

АКАДЕМИЯ НАУК  
СОВЕТА СССР

# Л. И. МАНДЕЛЬШТАМ

ТОМ

I


ИЗДАТЕЛЬСТВО  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР



Л. И. МАНДЕЛЬШТАМ

ПОЛНОЕ СОБРАНИЕ  
ТРУДОВ



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

1948

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР




Л. И. МАНДЕЛЬШТАМ

ПОЛНОЕ СОБРАНИЕ  
ТРУДОВ

I

ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
*ПРОФЕССОРА*  
С. М. РЫТОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

1948

Комиссия по изданию трудов

Л. И. МАНДЕЛЬШТАМА

академик Н. Д. Папалекси, академик Г. С. Ландсберг,  
член-корр. АН СССР И. Е. Тамм



*A. Mandevillan*

---

---

## ЛЕОНИД ИСААКОВИЧ МАНДЕЛЬШТАМ

(Краткий очерк жизни и научной деятельности)

*Н. Д. Папалекси*

Леонид Исаакович Мандельштам родился 22 апреля (ст. ст.) 1879 г. в г. Могилеве на Днестре. Семья Леонида Исааковича отличалась большой одаренностью: из нее вышли выдающиеся ученые, врачи, писатели. Отец Леонида Исааковича, Исаак Григорьевич Мандельштам, очень образованный врач и прекрасный практик, в свое время очень популярный на юге России врач-гинеколог, происходил из интеллигентной еврейской семьи. Окончив казенное раввинское училище в г. Вильно, Исаак Григорьевич поступил в Медико-хирургическую академию в Петербурге (ныне Ленинградская Военно-медицинская академия). В качестве врача он принимал участие в войне 1877—1878 гг. с Турцией. Приблизительно к этому времени относится брак Исаака Григорьевича с матерью Леонида Исааковича, Минной Львовной Кан, приходившейся ему двоюродной племянницей. Дядей Леонида Исааковича со стороны матери, с которым Леонид Исаакович с детства был особенно близок, является известный биолог А. Г. Гурвич. Брат А. Г. Гурвича, химик Л. Г. Гурвич, ныне покойный, был всемирно известным специалистом по нефти. Сама Минна Львовна, женщина редкой доброты и благородства души, прекрасно знала языки и была незаурядной пианисткой. Она оказала чрезвычайно большое влияние на Леонида Исааковича, который питал к ней исключительную привязанность всю свою жизнь.

Вскоре после рождения Леонида Исааковича его семья переехала в Одессу, где протекли его детство и юность. Леонид Исаакович рос в атмосфере гуманности, истинного человеколюбия

и простоты. Он был окружен любовью и заботами, что, несомненно, способствовало развитию его природной мягкости, так всегда привлекавшей всех в нем. Леонид Исаакович очень долго не знал никаких житейских забот и затруднений, и это безусловно определило его непрактичность и неумение вникать в житейские мелочи.

До 12 лет Леонид Исаакович учился дома, причем особое внимание было обращено на изучение иностранных языков. Только в 1891 г. Леонид Исаакович поступил в третий класс Второй одесской гимназии. По словам близких Леонида Исааковича его умственное развитие шло чрезвычайно своеобразно. Он долго сохранял многие детские черты, сравнительно мало читал, интересовался играми, особенно умственными. Однако, несомненно, что в нем рано началась внутренняя работа, направленная на разрешение возникавших у него различных умственных затруднений в связи с вопросами механики, физики, математики. Стремление Леонида Исааковича к углублению и логическому анализу особенно ярко проявилось в последних классах гимназии, когда он заинтересовался различными вопросами математики, в частности геометрии, быть может, даже несколько в ущерб общеобразовательным предметам. Здесь уже начали проявляться математические способности и острота ума Леонида Исааковича. Так, по воспоминаниям его дяди А. Г. Гурвича, уже тогда в спорах с взрослыми людьми, обладавшими несомненно большими фактическими знаниями по данному вопросу, Леонид Исаакович часто оказывался прав именно благодаря логичности мысли и остроте ума.

Своеобразное развитие Леонида Исааковича проявлялось и в том, что он в детстве сравнительно мало интересовался музыкой, несмотря на то, что в его семье знали и любили ее [сам он учился играть на виолончели] и в их доме очень часто можно было слышать хорошую музыку. Мало интереса проявлял он также и к живописи, и любопытно, что интерес к музыке и живописи проснулся у него лишь в студенческие годы, во время его жизни за границей.

В числе гимназических преподавателей Леонида Исааковича особенно выдающихся не было, хотя преподаватель физики Березин, повидимому, сумел заинтересовать Леонида Исааковича, и он охотно помогал Березину в подготовке демонстрационных опытов.

По окончании гимназии в 1897 г. с медалью Леонид Исаакович поступил на математическое отделение физико-математического факультета Новороссийского университета. Однако здесь Леонид Исаакович пробыл недолго: уже в 1899 г. он, в связи со студен-



Л. И. Мандельштам в возрасте четырех лет



ческими беспорядками, был исключен из университета. В этом же году, по совету родителей, Леонид Исаакович поехал продолжать образование за границу, в Страсбург, где поступил на физико-математический (phil. nat.) факультет университета, причем выбор этого города определился тем, что его дядя А. Г. Гурвич был тогда там ассистентом известного антрополога, профессора анатомии Швальбе. Этот выбор оказался чрезвычайно благоприятным для научного формирования Леонида Исааковича.

В то время в Страсбургском университете собрались крупные научные силы, в частности в области физико-математических наук. Лекции по математике читали выдающиеся математики: аналитик Гейнрих Вебер, ученик одного из крупнейших математиков прошлого столетия Риманна и автор классического труда „Дифференциальные уравнения математической физики“, а также геометр Райе — продолжатель Понселе. Экстраординариусом по математике был также хороший математик и блестящий лектор Крацер. Кафедру физики в то время занимал профессор Фердинанд Браун. Он состоял также директором образцового для того времени физического института, основанного знаменитым экспериментатором Кундтом. Ф. Браун, лауреат Нобелевской премии 1909 г. по физике, полученной им за работы в области электрических колебаний и радиотелеграфии, уже тогда был известен своими работами в области термодинамики (принцип — Брауна — Ле Шателье) и электрических явлений и особенно широко в измерительной физике как создатель электрометра Брауна и катодной трубки Брауна — этого незаменимого в настоящее время орудия исследования быстро меняющихся процессов, сыгравшего столь исключительную роль в развитии телевидения и радиолокации. Кафедру теоретической физики занимал видный теоретик и прекрасный лектор Эмиль Кон, автор широко известного курса „Электромагнитное поле“.

Все эти обстоятельства, а также исключительные условия для научных исследований в Страсбургском физическом институте, привлечшие туда в свое время наших выдающихся физиков Б. Б. Голицина, П. Н. Лебедева, А. А. Эйхенвальда, Д. А. Гольдгаммера, В. А. Ульянина и др. (а впоследствии, уже во время пребывания там Леонида Исааковича, с апреля 1900 г., когда я приехал в Страсбург, — П. П. Лазарева, И. С. Щегляева и др.), создали в Страсбурге особо благоприятную атмосферу науки и истинного духа исследования. Как только Леонид Исаакович попал в эту благоприятную обстановку, так резко отличавшуюся от условий

в Новороссийском университете того времени, почти внезапно расцвели редкие качества его ума и таланта. Этому в очень значительной мере способствовало то обстоятельство, что профессор Ф. Браун, который был не только выдающимся физиком, но и прекрасным учителем и человеком, очень скоро обратил внимание на выдающиеся способности Леонида Исааковича и предоставил ему полную возможность для научной работы. Необходимо заметить, что и Леонид Исаакович в свою очередь высоко ценил профессора Брауна и на всю жизнь сохранил к нему глубокое уважение и признательность.

Научные интересы профессора Брауна в то время были направлены на вопросы радиотелеграфии. Поэтому и Леонид Исаакович заинтересовался вопросами электрических колебаний в связи с радиотелеграфией. В январе 1902 г. он, по представлении диссертации под названием „Bestimmung der Schwingungsdauer der Oscillatorischen Kondensatoren-Entladung“<sup>1</sup> и сдаче требуемых испытаний с высшим отличием (*summa cum laude*) получил степень доктора натуральной философии Страсбургского университета.

По окончании университета Леонид Исаакович остался в Страсбурге и первое время в качестве личного ассистента профессора Брауна принимал активное участие в лабораторных исследованиях и заводских испытаниях новых приемно-передающих устройств по сложной схеме Брауна, производившихся в лабораториях Сименс и Гальске в Берлине, а затем и в практических их испытаниях на Балтике, где было достигнуто рекордное для того времени расстояние радиопередачи — свыше 150 км, между местечком Сасниц на острове Рюген и г. Кольберг. В результате этих и последующих исследований в Страсбурге Леонидом Исааковичем было сделано (совместно с Г. Брандесом) первое изобретение в области радио — так называемая „слабая связь“, — ознаменовавшее собой существенный этап в истории развития радиосвязи и сразу сделавшее его имя известным широкому кругу радиоспециалистов.

[Теоретический анализ вопроса о силе приема в зависимости от связи между антенной и промежуточным контуром сложной схемы приемного устройства привел Л. И. Мандельштама к выводу, казавшемуся в то время совершенно парадоксальным. Сила приема возрастает не с увеличением связи, а наоборот, с ее значительным ослаблением, причем одновременно с усилением приема повышается и селективность приемника.]

<sup>1</sup> [Статья 11.]

Насколько в то время было практически важно это изобретение, видно из того, что Леонид Исаакович совместно с Брандесом даже *post factum*, спустя несколько лет, получил от общества *Telefunken* значительную по тому времени денежную премию. Заметим, что к этому времени его пребывания в Берлине относится и его встреча с А. С. Поповым и с рядом пионеров русской радиотелеграфии: Реммертом, Ющинским, Тыкоцинером и др.

В 1903 г. Леонид Исаакович был зачислен в штат Страсбургского физического института вторым ассистентом (первым ассистентом был в то время известный радиоспециалист Ионатан Ценнек), а вскоре затем он стал и первым. Здесь на обязанности Леонида Исааковича лежало руководство научными работами докторантов и ученых различных стран, приезжавших поработать в знаменитом Страсбургском физическом институте. Молодые ученые являлись иногда со своими темами, но чаще всего они получали их от профессора Ф. Брауна, а вскоре и от Леонида Исааковича. (Среди многочисленных учеников Леонида Исааковича были Rohmann, Aeckerlein, Riegger, Dickmann, Glage, Sziwessy, G. Thomson, Jollos, Würst, v. Ubisch, Шиловский, Bädke.)

Время до 1907 г., которое может быть названо первым страсбургским периодом научной деятельности Леонида Исааковича, было для него годами расширения знаний, научного роста и созревания его таланта. В это время окончательно сформировались все основные черты его как ученого. Леонид Исаакович очень много работал, основательно изучил классический трактат Релея „Теория звука“, работы Лоренца по электронной теории, „Кинетическую теорию газов“ Больцмана, читал сочинения Гельмгольца, Герца и других классиков физики. Исключительно одаренный математически, Леонид Исаакович основательно изучал также различные разделы математики — теорию дифференциальных уравнений, теорию вероятностей, к которой он всегда чувствовал особое влечение. Наряду с этим его глубоко интересовали история физики, философия науки, теория познания. Он основательно познакомился с английскими философами.

Особое значение для Леонида Исааковича имел замечательный английский физик Релей. Изумительная разносторонность этого ученого, глубина анализа, несравненное умение выделить существенную сторону вопроса, наглядно и выпукло показать его физическую сущность, дать теорию, пользуясь простейшим, но вполне адекватным аппаратом, — все эти качества творений Релея отвечали



Л. И. Мандельштам с матерью и сестрой (1890 г.)

стремлениям и особенностям ума Леонида Исааковича и вызывали в нем особый резонанс, были ему конгениальны. И действительно, в характере ума Леонида Исааковича было много общего с Релеем, и не случайно, что пути их научного творчества часто шли параллельно и неоднократно перекрещивались. Не подлежит никакому сомнению, что атмосфера электромагнитных колебаний, в которую попал Леонид Исаакович, вступая в научную жизнь, сыграла очень большую роль в формировании основных направлений его научной деятельности и определила тот „колебательный“ подход, который так характерен для творчества Леонида Исааковича.

Наряду с научным ростом и созреванием таланта Леонида Исааковича шло и расширение круга его научных интересов. От электромагнитных колебаний и волн в свободном пространстве, с какими мы имеем дело в радио, внимание Леонида Исааковича перешло на взаимодействие между электромагнитными волнами и веществом, а именно к вопросу о прохождении света через различные среды и в первую очередь к вопросам дисперсии. Его первое исследование в этой области, в котором он подверг тонкому анализу вопрос о прохождении света через оптически однородные и мутные среды, было представлено им в 1907 г. как диссертация для получения права чтения лекций (*venia legendi*) в качестве приват-доцента Страсбургского университета по кафедре физики. Темой его пробной лекции была электромагнитная теория света Максвелла.

Осенью же 1907 г. произошло очень важное событие в личной жизни Леонида Исааковича — его женитьба на Лидии Соломоновне Исакович, первой русской женщине, получившей диплом архитектора в 1906 г. в Париже. Человек редких душевных качеств, Лидия Соломоновна Исакович сыграла исключительную роль в жизни Леонида Исааковича. От этого брака в 1910 г. родился сын, Сергей Леонидович, молодой талантливый физик, известный своими работами в области спектроскопии и физики электрической искры.

С 1907 г. и до начала первой мировой войны относится второй страсбургский период научной деятельности Леонида Исааковича. За это время Леонид Исаакович проявил себя как прекрасный экспериментатор и исключительно талантливый лектор, тщательно готовившийся к лекциям и очень часто иллюстрировавший их им самим придуманными демонстрациями. Сначала Леонид Исаакович читал отдельные курсы по различным вопросам физики: оптические.

свойства прозрачных тел, дисперсия, электро- и магнетооптика (1907—1908), явления резонанса и их роль в физике (1908), физические основы беспроводной телеграфии (1908—1909), кинетическая теория газов (1909); а в 1910 г. ему было поручено чтение курса телефонии и телеграфии для инженеров почтового ведомства специализировавшихся в этих областях. В 1913 г. Леонид Исаакович получил звание *titular*-профессора.

Хотя подготовка к лекциям и занятия со студентами и докторантами отнимали у Леонида Исааковича значительную часть времени, он все же уделял много времени и для собственных работ. В этот период полностью созрел и проявился замечательный талант Леонида Исааковича как физика и выявились все характерные черты его как ученого — глубокого теоретика и тонкого экспериментатора.

