**Леонид Исаакович Мандельштам (1879–1944)**

Л.И. Мандельштам внес непреходящий творческий вклад в физику и технику, оказав основополагающее влияние на их развитие, в частности в СССР. Широко известны его исследования в области радиофизики и радиотехники, оптики и молекулярной физики, теории колебаний и радиоинтерферометрии, теории относительности и квантовой механики. Он обладал большим педагогическим дарованием и много труда отдавал преподавательской деятельности, которая была для него неотделима от научной, представляя по сути ее существенную и неотъемлемую часть, что и привело его к созданию известной физической школы.

Л.И. Мандельштам родился 4 мая 1879 г. в Могилеве в интеллигентной семье: отец — врач, мать — прекрасная пианистка, к тому же хорошо владеющая несколькими иностранными языками. Окончив с медалью в 1897 г. гимназию, Мандельштам поступил на математическое отделение физико-математического факультета Новороссийского университета в Одессе, однако в 1899 г. был исключен из университета в связи со студенческими волнениями.

Его дальнейшую жизнь можно условно разделить на три периода. Страсбургский период — до 1914 г., т. е. до начала первой мировой войны. Затем с 1914 по 1925 гг. — период войны, двух революций, гражданской войны и последующей разрухи, в течение которого Мандельштам сменил ряд городов и мест работы в поисках возможностей для серьезных научных исследований и для настоящего преподавания. И наконец, с 1925 г. — последний, московский, самый насыщенный и плодотворный период его жизни, расцвет его научной и педагогической деятельности, принесший главные его достижения.

Мандельштам продолжил образование в Страсбургском университете, где были еще сильны традиции кундтовской школы, представляемой тогда К. Брауном и Э. Коном. Под влиянием Брауна, который заметил способности Мандельштама, последний вскоре начал исследования в области электромагнитных колебаний. Первая его научная работа «Определение периода колебательного разряда конденсатора» (1902 г.), она же докторская диссертация, была посвящена разработке косвенного метода изучения электромагнитных колебаний. В 1902 г. Мандельштам был удостоен степени доктора философии Страсбургского университета и остался там работать в качестве ассистента у своего учителя Брауна, а в 1913 г. стал профессором.

Первое время Мандельштам участвовал в лабораторных исследованиях и испытаниях новых приемно-передающих устройств, разработанных Брауном, руководил работами докторантов и приезжих стажеров, много работал над повышением своего научного уровня, в частности, изучал труды Г. Гельмгольца, Г. Герца, Л. Больцмана, Х. Лоренца и особенно классический труд Дж. Рэлея «Теория звука», совершенствовал свою математическую подготовку, проявлял живой интерес к истории физики и философии науки.

В 1904 г. появилась вторая работа Мандельштама «К теории передатчика Брауна», а в 1906 г. — первое в длинном ряду исследование, выполненное совместно с Папалекси, в котором они предложили новый метод получения электромагнитных колебаний, сдвинутых по фазе в результате в 1903–1906 гг. в основном завершилось становление Мандельштама-исследователя.

С 1907 г. центр научных интересов Мандельштама начал смещаться к изучению взаимодействия электромагнитных волн в широком диапазоне с веществом, в частности к исследованию распространения света в различных средах, т. е. оптике. Это в большей мере отвечало складу его разностороннего ума. Первые оптические работы Мандельштама «Об оптически однородных и мутных средах» и «К теории дисперсии» относились к 1907 г. В первой он показал некорректность теории молекулярного рассеяния света Рэлея, во второй — несостоятельность теории дисперсии Планка в объяснении ослабления света его рассеянием при прохождении через однородную среду и рэлеевского вывода по этому же вопросу, показав, что оптически однородная среда не рассеивает проходящий через нее свет.

В следующем году в двух статьях с одинаковым названием «К теории дисперсии» Мандельштам, полемизируя с Планком, убедительно доказал справедливость своей точки зрения в вопросе рассеяния света и указал на ошибку, допущенную им при вычислениях.

В Страсбурге же Мандельштам сделал 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 следующего содержания:

«Дорогой г-н Мандельштам! Я только что доложил на коллоквиуме о Вашей красивой работе по флуктуациям поверхности, о которой ранее мне сказал Эренфест. Сожалею, что Вас лично тут нет. С наилучшим приветом. Ваш А. Эйнштейн».

