

В3

Индия

Boxoft Image To PDF Demo Purchase from
www.Boxoft.com to remove the watermark



В. В. ШУЛЕЙКИН

Петр Петрович

ЛАЗАРЕВ



1960

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

В. В. ШУЛЕЙКИН

*

Академик
Петр Петрович
ЛАЗАРЕВ

(1878 – 1942)

25

88 19214

БИБЛИОТЕКА
научного центра
биологических исследований
АН СССР в Пушкино

Издательство
Московского Университета

1960

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета

Редакционная коллегия:

Проф. С. Б. Бериштейн, проф. Д. Г. Виленский, проф. Г. Д. Вовченко (председатель и ответственный редактор), проф. Д. И. Гордеев (зам. председателя), проф. Н. К. Гудзий, проф. П. А. Зайончковский, проф. С. Ф. Кечекьян, кандидат наук К. П. Мельникова (секретарь), проф. Ф. Я. Полянский, проф. К. А. Рыбников, акад. С. Д. Сказкин, доц. А. Н. Соловьев



Академик П. П. Лазарев

«В каждой стране наука обычно развивается по-своему, идет своими излюбленными путями. Надо бережно хранить и широко культивировать те направления, которые стали национальным достоянием страны и привели к славным победам в науке. Посмотрите, как в маленькой Швеции пышно развернулись исследования полярных сияний, начатые Карлом Штёрмером. Пожалуй, никто в этой области физики не угонится за шведами, и правильно поступают шведы, устремившись в эту область науки о природе...», — так любил говорить Петр Петрович Лазарев своим многочисленным ученикам, когда после научных докладов или закрытия заседания коллоквиума надолго затягивались споры о правильных и неправильных путях молодежи, ищущей наиболее целесообразного применения своих знаний, своих сил на первых шагах в научной жизни.

Руководствуясь именно этим принципом, выбирал свой путь в науке сам Петр Петрович, выдающийся ученый нашей страны, отдавший все свое богатое дарование любимой Родине. Он зорко вглядывался в исторические дали и определил, какие особые свойства присущи были в прошлом русской науке, какие ведущие направления наметились в ней. Славным носителям лучших традиций в русской науке было свойственно становиться зачинателями новых направлений в науке, которые обычно лежат на рубежах между официально утвердившимися областями знания — между физикой и химией, физикой и географией и т. д. Вот высится вдалеке исполинская фигура Михаила Васильевича Ломоносова, родоначальника множества направлений в нау-

ке. Как бы перекликается с Ломоносовым гений Д. И. Менделеева. Ведь Дмитрий Иванович Менделеев не только создал учение о периодической системе химических элементов, тем самым навеки спаяв между собой химию с физикой, но и оставил богатое наследие в областях науки и техники, совсем далеких от химии и физики. Вот один из любимых учителей Петра Петровича Владимир Иванович Вернадский, столь же крепко связавший геологию с химией, химию с биологией, создавший современную геохимию и совсем новую отрасль естествознания — биогеохимию.

Наш гениальный соотечественник Иван Петрович Павлов уничтожил рубеж между психологией, считавшейся прежде отраслью чисто гуманитарных наук, и физиологией — наукой естественной. И. П. Павлов властно вторгся в заповедные области функций головного мозга, построил материалистические основы теории высшей нервной деятельности, опираясь на глубоко продуманные, точные и изящно поставленные опыты. Он одним из первых заметил и оценил дарование молодого исследователя, начавшего работать в сопредельной области, Петра Петровича Лазарева. Вот что писал Иван Петрович Павлов ему в письме от 8 октября 1921 г.: «Глубокоуважаемый Петр Петрович. Горячо ценю Ваше постоянное дружеское отношение ко мне и моей научной деятельности. С великим интересом слежу я за Вашими физико-физиологическими исследованиями, радуясь счастливому соединению в Вас физики и физиологии и вместе сознавая, что в силу ли условий моего первоначального образования, или по характеру моих способностей, мне не дано такой в высшей степени выгодной в научном отношении возможности. Всего хорошего.

Искренне преданный Вам И. Павлов»¹.

Интересно проследить, как создалась эта возможность у Петра Петровича Лазарева, как сложился его творческий облик в науке, какими путями пришел он к своим замечательным открытиям в области физики, био- и геофизики.

¹ Текст письма И. П. Павлова имеется в Трудах Архива АН СССР, АНИ, вып. 8, 1949. Цитирую по Собр. соч. П. П. Лазарева, т. 1, 1957, стр. 28.

Дед П. П. Лазарева Дмитрий Николаевич Лазарев, служивший в военном ведомстве, поселился в Москве с 1856 г. В Москве служил и отец Петра Петровича — Петр Дмитриевич, межевой инженер (геодезист). Среди густой зелени садов, окаймляющих переулки Красной Пресни, и сейчас стоит в Волковом переулке дом № 5, где 4 апреля 1878 г. у Петра Дмитриевича родился старший сын Петр.

Через семь лет семья Лазаревых переехала в служебную квартиру при Межевой канцелярии, на Покровском бульваре, а потому, когда Пете исполнилось десять лет, он поступил в четвертую Московскую гимназию на Покровке. Учился он с увлечением. В особенности увлекался физикой, математикой. Помимо школьных занятий много работал самостоятельно, изучая высшую математику, не входившую в программу гимназий, химию по Д. И. Менделееву, дополнительные разделы физики. Он выбрал профессию врача и уже в гимназии готовился к изучению физиологии, по окончании же гимназии осенью 1896 г. поступил на медицинский факультет Московского университета.

С этого года Петр Петрович Лазарев был постоянно связан с Московским университетом.

Сдавая все полукурсовые экзамены за медицинский факультет с отличными отметками, П. П. Лазарев все же чувствовал большую склонность к точным наукам. Так, на третьем курсе медицинского факультета, слушая курс лекций В. И. Вернадского по минералогии, он совершенно самостоятельно провел интересное исследование в области геометрии многогранников и вывел теорему, которую сформулировал следующим образом: «Если многогранник обладает тремя плоскостями симметрии, пересекающимися в центре симметрии, то сумма расстояний от этой точки до вершин многогранника — минимальна (она меньше, чем сумма расстояний от любой другой точки до вершин многогранника). Если многогранник обладает двумя плоскостями симметрии, пересекающимися по оси симметрии, то точка минимальных расстояний лежит на оси симметрии. Наконец, если многогранник обладает одной плоскостью симметрии, то точка минимальных расстояний лежит

в плоскости симметрии». Это свое фактически первое научное исследование П. П. Лазарев опубликовал только через 38 лет, посвятив академику В. И. Вернадскому, в связи с пятидесятилетием его научной и педагогической деятельности.

Поступая на медицинский факультет, П. П. Лазарев наметил себе целью соединить физиологию с физикой, а потому с первого же курса университета он посещал все лекции по физике, которые читались на физико-математическом факультете (курс физики на медицинском факультете всегда был весьма кратким). Курс механики, оптики, акустики читал в те годы профессор Николай Алексеевич Умов, разделы теплота, электричество и магнетизм — молодой приват-доцент Петр Николаевич Лебедев. П. П. Лазарев вспоминал впоследствии, как много полезного вынес он из лекций этих выдающихся физиков, совсем не похожих друг на друга по характеру изложения курса и одинаково любимых студентами.

Н. А. Умов обладал настоящим ораторским талантом, громадным опытом лектора; он насыщал свои лекции обильным математическим материалом и уделял особое внимание теоретическим вопросам физики. П. Н. Лебедев, совсем недавно начавший преподавательскую деятельность, был склонен перегружать свои лекции экспериментальным материалом, подчас совсем не останавливаясь на тех сторонах явлений, которые требовали применения высшей математики. Как вспоминает П. П. Лазарев, в аудитории, в перерыве между лекциями, среди студентов постоянно возникали споры о том, кто из физиков, Лебедев или Умов, выше как ученый и как преподаватель. Хотя никто еще путем не знал, что сделал в науке Умов и чем знаменит Лебедев, все же споры были жаркие и, как легко понять, не приводили ни к какому результату. В наше время всем известны глубокие идеи и выводы Н. А. Умова в области теоретической физики и столь же хорошо известны блестящие опыты П. Н. Лебедева, доставившие ему славу во всем мире.

Но не только благодаря необычайному таланту П. Н. Лебедева как экспериментатора сплотились вокруг него даровитые студенты университета и физики, уже окончившие высшую школу; их всех привлекали

глубоко содержательные научные собрания — коллоквиумы, организованные Петром Николаевичем и ставшие настоящим центром современной физики. П. П. Лазарев писал, что лебедевские коллоквиумы явились для него настоящим откровением. Помимо необъятных знаний П. Н. Лебедев обладал исключительным умением найти подход к начинающему ученому, терпеливо выслушивал высказывания молодых физиков, иногда отстаивавших заведомо неправильную точку зрения.

Знакомство П. П. Лазарева с П. Н. Лебедевым, начавшееся еще в первый год студенчества, впоследствии перешло в крепкую искреннюю дружбу. По окончании медицинского факультета Петр Петрович Лазарев стал постоянным участником лебедевских коллоквиумов. Получив в 1901 году степень «лекаря с отличием», П. П. Лазарев не ограничился приобретенными знаниями: осенью того же года он поступил на первый курс физико-математического факультета по отделению математических наук. В течение двух лет он самостоятельно прошел всю программу факультета и сдал экстерном все государственные экзамены физико-математической испытательной комиссии Московского университета.

3

В 1903 г. П. П. Лазарев сдал экзамены по медицине, которые было положено сдавать перед защитой диссертации на степень доктора медицины, и был избран на должность ассистента Клиники болезней уха, горла, носа при Московском университете.

Петр Петрович всегда тепло вспоминал о первых годах работы в отлично оборудованном исследовательском кабинете, в котором имелись разнообразные физические приборы, в частности акустические приборы Гельмгольца, Кенига: резонаторы, сирены, звукоанализаторы. Некоторые из этих приборов были изготовлены в лабораториях Гельмгольца. Здесь, в Клинике, П. П. Лазарев выполнил первые экспериментальные работы: «Звучание манометрического пламени» (1903 г.), «О взаимодействии влияния органов зрения и слуха» (1905 г.). Уже в этих первых работах выявились творческие устремления автора, манера его иссле-

дований, почти всегда охватывавших несколько сопредельных областей науки.

Звучание пламени было открыто еще в восемнадцатом веке и привлекало внимание как физиков, так и физиологов. Петру Петровичу удалось выяснить основные причины, порождающие акустические колебания, усиливающие эти колебания или прекращающие звучание. Он добился по примеру некоторых предшественников удачного воспроизведения гласных звуков с помощью пламени. Звучащее пламя хорошо воспроизводило звуки У, О, А, И. Удалось даже заставить пламя воспроизводить согласную Р, пользуясь тем, что ее можно долго тянуть. Наблюдая пламя во вращающемся зеркале, можно было анализировать характер звучания: язычок пламени, удлиняясь и укорачиваясь в различных фазах колебаний, как бы вычерчивал своей границей светящуюся кривую. Это был своего рода предшественник наших современных катодных осциллографов.

Взаимодействие органов чувств при восприятии различных раздражений было открыто сербским физиологом Урбанчиком, но этот автор касался лишь качественной стороны общей картины явлений. П. П. Лазарев количественно изучил взаимное влияние органов зрения и слуха.

Сам опыт ставился следующим образом. Источником звука служил телефон, обмотка которого питалась переменным током звуковой частоты, проходящим через реостат. К уху испытуемого подводились два звука одинаковой высоты. Сила одного была постоянна, а сила, другого можно было менять, воздействуя на реостат в цепи телефона. Эти два звука подводились к уху испытуемого попеременно. Обнаружилось, что если поле зрения было светлым, то для уравнивания со звуком-эталоном приходилось давать более слабый звук. Если поле зрения было темным, приходилось усиливать звук, чтобы уравнивать его с эталоном.

Все 18 человек, с которыми проводился опыт, отметили кажущееся усиление звука при наличии светового раздражения.

Любопытно, что то же явление наблюдалось при костной проводимости звука. При закрытых звуковых проходах на темя испытуемого ставился звучащий камертон. Поле зрения то затемнялось, то освещалось. Те

же явления наблюдались даже при повреждении барабанной перепонки у испытуемого. Таким образом было отвергнуто предположение о роли рефлекторных движений мышц, лежащих вокруг слуховых проходов: стало совершенно ясно, что раздражение зрительного нерва влияет на нерв слуховой, причем сила этого влияния была охарактеризована числом.

Результаты экспериментального исследования были теоретически обработаны. Величина слухового ощущения ищется как некоторая функция силы звука, воспринимаемого ухом, и силы света, воспринимаемого глазом. Для ощущений простых, даваемых в обычных условиях одним из органов чувств, давно установлен так называемый закон Вебера—Фехнера: при увеличении раздражения в четыре, восемь, шестнадцать и тридцать два раза ощущение усиливается в два, три, четыре и пять раз. Иными словами, сила ощущения возрастает пропорционально логарифму силы раздражения. В сложном случае, исследованном П. П. Лазаревым, изменение ощущения зависит от изменения раздражения двух органов чувств. Применяв к ним обычный метод математического анализа, Лазарев вывел обобщенный закон, связывающий сложное раздражение со сложным ощущением: оказалось, что сила ощущения в данном случае пропорциональна логарифму произведения силы звука, возведенной в некоторую определенную степень, на силу света, возведенную в какую-то другую степень.

Весьма показательно, что уже в этих работах двадцатичетырехлетнего естествоиспытателя проявилась характерная для всей научной деятельности П. П. Лазарева черта — стремление дать теоретическое истолкование результатов эксперимента и постановка опытов, как бы нанизанных на ведущий теоретический стержень.

В 1903 г. медицинский факультет университета командировал П. П. Лазарева за границу для ознакомления с постановкой научно-исследовательских работ в западных университетах. В связи с этой поездкой, он отмечал в своих воспоминаниях, что медицинский факультет Московского университета «стоял настолько высоко, что... никакого особого впечатления заграничные университеты на меня не произвели. Я видел там в сущности то же, что было у нас в Москве, хотя мне

и пришлось встретить за границей преподавателей огромного опыта и огромного таланта».

Совсем иное впечатление производили на молодого исследователя еженедельные коллоквиумы в лаборатории П. Н. Лебедева, которые он стал постоянно посещать, возвратившись через год из-за границы. Круг посетителей коллоквиума к тому времени значительно расширился. Здесь постоянно присутствовали не только физики, но и видные представители смежных областей науки — математики Б. К. Млодзеевский и Н. Н. Лузин, физиолог и ботаник К. А. Тимирязев и др. В этом кругу выдающихся деятелей русской науки Петр Петрович Лазарев понял, что его научные интересы сосредоточены прежде всего в области физики и что задуманные им широкие исследования в области физиологии, вернее, в области биологической физики могут иметь успех только на основе хорошей научной подготовки в области физики. А такую подготовку, разумеется, лучше всего можно было получить тогда в университетской лаборатории П. Н. Лебедева.

От всех своих практикантов П. Н. Лебедев требовал практического знакомства с конструированием и постройкой аппаратуры, необходимой для опытов. Для этого они основательно обучались в «университете Громова» — так называли университетскую мастерскую, руководимую П. И. Грозовым. Практиканты должны были уметь делать сами несложные приборы. Впоследствии было введено требование сдать испытания по стеклодувному делу, также весьма важному для всякого экспериментатора.

В 1905 г. П. П. Лазарев вступил в число практикантов лебедевской лаборатории в Московском университете. В 1907 г. он уже сдал весьма серьезные магистерские экзамены по физике и математике, прочитал пробные лекции по физике и был утвержден приват-доцентом Московского университета по физике.

4

В наш век бесполезно искать грань между физикой и химией. Не только химическая физика, развившаяся рядом с физической химией, как бы «заретушировала» пограничную линию, но и сам предмет, прико-

вавший ныне к себе внимание физиков и химиков, — атом — один, общий для обеих наук.

