

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

53(092)

О ЛЕОНИДЕ ИСААКОВИЧЕ МАНДЕЛЬШТАМЕ *)**С. М. Рытов**

Я считаю большой честью для себя сделать доклад о Л. И. Мандельштаме на данной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения этого замечательного человека и выдающегося советского физика. Меня радует и самый факт, что оба физических отделения отмечают эту дату.

Конечно, необходимость уложиться в 30-40 минут делает мою и без того нелегкую задачу еще более трудной. От очень многого мне придется отказаться — от сколько-нибудь подробных биографических сведений, от детального анализа научного и педагогического наследия Мандельштама, от воспоминаний о нем, в том числе моих собственных, которых вы были бы вправе ожидать от меня, как одного из ныне еще здравствующих учеников Мандельштама. Я попытаюсь лишь в какой-то мере обрисовать Мандельштама как *ученого* и как *человека исключительных личных качеств*, душевного благородства и обаяния. Надеюсь, что неизбежные и большие пробелы, которые я вынужден допустить, будут восполнены только что опубликованным Юбилейным сборником **), содержащим почти все, что говорили и писали о Мандельштаме люди, знавшие его ближе и дольше меня; статьями в августовском выпуске УФН, а также последующими выступлениями сегодня А. В. Гапонова-Грехова и М. А. Исаковича.

Все же для тех, кто не только не видел Мандельштама, но и ничего не знает о нем, придется очень коротко сказать о его биографии.

Его детство и юность проходили в Одессе. До 12 лет он учился дома и лишь в 1891 году поступил в III класс гимназии, которую окончил в 1897 г. Сразу же он поступил на физмат Новороссийского университета в Одессе. В ту пору он не выказывал особого интереса к физике. Скорее ему были ближе логические казусы, математика, а также увлечение биллиардом. Через два года он был исключен из университета в связи со студенческими волнениями и в том же 1899 г. уехал по совету родителей в Страсбург (тогда это означало в Германию), где поступил на физмат Страсбургского университета.

Дальнейшую его жизнь можно разделить на три периода: страсбургский — до 1914 г., т. е. до начала первой мировой войны, период с 1914 г. до 1925 г. — время войны, двух революций, гражданской войны и последующей разрухи: и, наконец, последний — московский период, самый насыщенный и плодотворный, принесший главные его достижения, расцвет его научной и педагогической деятельности.

*) Доклад на совместной Научной сессии Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР 30 мая 1979 г.

**) Сборник «Академик Л. И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения», М.: Наука, 1979.

В Страсбурге Мандельштам прошел путь от студента до профессора университета (с 1913 г.) — редкая честь для иностранца. Там он глубоко изучил математику и труды классиков физики, в том числе Рэлея, который оказал на него особое влияние. Работы Рэлея вызывали у Мандельштама сильнейший резонанс, были, как выразился Н. Д. Папалекси, ему конгениальны. «И не случайно, — пишет Папалекси, — пути их научного творчества часто шли параллельно и неоднократно пересекались». «Атмосфера» электромагнитных колебаний и волн, в которую сразу же погрузил Мандельштама первый из его учителей — Фердинанд Браун (сам Браун переключился на радиоизмерения за год до приезда Мандельштама), наряду с изучением Рэлея, положила начало *колебательному подходу* Мандельштама ко всей физике.

«Беспроволочная телеграфия» сблизила Мандельштама с Папалекси, с нее начались их многолетнее сотрудничество и дружба.

Ряд выдающихся работ в Страсбурге принес Мандельштаму европейскую известность не только как радиоспециалисту, но и как физiku широкого профиля. Работы в области радиоизмерений и по направленным антеннам привлекли внимание Мандельштама к *фазовым* соотношениям в колебаниях и волнах, что, безусловно, сыграло свою роль позднее, когда он создал радиоинтерферометрию. Здесь же произошел перенос *колебательной «идеологии»* в *оптику*, начались работы Мандельштама по рассеянию света и последовавшее затем благодаря Смолуховскому, Эйнштейну и самому Мандельштаму выяснение роли флуктуаций в рассеянии. Здесь и работы по теории дисперсии, и обнаружение ошибки у М. Планка в вопросе об ослаблении света из-за рассеяния. Это было в 1904 г. 25-летний доцент смело вступил в полемику с таким корифеем, как Планк, и доказал свою правоту.