К этому времени относятся некоторые исследования Леонида Исааковича, проведенные им совместно со мной, в области электромагнитных колебаний и радиотехники, особенно в области методики измерений,<sup>1</sup> о которых мной был сделан доклад на Втором Менделеевском съезде в Петербурге в 1911 г. по приглашению организационного бюро съезда, а также ряд фундаментальных работ по оптике. К последним следует прежде всего отнести работы по вопросам рассеяния света, занимавшим Леонида Исааковича всю его жизнь, начиная от его профессорской диссертации, озаглавленной „Об оптически однородных и мутных средах“ (1907).<sup>2</sup>

[В этом важном исследовании был поставлен кардинальный вопрос о физической причине мутности однородной среды. Л. И. Мандельштам показал ошибочность (или, как он предпочитал выражаться, „недостаточность“) общепризнанной теории молекулярного рассеяния света Релея. Согласно представлениям Релея, для объяснения рассеяния света однородной средой достаточно принять во внимание движение частиц, ее составляющих. Л. И. Мандельштам показал, наоборот, что в случае однородной среды излучение составляющих

---

<sup>1</sup> [Речь идет о новом, очень чувствительном методе измерения частот и декрементов, основанном на использовании не амплитудных, а фазовых резонансных кривых, и об оригинальном приборе — так называемом индукционном динамометре, принцип которого лег в основу ряда приборов Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси; эти приборы позволяли непосредственно читать по шкале значения частоты и декремента затухания электрических колебаний и других электрических величин. См. статьи 11 и 13 в этом томе].

<sup>2</sup> [Статья 4].

ее частиц обуславливает световое поле одной и той же интенсивности и фазы, независимо от того, будут ли частицы находиться в покое, или в движении. К теоретическому анализу, проведенному в этой работе, Л. И. Мандельштам присоединил простые, но убедительные опыты и таким образом со всей ясностью показал, что оптически однородная среда не может рассеивать свет, независимо от того, движутся ее частицы или нет. Другими словами, для объяснения молекулярного рассеяния света основания, приводимые Релеем, недостаточны, и надлежит искать причину нарушения оптической однородности среды. Последующие работы М. Смолуховского, А. Эйнштейна и самого Л. И. Мандельштама показали, что источником этих неоднородностей являются статистические флуктуации показателя преломления или коэффициента отражения света.

В тесной связи с этой работой стоят заметки Л. И. Мандельштама „К теории дисперсии“,<sup>1</sup> посвященные обсуждению возможности объяснения ослабления света при прохождении через вещество явлением рассеяния. Подобное объяснение предложил М. Планк в своей теории дисперсии. Но Л. И. Мандельштам показал, что модель Планка вообще не в состоянии дать ослабления проходящей волны. Не ограничиваясь общими соображениями, убедительно развитыми в работе о мутной среде, Л. И. Мандельштам провел вычисления, показавшие, что сущность вопроса сводится к различию в затухании изолированных вибраторов и вибраторов, образующих однородную среду. Это различие ускользнуло от Планка и было вскрыто Л. И. Мандельштамом, блестяще владевшим всем кругом вопросов теории колебаний.

Последовавшая вскоре работа Л. И. Мандельштама, в которой он изучил рассеяние света на поверхности жидкости или на границе двух жидкостей, особенно вблизи критической температуры, явилась первым теоретическим и экспериментальным исследованием молекулярного рассеяния света на поверхности жидкости и имела большое значение для выяснения природы рассеяния света вообще.<sup>2</sup>

Точно так же весьма важными представляются замечательные работы Л. И. Мандельштама по теории микроскопического изображения. В этих фундаментальных работах, имеющих не только принципиальное, но и важное практическое значение, Леонид Исаакович

<sup>1</sup> [Статьи 5, 9 и 10].

<sup>2</sup> [Статья 19].



Л. И. Мандельштам в 1895 г.



дал впервые правильную теорию изображения самосветящихся объектов и чрезвычайно остроумными наглядными методами показал, что, в противоположность взглядам Аббе, практически нет разницы в разрешающей способности микроскопа для случая освещенных и для случая самосветящихся объектов.<sup>1</sup> Пользуясь интегральными уравнениями, Л. И. Мандельштам дал позднее строгую и вместе с тем элегантную математическую теорию оптических изображений вообще, представляющую и самостоятельный математический интерес.<sup>2</sup>

Чрезвычайно остроумна и содержательна серия оптических работ, идеи которых коренятся в аналогиях с радиотелеграфией. Сюда относятся [исследование затухания собственных колебаний светящихся паров натрия (1910) и излучение источника, находящегося на расстоянии, сравнимом с длиной волны, от поверхности раздела двух сред (1914).<sup>3</sup> В первом из этих исследований в оптику был перенесен разработанный Бьеркнесом для электрических колебаний метод определения затухания контура путем снятия резонансной кривой. Взаимодействующими „контурами“ служили пары натрия, испускающие и абсорбирующие свет, причем для изменения частоты колебаний одного из „контуров“ Л. И. Мандельштам воздействовал на него магнитным полем, т. е. использовал эффект Зеемана. Второе исследование представляло собой] осуществление в оптике аналога радиотелеграфной проблемы Зоммерфельда, т. е. излучения источника, расположенного на поверхности раздела земля — воздух. [Здесь Л. И. Мандельштам использовал явление полного внутреннего отражения, при котором световое поле проникает во вторую среду на глубину, составляющую долю световой волны. Взяв в качестве второй среды раствор флюоресцирующего вещества, Л. И. Мандельштам не только дал яркую иллюстрацию этому интересному явлению, но и использовал свечение тончайшего слоя для изучения законов распространения света в пространстве, непосредственно примыкающем к источнику.]

Все эти исследования, часть коих представляла собой блестящие, весьма содержательные и принципиальные полемики с Планком, Флемингом и Люммером,<sup>4</sup> в которых Леонид Исаакович доказал

<sup>1</sup> [Статья 15].

<sup>2</sup> [Статья 17].

<sup>3</sup> [Статьи 12 и 20].

<sup>4</sup> [Статьи 5, 9, 10; 8 и 16].

ошибочность их воззрений, принесли ему признание и известность не только среди радиоспециалистов, для которых он к тому времени уже был признанным авторитетом, но и среди физиков вообще.

В страсбургский период своей жизни Леонид Исаакович завязал многочисленные научные связи и знакомства, которые содействовали развитию его научных идей и воззрений и, в известной мере, и их распространению. Не говоря уже об его учителе, большом ученом, профессоре Ф. Брауне, прекрасном экспериментаторе и человеке, тесное научное общение с которым перешло постепенно в своеобразные дружеские отношения, Леонид Исаакович в последние годы пребывания в Страсбурге сблизился также и со своим прежним профессором математики Г. Вебером, которого он очень уважал. Общение с этими выдающимися учеными и прекрасными людьми с широкими взглядами на вещи и гуманным, благожелательным отношением к людям вообще, и особенно к молодежи, несомненно, способствовало укреплению соответственных черт характера Леонида Исааковича. Может быть, достаточно яркой характеристикой личности профессора Брауна, его простоты, столь отличной от чопорности и важности Geheimrath'ов от науки, отсутствия в нем чванства и боязни умалить свой престиж, а также того, как высоко он ценил Леонида Исааковича, может служить то обстоятельство, что он как обыкновенный слушатель посещал читавшиеся первое время Леонидом Исааковичем курсы по специальным отделам физики, причем аккуратно приходил на лекции, внимательно слушал и усердно делал записи в своей знаменитой памятной книжке. Леонид Исаакович был не только постоянным помощником и консультантом профессора Брауна во многих его исследованиях по электрическим колебаниям и вопросам радиотелеграфии, но в последние годы сделался вообще его неизменным советчиком. Почти каждый день в 12 часов, после своей лекции по экспериментальной физике, профессор Браун делал большую прогулку с Леонидом Исааковичем, во время которой они беседовали на различные научные и другие темы. На этих прогулках их всегда сопровождал большой сен-бернар „Лео“, любимец Брауна.

Несомненно много вынес также Леонид Исаакович от научного общения и дискуссий по принципу относительности с теоретиком, профессором Э. Коном, прекрасные лекции которого, являвшие пример строгого логического построения, в известной степени как бы пронизанного духом юридического формализма, характерного для профессора Э. Кона (который первоначально получил

юридическое образование), безусловно много дали Леониду Исааковичу и как студенту и как будущему лектору.

Следует упомянуть также и об известном радиоспециалисте, профессоре Ионатане Ценнеке, старшем коллеге Леонида Исааковича и предшественнике его в должности первого ассистента Страсбургского физического института. Хотя профессор Ценнеке и был старше Леонида Исааковича лет на десять и обладал большими практическими знаниями, но Леонид Исаакович уже тогда отличался особой остротой ума и глубиной и логичностью мысли, а также ясностью своих теоретических познаний. Поэтому пользы от этого научного общения, несомненно, было больше для Ценнеке. Так, например, просмотрев, по просьбе Ценнеке, рукопись написанного им в 1904—1905 гг. первого большого и в известном смысле классического курса „Electromagnetische Schwingungen und Drahtlose Telegraphie“, Леонид Исаакович обнаружил и исправил ряд ошибок и неточностей принципиального характера.

В Страсбурге же завязалось знакомство Леонида Исааковича, перешедшее в дружбу, с известным специалистом в области механики и прикладной математики профессором Рихардом Мизесом, переехавшим туда в 1909 г. из Брюнна и занявшим в Страсбургском университете кафедру прикладной математики. Леонид Исаакович часто беседовал с Мизесом, прекрасным математиком с острым умом, который также находил удовольствие в строгих построениях и в установлении тонких логических различий. Дискуссия о роли аксиоматики в логическом обосновании механики и точных наук, в частности статистической физики, базирующейся на теории вероятности, большим знатоком которой являлся Мизес, удовлетворяли потребности ума Леонида Исааковича в полной ясности мысли. Все это наряду с мыслями А. Пуанкаре, изложенными в его прекрасной книге „La Science et l'Hypothèse“, немало помогло Леониду Исааковичу полностью разобраться и создать в последние годы, уже в Москве, законченное и внутренне не противоречивое логическое обоснование статистической физики.

Страсбургский физический институт пользовался мировой известностью как передовой научный центр, особенно в области эксперимента, еще со времен Кундта. Эта известность поддерживалась во время пребывания там Леонида Исааковича как работами профессора Брауна и его школы в области электрических колебаний и радиотелеграфии, так и, впоследствии, работами Леонида Исааковича в области оптики и статистической физики. Эта известность



**Л. И. Мандельштам (третий справа) с группой товарищей по окончании гимназии (1897 г.)**

привлекала в Страсбург не только молодых физиков, стремившихся поработать в знаменитом институте, но и крупные ученые часто приезжали для научных бесед с профессором Брауном, а также и с Леонидом Исааковичем. В летнее время всегда бывало много посетителей, особенно из России: в Страсбурге неоднократно бывали проездом в Швейцарию и Францию П. Н. Лебедев, А. А. Эйхенвальд. Частым гостем бывал П. П. Лазарев, который в 1906—1907 гг. длительное время работал в Страсбургском физическом институте. Весной 1913 г., в связи с первыми работами А. Эйнштейна по общему принципу относительности, специально для беседы с Леонидом Исааковичем приезжал в Страсбург П. С. Эренфест. Приезжал также и знаменитый физик М. Лауе для беседы с Леонидом Исааковичем по поводу его замечательных работ по теории оптического изображения.

Леонид Исаакович был избран в 1908 г. членом Страсбургского общества естествоиспытателей и врачей, а с 1912 г. состоял членом Германского общества физиков и естествоиспытателей. Замечу, что с приходом к власти фашистов Леонид Исаакович сразу же заявил о своем выходе из этого Общества.

Помимо своих научных занятий и преподавательской деятельности, которой Леонид Исаакович со свойственной ему добросовестностью отдавал много времени, он также много читал как по вопросам философии науки и теории познания, так и изящную литературу на разных языках. Любимым его поэтом был Пушкин, стихи которого Леонид Исаакович почти все знал наизусть. Любил Леонид Исаакович и книги о знаменитых путешествиях. В страсбургский период у Леонида Исааковича внезапно проснулся интерес к музыке и искусству. Леонид Исаакович часто посещал концерты серьезной музыки, особенно камерные, ходил в картинные галереи, интересовался историей искусства, в частности древнеегипетского. Леонид Исаакович был большим любителем разных игр, особенно умственных, а также спорта. Он с большим увлечением играл на бильярде, в теннис, ездил на велосипеде, катался на коньках. Однако физически мало выносливый, он не был спортсменом, а скорее „болельщиком“ и очень любил посещать различные спортивные состязания. Очень любил Леонид Исаакович природу вообще, особенно море, любил путешествия и легкие прогулки пешком. Почти все каникулярное время в перерыве между семьями Леонид Исаакович сначала один, а после женитьбы — с семьей проводил в Одессе с родными, а в кратковременные

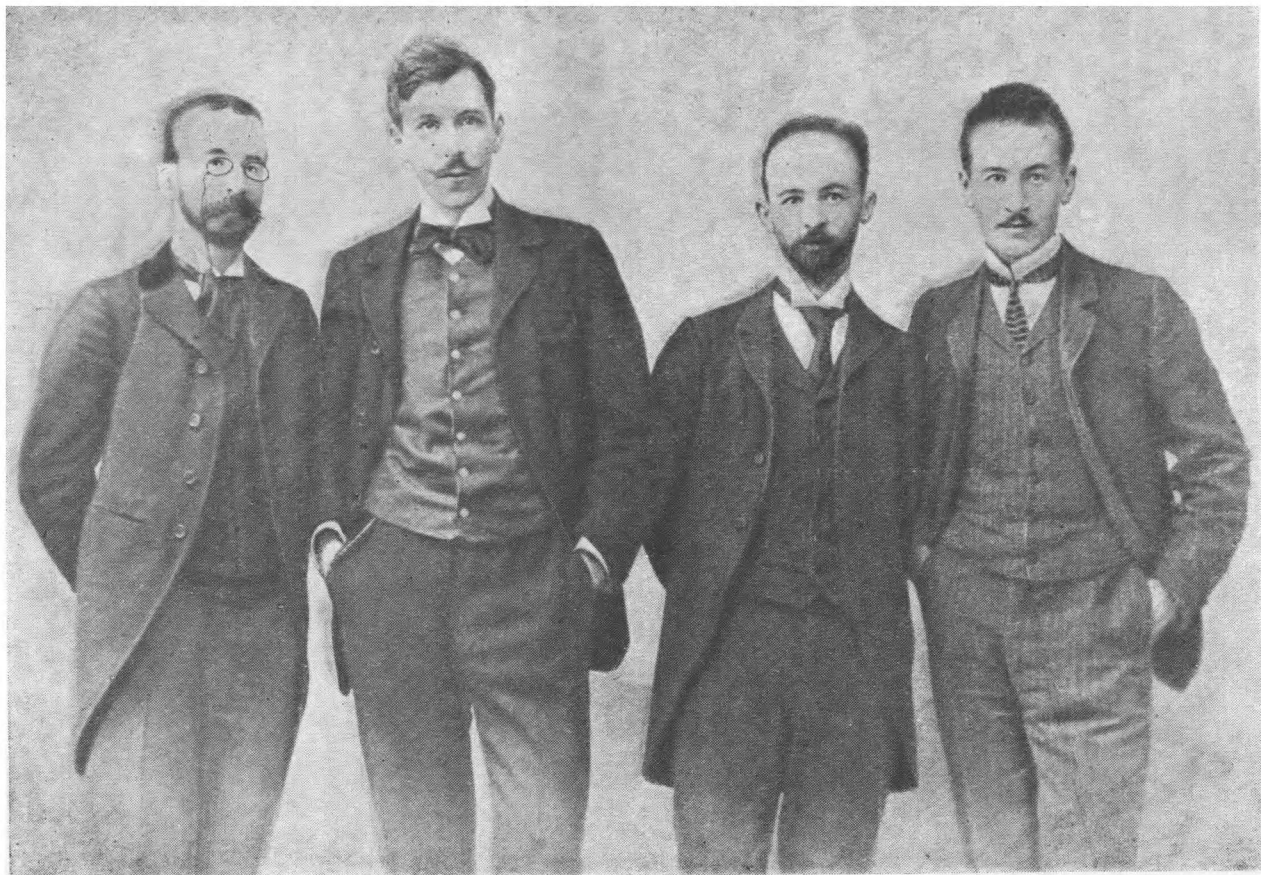
летние и зимние каникулы он обыкновенно ездил по Франции, Швейцарии, Италии и Германии, причем его интересовала не только природа, но и искусство.

