

из истории физики

**Люди-Х, обладающие необычным взаимодействием
рецепторных систем,
конструируют внутри себя мир новых образов**
(к 140-летию со дня рождения академика П.П. Лазарева)

Г.Р. Иваницкий

*Дано краткое описание научной и организационной деятельности академика Петра Петровича Лазарева, который, во-первых, предсказал закон взаимодействия наборов разных рецепторов при решении человеком возникающих задач, а во-вторых, наличие их особого взаимодействия, когда два или более рецепторных каналов либо синхронизируются, либо объединяются в один. Второй вариант называют *синестезией*. Спустя полвека интерес к изучению этого явления получил широкое распространение.*

Ключевые слова: академик П.П. Лазарев, биофизика в Советской России, синестезия

PACS numbers: 01.65.+g, 87.18.Sn, 87.19.-j, 87.19.La, 87.23.Kg

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2019.01.038524>

Содержание

1. Введение (759).
2. Сюжеты из биографии академика П.П. Лазарева (760).
 - 2.1. Судьба Московской школы физиков. 2.2. Научные заслуги.
 - 2.3. Начало развития биофизики в Советской России. 2.4. Зигзаги судьбы.
3. Поиск путей совместного изучения зрения и слуха (764).
 - 3.1. "Влияние пения на зрение". 3.2. Рассуждения П.П. Лазарева о взаимном влиянии систем рецепции.
4. Дискуссии вокруг синестезии (766).
 - 4.1. Существует ли синестезия? 4.2. Как мы воспринимаем звуки.
 - 4.3. Восприятие внешних ситуаций: рецепция в комбинации с эмоциями. 4.4. В мире ритмов: существует ли "эффект Моцарта"?
5. Вес каждого восприятия в распознавании образов внешнего мира (772).
 - 5.1. Зрительная рецепция. 5.2. Переход от фрагментов к сборке целого.
6. Доказательства существования синестезии (774).
 - 6.1. Конец XX века: обнаруженные варианты синестезий.
 - 6.2. XXI век: расширение исследования синестезий. 6.3. О связи зрительной рецепции с "моторикой".
7. Синестезия — что это: генетическое эхо прошлого или приобретаемое, но не наследуемое свойство адаптации к изменениям внешней среды? (776).

8. Обсуждение механизмов синестезии (777).

- 8.1. Роль памяти в сжатии информации.
- 8.2. Обработка информации в сетях.
- 8.3. Синестезия уничтожает неопределённости восприятия.

9. Выводы (782).

Список литературы (782).

Из заключения члена комиссии Президиума АН СССР академика А.Н. Крылова по докладу П.П. Лазарева под названием "Влияние пения на зрение": «...доклад следовало бы озаглавить "Влияние раздражения мозгового центра слуха на мозговой центр зрения", — причём для точности следовало указать и латинские анатомические названия того и другого центра, тогда заглавие доклада не могло бы вызывать никаких недоразумений...»

Академик А.Н. Крылов [1]

1. Введение

Эта статья посвящена разделу биофизики, истоки которого являются эхом одной из работ академика Петра Петровича Лазарева. 14 апреля 2018 г. исполнилось 140 лет со дня его рождения¹. Напомню, что именно им 100 лет назад, в апреле 1918 года, был создан журнал *Успехи физических наук* (*УФН*) [6–8]. Этому журналу многие годы удаётся работать на высоком уровне. *УФН* входит в число российских журналов с высоким импакт-фактором. От П.П. Лазарева потребовался талант и упорство, чтобы в столь тяжёлое для страны время организовать журнал, который охватывал практически все разделы физики и почти всю область смежных с физикой дисциплин и способствовал повышению уровня физических исследований в стране.

Г.Р. Иваницкий. Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, ул. Институтская 3, 142290 Пущино, Московская обл., Российская Федерация
Тел. 7 (4967) 73-24-81. Факс 7 (4967) 79-05-53
E-mail: ivanitsky@iteb.ru

Статья поступила 26 ноября 2018 г.,
после доработки 27 марта 2019 г.

¹ О жизни и творчестве Петра Петровича Лазарева см. статьи в журнале *УФН* [2–5].

Скуп язык словарей и энциклопедий. Когда уходят из жизни очевидцы, то некогда яркие краски кипящих страстей тускнеют. Одни из участников этих событий волею случая превращаются в приукрашенные иконы, имена других порою незаслуженно отправляются пылиться в исторических запасниках. Нужно, не впадая в крайности, бережно относиться к своей истории.

Американский физик-теоретик Ф. Дайсон в статье "Птицы и лягушки в математике и физике" [9] разделил всех учёных на две группы: учёные-птицы и учёные-лягушки. Птицы парят в вышине и обозревают обширные пространства математики и физики. Наслаждение им доставляют разные элементы пейзажа, которые они пытаются объединить, создав тем самым единую картину мира. Лягушки же далеко внизу видят только расстущие поблизости цветы. Для них наслаждение внимательно разглядывать конкретные объекты. Задачи они решают последовательно, одну за другой. Для развития любой науки нужны и те и другие. П.П. Лазарева по этой классификации следует отнести к птицам.

Продолжая эту мысль, замечу, что член-корреспондент АН СССР Т.П. Кравец (1876–1953) в статье "Творческий путь академика П.П. Лазарева" [10] отметил: «*П.П. много интересовался вопросами психологии творчества и очень любил книжку В. Остwalda "Великие люди" ("Grosse Männer") [11]. На него большое впечатление производило оствальдовское разделение творцов науки на "классиков" и "романтиков". Первые спокойно работают в тиши и одиночестве над своими темами, не нуждаясь в помощи сотрудников, своим собственным трудом завершают свои мысли, часто даря человечеству неоценимые сокровища мысли и опыта. Вторые работают перво, с надрывом, не поспевая облачить в плоть собственной работы свои идеи, рождающиеся у них в мучительном изобилии и властно требующие от них привлечения к немедленному разрешению возникающих задач всё новых и новых учеников и сотрудников. Наш общий учитель П.Н. Лебедев, несомненно, был таким типичным романтиком, и за ним по этому пути пошёл и П.П. Лазарев. Этот путь он избрал сознательно, и я уверен, с некоторым насилием над своей природой и своими ранними привычками...».*

Наконец, ещё одна характеристика, данная П.П. Лазареву его учителем, выдающимся физиком П.Н. Лебедевым. 17 октября 1910 г. П.Н. Лебедев в письме к Л.А. Чугаеву (1873–1922), известному российскому биохимику, писал: «*По моему мнению, П.П. Лазарев — огромная сила: он талантливый учёный с неисчерпаемым запасом научных тем и, вне сомнения, блестящим будущим, он превосходный учитель, который искренне любит своё дело, который хочет и умеет объединять вокруг себя учеников, и вдобавок он умный и хороший человек. Если сравнивать его с другими физиками, то позвольте мне сделать это сравнение со мной самим: со спокойной совестью я могу сказать, что П.П. Лазарев значительно крупнее меня и по таланту как учёный, и по способности организовать школу учёных работников» [12–14].*

Цель моей статьи показать: во-первых, что властным структурам часто трудно смириться с существованием свободно мыслящих учёных; во-вторых, я хочу отметить, что признание порою достаётся не тому, кто предложил идею объяснения нового явления, а тем, которые поняли и популяризовали достигнутое первооткрывателем.

2. Сюжеты из биографии академика П.П. Лазарева

2.1. Судьба Московской школы физиков

Чтобы продемонстрировать широту научных интересов П.П. Лазарева, достаточно упомянуть спектр тем его публикаций буквально в первых же номерах в созданном им журнале УФН: от физики молекул до геофизики [15–27]. В целом же П.П. Лазаревым было опубликовано свыше 500 научных статей, брошюр и книг.

Осенью 1977 г. рассерженный академик В.В. Шулейкин пришёл к академику А.А. Баеву, тогда академику-секретарю Отделения биохимии, биофизики и химии физиологически активных соединений АН СССР, с претензиями, что приближается 100-летний юбилей П.П. Лазарева, а Отделение, имеющее в своём титуле термин "биофизика", не проявляет к нему никакого интереса.

Почему В.В. Шулейкин проявил активность в связи с юбилеем П.П. Лазарева? В.В. Шулейкин был сотрудником созданного в 1919 г. П.П. Лазаревым (в стенах Физического института [28]) Института физики и биофизики НКЗ РСФСР² [29]. В дальнейшем из этого института вырос ФИАН (Физический институт АН СССР им. П.Н. Лебедева) [30] и большинство московских институтов биофизического профиля.

По инициативе В.В. Шулейкина и при поддержке П.П. Лазарева была основана в Кацивелли на южном



Академик Пётр Петрович Лазарев
(14.04.1878–24.04.1942)

² НКЗ РСФСР — Народный Комиссариат здравоохранения Российской Советской Федеративной Социалистической Республики.

берегу Крыма Черноморская гидрофизическая станция (1929 г.), которой стал руководить В.В. Шулейкин. Там он сделал ряд работ по физике и биофизике моря. Перечень вопросов был обширен: почему некоторые рыбы и морские животные, например, дельфины, могут развивать большую скорость при низких энергетических затратах; как осуществляется движение летучих рыб; почему движение стай птиц или косяков рыб выгоднее, чем движение одиночной особи; как и почему морские животные чувствуют задолго до начала шторма его приближение и уходят на глубину, чтобы не разбиться о прибрежные камни? На многие из этих "почему" им были получены ответы. П.П. Лазарев ценил и рекламировал работы тогда юного Шулейкина. Об этом можно судить по его отзыву [31] на книгу В. Шулейкина "Физика моря" [32]. Естественно, что В.В. Шулейкин, как благодарный ученик, взял на себя хлопоты по организации юбилея П.П. Лазарева.

40 лет назад А.А. Баев от биофизиков нашего Отделения поручил мне подготовку доклада на тему "Роль П.П. Лазарева в становлении отечественной биофизики" [33]. После прочтения трудов П.П. Лазарева, общения с В.В. Шулейкиным и особенно с профессором, д.т.н. Я.Л. Шехтманом (который долгие годы работал с П.П. Лазаревым, а затем заведовал лабораторией в нашем институте в Пущино) мне удалось понять многие ситуации в жизни Лазарева.

Для моего рассказа важно, что П.П. Лазарев ещё студентом начал посещать руководимые П.Н. Лебедевым знаменитые в начале XX столетия коллоквиумы, которые проходили в Столетовской библиотеке Физического факультета Московского университета. Там П.Н. Лебедев обратил внимание на скромного, но толкового молодого человека Петра Лазарева. Дальнейшие события известны и многократно описаны. К 135-летию со дня рождения П.П. Лазарева Архивом Российской академии наук был подготовлен иллюстрированный слайд-фильм о его жизни и творчестве. Он выставлен в открытом доступе³, и каждый может с ним ознакомиться. Я изложу лишь несколько сюжетов из жизни П.П. Лазарева, которые пропущены или не совсем полно изложены на этом сайте.

В начале 1911 г. полицейские репрессии вызвали протест в Московском университете. В результате по приказу министра народного просвещения ректор университета и его помощники были уволены. Тогда 124 профессора и доцента в знак протesta ушли из Московского университета. Среди них были 45-летний профессор П.Н. Лебедев и 33-летний приват-доцент П.П. Лазарев. В марте 1912 г. после продолжительной болезни П.Н. Лебедев умер. Его лабораторию, но уже не в Московском университете, а вне его, возглавил П.П. Лазарев. Эта лаборатория (в стенах которой в 1919 г. был организован Институт физики и биофизики) была создана в Москве на добровольные пожертвования из средств Общества им. Х.С. Леденцова⁴ (и других меценатов

³ <http://www.arran.ru/bookreader/publication.php?guid=7FA5B941-BC38-4EA2-8F3D-38E935194259&ida=1&kod=9#page/1/mode/1up>

⁴ Х.С. Леденцов (1842–1907) — купец первой гильдии и меценат. Он организовал один из первых фондов поддержки науки. Общество им. Х.С. Леденцова стало негосударственной, самостоятельной общественной организацией, призванной содействовать научному и техническому прогрессу. Общество просуществовало девять лет (1909–1918).

[28]). Такова в конспектном изложении история начала административной карьеры П. П. Лазарева [33, 34].

2.2. Научные заслуги

П.П. Лазарев был избран академиком в 1917 г. Показательно, что в связи с его разносторонней деятельностью рекомендацию в академику ему дали известнейшие российские учёные: физиолог И.П. Павлов, математик и механик А.Н. Крылов, математик В.В. Стеклов, минеролог, геохимик и эколог В.И. Вернадский, а также химик Н.С. Курнаков. На первом месте научных заслуг Лазарева стояла математическая разработка "ионной теории возбуждения" [35]. Однако эта теория представляет сегодня лишь исторический интерес. Тогда ещё не было должного понимания сигнальных веществ и не осознавалось, что малые причины в нелинейных биосистемах могут приводить к большим последствиям. Главную роль в рецепторных процессах играют не только величины концентраций лигандов⁵, а наличие мишней с размножением, т.е. с большими коэффициентами усиления эффектов. Кстати, один из учеников Лазарева (впоследствии президент Академии наук СССР) академик С.И. Вавилов показал, что в условиях темновой адаптации наш глаз может зарегистрировать интенсивность света даже в один фотон [36] (что упоминалось ранее и в простых расчётах П.П. Лазарева [20]).

Второе, что отмечалось как достижение Лазарева, — это его исследования в области фотохимии [37]. Нападки К.А. Тимирязева [38], порою весьма резкие, на П.П. Лазарева, на тему, что важнее для эффектов в фотохимии: интенсивность источника света (число фотонов) или частота излучения — были довольно бессмысленными. В основе нападок, скорее всего, лежала личная неприязнь К.А. Тимирязева к П.П. Лазареву. Дело в том, что физиолога К.А. Тимирязева связывала дружба с П.Н. Лебедевым, поэтому он надеялся, что сотрудники его лаборатории займутся изучением пограничной области физики и физиологии растений. Однако после смерти Лебедева у Лазарева, который возглавил лабораторию, были другие планы. Он хотел проследить за судьбой солнечного луча не в хлорофилле растений, а в живом глазе, т.е. "наблюдать разложение зрительного пурпур". Что касается самой сути фотохимии, то, конечно, П.П. Лазарев хорошо понимал её. Дело в том, что ещё в 1887 г. Генрих Герц заметил, что проскачивание искры между цинковыми шариками разрядника значительно облегчается, если один из них осветить ультрафиолетом [39]. Год спустя А.Г. Столетовым был сформулирован закон: скорость фотоэлектронов, выбиваемых светом, растёт с увеличением частоты падающего света, а число выбиваемых фотонами электронов пропорционально интенсивности света [40]. Так что зря Тимирязев нападал на Лазарева. Как известно, окончательная математическая трактовка фотоэффекта была дана Альбертом Эйнштейном в 1905 г. [41], а Лазарев был знаком не только с работами Эйнштейна, но и с ним самим. В архиве П.П. Лазарева сохранилась фотография, подтверждающая его научные и личные контакты с А. Эйнштейном (см. фото 1, а также групповую фотографию

⁵ Лиганд (от лат. *ligare* — "связывать") — собирательное понятие для микрочастиц (атомов, ионов или молекул), связывающихся с неким центром рецептора (акцептором).



Фото 1. Слева направо: П.П. Лазарев, Нильс Бор и Альберт Эйнштейн (Берлин, Неделя Российской науки, 1927 г.).

участников Недели Российской науки, проходившей в Берлине в 1927 г., приведённую в статье [42].

Далее, картографирование под руководством П.П. Лазарева Курской магнитной аномалии (1918), которому было отведено особое место как крупному достижению геофизической науки в период становления Советской власти [26, 27], с моей точки зрения, было важной, но технической работой. Проведение её было делом вынужденным и основанным на изоляции России от остального мира в результате Великой Октябрьской социалистической революции или, как теперь её иногда называют, "большевистского переворота 1917 г.". До революции работа на магнитно-аномальной территории Курской и Орловской губерний уже была проведена под руководством профессора Московского университета Э.Е. Лейста. Документация оказалась в Германии, где Лейст в 1918 г. умер. За документацию запросили гигантскую по тем временам сумму (5 млн золотых рублей). Лазарев на основе небольшого финансирования взялся повторить эту работу в кратчайшие сроки. Так что, хотя он был не первым, но при выполнении этой работы проявился его незаурядный организаторский талант.

Тем не менее я думаю, что есть, по крайней мере, три биофизические работы, выполненные под руководством П.П. Лазарева, которые и сейчас представляются интересными и оказали существенное влияние на будущее развитие науки. Далеко не каждый исследователь имеет такие научные достижения, которые заложили самостоятельные направления в науке.

П.П. Лазарев и его ученики отметили в экспериментах при условии темновой адаптации неодинаковую чувствительность глаза, зависящую, с одной стороны, от возраста, а с другой — от астрономического времени. П.П. Лазарев потратил, как видно из опубликованных статей, не одно десятилетие для того, чтобы установить, что наблюдаемые флуктуации не являются результатом ошибок. Усредняя быстрые флуктуации, он обнаружил относительно медленные колебания. Была обнаружена периодичность с характерными временами (сутки, месяцы и сезоны). По-видимому, он был первым, кто установил правильную суточную периодичность (циркадные ритмы) в работе зрительной системы человека [43]. На эту работу следует обратить внимание в связи с проблемой старения и "биологическими часами", а также в связи с влиянием на точность их хода как внутренних генетических, так и внешних физических факторов.

Вторая работа с продолжением была связана с мимикрией — защитной окраской у животных. Сам Лазарев писал о ней в 1940 г. кратко: "Практически мимикрия очень важна в военном деле, и Институт физики и биофизики дал не только развитую теорию светомаскировки в военном деле (1918–1923), но и показал на реальных примерах действенность своих теорий" [28]. В чём основной результат этих исследований и теории?

П.П. Лазарев и его сотрудник В.А. Гамбурцев сняли спектры отражения зелёных листьев и пигментов, обеспечивающих покровительственную окраску у зелёных животных (например, лягушек и насекомых), и показали, что хотя пигменты окраски их кожи и хлорофилл растений отличаются своим химическим свойством, но их спектры в видимой области почти тождественны, поэтому объекты невидимы. Эти результаты были опубликованы. Но далее делался ещё один логический шаг. Спектры фона и объекта не могут быть идентичны во всём диапазоне электромагнитных волн, так как объект и фон химически различны. Поэтому если одновременно картину отражения объекта и фона получить, например, в трёх длинах волн, то там, где эти спектры не перекрываются, объект на этом фоне будет обнаруживаться. Чем дальше разнесены регистрируемые волны отражения по их длине (в диапазоне от ультрафиолета до инфракрасного света), тем менее вероятна маскировка, при сильном разнесении длин волн наступает такая ситуация, что любой объект, хотя бы незначительно отличающийся по химическому составу от фона, будет обнаружен.

"Зональные камеры" на спутниках, которые были созданы во второй половине XX века, решали эту задачу. Они должны были обеспечивать фотографирование из космоса поверхности Земли одновременно в трёх длинах разнесённых по спектру световых волн. Спутники-разведчики с этой камерой, в соответствии с теорией Лазарева, регистрировали наличие любых объектов независимо от фона. Сегодня для нашей огромной страны спутники с зональными камерами играют большую роль для мониторинга поверхности Земли в связи с задачами экологии, для борьбы с лесными пожарами и контролем за использованием биоресурсов. Таким образом, через 50 лет эта идея Лазарева и его сотрудников получила техническую реализацию.

Далее речь пойдёт в основном о его третьей работе — об объединении и взаимном влиянии рецепторных систем человека (см. раздел 3).