В Страсбурге Мандельштам сделал и свою выдающуюся работу по рассеянию света на границе раздела двух жидкостей — из-за тепловых флуктуаций этой границы. Можно сказать, что в награду он получил открытку от Эйнштейна (1913 г.), в которой Эйнштейн сообщает, что он доложил эту красивую работу у себя на коллоквиуме.

Усилившийся интерес к оптике, к вопросам разрешающей силы породил работу Мандельштама по строгой теории образования изображения в микроскопе, в которой была улучшена теория Аббе и впервые был приурочен в физической задаче новый в то время аппарат интегральных уравнений. И снова возникла полемика — на этот раз с Люммером, и снова Мандельштам оказался прав.

Наконец, еще одна чрезвычайно характерная для Мандельштама работа: он заинтересовался тем, что даст оптический источник, близкий в масштабе длины волны к границе раздела, т. е. при таких же условиях, как в радио. Весьма остроумно он осуществил такой источник, используя полное отражение на границе стекла с флуоресцирующей жидкостью, и изучил весь вопрос как экспериментально, так и теоретически.

«Все эти исследования, — пишет Папалекси, — часть коих представляла собой блестящие, весьма содержательные полемике с Планком, Флемингом, Люммером, в которых Л. И. доказал ошибочность их воззрений, принесли ему признание и известность.»

Заканчивая рассказ о страсбургском периоде, нельзя не упомянуть и о том, что именно в студенческие годы у Мандельштама внезапно пробудился глубокий интерес к литературе, к музыке, к изобразительным искусствам. Он начал поглощать художественную литературу на разных языках, посещать галереи, концерты.

Война оборвала работу в Страсбурге. В конце июля 1914 г., едва закончив лекции, он спешно выехал на родину и прибыл в Одессу в день

объявления войны. В период до 1925 г. Мандельштам сменил ряд городов и мест работы — в поисках возможностей для научных исследований и полноценного преподавания. Я упомяну только о трех наиболее длительных и в некоторых отношениях наиболее важных этапах этого периода.

Два года Мандельштам проработал научным консультантом на заводе Сименса и Гальске в Петрограде (ныне завод им. Козицкого). Многолетний сотрудник Мандельштама и Папалекси Е. Я. Щеголев, бывший тогда студентом-практикантом на этом заводе, пишет о ряде замечательных разработок и приборов Мандельштама. Он пишет, что всех поражало, «как красиво и подчас гениально просто решал Л. И. очень непростые технические задачи, так просто, что невольно у каждого из нас возникал вопрос, почему же это раньше не пришло мне в голову?». А приходило это в голову именно Мандельштаму, а не другим потому, что Мандельштам был физиком с широким кругозором. Его изобретения — это *типичные изобретения физика*, хорошо вместе с тем знающего практические пужды данной области техники.

В течение четырехлетнего пребывания в Одессе (1918—1922 гг.) Мандельштам принял живейшее участие в создании Одесского политехнического института. Он привлек в институт Н. Д. Папалекси и И. Е. Тамма и на высоком уровне поставил в нем чтение лекций. В его вводной лекции к общему курсу физики поставлен вопрос: нужна ли инженеру физика, причем не только «свой» раздел физики, а вся эта наука в целом, и не только опытная ее часть, но и теория? Ответ был, конечно, положительным. Мандельштам блестяще обосновывал, что широкое владение физикой просто необходимо каждому инженеру. Стоит отметить, что основатели Московского физтеха исходили из этой же идеи ровно четверть века спустя.

Но всюду и всегда Мандельштам продолжал думать о науке. Уже в 1918 г. он пришел к мысли, что тепловые флуктуации однородной среды должны при рассеянии монохроматического света создавать в рассеянном свете спектральный дублет. В основе этого предсказания лежал сделанный им ранее решающий шаг — отождествление «формальных» гармонических решеток Эйнштейна с акустическими волнами Дебая. Много позднее он сказал об этом шаге с оттенком гордости, но, разумеется, ни звуком не обмолвившись о себе, что «сделать это было не так просто». В 1922 г. к такому же выводу пришел и Л. Бриллюэн, но увидеть этот *дублет Мандельштама* — Бриллюэна экспериментально удалось лишь через 12 лет.