С началом первой мировой войны закончился страсбургский период научной деятельности Леонида Исааковича. В конце июля 1914 г., едва закончив лекции, в грозной атмосфере надвигающейся войны Леонид Исаакович вместе с семьей спешно выехал на родину, в Одессу, куда и прибыл в день объявления войны. Лишенный возможности продолжать научную работу в течение первой мировой войны, а затем и гражданской войны, Леонид Исаакович не прерывал, однако, интенсивной научно-технической и педагогической деятельности в родной стране. В 1915 г. он был избран физико-математическим факультетом Новороссийского университета в Одессе приват-доцентом по физике, однако не смог здесь развернуть работу и в конце 1915 г. переехал в Петроград, куда был приглашен в качестве консультанта радиотелеграфного завода Сименс и Гальске (ныне завод им. Козицкого), где и пробыл до осени 1917 г. Здесь, помимо руководства лабораторными исследованиями в области радио — разработок схем и методов измерений, Леонид Исаакович занимался и чисто инженерными вопросами. В этой работе, столь несвойственной Леониду Исааковичу по его склонностям и влечениям, он проявил присущие ему качества прекрасного экспериментатора, с исключительной изобретательностью находившего наиболее простые пути разрешения встречавшихся технических трудностей. По воспоминаниям его ученика и долготелетнего сотрудника, известного радиоинженера, доктора технических наук Е. Я. Щеголева, бывшего в то время студентом-практикантом на этом заводе, все работавшие вместе с Леонидом Исааковичем всегда поражались, „как красиво и подчас гениально просто решались Леонидом Исааковичем иной раз очень и очень непростые технические задачи, так просто, что невольно у каждого из нас возникал вопрос, почему же это раньше не пришло мне в голову?“ Ярким примером этому может служить предложенный Леонидом Исааковичем в 1916 г. абсолютный метод градуировки волномера, описанный в 1918 г. в русской печати его учеником Л. Б. Слепяном и в 1920 г. в журнале „Philosophical Magazine“ профессором Тыкоцинером как абсолютный способ измерения радиочастот, принцип которого с тех пор лег в основу всех абсолютных измерений частот, а также разработку Леонидом Исааковичем технологии оксидирования проволоки для реостатов и налажение ее производства.

Осенью 1917 г., по приглашению Совета Тифлисского политехнического института, Леонид Исаакович с женой переехал в Тифлис, где был избран исполняющим должность ординарного профессора физики. Одновременно Леонид Исаакович состоял также и профессором Женских курсов. Однако в Тифлисе Леонид Исаакович оставался недолго. Осенью 1918 г. он снова в Одессе. Здесь в то время, по инициативе приезжих и местных профессоров, а также студентов столичных и других высших учебных заведений, эвакуированных во время войны, начал создаваться Одесский политехнический институт, в организации которого Леонид Исаакович принимал самое активное участие. В качестве заведующего кафедрой физики нового института Леонид Исаакович привлек туда для преподавания Н. Д. Папалекси, а позднее и М. А. Аганина (ныне покойного, крупного геофизика и магнитолога), И. Е. Тамма, Б. Ф. Цомакиона и др., и совместно с ними, а также с помощью своего помощника К. Б. Романюка и группы студентов создал буквально на пустом месте физическую лабораторию, собрав из разных мест нужные физические приборы и поставив чтение лекций по физике и практические занятия на высоком научном уровне.

Отношение Леонида Исааковича к преподаванию как к высокому долгу, а также исключительная добросовестность особенно проявились в то исключительно тяжелое время гражданской войны, интервенции, отсутствия света, голода, холода и эпидемических болезней. Его одесские товарищи, сотрудники и ученики хорошо помнят, в каких тяжелых условиях приходилось тогда читать лекции и вести занятия. Зимой, в нетопленных аудиториях, Леонид Исаакович не только регулярно читал обязательные лекции, но по собственной инициативе прочел еще для небольшой группы заинтересованных студентов курс колебаний. Со своей стороны, студенты высоко ценили Леонида Исааковича и как ученого, и как учителя, и как человека и всячески старались облегчить ему тяжелые условия жизни.

В Одессе Леонид Исаакович сумел собрать вокруг себя группу талантливых молодых ученых и студентов (И. Е. Тамм, К. Б. Романюк — известный специалист в области электроники, Е. Я. Щеголев, безвременно скончавшиеся братья Горовиц, очень талантливые многообещавшие физики, Б. Ф. Марковский и др.). Он также в свободное от преподавания время продолжал думать над научными вопросами, исследование и выяснение которых было



Л. И. Мандельштам (крайний справа) с А. Г. и Л. Г. Гурвичами и В. Мандельштамом (Берн, 1902 г.)



так жестоко прервано мировой войной. Размышляя над вопросами рассеяния света, Леонид Исаакович уже в 1919—1920 гг. пришел к заключению, что и в совершенно свободном от посторонних примесей однородном теле в силу тепловых флуктуаций не только должно наблюдаться релеевское рассеяние света, но что и спектр падающего света должен претерпевать изменения, правда очень незначительные. Этот так называемый „эффект Мандельштама — Бриллюэна“ и был окончательно установлен и исследован Е. Ф. Гроссом в 1930 г. Однако невозможность развернуть серьезную научную работу, отсутствие научной литературы и оторванность от научных центров как наших, так и зарубежных, вызванные блокадой, очень удручали Леонида Исааковича. Большой радостью для Леонида Исааковича было получение им от научных друзей книги „Spektrallinien und Atombau“ Зоммерфельда. Эти годы тяжелых физических лишений были для Леонида Исааковича связаны также и с тяжелыми личными переживаниями. В 1921 г., после длительной болезни, скончался отец Леонида Исааковича, к которому он был очень привязан.

Летом 1922 г. Леонид Исаакович принял предложение правления Электротехнического треста заводов слабого тока взять на себя руководство в качестве научного консультанта научными и научно-техническими исследованиями в московской Радиолaborатории треста и в конце октября переехал с семьей в Москву (одновременно с ним переехал в Москву и я, получивший аналогичное приглашение). Основным поводом для принятия этого предложения для Леонида Исааковича, которого преподавание и научная работа всегда привлекали больше, чем техника, была невозможность постановки в Одессе серьезных научных исследований из-за отсутствия приборов и литературы.

В марте 1923 г. Леонид Исаакович выехал в двухмесячную научную командировку в Германию, где встретился с рядом ученых, в том числе с А. Эйнштейном. По возвращении в Москву Леонид Исаакович продолжал научно-технические исследования в Радиолaborатории и изучал привезенную им из-за границы новейшую научную литературу.

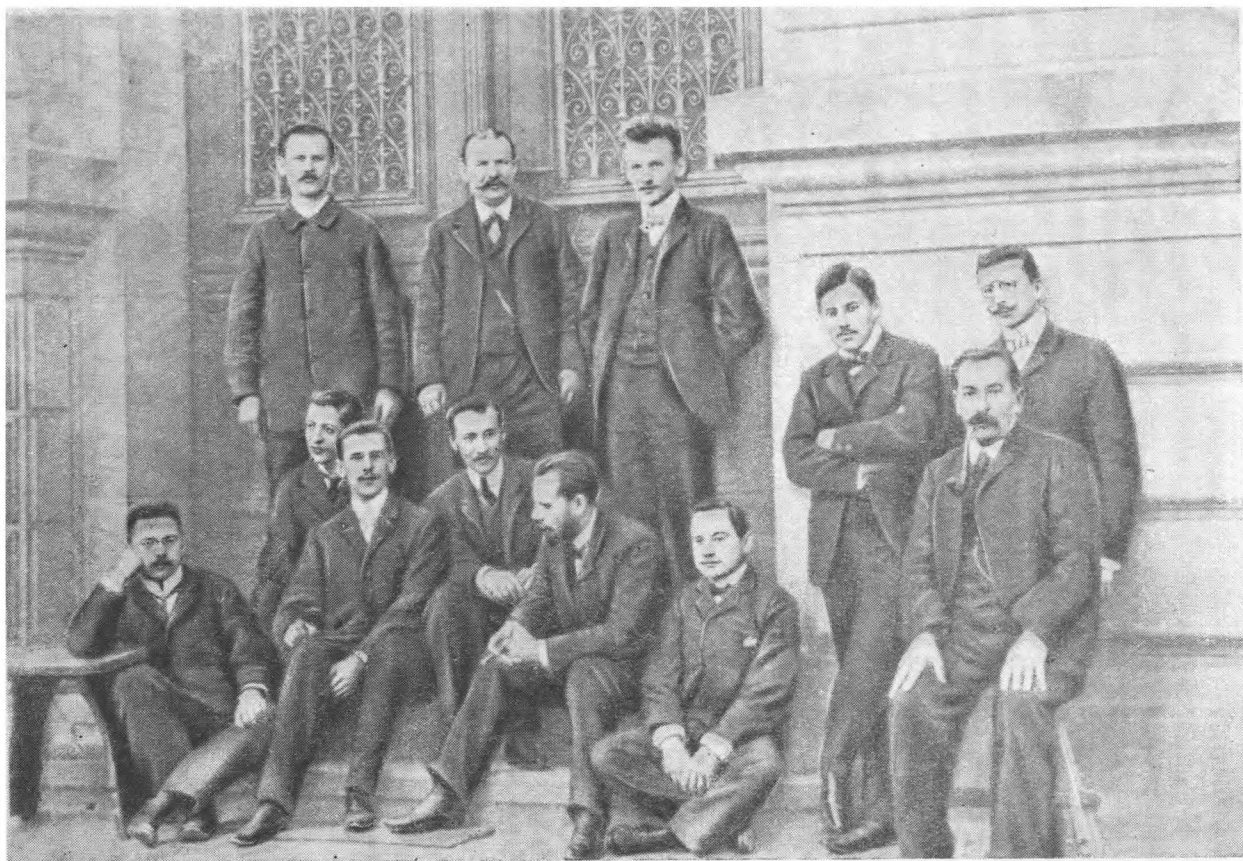
В начале 1924 г., в связи с переводом правления Треста заводов слабого тока и Радиолaborатории в Ленинград и преобразованием ее в Центральную радиолaborаторию [ЦРЛ], Леонид Исаакович переехал в Ленинград. Здесь, в прекрасно оборудованной для того времени Центральной радиолaborатории, получавшей новейшую

литературу не только в области радиотехники, условия были очень благоприятны для проведения исследований в области радиофизики и радиотехники. Из многочисленных исследований, проведенных Леонидом Исааковичем (вместе с Н. Д. Папалекси) в Центральной радиолaborатории до 1925 г., достаточно, может быть, указать, например, на новые способы радиотелеграфной и радиотелефонной модуляции, вопросы стабилизации частоты, высокоселективные приемники.

Однако одна только научно-техническая работа в области радио, как бы глубоко принципиальна и плодотворна она ни была, не давала полного удовлетворения Леониду Исааковичу; его влекло к научным исследованиям в области чистой физики и к преподаванию в высшей школе. Еще в 1923 г., в Москве, Леониду Исааковичу было предложено взять на себя заведывание кафедрой физики в Московском институте путей сообщения, однако условия как для исследовательской, так и для педагогической работы были там весьма неудовлетворительны: студенты-путейцы не только имели слабую физическую подготовку (физика была для них второстепенным предметом), но их общее развитие было тогда весьма слабо. Поэтому Леонид Исаакович от преподавания в МИПС вынужден был отказаться. Когда же в 1925 г. Леонид Исаакович был приглашен в Московский государственный университет в качестве заведующего кафедрой теоретической физики и члена Научно-исследовательского института физики при университете, то он очень охотно принял этого приглашение и переехал в Москву, но продолжал до 1935 г. в качестве консультанта (вместе с Н. Д. Папалекси) вести исследовательские работы в области радио в Центральной радиолaborатории.

С этого времени начался самый насыщенный и плодотворный период научной и педагогической деятельности Леонида Исааковича. В очень короткое время научный авторитет Леонида Исааковича и его исключительное личное обаяние объединили в Научно-исследовательском институте физики при МГУ талантливых молодых ученых (Г. С. Ландсберг, И. Е. Тамм и др.), а его выдающиеся по содержанию и форме лекции и исключительно содержательные семинары, к которым Леонид Исаакович всегда очень тщательно готовился, привлекли к нему много талантливой молодежи — студентов и аспирантов. Под руководством Леонида Исааковича, вдохновленные его научными идеями, молодые ученые начали проводить исследования в различных областях физики — оптике, учении

о колебаниях, молекулярной физике и др., и образовали большую научную школу, из которой вышли многие крупные ученые (академик А. А. Андронов, академик М. А. Леонтович, проф. С. Э. Хайкин, проф. Г. С. Горелик, проф. С. М. Рытов, А. А. Витт, С. П. Шубин, М. А. Дивильковский, М. И. Филиппов, С. П. Стрелков и др.). За период от 1925 до 1935 г., который можно условно назвать первым московским периодом научной деятельности Леонида Исааковича, в благоприятной для научных исследований атмосфере пышно расцвели и дали обильные плоды научные идеи, выношенные им в долгие предшествующие годы вынужденного отрыва от научной работы. Наряду с исследованиями в области электрических колебаний и их технических применений, которые проводились Леонидом Исааковичем совместно с Н. Д. Папалекси в Центральной радиолaborатории в Ленинграде и которые были тесно связаны с исследованиями в этой области, проводившимися под руководством Леонида Исааковича в Научно-исследовательском институте физики в Московском университете, он продолжал также свои исследования вопросов рассеяния света в связи с флюктуационными явлениями. В области электрических колебаний наиболее фундаментальные и научно важные результаты дало создание новой главы теории колебаний — учение о нелинейных колебаниях, повлекшее за собой открытие новых видов резонанса и создание новых способов возбуждения колебаний (автопараметрическое, гетеропараметрическое, асинхронное), что привело, с одной стороны, к существенному расширению и эволюции понятия резонанса, и, с другой стороны, к созданию новых радиоустройств и электрических машин нового типа, так называемых „параметрических“ машин. Кульминационным пунктом работ Леонида Исааковича в области рассеяния света было фундаментальное открытие им в 1928 г. совместно с Г. С. Ландсбергом явления комбинационного рассеяния света. Это открытие, которое одновременно с русскими физиками было сделано индусским ученым Раманом и которое является одним из крупнейших открытий в оптике за последние 25 лет, несомненно поставило имя Леонида Исааковича в ряд с крупнейшими учеными современности. В том, что сообщение Леонида Исааковича поступило в печать позже телеграфного сообщения в „Nature“ Рамана, несмотря на то, что открытие Рамана было фактически сделано позже, чем у нас, сказались исключительная, доходившая до болезненности требовательность Леонида Исааковича к своим публикациям, из-за которой он сообщал в печати



Л. И. Мандельштам (сидит в центре) с сотрудниками Страсбургского физического института (1905 г.)

