$), то для линейного ускорения порог в среднем будет составлять $7 \cdot 10^{-2}$, а для углового – $3 \cdot 10^{-4}g$.

Существует *адаптация* к линейному и угловому ускорению, причем скорость и выраженность этой адаптации зависят от абсолютных значений действующего на организм ускорения.

Субъективная оценка как линейного, так и углового ускорения в первом приближении описывается степенной функцией с показателем около 1,4. Следует обратить внимание на то, что величины экспонент для оценки мышечного усилия и вестибулярной чувствительности практически совпадают.

Кроме теоретического значения, исследование основных психофизических закономерностей вестибулярной чувствительности играет и большую практическую роль. В первую очередь это касается проблемы профессиональной пригодности к таким видам деятельности, которые предъявляют повышенные требования к вестибулярной чувствительности (летчики, моряки, космонавты). Понятно, что люди с повышенной чувствительностью вестибулярной системы плохо переносят укачивание, вращение, состояние невесомости и вряд ли могут считаться серьезными претендентами на эти профессии. Второй аспект изучения вестибулярной чувствительности – клинко-диагностический (выявление вестибулярных, вестибуломожечковых и других поражений мозга при синдроме Меньера и других неврологических заболеваниях).

На сегодняшний день разработано достаточно много методов определения вестибулярной чувствительности, начиная с самых простых (пальценосовая проба, проба Ромберга, вращение в кресле Барани) и кончая использованием современных тренажеров, сурдокамер и пр.

Много внимания уделяется вопросу тренировки вестибулярной системы, повышения ее устойчивости и сохранения работоспособности субъекта в экспериментальных ситуациях. Практика подготовки летчиков и космонавтов в России, США и других странах показывает, что подбором специальных методик можно добиться больших успехов в этом направлении.

Глава 8. Психофизика вкуса и обоняния

Вкусовую и обонятельную сенсорные системы объединяет то, что обе они являются системами химического чувства, т. е. адекватными раздражителями для них служат определенные химические вещества, обладающие некоторым сродством к вкусовым и обонятельным рецепторам ввиду особенностей их химического строения. Поэтому неудивительно, что вкусовая и обонятельная чувствительность в психофизическом плане имеют ряд сходных черт и характеристик. Особенностью вкусовой и обонятельной чувствительности является также то, что обе они включают в себя разнообразные субъективные качества вкусовых и запаховых ощущений.

8.1. Вкусовая чувствительность

8.1.1. Психофизические характеристики вкусовой чувствительности

Основные характеристики вкусовой чувствительности, которые можно исследовать психофизическими методами, – это значения абсолютных, разностных и дифференциальных порогов, субъективные шкалы вкусового ощущения, явления адаптации и вкусового контраста. Особую проблему представляет классификация вкусовых качеств и связанные с ней закономерности вкусового восприятия.

Абсолютные пороги вкусовой чувствительности соответствуют той минимальной концентрации химического вещества, которая вызывает едва заметное вкусовое ощущение. Абсолютные пороги для разных вкусовых веществ могут различаться в весьма значительных пределах – на несколько порядков. Так, при увлажнении тестирующим раствором всей ротовой полости абсолютный порог для сахарозы составляет 10^{-2} моля на литр раствора, для NaCl – $5 \cdot 10^{-2}$, для соляной кислоты – $7 \cdot 10^{-4}$, для солянокислого хинина около – 10^{-7} и т. д. Как правило, пороги обнаружения горьких веществ значительно ниже, чем сладких, кислых и соленых.

При нанесении капель раствора вкусового вещества на разные участки языка обнаруживается неодинаковая чувствительность к разным вкусовым качествам. К горькому наиболее чувствителен

корень языка, к сладкому – кончик, к кислому – края, а к соленому – кончик и края языка.

Вкусовые ощущения возникают с разной скоростью. Наиболее быстро возникает ощущение соленого вкуса, затем сладкого, кислого, значительно медленнее – горького. Это объясняется неравномерным расположением вкусовых рецепторов на поверхности языка.

Имеется достаточно сложная зависимость между уровнем абсолютного порога и температурой тестирующего раствора. Для каждого вкусового вещества можно зафиксировать определенный температурный оптимум, при котором уровень порога минимален.