На открытке расписались участники коллоквиума.

Последующие исследования рассеяния света, проведенные А. Эйнштейном, М. Смолуховским и Л.И. Мандельштамом, показали, что причиной нарушения оптической однородности среды, через которую проходит свет, являются случайные флуктуации показателя преломления среды.

Осенью 1907 г. произошло очень важное событие, в личной жизни Мандельштама — его женитьба на Лидии Соломоновне Исаакович, первой русской женщине, получившей диплом архитектора в 1906 г. в Париже. От этого брака в 1910 г. родился сын, Сергей Леонидович, в дальнейшем физик, член-корреспондент РАН, известный своими работами в области спектроскопии и физики электрической искры.

В 1907–1914 гг. Мандельштам проявил себя не только замечательным экспериментатором и теоретиком, завоевавшим авторитет среди радиоспециалистов и физиков вообще, но и талантливым лектором, прочитавшим ряд курсов по различным разделам физики. Он вел также занятия со студентами и докторантами. В результате у Мандельштама появилось много учеников. В этот же период окончательно завершилось становление Мандельштама как физика и, как писал Папалекси, «выявились все характерные черты его как ученого — глубокого теоретика и тонкого экспериментатора». Уже тогда, по словам Папалекси, Мандельштам «отличался особой остротой ума, глубиной и логичностью мысли, а также ясностью своих теоретических познаний».

Летом 1914 г. Мандельштам возвратился в Россию. Период 1915–1925 гг. был малоэффективным в его научном творчестве, хотя некоторые идеи его последующих основополагающих работ зарождались именно в это время, в процесс е его научных размышлений. К ним относится идея перенесения в оптику представления о модуляции колебаний (1918 г.). В 1915 г. Мандельштам — приват-доцент Новороссийского университета, затем консультант радиотелеграфного завода в Петрограде, в 1917–1918 гг. — профессор Тифлисского политехнического института.

С осени 1918 г. Мандельштам снова в Одессе, где принимал активное участие в создании политехнического института. В качестве заведующего кафедрой физики он привлек для работы в институте Н.Д. Папалекси, И.Е. Тамма, М.А. Аганина, Б.Ф. Цомакиона, К.Б. Романюка и др. и с ними организовал физическую лабораторию, поставил на должный уровень также лекционную работу и практические занятия. В тяжелых условиях гражданской войны и разрухи Мандельштам регулярно читал лекции, а для небольшой группы студентов прочитал курс теории колебаний.

В конце 1922 г. Мандельштам переехал в Москву и начал работать консультантом Радиолаборатории треста заводов слабого тока. В начале 1924 г. он переехал в Ленинград в связи с переводом и преобразованием радиолаборатории в ЦРЛ. Здесь совместно с Папалекси им были предложены новые способы радиотелефонной и радиотелеграфной модуляции, изучены вопросы стабилизации частоты, высокоселективные приемники и др.

Мандельштам ставил и своими руками проводил эксперименты — как демонстрационные, так и исследовательские, сам участвовал в радиотехнических исследованиях — как в натурных, так и в заводских условиях и, более того, получил (наполовину в соавторстве с Папалекси) 60 патентов на изобретения, на новые принципы измерений, новые приборы и устройства инженерного характера.

Однако все это время Мандельштама постоянно влекло к физическим исследованиям и преподавательской деятельности. Поэтому он с большим удовольствием принял в 1925 г. предложение о переходе в Московский университет, где возглавил кафедру теоретической физики, а также стал сотрудником Научно-исследовательского института физики, оставаясь до 1935 г. консультантом в ЦРЛ.

В университете Мандельштам стал ведущим ученым физического факультета, где на возглавляемой им кафедре и в институте развернул широкие теоретические и экспериментальные исследования в области рассеяния света, молекулярной физики, ультраакустики, теории колебаний, радиофизики. Широкую известность получили также блестящие лекции и семинары Мандельштама по фундаментальным физическим проблемам, влияние которых выходило далеко за рамки физического факультета.

