О РАБОТАХ П. П. ЛАЗАРЕВА В ОБЛАСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ *)

(К пятилетию со дня смерти П. П. Лазарева)

Б. В. Дерягин

Основная часть исследований П. П. Лазарева относится к области биофизики. С исследований по физиологической акустике началась научная деятельность П. П. и на вопросах биофизических же целиком сконцентрировалась в последний период его жизни. В то же время, как неоднократно отмечал при жизни сам П. П., большинство других направлений обширного поля его исследований, как молекулярная физика, фотохимия, было тесно связано с разработкой биофизических проблем, в ходе которой часто возникал ряд задач молекулярно-физического и физико-химического порядка, требовавших своего разрешения. Таким образом биофизические работы являются наиболее основными в творчестве П. П.

Основную часть биофизических работ П. П. представляют исследования по ионной теории возбуждения, фотохимической теории зрения и исследования законов изменения чувствительности нервных центров, исследования, обнимающие почти сорокалетний творческий период (1904 — 1942).

В кратком обзоре совершенно невозможно охватить многообразие полученных П. П. и его школой в этой области результатов, подытоженных в значительной их части самим автором в ряде монографий и обзорных статей.

Я остановлюсь поэтому только на основных результатах этих исследований. Их первый этап относится к развитию ионной теории возбуждения. Отправной точкой здесь явились классические работы Нернста и Леба над раздражением нервов и мышц электрическими токами и растворами солей. Исходя из представления о том, что при пропускании электрического тока у полупроницаемых клеточных мембран возникают изменения концентрации ионов, которые и могут раздражать нервные окончания или мышцы, Нернст набросал количественную теорию возбуждения живых тканей электрическим током.

*) Содержание статьи в основном совпадает с докладом, прочитанным автором на сессии Отделения физико-математических наук Академии наук СССР в апреле 1947 г.

П. П. не только уточнил и развил теорию Нернста, но и показал, что, обобщив эмпирически найденные Лебом законы раздражающего действия солевых растворов и пользуясь уравнениями диффузии ионов и их переноса электрическим током, можно теоретически вывести как законы действия электрического тока, найденные Нернстом, так и ряд других основных законов (например, законы Пфлюгера изменения возбудимости нервов и мышц под действием электрического тока), связав в одно целое большую область явлений. К этим основным вопросам теории возбуждения П. П. неоднократно возвращался и много позже. Так, позднее был весьма подробно рассмотрен вопрос о законах возбуждения тканей переменными и постоянными токами различной частоты и продолжительности. В особенности следует отметить экспериментальные исследования С. Н. Ржевкина, выполненные в институтах Физики и биофизики и Рентгеновском, и обнаружившие приложимость теории П. П. к токам с частотой до $3 \cdot 10^5$ герц, для которых формула Нернста должна быть заменена формулой П. П.

Другим вопросом, рассмотренным П. П. с точки зрения ионной теории, был механизм проведения нервного возбуждения и его перехода с неврона на неврон, а также механизм мышечного сокращения и его возбуждения. П. П. была развита диффузионно-химическая теория распространения нервного возбуждения, объяснившая ряд явлений и давшая подход к ряду труднейших задач; например, основываясь на теории диффузии, П. П. удалось подсчитать межневронные расстояния и дать ряд других приложений.

Замечательными являются исследования, выполненные по предложению П. П. доктором Г. Г. Яуре, показавшим зависимость периодического или апериодического характера сокращения как сердечной, так и двигательных мышц от ионного состава окружающей жидкой среды. Опыты Г. Г. Яуре явились блестящим доказательством справедливости тех предсказаний, которые П. П. сделал, опираясь на основные законы раздражающего действия ионов, в частности закон антагонизма одно- и двувалентных катионов.

Дальнейший важный шаг, сделанный П. П., заключался в признании и дальнейшем обосновании положения, что все явления возбуждения, в том числе органов чувств, могут быть теоретически и притом количественно выведены, исходя из обобщённого закона Леба о раздражающем действии ионов. Это основное положение и составляет содержание ионной теории возбуждения, которой посвящён первый большой этап плодотворной работы П. П., его учеников и сотрудников.

В первую очередь представления о ионах, как непосредственном раздражающем нервные окончания агенте, были приложены П. П. к зрению, а в дальнейшем и к другим органам чувств.

В отличие, однако, от раздражения солями и электрическим током, в случае зрения и других органов чувств между исходными раздражителями — светом, звуком — и конечными раздражителями — ионами —

включён сложный механизм, специфичный для различных органов чувств. В случае зрения механизм этот в соответствии с гипотезой Иоганна Мюллера должен заключаться в фотохимическом превращении светочувствительного пигмента, имеющегося в глазу.