Иное положение было в науке, когда П. П. Лаза-рев начал свои исследования в лебедевской лаборато-рии. Это был период торжества теории электромагнит-ного поля, построенной Максвеллом на основе гени-альных опытов Фарадея. В Германии Г. Герц воспроиз-вел в лаборатории электромагнитные волны, которые, по теории Максвелла, должны возникать в переменном магнитном поле, в частности, в поле, пронизанном по-токами света. В России А. С. Попов впервые выпустил на волю электромагнитные волны и изобрел метод пере-дачи электромагнитных сигналов на большие рассто-яния, изобрел радиотелеграф, создал важнейший этап в технике, во всей жизни и культуре человека.

Не приходится удивляться тому, что с появлением талантливо написанной книги П. Друдэ «Физика эфи-ра» эту физику эфира многие выдающиеся ученые ста-ли считать чуть ли не единственной областью, достойной серьезного внимания физика. Одним из крайних привер-женцев такой точки зрения был учитель П. Н. Лебе-дева по Страсбургскому университету А. Кундт, счи-тавший, что только «в эфире» физик может достаточ-но чисто и надежно поставить опыты; что же касается таких разделов науки, как молекулярная физика, — эта настоящая «физика вещества», — то здесь физик как бы попадает во власть химии, науки «весьма ненадежной», по словам Кундта, не позволяющей ручаться за чистоту результатов экспериментов. Правда, эта точка зрения не помешала А. Кундту выполнить некоторые работы именно в области, тесно связанной с молекулярной фи-зикой — в области распространения звука в газах.

Исследования П. Н. Лебедева, прославившие его как экспериментатора-виртуоза, относились в основном к электромагнитной теории света. Но как мудрый руко-водитель молодых начинающих физиков Петр Никола-евич смотрел далеко вперед, — видел, какие просторы открывает перед исследователями молекулярная физи-ка, кинетическая теория вещества. И Лебедев горячо поддержал нового молодого исследователя П. П. Лаза-рева, пришедшего в его лабораторию с желанием по-знать физику материи, включая физику живого ве-щества,

В эту пору по предложению П. П. Лебедева, А. Б. Миллеровский пропел измерение скорости звука частоты от 10 до 33 тысяч герц и гигах; А. К. Тимирязев исследовал внутреннее трение в разреженной газовой среде, Н. П. Неклюдов дисперсию звуковых волн. П. П. Лазареву Петр Николаевич также предложил тему для работы в области кинетической теории газов, — замечательной, кристально чистой и ясной теории, охватывающей обширную область физических и химических явлений. В физике эта теория подсказала исследователям постановку важных опытов по определению удельных теплот газов при постоянном объеме и при постоянном давлении и доказательство независимости коэффициента внутреннего трения и теплопроводности от давления; она подсказала признание «атомного» строения электрических зарядов и подвела к созданию электронной теории строения атома; наконец, она породила учение о «прерывной» структуре лучеиспускания — квантовую теорию М. Планка.

Долгое время оставался недостаточно освещенным вопрос о передаче тепла от твердой стенки сосуда молекулам газа, находящимся в этом сосуде. В середине прошлого века французские физики Провостэ и Дезень тщательно воспроизвели классические опыты Дюлонга и Пти, чтобы исключить влияние конвекции на теплопередачу при некоторых недостаточно малых значениях давления газа в сосуде. Ими было обнаружено, что нагретый резервуар термометра, помещенный в центр большого концентрического латунного шара с водяным охлаждением, вначале теряет тепло тем медленней, чем больше уменьшают давление газа внутри шара. Затем, на известном этапе понижения давления газа, после того, как перестает сказываться конвекционный перенос тепла, скорость охлаждения остается постоянной. Вместе с тем, выяснилось, что для каждого сосуда существует свой определенный интервал давлений, в пределах которого разрежение не влияет на охлаждение термометра.

Кинетическая теория газов позволила объяснить постоянство, на известных этапах понижения давления газа, коэффициента теплопроводности и связанного с ним коэффициента внутреннего трения: оно должно устанавливаться тогда, когда средний свободный про-

бег молекул (от одного столкновения с другими молекулами до следующего очередного) мал по сравнению с размерами сосуда. Напротив, при чрезвычайно высоких разрежениях можно было ожидать отклонения от теории, ввиду того что тут средний свободный пробег молекул должен превышать размеры сосуда. Опыты английских физиков Крукса и Бреша и польского физика М. Смолуховского обнаружили, что этот последний этап уменьшения давления лежит у предела, доступного ртутным насосам, создающим разрежение газа. При этом обнаружилось уменьшение теплопередачи при уменьшении давления газа в сосуде.

Столь же убедительные результаты были получены различными авторами в несколько иной обстановке: при поддержании постоянной разности температур между стенками, внутри которых находился газ, откачиваемый насосом. Хорошо соблюдались условия, выведенные М. Смолуховским теоретически: градиент температуры всегда был пропорционален разности температур между газом и твердым телом. При этом коэффициент пропорциональности всегда равнялся произведению некоторой постоянной на среднюю длину свободного пути молекул при существующем давлении в пространстве между стенками. В свою очередь, постоянная, на которую следует умножать длину пробега молекул, на основании опытов оказалась неодинаковой для различных газов и для различных материалов стенок.

Все особенности явлений, наблюдавшихся при опытах, М. Смолуховский мастерски объяснил, исходя из кинетической теории газов. Он показал, что на границе твердой стенки и газа может появиться скачок температуры, если допустить, что средняя длина свободного пути молекул вблизи стенки уменьшается и что молекулы газа при столкновении с молекулами твердой стенки не вполне принимают температуру этой стенки. Теория показала, что последние условия должны существовать при большом различии между массой молекул газа и массой молекул вещества, из которого сделана стенка; при этом молекулы газа должны обладать более низкой температурой, чем температура молекул стенки, с которыми они сталкиваются.

Сам механизм столкновений, по Смолуховскому, описывается просто: при соударении со стенкой только

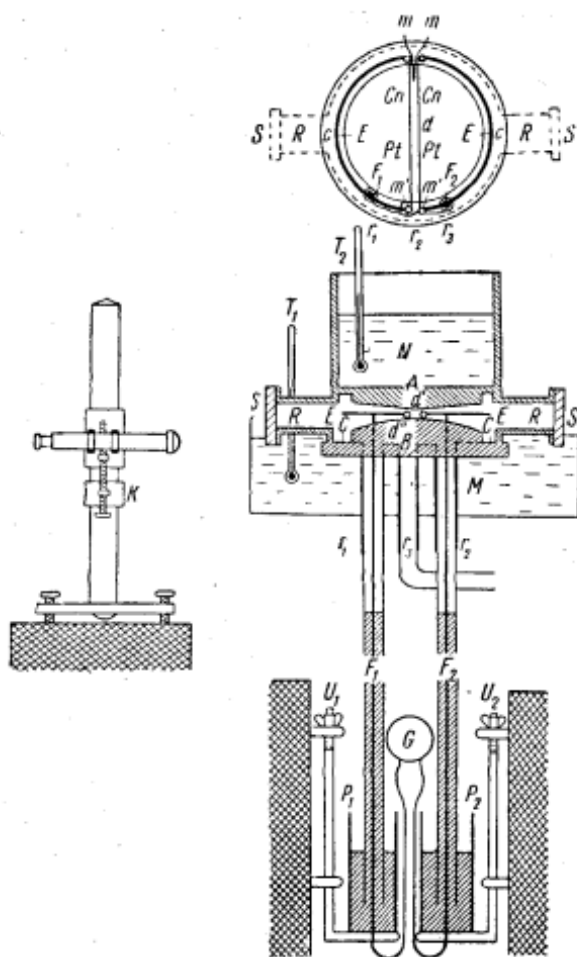


Рис. 1. Установка для исследования скачка температур

часть молекул правильно отражается по закону упругого удара, остальные же молекулы подвергаются беспорядочному рассеянию.

Теоретические формулы М. Смолуховского хорошо согласовались с опытами по теплопроводности газов в сосудах при самых низких давлениях, доступных в ту пору. Поэтому было заманчиво непосредственно найти скачок температуры, который должен существовать по теории Смолуховского в пространстве между стенками экспериментального сосуда. Это и было сделано Петром Петровичем Лазаревым. На рис. 1 воспроизведена схема остроумной установки, придуманной им для опытов с различными газами при давлениях, изменяющихся в весьма широких пределах.

Распределение температур газа исследовалось в сосуде, который состоял из двух частей A и B , выполненных из латуни. Они склеивались между собой сургучом по линии CC . Верхняя часть сосуда AB представляла собой низкую цилиндрическую коробку, в которую по бокам были впаяны трубы R , перекрытые зеркальными плоскими стеклами S .

Исследуемая часть внутреннего пространства находилась между выступом d' верхней части и выступом d'' нижней части сосуда. Поверхности этих выступов были заточены со слабым уклоном, чтобы удобно было вести наблюдения сквозь стекла S с помощью трубы катетометра K . Эти поверхности были тщательно отшлифованы и пикелированы.

Диаметр выступов d' , d'' был 150 мм, а расстояние между их поверхностями — 9 мм. Температура поверхностей выступов d' и d'' поддерживалась постоянной посредством водяных ванн M и N . Вода в M охлаждалась посредством змеевика, через который непрерывно пропусклась холодная вода. Вода в ванне N подогревалась электрической лампочкой, погруженной в ванну N . Таким образом можно было устанавливать постоянную разность температур поверхностей d' и d'' , регулируя силу тока в лампочке. При опытах эта разность температур могла достигать $1-20^\circ$. Равномерность нагрева в ванне N достигалась посредством перемешивания воды пропусканием струй воздуха.

Температура воды в ваннах M и N измерялась термометрами T_1 и T_2 .

В сосуд M снизу входили три трубки r_1, r_2, r_3 из которых средняя r_3 вела к воздушному насосу, а крайние r_1, r_2 , длиной 90 см, опускались в сосуды с ртутью P_1, P_2 . Таким образом создавался барометрический затвор при откачивании воздуха из сосуда AB . Сквозь днища сосудов P_1, P_2 , сквозь столбики ртути и сквозь трубки r_1, r_2 проходили две толстые железные проволоки F_1, F_2 , которые можно было перемещать в вертикальном направлении вместе с сосудами P_1, P_2 , воздействуя на микрометрические винты V_1, V_2 . Верхние концы железных стержней F_1, F_2 входили в исследуемое пространство сосуда AB и несли на себе латунные рамки EE с укрепленными на них термоэлементами из платины и константана (толщиной 0,05 и 0,02 мм). По концам рамок E находились изоляторы со впаянными платиновыми проволочками $tt, t't'$, к которым припаивались термоэлементы на расстоянии 3—5 мм один от другого. Концы проволок от термоэлементов выводились сквозь отверстия в изоляторах и припаивались к железным стержням F_1, F_2 , последние же присоединялись к гальванометру G . Положение термоэлементов внутри исследуемого пространства между выступами d' и d'' определялось при помощи катетометра K .

Через остроумно сконструированный кран с ртутным затвором в пространство AB вводился предварительно очищенный исследуемый газ.

Опыты были проведены с тремя газами: воздухом, углекислотой и водородом. Тонкие измерения температур позволили обнаружить температурный скачок около стенок и изучить изменения этого скачка при различных условиях. Абсолютные величины хорошо согласовались с теоретическими вычислениями М. Смолуховского.

На основании опытов П. П. Лазарева установлено, что при передаче тепла от стенки к стенке через газовую среду близ самих стенок образуется слой, в пределах которого коэффициент теплопроводности постоянен. Такой слой, простирающийся примерно на длину среднего свободного пробега молекул, является слоем скачка температур. Различные авторы обнаружили зависимость этого явления от вещества, из которого состоят стенки. Для воздуха это еще не так существенно, но для углекислоты и водорода влияние веще-

ства стенок сказывается сильно, и П. П. Лазарев относит это всецело за счет адсорбции газов стенками сосуда, отмечая, что еще более ярких эффектов следует ожидать для особо сильно адсорбируемых газов, например для аммиака.

Работа «О скачке температуры при теплопроводности на границе твердого тела и газа» была издана Московским университетом в 1910 г., а в 1911 г. П. П. Лазарев защитил ее как диссертацию на степень магистра.

1911 г. принес большие беды русской науке: черносотенный министр Кассо разгромил Московский университет, обрушившись на прогрессивных представителей профессуры и на студенчество. Многие талантливые профессора и приват-доценты в знак протеста покинули университет. Вместе с другими ушли из Московского университета Петр Николаевич Лебедев и Петр Петрович Лазарев.

У них не стало лаборатории. «Если другие потеряли многое, то они потеряли все», — так можно было бы сказать о П. Н. Лебедеве и П. П. Лазареве, распространяя на обоих то, что пишет в своих воспоминаниях о Лебедеве Петр Петрович. Поступило приглашение из Петербурга от управляющего Главной палатой мер и весов Н. Е. Егорова и академика Д. П. Коновалова: П. Н. Лебедеву и П. П. Лазареву предлагали перенести свои исследования в Палату. Пришло письмо из Швеции от директора Нобелевского института С. Аррениуса с приглашением переехать в Швецию и работать в Нобелевском институте.

Но учитель и ученик не захотели расстаться с Москвой. На помощь им пришли Общество содействия естественным наукам и технике имени Х. С. Леденцова и Городской университет имени А. Л. Шанявского, организованный научной общественностью Москвы. В Мертвом переулке на Пречистенке (ныне переулок Островского на улице Кропоткина) П. Н. Лебедеву была предоставлена квартира и при ней оборудована небольшая лаборатория. Страдая жестокой болезнью сердца, обострившейся после ухода из университета, Лебедев лишь на короткий срок уехал лечиться за границу, а в это время П. П. Лазарев закончил организацию лаборатории в доме № 20 по Мертвому пере-

улку и известил об этом П. Н. Лебедева. В ответ на это Петр Николаевич писал: «Через несколько дней я буду в Москве и буду от души рад лично убедиться, что мы вместе с Вами будем делать живое дело в Мертвом переулке» (Из письма П. Н. Лебедева от 16 августа 1911 г. Цитируется по «Очеркам истории русской науки» П. П. Лазарева. Изд-во АН СССР, М., 1950, стр. 166).

Здесь, в маленькой новой лаборатории П. Н. Лебедев и его многочисленные ученики продолжали прерванные исследования. Но Петру Николаевичу становилось все хуже и хуже. Он был уже не в состоянии руководить исследованиями всех работников лаборатории и передал руководство большинством работ Лазареву.

Вскоре болезнь приняла угрожающий характер. П. Н. Лебедев перестал выходить из дома и из лаборатории: на морозе мгновенно наступали припадки грудной жабы. Лабораторная работа быстро утомляла его и он был вынужден прерывать опыты.

1 марта 1912 года Петр Николаевич Лебедев скончался.

Незавершенными остались опыты над вращающимися телами, поставленные П. Н. Лебедевым с целью добиться намагничения при быстром вращении. Незавершенной осталась цепь исследований над распространением электромагнитных волн, связанная с гениальными опытами Лебедева по измерению давления света.

Осиротела дружная семья физиков, сплотившаяся вокруг Лебедева. Продолжателем дела Петра Николаевича Лебедева в науке и в руководстве работами его учеников стал Петр Петрович Лазарев.

5

К этому времени собственные исследования П. П. Лазарева приобрели широкий диапазон не только в области физики (он только что закончил работу по кинетической теории вещества), но и в фотохимии, и в биологической физике. Еще в 1905 г. он начал исследования, продиктованные его основными устремлениями в науке: ему хотелось подойти к теории зрения со стороны физики и фотохимии.