Величина абсолютного вкусового порога также зависит от индивидуальных особенностей субъекта, функционального состояния организма в момент исследования, а также от сиюминутной потребности организма в данном веществе. Лишение человека на несколько дней хлористого натрия (бессолевая диета) снижает пороги обнаружения NaCl в десятки раз.

Разностные (дифференциальные) пороги вкусового ощущения – это величина едва ощутимой разницы в восприятии одного и того же вкусового раздражителя при переходе от одной концентрации к другой. Разностный порог может быть выражен в единицах концентрации.

Относительный дифференциальный порог есть отношение разностного порога к исходной концентрации (или к среднему значению двух сравниваемых концентраций). Выражается в относительных единицах.

Величина разностного и дифференциального порогов, как и абсолютная вкусовая чувствительность, зависит от многих факторов, в частности от области приложения вкусового вещества. Так же как для стимулов других сенсорных модальностей, в области средних значений раздражителя (в данном случае в диапазоне средних для данного вещества концентраций) соблюдается правило Вебера $\Delta C/C = \text{const}$, в области же низких и высоких концентраций дифференциальный порог увеличивается. В среднем величина дифференциального порога вкусовой чувствительности у человека составляет $0,1 \div 0,3$, т. е. значительно выше, чем у большинства других сенсорных модальностей.

Субъективные шкалы оценки интенсивности вкусового ощущения в первом приближении описываются степенной функцией Сти-

венса, однако величина показателя степени варьируется в широких пределах (по данным разных авторов, от 0,3 до 1,9). В первую очередь она зависит от вида вкусового вещества, однако даже для одного и того же химического раздражителя она может иметь значительный индивидуальный разброс. Так, для NaCl индивидуальные вариации показателя степени составляют $0,63 \div 1,56$, для $MgCl_2$ – $0,50 \div 1,60$, для Na_2SO_4 – $0,48 \div 1,42$ и т. д. Таким образом, говорить о каких-либо средних величинах показателей степени (даже по отношению к одному и тому же веществу), по-видимому, не имеет смысла.

Кроме субъективных шкал интенсивности вкусовых ощущений, иногда конструируют так называемые *гедонические (или гедонистические) шкалы*, которые отражают степень предпочтения или отвергания тех или иных веществ. Суть эксперимента обычно состоит в следующем. Испытуемому предлагают растворы разных вкусовых веществ в разных концентрациях, которые он должен оценивать по степени «приятности» или «неприятности». Шкала оценок чаще задается от -10 (крайне неприятный) до $+10$ (исключительно приятный вкус). Гедонические кривые для разных вкусовых веществ не всегда являются монотонными и степень предпочтения того или иного вещества в значительной степени зависит от его концентрации.

Вкусовая адаптация проявляется в повышении абсолютного порога и снижении интенсивности вкусового ощущения при длительном действии раздражителя. Выраженность адаптации и ее временные характеристики зависят от вида и концентрации вкусового вещества. Так, адаптация к сладким и соленым веществам происходит быстрее, чем к горьким и кислым.

Среди характеристик вкусовой чувствительности особое место занимает *перекрестная адаптация*. Под перекрестной адаптацией понимают влияние одного вкусового вещества на пороги восприятия другого. Это явление весьма сложно и неоднозначно. Так, любая кислота снижает чувствительность ко всем другим кислотам; для сладких и горьких веществ такой закономерности не наблюдается. Для солей перекрестная адаптация отмечается только в тех случаях, когда они близки друг к другу по своему вкусовому качеству.

Сенсибилизация – явление противоположное адаптации. В буквальном смысле означает обострение (усиление) чувствительности.

Сенсибилизация к горькому одновременно повышает чувствительность к сладкому, и наоборот, сенсибилизация к сладкому усиливает чувствительность к горькому.

При чередовании ряда химических веществ может возникать *вкусовой контраст* – обострение вкусовой чувствительности к веществу, отличному от воздействующего. Так, после соленого чистая, особенно дистиллированная, вода кажется сладковатой. Кислый вкус кажется более кислым и даже неприятным, если ему предшествовало ощущение сладкого (например, яблоко после конфеты). В психофизике вкусовой контраст можно исследовать, так же как и вкусовую адаптацию, по изменению абсолютных порогов чувствительности и временной динамике этого изменения.