2.3. Начало развития биофизики в Советской России

Сначала ответим на вопрос: как был создан в 1919 г. первый в Советской России Институт физики и биофизики при Наркомате здравоохранения? Мне эту историю рассказал проф. Я.Л. Шехтман (1892–1984), который был в тот период внештатным сотрудником лаборатории П.П. Лазарева [29, с. 88]. Наркомом здравоохранения был Николай Александрович Семашко, с которым П.П. Лазарев находился в приятельских отношениях.

30 августа 1918 г. "вождь мирового пролетариата" В.И. Ленин был ранен эсеркой Файной Каплан. Во внутренней борьбе за власть и в политических разборках попытка убрать вождя большевиков могла принадлежать многим, и не только эсерам. Ранила ли именно подследоватая Каплан вождя большевиков — остаётся загадкой. Для лечения Ленина были привлечены выдающиеся российские врачи того времени. Была создана

специальная комиссия в составе: Н.А. Семашко (председатель), В.А. Обух, В.М. Бонч-Бруевич, Б.С. Вейсброд, Н. Винокуров, М.И. Баранов, В.Н. Розанов и профессор В.М. Минц. Первое заседание комиссии показало, что срочно требуется рентгеновский снимок: необходимо выяснить локализацию пули в теле, объём и характер анатомического повреждения.

Из воспоминаний В.М. Бонч-Бруевич [45]: «*1 сентября 1918 г., 7 часов вечера. Общее состояние Ленина позволяет приступить вечером к исследованию рентгеновскими лучами доктором Будиновым. Решили сделать рентгеновский снимок грудной клетки. Для этой цели был привезён переносной рентгеновский аппарат. Машины были все крайне тяжёлые. Мне пришлось обратиться к товарищам-красноармейцам, стоявшим в Кремле, и попросить их выбрать четверых самых сильных, дабы в очень тесное, маленькое помещение, где жил Владимир Ильич, бесшумно перенести эти тяжеленные сундуки и иные приспособления...*».

Полученный рентгеновский снимок был невысокого качества, хотя и давал общее представление о повреждениях тканей организма и местах расположения пули. Тогда и возникла проблема развития качественного рентгеновского оборудования в СССР. Н.А. Семашко было дано поручение решать эту проблему.

Как известно, X-излучение было открыто В.К. Рентгеном в 1895 г. Через короткий промежуток времени рентгеновские трубы нашли применение в медицине. Уже через год была изготовлена в России первая рентгеновская трубка. С февраля 1896 г. в Военно-медицинской академии с помощью лучей Рентгена началось систематическое обследование больных. В период Первой мировой войны (1914–1918) при участии П.П. Лазарева был сделан для армии даже передвижной рентгеновский кабинет на грузовике [46], о котором и шла речь в приведённой выше цитате. Но у рентгеновских аппаратов того времени самым уязвимым местом был высоковольтный трансформатор. Для получения рентгеновского излучения необходимо поднять напряжение на аноде трубы до 60–80 кВ, т.е. соотношение витков первичной и вторичной обмоток трансформатора должно быть порядка 1/1000. Наматывать вручную такие трансформаторы из проводов с плохим изоляционным покрытием было проблемой. Намоточных станков и качественного провода в России не было. Высокое напряжение приводило к пробою трансформаторов и выходу рентгеновских аппаратов из строя. В голодной, разорённой внутриполитическими разборками и войной стране к середине 1918 г. практически не осталось работающих качественных рентгеновских аппаратов.

Из воспоминаний члена комиссии В.Н. Розанова [45]: «*Вечером 20 апреля 1922 года мне позвонил Н.А. Семашко и сказал, что он просит меня завтра поехать к Владимиру Ильичу: приезжает профессор Борхардт из Берлина для консультации, так как нужно удалить пули у Владимира Ильича. Сначала Владимира Ильича рентгеноскопировали. Тогда лучший рентген был в институте⁶, директором которого был академик П.П. Лазарев. Решили просветить*

⁶ Н.А. Семашко выполнил поручение комиссии, и в 1919 году были созданы два института: Рентгенологии и Биофизики. Рентгеновский аппарат в Институте биофизики тогда обслуживал уже упоминавшийся 30-летний техник Я.Л. Шехтман. В дальнейшем Я.Л. Шехтман участвовал в создании рентгеновской промышленности в Советской России.

рентгеном Владимира Ильича там... Сделали рентгеновские снимки в различных направлениях. После этого Владимир Ильич пошёл с П.П. Лазаревым осматривать Физический институт, но осмотр этот не удался, так как Владимир Ильич, дойдя до комнаты, где у П.П. Лазарева были собраны материалы по Курской аномалии, заставил П.П. Лазарева познакомить его с этими материалами самым подробным образом. Владимир Ильич слушал очень внимательно, о многом переспрашивал, видно, что он углубился в вопрос. Уезжая, Владимир Ильич сказал, чтобы П.П. Лазарев продолжал держать его в курсе дела».

Рентгеновский аппарат в Институте физики и биофизики обслуживал уже упоминавшийся техник Я.Л. Шехтман. О чём ещё П.П. Лазарев говорил с В.И. Лениным, пока сохла плёнка со снимком, Я.Л. Шехтман не слышал, но П.П. Лазарев визитом "главного большевика" остался доволен. О содержании беседы можно догадаться, потому что научный авторитет П.П. Лазарева и важность биофизической науки в Академии наук в этот период достигли апогея. От Института физики и биофизики, возглавляемого П.П. Лазаревым, потом пошли многие научные учреждения биофизического профиля, в том числе и наш Институт биофизики в Пущино. Профессора, д.т.н. Я.Л. Шехтмана в конце 70-х годов, когда он был уже на пенсии, часто приглашали в школы г. Пущино рассказать школьникам, как он встречался с "вождём". Так что советский период развития биофизики в России начинается не с залпа крейсера "Аврора" (как писала официальная пресса), а с выстрела Каплан.

2.4. Зигзаги судьбы

13 сентября 1925 г. в связи с 200-летием организации Российской Академии наук П.П. Лазареву (как выдающемуся академику широкого научного профиля) было поручено на торжественном заседании сделать доклад на тему "Исторический очерк развития точных наук в России за 200 лет". С этой задачей он блестяще справился, снабдив доклад собственноручно нарисованными портретами выдающихся учёных России [47].

П.П. Лазарев никогда не ставил перед собою цели критиковать Советскую власть, более того, он находился в дружеских отношениях не только с Наркомом здравоохранения РСФСР Н.А. Семашко, но и с начальником Штаба РККА⁷ маршалом М.Н. Тухачевским. Тем не менее П.П. Лазарев переоценил степень своей защиты и границы свободомыслия в Советской России. Не случайно говорят, что *талант и совесть часто бывают сильнее инстинкта самосохранения*. Существуя в рамках тоталитарного государства, Лазарев допустил в своих выступлениях ряд неосмотрительных высказываний. В январе 1929 г. он высказался против перебаллотировки коммунистов, проваленных на выборах в действительные члены АН СССР, поскольку новое голосование противоречило Уставу Академии (тем не менее перебаллотировка состоялась, а Лазарев был взят на заметку в ОГПУ⁸). Серия доносов на Лазарева последо-

⁷ Рабоче-крестьянская Красная армия.

⁸ ОГПУ при СНК (Объединённое государственное политическое управление при Совете народных комиссаров) СССР образовано 15 ноября 1923 г. Возглавлял ОГПУ в тот период В.Р. Менжинский, преемник Ф.Э. Дзержинского. На период Менжинского в ОГПУ приходится начало организации особых закрытых научных и конструкторских организаций ("шарашек"), в которых заключённые учёные и инженеры создавали образцы новой техники.

вала после его лекции о книге Ф. Энгельса "Диалектика природы".

В январе 1931 г. в центральном печатном органе ЦК ВКП(б), в журнале *Большевик*, появилась статья философа Э. Кольмана "Вредители в науке" [48], в которой утверждалось, что в СССР орудуют учёные-вредители, срывающие строительство социализма. В список попал и П.П. Лазарев. В ночь на 5 марта 1931 г. Пётр Петрович Лазарев был арестован.

Любопытно ознакомиться с отношением Лазарева к работе Энгельса "Диалектика природы". 5 мая 1931 г. в пояснительной записке П.П. Лазарева "Моё политическое кредо", по-видимому, востребованной ОГПУ, он изложил свой взгляд на эту работу [49]: «*Изучив оригинальную работу Энгельса, изучив всё дальнейшее её развитие, я пришёл к заключению, что основная работа Энгельса может быть интересна только по имени её автора. Ничего нового эта доктрина не принесла и не принесёт, и это мое убеждение я старался подтвердить на ряде примеров. Такие же воззрения на этот вопрос имеет и ряд крупнейших западноевропейских учёных, например, Эйнштейн (Einstein). Естественно поэтому, что мои работы проникнуты духом физико-химии, диалектическому материализму в них нет места. Это касается не только моих научных трудов, но и курсов, которые я писал. Я полагал, для учащегося самое важное есть знание фактов, их философскую связь он может узнать после, поэтому я не вводил в курсы этих объяснений, основанных на диамате, которые вводили другие авторы-коммунисты (например, Тимирязев)».*

Приказом по Наркомату здравоохранения Лазарев был снят с постов директора Рентгенологического и Биофизического институтов. Институт биофизики, который он возглавлял, был закрыт, а сотрудники уволены. Позднее стало известно, что Лазарева попытались обвинить в "шпионаже", поскольку он неоднократно выезжал за границу с докладами о своих работах, состоял в переписке со многими иностранными учёными. Однако в сентябре 1931 г. П.П. Лазарев был освобождён. Борьба с инакомыслием и террор в стране ещё не набрал обороты. Лазарев остался жив, но его отправили в ссылку в Свердловск. За время пребывания Лазарева в тюрьме его супруга покончила с собой. Если бы его арестовали в 1937 г. или позднее, то его ждал бы расстрел или судьба Н.И. Вавилова [34].

В конце февраля 1932 г. Лазареву разрешили вернуться в Москву, но арест подорвал его репутацию и здоровье. Отношение к нему представителей официальной прессы стало иным. Дальнейшие события развивались в соответствии с восточной поговоркой: «*Пинать поверженного Льва может и Осёл*».

3. Поиск путей совместного изучения зрения и слуха

3.1. "Влияние пения на зрение"

Повод "пнуть" вскоре нашёлся, когда П.П. Лазарев сделал доклад под названием "Влияние пения на зрение". Этот доклад был основан на цикле его старых работ [50], в которых излагалась идея "*о взаимном влиянии органов зрения и слуха*" [51]. В газете *Известия* от 27.12.1937 г. был опубликован фельетон, направленный против П.П. Лазарева, за подписью братьев Тур

под названием "О зрении и пении или светоч с копотью".

По указанию сверху в Академии была создана комиссия для проверки того, чем занимается за государственный счёт академик П.П. Лазарев. Председателем комиссии был назначен академик А.Н. Бах, в состав комиссии были включены академики С.И. Вавилов, А.Н. Крылов, Л.А. Орбели и А.А. Рихтер. Хотя члены комиссии пытались спасти Лазарева, и почти каждый отмечал его большие научные заслуги, но наряду с этим указывали и на небольшие неточности в его выступлениях. Достаточно ознакомиться с заключением члена комиссии, академика, математика и механика А.Н. Крылова, которое было опубликовано в открытой печати лишь в 1956 г. (через 3 года после смерти И.В. Сталина) [1]. В 1938 г. в прессе началась травля П.П. Лазарева за "лженаучную теорию". Стрессы окончательно подорвали его здоровье, появился целый набор заболеваний (эпилепсия, диабет, а затем и рак желудка). П.П. Лазарев умер в эвакуации в период Великой Отечественной войны в 1942 г.

Далее речь пойдёт об анализе его работы "О взаимном влиянии органов зрения и слуха" [51] и о докладе "Влияние пения на зрение", который несправедливо послужил поводом для травли учёного. Идея Лазарева была попыткой проникнуть в механизмы работы мозга. Она на полвека опередила свою эпоху. Сегодня, несмотря на большой объём накопленных новых экспериментальных фактов, задача не устарела и полностью не решена, хотя она интересует не только биофизиков и нейрофизиологов, но и физиков, и инженеров, занятых построением кодирующих и декодирующих технических систем "искусственного интеллекта". Далее речь пойдёт об этом необычном явлении.

3.2. Рассуждения П.П. Лазарева о взаимном влиянии систем рецепции

Немецкий психолог Эрнст Вебер в многочисленных экспериментах начиная с 1834 г. показал, что тактильная рецепторная система восприятия человека имеет не линейную, а логарифмическую шкалу ощущений. Другой немецкий психолог (основоположник психофизиологии и психофизики) Густав Фехнер в 1860 г. на основе этих наблюдений сформулировал так называемый "психофизический закон" [52], согласно которому сила ощущения E пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя U :

$$E = \alpha \log \frac{U}{U_0}, \quad (1)$$

где α — константа, зависящая от внутренних характеристик конкретного человека, U — значение интенсивности раздражителя; U_0 — нижнее граничное значение интенсивности раздражителя, т.е. порог его восприятия. Если U меньше U_0 , то ощущение отсутствует. Другими словами, отношение минимального приращения силы раздражителя, вызывающего приращение ощущения, к исходной величине раздражителя является логарифмической функцией. Так был сформулирован чисто феноменологически психофизиологический закон Вебера — Фехнера, но этот закон справедлив лишь для средних значений U и U_0 . Наличие разброса величин U и U_0 "портило" этот изящный закон. Коэффициент α менялся от человека к человеку. Ряд авторов выступили с критикой такой количественной теории восприятия.

П.П. Лазарев исходя из предпосылки, что человек воспринимает внешний мир с помощью объединения ощущений, приходящих от рецепторов разных сенсорных систем (например, зрения и слуха), попытался с целью разрешения споров вокруг логарифмического закона Вебера – Фехнера ответить на другой вопрос: что должно происходить, если имеют место два воздействия, проходящих по разным каналам рецепции одновременно? Ему необходимо было найти поведение функции $\varphi(U, J)$ силы ощущения E :

$$E = \varphi(U, J), \quad (2)$$

где U — значение интенсивности раздражителя, поступающего, например, по зрительному каналу рецепции; J — значение интенсивности раздражителя, поступающего по другому каналу, например, по путям рецепции звука. Свою работу "О взаимном влиянии органов зрения и слуха (1918)" [51] П.П. Лазарев начинает следующими словами: «*В предварительных сообщениях, опубликованных в 1905 году, мной было показано, что всякий раз, когда при раздражении органа слуха звуком одновременно раздражается орган зрения, то воспринимаемый звук кажется более сильным. Таким образом, если постоянный звук высушивается при мелькающем свете, мы получаем впечатление биений настолько резких, что подобное явление можно было демонстрировать в аудитории. Такие явления наступают при сильных звуках. При ослаблении звука до известного предела влияние световых ощущений на слуховые исчезает и при дальнейшем ослаблении звука влияние извращается, то есть звук при свете представляется более слабым*

. Далее он отмечает, что эксперименты позволяют получить закон их взаимного влияния. Эти явления он попытался объяснить на основе представлений, изложенных им в его ионной теории возбуждения [20].

Я не буду излагать схему эксперимента, описанного в статьях Лазарева [50, 51], поскольку его статья от 1918 г. есть в открытом доступе в Интернете, а кратко остановлюсь на математических выкладках Лазарева, но предварительно нужно сделать одно замечание.

Любая математическая модель строится по сценарию: «*Если...., то*». После "если" идут постулаты, за-

кладываемые в модель. После "то" даются аналитические уравнения, а сегодня они часто дополняются имитационным компьютерным моделированием. Следствия из принятых постулатов проверяются в эксперименте. С каким бы математическим изяществом мы ни провели построение модели, соответствие её реальности будет определяться *заложенными в ней постулатами и проверкой их в эксперименте*.

Лазарев предположил, что *взаимодействие* звука и света в рецепторных системах есть *нелинейный процесс*. Логарифмирование параметров, получаемых путём обобщения закон Вебера – Фехнера в логарифмической записи, позволили ему при взаимодействии двух и более органов чувств операцию умножения превратить в сложение:

$$E = \alpha \log U + \beta \log J + C, \quad (3)$$

где α, β — коэффициенты, C — постоянная интегрирования, U — интенсивность звука, J — интенсивность света. При этом он отметил: "*Это и есть обобщённый закон Вебера – Фехнера при взаимном влиянии двух органов чувств*".

Казалось бы, модель Лазарева, описываемая выражением (3), устарела, поскольку спустя 50 лет наши знания о способах обработки информации в мозге используют иные языки описания (в частности, язык теории информации), которые в начале XX века были неизвестны. В разделе 8 будет рассмотрен подробнее динамический выигрыш при взаимодействии комбинаций рецепторных систем при восприятии информации, поступающей из окружающей среды.

Следует заметить, что помимо значений интенсивности раздражителей U и J , измеряемых в эксперименте, в выражении (3) есть ещё три параметра, α, β и C , которые оказываются переменными величинами, но не измеряемыми, а для каждого человека имеющими своё значение.

В мозге формируется виртуальная модель внешней среды, которая включает в себя пространственные карты [52]. Любое целое, составленное из частей или блоков, есть не их механическая сумма, а совокупность их действий [53, 54]. Каждый нижний уровень в иерархии (рис. 1а) представляет собою вкладыш в следующий более высо-

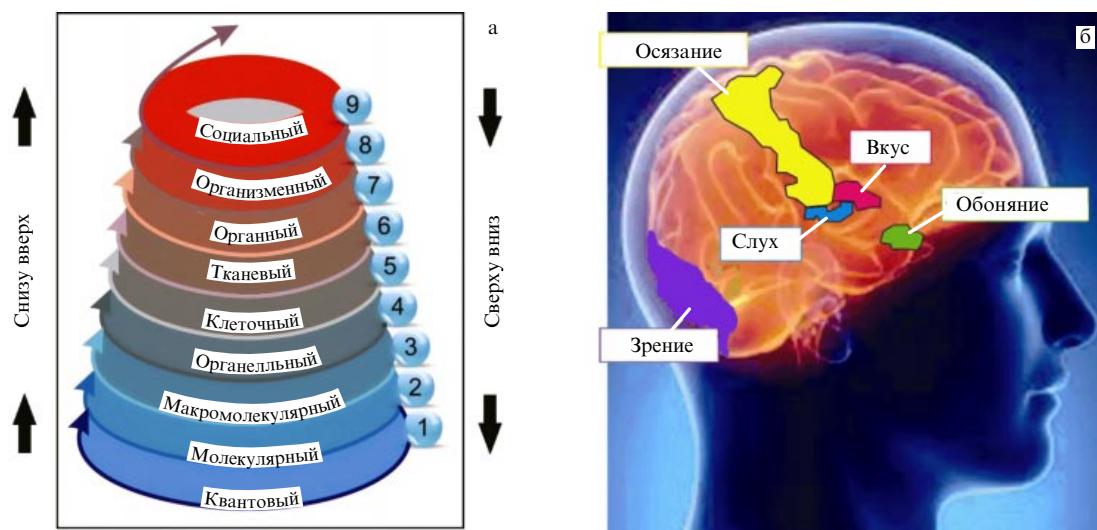


Рис. 1. Иерархическая организация живых систем (а) [56] и ядра представительств различных рецепторных систем восприятия внешней среды в коре головного мозга человека (б).

кий уровень, который можно рассматривать как целое по отношению к нижним уровням [55].