о новых научных результатах лишь после многократной предварительной проверки их в течение длительного времени. Здесь повторилось то же, что имело место в 1911 г., когда Леонид Исаакович не считал возможным опубликовать обоснованные им теоретически и установленные качественно на опыте совместно с Н. Д. Папалекси, за несколько лет до классических опытов Стюарта и Толмена, инерционные явления электронов в металлах.

Здесь нет возможности останавливаться на рассмотрении других многочисленных, принципиально важных и глубоких исследований как в области нелинейных колебаний, так и рассеяния света, опубликованных Леонидом Исааковичем [частью совместно со своими товарищами и учениками], тем более что эти работы будут более подробно рассмотрены во второй части биографии.<sup>1</sup> Достаточно, может быть, указать, что уже к 1935 г. число научных работ по нелинейным колебаниям у нас в СССР достигало около 100 и что в настоящее время оно значительно больше 200, для того чтобы ясно было значение созданной Леонидом Исааковичем и связанной с его именем нелинейной школы физиков. На первую Международную конференцию по нелинейным колебаниям в Париже в 1933 г. были приглашены, кроме Леонида Исааковича, одного из инициаторов этой конференции, также Н. Д. Папалекси, А. А. Андронов и А. А. Витт (принимал в ней участие лишь Н. Д. Папалекси), а в 1934 г., по приглашению оргбюро, подробный доклад об исследованиях в области нелинейных колебаний, проведенных у нас, и составленный Л. И. Мандельштамом, Н. Д. Папалекси, А. А. Андроновым, А. А. Виттом и С. Э. Хайкиным, был представлен Конгрессу Радиофизического союза (URSI) в Лондоне.<sup>2</sup>

Для полной характеристики широты и глубины научного творчества Леонида Исааковича в этот период необходимо еще указать на опубликованную им в 1928 г. совместно с М. А. Леонтовичем замечательную работу по квантовой механике, касающуюся уравнения Шрёдингера, в которой, в сущности говоря, содержатся все основы теории прохождения частиц через потенциальный барьер, послужившей основой для теории альфа-распада радиоактивных частиц.

---

<sup>1</sup> [Н. Д. Папалекси предполагал написать вторую часть биографии Л. И. Мандельштама, посвященную анализу научного творчества Л. И. Мандельштама].

<sup>2</sup> [Том III, статья 61].

Наряду с весьма интенсивной научной работой в НИИФ и ЦРЛ, необходимо особо отметить замечательную деятельность Леонида Исааковича как профессора и учителя молодежи, которая у него была неотделима от его научной работы. Эта особенность творчества Леонида Исааковича, которое носило в известной мере коллективный характер, проявлялась в том, что у него не было резкой границы между преподаванием и научно-исследовательской работой. Как уже было отмечено, Леонид Исаакович относился к преподаванию, как к исключительно важному высокому долгу, и отдавал очень много времени подготовке к лекциям и семинарам, а также беседам со студентами и аспирантами. Леонид Исаакович состоял редактором журналов „Прикладная физика“ и „Physikalische Zeitschrift der Sowietunion“, а также членом редколлегии „Журнала теоретической и экспериментальной физики“. В 1928 г. Леонид Исаакович был избран в члены-корреспонденты, а в 1929 г. в действительные члены Академии Наук СССР, причем ярким свидетельством его огромного научного авторитета и исключительно широкой научной известности может служить то обстоятельство, что он был выдвинут в действительные члены Академии Наук почти всеми высшими учебными заведениями и научными учреждениями Союза.

С избранием Леонида Исааковича в академики еще более расширились сфера его научной деятельности и круг его научных интересов. Леонид Исаакович с самого начала принимает участие в работах Отделения физико-математических наук, в его собраниях и работах комиссий, а с переводом Академии в Москву в 1934 г. — в организации физического института Академии Наук, где с 1935 г. под его руководством и при его участии в лабораториях колебаний и оптики проводились исследования в области колебаний, оптики и молекулярной физики.

В этот первый московский период научной деятельности Леонида Исааковича возникла замечательная школа физиков, замечательная не только и не столько своим прекрасным знанием физики, искусным владением аппаратом современной теории и умением его конкретного применения, как умением физически логически мыслить, правильно ставить задачу и отделять в ней существенное от несущественного, продумывать ее глубоко и до конца. Эта школа, как было замечено выше, завоевала международное признание как в области нелинейных колебаний, так и рассеяния света...<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [Краткая биография Л. И. Мандельштама, задуманная и в значительной степени написанная Н. Д. Папалекси, осталась незаконченной вследствие внезап-

\* \* \*

Последнее двадцатилетие в жизни Л. И. Мандельштама, начинающееся с его окончательного переезда в Москву в 1925 г. в связи с избранием профессором физики Московского государственного университета, было расцветом его научной и педагогической деятельности. С этим периодом связаны наиболее выдающиеся достижения Л. И. Мандельштама в области учения о колебаниях, оптики и молекулярной физики, корни которых были заложены всей его предшествующей деятельностью. Вокруг него собираются особенно многочисленные группы сотрудников и учеников, многие из которых еще при жизни Л. И. Мандельштама заняли выдающееся положение и стали проводниками его идей среди еще более обширного круга молодежи. В течение этого периода Л. И. Мандельштам провел серию важнейших курсов и семинаров по фундаментальным проблемам физики. К этому периоду относятся и многократные проявления общественного признания его исключительных заслуг: избрание в 1928 г. членом-корреспондентом, а в 1929 г. действительным членом Академии Наук СССР, присуждение ему важнейших научных премий по физике — премии им. Ленина (в 1931 г.), премии им. Менделеева (в 1936 г.) и премии им. Сталина (в 1942 г.), и награждение его орденами Союза ССР — орденом Трудового Красного Знамени (в 1940 г.) и орденом Ленина (1944 г.).

С 1925 г. Л. И. Мандельштам становится центральной фигурой физического факультета Московского государственного университета. Руководимый им кабинет теоретической физики быстро превращается в крупную исследовательскую лабораторию, где наряду

---

ной кончины Н. Д. Папалекси в феврале 1947 г. Близкая дружба и тесное научное сотрудничество, связывавшие обоих ученых на протяжении почти полувека, наложили особый отпечаток внутренней теплоты на биографический очерк, задуманный Н. Д. Папалекси. Естественно, что не представлялось возможным закончить его, не нарушая индивидуального характера написанного. Поэтому Комиссия по изданию трудов Л. И. Мандельштама решила оставить этот очерк в том незавершенном виде, в каком он вышел из-под пера Н. Д. Папалекси, введя в текст лишь краткие дополнения (они заключены в квадратные скобки), дающие более подробную характеристику некоторых работ Л. И. Мандельштама, относящихся к периоду до 1925 г., когда Л. И. Мандельштам окончательно переехал в Москву. Кроме того, Г. С. Ландсбергом при участии Г. С. Горелика, И. Е. Тамма, М. А. Леонтовича и С. М. Рытова составлен краткий очерк деятельности Л. И. Мандельштама за последние годы. Некоторые повторения, касающиеся вопросов, уже затронутых в очерке Н. Д. Папалекси, конечно, оказались при этом неизбежными].

с теоретической работой разворачиваются и экспериментальные исследования, приведшие, несмотря на бедность технических средств, к результатам первостепенного значения. С 1934 г., с момента переезда в Москву Академии Наук, Л. И. Мандельштам принимает активное участие в развертывании физического института Академии Наук, где были созданы две лаборатории, призванные осуществлять идеи и замыслы Л. И. Мандельштама: Лаборатория колебаний (под руководством Н. Д. Папалекси) и Лаборатория оптики (под руководством Г. С. Ландсберга). Такая форма организации, при которой на Л. И. Мандельштаме не лежало никаких организационных забот и которая в силу дружественной близости с руководителями лабораторий, интимного понимания и непререкаемого авторитета давала ему полную возможность широко проявлять свою научную инициативу, была особенно по душе Л. И. Мандельштаму.

Вместе с работой в Физическом институте Л. И. Мандельштам сохранил за собой и руководство кафедрой в Московском государственном университете, где он из года в год осуществлял свои блестящие лекции и семинары и где продолжалась и исследовательская работа, правда, в силу некоторых неблагоприятных обстоятельств, в меньшем масштабе, чем это соответствовало желаниям Л. И. Мандельштама.

Основными направлениями научной работы Л. И. Мандельштама за этот период были исследования в области рассеяния света, которые тесно сплетались с проблемами молекулярной физики и дали впоследствии начало новому направлению работы, которое можно условно назвать исследованиями по ультраакустике. В то же время в высшей степени продуктивно развивались исследования по нелинейным колебаниям с их многочисленными и важными практическими применениями и новая область радиофизики — радиointерферометрия, где исследования по распространению радиоволн над поверхностью земли и моря привели к практически важному методу определения расстояния между двумя пунктами. Параллельно с этими систематическими исследованиями по двум главным руслам научных интересов Л. И. Мандельштама его внимание все больше привлекают теоретические изыскания по отдельным узловым вопросам волновой механики, особенно по проблемам, имеющим важное теоретико-познавательное значение. Интерес к подобного рода проблемам, связанным с аксиоматикой и логическим обоснованием основных методов физики, всегда был живым у Л. И. Мандельштама; в последние годы его деятельности



направление это не только не ослабевало, но, повидимому, имело тенденцию сделаться решающим.

Проблема рассеяния света, как одна из центральных проблем взаимодействия света и вещества, интересовала Л. И. Мандельштама на протяжении всей его научной жизни. Фундаментальные результаты в области теории рассеяния, добытые трудами Л. И. Мандельштама, Смолуховского и Эйнштейна, показали, что причиной молекулярного рассеяния света являются статистические флуктуации показателя преломления, обусловленные в основном флуктуациями плотности вещества. Эйнштейн построил теорию молекулярного рассеяния, в которой последнее интерпретируется как диффракция на пространственных решетках, соответствующих отдельным членам разложения флуктуаций показателя преломления в трехмерный ряд Фурье. Независимо от этого, Дебай создал свою знаменитую теорию теплоемкости твердых тел, в которой тепловое движение рассматривается как совокупность акустических волн.

Л. И. Мандельштам сумел увидеть тождество „формальных“ эйнштейновских решеток и акустических волн Дебая. Далее его мысль естественно пошла по такому пути. Плотность в акустических волнах и с нею показатель преломления периодически меняются не только в пространстве, но и во времени. Следовательно, и интенсивность рассеянного света должна меняться во времени, так что, выражаясь на языке радиофизики, рассеянный свет претерпевает модуляцию. В этом пункте на помощь пришло искусство, с каким Л. И. Мандельштам умел оплодотворять один круг вопросов идеями, почерпнутыми из другой области. Перенеся в оптику идею модуляции, развившуюся на радиотехнических вопросах, он пришел к выводу, что рассеяние монохроматического света должно сопровождаться изменением его длины волны, изменением, которое отображает молекулярный процесс, обуславливающий рассасывание флуктуаций. Эта идея была полностью прослежена Л. И. Мандельштамом еще в 1918 г., хотя соответствующая заметка „О рассеянии света неоднородной средой“<sup>1</sup> появилась в печати значительно позже, в 1926 г., когда часть найденных Л. И. Мандельштамом результатов была уже опубликована Бриллюэном (1922).

Получив с избранием на кафедру Московского университета возможность вернуться к экспериментальной работе по оптике, Л. И. Мандельштам выдвинул проблему изменения длины волны

---

<sup>1</sup> Статья 22.

при рассеянии как первоочередную, и она-то и стала объектом изучения, предпринятого им совместно с Г. С. Ландсбергом, в цикле работ, посвященных рассеянию света кристаллическим кварцем. Именно поиски этого предусмотренного теорией Л. И. Мандельштама изменения длины волны при рассеянии и привели его совместно с Г. С. Ландсбергом к открытию (1928 г.) явления комбинационного рассеяния света, где было обнаружено изменение длины волны, но значительно большее, чем предусматривала первоначальная теория Л. И. Мандельштама.<sup>1</sup> Размышление над полученными результатами показало, что в обнаруженном явлении также имеет место процесс модуляции рассеянного света. Однако в данном случае причиной модуляции являются вариации показателя преломления, обусловленные собственными инфракрасными колебаниями молекул, а не случайные неоднородности, вызываемые распространением упругих возмущений, как предполагала первоначальная теория Л. И. Мандельштама. Вся проблема была вполне разъяснена в заметке Л. И. Мандельштама и Г. С. Ландсберга (1929), в которой было показано, что оба явления — как первоначально искавшееся, так и обнаруженное на опыте — представляют две стороны одной и той же проблемы, являясь оптическим отображением тех молекулярных процессов, которые учитываются в теории теплоемкости, с одной стороны, дебаевскими акустическими колебаниями, а с другой — борновскими инфракрасными колебаниями молекул многоатомного кристалла.<sup>2</sup>

Открытие комбинационного рассеяния, т. е. модуляция света инфракрасными колебаниями молекул, не снимало с очереди, а лишь усилило интерес Л. И. Мандельштама к исходному явлению рассеяния света на акустических волнах. Попыты в этом направлении были возобновлены и качественно было обнаружено также то малое изменение длины волны (тонкая структура рассеянного света), которое предусматривалось первоначальными соображениями Л. И. Мандельштама. Одновременно, по желанию Л. И. Мандельштама, подобные опыты были поставлены с лучшими техническими средствами в Гос. Оптическом институте в Ленинграде Е. Ф. Гроссом. Гроссу удалось более детально исследовать тонкую структуру линий рассеяния в кварце и подтвердить теорию Мандельштама с количественной стороны. Более того, Гросс обнаружил

---

<sup>1</sup> Статья 24.