Первые фотохимические исследования были произведены швейцарским физико-химиком Сенебье в конце

XVIII в. Их продолжил и значительно усовершенствовал в начале XIX в. литовский физико-химик Т. Гротгус. В работах обоих авторов развита основная идея, получившая подтверждение в опытах Бунзена и Роско: все спектральные лучи способны вызывать химические реакции, но течение реакции зависит от энергии, поглощенной в исследуемом веществе. Среди работ в этой области в конце XIX в. особо выделяются опыты К. А. Тимирязева, который изучал усвоение углекислоты растениями под действием света. К. А. Тимирязев первый ясно сформулировал представление о внутреннем механизме реакции при фотохимическом процессе.

Усвоение углерода в листьях растений — эндотермический процесс, то есть процесс, требующий подведения энергии для его осуществления. Источник этой энергии — солнечные лучи.

«Приступая к изучению этого явления, — пишет Тимирязев, — прежде всего предстоит решить вопрос, какие лучи солнечного спектра действуют наиболее энергично. Естественней всего было предположить, что эти явления будут зависеть от энергии луча, ...измеряемой его тепловым эффектом, подобно тому, как диссоциация угольного ангидрида происходит энергичней при высокой температуре, чем при низкой»¹.

Но, как показал вскоре после Тимирязева Нернст, кроме реакции, идущей на свету, в веществе протекают темновые реакции в обратном направлении. Тем самым осложняется вычисление скорости реакции. Развивая идеи Тимирязева и закон действия света, найденный Вант-Гоффом, Нернст заключает, что скорость фотохимической реакции должна выражаться разностью двух членов: первый из них пропорционален яркости освещения и произведению концентраций веществ, входящих в реакцию на свету, причем эти концентрации возводятся в степени, зависящие от числа молекул, участвующих в реакции; второй член пропорционален произведению концентраций веществ, участвующих в обратной, темновой реакции, причем эти концентрации тоже воз-

¹ К. А. Тимирязев. Об усвоении света растениями. СПб., 1875; см. также ЖРФХО, часть химическая, 16, 406, 1889; 22, 306, 1890. Цитируется по работе П. П. Лазарева «Выцветание красок и пигментов в видимом спектре». Собр. соч., т. II. Изд-во АН СССР, М., 1950, стр. 402.

ведены в степени, зависящие от соответствующего количества молекул, реагирующих между собой.

Как частный случай, из формулы Нернста вытекает закон Бунзена—Роско, найденный при отсутствии обратной темновой реакции. Но все перечисленные авторы производили опыты в весьма сложных условиях, не гарантировавших полную чистоту результатов, не гарантировавших отсутствие вторичных явлений, которые могли налагаться на явления исследуемые и искажать ход основных процессов.

В частности, совсем недостаточное внимание обращалось экспериментаторами на однородность светового потока в спектральном отношении и на точные спектральные характеристики исследуемых веществ до и после воздействия света.

В 1911 г. в «Известиях Высшего Московского технического училища» был напечатан цикл исследований П. П. Лазарева «Выцветание красок и пигментов в видимом спектре. Опыт изучения основных законов химического действия света». Работа посвящалась любимому учителю и другу Петру Николаевичу Лебедеву. В 1912 г. через несколько месяцев после кончины Петра Николаевича, П. П. Лазарев защитил ее как докторскую диссертацию на Ученом совете Варшавского университета, поскольку в Московском университете это было невозможно. В Варшаву Петра Петровича пригласил профессор А. Р. Колли, заведовавший там кафедрой физики.

П. П. Лазарев принял в этой работе за основу закон фотохимии, найденный Вант-Гоффом: скорость реакции пропорциональна количеству поглощенной световой энергии, и нашел его точное аналитическое выражение. Изменение концентрации исследуемого вещества в данной точке происходит со скоростью, пропорциональной энергии падающего света, умноженной на некоторую функцию от произведения самой концентрации на коэффициент поглощения света в веществе. Если коэффициент поглощения равен нулю, то и функция обращается в нуль: фотохимическая реакция отсутствует. Решающую роль играет коэффициент пропорциональности, стоящий в формуле перед значением энергии падающего света; этот коэффициент всецело зависит от спектрального состава падающих лучей. Предшественники П. П. Лазарева, проводившие опыты с белым светом дуговой лам-

пы, не могли выявить действие отдельных световых волн той или иной длины.

Поэтому Лазарев поставил перед собой задачу подвергнуть закон Вант-Гоффа строгой проверке в однородных лучах, по возможности в более разнообразных условиях. В качестве исследуемых веществ он выбрал краски, так как они наиболее определенным образом и притом даже в малой концентрации значительно поглощают свет и допускают применение точных оптических методов для определения изменений их концентрации. Опыты проводились с теми красками, химический состав которых хорошо изучен и которые допускают надежную очистку посредством перекристаллизации. После испытания около ста различных красок многие из них были признаны непригодными для точных исследований, так как давали более или менее резко окрашенные продукты фотохимического разложения. Были отобраны лишь те краски, которые давали при разложении совершенно бесцветные продукты и тем самым позволяли строго следить за ходом реакции, исследуя спектральные характеристики вещества.

В основной серии опытов все краски наносились либо на стекло как примесь к коллодию, либо на слой коллодия, предварительно нанесенного на стеклянную пластинку.

Такая пластинка вносилась в остроумно составленную оптическую систему, изображенную схематически на рис. 2. Исследуемая пластинка с окрашенной коллодионной пленкой *C* помещалась на выходе спектроскопа *B*, сквозь который проходил свет от штифта Нернста *N*¹. Призма прямого зрения *P* разлагала световой поток на спектральные составляющие и каждая часть спектра проектировалась постоянно на один и тот же участок исследуемой пленки, покрывающей стекло *C*.

На расстоянии 1—2 мм позади стекла *C* находился коллиматор спектрофотометра Кениг-Мартенса *K*. Посредством микрометрического винта *F* можно было перемещать конец *E* рычага *EE*, поворачивая при этом спектроскоп *B* вокруг горизонтальной оси. Тем самым достигалась возможность исследования спектра света, проходящего через стекло *C* в различных участках, применительно к различным длинам волн.

¹ Стерженек из полупроводящего вещества, делающегося хорошим проводником при нагревании.

Для точного суждения о длине световой волны, соответствующей тому или иному участку, служил микрометр T с барабаном, имеющийся у каждого спектрофотометра. Предварительно, посредством градуировки прибора, определялось, какое деление микрометра T соответствует той или иной длине световых волн. Таким образом можно было фотометрически исследовать поведение любого участка пленки, освещенного всегда в пределах определенной узкой спектральной полосы, по прошествии того или иного срока воздействия радиации.

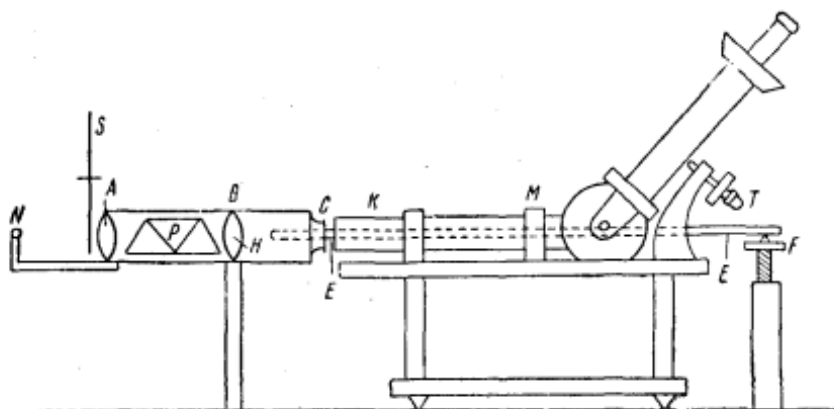


Рис. 2. Установка для исследования выцветания красок

При этом, для сравнения, как и обычно, служил свет того же источника, проходящий мимо пленки (сквозь совершенно прозрачное белое стекло) и попадающий во вторую коллиматорную щель спектрофотометра K .

Чтобы во время фотометрирования пленки заметно не выцветали, свет ослаблялся в десятки раз посредством вращающегося диска S с вырезом в виде сектора. Совершенно очевидно, что в линзу A при этом попадала лишь часть возможного светового потока, соответствующая доле площади вырезанного сектора от всей площади кольцевой полосы диска S , движущейся перед линзой A .

Как известно, спектрофотометр всегда дает значение относительной энергии методом сравнения двух освещенных частей поля. Абсолютная энергия определялась в различных областях видимого спектра посредством термоэлемента Рубенса, присоединенного к чувствительному гальванометру. Таким образом было установ-

лено, что на исследуемую пленку падает энергия $2,08 \cdot 10^{-4}$ кал/см²·сек в области около $\lambda = 580$ мμ и энергия $12,8 \cdot 10^{-4}$ кал/см²·сек — в области около $\lambda = 648$ мμ.

Описанная установка позволяла совершенно точно решать две задачи: а) определять энергию света в той или иной спектральной полосе, вызывающую разложение краски; б) спектрофотометрически определять количество разложившегося вещества. Полученные результаты П. П. Лазарев формулирует следующим образом: «В полосе поглощения, если она имеет только один горб, количество разложившегося вещества, в пределах погрешностей наблюдений, пропорционально поглощенной энергии и не зависит от длины волны падающих лучей». При этом яркость света изменялась в весьма широких пределах и не оказывала никакого действия на количество разложившегося вещества, если время освещения было обратно пропорционально этой яркости (произведение яркости света на время освещения поддерживалось постоянным).

Интересно, что после опубликования части экспериментальных результатов П. П. Лазаревым другие авторы подтвердили предложенную им теоретическую формулу совершенно иными, независимыми методами. Так, Гольдман обнаружил, что при освещении красок их молекулы, разрушаясь, выделяют электроны, причем количество выделившихся электронов, а значит и количество разложившихся молекул, оказалось пропорциональным полной энергии поглощенного света. Ученник А. Г. Столетова, А. Р. Колли, один из постоянных участников лебедевских коллоквиумов, показал, что на смесь бензола и толуола оказывают химическое действие электромагнитные волны длиной 30 см, изменяя диэлектрическую постоянную вещества. Химически активными могут быть и более длинные электромагнитные волны, вызывавшие в некоторых опытах химические превращения сложных органических веществ. Хотя к тому времени подобные опыты носили преимущественно качественный характер и количественная сторона явлений еще не была уточнена, П. П. Лазарев высказал предположение о применимости основного закона фотохимии к электромагнитным волнам, чрезвычайно далеким по своему диапазону от волн света.

Найдя точную формулу для основного закона фотохимии и проверив ее на многочисленных опытах с различными чистыми красками, П. П. Лазарев по-новому проанализировал результаты опытов иностранных авторов над фотохимическими явлениями в веществе, представляющем громадный интерес для биологической физики: в зрительном пурпуре, находящемся в палочках на сетчатке глаза.

Зрительный пурпур — это розовый пигмент, который впервые был извлечен из сетчатки в конце прошлого века и оказался фотохимически активным. Его выцветание исследовали и в вытяжках, и непосредственно на сетчатке глаз животных. В частности, немецкий физиолог Тренделенбург определял, в продолжение какого промежутка времени этот пигмент выцветает до определенной степени (устанавливаемой фотометрически) при различных значениях яркости света. Обнаружилось, что обратная величина такого промежутка времени пропорциональна яркости света. Опыты проводились в различных частях видимого спектра от $\lambda = 455$ м μ до $\lambda = 589$ м μ .

Тот же автор обнаружил, что «обратная величина характеристического промежутка времени» (Тренделенбург называл ее «скоростью выцветания») в той или иной области спектра пропорциональна чувствительности сетчатки для данного света. Тем самым устанавливалась связь между так называемым периферическим зрением (или иначе — «бесцветным» зрением) и выцветанием зрительного пурпура — светочувствительного вещества, находящегося внутри элементов сетчатки, работающих при периферическом зрении. Как известно, такими элементами являются именно палочки. Для построения теории зрения чрезвычайно важно было отметить, что разложение красок сопровождается выделением электронов. Об этом говорилось выше и это впоследствии послужило П. П. Лазареву для создания единой ионной теории возбуждения нерва. В данном случае, на основании опытов Пипера, можно было заключить, что эмпирические зависимости, найденные Тренделенбургом, найдут свое отражение в связи между энергией, поглощенной зрительным пурпуром, и силой фотоэлектрического тока, возникающего при освещении пурпура. В работе П. П. Лазарева приведены диаграммы, по-

строенные для глаза кролика, глаза собаки и глаза кошки. С одной стороны, на этих диаграммах представлены количества разложившегося зрительного пурпура при освещении глаза спектрально-однородными лучами от $\lambda=443$ м μ до $\lambda=657$ м μ . С другой стороны, применительно к тем же различным длинам волн, даны в условном масштабе силы фотоэлектрического тока. На каждой из диаграмм обе кривые весьма хорошо совпадают. Тем самым доказывается в новой форме, применительно к живым тканям и зрительному пурпуру, более всего интересовавшему П. П. Лазарева со стороны биофизической, основной закон фотохимии.

В той же обширной работе П. П. Лазарев тщательно изучил физико-химическую сторону выцветания чистых красок. В частности, ему удалось выяснить, какую роль играет кислород при протекании исследуемых фотохимических процессов, как влияет на них изменение давления окружающего газа.

Обнаружилось, что скорость выцветания чистых красок пропорциональна количеству кислорода в окружающей среде и обращается в нуль, когда краска исследуется в вакууме. Если краска исследуется в коллоидной пленке, то скорость ее выцветания связана линейной зависимостью с давлением кислорода, но не обращается в нуль при помещении в вакуум: там краска тоже заметно выцветает.

Чистота постановки и проведения опытов, четкая математическая формулировка основного закона фотохимии, из которого, как следствия, выводятся закономерности, подмеченные Гротгусом, Бунзеном, Роско, — все это сделало работу П. П. Лазарева образцом классического исследования и вызвало целый поток новых исследований в этой области как в нашей стране, так и за границей. В частности, первая научно-исследовательская работа С. И. Вавилова была посвящена кинетике теплового выцветания красителей при освещении различной силы и в темноте. Тему этой работы предложил П. П. Лазарев в связи с интересовавшей его проблемой так называемого «собственного света» сетчатки глаза, видимого в темноте при отсутствии внешних раздражителей.

Во время своей болезни в последние годы жизни П. Н. Лебедев нередко поручал П. П. Лазареву читать

вместо себя лекции в Московском университете. С 1908 г. Петр Петрович организовал учебные занятия и научно-исследовательскую работу физиков в университете имени Шанявского. В 1912 г. вышел в отставку профессор Высшего технического училища В. В. Щегляев, и учебный комитет училища избрал П. П. Лазарева профессором физики. Перенеся в Техническое училище часть своих экспериментальных установок, П. П. Лазарев возобновил там исследование выцветания красок при различных давлениях кислорода.

В самом начале осеннего семестра студенты были встревожены известием о том, что профессор серьезно ранен во время взрыва, последовавшего при его опытах. Взорвался промежуточный баллон со сжатым кислородом, Петра Петровича отбросило взрывом к стене и металлической деталью серьезно поранило лицо. Пострадал глаз. Оказалось, что этот глаз почти полностью утратил восприимчивость в области цветного зрения, а сохранил лишь зрение периферическое (бесцветное, так называемое «сумеречное»).

Впоследствии Петр Петрович шутя говорил, что несчастный случай не только обошелся относительно благополучно, но еще и предоставил в его распоряжение уникальный прибор, какого не достать никому из экспериментаторов, работающих в области теории зрения, — глаз, обладающий одним лишь периферическим зрением.

6

Исследования по теории выцветания красок и пигментов неразрывно связаны у П. П. Лазарева с его классическими работами по теории зрения. В свою очередь, работы по теории зрения составляют одну из интереснейших областей ионной теории возбуждения живых тканей, которую создал Петр Петрович на крепком фундаменте физического эксперимента и математического анализа.

