

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

К 100-летию со дня рождения С.М. Рытова

Научная сессия Отделения физических наук
Российской академии наук, 26 ноября 2008 г.

Ю.В. Гуляев; Ю.Н. Барабаненков; А.Е. Каплан, С.Н. Волков;
В.И. Кляцкин; Л.С. Долин

PACS number: 01.10.Fv

DOI: 10.3367/UFNr.0179.200905f.0531

26 ноября 2008 г. в конференц-зале Физического института имени П.Н. Лебедева РАН состоялась Научная сессия Отделения физических наук Российской академии наук, посвящённая 100-летию со дня рождения С.М. Рытова. На сессии были заслушаны доклады:

1. **Гуляев Ю.В.** (Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва). *Сергей Михайлович Рытов* (вступительное слово).

2. **Барабаненков Ю.Н.** (Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва). *Асимптотический предел теории переноса излучения в задачах многократного рассеяния волн случайно-неоднородными средами.*

3. **Каплан А.Е., Волков С.Н.** (Johns Hopkins University, Baltimore, USA). *Поведение локальных полей в нанорешётках из сильно взаимодействующих атомов: наностраты, гигантские резонансы, "магические" числа и оптическая бистабильность.*

4. **Кляцкин В.И.** (Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва). *Современные методы статистического описания динамических стохастических систем.*

5. **Долин Л.С.** (Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород). *Развитие теории переноса излучения в приложении к задачам инструментального видения в мутных средах.*

Краткое содержание докладов публикуется ниже.

PACS numbers: 01.60.+q, 01.65.+g, 42.25.Bs
DOI: 10.3367/UFNr.0179.200905g.0531

Сергей Михайлович Рытов
(вступительное слово)

Ю.В. Гуляев

3 июля 2008 г. исполнилось 100 лет со дня рождения одного из крупнейших российских радиофизиков, члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Сергея Михайловича Рытова.

В каждой из областей физики, которых Сергей Михайлович касался, а это — теория колебаний и



Сергей Михайлович Рытов
(03.07.1908 – 22.10.1996)

акустика, распространение волн, электродинамика и оптика и, наконец, статистическая радиофизика, — ему принадлежат результаты первостепенной важности, получившие мировое признание. Некоторые из них стали основополагающими для новых направлений теоретической радиофизики. Работы С.М. Рытова по параметрическим системам, развитию метода возмущений и его приложению к задаче о стабилизации частоты

генератора принадлежат к крупнейшим достижениям советской школы теории нелинейных колебаний. К числу наиболее существенных результатов из серии исследований по дифракции света на ультразвуковых волнах относится, в частности, разработанный им метод плавных возмущений (известный в литературе как метод Рытова), нашедший широкое применение в исследованиях распространения волн в случайно-неоднородных средах. В области статистической радиофизики работы С.М. Рытова, подытоженные им в монографии, открыли новое направление теории тепловых флуктуационных шумов и полей, позволяющее единым образом рассмотреть тепловые электромагнитные поля для всего диапазона частот — от квазистационарной области до оптической.

Можно было бы и ограничиться этим кратким перечислением — о великом человеке можно рассказать кратко.

Но я, тем не менее, напомним основные этапы биографии Сергея Михайловича, в основном для молодёжи, которая не имела счастья работать рядом с ним.

Сергей Михайлович Рытов родился 3 июля 1908 г. в Харькове. В 1930 г. он окончил физико-математический факультет Московского государственного университета, а в 1933 г. — аспирантуру МГУ под руководством академика Леонида Исааковича Мандельштама. Надо сказать, что в своей дальнейшей научной и педагогической деятельности Сергей Михайлович достойно продолжил лучшие традиции школы Л.И. Мандельштама, которого всегда считал своим учителем. Эти прекрасные традиции, среди которых — безграничная преданность науке и чрезвычайная требовательность к себе, Сергей Михайлович постоянно прививал и научной молодёжи.