Эволюция биосистем — это наращивание иерархических уровней (рис. 1а) и развитие "языков" общения на каждом из них. На первых этапах эволюционного развития в примитивных биосистемах для координации процессов появился "химический язык". Он усложнялся, появлялись сигнальные молекулы, вырабатываемые специализированными клетками, позволяющими регулировать поведение клеток, находящихся в разных частях системы. С появлением нервных клеток возник "электрохимический язык". Информация передавалась при помощи электрических импульсов, которые распространяются по аксонам на большие расстояния (у взрослого человека длина аксона может достигать 1–1,5 м при его толщине 0,025 мм). Параллельно с этим возник "язык запахов", "акустический язык" и другие языки общения между индивидами. При этом возникшие ранее языки не исчезали, а изменялись, развивались, хотя порою и частично редуцировались. Комплементарно развитию языков изменялись сенсорные и двигательные системы. Развитие языков и средств передачи с их помощью информации происходило в циклическом взаимодействии. Развитие одной системы влияло на развитие другой — стимулировало или угнетало её.

Изучение и моделирование каждого уровня без учёта граничащих с ним нижних уровней вносит неопределённости и в полной мере не позволяет выяснить механизм динамического поведения целостной системы [57, 58]. Модель в выражении (3) учитывает эти факты, хотя и не в полной мере.

Догадка Лазарева, которая изложена в его статье 1918 года, справедлива. Он писал [51, с. 1302]: «*Можно думать, что не только два указанные органа чувств могут взаимно влиять друг на друга, но что это есть*

Таблица 1. Разнообразие функциональных действий рецепторных систем

№	Название действия	Описание действия
1	Адаптация	Понижение (повышение) чувствительности систем рецепции при повышении (понижении) интенсивности внешнего раздражителя
2	Сенсибилизация (десенсибилизация)	Повышение (понижение) чувствительности и разрешающей способности рецепторной системы за счёт направленных тренировок (рекцепторный нейропротез)
3	Компенсаторное замещение	Способность одних рецепторных систем частично выполнять функцию других систем при недостаточной чувствительности последних (нейропластичность рецепторных систем)
4	Синестезия	Объединение рецепторных каналов, приводящее к возникновению в мозге ощущений, которые характерны для другого вида рецепции. Явление объединения происходит непроизвольно и не зависит от желания человека. Синестезию следовало бы отнести не столько к свойствам рецепции, сколько к свойству анализа мозгом поступающей от рецепторов информации, т.е. распознавания образов внешнего мира (см. раздел 8)

общий закон для всех органов чувств и в таком случае величина "C" должна зависеть от состояния раздражения остальных центров ощущения». По сути, он предсказал два явления: во-первых, взаимодействие разных рецепторов при решении любых пространственно-временных задач; во-вторых, сравнительно редкое явление, т.е. взаимодействие двух и более сенсорных систем на основе частичного или полного слияния, которое получило название "*синестезия*" (от древнегреч. συναίσθηση — σύν "вместе" + αἴσθησις "ощущение"). Это явление есть предельный вариант взаимодействия сенсорных систем, когда два рецепторных канала либо синхронизируются, либо объединяются в один. Однако вопрос, где и как рождается синестезия, в тот период остался без ответа.

Только в конце XX века стало очевидным, что при рецепторном ощущении следует выделить, по крайней мере, четыре варианта функций рецепторных систем при восприятии информации, поступающей из внешней среды (табл. 1).

4. Дискуссии вокруг синестезии

4.1. Существует ли синестезия?

Наличие *синестезии* долгое время подвергалось сомнению. Такое явление считали патологией. В англоязычной литературе открытие синестезии приписывают Ф. Гальтону. Он заинтересовался этим явлением в конце XIX века [59]. По-видимому, Гальтон не был первым, кто заметил феномен влияния одних рецепторных каналов на другие. Ученик и соратник Лазарева профессор С.В. Кравков в своей монографии [60] пишет: «...Ещё в XVII веке известный датский анатом Томазиус Бартолинус описал свои наблюдения, согласно которым тугие лучшие слышат на свету, чем в темноте. В конце XVIII века Эбермайер и Хорн в специальных исследованиях также нашли, что освещение головы повышает слух у людей с теми или иными болезнями уха».

Синестезия имеет место не только, когда звуки вызывают цвета (зрительно-слуховая синестезия, т.е. "цветной слух"), но и когда каждая из цифр, например, от 0 до 9 или какие-то буквы кажутся окрашенными в свой цвет (цвето-буквенная синестезия). Дальнейшие исследования показали широкое разнообразие форм синестезии.

Наиболее трудный шаг во всяком научном исследовании — это правильно обосновать наличие нового явления, лишь при достоверном доказательстве его существования целесообразно дальнейшее его описание и моделирование.

С одной стороны, группы людей, которые обладали синестезией, часто не осознавали своих необычных способностей, либо осознавали, но не хотели афишировать их, чтобы не становиться подопытными и не допускать психологов в интимную сферу своего необычного восприятия внешнего мира.

С другой стороны, большая часть исследователей считала, что *синестезия* как таковая — это просто самовнушение человека или его образные поэтические выражения (например, "кричащие цвета", "сладкие звуки", "тяжёлые краски", "блестящая игра на скрипке", "слащавые интонации речи" и т.п.), а не реальный факт. Предполагалось, что человек, рассказывающий о своём

Таблица 2. Длина электромагнитных волн и их цвет, воспринимаемый живыми организмами при нормальном зрении

Диапазон зрения некоторых организмов, нм	Длина волны, нм					
	300–350	350–400	400–450	450–500	500–550	550–600
Зрение пчелы ≤ 300	+	+	+	+	+	+
Зрение лягушки 432–574	–	–	+	+	+	+
Зрение черепахи 442–562	–	–	+	+	+	+
Зрение голубя 500–562	–	–	–	–	+	+
Зрение обезьяны 440–630	–	–	–	+	+	+
Зрение человека 440–630	–	–	–	+	+	+
Длина волны, воспринимаемая тремя видами колбочек сетчатки глаза человека						
Тип колбочек	Принятое обозначение	Диапазон воспринимаемых длин волн, нм			Максимальная чувствительность соответствует	
S	β	400–500			420–440 нм	
M	γ	450–630			534–550 нм	
L	ρ	500–700			564–580 нм	
Воспринимаемые в норме человеком цвета, диапазон соответствующих им длин волн и энергия фотонов						
Длина волны, нм	≤ 450	430–510	510–550	550–590	590–630	≥ 630
Воспринимаемый мозгом цвет	Фиолетовый	Синий	Зелёный	Жёлтый	Оранжевый	Красный
Энергия фотонов, эВ	$\geq 2,75$	2,75–2,43	2,43–2,25	2,25–2,17	2,17–1,97	$\leq 1,97$
Указанные в таблице границы диапазонов носят условный характер, поскольку цвета плавно переходят друг в друга и расположение видимых наблюдателем границ между ними в большой степени зависит от условий наблюдения [65]						

особом восприятии окружающего мира, просто желает выделиться на фоне других людей.

Самый сложный вопрос: как одному человеку объяснить своё восприятие окружающего мира другому человеку, если последний имеет другую сенсорику, создающую различия в восприятии внешней среды? Например, у животных есть чувства, которые отсутствуют у людей или, по крайней мере, не развиты. Этот факт долгие годы тормозил построение "древа эволюционного развития рецепторных систем". Акулы, например, обладают сильной *электрорецепцией*, позволяющей чувствовать электрические поля жертв; *магниторецепция* имеет место у некоторых бактерий, а также в системах навигации птиц и насекомых; *эхолокация*, или "боковая линия", служит рыбам и летучим мышам для ориентации, а инфракрасное зрение необходимо не только насекомым и змеям, но и оленям, и совам для ночной охоты и поиска пищи. Набор рецепторов соответствует экологической нише, которую занимает тот или иной вид. Мир пчелы или муравьёв отличается от мира лягушки или стрекозы. Понятно, у человека могут иметь место в зачаточной форме рецепторы, свойственные разным живым организмам. Но их наличие проявляется, когда по каким-либо причинам нарушается работа основного набора рецепторов.

При делении любых клеток могут возникать мутации [61]. Все мы индивидуальны в своём восприятии мира. Таким образом, наше тело, наши рецепторные системы и наш мозг в целом представляют собою мозаику отличающихся друг от друга клеток. Этот вывод подтверждается полигеномным секвенированием [62, 63].

Следует особо отметить, что если у большинства людей имеется какая-либо особенность восприятия мира,

а у некоторых она отсутствует, то такое отсутствие сравнительно легко обнаруживается. Например, распознавание всех цветов в видимом диапазоне электромагнитных волн заданных длин (табл. 2) присутствует у большинства людей, хотя существует группа людей, у которых в сетчатке глаза отсутствует один из трёх видов колбочек, и эти люди не могут отличить одни цвета от других. Дальтонизм, или цветовую слепоту, легко выявляют с помощью специальных цветных таблиц [64].

При явлении синестезии ситуация обратная. У большинства людей синестезия отсутствует, и лишь у небольшой группы может иметь место⁹. Такую ситуацию трудно выявить. Простой пример: попробуйте объяснить слепому от рождения, как выглядит окружающий мир для зрячего. Он этого не поймёт, так как он живёт в другом мире — в мире осознания, звуков и запахов.

О наличии синестезии догадывались, но чаще её рассматривали как курьёз, не имеющий научного "смысла". Поэтому известно, что врачи долгое время ставили синестетам диагноз "шизофрения" и прописывали нейролептики, купирующие галлюцинации. Даже сейчас это явление часто отвергают, предполагая, что оно не имеет места как нормальный физиологический процесс [66].

4.2. Как мы воспринимаем звуки

Обычно свет и звук (табл.3) воздействуют без проявления синестезии.

Обычно человеческое ухо способно слышать звуки в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц, хотя встречаются люди, которые могут слышать инфразвуки звуки до 8 Гц.

⁹По разным оценкам, количество людей, обладающих синестезией, в популяции людей колеблется от 2 % до 12 % [60].

Таблица 3. Диапазоны восприятия звука некоторыми млекопитающими

Вид организма	Воспринимающий рецептор	Назначение	Полоса частотного восприятия, Гц
Летучие мыши	Ухо	Ультразвуковая эхолокация и коммуникация	$40 \times 10^3 - 100 \times 10^3$
Кошки	Ухо	Ориентация и коммуникация	$\leq 50 \times 10^3$
Собаки	Ухо	Ориентация и коммуникация	$\leq 45 \times 10^3$
Люди	Ухо	Ориентация и коммуникация	от 16 Гц до 20×10^3
	Вибрация костей черепа		220×10^3

В 1960-х годах я столкнулся с необычным восприятием инфразвуков, но, как я потом понял, к синестезии это воздействие имело косвенное отношение.

Если рассматривать шкалу механических колебаний — от ультразвука до инфразвука, то здесь появляется неопределённость. Нерегулярные инфразвуки могут образовываться от завихрений ветра на любых препятствиях. Мы можем с абсолютной уверенностью утверждать, что восприятие звука не ограничивается лишь полосой пропускания нашего уха. Известно, что инфразвуки тоже воздействуют на нас, хотя мы их не слышим. Например, бывали случаи, когда пассажиры, едущие в троллейбусах старой конструкции, при работе компрессора воздушного тормоза, не слыша звука, ощущают боль в ушах.

Возвращаясь к работам биофизиков — учеников школы П.П. Лазарева, необходимо отметить исследование ими инфразвуков, которые возникают над поверхностью моря при сильном ветре вследствие вихреобразования за гребнями волн. Такой "голос моря" (предвестник шторма) был исследован уже упоминавшимся ранее академиком В.В. Шулейкиным с сотрудниками [67]. Его обнаружили по колебаниям поверхности шара-зонда. Было замечено, что при приближении шара-зонда к уху человека колебания (сжатие ↔ расширение) эластичного шара передают изменение давления на барабанную перепонку, вызывая порою острую боль. В дальнейшем В.В. Шулейкин сконструировал для определения интенсивности и частоты изменения давления прибор — микробарограф. Частота таких инфразвуковых колебаний менялась от 0,1 до 6 Гц, а давление — от 1 дин см^{-2} , или 1 мбар, до нескольких мбар (что соответствует уровню звукового давления в 75–85 децибел).

Поскольку инфразвук "голоса моря" распространяется в воздухе со скоростью порядка 330 м с^{-1} , а скорость сдвиговых продольно-поперечных волн моря в процессе их завихрения определяется воздействующей силой ветра на воду и соотношением упругости и плотности воды и воздуха, то инфразвуковые волны в воздухе опережают штормовые волны воды, что позволяло заблаговременно предсказать приближение шторма. Сегодня прогностическая актуальность таких исследований для морской навигации уменьшилась в связи с космическим зондированием состояния всех водных поверхностей Земли.

Инфразвук в силу низкой частоты колебаний при одинаковой энергии со слышимым звуком имеет боль-

ший размах амплитуд. Из-за низкой частоты в соответствии с принципом Гюйгенса он легко огибает небольшие препятствия и может вызывать резонансные явления, приводя к разрушению крупных препятствий. Наконец, поскольку поглощение инфразвука атмосферой незначительное, он может распространяться на большие расстояния. Перечисленные особенности инфразвука затрудняют борьбу с ним, поскольку обычные способы противошумовой борьбы (звукопоглощение, звукоизоляция, удаление от источника звука) малоэффективны. В зависимости от силы воздействия инфразвука у человека может возникать неосознаваемое чувство страха. Инфразвук частотой 4–7 Гц у людей, склонных к эпилепсии, вызывает припадок. Повышение интенсивности этого звука может привести к соматическим расстройствам, вплоть до резкого ухудшения зрения и повреждения внутренних органов слуха.

Частота 4–7 Гц соответствует границе дельта (0,5–4 Гц) и тэта (5–7 Гц) ритмов, регистрируемых на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) человека. Известно, что тэтаритм регистрируется в любой доле мозга в состоянии эмоционального напряжения, связанного с поиском на основе прошлого опыта на энграммме памяти¹⁰ оптимального поведения в сложившихся необычных внешних условиях. Заметим, что дельта-ритм выявляется во всех областях мозга в состоянии как естественного, так и наркотического сна. Следовательно, можно предположить, что воздействие на человека инфразвуков с частотой 4–7 Гц вызывает особое эмоциональное состояние, когда в мозгу синтезируется яркий, но плохо осознаваемый образ слияния внутренней и внешней среды в единое целое. Как будет показано ниже, при этом часто возникает *неопределённость*, порождающая, например, чувство страха.

В 1961 году мне попалась на глаза книга о работах американского физика Роберта Вуда [68]. В главе 19 был изложен следующий сюжет: «Джон Болдерстон репетировал в театре Lyric ("Лайрик") пьесу, где время действия должно было во время одного затмения сцены переноситься от наших дней к 1783 году. Как сделать "перескок" психологически и эмоционально эффективным — эту задачу предложили решить Вуду. Его идея заключалась в том, что очень низкая нота, почти не слышимая, но колеблющая барабанную перепонку, произведёт ощущение "тайинственности" и сообщит зрителям необходимое настроение. Это было выполнено с помощью органной "сверхтрубы", длиннее и толще, чем те, которые применяются в церковных органах. Трубу решили испытать на репетиции. Только Вуд, Лесли Ховард, Болдерстон и постановщик Джайлберт Миллер в зале знали, что произойдёт. Крик с затмённой сцены означал перерыв в 145 лет. Здесь включили "неслышимую" ноту Вуда. Последовал эффект вроде того, который предшествует землетрясению. Стекло в канделябрах старинного "Лайрик" зазвенело, и все окна задребезжали. Всё здание начало дрожать, и волна ужаса распространилась на Шэфтсборо авено. Миллер распорядился, чтобы "такуюся" органную трубу немедленно выкинули». При возникновении инфразвукового излучения в зрительном

¹⁰ Энграмма (греч. ἔν — пребывание в каком-либо состоянии или действии + греч. γράμμα — полная запись) — термин, введённый в XX веке, означает след памяти в мозге организма, который соответствует предыдущему воздействию раздражителя.

зале началась давка, поскольку зрители бросились к выходам.

В 1965 г. я решил в миниатюре воспроизвести этот эффект. Собрал небольшую установку, которая состояла из низкочастотного оптико-механического генератора, который мог создавать электрическое напряжение любой амплитуды и низкой частоты в диапазоне 0,01 до 15 Гц [69]. Это напряжение подавалось на катушку электромагнита, который двигал картонным опахалом, вызывая колебания воздуха в инфразвуковом диапазоне. Опыт показал, что возникающий при этом ветер на некоторых частотах неприятен. По мере приближения к частоте 15 Гц начинался шум, напоминающий завывание ветра или нечто похожее на рычание, но никакого чувства страха или паники у присутствующих он не вызывал. Становилось очевидным, что паническое настроение вызывает не сам инфразвук, а отсутствие знания о его источнике, которого мы не видим. Если человек видит источник звука, который не представляет для него опасности, то чувства страха не возникает. Причина состоит в том, что при возникновении неопределённостей мозгу приходится прибегать к вероятностной логике. При этом он стремится принять решения с перестраховкой, чтобы избежать опасных ситуаций [56].

Летом 1966 г. вместе с группой участников II Международного биофизического конгресса в Вене я побывал на органном концерте в одном из крупнейших соборов Европы — в соборе святого Стефана. Под его сводами музыка оказывала необычное воздействие как на меня, так и на некоторых из моих коллег. Полифония фуг, имитирующая многоголосие, вызывала удивительный эффект. Басовые звуки обволакивали всё тело, кожа покрывалась мурашками, шевелились корни волос. Казалось, что широкий раскачивающийся спектр звуков то затягивал, то отпускал внутри какие-то струны. Развитие нескольких параллельных мелодических линий, порою сливающихся в гармоническом сочетании, будило что-то очень важное, но забытое, привязанное к врождённому первичному восприятию мира [70].

Инфразвуки 5–7 Гц вызывают чувство беспокойства. Модуляция воздуха, выходящего из больших труб органа, так называемое вибрато, может давать инфразвуки. Акустические особенности помещения собора могут быть резонатором низких частот. Такое воздействие связано не только со слухом, но и с вибрацией, воспринимаемой кожей.

Такими были 50 лет назад мои рассуждения, как молодого биофизика. Теперь я начинаю понимать, что дело было не только в музыке, а во всей обстановке и новизне происходящего. Цветовые композиции гигантских витражей; стены, пропитавшиеся ароматом культового дыма; большие свободные пространства; уходящий в темноту купол; контрастное освещение выхваченных из мрака скорбящих скульптурных групп; прохлада каменных сводчатых опор; притихшие в ожидании чуда люди — всё это создавало чувство соборности и неповторимую атмосферу таинства искусства. Окружающий мир воспринимался не только основными чувствами, отмеченными Аристотелем, но другими, направленными вовнутрь каждого из нас (чувством объёма и пространства, ожидания и любопытства, ритма и времени, радости и скорби). Биофизические механизмы комбинаций из этих чувств ещё плохо исследованы, но они дополняют гамму пяти основных ощущений. Вся их

совокупность формирует эмоциональное состояние человека. В такой обстановке мы сами под действием музыки создаём виртуальную модель внешней среды, выбирая из памяти какие-то эпизоды, объединяя их в комбинации и интерпретируем способом, который в предметно-логическом мышлении оказывается неестественным.