В эти же годы к Мандельштаму пришло и официальное признание его многочисленных научных заслуг. В 1928 г. он избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1929 г. — академиком. В 1931 г. ему присуждена премия имени В.И. Ленина. С 1934 г. Мандельштам — также научный сотрудник Физического института АН СССР (ФИАН), где активно участвовал в работе лабораторий колебаний и оптики, руководимых его ближайшими друзьями Папалекси и Г.С. Ландсбергом.

Таким образом, с 1925 г. в научном творчестве и педагогической деятельности Мандельштама начался качественно новый этап, с которым связаны его наиболее выдающиеся результаты в оптике и теории колебаний. Именно Мандельштам, восприняв в полной мере радиофизическую идеологию в школе Брауна, перенес в оптику идею модуляции, в частности наличие модуляции рассеянного света собственными упругими (дебаевскими) волнами среды, рассеивающей падающий свет. На основе этих соображений Мандельштам в 1920–1921 гг. пришел к выводу, что рассеяние монохроматического света в среднем оптически однородной средой должно сопровождаться изменением его длины волны (частоты) и вычислил это изменение. Изменение спектрального распределения света при его рассеянии в кристаллах предсказал также французский физик Л. Бриллюэн, рассматривая вопрос о рассеянии света упругими волнами, опубликовавший свои результаты в 1922 г. Отсюда название явления — *эффект Мандельштама – Бриллюэна*.

Мандельштам совместно с Ландсбергом задался целью обнаружить на опыте предполагаемое и вычисленное им изменение длины волны рассеянного света, т. е. экспериментально обнаружить в спектре рассеянного света компоненты, смещенные относительно линии возбуждающего света и обусловленные модуляцией рассеянного света дебаевскими упругими волнами. Поиски этого эффекта в плавленом кварце привели Мандельштама и Ландсберга к открытию в 1928 г. принципиально нового физического явления — *комбинационного рассеяния света*.

Большое место в научном творчестве Мандельштама всегда занимали исследования в области теории колебаний. Начатые еще в Страсбурге, они первоначально относились к линейным колебательным системам. Однако с использованием в радиоприемных и радиопередающих устройствах электронных ламп — нелинейных колебательных систем, свойства которых зависят от происходящих в них процессов, — в радиотехнике начинают интенсивно изучаться явления генерации незатухающих колебаний, которые линейная теория описать уже не могла. Это привело к возникновению учения о нелинейных колебаниях, т. е. таких, которые описываются уже нелинейными дифференциальными уравнениями.

С начала 1930-х гг. центр исследований по нелинейным колебаниям переместился в СССР, что несомненно стало заслугой Мандельштама и его школы. Первые его исследования в этой области (совместные с Папалекси), начатые еще в 1918–1920 гг. в Одессе, касались самовозбуждения и автоколебаний лампового генератора. Особенно они усилились в конце 1920-х гг., когда Мандельштам в 1927 г. начал развертывать эти работы в МГУ.

В 1931 г. Мандельштам выступил на Всесоюзной конференции по колебаниям с докладом, в котором изложил широкий спектр вопросов нового нелинейного направления в теории колебаний. «Острее, чем кто-либо до него, Л.И. видит пропасть, отделяющую нелинейные задачи от привычных линейных, — отмечали его ученики. — Он подчеркивает необходимость не только решения отдельных задач, но и создания наряду с линейной колебательной культурой новой, нелинейной колебательной культуры, включающей надежный математический аппарат и физические представления, адекватные новым задачам, выработку нелинейной интуиции, годной там, где оказывается непригодной интуиция, выработанная на линейных задачах».

Мандельштам остро ощущал необходимость выработки нелинейного мышления, руководящих нелинейных теоретических концепций, которые дали бы возможность разобраться в широком круге сложных нелинейных процессов, необходимость строгого математического рассмотрения задач теории нелинейных колебаний.

В 1927 г. А.А. Андронов, решая поставленную Мандельштамом задачу создания для идеализированной модели лампового генератора строгой теории, которая описывала бы характерные процессы самовозбуждения и установления автономных колебаний в ней, не зависящих от начальных условий, нашел в работах А. Пуанкаре и А.М. Ляпунова основы математического аппарата, адекватного не только отдельным задачам, а всему циклу проблем нелинейных колебаний. Андроновым была найдена общая качественная теория нелинейных, в том числе сильнонелинейных систем. Отталкиваясь от нее, он развил методы рассмотрения незатухающих колебаний в нелинейных автономных системах, построив строгую теорию автоколебаний. О работах Андронова рассказано ниже.