В элементах сетчатки, носящих название палочек, свет разлагает зрительный пурпур. Разрушающиеся молекулы выделяют электроны в количестве, пропорциональном поглощенной энергии. В живой ткани эти электроны, присоединяясь к нейтральным атомам, образуют ионы и создают электрический ток. Именно этот

ток, управляемый законами диффузии, служит в конечном счете раздражителем зрительного нерва.

Но если под действием света в среде возникают ионы, то создается возможность количественно судить об их поведении, исследуя электропроводность вещества в темноте и на свету. Это и было сделано сотрудниками П. П. Лазарева. Зрительный пурпур глаза лягушки растворялся в растворе желчных солей, подвергался длительному диализу и после этого исследовался на электропроводность. Оказалось, что на свету электропроводность раствора увеличивается, а в темноте уменьшается. При этом в обоих случаях изменения электропроводности во времени подчинялись так называемому экспоненциальному закону. Именно такой закон типичен для мономолекулярной реакции, то есть для процесса, протекающего в среде однородных молекул без участия иных молекул. Скорость такой реакции пропорциональна концентрации вещества.

Кроме прямой реакции, протекающей под действием света и создающей в палочках сетчатки вещества, которые вызывают раздражение зрительного нерва, в клетках сетчатки должны возникать процессы, удаляющие путем диффузии и химических взаимодействий продукты распада и стремящиеся привести сетчатку в нормальное нераздраженное состояние. П. П. Лазарев проанализировал совместное протекание прямого и обратного процесса, задаваясь в общем виде характеристиками фотохимической и темновой реакций, яркостью освещения, коэффициентом поглощения света в данной области спектра и максимальной концентрацией пигмента в толще слоя палочек. В результате он получил выражение для наименьшей концентрации продуктов распада, при которой еще может произойти раздражение зрительного нерва.

Интересно, что та же цепь рассуждений позволила П. П. Лазареву вычислить порог раздражений при кратковременном действии света на глаз. В этом случае яркость света, вызывающего рубежное ощущение и время его действия, достаточное для такого ощущения, связаны простой зависимостью: произведение яркости на время равно некоторой постоянной величине плюс величина, возрастающая пропорционально времени воздействия света.

Эта простая теоретическая зависимость была проверена сотрудниками П. П. Лазарева и оказалась совершенно точной в пределах времени воздействия от 0,01 до 3 сек.

Лишь для чрезвычайно коротких промежутков времени воздействия света получались расхождения с теорией, по-видимому, из-за того, что для получения раздражения необходимо воздействие данной концентрации ионов в течение какого-то определенного минимального срока.

Наконец, теория воздействия света на палочки сетчатки — теория периферического (бесцветного) зрения — привела П. П. Лазарева к заключению, что при периодическом раздражении палочек светом, меняющим свою интенсивность, должно возникать такое же ощущение, какое возникает при освещении с постоянной интенсивностью, если в обоих случаях подводится одинаковое количество энергии за какой-то определенный срок.

Аналогичный вывод был сделан Тальботом применительно к освещению глаза периодически меняющимся сильным светом, раздражающим колбочки и дающим ощущения цвета. Это так называемый закон Тальбота, хорошо проверенный применительно к цветному зрению.

Теоретические соображения П. П. Лазарева столь же хорошо подтвердились применительно к зрению периферическому. При его опытах свет яркости I_0 прерывался таким образом, что промежутки действия света равнялись промежуткам затемнения. Число прерывов в секунду было обозначено через N . Такой прерывистый свет сравнивался со светом постоянной яркости I_1 . При этом I_1 подбиралось таким образом, чтобы оба сопоставляемых световых потока казались одинаковыми.

Результаты были сведены в таблицу, воспроизведенную ниже.

Мы привели здесь эту таблицу, чтобы дать представление о точности, с какой соблюдаются теоретические соотношения при весьма сложных процессах, исследованных П. П. Лазаревым: как видим, среднее значение I_1/I_0 , найденное из опытов, только на 1% отличается от теоретически предвиденной величины 0,5. Тем самым опыты П. П. Лазарева доказывают справедливость за-

Применимость закона Тальбота к периферическому зрению

N	I_0	I_1	I_1/I_0
19,2	27	11	0,41
32,3	57	30	0,53
36,0	65	30	0,46
19,2	96	47	0,49
19,6	100	57	0,57
59,0	57	25	0,44
13,9	105	55	0,52
12,8	105	52	0,50
30,4	140	70	0,50
19,6	275	140	0,51
19,6	590	302	0,51
Среднее:			0,495

кона Тальбота и для периферического зрения, прежде не исследованного в этом отношении.

Известно, что человек, находившийся долгое время на свету и вошедший в полутемную комнату, сначала очень плохо различает в ней отдельные предметы. Только постепенно его глазам возвращается чувствительность. Столь же хорошо известно, что в полутемных помещениях, так же как в сумерки в природных условиях, зрительные восприятия происходят на периферии сетчатки: там, где она выстлана палочками. Изменения чувствительности глаза при переходе из светлого помещения в темное и обратно, достигающие громадных размеров, свойственны именно палочкам. Колбочки, покрывающие сетчатку в ее центральных частях, почти совсем лишены свойства изменения чувствительности. Вот почему большое значение — и теоретическое и практическое — имеют исследования П. П. Лазарева в области приспособления, или адаптации глаза при периферическом зрении. Адаптация к темноте — это увеличение чувствительности

глаза после его более или менее продолжительного отдыха. Адаптация к свету — уменьшение чувствительности глаза после пребывания на свету.

Выше говорилось о так называемом рубежном ощущении, которое вызывается наименьшей необходимой энергией света. Если известна минимальная яркость света, способная вызвать такое рубежное ощущение, то известна и чувствительность глаза: мерой чувствительности считают величину, обратную минимальной энергии (чувствительность равна единице, деленной на минимальную энергию света, способную вызвать зрительное восприятие). С другой стороны, как тоже было упомянуто, П. П. Лазареву удалось вычислить яркость непрерывного потока света, необходимую для рубежного ощущения. Значит тем самым определено и выражение чувствительности глаза при периферическом зрении. Из теории следует, что эта чувствительность пропорциональна концентрации неразложившегося зрительного пурпура в палочках на сетчатке глаза. На основании представлений о химической кинетике в условиях темноты П. П. Лазарев считает, что в отдыхающем глазе зрительный пурпур должен восстанавливаться по уравнению мономолекулярной реакции. Тщательно поставленные опыты сотрудников П. П. Лазарева показали, что это теоретическое предположение полностью подтверждается, если только глаз предварительно не подвергался слишком сильному освещению. Насколько хорошо совпадают теоретические и экспериментальные значения чувствительности глаза, можно судить по таблице 2.

Все теоретические построения, изложенные здесь, исходили из классических представлений о потоке лучистой энергии. В действительности, как мы знаем, энергия света обладает прерывистой структурой: она складывается из квантов энергии, причем каждый квант, по Планку, равен произведению универсальной константы Планка $h=6,623 \cdot 10^{-27}$ эрг·сек на частоту электромагнитных колебаний в данной области спектра.

П. П. Лазарев показал, что современная квантовая статистика приводит к совершенно тем же основным формулам, которые были им выведены из дифференциальных уравнений фотохимической кинетики. С другой стороны, только на основании теории квантов возможно

Зависимость чувствительности глаза от времени адаптации

Время адаптации (минуты)	Чувствительность по опытам	Чувствительность по теории
0	0	0
5	60,2	62,4
10	96,7	93,5
15	107,3	109,2
20	113,5	117,3
25	118,5	121,0
30	121,1	123,0
35	124,3	124,0
45	127,1	124,7

устранить противоречия, которые неминуемо возникают при попытке сопоставить некоторые особые разделы теории периферического зрения со следствиями из хорошо известного закона физиологии: «все или ничего».

Попытаемся рассказать об этом в элементарной форме. Вспомним, что увеличение яркости освещения вызывает нарастание количества выделившихся ионов и тем самым должно усиливать ощущение в зрительном аппарате человека. В то же время, согласно эмпирическому закону «все или ничего», найденному физиологами, нерв не возбуждается до тех пор, пока раздражение недостаточно сильно; тот же нерв возбуждается максимально, если порог раздражения превышен даже на малую величину. В частности, если свет слаб и количество выделившихся ионов мало, то зрительный нерв не должен возбуждаться, и глаз не должен видеть света; при повышении силы света сверх порожней, нерв должен прийти в состояние максимального возбуждения, и дальнейшее раздражение не должно дать никакого эффекта. Отсюда, казалось бы, следовало заключить, что зрительные ощущения не могут различаться по силе; от состояния покоя может существовать лишь

переход к состоянию максимального возбуждения. В действительности это не так. Мы знаем, что глаз человека способен улавливать очень небольшие изменения яркости света. Это противоречие П. П. Лазарев разрешает, пользуясь представлениями теории квантов и применяя метод статистики к совокупности палочек на сетчатке глаза.

Он предположил, что в каждой палочке существуют вещества, способные вызывать и ускорять реакцию, которая наступает при фотохимическом разложении зрительного пурпура, то есть что это — так называемая автокаталитическая реакция. Распад каждой молекулы пурпура, раз начавшись, должен продолжаться в окружающей клетке до полного истощения вещества, из которого выделяются раздражающие ионы.

Энергия света, падающего на палочки сетчатки, состоит из квантов, и мы можем считать, что яркость света, то есть энергия, приходящаяся на каждый квадратный сантиметр освещаемой площади, равна произведению константы Планка h на частоту ν и на число квантов, приходящихся на единицу поверхности.

Каждый квант, поглощенный зрительным пурпуром, образует одну ионизованную молекулу; ионы действуют на вещество, которое реагирует на них; при этом разрушается одна молекула этого вещества и возникает вещество, ускоряющее реакцию в клетке и вызывающее возбуждение нерва.

Отсюда следует, что число поступивших квантов равно числу возбужденных клеток и числу нервных волокон, проводящих возбуждение в мозг. Естественно предположить, что минимальное ощущение получается при раздражении всегда одного и того же числа нервных волокон. Иными словами, минимальное ощущение вызывается одним и тем же числом квантов энергии. опыты показали, что безразлично, на большую ли площадь падает свет меньшей яркости, или на меньшую — свет большей яркости: для постоянства минимального раздражения требуется лишь постоянство произведения яркости света на величину освещаемой площади сетчатки, покрытой палочками. Этот экспериментально установленный закон П. П. Лазарев вывел также из обобщенного физиологического закона Фехнера—Гельмгольца.

При постоянстве освещаемой площади сетчатки и при изменениях яркости света неизбежно должно меняться полное количество квантов энергии, падающих на сетчатку. В свою очередь, изменение полного числа квантов энергии соответственно меняет число нервных волокон, несущих возбуждение в зрительный центр головного мозга.

Применив метод математической статистики к этим процессам, П. П. Лазарев получил в результате прежние основные формулы для чувствительности глаза в области периферического зрения.

Первое непосредственное подтверждение изложенной точки зрения было получено В. А. Абри: он показал, что действительно один квант создает минимальное ощущение. Впоследствии С. И. Вавилов в ряде блестящих опытов изучил порог зрительного восприятия с точки зрения теории квантов и непосредственно измерил колебания (флуктуации) зрительного порога, которые проявились именно ввиду малости числа квантов при этих условиях.

7

Детальные и точные исследования в области периферического зрения оказались возможными главным образом потому, что предварительно несколькими исследователями был хорошо изучен пигмент, подвергающийся химическому действию света. Этот пигмент — зрительный пурпур — был выделен из палочек сетчатки животных, переведен в раствор, где его было удобно изучать и со стороны оптической, пользуясь спектрофотометром, и со стороны электролитической, измеряя электродвижущие силы, возникающие вследствие неравенства концентрации ионов в освещенной и неосвещенной части.

Совсем иная картина в области теории цветного зрения. Здесь речь идет о гипотетических пигментах, которые никому не удавалось выделить из колбочек сетчатки. Можно лишь утверждать, что пигменты эти разлагаются под действием света, но нельзя еще ничего сказать об их оптических свойствах. Недостаточно выяснен вопрос о том, в каком слое сетчатки получают ощущения различных цветов.

В отличие от сумеречного, периферического зрения при зрении цветом приходится допускать наличие трех (а по одной из гипотез — даже четырех) различных пигментов; эти пигменты заключены в колбочках, устилающих центральные участки сетчатки глаза. Юнг выдвинул гипотезу, развитую затем Гельмгольцем и получившую физико-математическое завершение в работах П. П. Лазарева. Юнг предполагал, что при действии света в различных частях спектра по-разному возбуждаются разные окончания зрительного нерва. Одни из окончаний реагируют преимущественно на красный цвет и дают в центральной нервной системе ощущение

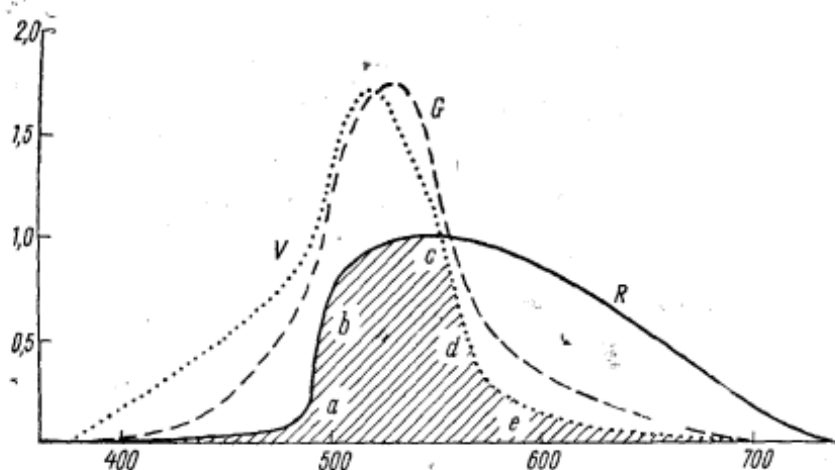


Рис. 3. Характеристики пигментов при цветном зрении

красного цвета. Другие преимущественно чувствительны к зеленому и дают в центре ощущение зеленого цвета. Третьи возбуждаются сильнее всего лучами фиолетовыми и дают ощущение фиолетового цвета. П. П. Лазарев считает, что с точки зрения фотохимии это легко объясняется наличием трех родов пигментов в колбочках, выстилающих центральную часть сетчатки глаза. Один из пигментов *R* сильнее всего разлагается под действием красного цвета, хотя в какой-то мере реагирует и на зеленый, на фиолетовый. Другой — *G* — разлагается преимущественно под действием зеленого цвета, хотя реагирует и на красный, на фиолетовый. Третий — *V* — больше всего разлагается под дейст-

нием фиолетового цвета, хотя отчасти реагирует и на зеленый, на красный.

Если в глаз попадает световой поток, содержащий волны различной длины, то пигменты *V*, *G*, *R* могут реагировать весьма разнообразно и продукты разложения могут находиться в весьма разнохарактерных пропорциях в зависимости от относительного содержания фиолетовых, зеленых и красных лучей в общей «смеси». О такой пропорции удобней всего судить, построив три характеристические кривые, которые должны показывать в условном масштабе чувствительность каждого из трех пигментов к различным лучам, на всем протяжении видимого спектра — от фиолетового до красного конца (рис. 3).

Именно эта пропорция определяет собой относительное значение раздражений всех трех родов нервных окончаний. В свою очередь, пропорция, в которой находятся раздражения трех родов нервных окончаний, определяет собой ощущение цветности падающего светового потока. Пусть в каком-то случае пропорция оказалась такой:

$$v_1 : g_1 : r_1.$$

На условной диаграмме, содержащей три кривые *V*, *G*, *R* (рис. 3), всегда можно найти такую точку на оси абсцисс, которой соответствуют ординаты этих кривых, находящиеся в заданном отношении между собой. Отметив длину световой волны, отвечающую этой точке, найдем тот простой спектральный цвет, который даст эквивалентное ощущение.