Ясно, что образ (паттерн) внешней среды при исследовании мозга должен формироваться на основе комбинаций из разных рецепторных модальностей. Казалось бы, что парные сочетания сенсорных восприятий допускают

$$C_5^2 = \frac{5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1}{2} = 60 \text{ различных комбинаций}. \quad (4)$$

При восприятии информации, по-видимому, возможны разные комбинации взаимодействия систем рецепции по две, реже по три:

$$\langle C_5^2, C_5^3, C_5^4, 1 \rangle = \langle 60, 20, 5, 1 \rangle. \quad (5)$$

При этом бывают и исключения. В 1968 г. выдающийся отечественный нейропсихолог А.Р. Лурия опубликовал небольшую книжечку о пациенте "Ш". Под этой буквой подразумевался С.В. Шерешевский [71]. В течение почти 30 лет Лурия мог систематически наблюдать этого человека, память которого относилась к числу самых необычных по количеству объединённых рецепторных систем. Он мыслил исключительно образами. Цифры, слова, музыка для него имели свой цвет, вкус и форму. Лурия пишет: «Весь его мир был не такой, как у нас. Здесь не было границ цветов и звуков, ощущений на вкус и на ощущение... Гладкие холодные звуки и шершавые цвета, солёные краски и яркие светлые и колющие запахи... и всё это переплетается, смешивается, и уже их трудно отделить друг от друга...». Короче, Соломон Шерешевский имел редкую пятикратную форму синестезии. Слова и тексты для него были связаны не только с очень яркими визуально-пространственными изображениями, но также со звуком, вкусом, цветом и ощущением формы. Шерешевский мог запоминать бесконечные последовательности в списках имён и услышанные разговоры, которые для него превращались в причудливые и меняющие форму образы. Его мозг придавал им форму то растений, то людей, то строений. При этом Шерешевский с большим трудом понимал абстрактные понятия. Автоматическое и почти постоянное удержание в памяти каждой мелочи мешало ему понимать и делать обобщения.

Итак, паттерн внешней среды формируется из любой комбинации признаков, приходящих в мозг, по разным системам рецепции в диапазоне объединения рецепторных каналов от 2 до 5. Например, кошка пушистая (осознание), она мурлычет и мяукает (слух), она имеет определённый внешний вид (зрение) и имеет специфический запах (обоняние). Всё это вызывает в нашем мозге обобщение, именуемое словом "кошка".

Помимо пяти сенсорных систем по Аристотелю, у человека есть множество других, создаваемых наличием специализированных рецепторов. Например, рецепторы тепла или его отсутствия на нашей коже (чувство терморецепции), рецепторы равновесия (эквилибриоцепция), рецепторы восприятия боли суставами, органами или

кожей тела (*ноцицепция*). Есть рецепторы "осознания тела" (*проприоцепция*). Некоторые исследователи убеждены, что типов рецепторов не меньше 20. Многие из них полимодальны: одно и то же нервное окончание способно возбуждаться в ответ на несколько различных стимулов [72].

4.3. Восприятие внешних ситуаций:

рецепция в комбинации с эмоциями

Недавно я прочитал рассказ И.А. Бунина "Сны Чанга". Повествование было построено на переживаниях собаки по кличке Чанг, которая оказалась в костёле на отпевании своего умершего хозяина. Приведу цитату из рассказа Бунина: «*И вдруг распахивается дверь костёла — и ударяет в глаза и в сердце Чанга дивная, вся звучащая и поющкая картина: перед Чангом полуутёмный готический чертог, красные звёзды огней, целый лес тропических растений, высоко вознесённый на чёрный помост гроб из дуба, чёрная толпа народа, две дивные в своей мраморной красоте и глубоком трауре женщины, — точно две сестры разных возрастов, — а надо всем этим — гул, громы, клир звонко вопиящих о какой-то скорбной радости ангелов, торжество, смятение, величие — и всё собой покрывающие неземные песнопения. И дыбом становится вся шерсть на Чанге от боли и восторга перед этим звучанием видением...*»

Конечно, Иван Бунин не мог влезть в шкуру собаки. В этом рассказе он описал свои чувства и переживания в подобной ситуации. Об этом свидетельствует и первая фраза этого рассказа: «*Не всё ли равно, про кого говорить? Заслуживает того каждый из живших на земле.*

Итак, каждый человек в конечном итоге воспринимает окружающий его мир и ситуации, возникающие в нём, как единое целое путём объединения информации, поступающей по разным сенсорным каналам и наложения поступившей информации на энграмму своей памяти. Такое восприятие — это предтеча синестезии. Приведём ещё один пример.

4.4. В мире ритмов: существует ли "эффект Моцарта"?

В 1999 г. в журнале *Nature* была опубликована дискуссия двух групп психологов под интригующим названием «Прелюдия или реквием по "эффекту Моцарта"?» [73–75]. Суть дискуссии сводилась к тому, что, по утверждению психолога Ф.Х. Раушера (F.H. Rauscher), при прослушивании студентами колледжа во время отдыха в течение 10 минут бравурной музыки (соната Моцарта для двух фортепиано ре мажор K 448) у студентов увеличилась интеллектуальная способность, измеряясь баллами IQ¹¹. Увеличение было небольшим, но якобы достоверным в пределах 8 или 9 баллов. В качестве контроля Раушер взял другой вариант релаксации той же длительности в 10 минут, но в условиях тишины.

Статья Раушера была ранее опубликована в журнале *Nature* [76] в 1993 г. Однако группа специалистов (Кен-

neth M. Steele, Simone Dalla Bella, Isabelle Peretz et al.) из трёх университетов Канады ответила на рассматриваемую статью своей публикацией [74], в которой сообщалось, что они повторили эксперимент Раушера и не обнаружили прямого музыкального воздействия на увеличение интеллектуальной деятельности человека. Увеличение IQ на 8–9 баллов укладывается в естественный разброс.

Комментарий Ф. Раушера был опубликован после статьи канадцев в этом же журнале [75]. Он отметил, что влияние слуха может не изменять показатели интеллекта в целом, но может влиять на улучшение решения пространственно-временных задач, включающих операции с ментальными образами и порядком их следования во времени. Другими словами, ритмичная соната Моцарта влияет на *функцию внутреннего времени мыслительных процессов*.

Для меня такой вывод кажется очевидным по двум причинам. Во-первых, шкала "биологического времени" весьма пластична и может меняться в широких пределах. Все живые системы не могут быть системами Галилея, так как они развиваются и изменяются в условиях изменения внешней среды, поэтому движение любых носителей информации внутри мозга во времени не может происходить с постоянной скоростью. Преобразование Галилея опирается на принцип относительности, который подразумевает одинаковость времени во всех системах отсчёта, т.е. имеет место внешнее "абсолютное время". Мозг работает в шкале собственного *внутреннего биологического времени*.

Шкала изменения *внутреннего биологического времени* известна [77]. В живых системах на всех уровнях в пространственно-временных координатах всегда имеет место чередование ускорения (активности) и торможения (отдыха). Приведём банальный пример изменения характерной шкалы времени в раннем онтогенезе человека. Ребёнок появляется на свет со своей шкалой времени, которая в начале его жизни ограничена лишь примитивным разбиением суток на чередование "еда – сон – выброс фекальных отходов", но уже за месяц ситуация меняется. Интервалы расширяются, постепенно приспособливаясь к суточному ритму (рис. 2).

Пластичность приспособления внутренней шкалы времени к внешней временной шкале сохраняется у человека в течение всей его жизни. П.П. Лазарев с сотрудниками на примере исследования зрительной системы показал [44], что имеются разные шкалы адаптации, изменяющиеся как с возрастом, так и с изменениями, происходящими во внешней среде, от суток до смены сезонов (рис. 3).

В системе Галилея скорость тела относительно неподвижной системы координат равна векторной сумме скорости тела относительно движущейся системы координат и скорости самой движущейся системы. Здесь справедливо векторное сложение скоростей, как средних, так и мгновенных:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{v}^*, \quad (6)$$

где \mathbf{v} — средняя скорость тела относительно системы K; \mathbf{v}^* — средняя скорость тела относительно системы K'; \mathbf{v}_0 — средняя скорость системы K' относительно системы K. При описании работы живых систем выражение Галилея $\mathbf{x} = \mathbf{v}t$ при $|\mathbf{v}| = \text{const}$ для пути \mathbf{x} нужно заменять на выражение Ньютона с ускорениями и

¹¹ IQ (*intelligence quotient*) — коэффициент умственного развития. Для взрослых людей средняя величина IQ ≈ 100 ± 15. Хотя встречаются люди, у которых IQ ≫ 100. Как показали исследования, на величину IQ влияют как наследственность, так и факторы среды: воспитание, общий уровень образования, менталитет окружения. По мере развития общества с начала XX века средние показатели IQ растут в среднем на три очка за десятилетие (*Flynn effect*).



Рис. 2. Изменение ритмов бодрствования (светлые интервалы) и сна (тёмные интервалы) на начальных этапах онтогенеза человека.

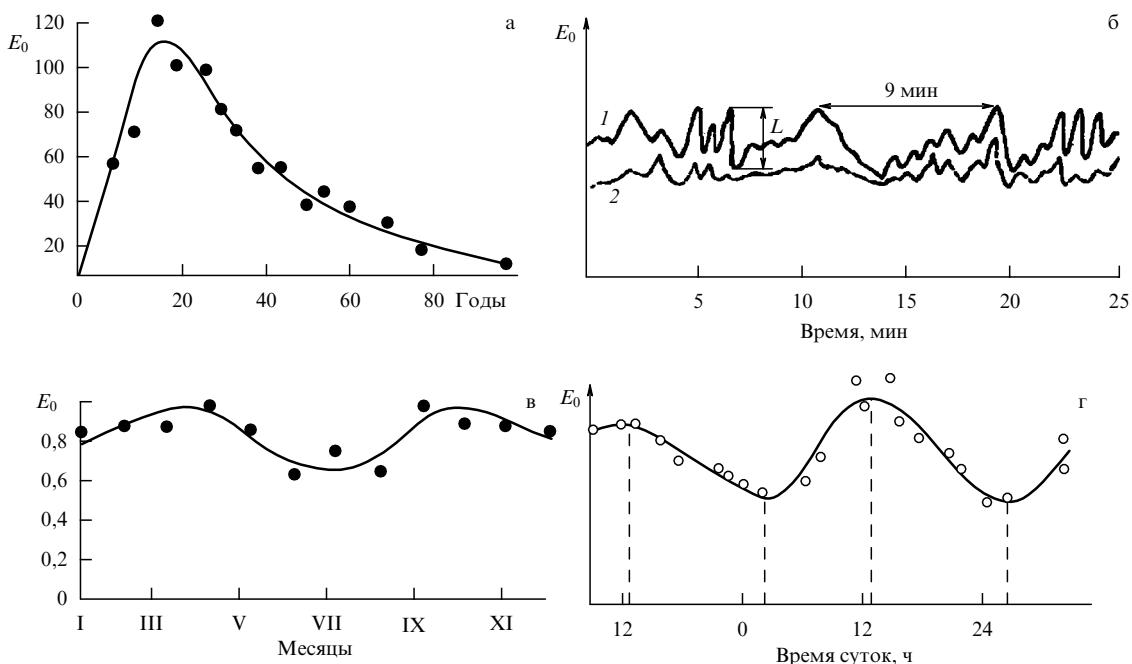


Рис. 3. Изменение пороговой чувствительности зрения U_0 в условиях темновой адаптации: (а) изменение пороговой чувствительности в зависимости от возраста; (б) примеры характерных записей колебаний пороговой чувствительности у двух испытуемых в быстром масштабе времени; (в) сезонные колебания пороговой чувствительности, проявляющиеся при месячном усреднении; (г) суточные колебания чувствительности, проявляющиеся при почасовом усреднении [44].

торможениями ($\pm \mathbf{a}$), то есть

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t. \quad (7)$$

При этом ускорение равно $\mathbf{a} = \mathbf{v}_1/\tau$, где τ — характерное внутреннее время, для каждого органа и организма в целом оно своё. В мозге каждая его часть имеет своё характерное внутреннее время, что проявляется в виде ритмов на ЭЭГ. Управление скоростью процессов внутри организма, включая мышление, проявляется в виде изменения шкал характерного времени. В общем случае выражение для τ примет вид:

$$\tau = \left(\frac{\mathbf{v}_1}{\mathbf{v} - \mathbf{v}_0} \right) t. \quad (8)$$

Обозначим $k = \mathbf{v}_1/(\mathbf{v} - \mathbf{v}_0)$. При этом получим:

1. Если $k > 1$ и увеличивается, то характерное время τ также увеличивается, что соответствует торможению.

2. Если $k \in (0, 1)$ и стремится к нулю, то характерное время τ уменьшается, что соответствует ускорению.

3. Если $k = 1$, то характерное время τ синхронизовано со временем внешней среды. Система превращается в систему Галилея.

Дифференцируя k и найдя экстремум, получим условие синхронизации внутренней системы организма с внешней средой. Оно соответствует равенству:

$$\frac{\mathbf{v}_1}{d\mathbf{v}_1} = \frac{\mathbf{v} - \mathbf{v}_0}{d(\mathbf{v} - \mathbf{v}_0)}. \quad (9)$$

Итак, характерное время организма может за счёт обратных связей как сжиматься, так и расширяться, в том числе при достижении компромисса совпадать со временем внешней среды. Время развертывания процессов в виртуальной модели внутри мозга изменяется по оси астрономического времени (от детства к старости),

но мы это замечаем только путём сравнения с чем-то неподвижным, а именно с памятью о прошлом. Большие интервалы прошедшего времени можно наблюдать, например, на старых фотографиях по изменению внешнего вида нас самих. Малые интервалы времени характерны для изменения ритмов нейронных сетей мозга (см. раздел 8).

Навязывание ритма в линейном приближении можно рассматривать как "игру" в терминах положительных и отрицательных связей. При сосредоточенных массах в простейшем случае её можно описать дифференциальным уравнением второго порядка с правой частью:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F(v_0 - \dot{x}), \quad (10)$$

где внешняя среда, изменяющаяся со скоростью v_0 , изменяет перемещение носителей информации с массой m внутри структур мозга, которые движутся с чередующимся торможением/ускорением k_1 и k_2 как вблизи равновесия, так и уходя от него. Результирующий коэффициент взаимодействий здесь обозначен как k .

При этом смещение точки равновесия x происходит со скоростью \dot{x} . Сила трения, действующая на смещение массы вблизи точки равновесия, принимается как функция $F(v_0 - \dot{x})$. Решение этого уравнения при периодически возникающем сцеплении внутренних процессов с внешней средой известно давно [78]. Оно приводит к фазовому портрету параболического типа, образующему "седло", и демонстрирует тем самым неустойчивое равновесие. Петли обратной связи представляют собой ключевую особенность любых адаптивных систем. Такую математическую трактовку с некоторыми ограничениями можно приспособить к описанию процессов в работе мозга [79]. Механическим точечным аналогом такого взаимодействия может быть, например, маятник Фруда (W. Froude), т.е. маятник, колеблющийся на врашающемся валу [80]. В этой метафоре маятник является аналогом биосистемы, а независимо от него врачающийся вал соответствует внешней среде. Такой маятник есть одна из простейших автоколебательных механических систем. Угловая скорость вала такова, что она может превосходить угловую скорость маятника. Поэтому действующий на маятник момент сил трения будет на одном полупериоде, когда маятник и вал движутся в разные стороны, тормозить движение, а на другом, когда маятник и вал движутся в одну сторону, ускорять его. Так появляется асимметрия движения, созданная отрицательным трением [81].

Следовательно, если сила трения асимметрично меняет знак, то ускоряющий момент будет в среднем больше тормозящего, что приведёт к нарастанию (самовозбуждению) колебаний; в результате при соответствующих условиях в точечной системе могут установиться автоколебания [80], а в распределённой в пространстве — автоволны [82]. Если в маятниковую систему с малой добротностью поступает энергия, то её наличие может существенно изменить характер происходящих в системе процессов, при этом форма колебаний будет значительно отличаться от синусоидальной. Любой маятник, в котором силы трения компенсируются поступающей из внешней среды энергией, можно рассматривать также в терминах "хищник — жертва", поскольку "жертва" эволюционно вынуждена подстраиваться, чтобы не погибнуть под навязываемый ей "хищником" (внешней средой) ритм, включая изменение движения [83].

В человеческом обществе давно используются ритмы двигательной активности, навязываемые внешним ритмом (марши, исполняемые духовыми оркестрами; барабанщики в армии; ритмичные танцы; выполнение однобразных работ под ритмическую музыку).

Однако описанные выше психофизические наблюдения не дают убедительных оснований для утверждения о существовании синестезии. Они лишь доказывают, что восприятие внешнего мира, прежде всего, связано с объединением информации, поступающей как от всего набора сенсорных систем человека, так и от его внутреннего состояния.

П.П. Лазарев интуитивно выдвинул постулат, что влияние одних рецепторов на другие — это нормальный сенсорный физиологический процесс, поэтому необходима не только констатация факта влияния ритма на сенсорику, но и его рассмотрение в качестве одного из стимулов появления связей разных рецепторных систем между собою [43].

5. Вес каждого восприятия в распознавании образов внешнего мира

5.1. Зрительная рецепция

У многих животных, включая человека, особую роль играет анализирующая оптическую информацию система. Она имеет, по крайней мере, шесть уровней, поскольку сетчатка нашего глаза — это фрагмент "мозга, вынесенный на периферию". До 7/8 информации о внешнем мире человек может получать по зрительной системе. Не случайно П.П. Лазарев и его ученики, пытаясь проникнуть в тайны работы мозга, особое внимание уделяли обработке информации в зрительном канале рецепции. На рисунке 4 показаны пути прохожде-

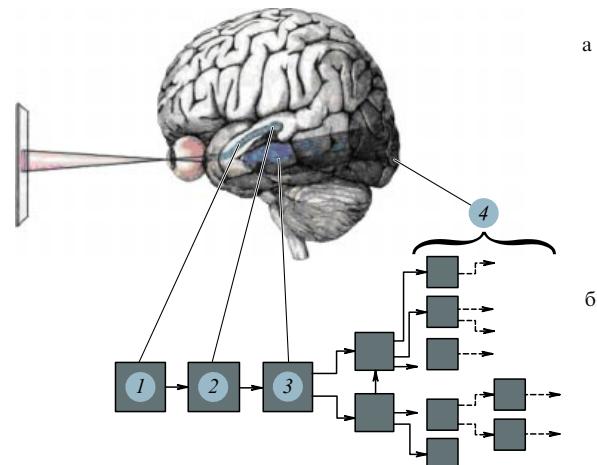


Рис. 4. Анатомия зрительного пути (а) и его упрощенная блок-схема (б): 1 — зрительный тракт от сетчатки глаза до наружного коленчатого тела (2), 3 — зрительная радиация (это равномерное распределение пучка нервных волокон по площади подкорковой зоны со стриарными подразделами¹²), 4 — область представительства зрения в высших корковых зонах коры головного мозга.

¹² Зрительная кора включает первичную зрительную кору, также называемую стриарной корой или зрительной зоной V1, и экстрастриарную зрительную кору — зоны V2, V3, V4 и V5. Первичная зрительная кора анатомически эквивалентна полю Бродмана 17 или BA17. Экстрастриарная зрительная кора включает поля Бродмана 18 и 19.

ния зрительной информации от сетчатки глаза до затылочного участка коры мозга [84].

Свойства обработки информации мозгом на основе зрительной рецепции были сформулированы ещё до появления магнитно-резонансной томографии (МРТ), которая позволяет наблюдать (правда, с недостаточным разрешением) динамику процессов, происходящих в мозге.

В России процессы зрительной рецепции изучались в лаборатории "Биофизика зрения", руководимой проф. Николаем Дмитриевичем Ньюбергом (1899–1967). Эта лаборатория в Москве до 1963 г. была в составе нашего Института биологической физики АН СССР, а после переезда института в Пущино перешла в Институт проблем передачи информации АН СССР. Несложно проследить связь этой лаборатории с институтом П.П. Лазарева. Истоки этих работ относятся к исследованиям Сергея Васильевича Кравкова (1893–1951), который внёс значительный вклад в изучение психофизиологии органов чувств. Он был также старшим ассистентом Института биофизики Наркомздрава РСФСР, который возглавлял П.П. Лазарев. Кравковым, под руководством Лазарева, было установлено, что, несмотря на изменения, происходящие в мозге в процессе обработки визуального стимула, у человека есть уникальная способность при постановке им цели удерживать внимание на существенных признаках объекта и не принимать во внимание не играющие особой роли признаки.