Однако Мандельштам не только разработал новый взгляд и новый подход на исследования нелинейных процессов, создав при этом новые понятия, терминологию, расчетные методы, но не меньшее значение имели и полученные им совместно с Папалекси конкретные результаты в этом направлении. В 1932 г. ими был открыт резонанс *n*-рода и создана его теория, обнаружено явление асинхронного возбуждения и дана его теория (1933 г.), построен (1931 г.) генератор переменного тока, существенно отличный от предыдущих — так называемая *параметрическая машина* (теоретическое и экспериментальное изучение вопросов параметрического возбуждения электрических колебаний было начато ими с сотрудниками в ЦРЛ и НИИФ в 1927 г.). Важную роль сыграл предложенный Мандельштамом прием рассмотрения сильнонелинейных систем — так называемые *условия скачка*, лежащие в основе теории разрывных колебаний, который дал возможность A.A. Андронову, А.А. Витту и С.Э. Хайкину провести последовательный анализ процессов в мультивибраторе и иных релаксационных системах.

Из других методов, развитых и успешно используемых окружением Мандельштама при исследовании нелинейных систем, следует выделить *метод припасовывания* (впервые применен Папалекси в 1911 г.), *метод малого параметра Пуанкаре* (открыт Андроновым и затем развит им и Виттом), *метод Ван дер Поля*, или *метод медленно меняющихся амплитуд* (получил однозначную рецептуру применения благодаря Мандельштаму и Папалекси). Огромное значение для формирования колебательной культуры, появления новых идей имели лекции и семинары Мандельштама по теории колебаний.

Вскоре благодаря усилиям Мандельштама, Папалекси и их учеников теория нелинейных колебаний оформилась в самостоятельное направление и стала бурно развиваться. Был получен ряд фундаментальных результатов в этой области:

* + построена строгая теория захватывания (А.А. Андронов, А.А. Витт и др.);
	+ дан анализ поведения систем для случая медленного изменения параметров (Л.И. Мандельштам, А.А. Андронов, М.А. Леонтович);
	+ выяснены условия, при которых периодическое изменение реактивных параметров системы приводит к возбуждению в ней колебаний с частотой, близкой к собственной частоте системы и жестко связанной с частотой изменения параметра (А.А. Андронов, М.А. Леонтович);
	+ разработана общая теория резонанса в линейных системах с периодически меняющимися параметрами (Г.С. Горелик);
	+ открыты и исследованы комбинационный резонанс и комбинационная синхронизация (В.В. Мигулин);
	+ резонанс 2-го рода в системах с несколькими степенями свободы (С.М. Рытов) и др.

Исследования по нелинейным колебаниям конца 1920-х – начала 1930-х годов велись под общим методологическим и практическим руководством Мандельштама в НИИФе МГУ и ФИАНе в Москве, ЦРЛ, ЛЭФИ и Индустриальном институте в Ленинграде, Горьковском физико-техническом институте и были тесно связаны между собой, составляя по сути одно направление.

Ценным вкладом в литературу по колебаниям стала и книга Андронова, Витта и Хайкина «Теория колебаний», сыгравшая большую роль в подготовке специалистов по рассматриваемому предмету, по ней не одно поколение физиков и инженеров изучало теорию нелинейных колебаний.

Таким образом, если в конце 1920-х гг. благодаря усилиям Мандельштама, Папалекси, Андронова и Витта, теория нелинейных колебаний заявила о себе как самостоятельное научное направление, то в 1930-х гг. в школе Мандельштама она получила бурное развитие, и наша страна стала общепризнанным центром исследований в этой области.

Подход к трактовке колебательных процессов в различных системах, развитый в работах Мандельштама и его учеников, стал надежной основой для успешного построения теории и методов расчета современных устройств. Дальнейшее развитие теории нелинейных колебаний и ее приложений уже не только учениками Мандельштама, а и учениками его учеников открыло новые возможности для ее применения в различных областях науки и техники.