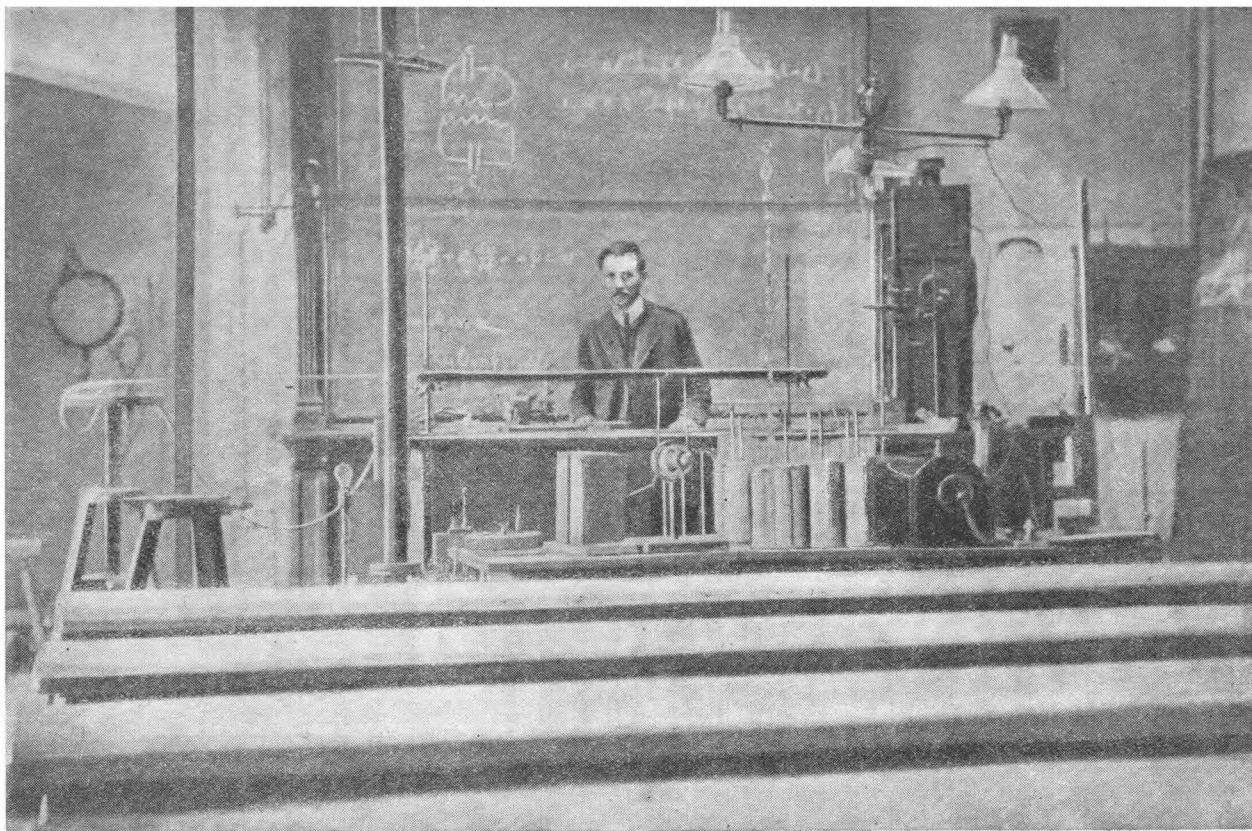
<sup>2</sup> Статья 27.

существование резкой тонкой структуры также и в случае рассеяния в жидкостях — важный результат, который был подтвержден в ряде дальнейших исследований.

Установление тонкой структуры рассеянного света в жидкостях свидетельствовало, что затухание дебаэвских акустических волн высокой частоты, на которых происходит рассеяние света в жидкостях, не столь значительно, как это можно было бы предполагать из общих соображений. Таким образом, возникла новая проблема молекулярной физики, изучение которой перекидывало мост между оптическими и ультразвуковыми исследованиями. Интерес к этим последним был пробужден у Л. И. Мандельштама публикациями Кнезера. Кнезером было показано, что наблюдающаяся в углекислоте дисперсия скорости ультразвуковых волн свидетельствует о том, что обмен энергией между внешними и внутренними степенями свободы может не успевать устанавливаться при достаточно высокой частоте колебаний.

Это интересное явление, дающее возможность судить о внутримолекулярных процессах в газах, побудило Л. И. Мандельштама поставить ряд экспериментальных работ, разъяснявших некоторые неясные стороны и, в частности, показавших на основании исследования скорости звука в гелии, что явление дисперсии связано с существованием многоатомных молекул. Связь дисперсии с абсорбцией, столь характерная для явлений оптической дисперсии, которой много занимался Л. И. Мандельштам, натолкнула его на постановку исследований абсорбции ультразвуковых волн в веществе, причем для исследований в жидкостях оказалось удобным использование метода дифракции света на ультразвуковых волнах, незадолго до того открытой в работах Люка и Бикара и Дебая и Сирса. Явление это, чрезвычайно близкое к явлению рассеяния света на естественных тепловых флуктуациях, уже давно предчувствовалось Л. И. Мандельштамом. Поэтому он быстро поставил в связь результаты изучения абсорбции ультразвуковых волн частоты  $10^5$ — $10^7$  циклов с явлениями тонкой структуры рассеянного света, наблюдаемыми в жидкостях Гроссом и обусловленными рассеянием света на ультразвуковых (тепловых) волнах, частота которых приближается к  $10^{10}$ .

В работах П. А. Бажулина, поставленных по указаниям Л. И. Мандельштама, был собран обширный экспериментальный материал, показавший, что затухание ультразвуковых волн обуславливается не только обычным коэффициентом вязкости (связанным



Л. И. Мандельштам в одной из аудиторий Страсбургского института (1908 г.)

со сдвигом), но и так называемым вторым коэффициентом вязкости (связанным со всесторонним сжатием) и растет пропорционально квадрату частоты. Экстраполяция данных для коэффициента абсорбции, полученных в доступном для пьезоэлектрической техники диапазоне частот колебаний (примерно до  $10^8$ ), на область частот, играющих роль в явлениях рассеяния света ( $\sim 10^{10}$ ), приводит к результату, не совместимому с наблюдаемой Гроссом и другими отчетливо выраженной тонкой структурой рассеянного света, позволяющей оценить верхний предел коэффициента затухания при этих частотах. Л. И. Мандельштаму удалось и здесь найти ключ к пониманию. Им была совместно с М. А. Леонтовичем создана релаксационная теория затухания ультразвуковых волн,<sup>1</sup> позволившая разъяснить наблюдаемое экспериментальное противоречие и дающая возможность оценить время релаксации соответствующего коэффициента вязкости. В этих работах дело касалось коэффициента, характеризующего всестороннее сжатие, играющее основную роль в жидкостях, обычная вязкость которых не очень значительна. В дальнейших работах, экспериментальных и теоретических, выполненных по указаниям Л. И. Мандельштама (П. А. Бажулиным и М. И. Исаковичем), подобное толкование было распространено и на обычный коэффициент вязкости и таким образом было устранено противоречие между ультразвуковыми и оптическими оценками затухания для таких вязких жидкостей, как, например, глицерин.

Ультразвуковые проблемы в понимании Л. И. Мандельштама были, таким образом, непосредственно и тесно связаны с оптическими проблемами, в частности с вопросами рассеяния света.

Чрезвычайный интерес в этой связи представляет заметка Л. И. Мандельштама о рассеянии света неравномерно нагретой средой,<sup>2</sup> в которой он показал, что в зависимости от затухания тепловых волн интенсивность рассеяния может определиться температурой не того места, где рассеивается свет, а средней температурой некоторой довольно значительной области. Другими словами, понятие „температуры“ сильно зависит от того, какое физическое явление использовано в качестве термометра. Выводы Л. И. Мандельштама вызвали постановку соответствующего экспериментального исследования (Г. С. Ландсберг и А. А. Шубин), показавшего,

---

<sup>1</sup> Том II, статьи 42 и 43.

<sup>2</sup> Том II, статья 3<sup>о</sup>.

что для кристаллического кварца затухание ультразвуковых волн еще слишком мало, для того чтобы эффект, предсказанный Л. И. Мандельштамом, имел измеримое значение. Таким образом, был оценен нижний предел коэффициента затухания в кварце ультразвуковых волн частоты  $\sim 10^{10}$ , в то время как соображения Л. И. Мандельштама о тонкой структуре света, рассеянного кварцем, позволили оценить верхний предел того же коэффициента.

Наряду с рассеянием света, тесно связанным с проблемами затухания ультразвуковых (тепловых) волн, Л. И. Мандельштам продолжал интересоваться и другими аспектами задачи о рассеянии. Так, в нескольких работах (совместно с Г. С. Ландсбергом) им было предугадано и экспериментально изучено явление, получившее название „селективного рассеяния света“<sup>1</sup>, где вновь было привлечено внимание к той тесной связи между явлениями рассеяния и дисперсии, которую Л. И. Мандельштам подчеркнул еще в 1907 г. Явление это, состоящее в аномальном ходе зависимости интенсивности рассеянного света от длины волны вблизи собственных линий поглощения вещества, было изучено на парах ртути и представляет переход от обычного рассеяния в газах к резонансной флуоресценции.

Точно так же Л. И. Мандельштам неоднократно возвращался к проблеме рассеяния света на поверхности жидкости, статистическую теорию которого он дал в 1913 г. По его указаниям, А. А. Андронов и М. А. Леонтович расширили и дополнили эту теорию, а Ф. С. Барышанская провела экспериментальное исследование зависимости интенсивности рассеянного света от длины волны, подтвердив указанный теорией Мандельштама закон  $1/\lambda^2$ , в отличие от закона  $1/\lambda^4$ , характерного, по Релею, для объемного рассеяния.

Наряду с вопросами оптики, одно из главных мест в размышлениях и творчестве Л. И. Мандельштама всегда занимало учение о колебаниях. Бывали периоды, когда вопросы колебаний больше всего владели его вниманием. Можно было бы выразиться сильнее: Л. И. Мандельштам понимал учение о колебаниях очень широко. Он говорил, что, наряду с „национальными“ языками механики, акустики, оптики, электродинамики, существует „интернациональный язык теории колебаний“, охватывающий все эти области и позволяющий, обладая интуицией в одной из них, легко разбираться в остальных. В последние годы жизни Л. И. Мандельштам высказывал

---

<sup>1</sup> Статья 31; том II, статья 41.

убеждение, что учение о колебаниях сыграло первостепенную роль в развитии всей физики, что главные физические открытия по существу были колебательные.

С этой широкой точки зрения все работы Л. И. Мандельштама относятся к учению о колебаниях. Ниже речь идет о работах по колебаниям, понимаемым в обычном, более узком смысле.

Еще в Страсбурге Л. И. Мандельштам изучил и продумал классическую теорию колебаний и волн. Главным источником его знаний в этой области были работы Релея — его многочисленные мемуары и двухтомный трактат „Theory of Sound“. Л. И. Мандельштам полностью унаследовал ту линейную колебательную культуру, энциклопедия которой содержится в сочинениях Релея, и старался передать ее следующему поколению. Он пристально следил за развитием математических методов, связанных с этой областью, и существенно обогатил линейную теорию колебаний в своих лекциях и семинарах, в исследованиях, которыми он руководил. Среди исследований, относящихся к классической линейной теории колебаний, выполненных по идеям Мандельштама, отметим работу С. П. Шубина, в которой релейевская теория возмущений в линейных колебательных системах распространена на особенно важный случай, когда несколько собственных колебаний исходной системы имеют одинаковые частоты, а также работу А. А. Витта и С. П. Шубина, в которой разъясняется физический смысл парадоксального утверждения, что если закрепить мембрану в произвольной точке, то частоты ее колебаний не меняются; разрешение парадокса состоит в том, что частоты повышаются при закреплении конечной (хотя и сколь угодно малой) области.

В своих лекциях и семинарах, в своем докладе на конференции по колебаниям (1931)<sup>1</sup> Л. И. Мандельштам дал исчерпывающее разъяснение всего круга принципиальных вопросов, связанных со спектральными разложениями, в частности вопросов, связанных с ошибкой известного английского радиоспециалиста Флеминга, отрицавшего реальность боковых полос при модуляции. Л. И. Мандельштам внес в своем преподавании замечательную ясность в теорию колебаний линейных систем со многими степенями свободы; он провел, в частности, различие между „связью“ и „связанностью“ и первый разъяснил то обстоятельство, о котором лишь позднее заговорили в литературе, что род связи (индукционная, емкостная

<sup>1</sup> Том III, статья 59.

связь) может быть различным в зависимости от выбора обобщенных координат. Большое место занимала в его мыслях связь линейной теории колебаний с волновой механикой, например, аналогия и различие между принципом неопределенности и соотношением между продолжительностью радиоимпульса и размытостью его спектра. По его идее возникла работа А. Г. Майера и Е. А. Леонтовича, где дается оценка минимального значения произведения этих величин.

Интерес и вкус к задачам линейной теории колебаний и волн не угасал у Л. И. Мандельштама до конца его жизни. Он вновь ярко вспыхнул в связи с появлением в радиотехнике полых резонаторов и волноводов. Две работы Л. И. Мандельштама,<sup>1</sup> сделанные им в Боровом — „Некоторые вопросы, связанные с возбуждением и распространением электромагнитных волн в трубах“ и „Излучение через отверстие в резонаторе“, — напоминают по изяществу анализа лучшие творения Релея.

Но Л. И. Мандельштам был не только продолжателем Релея в области линейных колебаний. Под его руководством возникло новое направление в теории колебаний, уже получившее самое широкое признание. Это направление связано с изучением нелинейных колебаний. У Релея им посвящены только отрывочные замечания. Серьезный интерес к нелинейным колебаниям появился у физиков тогда, когда радиотехника начала овладевать процессами, происходящими в устройствах, содержащих электронные лампы. Электрический ток в вакууме не подчиняется закону Ома. Поэтому, в отличие от явлений, изучавшихся классической теорией колебаний, эти процессы, в том числе важнейший из них — генерация незатухающих колебаний (автоколебания), могут быть описаны лишь нелинейными дифференциальными уравнениями; отсюда и название — нелинейные колебания. Первые (частично неопубликованные) исследования Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси о самовозбуждении и об автоколебаниях лампового генератора были начаты ими еще в Одессе в 1918—1920 гг. Примерно в те же годы разработка теории автоколебаний была начата в ряде других стран. Ею занимались Мёллер и Баркгаузен (Германия), Эпплтон (Англия) и особенно плодотворно — голландский физик Б. ван дер Поль. В том, как развивались исследования нелинейных колебаний, руководимые Л. И. Мандельштамом, отчетливо обнаружилась

---

<sup>1</sup> Том II, статьи 50 и 51.



оригинальность его путей, особый, характерный для него подход физика-мыслителя.

Сначала Л. И. Мандельштам был озабочен необходимостью создать хотя бы для простейшей, идеализированной модели строгую теорию, безусловно передающую характерную черту лампового генератора — установление колебаний с амплитудой, не зависящей от начальных условий. Работая над этой задачей, А. А. Андронов, бывший в то время одним из аспирантов Л. И. Мандельштама, нашел в работах Анри Пуанкаре и А. М. Ляпунова основы математического аппарата теории нелинейных колебаний: открытые Пуанкаре, вне всякой связи с физическими задачами, „предельные циклы“ ждали более 40 лет того, чтобы в них узнали адекватный математический образ автоколебаний. В связи с этим интерес Л. И. Мандельштама к нелинейным колебаниям сильно возрастает. Не меньшую роль сыграли здесь и его совместные с Н. Д. Папалекси исследования, широко развернувшиеся в ЦРЛ (Ленинград) и приведшие, в частности, к открытию резонанса  $n$ -го рода (см. ниже).