К искомым характеристическим кривым П. П. Лазарев предъявляет следующие основные требования:

1. Для кривой *G* максимум должен находиться в зеленой части спектра.
2. Максимум кривой *V* должен быть смещен в сторону фиолетового конца спектра.
3. Максимум кривой *R* должен быть смещен в сторону красного конца спектра.
4. Действие солнечного света среди дня должно давать ощущение белого цвета при наличии равного для всех трех пигментов количества выделившихся ионов.

К каждому из гипотетических пигментов П. П. Лазарев применяет формулы, выведенные им примени-

тельно к фотохимическому разложению зрительного пурпура, — формулы кинетики мономолекулярной реакции, идущей в разных направлениях на свету и в темноте.

Для соблюдения условия 4 кривые строятся в таких масштабах, что площади всех трех равны между собой: пропорция, в которой смешаны фиолетовый, зеленый и красный цвет, в дневном свете принята равной 1:1:1 и при этом обеспечивается равное количество ионов, выделившихся во всех трех пигментах.

Глаз различает не только цветность лучей, предметов, но и насыщенность окраски. В свою очередь, можно показать, что насыщенность зависит от примеси белого цвета к цвету, характеризующему той или иной длиной световой волны.

Эту сторону цветного зрения П. П. Лазарев также исследовал с количественной стороны.

Заимствуем из его работы числовой пример. Допустим, что речь идет о воздействии на глаз чистого (монохроматического) света, характеризующегося длиной волны $\lambda=567$ мμ. В этом случае количества ионов, выделившихся при разложении пигментов *V*, *G*, *R*, характеризуются на основании промеров ординат на рис. 3 относительными числами $V=3,7$; $G=6,5$; $R=9,7$.

По П. П. Лазареву ощущение в нервной системе человека должно расчленяться на два: 1) ощущение белого цвета, зависящее от одинакового количества ионов во всех трех пигментах; в данном случае оно характеризуется относительным числом 3,7; 2) ощущение цвета, которое зависит от отношения количества ионов после вычитания общего слагаемого 3,7. В данном случае, показатель цвета, по Лазареву, будет равняться:

$$\frac{9,7-3,7}{6,5-3,7} = \frac{6}{2,8} = 2,14.$$

Совершенно очевидно, что при добавлении белого света к свету монохроматическому должна изменяться лишь насыщенность и совершенно не должна меняться цветность: и в числителе, и в знаменателе дроби, стоящей слева, прибавляются одни и те же условные числа как к уменьшаемому, так и к вычитаемому. В результате дробь, стоящая посредине, оказывается неизменной; неизменным остается и показатель цвета. Столь же оче-

видно, что величина $\frac{R-V}{G-V}$ убывает, по мере продвижения от красного конца спектра к фиолетовому, или — как говорят — от «теплых» цветов к «холодным». Можно было бы принять эту величину за единообразную характеристику цветности, но П. П. Лазарев предпочитает для характеристики «холодных» цветов применять иную — совершенно аналогичную характеристику: величину $\frac{V-R}{G-R}$. В результате он получил следующую интересную таблицу, вычисленную для всего видимого спектра применительно к монохроматическим лучам, освещающим человеческий глаз.

Таблица 3

Насыщенность и цветность в различных областях спектра

Длина волн (μ)	Примесь белого цвета	$\frac{V-R}{G-R}$	$\frac{R-V}{G-V}$
420	0,1	7,2	—
433	0,2	4,16	—
464	0,3	1,88	—
490	2,0	1,4	—
492	5,0	1,2	—
510	9,0	1,1	—
520	9,5	1,0	—
530	9,7	0,78	—
540	9,9	0,68	—
550	10,0	0,40	—
564	6,0	—	1,27
567	3,7	—	2,14
607	1,0	—	3,5
659	0,2	—	6,0

Как видим, ощущение белого цвета по теории должно достигать максимума в желтой части спектра; здесь цвет должен казаться менее всего насыщенным. От этого максимума, характеризующегося в таблице цифрой 10,0 для примеси белого цвета, примесь уменьшается и к фиолетовому и к красному концу спектра. На диаграмме рис. 3 ощущению белого цвета соответствует заштрихованная часть площади трех кривых (площадь *abcde*). Эта часть является общей для всех кри-

вых, так как во всех трех пигментах здесь выделяется одинаковое количество ионов при фотохимическом разложении вещества. Опыты прекрасно подтверждают это заключение теории П. П. Лазарева: всем известно, какими насыщенными представляются нам фиолетовый и красный концы спектра, а с другой стороны — какими бледными кажутся цвета в желтой и желто-зеленой части спектра. В то же время именно в желто-зеленой части спектра, на основании теоретически полученной таблицы П. П. Лазарева, следует ожидать наиболее быстрого изменения цветности при изменении длины волн: именно поэтому разность между V и R тут даже меняет знак и служит поводом для замены характеристики цветности $\frac{V-R}{G-R}$ на аналогичную характеристику $\frac{R-V}{G-V}$ для «теплых» цветов. Максимум скорости изменения цветности, по вычислениям П. П. Лазарева, приходится на длину волны около $\lambda=565$ мμ.

Это заключение теории цветного зрения также вполне совпадает с результатами наблюдений опытных спектрофотометристов: им известно, что именно в желто-зеленой области спектра трудней всего устранять неточности регулировки приборов, добиваясь совершенно одноцветного освещения двух полей, подвергающихся сравнению.

Хорошее подтверждение теории получается при изучении утомления глаза, освещаемого каким-либо однородным светом. Можно, например, освещать сетчатку чистым спектральным зеленым светом, а потом осветить чистым красным; при этом всегда будет получаться ощущение более насыщенного красного цвета, так как предварительно было разрушено некоторое количество пигмента, особо чувствительного к зеленым лучам; примесь белого цвета тем самым уменьшена.

Можно освещать глаз чистым красным цветом, разрушая при этом до некоторой степени все три пигмента, но сильнее всего разрушая пигмент особо чувствительный к красным лучам. Если после такой процедуры осветить сетчатку белым светом, то ощущения белого цвета не получится: концентрация наиболее разрушенного пигмента R (особо чувствительного к красному цвету) будет недостаточна для выделения ио-

нов в соответствующей пропорции; выделение ионов пигментами *G* и *V* будет идти почти нормально и даст преобладающий эффект. В результате, вместо белого цвета, наблюдатель увидит свет, окрашенный в цвет дополнительный к красному, первоначально утомившему сетчатку глаза.

Все экспериментаторы хорошо знают это явление. Как известно, дополнительными называют два таких цвета, которые при смешении дают ощущение белого цвета. Например, ощущение белого цвета получается при смешении: красного с зелено-голубым, оранжевого с голубым, зеленовато-желтого с фиолетовым.

Таблица 4

Длины волн для дополнительных цветов

Длины волн для дополнительных цветов, по опытам Гельмгольца	656,2	492,1	607,7	489,7	567,1	464,5	563,6	433
То же, по теоретическим кривым П. П. Лазарева (рис. 3)	656	492	607	490	567	464	564	433
Пигмент <i>R</i>	5+5		8+2		9,7+0,3		9,8+0,2	
Пигмент <i>G</i>	1+9		3+7		6,5+3,5		9+1	
Пигмент <i>V</i>	0,2+9,8		1+9		3,7+6,3		6+4	
Сумма	10		10		10		10	

В свое время, Гельмгольц экспериментально нашел, что ощущение белого цвета получается при смешении цветов, которым соответствуют длины волн в парах, приведенных в табл. 4. Эта таблица заимствована из работы П. П. Лазарева, сопоставившего с экспериментальными результатами Гельмгольца аналогичные результаты, полученные на основании измерения кривых рис. 3. Дополнительными, по теории Лазарева, должны

быть такие два цвета, которые дают суммы количества ионов, удовлетворяющие условию: $R_1 + R_2 = G_1 + G_2 = V_1 + V_2$. Как видим, в табл. 4 действительно соблюдается постоянство сумм, требуемое теорией. Вместе с тем, длины волн в каждой паре, выбранной П. П. Лазаревым на графике рис. 3, вполне отвечают длинам волн, найденным при опытах Гельмгольца.

Опыты показывают, что в спектре не существует цвета, который был бы дополнительным к чисто зеленому. Но ощущение белого цвета можно получить при смешении зеленого цвета с красным и фиолетовым. Это явление, известное из опыта, находит отличное объяснение в теории цветного зрения, предложенной П. П. Лазаревым. Действительно, если смешать зеленый цвет, соответствующий длине волны $\lambda = 550$ мμ, красный цвет, отвечающий длине волны $\lambda = 670$ мμ, и фиолетовый цвет, соответствующий длине волны $\lambda = 420$ мμ, то суммарные числа, характеризующие разложение пигментов с возникновением ионов, будут по графикам рис. 3 таковы:

для пигмента R: $10 + 4,0 + 0,1 = 14,1$,

для пигмента G: $13,0 + 0,7 + 0,5 = 14,2$,

для пигмента V: $11,2 + 0,0 + 3,0 = 14,2$.

Оказывается, что для всех трех пигментов получилось одинаковое число, условно характеризующее количество возникших ионов. Значит, нервные окончания тут должны раздражаться таким образом, что дадут ощущение белого цвета.

Если сетчатка освещается чрезвычайно сильным светом, обладающим простой спектральной окраской (однородным), то в этом случае ионы должны выделяться из пигментов, которые все более или менее разрушены. Пропорция, соответствовавшая умеренным яркостям света, оказывается совершенно искаженной. Теория П. П. Лазарева показывает, что тут наступает почти полное выравнивание количества ионов, выделяющихся во всех трех пигментах. Отсюда следует, что независимо от цветности для такого чрезвычайно сильного светового потока должно возникать ощущение белого цвета. Опыты подтверждают и этот вывод теории Лазарева.

Очень интересно явление последовательных образов,

которое наблюдается после сильного освещения сетчатки. Освещение прекращено, но еще не сразу успевают рассосаться вещества, которые возникли в колбочках при разложении трех пигментов. А пока эти вещества еще не исчезли, — сетчатка находится в состоянии возбуждения и посылает возбуждение по нервным окончаниям. П. П. Лазарев предполагает, что продукты фотохимической реакции удаляются из колбочек частично путем диффузии в капилляры кровеносной системы, но главным образом благодаря химическим процессам, которые превращают вещества ионизованные, раздражающие нерв, в вещества, лишенные раздражающего действия. До тех пор пока не ликвидируются все раздражающие вещества, нервные окончания продолжают находиться в раздраженном состоянии, и после прекращения сильного освещения глаза сохраняется ощущение света, которое лишь постепенно ослабевает. Допуская, что образование ионов происходило по закону мономолекулярной реакции, что диффузия в капилляры пропорциональна концентрации, существующей в данный момент, и что ионы образуются в клетках с постоянной скоростью, П. П. Лазарев составил уравнение, которое описывает явление последовательных образов с количественной стороны. Теоретические выводы были подвергнуты экспериментальной проверке путем сопоставления яркости последовательных образов с яркостью все более и более слабого внешнего света. Свыше тысячи опытов, произведенных сотрудниками П. П. Лазарева, подтвердили теорию.

Нет возможности в кратком обзоре останавливаться на всех обширных исследованиях П. П. Лазарева и его школы в области цветного зрения. Эти работы получили признание в широком кругу исследователей в различных странах и были там продолжены как в направлении теоретическом, так и экспериментально. В мировой литературе классическая теория цветного зрения получила заслуженное название теории Юнга—Гельмгольца—Лазарева.

8

Научная деятельность П. П. Лазарева никогда не была чужда требованиям практики нынешнего дня. Когда разразилась первая мировая война 1914 г. в Выс-

шѣм техническом училищѣ, и в Народном университетѣ имени Шанявскаго П. П. Лазаревым и его сотрудниками были организованы рентгеновскіе кабинеты для обслуживания раненых. Свыше десяти тысяч снимков было сделано только в этих кабинетах; а по опыту первых установок строились и распространялись по странѣ комплекты рентгеновскаго оборудования. До войны в Россіи не изготовлялись медицинскіе термометры, а санитарной части арміи они требовались в громадном количествѣ. П. П. Лазарев привлѣкъ к изготовленію пробных образцов искусных стеклодувов, настоящих виртуозов, работавших еще в Лебедевской лабораторіи, и организовал первое в странѣ массовое производство медицинских термометров для арміи и для населенія. Вскорѣ запасы деталей к рентгеновским установкам, которые были еще перед войной получены из-за границы, кончились. В связи с этим были организованы мастерскіе для изготовленія рентгеновскаго оборудования, была налажена откачка рентгеновских трубок, утративших вакуум.

В самый разгар этой работы Петр Петрович получил приглашеніе от большой группы петроградских профессоров выставить свою кандидатуру на замѣщеніе должности заведующаго кафедрой физики в Петроградском университетѣ, освободившейся ввиду ухода в отставку профессора О. Д. Хвольсона (за выслугой лет). П. П. Лазарев отказался переехать в Петроград, ссылаясь на состояніе здоровья, хотя и подал перед тем заявленіе на конкурс. Однако профессура университета действовала настойчиво, и 24 мая 1916 г. профессор Л. А. Чугаев извѣстил П. П. Лазарева о его избраніи ординарным профессором физики Петроградскаго университета.

Петр Петрович вновь повторил свой отказ и, по-видимому, не только в связи с состояніем здоровья и опасеніями действия петроградскаго климата — была еще более веская причина остаться в Москвѣ. Еще в 1912 г., при жизни П. Н. Лебедева, в общественно-научных кругах возникла мысль о созданіи научно-исследовательских институтов, которые не зависели бы от произвола царских министров. В частности, было необходимо обеспечить исследовательскую деятельность той прогрессивной группы профессоров и доцентов, которые ушли из

Московского университета, протестуя против действий министра Кассо. Было учреждено Московское общество научного института, которое поставило своей первой целью построить и оборудовать физический институт. Основные черты этого первого научного института нового типа долго и тщательно обдумывал Петр Николаевич Лебедев вместе со своим другом и главным помощником Петром Петровичем Лазаревым. Но не суждено было П. Н. Лебедеву увидеть осуществление своей мечты. Строительство здания физического института на Третьей Миусской улице было закончено только в декабре 1916 г. Нельзя представить все трудности, которые приходилось тогда преодолевать в условиях военного времени, в условиях оскудения страны, в условиях нехватки рабочей силы, но Петр Петрович Лазарев считал своей обязанностью перед памятью учителя довести до конца осуществление его идеи. И это большое дело он довел до конца. Прекрасное здание института было построено со всеми особыми помещениями, задуманными для проведения сложных опытов при постоянной температуре, в условиях затемнения, с мощной аккумуляторной батареей, с отличными мастерскими, с обширными помещениями для библиотеки, для научных совещаний. Директором Физического института Московского общества научного института был избран П. П. Лазарев. Сюда, в состав Физического института вошел коллектив, воспитанный П. Н. Лебедевым и П. П. Лазаревым в их лаборатории университета имени Шанявского и в лаборатории в Мертвом переулке. Сюда было передано все оборудование этих лабораторий. Институт начал свою деятельность в науке совсем незадолго до революции: он вступил в строй в январе 1917 г. Здесь развернулись исследования по кинетике фотохимических реакций, по теории зрения и другим разделам новой отрасли физики — биологической физики, создателем которой по справедливости может считаться П. П. Лазарев и его школа. Но труды Петра Петровича оценили не только физиологи во главе с Иваном Петровичем Павловым, и не только химики; в 1917 г. пять академиков: физиолог И. П. Павлов, механик А. Н. Крылов, геохимик В. И. Вернадский, математик В. В. Стеклов, химик Н. С. Курнаков — представили кандидатуру П. П. Лазарева Отделению физико-ма-

тематических и естественных наук Академии наук для избрания его академиком. И 4 марта 1917 г. Общее собрание Академии избрало П. П. Лазарева действительным членом Академии наук (академиком).