К выдающимся достижениям Мандельштама и Папалекси следует отнести также разработанный ими совместно с учениками *радиоинтерференционный метод исследования распространения радиоволн*. В начале 1930-х гг. Мандельштам и Папалекси предложили, а немного спустя совместно с Е.Я. IЦеголевым и Э.М. Рубчинским осуществили в нескольких вариантах способ измерения расстояний с помощью радиоволн, распространяющихся над земной и водной поверхностями. Метод этот получил наименование радиоинтерференционного, так как был основан на использовании явления интерференции (сложения) двух (или нескольких) радиоволн, распространяющихся между пунктами, расположенными один от другого на измеряемом расстоянии.

После того как первые опыты по измерению расстояний радиоинтерференционным способом, проводившиеся Центральной лабораторией совместно с ЦНИИГАиК, дали положительные результаты, Гидрографическое управление Главсевморпути заказало ЦРЛ комплект аппаратов типа МПЩ-2 (название это составлено по начальным буквам фамилий Мандельштам, Папалекси, Щеголев), состоявший из двух станций.

После опытов, проведенных с этой аппаратурой на Черном море, Гидрографическим управлением была заказана дополнительно еще одна «отражающая» станция типа МПЩ-4. В 1936 г. вся эта система была направлена в Арктику, где была всесторонне испытана.

Проведенные работы подтвердили принципиальную возможность применения радиоинтерференционного способа координации (определения места) при гидрографических работах. Начало применения радиоинтерференционных методов для проведения гидрографических работ, а позже и для навигации было положено Щеголевым.

В дальнейшем на радиоинтерференционного метода возникли и новые технические дисциплины — *радиогеодезия* и *радионавигация*. В 1942 г. Мандельштам совместно с Папалекси обосновал возможность радиолокации Луны. В этом же году за цикл работ по радиоинтерферометрии они были удостоены Государственной премии СССР.

Большое значение для развития теории колебаний имели лекции и семинары Мандельштама в Московском университете. Эти лекции и семинары иногда содержали новые научные результаты, которые нигде больше не публиковались. Но, может быть, еще большее значение этих лекций было в систематическом привитии навыков колебательного мышления, в общем повышении колебательной культуры.

Влияние этих лекций и семинаров Мандельштама, посвященных теории колебаний, как и других, посвященных теории электромагнитного поля, оптике, теории относительности, физической статистике, квантовой механике, далеко выходило за пределы физического факультета МГУ. Они собирали со всей Москвы многочисленную и разнообразную аудиторию, в которой наряду со студентом можно было встретить профессора, наряду с физиком — математика и инженера.

Все сказанное выше свидетельствует, что Мандельштам органически соединял в себе наиболее характерные черты физика-теоретика, физика-экспериментатора и физика-прикладника. В области чисто теоретической физики он исследовал принципиальные вопросы квантовой механики и теории относительности. Совместно с Леонтовичем он разработал (1927 г.) теорию прохождения частицы через потенциальный барьер, в начале 1940-х гг. с Таммом дал более общую трактовку соотношению неопределенностей «энергия — время». В идеях Мандельштама содержалась также матрица рассеяния (*S*-матрица), которая была введена в квантовую теорию в 1943 г. В. Гейзенбергом. Мандельштам сразу же понял физическое значение теории относительности и многое сделал для ее разъяснения и утверждения.

Талант крупного ученого и педагога, богатство мыслей и идей, личные качества привлекали к Мандельштаму творческую молодежь и привели к созданию им в московский период большой научной школы. «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». Так отзывался о школе Мандельштама его ученик С.М. Рытов.

