



# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Н. И. Коротеев, Б. Ф. Полковников, Юбилейный семинар, посвященный 60-летию со дня рождения академика Р. В. Хохлова,  
*Квантовая электроника*, 1987, том 14, номер 5, 1099–1103

<https://www.mathnet.ru/qa9092>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением  
<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.90

24 мая 2025 г., 22:43:26



**ЮБИЛЕЙНЫЙ СЕМИНАР, ПОСВЯЩЕННЫЙ 60-ЛЕТИЮ  
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Р. В. ХОХЛОВА**

В корпусе нелинейной оптики Московского государственного университета, где расположена лаборатория нелинейной оптики им. Р. В. Хохлова, 25 мая 1986 г. состоялся юбилейный научный семинар, посвященный 60-летию со дня рождения выдающегося советского физика, основателя лаборатории нелинейной оптики и кафедры волновых процессов МГУ, бывшего ректора МГУ, лауреата Ленинской и Государственной премий академика Рема Викторовича Хохлова.

«Р. В. Хохлов был выдающимся воспитанником физического факультета, вся его жизнь была без остатка отдана Московскому университету», — сказал, открывая семинар, декан физического факультета МГУ проф. В. С. Фурсов. Он напомнил собравшимся основные события яркой, полной динамики и постоянного творчества жизни Рема Викторовича, особенно подчеркнув его замечательное педагогическое мастерство, огромный вклад в преподавание основных физических дисциплин на физфаке. «Многие из собравшихся в этом зале, — продолжил В. С. Фурсов, — бережно хранят в сердце воспоминания о бесконечном обаянии, душевном богатстве, доброте Рема Викторовича. Его дело подхвачено и развито многочисленными учениками и соратниками. Очень успешно работает сейчас коллектив созданной им кафедры, ныне возглавляемый его ближайшим сотрудником и товарищем, лауреатом Ленинской премии проф. С. А. Ахмановым. Параллельно с устной сессией семинара в холлах корпуса развернута стендовая секция, на которой представлены наиболее значительные научные достижения последних нескольких лет кафедры волновых процессов, других кафедр и лабораторий МГУ, расположенных в корпусе нелинейной оптики. Мы пригласили выступить с докладами на юбилейном семинаре ряд крупных ученых, своей работой тесно связанных с научным наследием Р. В. Хохлова».

Научная сессия юбилейного семинара открылась большим, прекрасно иллюстрированным докладом проф. С. А. Ахманова (МГУ) «Метод Хохлова в теории нелинейных волн». В нем автор дал очерк работ Р. В. Хохлова по нелинейной оптике и нелинейной акустике. В докладе отмечалось, что хотя нелинейные волновые явления были известны в физике с прошлого века (наиболее яркие образы этих нелинейных волн — риманова ударная волна и солитон Рассела), в долгой истории изучения этих явлений особенно плодотворным оказался сравнительно короткий период с конца 50-х до начала 70-х годов нашего века. Именно тогда полностью сформировались основные физические представления, был разработан адекватный математический аппарат теории нелинейных волн. Общеизвестен огромный вклад в эту область, внесенный Ремом Викторовичем Хохловым. Теоретические методы, развитые Хохловым, выдвинутые им физические идеи и результаты, полученные вместе с сотрудниками и учениками в нелинейной оптике, нелинейной акустике, рентгеновской и гамма-оптике, положили начало новым научным направлениям, интенсивно разрабатываемым и по сей день, оказали сильное влияние на характер и стиль физических и прикладных исследований в этих областях.