Эти работы в указанной выше лаборатории были выполнены Альфредом Лукьяновичем Ярбусом (1914–1986) на основе специальных присосок, которые закреплялись на глазном яблоке, что позволяло регистрировать и оценивать движения глаз при рассматривании различных сцен. Затем эти наблюдения были обобщены им в книге "Роль движения глаз в процессах зрения", которая была опубликована в 1965 г. и переведена на английский язык [85]. Даже сегодня (50 лет спустя) эта книга читается с большим интересом. Всё становится особенно наглядным в условиях лимита времени, отпущеного на решение возникшей перед человеком задачи. Продемонстрируем роль целеполагания в процессе распознавания картины внешнего мира (рис. 5) на предмет выделения существенных для решения поставленной задачи признаков.

5.2. Переход от фрагментов к сборке целого

Мозг на бессознательном уровне не только разбивает наблюдаемые во внешней среде картины на фрагменты, выделяя среди них те, которые являются наиболее информативными для решения поставленной задачи, но затем собирает их в единое целое, ориентируясь на возникшую задачу. При этом каждому фрагменту придаётся соответствующий вес, в зависимости от решаемой задачи.

В настоящее время МРТ позволяет регистрировать зоны возбуждения мозга при разных информационных нагрузках на мозг. В результате стало известно, что примерно в той же самой части мозга V4 находится область в веретенообразной извилине, отвечающая за операции с числами, так как повреждения этой зоны, например при инсульте, лишают человека арифметических способностей. Это может приводить к цвето-цифровой синестезии.

Итак, процесс зрительного восприятия начинается, когда нервные импульсы с сетчатки отправляются в

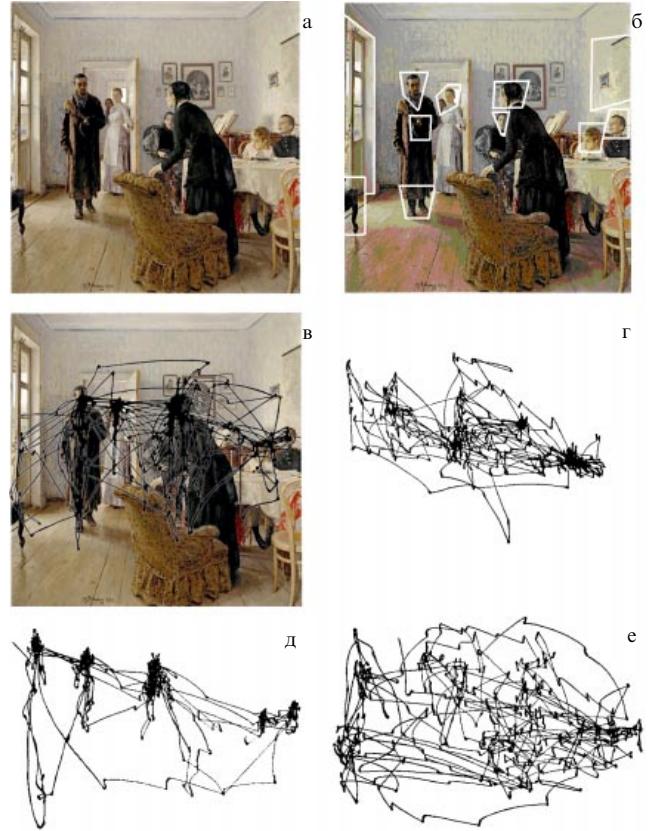


Рис. 5. Пример из книги А.Л. Ярбуса [85]: (а) картина И.Е. Репина "Не ждали"; (б) разбиение картины на фрагменты, т.е. выделение информативных элементов для решения поставленной задачи; (в) траектории движения глаз при свободном рассматривании картины в условиях ограничения времени (3 минуты) с заданием запомнить сюжет; (г) движение глаз при задаче: запомнить, чем занималась семья до прихода того, кого "не ждали"; (д) движение глаз при задаче: определить возраст изображённых лиц; (е) движение глаз при задаче: запомнить расположение людей и предметов в комнате. Очевидно, что траектории движения глаз, выделяющие фрагменты изображения, привязываются к поставленной задаче [85].

заднюю часть мозга. Наборы этих импульсов служат кодом расчленённого на фрагменты зрительного образа. Они содержат информацию о цвете, движении, форме, глубине и перспективе. После этого информация в виде признаков, характеризующих различные свойства изображения, разделяется и распределяется между несколькими зонами в височной и теменной долях мозга.

Следовательно, при повышенной перекрёстной связи между нейронными сетями в зоне V4 могут возникнуть *перекрёстные связи*, вызывающие цвето-цифровую синестезию. Но что это — патология или генетически заданный вариант восприятия?

В 2013 г. был опубликован Оксфордский справочник по синестезии [86]. В нём, в частности, было отмечено, что *синестезия* — это интересное явление, которое захватило воображение учёных и художников. Синестезия — это унаследованное от родителей состояние, которое характеризуется своего рода "слиянием чувств". Поэтому для тех, кто испытывает его, повседневная деятельность — чтение или прослушивание музыки — вызывает неординарные впечатления цвета, вкуса, запахов, поверхности и формы предметов и других объединяющихся ощущений. Исследование синестезии также информирует нас о

нормальном ощущении, потому что все люди испытывают кросс-сенсорные отображения в неявной степени. Синестезия имеет широкую познавательную ценность, и в последние десятилетия произошло возрождение интереса к ней. Её проявления способствуют развитию генетики, психологии, истории, эстетики и всего спектра нейронаук, и обеспечивают тем самым современный источник задач для нового поколения учёных.

В этом Оксфордском справочнике сделана заявка на возникновение новых направлений, связанных с синестезией, в частности, с эволюцией языка, с творчеством и с развитием умения запоминать большие массивы информации.

6. Доказательство существования синестезии

6.1. Конец XX века: обнаруженные варианты синестезии

Американский психолог В.С. Рамачандран в своей книге *"Мозг рассказывает: что делает нас людьми"* [66] описал опыты, которые позволили ему экспериментально доказать существование синестезии. Он прочитал лекцию своим студентам о возможном существовании синестезии и обратился к ним с просьбой, что если есть подобный феномен у кого-либо из присутствующих или их знакомых, то было бы желательно, чтобы они пришли к нему. Это обращение дало результат. Действительно, несколько человек пришли в его лабораторию. Приведём ниже способы наблюдений над ними (табл. 4).

6.2. XXI век: расширение исследования синестезии

Сегодня на тему синестезии опубликовано множество статей [88–97] и монографий [98–102]. В разных странах появились объединения людей, интересующихся природой этого явления. В частности, в России есть сайт такого общества (synesthesia.ru). Расширился поиск людей, имеющих подобный феномен. В Испании с 2005 г. проводятся Международные конгрессы по синестезии и её влиянию на развитие науки и искусства. VI Международный конгресс "Синестезия, наука и искусство" (VI International Congress on Synesthesia, Science & Art) был проведён 18–21 мая 2018 г.

Заметим, что в синестезии давно выделилось особое научное направление — связь синестезии с искусством. Я ограничусь лишь тремя примерами наших соотечественников. Русскому художнику, стоявшему у истоков абстракционизма, Василию Васильевичу Кандинскому приписывают явление синестезии, объединявшее в его мозге четыре рецепторных канала (цвет, слух, осязание и запах) [101, 102]. Американский писатель (эмигрант из России), поэт, переводчик, литературовед и энтомолог Владимир Владимирович Набоков подробно описал свою синестезию в своей автобиографии *"Память, говори"* (синие графемы) и изобразил её у некоторых своих персонажей [103]. Наконец, третий пример: русский композитор, педагог, дирижёр и музыкальный критик Николай Андреевич Римский-Корсаков, который был автором 15 опер, трёх симфоний и многих других инструментальных произведений, в своём интервью отметил, что он обладает "цветным слухом" [104].

Интересно, что известный американский физик, лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман описал цветные для него символы в математических уравнениях:

"Когда я смотрю на уравнения, я вижу буквы в цвете — сам не знаю, почему. Когда я говорю, я вижу смутные образы функций Бесселя из книги Янке и Эмде с летающими повсюду светло-коричневыми *j*, голубовато-фиолетовыми *n* и тёмно-коричневыми *x*". (См. главу "It's as simple as One, Two, Three..." в его автобиографической книге *"What Do You Care What Other People Think?"* [105, с. 40] и с. 51 в переводе книги на русский язык.)

Однако ко всем этим примерам следует подходить с осторожностью, поскольку с этими авторами объективные научные исследования, выявляющие синестезию, не проводились.

Как уже отмечалось, существует множество разных форм синестезии. Например, выявлен проверенный случай, когда тактильные контакты вдобавок к эмоциям вызывают вкусовые ощущения. Поглаживание сетчатой железной ограды вызывает во рту сильный солоноватый привкус. Это объяснимо: островок Рейля, связанный с осязанием, получает сильный вкусовой сигнал от языка, объединяя тем самым в некоторых случаях вкус и восприятие шероховатости [66].

Другой пример: существует и цвето-временная синестезия, когда у людей дни недели или месяцы ассоциируются с определёнными цветами, например, понедельник с зелёным, среда с розовым, а декабрь с жёлтым. У таких людей не внешний вид числа, а абстрактное понятие числовой последовательности провоцирует цвет. В этом случае вновь необходимо вернуться к анатомии мозга. После того как числовая форма распознаётся, информация направляется в угловые извилины, участок мозга в теменной доле, которая на высшем уровне иерархии больше других ответственна за обработку восприятия цвета [66].

Набор наших рецепторов оперирует с признаками наблюдаемого предмета, разлагая его на разные модальности, а зоны мозга, куда приходит информация о признаках, затем производят их объединение в одно целое, запоминая процедуру как анализа, так и синтеза. Эти процедуры в терминах объединения существенных признаков были изложены М.М. Бонгардом (1924–1971) в его интересной книге *"Проблемы узнавания"* [106]. Он был сотрудником уже упоминавшейся лаборатории Физики зрения, а истоки этих работ следует искать в подходах старшего поколения учеников П.П. Лазарева к механизмам работы мозга.

6.3. О связи зрительной рецепции с "моторикой"

В 1918 г. П.П. Лазарев писал: "изучение этого феномена¹³ может раскрыть важные аспекты творчества и воображения" [51]. На государственном телевизионном канале "Россия 1" в 2018 г. был организован проект "Удивительные люди", в котором на конкурсной основе разные участники демонстрировали необычные возможности своего мозга, развитые с помощью мнемотехники.

Вся история человечества — это развитие памяти. Первые дошедшие до нас тексты по мнемонике появились

¹³ Речь идёт о мнемотехнике — совокупности приёмов, облегчающих запоминание нужной информации путём образования ассоциаций (связей): замена абстрактных объектов и фактов на понятия и представления, которые имеют визуальное, аудиальное или кинестетическое представление и тем самым обеспечивают связывание новых объектов с уже имеющимися в памяти.

Таблица 4. Варианты синестезий, обнаруженные В.С. Рамачандраном [66]

№	Пол	Описание ощущений со слов пациентов	Способы проверки их утверждений
1	Ж	Ощущаю цвет всякий раз, когда вижу цифры, даже если они напечатаны чёрным шрифтом. Например, цифра 7 для меня окрашена в красный цвет. Это облегчает мне запоминание телефонных номеров, поскольку каждая цифра имеет свой цвет.	Неврологические расстройства не замечены. Рамачандран нарисовал римскую VII и спросил пациентку: "Что она видит?" Ответ был: "Я вижу, что это семёрка, но она выглядит чёрной, а не красной". Далее Рамачандран попросил пациентку закрыть глаза, и на её ладони нарисовал цифру 7, и сказал ей: "Я нарисовал семёрку. Она цветная?" Ответ был: "Нет. Я изначально не вижу красного цвета, даже когда "чувствую", что это 7. Но, когда я зрительно представляю себе цифру 7, она выглядит окрашенной в красный цвет". Цвет окраски каждой цифры постоянен, но окраска разных цифр отличается и сцеплена с их формой. Более того, если написать двузначное число, составленное из двух разных цифр, то пациентка по-прежнему видит каждую из цифр в двузначном числе в своём цвете, но по мере приближения цифр друг к другу, возникала конкуренция цветов. Окраска тускнела. Если цифру 7, которая воспринималась красной, написать зелёным цветом, то пациентка видит одновременно два цвета: зелёный и красный. При этом сообщает, что это выглядит отвратительно. В конечном итоге выяснилось, что цифры окрашиваются лишь после того, когда пациентка осознаёт их значение.
2	Ж	Ощущаю цвет всякий раз, когда вижу буквы алфавита и цифры.	Неврологические расстройства не замечены. Рамачандран повторил те же самые тесты. Ответы были похожи, с небольшими вариациями. Она видела цветные цифры, но их окраска была другой: 7 была синей, а 5 — зелёной. Буквы алфавита для неё были окрашены в яркие цвета. Римские цифры, как и цифры, написанные на её ладони, не производили эффекта. Другими словами, <i>переживание цвета возникало вследствие зрительного представления о форме цифры, а не понятия о самой цифре</i> .
3	Ж	Когда я играю на фортепиано, то извлекаемые звуки для меня имеют разный цвет, например, нота до диез имеет синий цвет. Каждая нота имеет другие непохожие друг на друга цвета	Неврологические расстройства не были замечены, но убедительного доказательства влияния звука на появление цвета Рамачандран не нашёл.
4	Ж	Прикосновение к поверхностям одних материалов с шероховатостью вызывает у меня эмоциональную реакцию, такую как страх, тревога, или разочарование, а прикосновение к другим — чувство теплоты и расслабленности.	Наличие тактильно-эмоциональной разновидности синестезии Рамачандран проверил по выделению микроскопических порций пота путём регистрации изменения электропроводности кожи (это один из параметров, используемый также в "детекторе лжи"), и установил, что притворство исключено, так как вид эмоций соответствовал изменению шкалы потоотделения.
5	М	Я вижу цветовой ореол вокруг лица каждого человека, но у разных людей он имеет свой цвет. Когда я выпивал алкоголь, то цвет становился более интенсивным и распространялся по всему лицу целиком.	Рамачандран с помощниками попросили его пристально взглянуться в нос изображённого на фотографии студента из другого колледжа, и спросил, какой цвет он видит вокруг его лица. Пациент ответил, что ореол вокруг студента был красным. Затем стали давать быстрые зелёные и красные вспышки в разные части ореола. При этом регистрировалось изменение направления взгляда пациента. Он в основном реагировал на зелёные точки и только изредка на красные. При этом он сообщил, что вообще не видел красные точки. Это свидетельствует о том, что пациент на самом деле видел ореолы, поскольку на красном фоне зелёное будет выделяться, в то время как красное будет едва заметным. Выяснилось, что пациент страдал интеллектуальной формой аутизма (синдром Аспергера). Ему было сложно понимать людей и "считывать" их эмоции, и приходилось прибегать к интеллектуальным выводам из контекста, но не интуитивно, как у большинства из нас. Каждая эмоция вызывала у него конкретный цвет. Например, злость была голубой, а гордость красной. Родители с раннего возраста учили его, чтобы иметь собственную систему оценки эмоций и компенсировать свой недостаток, ориентироваться на эти цвета. Интересно, что, когда родители показывали ему в детстве надменное лицо, то одновременно сообщали, что оно "фиолетовое". Фиолетовый цвет — это смесь красного и синего. Первый соответствовал в шкале пациента гордости, а второй — высокомерию. Пациент не осознавал эти параллели, его субъективный цветовой спектр корреспондировался в "спектр" социальных эмоций.
Вывод Рамачандрана: Синестезия существует. Нарушение стандартного рецепторного восприятия, свойственного людям, связано с эмоциями и может возникать также за счёт обучения. По-видимому, это отголосок прошлого в истории появления гоминидов. Цветовое зрение у приматов, и в частности гоминидов, необходимо было для их выживания. Соединение цвета с эмоциями на нейронном уровне позволяло различать спелые фрукты и/или молодые листья и побеги, обнаруживать на фоне зелени спрятавшихся хищников, запоминать цветовые особенности ландшафта. В мозге эти эффекты возникали в результате взаимодействия островка Рейля и высших участков мозга, отвечающих за цвет. Если подобные соединения чрезмерны и, возможно, немного перепутаны в мозге, то это объясняет, почему цвета объединялись с эмоциями.			

лись в Древней Греции (легенда о "театре памяти" древнегреческого поэта Симонида, жившего в V веке до н.э. [107]). Очевидно, что искусство запоминания было важным особенно в дописьменные периоды человеческой истории. Способность держать в памяти, наряду со своим опытом, опыт предков и передавать его следующим поколениям ценилась высоко как способность адаптации общины в целом к агрессивной внешней среде. Жрецы, шаманы, сказители должны были запоминать большие объёмы информации и передавать её из уст в уста. Даже после появления письменности искусство запоминания не утратило своей актуальности. Дороговизна папирусов для письма, большой вес и объём книг того периода побуждали к выработке методов запоминания больших объёмов информации. Кочевые племена или караваны торговцев, длительное время находившиеся в пути, ограничивали поклажу и полагались на свою память. Средневековые монахи также развивали свою память для участия в дискуссиях по поводу многочисленных "священных текстов".

Вернёмся к проекту "Удивительные люди". Неизменно у членов жюри вызывало особое удивление проявление форм памяти, связанных с объединением разных видов рецепции. Приведу лишь один пример из этого цикла. Художнику из Казахстана Ренату Елубаеву удалось продемонстрировать свойства мозга в цепи "зрительная рецепция → моторная память → движения двух рук". На экране с высокой частотой случайным образом двигались фрагменты изображения лица женщины (рис. 6а). В целом саму картину этого лица испытуемый ранее не видел (рис. 6б). Ему было разрешено в течение двух минут наблюдать за движением фрагментов картины. Затем его с завязанными глазами поставили перед мольбертом (рис. 6в и г), и он должен был на мольберте в течение 5 минут вслепую (рис. 6д) нарисовать мысленно восстановленное целое изображение (рис. 6е), которое он перед этим видел на экране лишь в виде движущихся фрагментов (рис. 6б). Результат оказался интересным. Любопытно отметить, что, наблюдая на экране за движением фрагментов картины, испытуемый двигал руками, тем самым с помощью моторики восстанавливал и запомненный цельный образ.

7. Синестезия — что это: генетическое эхо прошлого или приобретаемое, но не наследуемое свойство адаптации к изменениям внешней среды?

Как возникает и как развивается синестезия, пока не ясно. На этот счёт существуют по крайней мере три гипотезы.