Эти талантливые молодые ученые, аспиранты и студенты, группировавшиеся в основном в Москве вокруг Мандельштама, и составили его научную школу. Ее представляют А.А Андронов, А.А. Витт, Г.С. Горелик, М.А. Дивильковский, Г.Д. Малюжинец, В.В. Мигулин, С.М. Рытов, П.А. Рязин, С.П. Стрелков, К.Ф. Теодорчик, М.И. Филиппов, С.Э. Хайкин (теория колебаний), Г.С. Ландсберг, П.А. Бажулин (оптика), М.А. Леонтович, И.Е. Тамм, С.П. Шубин (теоретическая физика), И.М. Борушко, К.Э. Виллер, В.П. Гуляев, Э.М. Рубчинский, Е.Я. Щеголев (радиофизика), М.А. Исакович (молекулярная физика) и др. Ряд из них стали учениками Мандельштама еще в домосковский период (Одесса, Ленинград), а некоторые, специализирующиеся в теории колебаний и радиофизике, являются общими учениками с Папалекси. Следует заметить, что поэтому можно говорить и о радиофизической школе Мандельштама – Папалекси.

Вдохновляемая идеями Мандельштама школа творчески развила созданные им направления в физике и технике и инициировала новые, а его ученики Тамм, Андронов и Леонтович создали собственные широко известные научные школы.

Вернемся к биографии Мандельштама. Бурная и напряженная деятельность Мандельштама внезапно оборвалась, когда в июне 1941 г. на нашу страну обрушилось кровавое бедствие войны. Первые тяжелые недели войны не оставляли никакой психологической возможности Мандельштаму для продолжения научной работы. К этому скоро присоединилось и внешнее обстоятельство: эвакуация научных учреждений Академии наук из Москвы, которой предшествовала эвакуация по распоряжению правительства всех престарелых или слабых здоровьем членов Академии на сибирский курорт Боровое.

Несмотря на то, что в момент отъезда Мандельштам 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.

Как только позволила обстановка, Мандельштам приехал 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 СССР, и в течение зимы 1943–1944 гг. начала развертываться работа в лабораториях, конечно, встречавшая на первых порах немало трудностей. В эту же зиму Мандельштам возобновил работу в университете, объявив курс, посещавшийся, как и в прошлые годы, множеством аспирантов и научных сотрудников, число которых значительно превосходило число студентов. Темой этого курса были вопросы теории колебаний. Однако здоровье Мандельштама было сильно подорвано, и в течение весеннего семестра состоялись только четыре лекции.

27 ноября 1944 г. Леонида Исааковича Мандельштама не стало.

Литература о Л.И. Мандельштаме

1. Академик Леонид Исаакович Мандельштам. Сборник статей. — М.: Знание, 1980.
2. Физики о себе. — Л.: Наука, 1990.
3. Леонид Исаакович Мандельштам / Сост. Вреден-Кобецкая Т.О. — М.: Изд-во Всесоюз. книж. палаты, 1941.
4. Мигулин В.В. Л.И. Мандельштам и становление советской физики // Природа. — 1979. — № 5. — С. 44–54.
5. Академик Л.И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения. — М.: Наука, 1979.
6. Фабелинский И.Л. Комбинационному рассеянию света — 70 лет // УФН. — 1998. — т. 168. — № 12. — С. 1341–1360.
7. Печенкин А.А. Л.И. Мандельштам. Исследование, преподавание и остальная жизнь. — М.: Логос, 2011.
8. АРАН. Фонд 1622. «Мандельштам Леонид Исаакович, (1879–1944), физик, специалист в области радиотехники, академик АН СССР (1929)».
9. Мигулин В.В. Л.И. Мандельштам и исследования по радиоинтерферометрии // УФН. — 1979. — т. 128. — вып. 4. — С. 667–680.
10. Фейнберг Е.Л. Эпоха и личность. Физики. Очерки и воспоминания. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Физматлит, 2003.
11. Горелик Г.Е. Леонид Мандельштам и его школа // Вестник РАН. — 2004. — № 10. — С. 932–940.
12. Папалекси Н.Д. Краткий очерк жизни и научной деятельности Леонида Исааковича Мандельштама // УФН. — 1945. — т. XXVII. — вып. 2. — С. 142–158.
13. Рагульский В.В. Самый замечательный человек среди ученых (к 130-летию со дня рождения Л.И. Мандельштама) // УФН. — 2009. — т. 179. — № 11. — С. 1245–1251.
14. Замечательные ученые / под ред. С.П. Капицы. — М.: Наука, 1980.
15. Рытов С.М. О Леониде Исааковиче Мандельштаме // УФН. — 1979. — т. 129. — вып. 2. — С. 279–288.