В 1922 г. Мандельштам переехал в Москву в качестве научного консультанта радиолaborатории Треста заводов слабого тока, переведенной вскоре в Петроград и преобразованной в Центральную радиолaborаторию (ЦРЛ). Работа в ЦРЛ (совместно с Папалекси) продолжалась до 1935 г.

Наконец, в 1925 г. мечта Мандельштама о *физических* исследованиях и о неотделимом от них преподавании осуществилась: он был приглашен в МГУ в качестве профессора физфака и заведующего теоретическим кабинетом НИИФ МГУ. Замечу, что решающую роль в привлечении Мандельштама в МГУ сыграл не только С. И. Вавилов, но и общественные организации факультета, и тогдашний студент МГУ, очень активный общественник А. А. Андропов.

Очень быстро Мандельштам стал центральной фигурой факультета и института. Столь же быстро сложилась и его московская школа, из которой в дальнейшем вышло (не считая, конечно, его самого) пять академиков.

Сказав, что Мандельштам стал центральной фигурой, я хотел бы сразу же отменить возможные, но не верные ассоциации. Во всем, и во всех

своих поступках, и в своих высказываниях, и в манере держаться Мандельштам был исключительно, почти болезненно скромнен. Я отнюдь не утверждаю, что его самооценка была невысокой. Но никогда и ни в чем он не позволял себе ни малейшего проявления превосходства. Ему были абсолютно чужды славолубие, желание «играть роль», утверждать свой престиж или желание «возглавлять» какой-либо коллектив. К тому же, по натуре он *не был* организатором. Говоря о школе Мандельштама, я имею в виду не организацию новых институтов и т. п., а возникновение коллектива талантливых и очень разных людей, вовлеченных в орбиту его влияния и его широких научных интересов, вовлеченных исключительно его собственным притяжением как ученого и человека. Школа Мандельштама — это и особая атмосфера, полная взаимной доброжелательности и, вместе с тем, чуждая малейших послаблений в требованиях, предъявляемых к работнику науки. Я не представляю себе подлинно научной школы без такой атмосферы.

Имена ближайших сотрудников и первых московских учеников Мандельштама хорошо известны. В области радиофизики и радиотехники это Н. Д. Папалекси, в физической оптике и ультразвуке — это Г. С. Ландсберг, в теоретической физике — И. Е. Тамм и М. А. Леонтович, в теории колебаний — А. А. Андронов, А. А. Витт и С. Э. Хайкин. Большинство из этих первых представителей школы Мандельштама создало в дальнейшем свои физические школы, быть может, менее широкие по профилю, но весьма сильные. Я имею в виду теоретические школы Тамма, Андропова и Леонтовича и экспериментальную школу Ландсберга. Таким образом, Мандельштам является наряду с А. Ф. Иоффе *основоположником* большой советской физики, находящейся ныне на мировом уровне.

Стоит отметить, насколько все ученики Мандельштама остались *разными*, несмотря на общую школу. Мандельштам *развивал*, а не подавлял индивидуальность своих учеников. Андронов пишет, что «с каждым из них у него был свой особый разговор». В результате не возникало никакой унификации — ни по интересам, ни по стилю работы, ни по стилю публикаций. Статью Леонтовича не спутаешь со статьей Тамма или Андропова. Все они и без подписей тотчас же различимы.

Конечно, работа членов школы Мандельштама получала и организационное оформление, и в этом большую роль сыграли руководители уже существовавших институтов, в которых работал Мандельштам. Они не входили в его школу, но сумели по достоинству ее оценить. В этой связи надо с благодарностью отметить и роль директора НИИФ МГУ Б. М. Гессена, и роль С. И. Вавилова, который и в МГУ, и в ФИАН, и в Академии наук всегда оказывал в меру своих все возрастающих возможностей широкую поддержку работе Мандельштама и его сотрудников.