В 1934 г. Сергей Михайлович был зачислен на должность научного сотрудника 1-го разряда в оптическую лабораторию Физического института Академии наук СССР (ФИАН), а позднее, с 1950 г. по 1958 г., был заведующим теоретическим сектором этой лаборатории. В 1958 г. по просьбе академика Александра Львовича Минца Сергей Михайлович перешёл в теоретический отдел Радиотехнического института АН СССР (РТИ), где он работал до конца жизни.

Сергей Михайлович беззаветно отдавал всего себя научной работе. Талант и трудолюбие позволили ему добиться замечательных результатов, стать общепризнанным авторитетом во многих областях физики и, прежде всего, радиофизики.

Выполненное им исследование дифракции света на ультразвуке стало одним из основополагающих в акустооптике, получившей в дальнейшем бурное развитие и разнообразные применения на практике. Разработанный метод плавных возмущений (метод Рытова) открыл широкие возможности исследования распространения волн в случайно-неоднородных средах. Эти возможности были с успехом реализованы позднее самим Сергеем Михайловичем, его учениками и последователями. Полученные результаты частично подытожены в широко известных обзорах, опубликованных в *УФН* (1970–1975 гг.), в последних изданиях *Введения в статистическую радиофизику*, отражены в монографиях и обзорах других авторов. В РТИ одни из основных работ Сергея Михайловича легли в основу важнейших исследований влияния тропосферы и ионосферы Земли на

точность создаваемых наземных радиолокационных комплексов дальнего действия и оценки их потенциальных возможностей в условиях реальной атмосферы.

Докторская диссертация Сергея Михайловича "Модулированные колебания и волны" оказала огромное влияние на развитие теории колебаний и ярко продемонстрировала плодотворность последовательного колебательного подхода к различным задачам физики. Опубликованная в *Трудах ФИАН СССР* в 1940 г., она стала настольным руководством для многих исследователей в области теории колебаний. Вопросами теории колебаний и волн Сергей Михайлович занимался и позднее, получив важные результаты в теории автоколебаний систем томсоновского типа, теории бегатронных и синхротронных колебаний, теории параметрических генераторов и усилителей (1948–1963 гг.). Им впервые рассмотрен вопрос о резонансе в параметрических системах, исследовано явление "затягивания" при жёстком режиме самовозбуждения колебаний. Его работы по параметрическим системам, развитию метода возмущений и приложению этого метода к задаче о стабилизации частоты генератора принадлежат к крупнейшим достижениям отечественной школы теории нелинейных колебаний. Выполненные им исследования в теории колебаний успешно развивались многочисленными учениками и последователями.

Развитая Сергеем Михайловичем и завершённая им совместно с М.Л. Левиным теория равновесных тепловых флуктуаций электромагнитного поля, в которой "неожиданно" эффективной оказалась классическая теорема взаимности, приводит к единому описанию этих флуктуаций во всем диапазоне частот — от квазистационарной области до оптического диапазона — и широко используется в самых разнообразных областях физики. Впоследствии результаты теории были обобщены для случая поля любой природы (1973 г.).

Сергею Михайловичу принадлежит наиболее общая феноменологическая теория молекулярного рассеяния света, включающая в себя анализ спектров Мандельштама–Бриллюэна и деполаризованного излучения, а также спектра рассеяния, обусловленного флуктуациями энтропии (1955–1970 гг.). Эта теория, подтверждённая многочисленными экспериментами, получила общее признание.

Отметим также работы Сергея Михайловича, в которых впервые было дано строгое решение задачи об отражении электромагнитных волн от слоя с отрицательной диэлектрической постоянной, указан корректный электродинамический подход к проблеме распространения волн в трубах и обобщённых линиях передачи с потерями, рассмотрен новый вид фазовых дифракционных структур, внесена полная ясность в вопрос о связи между вектором Пойнтинга, вектором групповой скорости и плотностью энергии при распространении электромагнитных волн в анизотропных средах.