При исследовании *вкуса смесей различных вкусовых веществ* наблюдаются довольно сложные взаимоотношения, которые могут проявляться как в виде перекрестной адаптации, так и в виде вкусового контраста, что обусловлено химической спецификой компонентов, входящих в состав смеси.

Адаптация, сенсибилизация и другие явления вкусовой чувствительности учитываются при дегустации вин и других продуктов, а также при последовательности подачи блюд.

8.1.2. Проблема вкусовых качеств

Проблема существования основных вкусовых качеств дискутируется, по меньшей мере, два с половиной тысячелетия. Первой дошедшей до нас классификацией вкусовых качеств является классификация Аристотеля, который выделял восемь основных качеств: сладкое, горькое, маслянистое, соленое, острое, терпкое, вяжущее и кислое.

Карл Линней, который классифицировал не только животных, растения и минералы, но и многое другое, предложил девять основных вкусов: влажный, сухой, кислый, горький, жирный, вяжущий, сладкий, слизистый и соленый.

М. В. Ломоносов сократил число основных вкусов до пяти: сладкий (вкус меда), горький (вкус хины), кислый (вкус клюквы), острый (вкус редьки) и соленый (вкус поваренной соли).

Только в 1824 г. французский химик М. Э. Шеврель установил разницу между «ощущением языка», вкусом и запахом, т. е. по сути

дела провел разграничение между собственно вкусовыми качествами и ощущениями, которые формируются за счет обонятельных рецепторов и механорецепторов языка. Таким образом, число основных вкусовых качеств было минимизировано и доведено до четырех (сладкое, кислое, горькое и соленое). Тем не менее некоторые исследователи не согласны с концепцией четырех основных качеств. Так, Х. Альтнер выделяет два дополнительных качества: щелочной и металлический вкус, а К. Икеда – такое вкусовое качество, как вкус глутаминовой кислоты.

Р. Эрикссон, анализируя историю изучения вкусового восприятия, пришел к выводу, что теория четырех основных вкусовых качеств никогда не была четко обоснована.

Тем не менее концепция четырех основных вкусовых качеств является наиболее популярной. В 1916 г. Х. Хеннинг предложил психофизическую модель, которая описывает «субъективное пространство вкуса» в трехмерном евклидовом пространстве. Модель имеет вид правильного тетраэдра («пирамида вкуса»), на вершинах которой располагаются «чистые» вкусы (горький, кислый, сладкий и соленый), а вкусы всех существующих в природе вкусовых веществ могут быть размещены на ребрах или гранях этой пирамиды. Другими словами, любое вкусовое ощущение можно получить смещением двух, максимум – трех «чистых» вкусов (рис. 29, а). Относительные же расстояния точек от вершин пирамиды соответствуют относительному вкладу того или иного вкусового вещества в формирование целостного вкусового ощущения.

В 1971 г. Х. Р. Шиффман и Р. Эрикссон попытались проверить справедливость модели Хеннинга экспериментально. При этом использовался метод неметрического шкалирования: испытуемые оценивали степень сходства и различия между растворами двух вкусовых веществ, предъявляемых последовательно друг за другом.

Компьютерная обработка большого числа результатов позволила воссоздать модель Хеннинга, но с некоторыми существенными поправками. Во-первых, оказалось, что полученная трехмерная фигура асимметрична и не имеет вид тетраэдра: расстояние между сладким и горьким вкусом оказалось значительно больше, чем между кислым и соленым, и т. д. Во-вторых, вкус некоторых химических веществ

(например, CaCl_2) не укладывался на поверхности пирамиды, так что для них пришлось искать место внутри нее.