С 1934 г. после перевода Академии наук в Москву, Мандельштам взял под свое идейное руководство две лаборатории ФИАН — оптическую, возглавленную Ландсбергом, и лабораторию колебаний, возглавленную Папалекси. Исследования по оптике продолжались и в НИИФ МГУ, а на физфаке Мандельштам регулярно проводил свои ежегодные лекционные курсы и семинары, представляющие собой совершенно *уникальное* явление в преподавании физики.

Мандельштам был исключительно *цельным* человеком. Он стремился к истине и был бескомпромиссно принципиален как в науке, так и в любой жизненной ситуации. Вместе с тем эта железная принципиальность удивительным образом сочеталась у него с мягкостью, деликатностью, доброжелательностью и подлинной добротой. А. Н. Крылов сказал о нем: «Леонид Исаакович отличался прямоотой, честностью, полным отсутствием искательства и лукавства...». Моральный авторитет Мандельштама был

чрезвычайно высок и далеко вышел за пределы его школы и института. Иной раз совсем не близкие ему люди приходили к нему и писали ему, чтобы узнать его мнение или получить совет по поводу той или иной ситуации или своих поступков и намерений.

Вообще влияние Мандельштама на людей, в частности, на учителей, на студентов было неотразимо сильным. Он в полной мере обладал способностью воспитывать без морализирования. Как вспоминает В. А. Фабрикант: «Нас, студентов, воспитывали не правоучениями, а личным примером, своим отношением к науке, друг к другу. Мы ощущали чистоту атмосферы, нас окружавшей, что далеко не всегда бывает. Мы видели, как Леонид Исаакович радуется чужим достижениям, как он сочетает большую терпимость к людям с твердостью в своих научных убеждениях».

По все эти стороны личности Мандельштама, конечно, невозможно сколько-нибудь полно отразить в моем докладе, и я вновь вернусь к его научной деятельности.

Вряд ли в данной аудитории имеется надобность подробно рассказывать о *конкретных* научных достижениях Мандельштама в московский период. Я уверен, что большинство присутствующих связывает с его именем (я позволю себе опустить имена хорошо известных соавторов)

и открытия *селективного* и *комбинационного* рассеяния света;

и создание *нелинейной теории колебаний*, которое в частности, привело к открытию ряда новых нелинейных явлений в радиотехнике;

и развитие теории параметрических систем, связанное с созданием так называемых параметрических генераторов (машин) повышенной частоты;

и широкое обобщение понятия резонанса на параметрические и нелинейные системы;

и вообще *оформление теории колебаний* в самостоятельную научную дисциплину с ее специфическими подходами и методами.

С именем Мандельштама связано и развитие *радиоинтерферометрии*, с ее практическими выходами в радиогодезию и радионавигацию;

и открытие *туннельного эффекта* в квантовой механике;

и глубокий *анализ понятия измерения* в пей;

и истолкование *соотношения неопределенностей энергия — время*, и многое другое, о чем я, вероятно, не успею даже упомянуть. Но большой беды в этом нет: имеется полное собрание трудов Мандельштама, которое, хотя и стало библиографической редкостью, но тем не менее существует. Основное же заключается в том, что наряду с *конкретными* результатами Мандельштама не меньшую роль играют развитые им некоторые, как сам он их называл, общие *руководящие точки зрения*.

Без них тот неполный перечень его научных достижений, который я привел, может показаться пестрым и разбросанным. Но в свете этих руководящих мандельштамовских точек зрения он оказывается пронизанным внутренним единством. Столь, казалось бы, разнородные результаты оказываются плодами немногих глубоких идей, становление, развитие и замечательное использование которых можно отчетливо проследить на протяжении всей жизни Мандельштама, начиная со Страсбурга. Именно они формировали его взгляды и вели к внутренним связям, объединяющим в его сознании всю физику в единое целое. Мандельштам, несомненно, был *универсалом* в физике, возможно, одним из последних универсалов. Как хорошо сказал о нем Андропов, «в громадном здании физики для него не было запертых комнат».

Вот эта физическая «идеология» Мандельштама (да простят мне философы такое кощунственное с их точки зрения употребление этого слова) — это и есть основное, о чем мне хотелось бы еще сказать.