В первые годы после Октябрьской революции облик института преобразился. Он стал уже не общественным учреждением, в котором весь штат состоял из директора и ученого секретаря, куда молодые исследователи, служившие в высших и средних школах Москвы, приходили работать во внеслужебное время. Институт стал государственным научным центром в области биологической физики, фотохимии, с примыкающими к ним задачами молекулярной физики и оптики. Естественно поэтому, что шефом института стал Народный комиссариат здравоохранения, которым руководил нарком Н. А. Семашко. Николай Александрович Семашко в те годы сделал очень много для подъема всей советской науки. Вместе с Алексеем Максимовичем Горьким он заботился об улучшении быта ученых, обеспечении их научной аппаратурой, книгами, журналами. Особую заботу он всегда проявлял по отношению к Институту биологической физики, к Институту физики и биофизики, — как стал именоваться институт П. П. Лазарева впоследствии.

9

Хорошо известно, какие взаимные услуги оказывают друг другу различные отрасли знания. Известно, например, что открытие электродвижущей силы, возникающей в цепи металлов и электролитов, было сделано итальянским физиологом Гальвани при опытах над мышцами лягушки. С другой стороны, исследования электрического тока и прохождения его через электролиты позволили физико-химикам внести новые методы в физиологию. В частности, такие новые методы предложил немецкий физико-химик Нернст.

Нернст исследовал поведение электролитов близ полупроницаемых мембран при прохождении тока, обнаружил изменения концентрации ионов близ этих мембран и высказал гипотезу о том, что аналогичные явления могут происходить в живой ткани — у полупроницаемых клеточных мембран. По Нернсту, здесь должны возникать условия, вызывающие раздражение нервных

окончаний и мышц. Независимо от Нернста, американский физиолог Леб на опытах обнаружил раздражающее действие солевых растворов на живую ткань, на нервы и мышцы животных. Было установлено, что возбуждающее действие на нервы и мышцы оказывают только одновалентные ионы, например, ионы натрия, калия. Напротив, ионы двухвалентные — такие, как ионы кальция, магния, — оказывают угнетающее действие, тормозят возбуждение.

П. П. Лазарев применил к условиям живой ткани уравнения диффузии, которые позволяют строго проанализировать интуитивные высказывания Нернста и эмпирические данные Леба. В частности, он рассмотрел движение ионов, обладающих различной подвижностью. Ионы калия обладают большей подвижностью по сравнению с ионами кальция. Значит, внутри нервного волокна, в области катода у полупроницаемой перегородки ионы калия должны скопиться в большем количестве, чем ионы кальция. У катода возбуждающее действие должно преобладать над тормозящим действием. В то же время у анода должна наблюдаться противоположная картина: концентрация возбуждающих одновалентных ионов там становится меньшей по сравнению с концентрацией ионов двухвалентных; угнетающее действие ионов кальция берет верх над возбуждающим действием ионов калия. В результате, на катоде должна наблюдаться при прохождении постоянного тока повышенная возбудимость, а на аноде — пониженная возбудимость.

Это явление действительно наблюдается в полном согласии с ионной теорией возбуждения Лазарева. Оно было впервые обнаружено при опытах немецкого физиолога Пфлюгера.

Если электрический ток пропускается через живую ткань в течение небольшого промежутка времени, то для возбуждения нерва или мышцы он может оказаться недостаточным: существует определенный порог, который характеризует возбудимость тканей так же, как пороговая яркость света характеризует возбуждение окончаний зрительного нерва. Но ведь существование минимальной энергии тока, необходимой для возбуждения нерва или мышцы, означает существование минимального значения произведения следующих величин: сопро-

тивления ткани электрическому току, квадрата силы тока и промежутка времени, в продолжение которого воздействует ток. Если эта минимальная энергия постоянна и постоянно сопротивление, то для получения возбуждения требуется определенное минимальное значение произведения квадрата силы тока на время его действия. Легко видеть, что эта простая математическая зависимость может быть высказана еще в иной форме: произведение силы тока на корень квадратный из времени его действия должно равняться определенной минимальной величине. А это — не что иное, как эмпирический закон, ранее открытый Нернстом.

Все сказанное относилось пока к постоянному току. Действие переменного тока Лазарев рассматривает с той же точки зрения диффузии ионов и скопления их у полупроницаемых перегородок. Опыты, произведенные сотрудниками Лазарева, подтвердили правильность такой теоретической трактовки. Вместо требования минимального значения произведения силы тока на корень квадратный из времени действия, здесь выдвигается требование минимального значения частного от деления силы тока на корень квадратный из частоты колебаний тока (из числа периодов в секунду).

Такое требование теории отлично соблюдалось при изменении частот переменного тока от 64 до 3500 в секунду.

При сверхвысоких частотах явление в корне меняется: диффузия ионов не успевает сказываться, и теория возбуждения не должна ее учитывать; все действие тока высокой частоты сосредоточивается у самих полупроницаемых мембран. Теория П. П. Лазарева показывает, что в связи с этим в формулу для вычисления минимальной силы тока, необходимой для раздражения живой ткани, вместо корня квадратного из частоты тока должна входить частота тока в первой степени. Опыты подтвердили и этот вывод теории для частот переменного тока от 50 000 до 320 000 периодов в секунду.

Легко понять, почему при такой частоте не может сказываться диффузия ионов: ведь все процессы возбуждения передаются в нервных тканях с очень малой скоростью, зависящей от диффузионных процессов в ионной среде; при периоде действия раздражителя, равном 1 сек, скорость распространения возбуждения

составляет всего 0,12 мм/сек. Наблюдения над поведением простейших животных, состоящих из единственной клетки, привели к еще меньшим значениям скорости возбуждения; так, например, раздражая псевдоподии амобы (отростки протоплазмы, которые выпускает и сокращает это одноклеточное бесформенное животное), физиологи измерили скорость, с которой распространялось возбуждение, и получили значения 0,02 — 0,05 мм/сек.

Сам процесс передачи возбуждения по нервным волокнам был теоретически исследован П. П. Лазаревым и экспериментально изучен его сотрудниками в Институте физики и биофизики как на животных, так и на остроумно задуманных моделях нерва. При этом получил свое физико-химическое объяснение экспериментальный закон, открытый физиологами, «все или ничего»; было показано, что реакция, в ходе которой выделяются ионы, раз начавшись, не останавливается и следовательно, не зависит от силы раздражителя. Именно поэтому нерв может находиться либо в состоянии покоя, либо в состоянии максимального возбуждения.

Столь же естественное объяснение нашел и другой известный закон физиологии — так называемый закон Вебера—Фехнера. Исходя из представлений ионной теории возбуждения живых тканей, П. П. Лазарев пришел к выводу, что прирост числа раздражаемых нервных волокон, дающий едва заметный прирост ощущения, должен быть пропорционален числу уже раздраженных нервных волокон. Отсюда вытекает, что при возрастании раздражения в геометрической прогрессии, ощущение должно возрастать в арифметической прогрессии; иными словами, ощущение должно возрастать пропорционально логарифму раздражения, в соответствии с эмпирически найденным законом Вебера—Фехнера.

Применение математического анализа к физико-химическим явлениям в живой ткани позволило П. П. Лазареву теоретически изучить весьма тонкие детали сложного механизма нервной системы, например, определить расстояния между нервными волокнами, исходя из законов диффузии.

В отлично оборудованных лабораториях Института физики и биофизики сотрудники П. П. Лазарева поставили и провели сложные опыты над мышцами жи-

вотных, на каждом шагу обнаруживая полное согласие с ионной теорией возбуждения. В частности, замечательные результаты были получены при воздействии одновалентных (раздражающих) и двухвалентных (угнетающих) ионов на сердечную мышцу и на двигательные мышцы животных.

Теория адаптации, разработанная П. П. Лазаревым первоначально в применении к зрению, была широко развита в Институте применительно ко всем органам чувств. Было обнаружено, что адаптационные процессы теснейшим образом связаны с состоянием центральной нервной системы, с функциями головного мозга. Сами нервные центры оказались не утомляющимися под действием света и других раздражителей, и это само по себе явилось весьма важным открытием в области биологической физики. Но максимальная чувствительность, а вместе с ней и весь ход адаптационных процессов обнаружили четко выраженную связь с возрастом человека. В детстве чувствительность нервных центров невелика, она растет примерно до двадцатилетнего возраста, держится близ максимума лет до двадцати пяти, а потом — сперва довольно быстро и затем медленно — падает, асимптотически стремясь к нулю, предположительно к 150 годам.

Поэтому П. П. Лазарев считает, что возрастной ход максимальной чувствительности нервных центров должен быть параллельным возрастному ходу усвояемости и запоминания. В связи с этим, он приводит мнение Д. И. Менделеева, основанное на многолетней профессорской деятельности в высшей школе и изложенное в статье «Заветные мысли» (СПб., 1903—1904, стр. 249): «Самым впечатлительным и влиятельным для всей остальной жизни должно считать, судя по моему опыту, основанному на многих тысячах испытанных мной юношей, именно возраст от 16 до 20 лет. Этот период наибольшей умственной восприимчивости должно назначать прежде всего для получения или специального образования в высших учебных заведениях, или по окончании среднего образования, в жизненном вступлении в ту или иную специальность для дальнейшего служения интересам общества»¹.

¹ Цитирую по Собр. соч. П. П. Лазарева, т. I. Изд-во АН СССР, М., 1957, стр. 535.

Каждую неделю в институте на 3-й Миусской улице происходили научные коллоквиумы. Выступали на них и работники института, и исследователи, работавшие в вузах Москвы, Ленинграда и других городов. После докладов разворачивались оживленные прения.

На одном из очередных коллоквиумов весной 1918 г. выступил профессор Московского университета Эрнст Егорович Лейст с докладом о двадцатидвухлетней серии его исследований Курской магнитной аномалии.

Впервые признаки аномалии земного магнитного поля были открыты в двух пунктах Курской губернии И. Н. Смирновым во время первой геомагнитной съемки России (1872—1877 гг.). После него Н. Д. Пильчиков произвел около 70 наблюдений в окрестностях Белгорода, обнаружив несколько мест с резко выраженной магнитной аномалией. Свыше 150 наблюдений произвел студент Сергиевский, открывший аномалию близ села Непхаева. После этого Русское географическое общество организовало постоянную комиссию по исследованию земного магнетизма и поручило студенту Родду произвести магнитную съемку в наиболее интересных районах Курской губернии. Около 130 измерений сделал Родд и около 150 измерений произвел приглашенный Географическим обществом Мурó — директор Парижской магнитной обсерватории. Но все эти измерения производились без всякой единой системы и не позволяли составить какие-либо карты распределения элементов земного магнитного поля. Явно необходимым было тщательное изучение всей Курской губернии в магнитном отношении, и эту работу взял на себя профессор Лейст. Каждый год во время летних каникул Э. Е. Лейст приезжал в Курскую губернию с точными приборами университетской магнитной обсерватории: с инклинометром, магнитным теодолитом. За 22 года он определил в 4500 точках магнитное склонение, наклонение, горизонтальную составляющую напряженности земного магнитного поля. Во время доклада в Институте физики он продемонстрировал карты элементов земного магнитного поля, составленные им на основании этих обширных исследований.

Аномалия была обнаружена в длинной полосе, протянувшейся от Дмитровского уезда Орловской губернии через Фатежский, Курский, Щигровский, Тимский уезды Курской губернии в северную часть Воронежской губернии. Параллельно этой полосе, к югу от нее, протянулась вторая полоса аномалии через Обоянский, Белгородский, Корочанский и Новооскольский уезды. Ширина каждой из двух полос оказалась примерно около 2—3 верст.

На основании своих измерений Лейст заключил, что аномалия безусловно вызвана залежами железа и что объем залегания железных руд там значительно превышает известные залежи в Лапландии, в Киируне; процентное содержание железа в руде — также более высокое. По способу шведских горных инженеров Лейст пытался определить глубину залегания железа, исходя из представления о сосредоточенном источнике аномального магнитного поля. Это неверное предположение привело к неверным цифрам: глубина залегания железа, по Лейсту, должна была достигать от 228 до 408 метров. Ни карт, ни таблиц с координатами точек и со значениями магнитных элементов в них Лейст не представил для печати в журнале «Архив физических наук», выходившем в те годы. Среди лета он уехал лечиться в Германию и вскоре там умер. Впоследствии из брошюры немецкого автора выяснилось, что все карты и таблицы Лейста увез из Москвы в Германию некий германский подданный. Из Германии поступило предложение, адресованное Советскому правительству, купить у лиц, завладевших материалами Э. Е. Лейста по Курской магнитной аномалии, эти материалы.

П. П. Лазарев выступил против принятия этого предложения, и не только потому, что работа профессора Московского университета Э. Е. Лейста должна рассматриваться как национальное достояние нашей страны, но еще и потому, что этот громадный труд, представляющий большую научную ценность, не мог дать в руки практиков никаких точных и надежных числовых характеристик магнитного поля, требующихся для организации добычи руды. Уже на докладе профессора Лейста весной 1918 г. выяснилось, что наряду с чрезвычайно тщательными измерениями самих элементов магнитного поля определение координат ис-

следуемых точек (географической широты, долготы) производилось весьма грубо, либо по устаревшим неточным картам, либо по опросу населения о том, сколько верст от данного пункта до такого-то села. Петр Петрович Лазарев предложил организовать вновь магнитную съемку трех губерний в районе магнитной аномалии и организовать ее совсем иначе: элементы земного магнитного поля определять посредством простых и удобных приборов, применяемых в штурманской практике на кораблях, и одновременно производить точное определение географического положения также штурманскими методами. Тем самым гарантировалась совершенно достаточная точность магнитных измерений и столь же надежное определение географического положения исследуемых точек.

После доклада П. П. Лазарева Академии наук о состоянии дела по изучению Курской магнитной аномалии Академия наук создала комиссию под председательством П. П. Лазарева. Чрезвычайная комиссия по снабжению армии ассигновала необходимые средства, и новые исследования Курской магнитной аномалии начались.

На совещании 6 марта 1919 г. в Петрограде академик А. Н. Крылов предложил использовать для исследования аномалии метод дефлектора де Колонга, который применяется на кораблях при определении и уничтожении девиации компаса (то есть отклонений компаса от магнитного меридиана, вызванных наличием железа на кораблях). Этот метод позволяет определять склонение, горизонтальную и вертикальную составляющие напряженности земного магнитного поля с точностью, которая в полевых условиях составляет около 0,5%. По известным составляющим определяется полная напряженность магнитного поля (корень квадратный из суммы квадратов составляющих), а также магнитное склонение (угол между плоскостью горизонта и направлением полной магнитной силы; тангенс этого угла равен частному от деления вертикальной составляющей на горизонтальную составляющую). Магнитное склонение определяется путем измерения угла между направлением оси магнитной стрелки и истинным географическим меридианом. В свою очередь, направление меридиана определяют по Солнцу

или звездам, пользуясь астрономическими таблицами.

На основании этих работ была составлена карта распределения вертикальных составляющих напряженности земного магнитного поля (Z) в Щигровском районе. Около точек записаны цифры, которые выражают значение Z в тысячных долях эрстеда. Посредством интерполяции, среди точек проведены изолинии, около которых записаны соответствующие значения вертикальной составляющей в эрстедах, — с промежутками в 0,5 эрстеда: для значений 0,5, 1,0, 1,5. В свою очередь, между этими кривыми вычерчены более тонкие, проведенные через каждую 0,1 эрстеда. Изолинии отмечают своего рода подземный гребень, протянувшийся с северо-северо-запада на юго-юго-восток. Можно построить много изолиний, а по ним вычертить профили поперечных сечений. Через пики всех профилей пройдет на карте кривая, которую называют осевой линией аномалии. Это своего рода «острие» хребта, указывающее на те места, где можно предполагать залегание магнитной руды на наименьшей глубине. На карте курских уездов стала все ясней и ясней намечаться эта полоса, суля успешное завершение новых исследований. Новая методика позволила работать не только очень точно, но и необычайно быстро. Достаточно сказать, что за все 22 года работ Э. Е. Лейста им было нанесено на карту всей Курской губернии 4500 точек, в которых он произвел магнитные измерения. Между тем, П. П. Лазареву были доставлены новые карты, где на полосе 250 верст длиной и 2—4 версты шириной было нанесено свыше 10 000 точек с точными цифрами, характеризовавшими магнитное поле.