В 1931 г. Л. И. Мандельштам выступает на конференции по колебаниям с уже упоминавшимся выше обширным и глубоко принципиальным докладом, в котором, наряду с рассмотрением ряда линейных вопросов, дается развернутое изложение нового нелинейного направления. Острее, чем кто-либо до него, Л. И. Мандельштам видит пропасть, отделяющую нелинейные задачи от привычных линейных. Он подчеркивает необходимость не только решения отдельных задач, но и создания, наряду с линейной колебательной культурой, новой, нелинейной колебательной культуры, включающей в себя надежный математический аппарат и физические представления, адекватные новым задачам, выработку нелинейной интуиции, годной там, где оказывается непригодной интуиция, выработанная на линейных задачах.

Новое нелинейное направление развивалось сначала под непосредственным руководством Л. И. Мандельштама. Впоследствии, когда ряд его учеников превратился в самостоятельных ученых и в новой области начали работать многочисленные ученики его учеников, Л. И. Мандельштам продолжал пристально следить за каждым их шагом и помогал им своими советами.

Л. И. Мандельштаму, совместно с Н. Д. Папалекси, принадлежит ряд выдающихся конкретных результатов в области нелинейных колебаний. Здесь следует назвать прежде всего формулировку на языке дифференциальных уравнений плодотворного и широко



Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси с группой сотрудников лаборатории высокочастотной физики ЦРА (1929 г.)

известного теперь „условия скачка“, лежащего в основе теории „разрывных“ колебаний и позволившего, в частности, А. А. Андронову и А. А. Витту дать теорию мультивibrатора. Далее идет открытие резонанса  $n$ -го рода и создание теории этого явления, которое состоит в следующем. Если на колебательный контур, сам по себе не колеблющийся, но регенерированный при помощи электронной лампы (система существенно нелинейна), действует внешняя э. д. с., частота которой превосходит приблизительно в  $n$  раз ( $n=2, 3, \dots$ ) собственную частоту контура и амплитуда которой заключена в известных пределах (между некоторым „порогом“ и некоторым „потолком“), то в контуре возбуждаются колебания, частота которых в точности в  $n$  раз ниже частоты внешней э. д. с. Опираясь на методы, разработанные Пуанкаре для задач небесной механики, Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси дали теорию стационарных колебаний при резонансе  $n$ -го рода.<sup>1</sup> Кроме того, придав новую формулировку методу „медленно меняющихся амплитуд“, впервые примененному в теории нелинейных колебаний ван дер Полем, и обосновав его математически для некоторых интересных для физики постановок задач,<sup>2</sup> Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси разработали при его помощи теорию нарастания амплитуды при возникновении резонанса  $n$ -го рода.<sup>3</sup> Они применили далее особенности этого нарастания для создания фильтров, позволяющих ослабить помехи в радиоприеме.

К резонансу  $n$ -го рода тесно примыкает другое явление, также впервые обнаруженное Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси и названное ими асинхронным возбуждением: они установили на опыте и объяснили теоретически тот факт, что если на регенерированный контур действует внешняя э. д. с., частота которой не находится в простом целочисленном отношении к собственной частоте контура, то при определенном режиме лампы и в определенном интервале амплитуд в контуре возбуждаются колебания с собственной частотой.<sup>4</sup> К явлению резонанса  $n$ -го рода тесно примыкает также подробно исследованное под руководством Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси явление синхронизации лампового генератора под действием внешней э. д. с. на частоте, которая находится

---

<sup>1</sup> Том II, статьи 32 и 33.

<sup>2</sup> Том II, статья 38.

<sup>3</sup> Том II, статья 37.

<sup>4</sup> Том II, статья 35.

в простом кратном отношении к частоте э. д. с., например 3:2. Это явление было ими использовано в радиоинтерферометрах, о которых будет идти дальше.

Важно отметить здесь, что Л. И. Мандельштам живо интересовался также и тем, как проявляются в колебательных и, в частности, автоколебательных системах статистические флуктуации, так много занимавшие его в связи с рассеянием света. Он неоднократно подчеркивал (еще тогда, когда это отрицалось некоторыми выдающимися физиками), что в радио, как и в оптике, вследствие флуктуаций принципиально не может быть строго монохроматических колебаний. К этому кругу идей принадлежит одна из постановок вопроса, приведших к работе Л. С. Понтрягина, А. А. Андропова и А. А. Вятга, посвященной статистическому рассмотрению нелинейных систем, и последовавшая за ней работа И. Л. Берштейна, в которой была вычислена „естественная ширина линии“ лампового генератора.

В некотором смысле промежуточное место между классическими линейными колебаниями и нелинейными колебаниями занимают колебания в линейных системах с переменными параметрами. Классическая линейная теория имеет дело с системами, параметры которых (масса, емкость, сопротивление) не меняются со временем. Но наряду с нелинейными системами, в которых, скажем, сопротивление зависит от силы тока, интерес представляют также такие линейные системы, параметры которых меняются со временем, например являются периодическими функциями времени. Л. И. Мандельштам существенно обогатил учение о линейных системах с периодически меняющимися параметрами. Совместно с Н. Д. Папалекси он осуществил ряд таившихся в них технических возможностей, намек на которые имеется еще у Релея.

Возникшая в связи с так называемой старой квантовой механикой работа Л. И. Мандельштама, А. А. Андропова и М. А. Леонтовича „К теории адиабатических инвариантов“ содержит выяснение ряда свойств, имеющих место при очень медленных изменениях параметров.<sup>1</sup> К этой работе примыкает выполненная под руководством Л. И. Мандельштама работа А. А. Андропова и М. А. Леонтовича, где подробно выяснен характер областей неустойчивости, т. е. условий, при которых периодическое изменение параметров вызывает накопление энергии в системе и нарастание ее колебаний.

---

<sup>1</sup> Статья 25.

В начале 1931 г. Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси уже построили первую „параметрическую машину“ — генератор переменного тока, принципиально отличный от ранее известных. Отличие, как подчеркивал Л. И. Мандельштам,<sup>1</sup> заключается в том, что в параметрической машине существенно наличие как индуктивности, так и емкости, а также соблюдение определенного соотношения между периодом изменения этих параметров (или одного из них) и величиной самих параметров.

В первой параметрической машине периодически менялась индуктивность. Немного позднее, в 1932 г., была построена параметрическая машина, в которой периодически изменялась емкость. Впоследствии под руководством главным образом Н. Д. Папалекси были построены образцы технических генераторов небольшой мощности, которые по ряду показателей обладают преимуществами по сравнению с обычными генераторами, давно известными в электротехнике.

К области линейных систем с периодически меняющимися параметрами относятся выполненные на основе идей Л. И. Мандельштама исследования С. М. Рытова о модуляции и работа Г. С. Горелика о резонансных явлениях, наступающих в этих системах, когда на них действует переменная внешняя сила.

В работе Г. С. Горелика, в которой опубликованы и некоторые результаты, сообщенные автору самим Л. И. Мандельштамом (две „степени“ резонанса), получила конкретное воплощение следующая идея Л. И. Мандельштама: физическое значение разложения Фурье в большой мере связано с резонансными свойствами линейных систем с постоянными параметрами; при переходе к линейным системам с переменными параметрами разложение Фурье перестает быть целесообразным и место функций  $\cos$  и  $\sin$  должны занять другие функции.

Во время войны, в Боровом, Л. И. Мандельштам вновь занялся теорией параметрических машин. Ввиду того что нарастание колебаний в таких машинах ограничено только вследствие нелинейных явлений (например, увеличения с ростом тока сопротивления включенных в качестве нагрузки ламп накаливания), полная теория параметрических машин должна быть нелинейной. Л. И. Мандельштам дал классификацию электрических машин, показывающую место, занимаемое среди них параметрическими машинами, и разработал

<sup>1</sup> Том II, стр. 342.

математическую теорию, пригодную в отличие от ранее существовавших для сколь угодно большой амплитуды изменения параметра, при том, однако, условии, что нелинейность мала. Вместе с тем он указал путь, позволяющий при помощи вариационного принципа вывести уравнения Лагранжа для дискретных электрических систем из уравнений Максвелла. В Боровом Л. И. Мандельштам вернулся также к давно интересовавшей его теории часов как автоколебательной системы и сформулировал проблему, которая до сих пор еще не решена полностью, о сравнении зависимости периода от параметров (главным образом от трения) в до-галилеевых часах (без маятника) и в часах Галилея — Гюйгенса.

Одним из наиболее выдающихся достижений в совместном научном творчестве Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси является созданный ими радиоинтерференционный метод исследования распространения радиоволн. Это относится как к самой идее метода, так и к полученным при его помощи научным и практическим результатам. Радиоинтерференционные исследования Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси начали появляться в печати лишь начиная с 1937 г.,<sup>1</sup> когда разработка метода уже достигла известного совершенства и уже были получены некоторые положительные результаты. Однако первое заявочное свидетельство („Способ для определения расстояний между двумя пунктами при помощи электромагнитных волн“) относится к концу 1930 г., а зарождение идеи — к еще более раннему периоду.

Решение задачи точного измерения расстояний при помощи радиоволн, несомненно, являлось основным моментом, игравшим ведущую роль при возникновении этого нового направления исследований. С вопросами определения положения излучающего передатчика Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси встретились еще в Страсбурге, где они участвовали в опытах по пеленгации посредством рамочной антенны Брауна. Н. Д. Папалекси продолжал заниматься пеленгацией и по возвращении в Россию. Сопоставление принципиального недостатка пеленгации — уменьшения линейной точности с ростом расстояния — с теми возможностями, которые могло бы дать определение не углов, а сторон треугольника, недостаточная точность для этой цели предлагавшихся в то время импульсных методов и, наконец, наличие в оптике чрезвычайно точных интерференционных способов измерения длины, основанных

<sup>1</sup> Том II, статьи 44 и 45.

на непрерывном когерентном излучении, — таков, повидимому, путь, который привел Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси к идее радиоинтерференции.

Однако осуществление любого такого способа измерения расстояний предполагает, что при данных конкретных условиях с требуемой точностью известна скорость распространения радиоволн. Таким образом, почти сразу же возник и вопрос об исследовании распространения радиоволн, о выяснении фазовой структуры электромагнитного поля передатчика. Положение здесь было весьма неудовлетворительным.

Как неоднократно указывали впоследствии Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси, теоретическое рассмотрение не может заменить в этом вопросе экспериментального исследования. Процесс распространения чрезвычайно осложнен разнообразием реальных условий и его теоретическое исследование становится возможным только в результате далеко идущей идеализации. Но и с этой оговоркой в то время еще нельзя было опереться ни на какие достоверные теоретические заключения, касающиеся скорости распространения.

В 1907 г. Ценнек развил свою теорию поверхностных волн. Следующий шаг был сделан Зоммерфельдом (1909 г.), который решил задачу об излучении вертикального диполя, расположенного на плоской границе раздела между однородным полубесконечным диэлектриком (воздух) и таким же проводником (земля). Неточность в интерпретации решения привела Зоммерфельда к заключению, что его результат подтверждает теорию Ценнека. Хотя позднейший анализ задачи Зоммерфельда, проведенный В. А. Фоком, а затем Е. Нотер, и вскрыл допущенную Зоммерфельдом неточность, тем не менее вопрос о величине скорости распространения оставался еще долгое время открытым. С одной стороны, его решение требовало весьма углубленного математического анализа формул Зоммерфельда, с другой же стороны, еще не была осознана актуальность самого вопроса. Надо иметь в виду, что практические задачи радио привлекали внимание в первую очередь к амплитудной картине поля излучателя, фазовые же соотношения, непосредственно связанные со скоростью распространения, оставались в тени. Что касается существовавших тогда экспериментальных методов измерения поля, то, будучи приурочены опять-таки к определению амплитуд, они даже при выполнении идеальных условий, полагаемых в основу теории, ничего не могли дать. Первые достаточно

точные сведения о скорости распространения были получены при помощи самого радиоинтерференционного метода в сочетании с соответствующими геодезическими измерениями.

Вряд ли можно сомневаться в том, что живой интерес Л. И. Мандельштама ко всей проблеме в целом поддерживался не только насущными потребностями радиоинтерференционной дальнометрии. Вопрос о распространении электромагнитных волн от излучателя, расположенного близко к границе раздела, привлек его внимание еще в Страсбурге. Не удивительно, что его не могло не задевать наличие в этом, издавна близком ему вопросе „темных мест“, отсутствие в нем полной „прозрачности“. Вместе с тем нетрудно уловить и те нити, которые связывают создание радиоинтерференционной методики с более старыми работами Л. И. Мандельштама. Здесь вновь выступает во всей своей силе идея „колебательной взаимопомощи“ различных областей физики, которую Л. И. Мандельштам углублял и совершенствовал на протяжении всей своей жизни.

В 1914 г. он осуществил оптическую аналогию характерной для радио задачи Зоммерфельда. В 1930 г., наоборот, к решению радиотехнической задачи были привлечены аналогии из всего обширного и хорошо изученного круга интерференционных оптических явлений. То, что из всего арсенала оптики были выделены явления, наиболее чуткие именно к фазовым соотношениям, нельзя не связать с общей мыслью о превосходстве фазовых методов индикации над амплитудными, которая берет свое начало опять-таки еще со Страсбурга, где Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси воплотили ее в своих измерительных высокочастотных приборах.

Наиболее яркое освещение всего круга радиоинтерференционных идей дано Л. И. Мандельштамом в его докладе „Интерференционный метод исследования распространения электромагнитных волн“, сделанном 28 апреля 1938 г. на Общем собрании Академии Наук СССР.<sup>1</sup> Еще раз Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси вернулись к такому широкому освещению вопроса в их совместной статье „Интерференционные методы исследования распространения радиоволн и их применение к измерению расстояний“.<sup>2</sup>

В этих работах проводится исчерпывающее сопоставление радиоинтерференции с оптической интерференцией. Достаточно пере-

<sup>1</sup> Том III, статья 63.

<sup>2</sup> Том II, статья 47.



числить затронутые вопросы: отсутствие прямых методов измерения частоты в оптике в противовес наличию и простоте таких методов в радио; кажущееся противоречие между некогерентностью независимых источников в оптике и их когерентностью в радио, несмотря на принципиально тождественную некогерентность в обоих случаях; разрешение этого противоречия на основе огромного различия временных и пространственных масштабов в оптике и радио (частот и длин волн); специфика радиотехнических средств — возможность усиления отраженных колебаний и трансформации их частоты в рациональном отношении; вопрос о расположении источника относительно границы раздела („далеко“ в оптике и „близко“ в радио); квантовые особенности оптических излучателей и вытекающие отсюда принципиальные различия между макроскопическими и микроскопическими возможностями для наблюдения и регистрации различных величин (частот, фаз).