Таким образом, перед П. П., естественно, возникла задача развития фотохимической точки зрения. Решению этой задачи и посвящён второй цикл исследований П. П. В сущности говоря, развитая им теория зрения может рассматриваться в значительной степени независимой от представлений ионной теории возбуждения в узком смысле*). Связью служит допущение о том, что продуктами фотохимического превращения светочувствительных веществ в глазу являются именно ионы, которые и раздражают окончания зрительных нервов. Однако допущение ионизованности продуктов фотохимического превращения весьма мало отразилось на построении и основных результатах теории зрения П. П., представляющей в основном приложение законов фотохимической кинетики к зрению. При этом понятна та тесная и глубокая связь, которая существовала между исследованиями П. П. по фотохимической кинетике и фотохимической теории зрения: первые явились базой и отправной точкой для построения и развития второй. Основное значение при этом имело положение о пропорциональности скорости фотохимического превращения — поглощённой энергии в пределах простой полосы поглощения, т. е. постоянство, в этих условиях, энергетического выхода. То, что в свете закона эквивалентности Эйнштейна следует говорить о постоянстве квантового выхода, а не энергетического, весьма мало (и скорее формально) меняет выводы теории сумеречного и цветного зрения П. П., а существо основных выводов не меняет вовсе.

Фотохимическая теория зрения П. П. вписала блестящие страницы в историю русской науки, получила широчайшее признание и породила целую плеяду последователей и продолжателей. Значение сделанного П. П. видно уже из того, что только по одному из разделов фотохимической теории зрения, посвящённому кинетике изменения чувствительности периферического зрения на свету и в темноте, возникла целая литература, содержащая в основном развитие и уточнение теории П. П. Не менее велико и значение фотохимической теории цветного зрения П. П., дополнившей трёхцветную теорию Юнга-Гельмгольца представлениями о фотохимическом распаде трёх светочувствительных пигментов с различными кривыми поглощения.

Достроенная таким образом теория цветного зрения в литературе, по справедливости, называлась теорией Юнга-Гельмгольца-Лазарева.

Исследования П. П. далеко не ограничивались разработкой теории; они одновременно содержали и её экспериментальную проверку и получение результатов, важных в прикладном отношении.

---

*) Это обстоятельство было подчёркнуто и самим П. П.

В первую очередь были рассмотрены вопросы, связанные с рубежными раздражениями зрения и других органов чувств. Ряд исследований был посвящён установлению и проверке законов действия кратковременных и периодических освещений сетчатки. Практическая важность этих явлений рубежного раздражения может быть иллюстрирована теми важными применениями в фотометрии, которые были сделаны С. И. Вавиловым и его сотрудниками, разработавшими метод гашения для измерения малых яркостей. Чувствительность глаза по отношению к вспышкам различной продолжительности лежит в основе теории маяков и играет также важную роль в ряде физических методов измерения.

В дальнейшем исследования П. П. и его учеников были распространены на сверхрубежные раздражения и чувствительность глаза к различиям освещения (контрастная чувствительность глаза). Раньше эти вопросы трактовались только на основе закона Вебера-Фехнера, согласно которому еле заметный прирост раздражения (например яркости света) пропорционален величине самого раздражения.

Рассматривая на основе ионной теории возбуждения те физико-химические процессы, которые лежат в основе ощущений, П. П. смог сделать чрезвычайно важный и смелый шаг, сведя закон Вебера-Фехнера к основной закономерности раздражающего действия ионов на нервные окончания. Эта закономерность, по П. П., сводится к пропорциональности между едва заметным приростом концентрации раздражающих ионов и наличной концентрацией. В дальнейшем П. П. пошёл ещё дальше, приняв за основу пропорциональность между приростом ΔN числа раздражённых нервных волокон, дающих едва заметный прирост ощущения, и числом N уже раздражённых волокон. Следует отметить, что пропорциональность между ΔN и N не является единственно возможным допущением. Было впоследствии выдвинуто предположение о постоянстве ΔN для едва заметного прироста ощущения. Однако это не имеет столь принципиального значения как основная идея, которая была выдвинута П. П., о том, что закон Фехнера следует рассматривать как следствие процессов в воспринимающем аппарате того или иного органа чувств. Тем самым устраняется самодовлеющий, можно сказать, метафизический характер закона Вебера-Фехнера и открывается путь к материалистическому обоснованию как его, так и других явлений восприятия ощущений.