Во-первых, так называемая *гипотеза семантического вакуума*, в которой предполагается, что синестезия развивается в детстве в период, когда дети впервые сталкиваются с абстрактными понятиями. Первичные абстрактные понятия (например, буквы), которым обучаются дети с помощью цветных картинок, вызывают объединение цвета и самого понятия (красная буква А и картинка арбуза, желтая буква Б и картинка банана и т.д.). Такое обучение у некоторых детей с генетической предрасположенностью к возбудимости может привести к образованию прочных связей между наблюдаемыми буквами или цифрами и шкалой их раскраски на картинках. Эта гипотеза может объяснить, почему наиболее распространёнными формами синестезии являются гра-

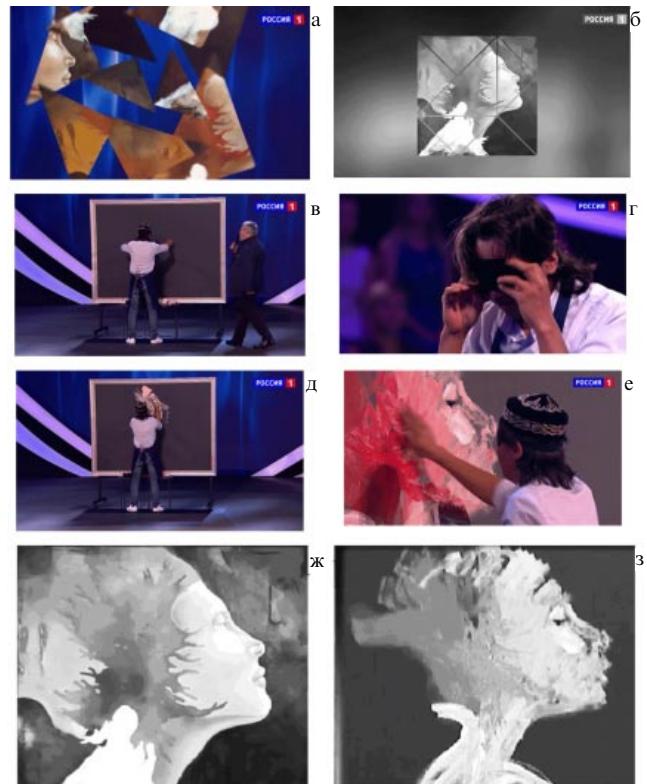


Рис. 6. О связи зрительной системы с моторными движениями (пояснение в тексте). На нижней паре слайдов: слева показана реальная картина (ж), которую художник видел лишь в формате движущихся фрагментов; справа показано изображение картины (з), которое испытуемый нарисовал с завязанными глазами на мольберте.

фемно-цветовая или цифро-цветовая [90]. Однако эта гипотеза не позволяет понять другие формы синестезии, связанные, например, со вкусом или моторикой.

Во-вторых, существует так называемая *смысловая гипотеза* [108]. Эта гипотеза страдает тем недостатком, что в ней содержится попытка объяснить одно явление (синестезию) через другое плохо изученное явление (поиск смысла).

Наконец, предлагается и третья гипотеза, с помощью которой можно примирить две выше изложенные. Назовём её *адаптационной гипотезой*. В нашей работе [83] было показано, что при изменении внешней среды организм как самоорганизующаяся далёкая от равновесия система, чтобы выжить, ищет в условиях неопределённости новый вариант своей устойчивости. Стресс и эмоции могут вызывать синестезию как вариант, ускоряющий поиск устойчивости. Кроме того, синестезия может иметь место при сильной и длительной творческой концентрации, а также при медитации или при воздействии наркотиков (марихуана, ЛСД и т.п.) [109].

Возможно, что синестезия в человеческом обществе существовала всегда. На заре зарождения человечества, когда плотность населения была небольшой, также были важны люди, обладающие синестезией. Мозг синестетов приобрёл возможность связывать вместе фрагменты соответствующего цвета со звуками и запахами, что позволяло распознавать скрывающихся хищников. Кроме того, человек должен был проявлять осторожность при контактах с людьми других племён, распознавая их как опасность, так как в условиях ограниченности пищи

процветал каннибализм. Сегодня сохранились приматы (шимпанзе, бабуины), страдающие каннибализмом [110]. Отсюда понятно, почему П.П. Лазарев, занимаясь проблемой маскировки, особое значение придавал изучению влияния рецепторов друг на друга.

Если допустить, что с развитием цивилизации конкуренция между людьми изменила свою специфику и перешла в область умственного труда, основанного на творчестве, то становится понятным рост количества синестетов. Напряжённая творческая концентрация, порождаемая современным вариантом конкуренции, может приводить к росту количества синестетов. В непрерывно работающем мозге писателя, художника, композитора, исследователя или инженера усложняющееся ассоциативное мышление основано на большом переборе связей между кластерами нейронов, что при недостаточном торможении может приводить к их объединению.

Таким образом, *синестезия, с одной стороны — это и генетическое эхо прошлого, а с другой стороны — адаптационное ненаследуемое приобретение в настоящем за счёт вклада непрерывной умственной работы.*

8. Обсуждение механизмов синестезии

8.1. Роль памяти в сжатии информации

Отметим особенности *виртуального мира внутри нашего мозга*. В его основе лежит наша *память*, т.е. как накопленный генетический опыт, полученный от родителей и отобранный эволюционным развитием вида *Homo Sapiens*, так и приобретённый в течение прожитой части жизни каждым из нас, полученный от учителей или самостоятельно методом проб и ошибок. При описании виртуального мира в качестве граничных условий следовало бы рассматривать сверху теорию относительности А. Эйнштейна, а снизу — квантовую механику Э. Шредингера [83].

Часто можно встретить афоризм, что "единственный мерой памяти является время" [111]. Такое утверждение является неполным, поскольку это время есть *собственное время организма*. Оно отличается от внешнего астрономического времени.

В теории относительности можно говорить об определённом "моменте времени" применительно лишь к выделенной системе. Время, измеряемое по часам, движущимся вместе с данным объектом, приводит к понятию собственного времени объекта. Память фиксирует событие в некоторый момент внешнего времени t , и тем самым останавливает его изменение внутри мозга. Это позволяет многократно возвращаться к запомненному событию.

В своей памяти организм может проводить с запомненными событиями разные операции, например, обращать время вспять практически без потери информации. Это подобно прокручиванию киноплёнки в обратном направлении. Кроме того, он может выделять фрагменты событий и осуществлять с ними логические и комбинаторные операции по составлению набора сюжетов, зафиксированных в памяти. Короче, время в виртуальном мире нашего мозга — переменная и обратимая величина, в отличие от времени в реальном мире.

Появившись на свет, младенец умеет дышать и глотать, засыпать и просыпаться. Ребенок растёт, начинает

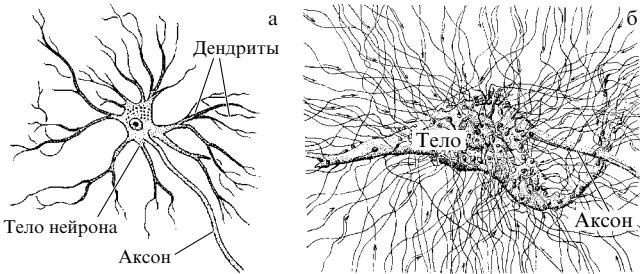


Рис. 7. Нейрон: (а) упрощённая схема, (б) множество синапсов на его теле.

узнавать близких, приспосабливает ритм своей жизни к ритму изменения окружающих его событий: днём бодрствует, ночью спит. Его мозг улучшает способность находить сходства и различия между предметами и событиями. В его мозге расширяется *виртуальная модель окружающего мира*, возникают *многочисленные связи* между запомненными событиями. У взрослого человека количество нейронов порядка 86 млрд, а связей (синапсов) между ними около 100 трлн (рис. 7) [112].

Таким образом, в среднем на один нейрон приходится $\sim 10^3$ синаптических связей. Если принять, что каждая связь — это двоичный код (1 — есть связь, 0 — нет связи), то каждый нейрон в пределе может запомнить количество информации I :

$$I = \log_2 10^3 \text{ бит.} \quad (11)$$

Суммарно общий объём памяти по всему множеству нейронов будет:

$$I_{\Sigma} = 86 \times 10^6 \log_2 10^3 \approx 86 \times 10^7 \text{ бит.} \quad (12)$$

Казалось бы, что память человека невероятно большая, но по сравнению с современными компьютерами это не так много¹⁴. Преимущество мозга человека не в объёме памяти, а в её многоступенчатом сжатии и перекомпоновке, а также в забывании ненужной информации. Если бы вся эта информация запоминалась, то память мгновенно переполнилась бы, и на взаимодействие с внешней средой не осталось бы места.

Первый этап сжатия информации происходит ещё на входе системы, обрабатывающей информацию. Например, одним из параметров внешней среды служит интервал времени наступления событий: их ритм — периодичность, или повторяемость. Некоторые явления воспринимаются организмом как дискретные, следующие одно за одним, другие сливаются вместе и воспринимаются как одно целое. Если произвести две вспышки света с интервалом, меньшим, чем 50 мс, то человек воспримет их как одну. Временная разрешающая способность живых организмов эволюционно подгонялась под реакцию их двигательного аппарата. Интервал "воздействие → реакция" разделился на две части. Очевидно, что нецелесообразно различать события (а тем более переносить их в память), если нельзя на них отреагировать. Человек в этом плане не является исключением в животном мире. Его выделяет лишь изобретение им внешней долговременной

¹⁴ 1 ГБ = 2^{30} байтов, 1 байт = 8 бит.

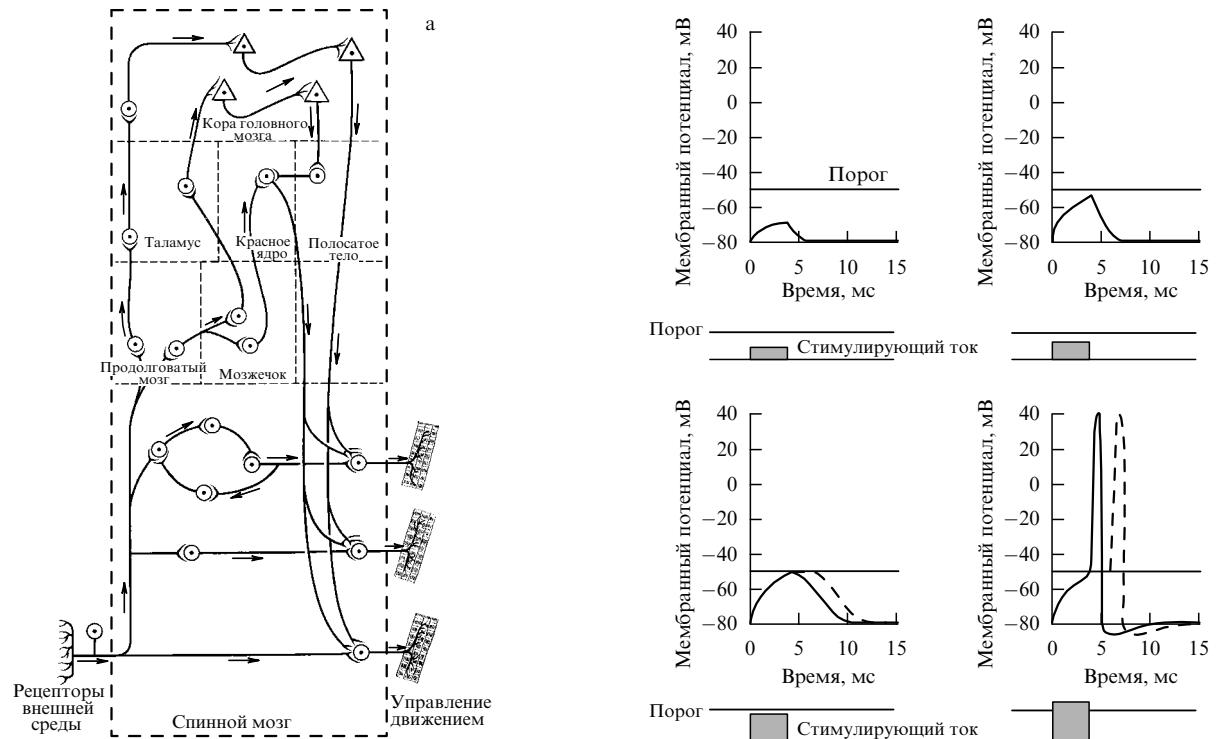


Рис. 8. Упрощённая схема уровней и связей в нервной системе (а) и электрические ответы нейрона (б), выявляемые путём измерения мембранный потенциала при раздражении аксона электрическим током разной силы (подпороговым и превышающим порог [112]).

памяти, позволяющей сохранить накопленную информацию за пределами жизни одного человека и передавать содержимое потомкам. Это всё то, что мы называем культурой и социальным взаимодействием (развитая речь, наскальные рисунки, письменность, архитектура, книгопечатание, учебники, энциклопедии, справочники и, наконец, Интернет).

Вернёмся к нейронной обработке информации. Во-первых, *виртуальная модель внешней среды* формируется в нервной системе на основе взаимодействия нейронов, которые общаются друг с другом, но их язык нам известен только на уровне ответных потенциалов на электрическое раздражение в эксперименте (рис. 8б). Такое воздействие не приводит к диалогу с нейроном, а вызывает лишь его "крик об опасности". Во-вторых, проблема памяти состоит не только и не столько в том, как обеспечить оптимальное условие заполнения объёма памяти, а как найти в этом объёме запомненное, необходимое для повторного использования решение той или иной задачи.

Кроме того, *виртуальная модель внешней среды*, формируемая нейронной сетью, обладает дуализмом, поскольку одновременно она материальна и нематериальна. Предполагается, что нематериальный и материальный миры связаны через переходы "информация ↔ энтропия" [113, 114]. На макроуровне цикл Карно демонстрирует такую связь. Эту связь часто называют *нег-энтропийным принципом информации*. При таком подходе конечный результат оказывается сравнительно простым: *за извлечение любой информации из памяти нужно заплатить цену, которая равна или больше увеличения энтропии во всей системе*. [115]. Однако использование энтропии для описания работы живых систем (в особенности мозга) оказывается недостаточным

и в полной мере не раскрывает сущность их работы [116].

Отметим четыре пройденных биофизикой этапа на пути описания информационных процессов в мозге, включая извлечение нужной информации из памяти.

1. Наш мозг при взаимодействии с внешней средой работает на границе порядка и хаоса [117, 118]. Скорость обработки информации в количественном определении измеряется в относительных информационных единицах (битах, байтах и т.д.), отнесённых к времени переноса информации в пространстве [119]. При этом требуется учитывать *ценность информации*. Ценность извлекаемой из памяти информации зависит от цели. Последняя может быть поставлена перед человеком как внешней средой, так и сформулирована им самим. Стимулом при постановке задач из внутренних побуждений является необходимость повышения устойчивости живого организма, т.е. его адаптация к изменениям внешней среды. Удачные варианты адаптации *запоминаются мозгом*. Постановка собственных задач связана с выбором *оптимального пути* получения результата [117]. При таком взгляде на механизм мышления *ценность информации* можно описать в терминах повышения вероятности достижения цели [106].

2. Путь к достижению цели зависит от внешней ситуации и априорной информации, содержащейся в *памяти*. Например, если задача состоит в необходимости получить единую картину наблюдаемого внешнего мира путём объединения набора из *n* фрагментов, то в *виртуальной модели* необходима реализация пути перехода от хаоса, т.е. *полного перебора n* фрагментов, к *порядку*. Другими словами, построение детерминированной модели происходит на основе пошагового сжатия информации и тем самым увеличения её ценности. В результате

должна быть найдена инструкция переходов по цепи от хаоса к порядку: $\{(n!) \approx n^n\} \rightarrow \{n(n-1)/2\} \rightarrow \{n-1\}$. Допустим, что целый образ состоит всего из 10 фрагментов, а также предположим, что на единичную операцию сборки целого из одного фрагмента затрачивается всего 6 секунд. В результате сборки из n фрагментов, без априорной, запомненной ранее информации, будет затрачено: 6 сек \times $n!$, т.е. 2×10^3 лет непрерывного процесса поиска решения; при систематизированном блочном переборе с дополнительным информационным критерием потребуется 4,5 минуты; для сборки с выработанной и запомненной пошаговой инструкцией потребуется меньше 1 минуты. Это есть наглядная иллюстрация стоимости запомненной ранее информации о связях между событиями [120]. Сжатие информации условно можно разбить на любое количество этапов, в пределе можно выделить два этапа: (1) запоминание текущей информации и (2) выделение в ней ценной информации путём повышения порога возбуждения нейрона и отсечения тем самым неценной информации (рис. 9).

3. Уровни организации обработки информации можно изобразить в виде матрицы вертикальных столбов, по которым движутся потоки информации от рецепторов к коре мозга, и узлов, где происходит её обработка [121]. На рисунке 10 дана условная схема эволюционного увеличения числа уровней — от простейших до человека.

Матрица из количества уровней в столбах, анализирующих информацию, растёт от микроорганизмов к более сложным организмам. Уже у высших насекомых и позвоночных — от рыб до птиц — анализирующая система имеет, по крайней мере, четыре уровня обработки информации. У млекопитающих прибавляется пятый уровень — кора головного мозга. Соответственно возрастает число горизонтальных связей между кластерами и растёт объём памяти. Ещё в середине XX века были сделаны подсчёты количества нейронов на разных уровнях обработки зрительной и слуховой информации у обезьян и человека [122, 123]. Приведём в качестве примера изменение количества нейронов в слуховой анализирующей системе обезьяны: уровень I (внутреннее ухо) — количество нейронов $\sim 3 \times 10^4$; уровень II (продолговатый мозг) — количество нейронов $\sim 9 \times 10^4$; уровень III (средний мозг) — количество нейронов $\sim 4 \times 10^5$; уровень IV (промежуточный мозг) —

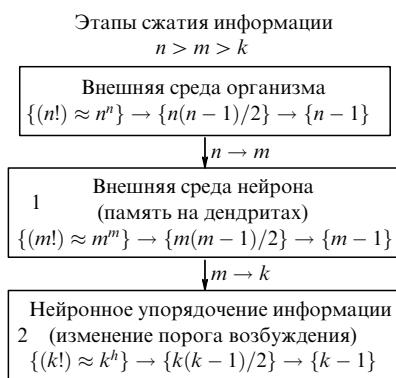


Рис. 9. Процесс упаковки информации в памяти виртуальной модели внутри мозга имеет иерархическое строение. Указанная условная схема демонстрирует этапы сжатия информации при запоминании и обобщении признаков внешней среды во внутренней среде.

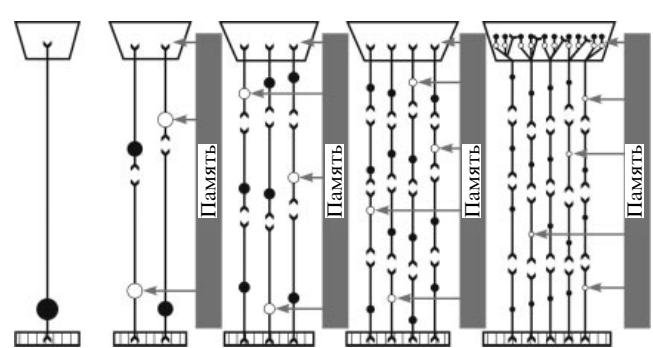


Рис. 10. Условная схема эволюционного увеличения числа уровней, анализирующих информацию биосистем животного мира. Слева направо: от простейших до человека. Вертикальная штриховка внизу — рецепторная поверхность, контактирующая с внешней средой. Чёрный кружок с отростками — кластер нейронов (хаб), четырёхугольная поверхность наверху — кора мозга. Увеличение числа параллельных цепей условно отражает возрастание общего количества уровней, обрабатывающих и передающих информацию от рецепторов к мозгу. Схема справа соответствует схеме рис. 7а.

количество нейронов $\sim 4 \times 10^5$; уровень V (слуховая зона коры) — количество нейронов $\sim 10^7$. Из этих данных легко заметить, что шаг перехода от уровня к уровню по количеству кластеров нейронов — переменный и не образует плавный переход снизу вверх, т.е. отношения количества нейронов i -го уровня к $(i-1)$ соответственно равны: 3; 4,44; 1, 25.

Появление новых уровней в некоторых случаях может происходить по фрактальному принципу подобия. В этом случае их описание не требует большого труда в силу повторяемости операций за счёт подобия при движении информации по уровням снизу вверх [55, с. 157]. Эти так называемые L-системы А. Линденмаера были исследованы ещё в 1970-х гг. [124, 125]. Однако подобные системы — скорее исключение, чем правило.