Радиоинтерференционный метод был создан прежде всего для возможно более точного измерения расстояний, но его разработка сразу же выдвинула и гораздо более широкую физическую проблему — измерение скорости распространения радиоволн и выяснение структуры поля радиопередатчика. Хотя вся работа по радиоинтерференции — и теоретическая, и лабораторная, и экспедиционная — проводилась Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси совместно, однако вся практическая сторона в первую очередь, как неоднократно это подчеркивал и сам Л. И. Мандельштам, связана с именем Н. Д. Папалекси. Сюда можно отнести и практическое применение метода, затрагивающее ряд областей народного хозяйства (геодезия, навигация, гидрография), и многочисленные этапы технического усовершенствования методики, и организацию и проведение ежегодных экспедиций для исследований в реальных условиях.

Научный итог этой огромной работы хорошо известен. С непревзойденной ранее точностью (до  $3 \cdot 10^{-4}$  над морем и до  $6 \cdot 10^{-4}$  над ровной сушей) была измерена скорость распространения радиоволн и определена верхняя граница (не более 0.01%) для возможной средней величины дисперсии. Детальное изучение фазовой структуры поля, ставшее возможным благодаря радиоинтерференции, позволило установить отчетливую картину всего процесса распространения, дать правильную интерпретацию теории Зоммерфельда и вскрыть неадекватность ценнековской концепции поверхностных волн, которая еще в тридцатых годах была почти общепринятой. Уже эти

чисто научные результаты являются крупнейшим вкладом в радиофизику, но они не исчерпывают значения радиоинтерференции. Как уже было сказано, на основе этого метода выросла новая большая практическая область применения радио — интерференционная радиодальномерия, целиком связанная с именами Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси, которые примерно на пятнадцать лет опередили здесь зарубежную радиотехнику.

Как уже отмечалось, принципиальные проблемы квантовой теории, глубокий интерес к которым возник у Л. И. Мандельштама с самого зарождения квантовой механики, все больше и больше привлекали его внимание в последний период его деятельности и в последние годы начали превалировать над другими научными интересами.

Л. И. Мандельштам любил подчеркивать, что для развития науки важна не только работа пионеров, создающих новые концепции, в свете которых становится различным скрывавшееся во мраке неизвестное, но и последующий критический анализ этих новых концепций, очищающий их от случайного и неверного и вносящий в них стройность, ясность и прозрачность, без которых невозможно дальнейшее продвижение. Только критическая эпоха Вейерштрасса, внесшая ясность в содержание и область применимости понятий и операций анализа, бурно развившегося в эпоху Бернулли и Эйлера, создала предпосылки для дальнейшего развития математики. Л. И. Мандельштам был пионером нового этапа развития теории колебаний и ряда отделов оптики; в области же квантовой механики он прежде всего стремился внести максимальную ясность в основные понятия и положения теории.

„Старая“ боровская теория квантов своей непоследовательностью и обилием внутренних противоречий была чужда складу ума Л. И. Мандельштама; но уже через год после первых работ Шрёдингера и Гейзенберга, заключавших в себе основы „новой“ квантовой механики, он совместно с М. А. Леонтовичем публикует очень существенную работу „К теории уравнения Шрёдингера“.<sup>1</sup>

В этой работе впервые был поставлен и разрешен вопрос о поведении частицы при наличии в пространстве „потенциального барьера“ и „потенциальной ямы“ (по современной терминологии) и было показано, что хотя в рассмотренном случае энергетический спектр системы и непрерывен, однако исследование характера

---

<sup>1</sup> Статья 23.

волновых функций позволяет установить, что в некоторых состояниях частица находится в связанном, но „распадающемся“ со временем состоянии внутри потенциальной ямы, тогда как другие волновые функции описывают частицу, налетающую извне на потенциальный барьер.

Эта работа содержит в себе, в сущности, все основы теории прохождения частиц через потенциальный барьер, представляющей собой одно из замечательнейших достижений квантовой механики. И действительно, она послужила непосредственным толчком и базой для последующих работ по теории радиоактивного распада.

После этой работы Л. И. Мандельштам в течение ряда лет не опубликовывал новых работ по квантовой теории, но очень много размышлял над ее основами и часто касался ее в своих лекциях и семинарах. Иногда поводом к этому служили те „парадоксы“, которые не раз выдвигались А. Эйнштейном в качестве опровержения некоторых основных положений квантовой механики. Л. И. Мандельштам неизменно и чрезвычайно быстро находил разрешение этих кажущихся парадоксов, но столь же неизменно воздерживался от опубликования в печати своих соображений, совпадающих по своей сути с тем, что впоследствии было опубликовано Бором и другими физиками. Это, столь характерное для Л. И. Мандельштама нежелание печататься в данном случае частично обуславливалось, повидимому, и тем, что в первой половине 30-х годов не была достигнута та окончательная ясность, „прозрачность“, в физической интерпретации и понимании принципиальных основ квантовой механики, которая удовлетворяла бы необычайно высоким требованиям Л. И. Мандельштама. Его могло удовлетворить только такое понимание теории, когда в ней вообще не остается места для трудностей, неясностей и парадоксов.

Но когда Л. И. Мандельштам достиг этой стадии по отношению к основному кругу проблем нерелятивистской квантовой механики, он прочел в 1939 г. курс лекций о теории косвенных измерений в волновой механике, в которых он дал исключительный по тонкости, глубине и ясности анализ основ квантовой механики. Центральной частью курса была впервые проведенная им весьма важная дизъюнкция между прямыми и косвенными измерениями над квантовыми системами. Последнее звено всякого измерения любой квантовой системы носит макроскопический характер. Прямыми Л. И. Мандельштам называет такие измерения, в которых первый же шаг макроскопичен; весьма существенно, что они



**Л. И. Мандельштам в Боровом (1942 г.)**

возможны только над свободными или почти свободными частицами. Косвенные измерения состоят в том, что исследуемую квантовую систему заставляют взаимодействовать с другой микросистемой, над которой производятся прямые измерения; по данным этих измерений теоретически вычисляются величины, относящиеся к исследуемой системе.

Теории этих косвенных измерений (прямые измерения в квантовой механике являются исключением) и посвящена основная часть курса, в котором, в частности, выясняется кардинальное различие понятий координаты и импульса частицы в классической и квантовой теориях.

Дальнейшее развитие этих идей привело Л. И. Мандельштама в последние годы его жизни к весьма радикальным выводам, о которых не сохранилось, повидимому, никаких письменных материалов. Поскольку прямые измерения возможны только над свободными или почти свободными частицами, последовательная физическая теория микромира должна сводиться к установлению закономерных связей между результатами измерений координат и импульсов свободных частиц. Современная же квантовая механика дает при помощи волновых функций и уравнения Шрёдингера весьма детальное описание не поддающегося прямому измерению поведения связанных электронов внутри атома и т. п. При этом существенную роль в логической схеме квантовой механики играет допущение о возможности измерения собственных значений любого так называемого самосопряженного оператора, действие которого на волновые функции системы может быть произвольно задано. Таким образом, схема современной квантовой механики, широко оперирующей с ненаблюдаемыми понятиями, принципиально не удовлетворительна и должна быть переработана так, чтобы освободить теорию от этих понятий.

К тем же в сущности выводам, только в менее радикальной и последовательной форме, пришел в 1942 г. и один из основоположников квантовой механики — Гейзенберг. Однако Гейзенберг пришел к этим выводам не путем анализа физических основ квантовой теории, как Л. И. Мандельштам, а в поисках выхода из тех затруднений, к которым приводит релятивистское обобщение квантовой механики и, в частности, квантовая теория взаимодействия элементарных частиц. Корни этих затруднений, как нам представляется, лежат во вскрытой Л. И. Мандельштамом недостаточной последовательности основ исходной нерелятивистской формы теории.

Последняя подготовленная Л. И. Мандельштамом к печати работа (сделанная совместно с И. Е. Таммом и опубликованная после смерти Леонида Исааковича) была посвящена соотношению неопределенности между энергией и временем в нерелятивистской квантовой механике,<sup>1</sup> о смысле и содержании которого до самого последнего времени в литературе высказываются прямо противоположные мнения. В значительной мере это обуславливается тем, что до Л. И. Мандельштама это соотношение обосновывалось только на частных примерах или путем полукачественных соображений. Л. И. Мандельштам впервые дал строгое и общее его доказательство, основывающееся на математическом аппарате квантовой механики. При этом впервые полностью прояснился самый физический смысл и значение тех величин  $\Delta E$  и  $\Delta t$ , которые этим соотношением связываются. Из данной в этой работе интерпретации соотношения  $\Delta E \Delta t \geq h/4\pi$  могут быть выведены (за одним единственным исключением) все частные случаи его применения.

Даже краткий обзор работ, выполненных Л. И. Мандельштамом и его сотрудниками в московский период его деятельности, разнообразие и глубина новых начатых за это время направлений, значимость достигнутых результатов свидетельствуют, как напряженно и успешно протекала в это время работа Л. И. Мандельштама. Если присоединить к этому его многообразную и в высшей степени успешную преподавательскую деятельность, о которой будет сказано несколько слов ниже, то можно себе составить представление об интенсивности и плодотворности работы, которая кипела в это время около Л. И. Мандельштама, им стимулировалась и направлялась, несмотря на уже сильно пошатнувшееся его здоровье и развивающуюся грудную жабу, которая свела его в могилу.

И эта бурная и напряженная деятельность внезапно оборвалась, когда в июне 1941 г. на нашу страну обрушилось кровавое бедствие войны.

Л. И. Мандельштам, который уже давно с чувством омерзения и с глубокой тревогой следил за развитием гитлеризма, был глубоко потрясен разразившимися событиями. Первые тяжелые недели войны не оставляли никакой психологической возможности продолжения научной работы. К этому скоро присоединилось и внешнее

<sup>1</sup> Том II, статья 49.

обстоятельство: эвакуация научных учреждений Академии Наук из Москвы, которой предшествовала эвакуация, по распоряжению правительства, всех престарелых или слабых здоровьем членов Академии в сибирский курорт „Боровое“.

Л. И. Мандельштам выехал из Москвы 16 июля с женой, невесткой и десятимесячной внучкой. Несмотря на то, что в момент отъезда он находился в очень тяжелом физическом и моральном состоянии, он перенес переезд в Боровое сравнительно хорошо. Климат и условия жизни в Боровом благотворно отразились на его здоровье, которое в первое время было значительно лучше, чем до отъезда из Москвы. Хотя из-за своей болезни он попрежнему не мог преодолевать подъемы, тем не менее он много гулял, медленно и по ровному месту, выходя и в холодные зимние дни (до  $-20^{\circ}$ ), чего он никогда не делал в Москве. Даже несчастный случай — падение из брочки, повлекшее перелом плечевой кости, и последующее длительное и трудное лечение, — хотя и вызвал резкое ухудшение его здоровья, но не отразился на его работе. В Боровом он чрезвычайно много и интенсивно работал. Впрочем, возможно, что именно это творческое напряжение в значительной степени поддерживало и его физическое состояние.

Л. И. Мандельштам очень тяготился оторванностью от лабораторий и сотрудников, большинство которых находилось вместе с Физическим институтом в Казани, и очень радовался получению письменных сообщений из института. Еще большую радость доставляли ему приезды, правда редкие, кого-либо из сотрудников института. В Боровое к нему три раза приезжал его сын, С. Л. Мандельштам, и по одному разу Н. Д. Папалекси, И. Е. Тамм и С. М. Рытов. Кроме живого рассказа о жизни и работе института, эти приезды были дороги Л. И. Мандельштаму возможностью поделиться своими мыслями и результатами, а также совместной работой с приехавшими. Так, во время пребывания Н. Д. Папалекси в Боровом в сентябре — октябре 1942 г. они работали над монографией, посвященной параметрическому генерированию переменных токов. Они продумали план этой монографии, которая по замыслу должна была подытожить огромную теоретическую и практическую работу в области параметрической генерации, проделанную в течение почти двадцати лет. Л. И. Мандельштам взял на себя написание первых частей монографии, посвященных теории параметрических колебаний и вопросу о месте этого метода генерации среди других способов получения переменного тока. На Н. Д. Папалекси лежи-

лось освещение всех практических результатов, касающихся конструкции и характеристик параметрических машин, результатов их испытаний и путей дальнейшего их усовершенствования. Этому капитальному труду не суждено было завершиться. Лишь отдельные его фрагменты были в основном закончены (вывод лагранжевых уравнений из максвелловских, системы с большой глубиной модуляции, классификация электрических машин) и вошли во II том настоящего Собрания трудов.<sup>1</sup>

Другой вопрос, который с увлечением обсуждали Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси в Боровом, касался возможности применения радиолокации в астрономии. Уже тогда, как рассказывал потом Н. Д. Папалекси, они пришли к полной уверенности в том, что современные технические средства позволяют осуществить как радиолокацию Луны, так и оптическую ее локацию. Одновременная локация обоими способами особенно привлекала их внимание, так как сопоставление времен запаздывания светового и радиосигналов должно было, по их мнению, дать более содержательные сведения об ионосфере, чем один только радиосигнал. Как известно, радиолокация Луны была осуществлена в Америке в 1945 г. Таким образом, в отношении научной инициативы Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси опередили американцев на три года.

С приехавшим к нему в Боровое (в октябре 1942 г.) И. Е. Таммом Л. И. Мандельштам делился преимущественно своими мыслями и работами по основным вопросам физической теории и в особенности по основам квантовой механики. В частности, ими подробно обсуждалась начатая еще в Москве работа о принципе неопределенности между энергией и временем, опубликованная (совместно с И. Е. Таммом) уже после смерти Л. И. Мандельштама.<sup>2</sup>

Приезд С. М. Рытова летом 1943 г. был для Л. И. Мандельштама поводом для значительного уточнения планов своей работы. В течение многих дней он систематически рассказывал о том, что им сделано или что намечено сделать; с участием С. М. Рытова он составил планы следующих монографий, потребность в создании которых он остро чувствовал: О природе белого света, Об отражении волн и направляющем действии проводников, О принципе суперпозиции, О почти-периодических процессах, О размерностях.

---

<sup>1</sup> Статьи 53, 54 и 55.

<sup>2</sup> Том II, статья 49.



Наряду с этими планами, которым суждено было реализоваться лишь в малой степени — почти закончена была только статья „К теории размерностей“,<sup>1</sup> — Л. И. Мандельштам продумал и частично написал следующие работы:

- 1) Доклад об оптических работах Ньютона.
- 2) Наброски к биографии Релея.
- 3) Введение в теорию колебаний.
- 4) Материалы к теоретической части монографии о параметрической генерации переменных токов.
- 5) О направляющем действии проводников на радиоволны: отличие одиночного провода от действия плоскости, рассмотренного Зоммерфельдом.

6) Соображения о методе частотной модуляции Армстронга.

7) О соотношении неопределенностей  $\Delta E \Delta t \geq h/4\pi$ .