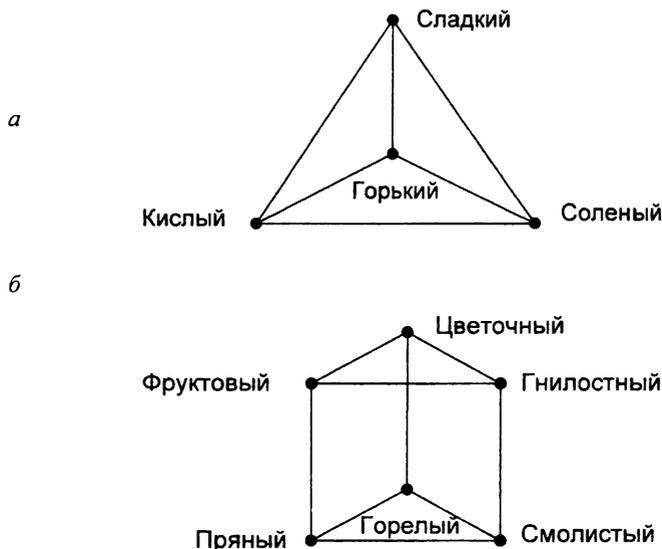


Рис. 29. Модели Хеннинга для вкуса и обоняния:
a – «вкусовая пирамида»; *б* – «призма запахов»

На сегодняшний день существует ряд хитроумных теорий, которые пытаются найти определенное соответствие между вкусом вещества и особенностями его химического строения. Однако это не предмет психофизики, а комплексная проблема, которая решается совместными усилиями биохимиков, биофизиков, специалистов в области молекулярной биологии и т. д.

8.2. Обоняние

Основное назначение обонятельной системы – информировать организм о присутствии в окружающей среде определенных химических соединений (пахучих веществ – одорантов), которые могут вы-

полнять ряд биологических и социальных функций. Например, информировать о пище, вредоносных (или просто неприятных) летучих веществах, о присутствии в среде различных объектов биогенного и абиогенного происхождения и т. д. У человека запах может играть и чисто эстетическую роль – неудивительно, что во всем мире процветает мощная индустрия парфюмерно-косметических изделий. Многие запахи в значительной степени воздействуют на эмоциональную сферу, т. е. имеют ярко выраженную (положительную или отрицательную) эмоциональную окраску.

8.2.1. Психофизические характеристики обоняния

Под *абсолютным порогом* понимают минимальное количество (или концентрацию) пахучего вещества, которое вызывает ощущение запаха. Измеряется в граммах, молях или по числу молекул на единицу объема во внешней среде или в носовой полости. Различают *порог неопределенного ощущения* и *порог узнавания запаха*, причем второй несколько выше. Как и для других видов чувствительности, порог – вероятностная характеристика, и за пороговый уровень, как правило, принимается концентрация одоранта, обнаруживаемая или узнаваемая в 50% случаев. Величина абсолютного порога зависит от ряда факторов. Так, например, чувствительность к запаху увеличивается при высокой относительной влажности воздуха, при повышении температуры.

Разностные (дифференциальные) пороги, так же как и для вкусовой чувствительности, соответствуют минимальной разности концентраций пахучего вещества, которая вызывает едва заметное приращение (или убывание) ощущения запаха.

Относительный дифференциальный порог есть отношение разностного порога к исходной концентрации пахучего вещества. У человека относительный дифференциальный порог довольно высок (на порядок выше аналогичных порогов для зрения и слуха): $\Delta C/C = 0,3-0,6$, т. е. приращение ощущения запаха происходит при увеличении исходной концентрации на 30–60%. При низких и высоких концентрациях величина порога возрастает; в области средних концентраций с хорошим приближением выполняется правило Вебера.

Обонятельная (запаховая) адаптация характеризуется увеличением порогов ощущения при длительной стимуляции. Выраженность

и временная динамика адаптации зависят от интенсивности и длительности стимуляции, а также качества запаха. Известно явление *гетерогенной адаптации* (снижение чувствительности к веществам со сходным запахом). Гетерогенная запаховая адаптация является своего рода аналогом перекрестной адаптации для вкусовой чувствительности.

При *восприятии смеси запахов* могут наблюдаться следующие феномены: 1) *слияние запахов* – возникает целостное ощущение нового запаха, не разложимого на составные компоненты; 2) *смешение типа музыкального аккорда* – компоненты могут быть выделены по отдельности, но создают новый целостный образ; 3) *чередование обонятельных ощущений* – два запаха не могут создать целостное ощущение, а воспринимаются по отдельности (аналогично восприятию зрительных изображений с помощью диглоскопа); 4) *маскировка* одним запахом других – доминирующий запах затушевывает все остальные; 5) *компенсация запахов* – два запаха могут восприниматься по отдельности, но при их смешении ощущения запаха вообще не возникает.