Для уточнения мест залегания тяжелых магнитных руд П. П. Лазарев предложил одновременно с магнитной съемкой организовать и гравиметрическую съемку районов магнитной аномалии: он предполагал, что там обнаружится и аномалия силы тяжести. Это предложение было принято, и на местах полностью подтвердилось предположение П. П. Лазарева: напряженность силы тяжести отличалась от нормы в тех же местах, где отличалась от нормы напряженность магнитного поля. Наличие подземных залежей тяжелых пород перестало вызывать сомнения. Правда, как всегда в подобных случаях, нашлось множество скепти-

ков, утверждавших, что трудно рассчитывать на достаточный процент содержания железа в этих породах и на залегание их достаточно близко к поверхности земли. А поэтому сомнительно, чтобы все начатое дело оказалось практически осуществимым и рентабельным. И председателю академической комиссии П. П. Лазареву, и его ближайшим помощникам по исследованию Курской магнитной аномалии пришлось пережить немало тяжелых дней, когда казалось, что скептики-маловеры возьмут верх.

На твердый путь вступили исследования в 1920 г. По инициативе В. И. Ленина 24 августа 1920 г. Совет труда и обороны Республики вынес постановление¹:

«В целях скорейшего начала работ по разведыванию глубоким бурением района Курских магнитных аномалий и безостановочного производства таковых, Совет труда и обороны постановил:

1. Признать все работы, связанные с разведкой Курских магнитных аномалий, имеющими особо важное государственное значение.

2. В дополнение к Постановлению Совета труда и обороны от 7 июля с. г. распространить, согласно п. 2 сего постановления, на управление и его органы, занятые глубоким бурением Курских аномалий, по наличию рабочих и служащих на 15-е сего августа, Общее Положение о милитаризации от 28 ноября 1919 г. с теми дополнениями и изменениями его, которые предусмотрены постановлением Совобороны от 9 июня с. г. за исключением тех специалистов горного и нефтяного дела, которые освобождены особым постановлением СТ и О.

3. Рабочие неквалифицированного труда командироваться на работы по распоряжению Главкомтруда.

4. Все рабочие и служащие, как на местах работ, так и в управлении по глубокому бурению, получают усиленное пищевое довольствие по нормам горнорабочих, занятых на особо тяжелых работах, и снабжаются производственной одеждой.

¹ Цитируется по фотокопии постановления, помещенной в Собр. соч. П. П. Лазарева, т. III. Изд-во АН СССР, М., 1950, стр. 9.

5. Необходимые жилые помещения для служащих и рабочих, а равно и для управления предоставляются в порядке принудительной повинности населения.

Все грузы, следующие в адрес Управления по глубокому бурению, должны перевозиться железными и водными путями без каких бы то ни было задержек, причем этим грузам должно быть дано преимущество перед всеми другими грузами, кроме грузов оперативных, и в нужных случаях грузы весом до 50 пуд. в каждом отдельном случае могут перевозиться в пассажирских поездах багажом, ввиду необходимости производить перевозку весьма хрупких приборов и инструментов.

6. Для транспортировки грузов, рабочих и служащих Управление по глубокому бурению пользуется через Отдел Трамонта вне очереди гужевой повинностью населения на местах. Предложить ГКТ войти в СТ и О с проектом об освобождении от мобилизации лошадей, точно указав минимально необходимое для работ по бурению Курских магнитных аномалий количество лошадей.

7. Предписать Наркомпроду предоставить в распоряжение Управлений по бурению в районе магнитных аномалий месячный фонд в размере месячного запаса продовольствия на 115 человек.

8. Ввиду исключительного значения для Республики скорого окончания работ по разведке района Курских магнитных аномалий все Советские, гражданские и военные власти обязуются оказывать означенным работам полное содействие, отнюдь не допуская междоуведомственных трений и волокиты.

Председатель Совета Труда
и Обороны

В. Ульянов (Ленин)

г. Москва, Кремль, 24/VIII—20 г.».

За магнитной и гравитационной съемкой районов Курской магнитной аномалии последовали горные буровые изыскания, оснащенные тяжелой индустрией.

Фронт работ ширился с каждым месяцем. С каждым месяцем обнаруживались новые признаки больших богатств, залегающих в районе магнитных аномалий. В 1921 г., по указанию В. И. Ленина была органи-

зована Особая комиссия по проблеме Курской магнитной аномалии — ОККМА при Высшем Совете Народного хозяйства.

Председателем ОККМА был утвержден профессор Иван Михайлович Губкин, заместителем председателя ОККМА и начальником Магнитно-гравитационного отдела — академик Петр Петрович Лазарев и начальником Геологического отдела — академик Андрей Дмитриевич Архангельский.

В это время магнитометрические работы позволили совершенно объективно оценить обследованные районы с точки зрения величин аномалий вертикальной составляющей магнитного поля, проложить на картах осевые линии аномалий и найти на этих осевых линиях особо резко выраженные максимумы вертикальной составляющей.

В этом отношении примечательней всех оказался район близ Щигров, где изолинии идут спокойно, почти параллельно одна другой, вертикальная составляющая очень быстро меняется при приближении к «острию» хребта и сами значения этой составляющей чрезвычайно велики — достигают 1,9 эрстеда¹. Именно на основании этих особенностей П. П. Лазарев предложил создать здесь буровую скважину № 1. Работы на этой скважине начались в июле 1921 г. и сперва велись ударным способом — посредством тяжелого долота, падающего с высоты и дробящего породу. Начальный диаметр скважины был равен 45 см, а до твердой породы дошел канал диаметром 35 см. Но на глубине около 150 м была встречена настолько твердая порода, что долото не брало ее и срабатывалось при первых же ударах. После нескольких месяцев безуспешных попыток инженеры отказались от применения ударного метода. И. М. Губкин лично прибыл на место и взял на себя руководство бурением, поручив инженеру А. С. Попову установить на скважине алмазный станок. Этот метод блестяще себя оправдал, и уже в апреле 1923 г. А. С. Попов привез в Москву первые колонки алмазного бурения.

¹ См. Собр. соч. П. П. Лазарева, т. III. Изд-во АН СССР, М., 1950, стр. 30, фиг. 10.

Под руководством П. П. Лазарева его ближайший помощник по институту Николай Ксавериевич Щдро организовал специальную лабораторию для испытания магнитных свойств колонок, извлекаемых из буровой скважины. Наряду с изучением магнитных свойств образцов делались рентгеновские снимки, которые позволяли судить о расположении разнородных слоев, пересекающих колонку под некоторым углом к ее оси. Первые колонки состояли из чередующихся слоев кварцита и магнетита, со средним содержанием железа 41% и плотностью 3,8. Они совсем не содержали ни серы, ни фосфора. Было отмечено присутствие никеля. К концу лета 1923 г. скважина № 1 уже прошла около 240 м, из которых 90 м заняла порода, содержащая железо. Контрольные скважины № 2, 3, 4 и 5, заложенные перпендикулярно к осевой линии аномалии (в плане) показали, что академик П. П. Лазарев совершенно правильно определил точку, в которой железо находится на наименьшей глубине, — точку расположения скважины № 1. В наше время странно и горько вспоминать, что даже победа на скважине № 1 не заглушила тогда, в двадцать третьем году, голоса скептиков, продолжавших твердить о «трудной доступности», о «нерентабельности» добычи железа в районах Курской магнитной аномалии. Требовалась постоянная поддержка В. И. Ленина, чтобы не заглохло дело будущихстроек на курских просторах. Владимир Ильич тогда писал председателю Госплана Глебу Максимиллиановичу Кржижановскому: «Дело это надо вести *сугубо* энергично. Я очень боюсь, что без тройной проверки дело заснет»¹.

Живой отклик нашла буровая № 1 в стихах Владимира Маяковского. Он написал поэму, озаглавленную «Рабочим Курска, добывшим первую руду, временный памятник работы Владимира Маяковского».

«И когда
казалось —
правь надеждам тризну,
из-под Курска
прямо в нас

¹ В. И. Ленин. Соч., т. 35, стр. 472.

настоящею
земной любовью брызнул
будущего
приоткрытый глаз.
Пусть
разводят
скептики
унынье сычье:

Нынче, мол, не взять
и далеко лежит.
Если б
коммунизму
жить осталось только нынче,
мы вообще бы
перестали жить».

И радость, гордость сына Родины, идущего к коммунизму, и гнев его на человечков, снующих под ногами в надежде помешать на пути, — все это прозвучало в поэме, законченной словами:

«Двери в славу —
двери узкие,
но как бы ни были
они узки,
навсегда войдете
вы,
кто в Курске

добывал
железные куски».

Сейчас сотни и тысячи советских людей, добывающих в Белгородской, Курской и в смежных областях «железные куски» вместе со всем советским народом с благодарностью хранят в памяти имя Петра Петровича Лазарева, проложившего с мастерством и мужеством решающий этап в исследованиях по Курской магнитной аномалии, и имя Ивана Михайловича Губкина, завершившего эти труды добычей первых «железных кусков», развернувшего фронт горных работ.

11

В 1929 г. исполнилось десять лет работы Института физики и биофизики как государственного научно-исследовательского института. Славный итог можно

было подвести в связи с этой датой. Всю работу института объединяла одна руководящая идея, родившаяся П. П. Лазарева с его учителем Петром Николаевичем Лебедевым: стремление вести такие исследования, которые тесно связаны с требованиями жизни и в то же время сулят решение глубоких принципиальных теоретических задач.

В самый разгар гражданской войны сотрудниками института велись исследования по Курской магнитной аномалии; магнитологи, геодезисты, астрономы, гравиметристы нередко оказывались совсем близко к линии огня. Красная Армия ставила перед молодым институтом срочные задачи в области инженерно-физической — по вопросам прожекторной техники и военной маскировки. П. П. Лазарев широко открыл двери института для решения таких задач, и они не только решались в срочном порядке, но и давали начало новым теоретическим исследованиям: работы по спектрам окрашенных дуг прожекторов послужили толчком для важных исследований в области физической оптики; исследования спектров естественных природных фонов породили первые работы по цветности моря, от которых берет свое начало советская физика моря.

Народный комиссариат здравоохранения поручил институту исследования по линии электромедицинской и фотобиологической секции. От первых, еще несовершенных рентгеновских установок, работавших с начала войны 1914 г., сотрудники П. П. Лазарева перешли к весьма совершенным установкам, служившим и для медицинских и для рентгено-физических целей. В институте был еще в 1918 г. организован первый в стране образцовый рентгеновский кабинет. Когда 30 августа 1918 г. В. И. Ленин был тяжело ранен, его доставили в сопровождении Н. А. Семашко и хирурга В. Н. Розанова в Институт физики и биофизики и в этом кабинете были сделаны необходимые рентгеновские снимки.

Основные исследовательские работы самого П. П. Лазарева по-прежнему велись в области биологической физики, причем в этих работах принял участие большой коллектив учеников и сотрудников Петра Петровича. В области теории зрения работали Н. Т. и В. Н. Федоровы, С. В. Кравков, Б. В. Дерягин,

М. И. Поликарпов, А. А. Дубинская, З. В. Буланова и многие другие. По теории слуха интересные исследования произвели П. Н. Беликов, А. С. Ахматов. По общим вопросам ионной теории возбуждения — С. Н. Ржевкин, П. П. Павлов, В. В. Ефимов, И. Л. Кан, Г. Г. Яуре. В частности, Г. Г. Яуре экспериментально подтвердил основные теоретические положения, касающиеся одновалентных и двухвалентных ионов. В области фотохимии и фотофизики П. П. Лазарев сохранил интерес к изучению кинетики реакций, идущих под действием света, и многие его идеи были развиты сотрудниками института. С первых же лет среди сотрудников института выделился блестящий экспериментатор Сергей Иванович Вавилов, продолживший свои исследования, начатые еще в Лебедевской лаборатории. Посредством остроумных установок С. И. Вавилов проверил основной закон поглощения энергии света (так называемый закон Буге в дифференциальной форме), изменяя энергию падающего света во столько раз, что наибольшая равна наименьшей, помноженной на 1 с 18-ю нулями. Совместно с В. Л. Левшиным — неизменным соратником по работе — С. И. Вавилов создал стройную теорию фотолюминесценции, охватывающую и явления флуоресценции веществ, и явления фосфоресценции (послесвечения) веществ под действием света.

Широко развились в Институте работы по молекулярной физике. Сам П. П. Лазарев провел интересные исследования связи между атомным весом элемента, числом атомов в единице объема твердого вещества и термическими, упругими свойствами вещества, в частности — с упругим последствием. П. П. Лазаревым также была обнаружена зависимость между оптическими свойствами вещества, твердостью и атомным весом. Исходя из представления о растворении, как о процессе, при котором молекулы вещества, с одной стороны, притягиваются взаимно и, с другой стороны, притягиваются ионами растворителя, П. П. Лазарев предложил интересную теоретическую схему отрывания молекул от твердого тела и перехода их в раствор. Схема подтвердилась на опытах достаточно удовлетворительно.

Как и всегда, теоретические исследования здесь

тесно соприкасались с исследованиями прикладными: под общим руководством П. П. Лазарева и Н. К. Щодро, Б. В. Дерягин, М. П. Воларович, В. П. Лазарев, Д. М. Толстой, Н. М. Маслов поставили и мастерски провели обширные исследования основных свойств стекла, необходимые для стекольной и оптической промышленности. А. К. Трапезников исследовал структуру закаленного стекла при помощи рентгеновых лучей по методу Лауэ. Фундаментальные исследования по молекулярной физике произвел Б. В. Ильин, привлечший в институт участников молекулярно-физического семинара, организованного им в Московском университете. Сам Борис Владимирович работал главным образом в области теории адсорбции веществ из газов и растворов на поверхности твердых тел. В институте начал свою деятельность акад. П. А. Ребиндер, исследуя и явления адсорбции, и стабилизирующее действие активных веществ на суспензии, коллоидные системы, и понижение поверхностной энергии (а следовательно, и поверхностной прочности) твердых тел под действием поверхностно-активных веществ. В институте были начаты важные исследования В. К. Семенченко по теории растворов. Если экспериментальные работы П. А. Ребиндера и В. К. Семенченко неразрывно связаны были с теоретическими основами термодинамики, то еще более многогранные теоретические связи свойственны экспериментальным работам А. С. Предводителя. Александр Саввич строил свои виртуозные опыты на основе кинетической теории вещества и термодинамики. Собственноручно построив тонкий микродинамометр (из кварцевой нити), он измерил реактивные силы, возникающие при отрыве молекул от таких быстро испаряющихся веществ, как камфора. Опыты блестяще подтвердили теоретические расчеты А. С. Предводителя, основанные на молекулярной кинетике. Те же тонкие опыты А. С. Предводителя подвели надежную экспериментальную основу под кинетическую теорию испарения жидкостей, созданную в институте (В. В. Шулейкиным).

Работая в области акустики, П. П. Лазарев предложил количественный метод изучения звуковых явлений, до некоторой степени аналогичный фотометрии в оптике и поэтому названный методом фонометрии.