Неотъемлемой частью творческой деятельности Сергея Михайловича являлась педагогическая работа, которой он увлечённо и чрезвычайно ответственно занимался практически всю жизнь. О её значении в жизни Сергея Михайловича свидетельствует уже тот факт, что именно этот вид деятельности он поставил на первое место в своих *Биографических сведениях*, где он пишет, что преподавать начал ещё в 1928 г., будучи студентом 3-го курса МГУ. Позднее он читал лекции по физике и

математике в МГУ и в Горьковском государственном университете.

С 1947 г. и практически до конца жизни Сергей Михайлович Рытов работал по совместительству в Московском физико-техническом институте¹ (МФТИ), являясь до 1949 г. профессором кафедры общей физики, а затем — профессором кафедры радиофизики. С 1953 г. по 1978 г. (т.е. 25 лет) он возглавлял эту кафедру МФТИ.

Каждый, кто хотя бы раз слышал выступление Сергея Михайловича, восхищался его лекторским мастерством, отточенной формой, ясностью, глубиной и в то же время простотой изложения. Студенты любили своего профессора, с удовольствием посещали его лекции и уходили после сдачи экзамена Сергею Михайловичу с чувством полного удовлетворения, независимо от полученной оценки, — он всегда был предельно корректен и справедлив.

Мне тоже выпало счастье прослушать его курс "Теория колебаний" и даже получить лично у него отличную оценку. Я, как и другие студенты, подробно записывал все лекции его курса и в дальнейшей своей работе в области теории колебаний и микроволновой акустики пользовался, по существу, только ими. Таким полным и ясным был этот курс лекций Сергея Михайловича.

Венцом педагогического творчества Сергея Михайловича является курс лекций по статистической радиофизике, который он создал и блистательно читал в течение многих лет в МФТИ. Здесь впервые прозвучало данное им наиболее краткое и ёмкое определение: "Радиофизика — это физика для радио плюс радио для физики", узаконившее радиофизику в ряду смежных дисциплин. На основе этих лекций им был написан первый в мире учебник по статистической радиофизике для высшей школы — *Введение в статистическую радиофизику* (1966 г.), который получил признание не только в нашей стране, но и за рубежом.

Сергей Михайлович принимал активное участие в создании учебников физики под редакцией Н.Д. Папалекси (1939–1948 гг.), в создании *Элементарного учебника физики* под редакцией Г.С. Ландсберга. Под редакцией самого Сергея Михайловича вышло 15 книг, из них три переводных.

Долгое время, начиная с 1953 г., Сергей Михайлович являлся бессменным руководителем основанного им Общесоюзного радиофизического семинара, который оказал огромное влияние на развитие отечественной радиофизики. В работе семинара постоянно принимали участие учёные из многих научных центров страны, так что на самом деле этот семинар был общесоюзным. Популярность и высокий рейтинг семинара были обусловлены, в первую очередь, непререкаемым научным авторитетом Сергея Михайловича, его умением дать квалифицированную оценку работы и чётко сформулировать её сильные и слабые стороны. Семинар был чисто научным, лишённым всякого официоза и формальностей. Единственной "официальной бумагой" была повестка дня с названиями докладов и фамилиями докладчиков, которая заблаговременно рассылалась секретарём семинара. На заседаниях царил демократия, умело управляемая Сергеем Михайловичем.

Семинар явился центром притяжения не только радиофизиков, но и специалистов самых разных областей физики, заинтересованных в методологии и результатах радиофизических исследований. Трудно назвать какое-либо новое актуальное направление радиофизики, которое не было бы представлено на семинаре. Именно здесь многие направления получили путёвку в жизнь. Для молодых участников семинар был настоящей научной школой. Этому способствовала особая атмосфера неподдельного интереса к науке, доброжелательности и мягкого юмора, которую создавал Сергей Михайлович на заседаниях. Поэтому неудивительно, что к школе Рытова с гордостью причисляют себя не только его непосредственные ученики и сотрудники, но и многие другие, на ком благотворно отразилось общение с Сергеем Михайловичем.