8.2.2. Классификации запахов

Известны два основных подхода к классификации запахов: 1) все существующие в природе запахи классифицируются (систематизируются) так, чтобы сходные запахи оказались принадлежащими к одной, а малопохожие – к разным группам (типам, классам и пр.); 2) ведутся поиски определенного, сравнительно небольшого, числа «основных» запахов, с помощью которых можно было бы провести упорядочение всей совокупности запахов (через сочетание «основных»).

Примером первого подхода может служить классификация Х. Зваардемакера, второго – системы Х. Хеннинга, Крокера и Хендерсона, Дж. Эймура и др.

Классификация Зваардемакера. Все существующие в природе запахи можно объединить в девять классов, часть которых включает более мелкие группы (подклассы): 1) класс *эфирных запахов* (простые и сложные эфиры, ацетон, хлороформ и др.); 2) класс *ароматических запахов* (включает в себя пять подклассов: камфарные, пряные, анисовые, лимонные и миндальные); 3) класс *цветочных (бальзамных) запахов* (включает три подкласса); 4) класс *амбромускусных запахов*; 5) класс *чесночных запахов* (иприт, люизит, ацетилен, ихтиол и др.);

6) *класс пригорелых запахов* (бензол, фенол, анилин, крезол); 7) *класс каприловых запахов* (козий, каприловая кислота; прогорклое масло, сивушные масла); 8) *класс отталкивающих запахов* (пиридин, хинолин, запах наркотиков, клопов и др.); 9) *класс тошнотворных запахов* (индол, скатол и их производные).

«Призма запахов» Хеннинга. Аналогично «вкусовой пирамиде» Х. Хеннинг в 1924 г. создал трехмерную модель в виде трехгранной призмы, на вершинах которой располагаются шесть основных запахов: *цветочный, гнилостный, фруктовый, горелый, пряный, смолистый*. Все остальные (промежуточные или комбинированные) запахи располагаются на ребрах и гранях этой призмы (рис. 29, б).

Однако Х. Р. Шиффман и Р. Эриксон подвергли критике «призму запахов» Хеннинга. На основании многомерного шкалирования они пришли к выводу, что расположить все существующие в природе запахи в трехмерном евклидовом пространстве не представляется возможным – для этого необходимо четырех- или даже пятимерное пространство.

Система Крокера и Хендерсона. Каждый запах может быть разложен на четыре основных компонента: *цветочный, гнилостный, кислый и каприловый*. Каждый компонент может иметь 8 ступеней интенсивности (от 0 до 7), и каждый запах выражается четырехзначным числом, цифры которого отражают интенсивность каждого из компонентов. Классификация довольно искусственна и не имеет серьезного теоретического обоснования. Однако она нашла некоторое признание в прикладных областях (дегустация и пр.).

Теория Эймура. Ее называют также *стереохимической теорией запаха*. Дж. Эймур различает семь основных запахов: *камфарный, цветочный, мускусный, мятный, эфирный, едкий и гнилостный* и соответственно семь типов стереоспецифических активных центров на обонятельных клетках. Согласно Эймуру, основным фактором, определяющим качество (специфичность) запаха, является не химический состав, а форма и размеры молекулы пахучего вещества. Молекула взаимодействуя с активным центром соответствующей конфигурации, подходит к нему «как ключ к замку» и вступает с ним во временное химическое взаимодействие. Так, вещества, имеющие камфарный запах, обладают формой, близкой к сферической диаметром порядка 7 \AA (0,7 нм). В эту группу попадают вещества с разным хи-

мическим строением. Вещества с мускусным запахом имеют форму диска с диаметром около 10 \AA (1 нм).

Классификация Эймура, ранее считавшаяся неубедительной, была экспериментально подтверждена и стала одним из наиболее перспективных подходов к решению проблемы. В 70–80-е гг. XX столетия на ее основе было создано техническое устройство, получившее название «электронный нос». Главным его достоинством является отсутствие побочных эффектов восприятия запаха, обусловленного индивидуальными особенностями человека.

Заключение

«Измерять» свои ощущения, переживания человек стал еще на заре своего становления, пожалуй, с того момента, когда возникла необходимость обнаружить добычу, определить расстояние до гонимого зверя, когда нужно было оценить свои возможности, чтобы поразить его. Такая оценка была биологически обусловлена и обеспечивала выживание человека.