Обработка информации в мозге похожа на квантовый уровень её изменения. На квантовом уровне процессы фиксации фотонов при взаимодействии с детектором описываются в терминах коллапсов волновых функций [126, 127]. В результате появляется вывод: *фиксация в памяти признака об одном из элементов системы меняет информационное взаимодействие между оставшимися другими признаками. В пределе запоминание случайного выбора превращает его вероятность в 1, а остальные вероятности обнуляются* [128, 129].

4. Сама иерархическая многоуровневая природа как памяти, так и её обработки и ценности информационных признаков в живых организмах не допускают полного аналитического описания работы даже на одном уровне. Проблема состоит в том, что язык описания должен быть аналогичен языку общения между самими элементами системы (нейронами), находящимися на этом уровне. Однако этого языка в полной мере мы не знаем. Слегка перефразировав Мариана Смолуховского [129], отметим, что исследователь, изучающий обработку информации в мозге, *подобен полководцу: у него нет возможности различать индивидуальность нейронов, поскольку он не имеет средств её идентифицировать; даже при самом большом старании он может определить только количество однородных нейронов, у которых положения и скорости заключены в определённых пределах, но этих параметров явно недостаточно, чтобы понять события*,

развёртывающиеся на каждом информационном уровне, поскольку смысл "разговоров" нейронов между собою нам (пока) не доступен.

8.2. Обработка информации в сетях

Мозг в зависимости от сюрпризов, которые преподносит внешняя среда, должен решать возникающие во внешней среде задачи в условиях дефицитов: либо времени t , либо затрат энергии W , либо и того и другого, т.е. ему необходимо укладываться в лимит цены действия $H = Wt$. Покажем, что синестезия является одной из эволюционно выработанных форм понижения барьеров на пути преодоления указанных дефицитов, прежде всего *дефицита времени*. Она возникает чаще всего, когда задачу нужно решить за характерное время τ , которое должно отвечать условию: $\tau \leq \Delta t_k$, где Δt_k — критический интервал времени. Последствия невыполнения этого условия в разных ситуациях различаются. Наивысшая цена имеет место в системах "хищник \leftrightarrow жертва". Выход за предел Δt_k приведёт либо к гибели хищника от голода, как одного из участников, либо жертвы в результате превращения её в пищу. В других ситуациях цена меньше, и оплачивается лишь временной потерей устойчивости, которую удается восстановить [83].

Приведём простой пример, демонстрирующий влияние количества информационных уровней на задачи распознавания образов при взаимном влиянии количества обрабатываемой и ранее запомненной информации. Продемонстрируем этот процесс на основе нейронной сети в виде графа (рис. 11). Задача: найти путь из А в В с минимальной затратой времени.

В каждом узле, состоящем из нейронов на любом иерархическом уровне, на обработку информации на один шаг перемещения затрачивается время τ_{ij} . Суммарное время обработки информации τ_Σ между точками А и В при равенстве шагов $\tau_{ij} = \tau_{(i+j)}$ будет равно:

$$\tau_{\Sigma j} = n \tau_{ij}, \quad (13)$$

где n — количество шагов между хабами по j -му пути. Если $\tau_{ij} \neq \tau_{(i+j)}$, то выражение (13) примет вид:

$$\tau_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^n \tau_{ij}. \quad (14)$$

На рисунке 11 в левый путь состоит из 11 шагов, до точки бифуркации № 6 количество шагов равно 6. Правый путь состоит из 9 шагов. Таким образом, правый путь по сравнению с левым путём по затратам времени даст выигрыш в $(11 - 6)/(9 - 6) = 5/3 = 1,67$ раза. Однако существует и другой путь из точки А в точку В (рис. 11г), состоящий всего из 4 шагов. Если удаётся найти этот путь, то по затратам времени выигрыш составит с левым путём и правым на рис. 11 в соответственно: $11/4 = 2,75$ и $9/4 = 2,25$.

Время прохождения по нейронным путям небольшое, поскольку скорость движения импульса по аксону достаточно большая — порядка 30 м с^{-1} . Следовательно, за 1 мс поток информации может преодолеть путь длиною 3 см. Основные задержки происходят на обрабатывающих информацию хабах с большим количеством связей (синапсов). Если связей на хабе порядка 10^3 с одинаковыми весами, а в процессе обучения необходимо из этого множества выбрать один путь, который и определит

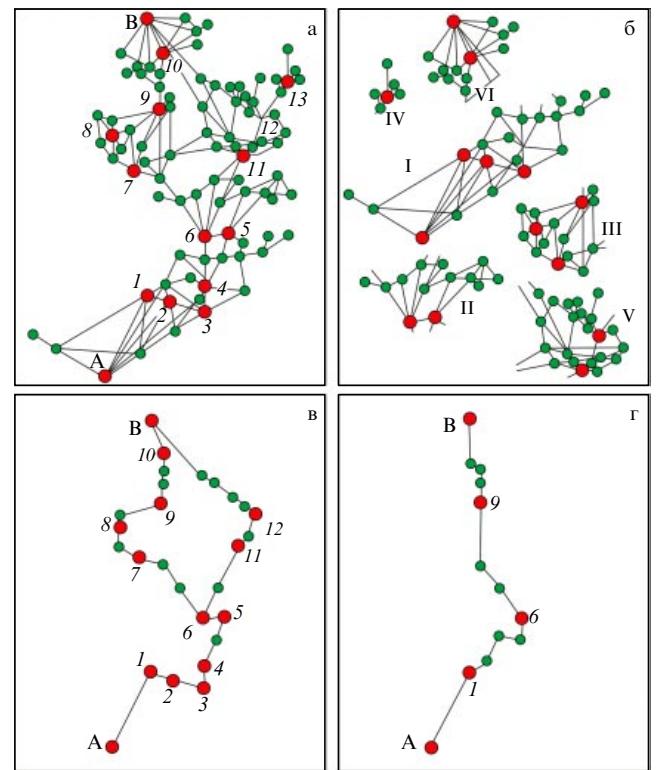


Рис. 11. Гипотетическая нейронная сеть (а). Тёмными (красными) кружками отмечены на этой сети 15 хабов, для которых распределение связей находится в диапазоне $\deg(v) = 5 - 7$. Нетрудно заметить, что эта сеть при забывании информации, т.е. отмирании связей, может развалиться на 5 или более кластеров (б). Допустим, что возникла задача — перенести поток информации из точки А в точку В. При этом путь переноса неизвестен, а известно только направление. Надо найти кратчайший путь. На рисунках (в) и (г) показаны два варианта поиска пути методом проб и ошибок.

направление дальнейшего движения, то вероятность случайного правильного угадывания оптимального пути будет крайне мала: $p = 0,001$. Однако время поиска можно сократить. Биологические системы нашли удачный вариант — трихотомию, или тернарный поиск. Дело в том, что расположение синапсов на теле нейрона неравномерное, поскольку часто повторяемый путь решения задач имеет большую плотность расположения синапсов. Редко решаемые задачи имеют низкую их плотность, а для новых задач плотность минимальная. Из условия задачи, которая поставлена, априорно не известно, новая она или уже решалась многократно. Следовательно, для многократно решаемых задач необходим поиск максимума плотности расположения синапсов, а для новых задач необходим поиск минимума функции их расположения. Тричный поиск основан на том, что как максимум, так и минимум плотности синапсов (функции памяти) лежит между первой и последней третями их пространственного распределения. Тричный поиск демонстрирует парадигму: избегай крайностей и ищи компромисс. В биологии такой принцип называют симбиозом. Предположим, что сигнал возбуждения, пришедший к нейрону, ищет оптимальный путь для совершенно новой задачи. Ему нужен минимум функции плотности синапсов $f(x)$, который лежит между ρ_1 и ρ_2 . Чтобы алгоритм был применим, должно существовать некоторое значение x , отвечающее условию:

- для всех a, b , для которых $\rho_1 \geq a > b \geq x$, выполняется $f(a) > f(b)$, и
- для всех a, b , для которых $x \geq a > b \geq \rho_2$, выполняется $f(a) < f(b)$.

По сути, этот способ поиска оптимального пути является одним из вариантов *метода оврагов*, сформулированного И.М. Гельфандом и М.Л. Цетлинным ещё в начале 1960-х гг. [130, 131]. В программном варианте подобные методы изложены в книге [132].

Наконец, последнее: как появляется синестезия? Возвращаясь к рис. 11б, несложно заметить, что граф пути из точки А (постановки задачи) к точке В (нахождению её решения) проходит по разным кластерам хабов (нейронных ассоциаций). Одни из них являются центрами представительства зрения (во всём его многообразии — цвет, зрительные образы и т.п.), другие — слуха, третий — вкуса и т.д. Прохождение по этим траекториям графа может приводить к слиянию запоминаемого сетью пути с различной окраской, навязываемой областями представительства других рецепторных систем, создавая новый мир образов. Такое влияние, передаваемое через рост синаптических систем, создаёт новые признаки в решаемых задачах. Эти признаки запоминаются. Тем самым исключается неопределённость в выборе пути при повторном его поиске.

Короче, при воспроизведении следов памяти имеет место симбиоз, т.е. положительное взаимодействие, определяемое увеличением количества синаптических связей. Появление синестезии и есть результат симбиоза между элементами в памяти, который в пределе может привести к их полному слиянию.

8.3. Синестезия уничтожает неопределённости восприятия

Приведём простой пример. Допустим, что возникла следующая задача: *дан двойной набор из двух групп одинаковых фрагментов, по 6 в каждой группе. Необходимо собрать один квадрат и один прямоугольник без многозначности решения. Все фрагменты должны быть использованы при сборке* (рис. 12). Полный случайный перебор шести фрагментов из каждой группы $6! = 720$. Поскольку площадь совокупности фрагментов в каждой собираемой фигуре одинаковая, то площади фигур равны (рис. 12а).

Взрослый человек без предварительного опыта при серых фрагментах затрачивает на построение от 2 до 4 минут. Интересно, что собирающий часто не отдаёт себе отчёта в том, какими признаками он пользуется при сборке. Ответ его обычно бывает таким: "Этот фрагмент сюда подходит, а этот не подходит". Кроме того, он даже в большинстве случаев не заметит, что при складывании прямоугольника возникает неопределённость, связанная с перестановками трёх квадратов, т.е. имеет место шесть вариантов решения сборки прямоугольника. Количество перестановок квадратов внутри прямоугольника $P_3 = 3! = 6$ (рис. 12б).

Введём для фрагментов I (т.е. первого уровня) некоторый дополнительный признак — цвет (рис. 12в). В результате из фрагментов II в виде квадратов разного цвета можно составить целое. В этом случае указанная сборка будет подмножеством не только геометрических фигур, но и подмножеством множества набора разновидностей цвета, легко различаемых человеческим глазом (рис. 12г). Очевидно, что у дальтоника это множе-

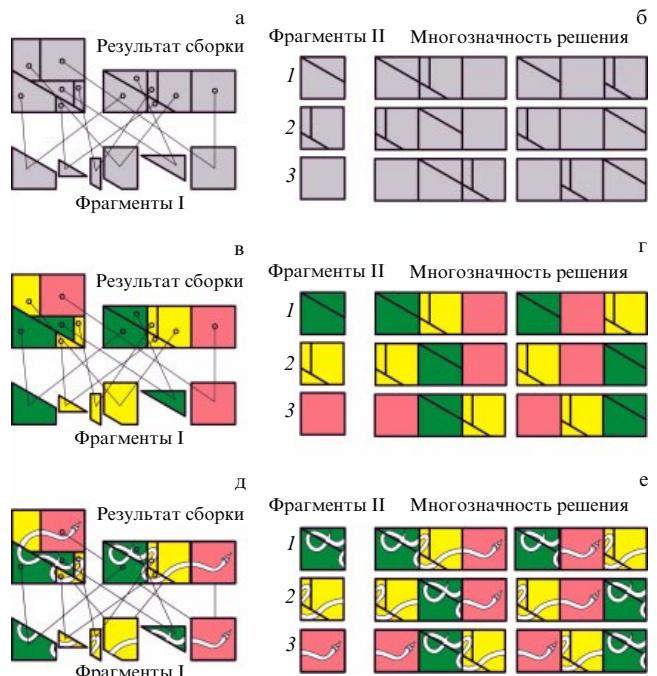


Рис. 12. (В цвете онлайн.) Восстановление целого по фрагментам: (а) варианты сборки двух целых фигур равных площадей из шести их неокрашенных серых фрагментов I первого уровня; (б) неоднозначность решения при появлении набора неокрашенных серых фрагментов II более высокого ранга; (в) вариант сборки двух целых фигур равных площадей из шести их окрашенных фрагментов I первого уровня; (г) проявление многозначности решения при наборе окрашенных фрагментов II более высокого ранга; (д) сборка двух целых фигур равных площадей из шести их окрашенных фрагментов I первого уровня с нанесённым на них вариантом изображения змеи; (е) многозначность решения устраняется дополнительным существенным признаком — образом змеи, поскольку при сборке образ змеи сохраняется только в одном варианте и распадается на части во всех остальных.

ство будет другим. Сразу выявляется наличие шести решений, возникающих при сборке прямоугольника.

Вероятность выбора любого из этих шести вариантов есть $p_i = 1/6$. Однако формулировка задачи гласит: "без многозначности решения". Следовательно, случайный выбор любого из шести вариантов будет отвечать решению задачи. Но какой вариант выбрать? Можно выбрать, например, шестой вариант расположения цветов, который соответствует обычному светофору, тогда $p_6 = 1$, когда энергия фотонов цвета растёт справа налево: от красного к зелёному. При выборе все остальные вероятности сборки обнуляются, так как запоминание случайного выбора уничтожает альтернативы [128]. Но как обосновать такой выбор?

Введём дополнительный признак (рис. 12д, е). Если нанести на собранные целые (соответственно на цветные квадрат и прямоугольник) какой-нибудь осмыслиенный образ, например, рисунок змеи, то неопределённость исчезает. При этом основным информативным признаком становится имеющееся в памяти человека изображение объекта. Роль остальных признаков (геометрических форм фрагментов и их раскраска) уменьшается. При этом неопределённость при сборке прямоугольника исчезает. Только одна комбинация из фрагментов II даёт неразорванный образ змеи, следовательно, $p_1 = 1$, все остальные $p_i = 0$.

Итак, наш мозг — это не только интерфейс, согласующий генетически заложенные программы (инстинкты) с их реализацией при изменениях внешней среды [56], но и "третий судья", распределяющий в своей виртуальной модели внутренние конкурентные ситуации между ощущениями, ликвидируя неопределенности путем разделения или соединения признаков.

Можно сделать заключительный вывод: *синестезия — это одна из форм познания окружающего мира, облегчающая восприятие признаков внешней среды, которые находятся на разных уровнях иерархии* (рис. 1а). *Этот процесс облегчает априорную оценку получаемой информации и тем самым увеличивает вероятность решения задач, уничтожая неопределенности в их решении.*

9. Выводы

1. П.П. Лазарев в начале XX века пришел к выводу о возможном слиянии сенсорных впечатлений у человека. Глобальная проблематика, к которой он всегда стремился, опережала время.

2. Им были созданы разные научные школы. При исследовании с виду частных прикладных задач он исходил из идеи *системного подхода*, что требовало участия разных специалистов. К сожалению, политическое руководство страны того периода, занятое проблемой собственного выживания, не могло оценить в полной мере его талант. Более того, оно создало негативный фон, приведший к травле выдающегося ученого.

3. Синестезия — это не патология, а нормальный физиологический процесс, хотя она свойственна не всем людям. Механизм возникновения синестезии — это проявление симбиоза разных элементов памяти, сокращающих время запоминания путей решения задач для многократного использования этих результатов в будущем.

4. Синестезия, с одной стороны — это генетическое эхо прошлого, а с другой — адаптационное ненаследуемое приобретение в настоящем времени за счет интенсивной и непрерывной умственной работы.

5. У многих творческих людей при напряженной умственной работе проявляется слияние receptorных восприятий, что создает в виртуальной модели мозга яркий мир новых образов.

6. Сегодня исследование синестезии становится трендом не только в нейронауках, но и во многих разделах как социальных, так и физико-математических наук в связи с созданием систем *искусственного интеллекта и креативных андроидных роботов*.

Благодарности. Хочу поблагодарить М.С. Аксентьеву, которая обратила моё внимание на ряд ссылок: великолепную презентацию о П.П. Лазареве, помещенную на сайте Архива РАН [133], на статью в журнале *Nature* 1999 года об "эффекте Моцарта" и на некоторые другие источники информации. Также хочу поблагодарить д.б.н. В.И. Архипова, обсуждение с которым способствовало улучшению статьи. Наконец, хочу особо отметить роль председателя оргкомитета XXVI Международной конференции "Математика. Компьютер. Образование" профессора МГУ Г.Ю. Резниченко, которая предложила мне выступить в январе 2019 г. на конференции с лекцией на эту тему. Замечания и вопросы, заданные слушателями, были учтены при окончательном редактировании статьи.