Более 35 лет, начиная с 1958 г., Сергей Михайлович проработал в РТИ — институте, призванном решать важные государственные оборонные задачи. Его работа по тематике РТИ касалась исследования принципиальных физических вопросов, связанных с разработкой и созданием наземных крупноапертурных радиоинформационных комплексов. По мелочам его старались не беспокоить. Он был инициатором и непосредственным участником ряда направлений исследований в РТИ, важных для развития основанной тематики института.

Одно из направлений работ С.М. Рытова — исследование влияния неоднородностей атмосферы на характеристики радиолокаторов дальнего действия — уже упоминалось. Можно также указать на такие направления, как разработка и создание малошумящих параметрических усилителей, развитие акустооптических методов обработки радиолокационных сигналов, исследование ионосферы с помощью ракет и искусственных спутников Земли в интересах дальней радиолокации и др.

В спорных ситуациях С.М. Рытову доводилось выступать в роли авторитетного арбитра. Его мнение всегда было глубоко аргументированным и научно обоснованным, что позволяло избегать неверных и авантюрных технических решений, насколько бы привлекательными они не казались на первый взгляд. К нему часто обращались за советом и консультацией как руководители подразделений и члены дирекции, так и рядовые сотрудники. Он никому не отказывал. Надолго сохранились в памяти доклады по актуальным направлениям науки и техники, прочитанные им на семинарах в РТИ для широкой аудитории сотрудников. Лаборатория теоретической радиофизики, которую он возглавлял, была центром притяжения талантливой творческой молодёжи, прежде всего студентов и аспирантов базовой кафедры радиофизики МФТИ, многие из которых стали потом кандидатами и докторами наук, руководителями и ведущими специалистами в нашей стране.

Сергей Михайлович широко использовал свои знания и опыт в научно-общественной деятельности: он был членом Учёных советов МФТИ и РТИ, членом редколлегии журнала *Радиотехника и электроника*, входил в состав Методического совета по физико-математическим наукам Всесоюзного общества "Знание", Межведомственного научно-технического совета по проблеме и службе "Солнце–Земля"² и бюро Научного совета

¹ До 1951 г. — физико-технический факультет МГУ.

² С 1978 г. — Научный совет АН СССР по проблеме "Физика солнечно-земных связей".

АН СССР по комплексной проблеме "Распространение радиоволн", являлся председателем секции Научного совета АН СССР по проблеме "Статистическая радиофизика" и др.

Выдающиеся научные и трудовые заслуги С.М. Рытова отмечены присуждением ему Золотой медали им. А.С. Попова, Премии им. Л.И. Мандельштама, Государственной премии, а также награждением его многими орденами и медалями.

Отмечая 100-летие со дня рождения Сергея Михайловича Рытова, мы с благодарностью вспоминаем тот огромный вклад, который он внёс в становление и развитие радиофизики и смежных с ней дисциплин, в формирование отечественной радиофизической школы, в воспитание и подготовку научных кадров. Его отличали беззаветная преданность науке, блестящее педагогическое мастерство, высокие человеческие качества. Имя С.М. Рытова безусловно занимает достойное место в ряду классиков отечественной и мировой науки.

Более подробные сведения о жизни и научной деятельности Сергея Михайловича Рытова можно найти в редакционной статье специального выпуска журнала *Электромагнитные волны и электронные системы*, посвящённого 100-летию со дня рождения этого учёного.