8) Об электрических флуктуациях и понятии температуры.

9) О фазовом методе Теплера.

10) Вторая часть курса по квантовой механике.

Доклад об оптических работах Ньютона<sup>2</sup> был прочитан Л. И. Мандельштамом в январе 1943 г. в связи с трехсотлетием со дня рождения Ньютона в собрании академиков, живших в Боровом. По общему отзыву слышавших этот доклад, он был сделан с огромным подъемом и увлечением и произвел большое впечатление на слушателей. Это нетрудно себе представить всем, испытавшим на себе очарование его докладов и лекций. О глубине же и содержательности этого доклада, о его художественной форме можно судить по тексту, напечатанному уже после кончины Л. И. Мандельштама.

Наброски к биографии Релея, представляющие глубокий интерес, ибо никто из современных физиков так не ценил и так глубоко не понимал Релея, как Л. И. Мандельштам, до сих пор не отысканы в его бумагах, и можно опасаться, что они утеряны. Введение в теорию колебаний составило содержание первых лекций того оставшегося незавершенным курса, который Л. И. Мандельштам начал читать по возвращении в Москву и которым заканчивается последний (V) том этого Собрания трудов. Как уже было сказано, монография о параметрической генерации переменных токов, которую Л. И. Мандельштам собирался писать с Н. Д. Папалекси,

<sup>1</sup> Там же, статья 71.

<sup>2</sup> Том III, статья 65.

осталась незаконченной из-за смерти обоих авторов. Работа по соотношению неопределенностей  $\Delta E \Delta t$  была доведена до конца уже после возвращения Л. И. Мандельштама в Москву. Два последних замысла (электрические флюктуации и фазовый метод Теплера) сделались объектом экспериментального исследования в Лаборатории колебаний ФИАН. Исследование электрических флюктуаций продолжается и в настоящее время (М. А. Леонтовичем и Е. Я. Пумпером); что же касается фазового метода Теплера, то идея метода была с положительным результатом экспериментально проверена в работе С. М. Рытова и М. Е. Жаботинского.

Этот перечень показывает темп и размах работы Л. И. Мандельштама в годы пребывания в Боровом, несмотря на обстановку, далекую от привычной. И в этом напряжении, и в направлении работы Л. И. Мандельштама за этот период чувствуется, может быть, неосознанное ощущение приближающегося конца. Л. И. Мандельштам, всегда с большой серьезностью и интересом принимавшийся за разрешение нового вопроса, искавший полной ясности в понимании обдумываемой проблемы и охотно излагавший свои результаты в беседах и даже лекциях, очень не любил писать. Даже небольшая журнальная статья всегда доставляла ему много хлопот. В совместных публикациях обязанность „писать“ всегда возлагалась на соавтора, хотя написанное подвергалось с его стороны самой придирчивой критике и многократно переделывалось.

Этой неохотой писать объясняется и то обстоятельство, что многочисленные лекции его, ценность и интерес которых он при всей своей скромности, несомненно, сознавал, оставались ненаписанными и неизданными при его жизни. Однако на деятельности Л. И. Мандельштама в Боровом лежит отчетливый отпечаток желания привести в порядок не только мысли, но и изложение, сделать его таким, чтобы с ним могли знакомиться люди, лишенные возможности устной беседы с ним. Поэтому наряду с новыми вопросами, встающими перед ним, — вопросами, как всегда, и из теоретической, и из экспериментальной, и из технической физики — Л. И. Мандельштам упорно обращается к мысли о необходимости написать ряд монографий, в которых в отчетливой и связной форме было бы изложено то глубокое понимание разнообразных вопросов, которое он выносил на протяжении всей жизни.

Но возвращение к вопросам, даже продуманным, никогда не было для Л. И. Мандельштама простым воспроизведением,

а приводило всегда к новому пересмотру. Показывая С. М. Рытову черновики монографии о параметрических машинах, он говорил ему: „Вот, казалось бы, все ясно и остается только изложить. А как сядешь писать, так выплывает один вопрос за другим и получается, что все совсем не так уж ясно и многое надо еще доделать“. Поэтому, хотя по некоторым из задуманных им монографий (например, о природе белого света) имеется детально составленный им план, ряд набросков, многократные высказывания в лекциях и беседах, тем не менее если даже и удастся по этим материалам составить соответствующую монографию, она, конечно, будет значительно уступать тому, что получилось бы при его непосредственном участии.

В последние годы Л. И. Мандельштам отчетливо сознавал, что он не сможет без сотрудников довести до конца все задуманные и начатые работы как вполне оригинальные, так и монографические. Он неоднократно поднимал вопрос о квалифицированном научном сотруднике, который мог бы значительную часть своих сил посвящать этой работе. К глубокому сожалению, военная обстановка затрудняла реализацию этих планов, которые отодвигались до более подходящего момента, так и не наступившего.

Несмотря на сравнительно благоприятные условия жизни и работы в Боровом, Л. И. Мандельштам очень тяготился оторванностью от сотрудников и учеников и стремился обратно в Москву. Как только обстановка это позволила, он осуществил свое намерение. Приехав в сентябре 1943 г. на сессию Академии Наук, он настоял на том, чтобы не возвращаться в Боровое, и остался в Москве. К этому же времени была решена и реэвакуация Физического института АН, и в течение зимы 1943—1944 гг. начала разворачиваться работа в лабораториях, конечно испытывавшая на первых порах немало трудностей. Поэтому в эту первую московскую зиму Л. И. Мандельштам еще не мог активно участвовать в жизни лабораторий, и его деятельность сосредоточилась на продолжении начатых в Боровом работ с тем, однако, важным отличием, что он имел возможность широкого общения со своими сотрудниками и учениками. В эту же зиму он возобновил и свою работу в университете, объявив курс, который, как и в прошлые годы, посещало много аспирантов и научных сотрудников, число которых значительно превосходило число студентов. Темой этого курса были вопросы теории колебаний, еще раз продуманные в Боровом. Однако здоровье Л. И. Мандельштама было уже сильно подорвано,



**Л. И. Мандельштам во дворе Московского университета  
(сентябрь 1944 г.)**

и в течение весеннего семестра состоялись только четыре лекции.

Осенью 1944 г., после летнего отдыха, проведенного в Узком, Л. И. Мандельштам, невзирая на тяжелую болезнь, взялся за чрезвычайно трудоемкую и утомительную работу — составление и редактирование сборника, посвященного научной предистории радио. Он был инициатором создания этого сборника, выпуск которого Академия Наук СССР приурочивала к предстоящему в 1945 г. пятидесятилетнему юбилею изобретения А. С. Поповым радио. Исключительно интересен замысел книги, содержащей ряд основных оригинальных работ (Фарадея, Максвелла, Герца, Томсона, Феддерсена и др.), дающих возможность живо почувствовать ту научную обстановку, в которой возникло самое изобретение радио. Л. И. Мандельштам работал над этим сборником, не покладая рук; хотя в помощь себе он привлек С. М. Рытова, тем не менее он не только руководил подбором материала, но вникал и во все вопросы, касающиеся структуры книги, переводов статей и т. п. Особенно много времени и сил он уделил написанию замечательного „Введения“ к сборнику.<sup>1</sup> Эта разносторонняя и глубокая статья оказалась последней, вышедшей из-под его пера.

27 ноября, после одного особенно сильного припадка грудной жабы, Леонида Исааковича не стало.

Биография Л. И. Мандельштама была бы очень неполной, если бы в ней не была специально освещена его преподавательская деятельность в московский период, сыгравшая выдающуюся роль в постановке серьезного научного преподавания как на физическом факультете Московского университета, так и далеко за его пределами.

Преподавание было для Л. И. Мандельштама существенной и неотъемлемой частью его творчества. У него не было границы между научным исследованием и преподаванием. Хотя со свойственной ему скромностью он никогда не ставил себе целью излагать в своих лекциях содержание собственных работ, его преподавание было насыщено теми идеями, теми характерными постановками вопросов, которые лежали в основе его исследований. Часть попутных замечаний и отступлений, которых так много в его лекциях московского периода, была реминисценциями его работ. Другая часть этих замечаний и отступлений — это мысли, сложившиеся

---

<sup>1</sup> Том III, статья 68.

у него во время тех коренных изменений и ломок физического мировоззрения, современником которых он был и которые он так остро, активно и плодотворно переживал (расцвет электронной теории, появление специальной, а затем общей теории относительности, выработка правильного понимания статистических законов, открытие связи между акустическими колебаниями упругой среды и тепловым движением,<sup>1</sup> рождение квантовой механики). Лекции и семинары Л. И. Мандельштама содержали также постановки вопросов, из которых возникали новые исследования; многие высказывания в этих лекциях и семинарах были по существу новыми научными результатами. Мандельштамовская трактовка косвенных измерений в его лекциях по квантовой механике (1939 г.) принадлежит к числу его выдающихся научных достижений. Таким образом, для вдумчивого читателя записи лекций Л. И. Мандельштама и его выступлений на семинарах, которые содержатся в IV и V томах настоящего Собрания трудов, явятся богатой и выразительной научной автобиографией одного из наиболее интересных участников развития физики на протяжении последнего полувека.

Лекции и семинары Л. И. Мандельштама в Московском университете явились выдающимся событием в научной жизни нашей страны. Все значение этого события сможет быть оценено лишь после выхода в свет всех томов „Полного собрания трудов“. По своему содержанию эти лекции и семинары охватывают громадный диапазон, как видно из следующего перечисления:

- 1925/26 г. Семинар по некоторым вопросам теории излучения электромагнитных волн и оптики.
- 1926/27 г. Лекции по теории поля и семинар по теории колебаний.
- 1927/28 г. Семинар по статистической физике.
- 1928/29 г. Семинар по электронной теории и специальной теории относительности.
- 1929/30 г. Семинар по волновой механике.
- 1930/31 г. Первая часть курса теории колебаний и семинар по колебаниям.
- 1931/32 г. Вторая часть курса теории колебаний.

---

<sup>1</sup> Л. И. Мандельштам подчеркивал в беседах, что он считает установление единой картины акустического спектра, непрерывно простирающегося от медленных слышимых колебаний до весьма быстрых тепловых, столь же важным достижением, как и установление единой картины электромагнитного спектра, охватывающего радиоволны, видимый свет и т. д.

1932/33 г. Лекции по избранным вопросам оптики („парадоксы“).

1933/34 г. Лекции по физическим основам теории относительности.

1935/36 г. Лекции по теории относительности (незаконченные).

1936/37 г. Семинар по дисперсии и абсорбции.

1937/38 г. Семинар по некоторым вопросам теории колебаний.

1938/39 г. Семинар по отдельным физическим вопросам (черенковское излучение, эквивалентность массы и энергии и др.) и лекции по основам квантовой механики (теория косвенных измерений).

1939/40 г. Семинар по некоторым вопросам оптики.

1943/44 г. Четыре лекции по теории колебаний.

Лекции Л. И. Мандельштама привлекали обширную аудиторию, состоявшую не только из студентов, аспирантов, молодых ученых, но также и физиков с крупным научным именем. Секрет успеха лекций Л. И. Мандельштама был прежде всего в том, что он умел, как, быть может, никто другой, учить физически мыслить. Л. И. Мандельштам не просто сообщал факты и не просто разматывал некую цепь определений, постулатов и силлогизмов. Его лекции были полной противоположностью обычному — пусть даже совершенному в своем роде — формальному „гладкому“ изложению. Л. И. Мандельштам никогда не обходил и не затушевывал трудностей. Наоборот, он всегда их подчеркивал — делал их „выпуклыми“ как он любил говорить, — и уже после этого с ними расправлялся, устраняя их без остатка силой своей изощренной и прозрачной мысли.

Лекции Л. И. Мандельштама были яркой и откровенной демонстрацией самого процесса физического мышления. В них видно было, как физик спотыкается о трудности, как на его пути накапливаются парадоксы и противоречия и как ему удается — иногда ценой умственного подвига, отказа от самых укоренившихся в человеческом мышлении привычек — высвободиться из противоречий и подняться на недоступную ранее высоту, откуда открываются новые горизонты. Ни одна деталь в лекциях Л. И. Мандельштама не была пресной, безжизненной, в каждом вопросе он умел находить и доводить до аудитории какую-то особую остроту и прелесть. Он не только принуждал посредством безупречной логики соглашаться со своими утверждениями, но старался — и умел — найти общий язык со слушателями, убедить их „изнутри“, устраняя те трудно формулируемые психологические протесты,

которые так часто в физике мешают пониманию. Все это вместе взятое создавало какую-то необыкновенную эмоциональную насыщенность, благодаря которой все услышанное от Л. И. Мандельштама доходило до самых глубин сознания.

Лекторский талант Л. И. Мандельштама, преобразивший даже традиционное университетское преподавание, с особой силой проявлялся в докладах на отдельные темы. Таких докладов на сессиях Академии Наук было немного, но каждый из них надолго оставался в памяти слушателей. Таков был доклад о радиоинтерферометрии,<sup>1</sup> прочитанный на общем собрании Академии Наук СССР 28 апреля 1938 г., доклад, казалось бы, на специальную тему, но впечатление от которого покойный академик А. Е. Ферсман резюмировал одним словом: „поэма“. Таков был доклад,<sup>2</sup> прочитанный в заседании Общего собрания Академии Наук СССР и посвященный восьмидесятилетию А. Н. Крылова (26 сентября 1943 г.). Личная симпатия, которую Л. И. Мандельштам питал к А. Н. Крылову, придала особый блеск этому докладу. Таков был и доклад „Об оптических работах Ньютона“, прочитанный в Боровом.

Лекции и семинары Л. И. Мандельштама, а также его советы сотрудникам и ученикам оказали и продолжают оказывать глубокое и благотворное влияние на преподавание физики в нашей стране и на издающуюся у нас учебную литературу по физике. Не только курсы теории колебаний, оптики, теории относительности и т. д. но и курсы общей физики, читающиеся в ряде наших высших учебных заведений, носят на себе легко отличимую печать идей Л. И. Мандельштама. То же самое относится и к ряду недавно вышедших учебников как по теоретической, так и по общей физике.

Л. И. Мандельштам любил молодежь, любил преподавание, оно никогда не было для него тягостной „нагрузкой“. По возвращении из Борового, он, несмотря на мучившую его болезнь, настоял на том, чтобы прочесть студентам университета курс лекций о колебаниях. То были его последние публичные выступления. Они дались ему дорогой ценой. Нередко перед лекцией он чувствовал себя плохо, но выступал перед аудиторией во всем блеске своего дарования. Четыре лекции о колебаниях, прочитанные им весной 1944 г.,

---

<sup>1</sup> Том III, статья 63.

<sup>2</sup> Там же, статья 67.



не были перепевом уже известных мотивов. Он вложил в них многое из того, о чем он больше всего думал в последние годы своей жизни, в особенности ряд новых мыслей, касающихся значения, которое имеет теория колебаний для всей физики. Эти лекции, упоминанием о которых естественно закончить краткую биографию Л. И. Мандельштама, принадлежат к самым вдохновенным и прекрасным его творениям.

---