Задачи такого рода человек решал и решает ежедневно. Адекватная оценка действительности напрямую уже не связана с выживанием человека (по крайней мере в большинстве случаев), но она дает возможность сформировать соответствующий сложившейся обстановке поведенческий акт, построить в целом наиболее полную внутреннюю картину мира. Хотя проблема соответствия окружающего мира ее субъективному отражению, казалось, лежала на поверхности, но лишь в XIX в. Г. Фехнером была предложена стройная математическая модель, описывающая зависимость между величиной действующего раздражителя и возникающими при этом субъективными ощущениями. Эта зависимость получила название основного психофизического закона и описывалась логарифмическим уравнением. Согласно этому закону наши ощущения пропорциональны логарифму интенсивности стимула, действующего на органы чувств.

К середине XX в. накопилось множество данных, не укладывавшихся в «прокрустово ложе» логарифмического закона, что позволило профессору Гарвардского университета С. Стивенсу сформулировать свой закон, который тоже был назван основным. В отличие от закона Фехнера, этот закон описывал взаимосвязь между физическими характеристиками и субъективными ощущениями степенной зависимостью. Возникшее поначалу противостояние между приверженцами этих законов впоследствии сошло на нет, поскольку эти закономерности описывают разные психические процессы, имеющие место при восприятии сигналов. Со временем появилось множество поправок к психофизическим законам, что еще раз доказывает сложность и неоднозначность психического отражения.

Любая экспериментальная наука, как известно, развивается по своим объективным законам, в основе которых лежит противоречие

между накопленными данными и теми закономерностями, которые должны были бы объяснить их. Психофизика не стала исключением, столкнувшись со сложными методологическими проблемами. Основополагающая «объектная» парадигма, в рамках которой физические характеристики, подбираемые и изменяемые волей экспериментатора, не могла объяснить чрезвычайно широкую вариацию внутри- и межиндивидуальных данных. На смену ей пришла современная «субъектная» психофизика, краеугольным камнем которой являются индивидуальные особенности субъекта, проявляющиеся в процессе его психической деятельности, в частности, в процессе восприятия. Еще одной важной особенностью современных психофизических исследований является акцентирование внимания экспериментатора не на искусственно выделяемом качестве стимула, а на том или тех качествах, которые в данный момент имеют значение для человека, с учетом его установок, мотивов, целей и т. д.

Психофизика является экспериментальной наукой. Она представляет собой пограничную область между естественными и гуманитарными науками, своеобразный мост между физическим и психическим, материальным и идеальным, мозгом и сознанием. Психофизика позволяет нам понять насколько адекватно наше восприятие, насколько оно соответствует внешнему миру, понять хотя бы в первом приближении каким образом формируется субъективный образ этого внешнего мира. Таким образом, психофизика является еще и мировоззренческой наукой, помогающей, с одной стороны, определить место и роль человека в окружающем мире, а с другой – определить степень зависимости психики от внешних и внутренних факторов.

Библиографический список

- Айзенк Г. Ю.* Структура личности [Текст] / Г. Ю. Айзенк. М.: КСП+; СПб: Ювента, 1999. 464 с.
- Альтман Я. А.* Локализация движущегося источника звука [Текст] / Я. А. Альтман. Л.: Наука, 1983. 176 с.
- Альтман Я. А.* Локализация звука [Текст] / Я. А. Альтман. Л.: Наука, 1972. 214 с.
- Альтман Я. А.* Психофизика [Текст] / Я. А. Альтман // Физиология сенсорных систем / под ред. Я. А. Альтмана. СПб.: Паритет, 2003. С. 11–25.
- Бардин К. В.* Проблема порогов чувствительности и психофизические методы [Текст] / К. В. Бардин. М.: Наука, 1976. 396 с.
- Бронштейн А. И.* Вкус и обоняние [Текст] / А. И. Бронштейн. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 308 с.
- Веккер Л. М.* Психика и реальность [Текст] / Л. М. Веккер. М.: Смысл, 1998. 685 с.
- Грюссер О.* Физиология зрения [Текст] / О. Грюссер, У. Грюссер-Корнелье // Основы сенсорной физиологии / под ред. Р. Шмидта. М.: Мир, 1984. С. 142–197.
- Гусев А. Н.* Психофизика сенсорных задач: системно-деятельностный анализ поведения человека в ситуации неопределенности [Текст] / А. Н. Гусев. М.: Изд-во Моск. ун-та: УМК «Психология», 2004. 316 с.
- Кравков С. В.* Глаз и его работа [Текст] / С. В. Кравков. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 532 с.
- Кравков С. В.* Цветовое зрение [Текст] / С. В. Кравков. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 176 с.
- Лупандин В. И.* Основы сенсорной физиологии [Текст] / В. И. Лупандин, О. Е. Сурнина. М.: Сфера, 2006. 288 с.
- Лупандин В. И.* Психофизическое шкалирование [Текст] / В. И. Лупандин. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1989. 24 с.
- Лупандин В. И.* Субъективные шкалы пространства и времени [Текст] / В. И. Лупандин, О. Е. Сурнина. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. 126 с.
- Носуленко В. Н.* Воспринимаемое качество как инструмент психофизического исследования [Текст] / В. Н. Носуленко // Психофизи-