PACS numbers: 42.25.Bs, 42.25.Dd, 72.15.Rn
DOI: 10.3367/UFN.0179.200905h.0534

Асимптотический предел теории переноса излучения в задачах многократного рассеяния волн случайно-неоднородными средами

Ю.Н. Барабаненков

1. Введение

Распространение волн в неупорядоченных системах считается одним из наиболее трудных предметов теоретической физики. Традиционный подход использует феноменологическую теорию переноса излучения [1, 2], возникшую более ста лет назад при изучении Хвольсоном (1890 г.), Шустером (1905 г.) и Шварцшильдом (1906 г.) рассеяния света в молочных стёклах, солнечной атмосфере и туманной атмосфере Земли на основе представлений линейной кинетической теории об элементарном акте рассеяния и длине свободного пробега излучения. В 1950-е годы в связи с созданием теории частичной когерентности волновых полей начались активные исследования вопроса о границах применимости теории переноса излучения с точки зрения статистической теории многократного рассеяния волн в случайно-неоднородных средах. Результаты этих исследований регулярно докладывались и критически обсуждались на заседаниях Общественного радиотехнического семинара под руководством С.М. Рытова в период 1965–1985 гг. Хотя данные исследования носили теоретический характер, они привели в 1973 г. к предсказанию явления слабой локализации света в случайно-неоднородной среде. Поскольку это явление лежало на границе применимости теории переноса излучения, обойти его было невозможно.

Уже в 1967 г. был дан вывод [3] (см. также [4]) феноменологического уравнения переноса излучения в дискретной случайно-неоднородной среде с учётом корреляций рассеивателей всех порядков и взаимного облучения рассеивателей внутри одной и той же эффективной неоднородности, т.е. кластера рассеивателей. При этом некоторый рассеиватель задавался его формой, диэлектрической постоянной и проводимостью; были использованы аппарат уравнений Дайсона и Бете–Солпитера, диаграммная техника Фейнмана и понятие квантово-механического оператора рассеяния [5]. Уравнение переноса [3] с учётом парных корреляций слабых рассеивателей, удовлетворяющих условию применимости борновского приближения, использовалось при исследовании как эффекта увеличения длины свободного пробега микроволнового излучения в снежных покровах и электронов проводимости в жидких металлах [6], так и противоположного эффекта уменьшения длины свободного пробега света [7] и нейтронов в жидкости [6] вблизи критической точки фазового перехода. Вклад высших корреляций слабых рассеивателей в длину свободного пробега света при критической опалесценции рассматривался в [8], а в работе [9] был рассмотрен вклад высших корреляций больших оптически жёстких рассеивателей в пропускательную способность слоя среды, состоящей из таких частиц.

Одновременно с выводом уравнения переноса [3] было сформулировано условие применимости феноменологической теории переноса как условие пренебрежения всеми повторными рассеяниями излучения на одной и той же неоднородности — одноклассовое приближение, совместно с расположением неоднородностей в дальней волновой зоне дифракции Фраунгофера относительно друг друга. Первая часть этого условия применимости, названная впоследствии [10] приближением независимого рассеяния на эффективных неоднородностях, исключает из рассмотрения все петли в многократном рассеянии волн с диаметром петли порядка и более средней длины свободного пробега излучения.

Решающая роль одноклассового приближения для теории переноса была убедительно продемонстрирована на модели многократного рассеяния нестационарного волнового излучения в случайно-неоднородной и случайно-переменной среде, в которой можно ввести представление о конечном "времени жизни" неоднородности. Из этой модели, детально изученной в [6, 11], теория переноса следует как асимптотически точный предел Ван Хова [12] при условии, что отношение времени жизни неоднородности к времени свободного пробега излучения стремится к нулю и отношение времени наблюдения к времени свободного пробега фиксировано. Второе условие предела Ван Хова означает, что повторные рассеяния одной и той же неоднородностью могут происходить на большом временном или пространственном масштабе распространения волнового излучения и тогда должны быть приняты во внимание эффекты многокласового или зависимого рассеяния, т.е. петли. В этом случае феноменологическая теория переноса излучения нуждается в модификации.

Наиболее хорошо изученный эффект многокласового или зависимого рассеяния эффективными неоднородностями находит проявление в когерентном усилении обратного рассеяния. Этот эффект впервые был предсказан в виде волновой поправки к решению уравнения