Хотелось бы не только потому, что эта «идеология» уже вошла в плоть и кровь современной физики (что, безусловно, хорошо), но и потому, что она стала почти что фольклором, который, по определению, не имеет автора (а это вовсе нехорошо и несправедливо). Причины здесь разные, и не стоит, да и некогда и не очень приятно говорить обо всех, но в сторону забвения сработало, в частности, и исчезновение двух *мемориальных* премий Мандельштама (по физике и по радио), учрежденных после его смерти Президиумом Академии наук. Одна из них была присуждена только два раза, другая — три.

Прежде чем обратиться к указанной последней части моего выступления, я еще раз подчеркну то органическое слияние в творчестве Мандельштама теоретической и экспериментальной, математической и технической физики, ту *широту*, которая ставит его в ряды классиков науки. И не только это. Сам Мандельштам, делая в Академии наук в 1943 г. доклад о научных работах А. Н. Крылова (в связи с его 80-летием), указал на некоторые типичные черты классиков. Во-первых, это отношение к вопросу — *чистая или прикладная наука*. Классики не знали этого различия, в их трудах обе стороны знания взаимно дополняли и оплодотворяли друг друга... Во-вторых, *выбор проблем*. Мандельштам поясняет, что, говоря схематично, можно различать проблемы, носящие отпечаток искусственности, и проблемы, естественно вытекающие из органического развития какой-нибудь области знания. Первые могут иногда быть полезными, но мало способствуют *прогрессу* науки. Вторые же *жизненны* и поэтому плодотворны. Тут же Мандельштам делает характерную оговорку: «Я не хотел бы быть неправильно понятым. Говоря «жизненный», я не имею в виду сказать «утилитарный». И как наиболее разительные примеры приводит Эйнштейна с его теорией относительности, Планка, Бора и других с квантовой механикой, которые ответили на глубоко жизненные вопросы физики. «Науку двигает вперед решение жизненных проблем». К этим двум чертам классиков Андронов добавил высказывание Эренфеста о том, что классикам свойственно глубокое понимание *необходимости* нового в силу исключительного знания старого.

Мандельштам говорил о Крылове, Эренфест — об Эйнштейне и Боре, но ведь эти же черты присущи и самому Мандельштаму. Решенные им проблемы были *жизненны*, и именно поэтому их решение открывало новые пути и в физике, и в технике.

И еще одно. Когда речь шла об истоках физических теорий, Мандельштама никогда не удовлетворяло злоупотребление «очевидностью». Его всегда интересовали вопросы гносеологического порядка, и он стремился, с годами — все больше, уяснить себе (а значит, и другим) самые глубокие корни физических постулатов и теорий, корни как исторические, так и логические. Он был не только физиком-универсалом, но и глубоким мыслителем.

Может быть, лучше других обрисовал научный облик Мандельштама Андронов. В его докладе о Мандельштаме, сделанном после смерти Леонида Исааковича, очень точно схвачен ряд его характерных черт. Я назову лишь то, о чем я еще не говорил.

Андронов подчеркивает особую «мандельштамовскую» ясность, «прозрачность», как говорил сам Мандельштам. Естественно, что она являлась, с одной стороны, результатом глубокой продуманности вопроса, а с другой, — исключительного искусства Мандельштама в *идеализации* задачи. Это позволяло ему обращаться к предельно простым примерам, сохраняющим, однако, все существенные предпосылки. Вопросу о принципиально неизбежной, по правильной идеализации Мандельштам уделял большое внимание. Он считал, что даже школьник должен ясно понимать, что

в теории мы всегда имеем дело с идеализированными моделями реальных вещей и процессов.

Далее Андронов указывает на коллективный характер научного творчества и на отсутствие резкой грани между научной работой и преподаванием. И, наконец, он говорит

об идее выработки нелинейного мышления,
о мандельштамовском понимании роли теории колебаний в физике и
об идее колебательной взаимопомощи различных областей физики и техники.

На этих трех «руководящих точках зрения» Мандельштама я и хочу задержаться, поскольку после доклада Андропова прошло 35 лет.