ка сегодня / под ред. В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой. М.: Ин-т психологии РАН, 2007. С. 75–89.

Основы сенсорной физиологии [Текст] / под ред. Р. Шмидта. М.: Мир, 1984. 287 с.

Пэдхем Ч. Восприятие света и цвета [Текст] / Ч. Пэдхем, Дж. Сондерс. М.: Мир, 1978. 256 с.

Ратанова Т. А. О физиологической основе индивидуальной вариабельности психофизических шкал [Текст] / Т. А. Ратанова // *Психофизика сегодня* / под ред. В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой. М.: Ин-т психологии РАН, 2007. С. 174–183.

Рок И. Введение в зрительное восприятие [Текст]: в 2 т. / И. Рок. М.: Мир, 1980. Т. 1. 311 с.

Скотникова И. Г. Субъектный подход в психофизике и исследование уверенности в решении пороговых задач как одно из его направлений [Текст] / И. Г. Скотникова // *Психофизика сегодня* / под ред. В. Н. Носуленко, И. Г. Скотниковой. М.: Ин-т психологии РАН, 2007. С. 109–120.

Соколов Е. Н. Цветовое зрение [Текст] / Е. Н. Соколов, Ч. А. Измайлов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 175 с.

Стивенс С. С. Математика, измерение и психофизика [Текст] / С. С. Стивенс // *Экспериментальная психология* / под ред. С. С. Стивенса. М.: Иностран. лит., 1960. Т. 1. С. 19–89.

Физиология сенсорных систем [Текст] / под ред. А. С. Батуева. Л.: Медицина, 1976. 399 с.

Физиология сенсорных систем [Текст] / под ред. Я. А. Альтмана. СПб.: Паритет, 2003. 352 с.

Baird J. C. Fundamentals of scaling and psychophysics [Text] / J. C. Baird, E. Noma. N. Y.: John Wiley & Sons, 1978. 287 p.

Marks L. E. Sensory processes [Text] / L. E. Marks. N. Y.: Academic Press, 1974. 334 p.

Stevens S. S. Psychophysics: introduction to its perceptual, neural, and social prospects [Text] / S. S. Stevens. N.Y.: John Wiley & Sons, 1975. 329 p.

Оглавление

Введение	3
Раздел I. Основы общей психофизики	6
Глава 1. Краткий очерк истории психофизики.....	6
1.1. Дофехнеровский период в истории психофизики	6
1.2. Возникновение психофизики как самостоятельной науки. Концепция Г. Фехнера и «основной психофизический закон».....	7
1.3. Развитие психофизики в конце XIX – начале XX столетий	9
1.4. «Новая психофизика» С. Стивенса: подходы, методы и теоретические конструкторы	11
1.5. Современное состояние и актуальные проблемы психофизики	14
Глава 2. Психофизика – 1. Проблема порогов чувствительности.....	20
2.1. Классическое и современное понятие порога: эволюция взглядов	20
2.1.1. Понятие порога в классической психофизике	20
2.1.2. Пути решения пороговой проблемы в современной психофизике	24
2.2. Методы исследования порогов чувствительности	31
2.2.1. Метод минимальных изменений	31
2.2.2. Метод постоянных раздражителей.....	35
2.2.3. Метод средней ошибки.....	37
2.2.4. Метод «да – нет»	39
2.2.5. Метод оценки.....	39
2.2.6. Метод вынужденного выбора	40
2.3. Влияние ситуационных и индивидуально-психологических факторов на эффективность обнаружения сигналов	40
2.4. Теоретические и прикладные аспекты изучения порогов чувствительности.....	45
Глава 3. Психофизика – 2. Сенсорные шкалы	47
3.1. Основные понятия о шкалах измерений.....	47
3.2. Методы психофизического шкалирования	49