Это направление исследований привело к дальнейшим важным выводам в теории зрения. Именно применение закона «всё или ничего» раздражения нервов, иначе, существование нулевого или максимального ответа нерва, приводит к существенным трудностям в отношении объяснения способности глаза воспринимать градации освещения в соответствии с законом Вебера-Фехнера: глаз не был бы способен к ощущениям различной субъективной яркости. Это затруднение отпадает по Лазареву, если учесть дискретность как воспринимающего аппарата сетчатки (палочки и колбочки, связанные с отдельными нервными

окончаниями), так и света (фотоны). При этом простыми статистическими рассуждениями, основанными на существовании фотонов, П. П. связал интенсивность освещения глаза с числом раздражённых нервных окончаний, тем самым положив начало квантово-статистической теории зрения.

Этот результат имеет выдающееся принципиальное значение. Интересно отметить, что позднее квантово-статистические представления были положены рядом авторов в основу теории фотографического процесса.

Дальнейшие приложения квантовых представлений в теории зрения не успели при жизни П. П. получить столь значительного развития, которого они, несомненно, заслуживают. Отметим, наконец, что приложения квантовых представлений к рубежным раздражениям глаза были даны уже не самим П. П., а С. И. Вавиловым, подвергшим экспериментальному изучению те флуктуации зрительного порога, которые основаны на малости числа квантов, необходимых для рубежного раздражения. Этим методом С. И. Вавиловым были измерены пороговые числа квантов, что представляет большой интерес для дальнейшего развития теории зрения.

Флуктуации зрительного порога, имеющие физиологическую природу, также были исследованы П. П., получившим весьма существенные данные, указывающие на их обусловленность процессами в центрах головного мозга.

Все эти результаты приводят к необходимости статистического подхода к понятиям абсолютной и контрастной чувствительности глаза, что, в свою очередь, выдвигает важность статистической формулировки в теоретической интерпретации закона Фехнера.

Ряд исследований П. П. этого же цикла посвящён теории фотометрических измерений и другим вопросам, имеющим большой прикладной интерес. И здесь, как и в других случаях, П. П. не было свойственно замыкаться в круг одних только теоретических вопросов. Наоборот, отзывчивость на запросы жизни и практики обусловила большое разнообразие в темах работ П. П. и его сотрудников. Так, ряд работ был посвящён научному обоснованию маскировки и выработке защитного цвета для частей Красной Армии — область, в которой П. П. являлся пионером. Закон Вебера-Фехнера был П. П. приложен к такому чисто техническому вопросу, как метод обнаружения дефектов стекла. Таких примеров можно было бы привести много.

Экспериментальное изучение кинетики адаптации глаза к темноте и свету, проведённое П. П. на обширном материале, привело не только к подтверждению и углублению теории, но и к выдвижению новых проблем.

Изучение адаптации позволило разделить изменения чувствительности, зависящие от физико-химических процессов на периферии, и изменения чувствительности центров головного мозга; детальное и широкое изучение изменений чувствительности центров головного

мозга под влиянием различных физических и физико-химических факторов составило последний цикл биофизических исследований П. П., оборвавшийся с его смертью.

Мы не можем, за недостатком места, даже перечислить все достигнутые здесь результаты. Остановимся только на нескольких, наиболее, с нашей точки зрения, важных и ярких.

Прежде всего П. П. доказана неутомляемость нервных центров при действии света или других раздражителей, что, несомненно, является фактом кардинального значения. Сравнительное изучение чувствительности центров у людей различного возраста показало, далее, что средняя чувствительность находится в закономерной функциональной зависимости от возраста; при этом возрастная кривая с изменением возраста поднимается от весьма малых значений, достигает примерно к 20 годам максимума и далее медленно спадает, асимптотически стремясь к нулю.

Таким образом, чувствительность центров головного мозга человека закономерно изменяется в течение его жизни, причём для разных людей индивидуальные возрастные кривые чувствительности близки друг к другу. Несомненно, что открытие этой закономерности, которой, по справедливости, следовало бы присвоить имя Лазарева, является одним из тех крупнейших открытий естествознания, которые представляют интерес не только для специалистов, но и для любого образованного человека.

Изучение чувствительности нервных центров имеет несомненно большой прикладной интерес. Действительно, П. П. и его сотрудниками были даны многочисленные примеры связи между различными заболеваниями и изменениями чувствительности центров. Таким образом, измерения чувствительности нервных центров, методика которых была подробно разработана П. П., могут служить для целей диагностики заболеваний. Далее оказалось, что чувствительность центров испытывает определённые вариации, следующие за приёмом лекарственных веществ; это даёт средство для объективного контроля за действием лекарств.

Таким образом, и здесь научные и прикладные вопросы тесно переплетаются.

Интерес П. П. к проблеме деятельности нервных центров и вообще высшей нервной деятельности не ограничивался только изучением их чувствительности.