Исследуемые звуки сравнивались со звуком, исходящим от источника известной постоянной силы. Фонометрический метод был применен П. Н. Беликовым для измерения поглощения звука в различных веществах, причем проявился экспоненциальный закон, совершенно аналогичный закону Буге в оптических задачах. В особенности интересны опыты, проведенные П. Н. Беликовым над избирательным поглощением звука в системе резонаторов, сквозь которую проходили плоские звуковые волны. Эти опыты вполне подтвердили теорию поглощения акустических волн в резонаторах, предложенную Н. П. Кастеринным.

Магнитная лаборатория, созданная в институте для испытания колонок из Щигровской буровой скважины, положила начало разносторонним исследованиям в области геофизики. Теоретическое изучение результатов бурения позволило доказать, что магнитное поле Земли в геологические эпохи должно было быть значительно более сильным, чем современное магнитное поле нашей планеты: иначе нельзя объяснить огромное намагничение колонок, обнаруженное при точных лабораторных измерениях. И эти исследования, сделанные Н. К. Щодро, М. П. Воляровичем, Н. М. Масловым, и интересная работа А. И. Заборовского о возможности сильного намагничения пород при температурах около 650° явились естественным продолжением первого цикла исследований П. П. Лазарева. Совместное геомагнитное и гравиметрическое исследование районов залегания полезных ископаемых, предложенное в свое время П. П. Лазаревым, дало отличные результаты, позволив взаимно контролировать проведенные двумя независимыми методами вычисления координат масс, создающих магнитные и гравитационные аномалии. К этим двум методам разведочной геофизики, как ныне называют эту отрасль прикладной науки, П. П. Лазарев предложил присоединить еще третий метод — сейсмометрический. Остроумные и удобные походные сейсмографы, сконструированные Н. К. Щодро, М. И. Поликарповым и Г. А. Гамбурцевым, были применены А. И. Заборовским в Курской области и дали хорошие результаты, совпадающие с выводами теории.

П. П. Лазарев широко содействовал плодотворной деятельности молодого Григория Александровича Гам-

бурцева, выпускника Московского университета, который быстро зарекомендовал себя как искусный экспериментатор в области прикладной сейсмологии. Такое же внимательное отношение и полную поддержку неизменно встречали работы В. В. Шулейкина по физике моря, начатые в Институте физики и биофизики в содружестве с Плавучим морским научным институтом. В 1929 г. при институте была основана первая в мире морская гидрофизическая станция — Черноморская гидрофизическая станция в поселке Кацивели, близ Симеиза. В институте были построены первые морские гидрофизические приборы, которые впоследствии были широко распространены на экспедиционных судах и морских обсерваториях нашей страны, а также за ее пределами.

Сам П. П. Лазарев, в связи со своими гипотезами о тепловом состоянии Земли в геологические эпохи, поставил важные исследования по физике моря, относящиеся к системе течений мирового океана в наш век и в далекие геологические эпохи.

Для исследований модели материков, вылепленные из гипса, были помещены в большую круглую кювету с плоским дном. Полюсу соответствовал центр круга. Над водой, налитой в кювету, располагалась кольцеобразная стеклянная трубка с многочисленными отростками, которые были так наклонены к радиусам, что при продувании по ним воздуха по краям кюветы возникала своего рода система «пассатов». Эти «пассаты» вызывали интенсивные потоки воды в «океанах», за которыми можно было проследить, фотографируя алюминиевые опилки, насыпанные на поверхность воды (они не тонули благодаря наличию следов масла). Для отчетливости картины вода подкрашивалась черной краской. Эта модель, построенная в мастерской института, дала возможность Б. В. Дерягину, проводившему опыты, получить при сильном освещении фотографии систем течений в «океанах»: они вычерчивались движущимися блестящими опилками. При современных очертаниях береговой линии материков на модели в Атлантическом и в Тихом океанах получились те характерные потоки, какие существуют в природе: и Гольфстрим, и Северо-атлантическое течение, и своеобразный круговорот близ африканских берегов в Атлантике, и аналогичные

образования на Тихом океане. При очертаниях материков, приписываемых геологами эпохам эокембрия и неодевона, на модели возникал широкий проход между материком Северный Атлантис и материками Ангарис и Манджурис. По этому проходу свободно шли мощные потоки океанских вод из тропиков в средние широты, а оттуда — через Северный полюс. Именно этот перенос теплых вод через полюс вполне мог обеспечить весьма теплый климат на берегах упомянутых гипотетических материков.

Напротив, при очертаниях материков, приписываемых альбской эпохе, северный полюс и весь материковый сегмент, доходивший до 40° широты, оказывались полностью отрезанными от теплых океанических потоков, зарождающихся в тропическом поясе. При таких условиях совершенно естественно предполагать существование чрезвычайно сурового климата соединенного материка Северный Атлантис и Палеарктис в альбскую эпоху. Простая модель П. П. Лазарева позволяет догадываться о причинах чередования ледниковых и межледниковых эпох, не прибегая ни к каким специально созданным искусственным гипотезам.

В кратком обзоре, разумеется, невозможно охватить сколько-нибудь подробно все стороны многогранной деятельности Института физики и биофизики за истекшее десятилетие. В общей сложности за десять лет сотрудниками Института напечатаны 6 монографий и 473 статьи с изложением научных работ, сконструировано 34 специальных научных прибора, причем постройка этих приборов полностью осуществлялась в институтских мастерских. Между тем, штат института был совсем невелик: в нем состояло только 36 научных сотрудников и 16 научно-технических. Нештатных сотрудников было 10. Кроме того, 33 человека выполняли здесь эпизодические исследовательские работы.

Петр Петрович Лазарев всегда считал, что для глубокой целеустремленной научной работы институт должен быть именно таким — небольшим, состоящим из даровитых людей, преданных делу служения науке. Как директор института он руководил его работой не с помощью приказов, а на личном примере; не навязывая никому своих личных симпатий к той или иной отрасли науки, он умел уловить научные склонности каждого

из сотрудников института и вовремя дать развиваться этим склонностям, вместе с тем внушая начинающим исследователям неприязнь ко всякого рода наукообразной мишуре, рекламной шумихе, к легкосесным темам, продиктованным модой. Неприязненно относился П. П. Лазарев к бесплодным абстрактным фантазиям, далеким от жизни, и так же не любил ставить бесчисленные опыты, лишенные какой бы то ни было идейной, теоретической направленности.

Коллектив института вырос в научной работе. У учеников П. П. Лазарева появились свои ученики, перед которыми тоже открылись институтские двери. Страна была вправе ставить перед институтом все больше и больше задач ответственных и трудных, требующих срочного разрешения. И Петр Петрович, с его настоящим лебедевским чувством нового, современного, годами работал над проектом организации расширенного института прикладной физики. В этом институте должно было работать небольшое ядро наиболее сильных теоретиков и экспериментаторов, способных руководить выполнением исследований по срочно необходимой прикладной тематике. Кроме того, часть дня сотрудники этого нового института должны были посвящать исследованиям «далекого прицела» — перспективным работам над наиболее трудными принципиальными проблемами физических наук.

Сейчас, через много лет, хорошо можно себе представить, каким мощным центром советской науки стал бы этот институт прикладной физики в руках П. П. Лазарева и ведущих сотрудников Института физики и биофизики. По всей вероятности, именно поэтому скромный по своему физическому объему и по штату институт на 3-й Миусской улице в Москве был в 1931 году уничтожен авантюристами, связанными с троцкистскими кругами.

Гибель Института физики и биофизики не сломила творческий дух Петра Петровича Лазарева, хотя и подорвала его здоровье. Сосредоточив свою работу в области биологической физики в своей биофизической лаборатории Всесоюзного института экспериментальной медицины (ВИЭМ) и в организованной им Биофизической лаборатории Академии наук СССР, он не остался равнодушным к судьбам других отраслей фи-

зических наук, увлекавших его ранее. По приглашению областных организаций Урала, он часто ездил в Свердловск консультировать по геофизическим вопросам, связанным с мощной уральской промышленностью. Он возглавил геофизический отдел в Институте географии Академии наук СССР, а впоследствии, при учреждении Института теоретической геофизики АН СССР, — отдел земного магнетизма в этом институте.

Даже в самом начале Отечественной войны, в 1941 г., когда Президиум Академии наук предложил П. П. Лазареву переехать в спокойный и безопасный уголок, — в курортный поселок Боровое, Петр Петрович отклонил это предложение, заявив, что он считает себя обязанным решать в Москве задачи, продиктованные нуждами страны.

Только тяжелое заболевание — воспаление легких и одновременное рожистое воспаление всего тела — заставили его изменить свое решение и уехать в Алма-Ату вместе со своей биофизической лабораторией. Едва оправившись от болезни, он энергично взялся за организацию лаборатории на новом месте. Весь декабрь 1941 г., январь и февраль 1942 г. он был занят работами в лаборатории и многочисленными лекциями по приглашениям местной научной общественности. Но в конце февраля появились угрожающие признаки болезни, и хотя Петр Петрович не подозревал их настоящего происхождения, 18 апреля 1942 г. ему пришлось лечь в больницу. 22 апреля врачи обнаружили на рентгеновском снимке громадную раковую опухоль, а в ночь с 23 на 24 апреля Петра Петровича не стало.

День его смерти совпал с 25-летием со дня его избрания академиком. На этот день правительство Казахской АССР намечало празднование в Алма-Ате четвертьвекового юбилея П. П. Лазарева.

12

Свыше 500 книг и статей оставил Петр Петрович в наследство советской науке. Не менее ценно и то наследство, которое оставил он Родине как золотой фонд на долгие, долгие годы: славные традиции школы Лебедева—Лазарева живут и будут жить в нашей науке. Как из первой научно-исследовательской работы Сер-

гея Ивановича Вавилова, сделанной по предложению П. П. Лазарева, выросли обширные исследования С. И. Вавилова по люминесценции, по флуктуациям света при малом числе квант, так и из работ других учеников Петра Петровича возникли целые новые направления в физической науке. С. И. Вавилов создал на месте Института физики и биофизики самый большой физический институт нашей страны — ФИАН имени П. Н. Лебедева, — в который влились многие старые сотрудники Института физики и биофизики и в их числе неизменный соратник С. И. Вавилова по работам Вадим Леонидович Левшин. Даже став Президентом Академии наук СССР Сергей Иванович не изменил своей любимой лаборатории в институте, где в затемненном помещении всегда кротко светились на столе флуоресцирующие растворы. Каждый день, с 9 до 12 часов, С. И. Вавилов проводил здесь опыты и только после них ехал в Президиум для выполнения своих обязанностей по руководству Академией. Кроме С. И. Вавилова, академиками и членами-корреспондентами Академии наук СССР были избраны и многие другие ученики П. П. Лазарева: Г. А. Гамбурцев, Б. В. Дерягин, С. В. Кравков, М. А. Леонтович, А. С. Предводителей, П. А. Ребиндер, В. В. Шулейкин, Н. К. Щодро. В свое время, П. П. Лазарев предоставлял возможность работать в институте будущим академикам Н. Д. Папалекси, Г. С. Ландсбергу, А. Л. Минцу. Докторские степени и профессиру получили А. С. Ахматов, П. Н. Беликов, М. П. Волярович, В. В. Ефимов, Б. В. Ильин, И. Л. Кан, Б. Б. Кудрявцев, В. Л. Левшин, К. А. Леонтьев, Т. К. Молодой, П. П. Павлов, В. А. Пуськов, С. Н. Ржевкин, В. К. Семенченко, Е. Е. Сиротин, В. В. Сребницкий, Д. М. Толстой, А. К. Трапезников, Н. Т. Федоров, Я. Л. Шехтман, Э. В. Шпольский, Е. Е. Яуре. В маленьком геофизическом отделе Института физики и биофизики зародились ростки будущих геофизических институтов. Когда даровитый экспериментатор, в то время только что окончивший Московский университет, Г. А. Гамбурцев строил свой первый, удобный и изящный, полевой сейсмограф, кто мог сказать, что в руках Григория Александровича рождается новая отрасль прикладной геофизики — разведочная сейсмология? Кто мог сказать, что этот молодой экспе-

риментатор возглавит Институт физики Земли Академии наук?

Когда в поселке Качивели, сильно пострадавшем от крымского землетрясения, мы выгружали с катера на пустынный мыс приборы, книги, готовясь начать работы Черноморской гидрофизической станции, никто не мог знать, что из этой станции разовьется первый в мире Морской гидрофизический институт Академии наук СССР — основной центр работ по физике моря в нашей стране.

Дружно работают в советских вузах кафедры, на которых развиваются идеи, родившиеся когда-то в Институте физики и биофизики. На основе биофизической лаборатории Петра Петровича Лазарева вырос Институт биологической физики Академии наук СССР. Широко развернулось славное дело, начатое Петром Петровичем на Курских просторах. То, что с невероятными трудностями давалось на линии огня, в годы гражданской войны, стало привычным и простым в годы мирного строительства, при новых кадрах обученных геологоразведчиков, при новой усовершенствованной аппаратуре. Еще до Отечественной войны были открыты богатые месторождения железа на новых осях аномалий. После Отечественной войны поисковые работы развернулись во всю ширь и выявили новые и новые месторождения.

«Общие геологические запасы железистых кварцитов в бассейне Курской магнитной аномалии в 1927 г. определялись в количестве 250 млрд. тонн. В настоящее время эти запасы (по данным М. И. Калганова) оцениваются в 9000 млрд. тонн, при среднем содержании железа в кварцитах около 32%», так пишут М. И. Агошков и Н. Б. Еникеев в недавно вышедшей брошюре «Курская магнитная аномалия»¹.

Значит, около 3000 млрд. тонн чистого железа залегает в бассейне, как крепкий фундамент нашей тяжелой промышленности.

Ныне уж нигде не проскрипит «уныные сычье», на которое негодовал Владимир Маяковский.

И ныне это не «временный памятник» советским пи-

¹ М. И. Агошков и Н. Б. Еникеев. Курская магнитная аномалия. Изд-во АН СССР, М., 1959, стр. 9.

онерам Курской магнитной аномалии. Это — памятник навеки.

*
* *
*

Общее число печатных работ академика П. П. Лазарева превышает 500. Подробные библиографические сведения о них помещены в томе I Собрания сочинений П. П. Лазарева, Изд-во АН СССР, 1957 (стр. 857—891). Хронологический указатель трудов помещен также в «Материалах к библиографии ученых СССР», серия физики, вып. 10, «Петр Петрович Лазарев». Изд-во АН СССР, М., 1958 (стр. 31—82); там же алфавитный указатель трудов (стр. 84—119). Литература о жизни и трудах П. П. Лазарева (54 издания) приведена в той же книжке на стр. 17—21.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Исконные пути развития естественных наук в нашей стране	3
2. Школьные годы П. П. Лазарева	5
3. Первые научные работы	7
4. Исследования по кинетической теории вещества	10
5. Исследования основных законов фотохимии	18
6. Исследования периферического зрения	26
7. Исследования цветного зрения	33
8. Институт физики и биофизики. Академия наук	41
9. Ионная теория возбуждения живых тканей	44
10. Исследования Курской магнитной аномалии	49
11. Некоторые итоги работы Института физики и биофизики	57
12. Научное наследство Петра Петровича Лазарева	65

**Василий Владимирович
Шулейкин**

* *
*

**ПЕТР ПЕТРОВИЧ
ЛАЗАРЕВ**

Технический редактор М. С. Ермаков

Сдано в набор 6.VI.1960 г.

Подписано к печати 23.IX.1960 г.

Л 90493. Формат 84×108¹/₃₂

Привед. печ. л. 2¹/₈. Уч.-изд. л. 4,0

Изд. № 1438. Зак. 806 Тир. 2500 экз.

Цена 2 р. 50 к. с 1.I. 1961г. — 25 к.

Набрано в 1-й типографии МГУ,
Моховая, 9.

Отпечатано в тип. МГУ
Ленинские горы. Заказ 1443

2 р. 50 к.

с 1/1 1961 г. — 25 коп.