Нелинейность, конечно, не новая вещь в физике. Небесная механика, гидродинамика, электротехника с железом, релятивистские уравнения движения, эйнштейновская теория гравитации — все это «от роду» нелинейно. Но в каждой из названных областей нелинейность всегда воспринималась как некая специфическая *неприятность*, как «своя» нелинейность в данной области. Первым, кто остро осознал необходимость выработки «нелинейного физического мышления», был именно Мандельштам. Он четко поставил задачу в своем замечательном докладе на конференции по колебаниям в 1931 г., поставил применительно к теории колебаний и радиотехнике. Нелинейность вошла в радиотехнику еще с искрового пробоя и с когерера Бранли, но с появлением электронных ламп и автогенераторов незатухающих колебаний она сделалась *жизненной* проблемой. В ту пору никто не понимал отчетливее и яснее Мандельштама, что широкие возможности классической линейной теории колебаний, начавшейся с Лагранжа и в большой мере завершенной Рэлеем, все же ограничены и что огромный круг физических и технических вопросов требует создания нового подхода, новой — *нелинейной* — теории. В решении этой проблемы роль Мандельштама нельзя переоценить.

Им самим или при прямом его участии был найден и развит нелинейный математический аппарат теории колебаний, развивался ее нелинейный язык, вырабатывались нелинейные понятия и нелинейная интуиция. Подводя итог этого процесса в 1944 г., Андронов предлагал сравнить положение дел в 1927 г., когда имелись лишь пионерские работы Ван-дер-Поля и немногих других авторов, с положением в 1944 г., когда уже находилась на вооружении качественная теория дифференциальных уравнений Пуанкаре, теория устойчивости Ляпунова, была развита теория разрывных автоколебаний, началось вторжение в теорию автоматического регулирования (управления) и сделаны первые шаги в *распределенных* нелинейных системах.

Закономерно продолжить сегодня это сопоставление и сравнить положение вещей в 1944 г. с 1979 г.

Нелинейное мышление вторглось в *теорию полей*, в *волновые задачи*, в том числе — в распространение электромагнитных волн и, в частности (из-за лазеров), в оптику. Дальнейшее развитие получила и нелинейная акустика и вообще гидродинамика. Качественная теория вышла за пределы двумерного фазового пространства. При этом уже при 1,5 степенях свободы был открыт новый вид устойчивого в большом предельного множества, так называемый «страшный аттрактор», обладающий всеми необходимыми признаками *стохастичности*, т. е. были открыты, как я сказал бы, *автошумящие* системы (Лоренц, 1963). Это было первое обнаружение *рождения стохастичности в детерминированной* системе с *малым* числом степеней свободы.

Были развиты конечномерные аналоги систем гидродинамического типа (Обухов, 1969), показана значимость числа измерений фазового

пространства и, в частности, обнаружена возможная потеря устойчивости странного аттрактора в расширенном фазовом пространстве (Должанский и Плешанова, 1979). Эти методы получили широкое применение для моделирования ряда гидродинамических явлений в жидкости — тепловой конвекции, автоколебаний, а также турбулентности и других случаев возникновения «беспорядка» (стохастичности) из «порядка», т. е. в детерминированной системе (см. обзоры Мони́на, Рабиновича в УФН, 1978).

Нельзя не отметить и в определенном смысле «обратные» процессы — рождение регулярности, порядка из беспорядка, например возникновение при конвекции устойчивых пространственно-периодических структур (в частности, известных ячеек Бена́ра).

Теория нелинейных колебаний получила дальнейшее развитие и применение к плазме, к химии, к биохимическим и мембранным системам, а также в астрофизике, в экологии. Можно упомянуть говоря о химии, концентрационные колебания и обнаружение автоволновых химических реакций (Зайкин, Жаботинский, 1970). Вообще было обнаружено, что в гомогенной химической системе могут происходить практически все виды колебаний, известные в нелинейных механических и электрических системах (Жаботинский, 1974).

Несомненно, что опыт, приобретаемый ныне в теории макроскопических нелинейных волн — со всеми их самовоздействиями, взаимодействиями, взаимными превращениями, образованием разрывов, разных структур, солитонов и т. п. — этот опыт сыграет свою роль в построении единой теории так называемых элементарных частиц и разных видов их взаимодействий. В сущности, этот перенос нелинейного мышления в теорию элементарных частиц уже происходит.