Были подвергнуты также теоретическому рассмотрению явления взаимного влияния органов чувств, например, зрения и слуха, причины неутомляемости нервных центров, электрические явления в них; все эти явления были трактованы с точки зрения ионной теории возбуждения и тех или иных физико-химических процессов, сопутствующих возбуждению. Таким образом, работа П. П. представляет огромный интерес с точки зрения материалистического истолкования высшей нервной деятельности, пожалуй, главной цитадели всевозможных ви-

талистических теорий. Одним из замечательных выводов является следующий. Деятельность центров головного мозга сопровождается переменными электродвижущими силами, связанными, по П. П., с лежащими в основе этой деятельности периодическими химическими реакциями. Переменные электродвижущие силы должны посылать в пространство электромагнитные волны, могущие, быть может, улавливаться центрами другого субъекта. Таким образом, по Лазареву, существует принципиальная возможность передачи мыслей на расстоянии. Во избежание недоразумений следует подчеркнуть, как подчёркивал всегда и сам П. П., что это допущение носит только характер физической гипотезы и никоим образом не является доказанным экспериментально; эта гипотеза вызвала значительный интерес в кругах специалистов и служит в то же время ярким примером способности П. П. к смелым выводам, в сочетании с работой, носящей характер скрупулёзных и специальных исследований.

Биофизические исследования П. П. не ограничивались только теми, которые относились к перечисленным циклам работ; так, П. П. ряд работ посвятил вопросам миграции, размножения и выживания организмов, вопросам роста живых тканей и др. Однако эти работы были относительно немногочисленны.

В заключение я хотел бы остановиться на тех общих чертах творчества П. П., которые тесно связаны с его обликом учёного и хорошо знакомы всем его ученикам и сотрудникам.

П. П. обладал тем основным даром, необходимым каждому крупному учёному-исследователю, который состоит в умении ставить крупные проблемы и выбирать широкую актуальную и способную плодотворно развиваться область исследования. При этом П. П. всегда и своим личным примером и в беседах подчёркивал особую важность для нашей отечественной науки развивать свои собственные направления и области исследования, без чего наша наука не может сохранять должной самостоятельности и занимать подобающее место в мировой науке. Этому завету, который нам столь созвучен сейчас, П. П. неотступно следовал в течение всей своей деятельности, создав действительно новое и самостоятельное направление в биофизике, далеко опередившее науку за рубежом. Это дело жизни П. П. лучше всего характеризует его как истинного патриота своей Родины, столь горячо принимавшего к сердцу её интересы и её величие.

П. П. обладал исключительной работоспособностью и энергией, без которых была бы невозможна та кипучая научная, общественная и популяризаторская деятельность, которую он вёл. Особо следует отметить заслуги П. П. в деле выращивания многочисленных кадров исследователей и учёных. Следует при этом отметить также, что сотрудники и ученики П. П. всегда рано получали самостоятельность, что всегда давало наилучшие результаты.

Особое внимание П. П. уделял не столько «выучиванию» начинающих работников, сколько сообщению им общих советов и внуше-

нию им правильного духа и методики научного исследования. Не менее важную роль в росте молодых исследователей в институте и лабораториях П. П. играл его личный пример и тот научный темперамент, который увлекал и заражал других.

Та свобода, которую скоро получали у П. П. все способные работники, широта его научных взглядов и разнообразие собственных областей исследования привели к тому, что ученики П. П. работают ныне в самых разнообразных областях, что при узком или формальном взгляде могло бы помешать говорить об одной научной школе. К областям исследования его учеников принадлежат биофизика, оптика, фотохимия, молекулярная физика, геофизика, т. е. те же области, в которых работал и сам П. П. При этом многие ученики П. П. разрабатывают отделы этих дисциплин, не являющиеся, строго говоря, продолжением работ их учителя. Это по существу неизбежно при том характере взаимоотношений учителя и учеников, который П. П. считал правильным и при котором он приносил свои личные интересы как исследователя в жертву задаче формирования самостоятельных учёных.

Эта же последняя, крупнейшая задача была решена им блестяще. Несомненно, что учеников П. П., при всём разнообразии областей работы, объединяет тот дух исследования и те общие взгляды на науку и принципы научной работы, которые П. П. неустанно внушал.

В особенности П. П. всегда подчёркивал необходимость идейности в научной работе, как первого условия её плодотворности, предостерегая против тех работ, хотя бы проведённых на высоком техническом уровне, которые, будучи безыдейными, по существу являются и бесплодными. П. П., как никто, умел внушить веру в то, что при правильно найденной идее нет неразрешимых задач, как нет границ и для научного исследования.

Эти и другие мысли и заветы П. П. хорошо помнят его многочисленные ученики, которые всегда с благодарностью будут сознавать, как многим они обязаны своему учителю.