3.2.1. Методы воспроизведения и идентификации.....	49
3.2.2. Интервальные методы	50
3.2.3. Методы группировки (категориальные методы).....	51
3.2.4. Методы оценки	51
3.2.5. Методы установки (продуцирования).....	52
3.2.6. Кросс-модальный подбор.....	52
3.2.7. Неметрическое и многомерное шкалирование	53
3.3. Эффекты (феномены) шкалирования.....	54
3.3.1. Пороговые эффекты	54
3.3.2. Эффекты, связанные с шириной исследуемого диапазона	55
3.3.3. Эффекты, связанные с последовательностью предъявления стимулов	57
3.3.4. Эффекты, обусловленные информационной значимостью стимула	58
3.4. Индивидуальные особенности в психофизическом шкалировании	59
3.5. Основной психофизический закон и его современная интерпретация	62
Раздел II. Психофизика отдельных видов чувствительности	67
Глава 4. Психофизика зрения.....	67
4.1. Основные физические характеристики света	67
4.2. Восприятие света.....	69
4.2.1. Абсолютные пороги световой чувствительности.....	69
4.2.2. Адаптация.....	70
4.2.3. Дифференциальная световая чувствительность	71
4.2.4. Субъективные шкалы яркости	72
4.3. Цветовое зрение	74
4.3.1. Основные характеристики цвета	75
4.3.2. Цветоразличение	76
4.3.3. Субъективные шкалы цветового зрения.....	78
4.3.4. Модели цветового зрения.....	79
4.3.5. Феномены цветового зрения	82
4.4. Зрительное восприятие пространства	82
4.4.1. Острота зрения.....	83

4.4.2. Поле зрения	85
4.4.3. Восприятие формы объектов	86
4.4.4. Зрительное восприятие размера	87
4.4.5. Восприятие удаленности	88
4.4.6. Восприятие движения	88
Глава 5. Психофизика слуха	90
5.1. Восприятие интенсивности звука	90
5.2. Восприятие высоты тона	93
5.3. Восприятие длительности звука	94
5.4. Пространственная локализация звука	95
5.4.1. Локализация неподвижного источника звука	95
5.4.2. Локализация движущегося источника звука	96
Глава 6. Психофизика кожной чувствительности	97
6.1. Тактильная чувствительность	97
6.2. Температурная чувствительность	99
6.3. Болевая чувствительность	102
Глава 7. Психофизика кинестетической и вестибулярной чувствительности	105
7.1. Кинестетическая чувствительность	105
7.1.1. Восприятие тяжести груза	105
7.1.2. Пространственная кинестезия	107
7.2. Вестибулярная чувствительность	107
Глава 8. Психофизика вкуса и обоняния	109
8.1. Вкусовая чувствительность	109
8.1.1. Психофизические характеристики вкусовой чувствительности	109
8.1.2. Проблема вкусовых качеств	112
8.2. Обоняние	114
8.2.1. Психофизические характеристики обоняния	115
8.2.2. Классификации запахов	116
Заключение	119
Библиографический список	121

Учебное издание

Лупандин Владимир Иванович
Сурнина Ольга Ефимовна

ПСИХОФИЗИКА

Учебное пособие

Редактор Л. И. Кузнецова
Компьютерная верстка Е. С. Зилёвой

Печатается по постановлению
редакционно-издательского совета университета

Подписано в печать 16.02.09. Формат 60×84/16. Бумага для множ. аппаратов. Усл. печ. л. 6,6. Уч.-изд. л. 7,3. Тираж 100 экз. Заказ № 1542
Издательство ГОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет». Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.

Отпечатано в типографии
ООО «Издательство УМЦ УПИ»
620078, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.
тел. (343) 362-91-16, 362-91-17