Таким образом, мандельштамовская идея выработки нелинейного мышления все шире охватывает физику, и бесспорно прав был Андронов, когда он закончил свое выступление словами: «Идеи Л. И. Мандельштама в области теории нелинейных колебаний ... имеют непреходящее значение. Этим идеям предстоит интенсивное развитие и богатая событиями жизнь».

Уже сам Мандельштам видел основания для распространения идей теории колебаний на всю физику. В этом, в сущности, и состояло то широкое понимание теории колебаний, к которому он пришел не сразу, а под конец жизни, в дни эвакуации в Боровом, и которое он, разумеется, тут же захотел поведать другим, задумав новый курс теории колебаний. Совсем большой, он начал читать этот курс в 1944 г., но успел прочитать только четыре лекции. Стержнем курса была мысль о том, что все *основные* открытия физики, начиная с законов Кеплера, по сути дела, были *колебательными*.

Первоначальное деление физики на ее традиционные (школьные) области имело, как известно, антропоморфный характер. Это — деление по нашему восприятию явлений. В рамках этого деления выросло достаточно полное знание законов внутри каждой из таких областей, что и подготовило почву к установлению *общности законов*, к тому, что Андронов называл позднее «изоморфизмом закономерностей». Это более поздний этап и, соответственно, более высокий вид классификации явлений — не по их восприятию, а по общности закономерностей. Такая классификация обладает огромной эвристической силой.

Уже Рэлей в своей «Теории звука» написал дополнительную главу об электрических колебаниях, подчеркнув, что оба вида *малых* колебаний, — звуковые и электрические, — это одно и то же. Сегодня это тривиально. Как сказал Пуанкаре: «Всякой истине суждено одно мгновение торжества — между бесконечностью, когда ее считают неверной (или

просто не знают. — *С.Р.*), и бесконечностью, когда ее считают тривиальной». Тем не менее, даже по поводу этого простейшего *линейного* изоморфизма Мандельштам говорил: «Но не тривиально именно то, что это тривиально». И действительно, еще интересней дело обернулось при дальнейшем развитии *нелинейной* теории колебаний. Принцип изоморфизма поднялся от тождественности уравнений на более высокий уровень: не простая тождественность уравнений, а принадлежность *разных* уравнений к одному и тому же типу или классу — в смысле топологической структуры фазового пространства. Андронов уже в 1944 г. приводил поразительные примеры. В частности, две задачи — о вращении синхронного электромотора и о симметричном полете самолета с постоянным углом атаки, — описываемые разными, несводимыми друг к другу уравнениями, — это с точки зрения теории колебаний одна и та же задача, с тремя одинаковыми стационарными режимами, обладающим одинаковой устойчивостью или неустойчивостью.

Вслед за Мандельштамом мы говорим теперь не только об *общеколесательных*, но и об *общеволновых* законах, хотя общей качественной теории какого-то функционального фазового пространства для нелинейных полей пока не существует.

Поскольку и в такой более развитой форме принципа изоморфизма речь идет об уравнениях, в каком-то смысле, говорил Мандельштам, все это математика. Но он же подчеркивал, что этот принцип нельзя считать «чистой» математикой. Ведь речь идет об уравнениях для *физических* величин, которые мы обязаны так или иначе уметь *измерять*. Наши уравнения, включая даже наиболее общие аксиомы (например, вариационные принципы), из которых их можно вывести, не являются результатом абстрактного соглашения, а подконтрольны опыту, отражают, как устроена природа. Поэтому и изоморфизм закономерностей — это не следствие логических упражнений, не что-то, принимаемое *a priori*. Поэтому же, говорил Мандельштам, «именно физика учит нас, как допрашивать дифференциальные уравнения».

Поскольку изоморфизм закономерностей не *априорен*, он может оказаться и не универсальным. Но в теории колебаний с ее общезначимым значением, он установлен с очень большой надежностью и давно уже широчайшим образом оправдал себя как при изучении уже известных, так и при открытии новых явлений. Я имею в виду мандельштамовскую идею «колебательной взаимопомощи» традиционных разделов физики, тот «интернациональный» язык теории колебаний, на котором эти разделы, говорящие на своих «национальных» языках, могут общаться между собой.