Список литературы

- Крылов А Н *Воспоминания и очерки* (М.: Изд-во АН СССР, 1956) с. 417; Крылов А Н "В комиссии А.Н. Баха", в кн. *Мои воспоминания* 9-е изд. перераб. и доп. (СПб.: Политехника, 2003) с. 335
- Шпольский Э В "Пётр Петрович Лазарев (1878–1942)" УФН 27 1 (1945)
- Дерягин Б В "О работах П.П. Лазарева в области биологической физики (К пятилетию со дня смерти П.П. Лазарева)" УФН 32 81 (1947)
- Кравков С В "Пётр Петрович Лазарев (К десятилетию со дня смерти)" УФН 46 441 (1952)
- Дерягин Б В "Петр Петрович Лазарев (К столетию со дня рождения)" УФН 125 11 (1978); Deryagin B V "Petr Petrovich Lazarev (on the one-hundredth anniversary of his birth)" Sov. Phys. Usp. 21 376 (1978)
- Гинзбург В Л и др. *От редакционной коллегии УФН* 169 2 (1999); Ginzburg V L "From the Editorial Board" Phys. Usp. 42 1 (1999)
- Гинзбург В Л и др. "Журналу "Успехи физических наук" — 80 лет" УФН 169 3 (1999); Ginzburg V L "80 years of Uspekhi Fizicheskikh Nauk" Phys. Usp. 42 3 (1999)
- Гинзбург В Л "К истории журнала "Успехи физических наук" (вступительное слово)" УФН 179 562 (2009); Ginzburg V L "On the history of Uspekhi Fizicheskikh Nauk (Opening address)" Phys. Usp. 52 530 (2009)
- Дайсон Ф "Птицы и лягушки в математике и физике" УФН 180 859 (2010); Dyson F "Birds and frogs in mathematics and physics" Phys. Usp. 53 825 (2010)
- Кравец Т П "Творческий путь академика П.П. Лазарева" УФН 27 13 (1945)
- Ostwald W F *Grosse Manner* (Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H., 1910) р. 371
- Из протокола заседания Общего собрания РАН 1917. ОСП приложение III, с. 63–65
- Френкель В Я (Отв. ред.) *Физики о себе* (Л.: Наука, 1990) с. 21
- Рагульский В В "О людях науки с одинаковым отношением к жизни (к 100-летию доклада Лебедева о давлении света)" УФН 181 307 (2011); Ragulsky V V "About people with the same life attitude: 100th anniversary of Lebedev's lecture on the pressure of light" Phys. Usp. 54 293 (2011)
- Лазаревъ П П "The electron theory of matter" УФН 1 83 (1918)
- Лазаревъ П П "Современные задачи молекулярной физики" УФН 1 25 (1918)
- Лазаревъ П П "The Spectroscopy of the extreme ultra-violet" УФН 1 161 (1918)
- Лазаревъ П П "Фотографирование с южного сияния" УФН 1 148 (1918)
- Лазаревъ П П "О новомъ определениі константы излученія" УФН 1 141 (1918)
- Лазаревъ П П "О минимальной энергії, необходимой для зрительного ощущенія" УФН 1 139 (1918)
- Лазаревъ П П "Объ отсутствії поглощенія свѣта въ межпланетномъ пространствѣ" УФН 1 140 (1918)
- Лазаревъ П П "Ориентировка анизотропныхъ жидкостей на кристаллахъ" УФН 1 147 (1918)
- Лазаревъ П П "Объ отношенії количества актинія и урана въ карнотите изъ Colorado" УФН 1 139 (1918)
- Лазаревъ П П "Об изменении силы тяжести при движении тел по поверхности земли к востоку и западу" УФН 2 126 (1920)
- Лазаревъ П П "Фотохимия ассимиляции углерода" УФН 3 285 (1923)
- Лазаревъ П П "Курская магнитная аномалия по работам Комиссии при Академии Наук (с 1 июля 1919 г. по 1 июля 1920 г.)" УФН 2 61 (1920)
- Лазаревъ П П "О курской магнитной аномалии по исследованиям 1921 года" УФН 3 104 (1922)
- Лазаревъ П П "Физический Институт Научного Института" УФН 1 54 (1918)
- Лазаревъ П П "Десять лет института физики и биофизики" (М., 1929)
- Месиц Г А "Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН: прошлое, настоящее, будущее" УФН 179 1146 (2009); Mesyats G A "P N Lebedev Physical Institute RAS: past, present, future" Phys. Usp. 52 1084 (2009)

31. Лазарев П "Физика моря" *УФН* **14** 1025 (1934)
32. Шулейкин В В *Физика моря* (М.-Л.: ГТТИ, 1933)
33. Иваницкий Г Р *Убегающее время* (М.: Наука-Пресс, 2001) гл. 6
34. Шноль С Э *Герои, злодеи, конформисты отечественной науки* 4-е изд. (М.: Либроком, 2010)
35. Лазаревъ П П *Изслѣдованія по іонной теорії возбужденія* (М.: Изд. Моск. Научн. Института, 1916); Lasareff P *Recherches sur la théorie ioniqu  de l'excitation* (Moscou: 1918)
36. Вавилов С И *Глаз и Солнце* (М.: 1927) 10 переизданий, последнее в 2006 году; Пер. на англ. яз.: Vavilov S I *The Eye and the Sun* (Moscow: Foreign Languages Publ. House, 1955)
37. Лазарев П П *Основы учения о химическом действии света* 3 выпуск (Петроград: Научно-техн. изд., 1919–1920)
38. Тимирязев К А *Солнце, жизнь и хлорофилл* (М.: Сельхозгиз, 1937)
39. Герц Г Р *Исследования о распространении электрической силы* (М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938)
40. Stoletow A "Sur une sorte de courants électriques provoqués par les rayons ultraviolets" *Comptes Rendus* **106** 1149 (1888); Reprinted in "On a kind of electric current produced by ultra-violet rays" *Phil. Mag.* **5** **26** (160) 317 (1888)
41. Эйштейн А *Собрание научных трудов в четырех томах* Т. 3 *Работы по кинетической теории, теории излучения и основам квантовой механики. 1901–1955* (М.: Наука, 1965–1967)
42. Soyer V N "Setting the record straight" *Nature* **419** 880 (2002)
43. Лазарев П П *Исследования по адаптации* (М.: Изд-во АН СССР, 1947)
44. Лазарев П П *Сборник статей по истории биофизики СССР* (М.: МОТП, 1940)
45. *Воспоминания о Владимире Ильиче Ленине* Т. 2 (М.: Гос. изд-во полит. лит-ры, 1956)
46. Лазарев П П "Подвижной Рентгеновский кабинет въ военное и мирное время" *Природа* (1) 75 (1915)
47. Лазарев П П "Исторический очерк развития точных наук в России в продолжении 200 лет" *УФН* **169** 1351 (1999); Lazarev P P "Historical essay on the 200 years of the development of natural sciences in Russia" *Phys. Usp.* **42** 1247 (1999)
48. Колыман Э "Вредители в науке" *Большевик* (2) 73 (1931)
49. Лазарев П П *Вестн. РАН* **65** 456 (1995)
50. Лазарев П П *Труды клиники болезней уха, горла и носа при Московском Университете* (1905); Lasareff P *Le physiologiste russe* **4** 1 (1905)
51. Лазаревъ П П "О взаимномъ вліянії органовъ зрѣнія и слуха" *Ізвѣстія Российской Академіи Наукъ. VI серія* **12** (13) 1297 (1918); http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=im&paperid=5975&option_lang=rus
52. Fechner G Th *Elemente der Psychophysik*, 2 Bd. (Leipzig, 1860)
53. Moser M-Br, Moser E I "Where am I? Where am I going? Scientists are figuring out how the brain navigates" *Sci. Am.* **314** 26 (2016); Мозер М-Бр, Мозер Э "Где я? Куда я иду?" *В мире науки* (3) 42 (2016)
54. Vickers G *Control Stability Choice. Gen. Syst.* **11** 1 (1957)
55. Иваницкий Г Р *Виражи закономерностей* (М.: Наука, 2011)
56. Иваницкий Г Р "Робот и Человек. Где находится предел их сходства" *УФН* **188** 965 (2018); Ivanitskii G R "The robot and the human. Where's their similarity limit?" *Phys. Usp.* **61** 871 (2018)
57. von Bertalanffy L *Gen. Syst. Theory A Critical Review* 7 1 (1962)
58. Иваницкий Г Р, Гартштейн В П *Системный подход в биофизическом моделировании*, в кн. *Методологические и теоретические проблемы биофизики* (Под ред. Г Р Иваницкого) (М.: Наука, 1979) с. 190
59. Galton F "Visualized Numerals" *Nature* **21** 494 (1880)
60. Кравков С В *Взаимодействие органов чувств* (М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948)
61. Zhang N et al. "Intra"monozygotic twin pair discordance and longitudinal variation of whole genome scale DNA methylation in adults" *PLoS One* **10** e0135022 (2015)
62. Freed D, Stevens E L, Pevsner J *Somatic mosaicism in the human genome*, *Genes (Basel)* **5** 1064 (2014)
63. Campbell I M, Shaw C A, Stankiewicz P, Lupski J R *Somatic mosaicism: implications for disease and transmission genetics*, *Trends Genet.*, **31** 382 (2015)
64. Рабкин Е Б *Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения* (М.: Медицина, 1971)
65. Hunt R W C *The Reproduction of Colour* 6th ed. (New York: John Wiley & Sons, 2004) p. 4
66. Ramachandran V S *The Tell-Tale Brain: A Neuroscientist's Quest for What Makes Us Human* (New York, London: Norton & Company, 2011); Пер. на русск. яз.: Рамачандран В С *Мозг рассказывает: что делает нас людьми* (М.: Карьера Пресс, 2012)
67. Шулейкин В В "О голосе моря" *Доклады АН СССР* **3** (6) 259 (1935); Шулейкин В В "О голосе моря", в кн. "Физика моря" (4-е изд.) (М.: Наука, 1968) с. 804
68. Seabrook W *Doctor Wood, Modern Wizard of the Laboratory* (New York: Harcourt Brace, 1941); Русский перевод: Сибрук В Роберт Буд: *Современный чародей физической лаборатории* (М.-Л.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1946)
69. Иваницкий Г Р "Генератор напряжения любой формы" *Радио* № 3 54 (1966)
70. Иваницкий Г Р *Нейроинформатика и мозг*. Серия "Новое в жизни, науке и технике". Серия "Физика" (М.: Знание. № 6 1991) с. 26–28
71. Лурия А Р *Маленькая книжка о большой памяти (Ум mnemonicista)* (М.: Изд. МГУ, 1968)
72. Julius D, Basbaum A "Molecular mechanisms of nociception" *Nature* **413** 203 (2001)
73. Chabris K F "Prelude or requiem for the 'Mozart effect'" *Nature* **400** 826 (1999)
74. Steele K M et al. "Prelude or requiem for the 'Mozart effect'?" *Nature* **400** 827 (1999)
75. Rauscher F H "Prelude or requiem for the 'Mozart effect'? Reply" *Nature* **400** 827 (1999)
76. Rauscher F H, Shaw G L, Ky K N *Nature* **365** 611 (1993)
77. Horne J A (Jim), Östberg O "A Self-Assessment Questionnaire to determine Morningness-Eveningness in Human Circadian Rhythms." *Inter. J. Chronobiology* **4** 97 (1976)
78. Андронов А А, Витт А А, Хайкин С Э *Теория колебаний* (М.: Физматгиз, 1959)
79. Рабинович М И, Мюзинолу М К "Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность" *УФН* **180** 371 (2010); Rabinovich M I, Muezzinoglu M K "Nonlinear dynamics of the brain: emotion and cognition" *Phys. Usp.* **53** 357 (2010)
80. Тарп С М *Маятник Фруда. Физический энциклопедический словарь* (М.: Советская энциклопедия, 1983) с. 833
81. Froude W *Apparent negative slip in screw propellers. Trans. INA*. Vol. 8 (London, 1867)
82. Иваницкий Г Р, Кринский В И, Сельков Е Е *Математическая биофизика клетки* (М.: Наука, 1978)
83. Иваницкий Г Р "Самоорганизующаяся динамическая устойчивость биосистем, далёких от равновесия" *УФН* **187** 757 (2017); Ivanitskii G R "The self-organizing dynamic stability of far-from-equilibrium biological systems" *Phys. Usp.* **60** 705 (2017)
84. Hubel D H *Eye, Brain and Vision*. Scientific American Library. A Division of HPHLP/New York (1988); Русский перевод: Хьюбел Д *Глаз, мозг, зрение* (М.: Мир, 1990)
85. Яробус А Л *Роль движений глаз в процессах зрения* (М.: Наука, 1965); Yarbus A L *Eye Movements and Vision* (New York: Plenum Press, 1967)
86. *Oxford Handbook of Synesthesia* (Eds J Simner, E M Hubbard) (Oxford: Oxford Univ. Press, 2013)
87. Grossenbacher P G, Lovelace C T "Mechanisms of synesthesia: cognitive and physiological constraints" *Trends Cogn. Sci.* **5** (1) 36 (2001)
88. Rich A N, Mattingley J B "Anomalous perception in synesthesia: a cognitive neuroscience perspective" *Nature Reviews Neuroscience (Review)* **3** (1) 43 (2002)
89. Hubbard E M, Ramachandran V S "Neurocognitive mechanisms of synesthesia" *Neuron* **48** 509 (2005)
90. Simner J, Mulvenna C, Sagiv N, Tsakanikos E, Witherby S A, Fraser C, Scott K, Ward J "Synaesthesia: The prevalence of atypical cross-modal experiences" *Perception* **35** 1024 (2006)
91. Mróczko-Wasowicz A, Nikolić D "Semantic mechanisms may be responsible for developing synesthesia" *Frontiers Human Neurosci.* **8** 509 (2014)
92. Simner J "Defining synesthesia" *British J. Psychol.* **103** (6) 1 (2012)
93. Naumer M J, van den Bosch J J "Touching sounds: thalamocortical plasticity and the neural basis of multisensory integration" *J. Neurophysiol.* **102** (1) 7 (2009)
94. Simner J, Hubbard E M "Variants of synesthesia interact in cognitive tasks: evidence for implicit associations and late connectivity in cross-talk theories" *Neuroscience* **143** 805 (2006)

95. Hupé J M, Dojat M "A critical review of the neuroimaging literature on synesthesia" *Front Hum Neurosci.* **9** 103 (2015)
96. Neckar M, Bob P "Synesthetic associations and psychosensory symptoms of temporal epilepsy" *Neuropsychiatr. Disease Treatment. Natl. Inst. Health* **12** 109 (2016)
97. Gray J A, Parslow D M, Brammer M J, Chopping S, Vythelingum G N, Fytche D H "Evidence against functionalism from neuroimaging of the Alien Colour effect in synesthesia" *Cortex* **42** 317 (2006)
98. van Campen C *The Hidden Sense: Synesthesia in Art and Science* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2007)
99. Sagiv N, Robertson L C *Synesthesia: perspectives from cognitive neuroscience* (Oxford: Oxford Univ. Press, 2005)
100. Dittmar A (Ed.) *Synästhesien. Roter Faden durchs Leben?* (Essen: Verlag Die Blaue Eule, 2007)
101. Cytowic R E *Synesthesia: A Union of the Senses* 2nd ed. (Cambridge, Mass.: MIT Press, 2002)
102. Bacci F, Melcher D *Making Sense of Art, making Art of Sense* (Oxford: Oxford Univ. Press, 2009)
103. Nabokov V *Speak, Memory: An Autobiography Revisited* (New York: Putnam, 1966)
104. According to the Russian Press: Yastrebsev V "On N.A.Rimsky-Korsakov's color-sound contemplation" *Russ. Muzykal'naya Gazeta* (39–40) 842–845 (1908) in Russian, cited by Bulat Galeev, 1999
105. Feynman R *What Do You Care What Other People Think?* (New York: Norton, 1988); перевод на русск. языке: Фейнман Р *Какое тебе дело до того, что думают другие?* (Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001)
106. Бонгард М М *Проблема узнавания* (М.: Физматгиз, 1967); Пер. на англ. яз.: Bongard M *Pattern Recognition* (New York: Spartan Books, 1970)
107. Симонид Кеосский *Энциклопедический словарь Брокгауз и Ефёнова* В 86 т. (82 т. и 4 доп.) (СПб.: Брокгауз–Ефрон, 1890–1907)
108. Gray J A, Parslow D M, Brammer M J, Chopping S, Vythelingum G N, Fytche D H "Evidence against functionalism from neuroimaging of the alien colour effect in synesthesia" *Cortex* **42** 317 (2006)
109. Cytowic R E, Eagleman D M *Wednesday is Indigo Blue: Discovering the Brain of Synesthesia* (Cambridge: MIT Press, 2009)
110. Fox L R "Cannibalism in natural populations" *Annu. Rev. Ecology and System.* **6** 87 (1975)
111. Grzeszczyka W *Niuanse i zadry czyli powiedzenia* (Lódź, 1988)
112. Кати Б "Как клетки общаются друг с другом", в сб. *Жизнь клетки* (Под ред. Г М Франка) (М.: Мир, 1968) с. 164–181
113. Шрёдингер Э *Что такое жизнь с точки зрения физики* (М.: Иностранная литература, 1947) или (М.: Атомиздат, 1972)
114. Brillouin L *Science and Information Theory* (New York: Academic Press, 1956); Пер. на русск. яз.: Бриллюэн Л *Наука и теория информации* (М.: Физматгиз, 1960)
115. Brillouin L *Scientific Uncertainty, and Information* (New York, London: Academic Press, 1964); Пер. на русск. яз.: Бриллюэн Л *Научная неопределенность и информация* (М.: Мир, 1966)
116. Иваницкий Г Р "XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики" *УФН* **180** 337 (2010); Ivanitskii G R "21st century: what is life from the perspective of physics" *Phys. Usp.* **53** 327 (2010)
117. Чернавский Д С *УФН* **170** 157 (2000); Chernavskii D S *Phys. Usp.* **43** 151 (2000)
118. Чернавский Д С *Синергетика и информация. Динамическая теория информации* (М.: Наука, 2001)
119. Шеннон К *Работы по теории информации и кибернетике* (М.: ИЛ, 1963)
120. Иваницкий Г Р "Память о прошлом даёт льготы в процессах выживания и размножении" *УФН* **182** 1238 (2012); Ivanitskii G R "Memory about the past is beneficial for survival and reproduction" *Phys. Usp.* **55** 1155 (2012)
121. Гершунин Г В "Задачи и трудности в изучении биологических анализирующих систем", в сб.: *Биологические аспекты кибернетики* (Под ред. А М Кузина и др.) (М.: Изд-во АН СССР, 1962) с. 145–153
122. Chow K L J. *Compar. Neurol.* **95** 159 (1954)
123. Блинков С М, Глазер И И *Мозг человека в цифрах и таблицах* (Л.: Медицина, 1964); Пер. на англ. яз.: Blinkov S M, Glezer I I *The Human Brain in Figures and Tables; a Quantitative Handbook* (New York: Basic Books, 1968)
124. Lindenmayer A "Developmental systems and languages in their biological context", in *Developmental Systems and Languages* (Eds G T Herman, G Rozenberg) (Amsterdam: North-Holland, 1975) pp. 1–40
125. Сметанич Я С, Иваницкий Г Р "Модели развивающихся биологических объектов на основе L-систем" *Биофизика* **24** 917 (1979)
126. Кадомцев Б В "Динамика и информация" *УФН* **164** 530 (1994); Kadomtsev B V "Dynamics and information" *Phys. Usp.* **37** 425 (1994)
127. Кадомцев Б В *Динамика и информация* (М.: Редакция журнала "Успехи физических наук", 1999)
128. Иваницкий Г Р "Запоминание случайного выбора уничтожает альтернативы" *УФН* **181** 451 (2011); Ivanitskii G R "Remembering a random choice kills alternatives" *Phys. Usp.* **54** 431 (2011)
129. Смолуховский М *УФН* **93** 724 (1967); Smoluchowski M "Gültigkeitsgrenzen des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie", in *Vorträge über kinetische Theorie der Materie und der Elektrizität* (Mathematische Vorlesungen an der Universität Göttingen, VI). (Leipzig und Berlin: B.G. Teubner, 1914)
130. Гельфанд И М, Цетлин М Л *ДАН СССР* **137** 295 (1961)
131. Гельфанд И М, Цетлин М Л *Успехи математических наук* **17** 3 (1962)
132. Mathews J H, Kurtis D F *Numerical Methods Using MATLAB* (Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1999); Пер. на русск. яз.: Мэтьюз Дж Г, Куртис Д Ф *Численные методы. Использование MATLAB* (М.–СПб: Вильямс, 2001)
133. Загребаева В Н, Савина Г А *Лазарев Пётр Петрович: страницы биографии* (М.: Архив РАН, 2013), <http://www.arran.ru/book-reader/publication.php?guid=7FA5B941-BC38-4EA2-8F3D-3-E935194259&ida=1&kod=9#page/1/mode/1up>

X-men: humans with an unusual interaction between receptor systems who construct a world of new images within themselves (on the 140th anniversary of the birth of Academician P.P. Lazarev)

G.R. Ivanitskii

*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,
ul. Institutskaya 3, 142290 Pushchino, Moscow region, Russian Federation
Tel. 7 (4967) 73-24-81. Fax 7 (4967) 79-05-53
E-mail: ivanitsky@iteb.ru*

Academician Petr Lazarev's scientific and organizational activities are briefly described. He has predicted, first, the law of interaction between various sets of receptors that occurs in solving problems by humans and, second, the existence of a special type of that interaction in which two or more receptor channels are either synchronized or combined into a single channel. The second option is referred to as **synesthesia**. Half a century later widespread interest to studies of this phenomenon is witnessed.

Keywords: academician P.P. Lazarev, biophysics in the Soviet Union, synesthesia

PACS numbers: **01.65.+g**, 87.18.Sn, **87.19.-j**, 87.19.La, 87.23.Kg

Bibliography — 133 references

Uspekhi Fizicheskikh Nauk **189** (7) 759–784 (2019)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2019.01.038524>

Received 26 November 2018, revised 27 March 2019

Physics – Uspekhi **62** (7) (2019)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2019.01.038524>