Вряд ли надо приводить относящиеся сюда высказывания из лекций и докладов Мандельштама. Я хотел бы только подчеркнуть то изумительное искусство, с каким сам Мандельштам пользовался этой колебательной взаимопомощью и в собственных исследованиях, и в своих лекциях. Это искусство позволяло ему с легкостью перебрасывать мосты между традиционно «разными» явлениями: от радио к оптике во времена Страсбурга, от оптики к радио в московские времена — при создании радиоинтерферометрии, и снова от радио к оптике в рэлеевском и комбинационном рассеянии. В вопросах резонанса, модуляции, в параметрике, где угодно он без малейшего усилия привлекал и механику, и электродинамику, и оптику, и акустику, и молекулярную физику, и квантовую механику. Можно сказать, что традиционное деление физики не играло для него роли, но... только там, где действительно работал изоморфизм закономерностей. С не меньшей ясностью он видел и специфические особенности разных областей физики.

Вообще у него удивительным образом сочетались любовь к широким обобщениям и зоркое, обостренное восприятие конкретного факта, в нем сочетались, как сказал Тамм, ум абстрактный и ум пластический.

Быть может, наиболее ярким и значительным примером выявления специфичности определенной области физики служит проведенный Мандельштамом анализ того, что означает *измерение* в квантовой физике, в отличие от доквантовой. Его теория *косвенных* измерений в квантовой механике — это, по свидетельству самих квантовиков (в частности, И. Е. Тамма) был оригинальный и весомый вклад в понимание самой квантовой теории.

Последнее, о чем нельзя не сказать, — это преподавание Мандельштама, его лекции, семинары и вообще его выступления. Много и многими написано о совершенно особой эмоциональной атмосфере, которую создавали выступления Мандельштама. Его лекции и доклады захватывали аудиторию, заставляли ее испытывать радостное возбуждение, забывать обо всем на свете и переживать услышанное. Даже люди, далекие от физики, бывали потрясены. «Оружием» Мандельштама были не ораторские ухищрения, а замечательное умение поразить слушателей, зажечь их интерес и заставить их увидеть вопросы там, где, казалось бы, уже все ясно в силу сказанного ранее. Он побуждал слушателей и ловить каждое слово, и напряженно думать. Этой цели служили, в частности, и парадоксы, к которым он любил прибегать. Но это было только «оружие». А в чем заключался корень или «секрет» такого воздействия?

В моих воспоминаниях, написанных для Юбилейного сборника, я отметил обостренное чувство стиля и формы у Мандельштама, его умение излагать вопрос не только убедительно и «прозрачно», но и красиво. Не даром П. Л. Капица сказал однажды, что, по его мнению, Мандельштам, конечно, эстет. Но вскоре я понял, что это не главное.

Преподавание Мандельштама не имело ничего общего с традиционным университетским преподаванием. Это не было многократное чтение курса из учебного плана, хотя бы и с ежегодными дополнениями и улучшениями. Все его 8 семинаров и 6 лекционных курсов в Москве были совершенно различны по тематике или по содержанию. Даже курс теории колебаний, начатый в 1944 г., вовсе не был воспроизведением курса под тем же названием, прочитанного в 1930—1932 гг., а был по замыслу совершенно новым. И я вижу теперь, что главное заключалось не в том, что Мандельштам любил и умел учить, а в том, что его лекции, семинары, доклады были *необходимы и ему самому*. Он жаждал поделиться своими идеями, плодами своих размышлений, — как по более узким вопросам, так и по общефизическим. Поэтому его преподавание не было обычным обучением физике, а было прежде всего школой физического мышления.

Поэтому его выступления были захватывающе интересны не только физикам.

Поэтому его лекции не устаревают и не могут устареть, несмотря на их давность.

С. И. Вавилов сказал у могилы Мандельштама: «Славное и доброе имя Леонида Исааковича не умрет в Советской стране и на всем свете до тех пор, пока будет жив хоть один физик с пониманием истинно большого и прекрасного в науке». Я слушал эту речь. Сергей Иванович сказал это не как фразу, подобающую похоронной церемонии, а с твердым убеждением в том, что так оно и будет. И все слушавшие его тоже были в этом убеждены. И сегодня меня не оставляет надежда на то, что сказанное Сергеем Ивановичем в конечном счете осуществится.