В 1986 г. исполнилось 25 лет с момента публикации двух фундаментальных работ Р. В. Хохлова: «К теории ударных радиоволн в нелинейных линиях» и «О распространении волн в нелинейных диспергирующих линиях», которые, несмотря на узко-радиофизические названия (и это отчетливо видно с высоты сегодняшних достижений науки о нелинейных волнах), стали основополагающими работами соответственно в нелинейной акустике и нелинейной оптике. В последней работе дана формулировка метода медленно меняющихся амплитуд применительно к анализу взаимодействия волн в сильно диспергирующих средах и впервые, более чем за год до первого эксперимента по генерации второй оптической гармоники с эффективностью всего лишь  $10^{-10}$ , обоснованы условия почти 100 %-ной перекачки энергии основной волны во вторую гармонику: предсказание, полностью подтвержденное в самое последнее время.

Несомненно, что именно в этих работах дано наиболее последовательное и ясное распространение подходов, выработанных нелинейной теорией колебаний, на волновые задачи — того аппарата поэтапного укорачивания нелинейных уравнений, который теперь принято называть методом Хохлова. Этот метод нашел самые разнообразные применения в теории нелинейных волн. Особенно ярко его возможности были продемонстрированы самим Ремом Викторовичем. Прежде всего, это система приближенных уравнений нелинейной оптики, позволившая описать всю совокупность разнообразных экспериментальных данных в этой области, предсказать параметрическую генерацию света, описать дифракцию света в нелинейной среде, равно как и яркие эффекты самовоздействия (самофокусировка и самодефокусировка, неустойчивость светового пучка в нелинейной среде), создать теорию вынужденного комбинационного и других типов рассеяния света, оптимизировать многочисленные нелинейно-оптические устройства и т. д.

Метод медленно меняющегося профиля волны — метод Хохлова в нелинейной акустике — превратился сейчас в эффективный рабочий инструмент исследователей и инженеров-акустиков, имеющих дело с мощными звуковыми полями в разнообразных средах. И хотя математический аппарат нелинейной акустики, в отличие от аппарата нелинейной оптики, имеет долгую историю, связанную с именами Римана, Бюргера, Кортевега-де-Вриза и др., именно Р. В. Хохлов впервые осуществил строгий вывод основных приближенных уравнений нелинейной акустики из системы гидродинамических уравнений с учетом вязкости и теплопроводности среды, дифракции звукового пучка.

Р. В. Хохлов и его сотрудники внесли существенный, во многих случаях определяющий вклад в развитие статистической теории случайных нелинейных волн. Эти работы в последнее время получили развитие в теории «сжатых» состояний в квантовой оптике, в теории вынужденных рассеяний в поле случайно-модулированных световых волн, в статистической нелинейной акустике, в исследованиях волновой картины пространственно-временной эволюции неравновесных фоновых полей и т. п.

В 70-е годы Рем Викторович интенсивно занимался теорией гамма-лазера, когерентной рентгеновской оптикой. Здесь оказались весьма эффективными дифракционные методы, разработанные им ранее в нелинейной оптике. Сейчас эти исследования, хотя и не увенчавшиеся пока созданием гамма-лазера, развиваются в направлении рентгеновской оптики поверхностных волн, рентгеновской диагностики поверхности, спектроскопии и структурного анализа с высоким временным разрешением, особенно в сочетании с методами лазерного воздействия на вещество и лазерной диагностики с использованием импульсов пико- и фемтосекундной длительности.

Счастливая и интересная судьба и у работ Р. В. Хохлова, посвященных возникновению неустойчивых, хаотических режимов в радиогенераторах и зарождению упорядоченных волновых движений из хаоса в сильно нелинейных средах (названных Р. В. Хохловым автоволнами — ныне этот термин общепринят). Сейчас, когда область теории колебаний, сконцентриро-

вавшаяся вокруг проблемы «динамического хаоса», переживает небывалый подъем, все более актуальными становятся наблюдения предсказанных Р. В. Хохловым автоволновых процессов в оптике, стохастизация бегущих световых волн за счет быстрой нелинейности среды, светоиндуцированных фазовых переходов.

Рассказывая о работах Р. В. Хохлова по теории нелинейных волновых процессов, С. А. Ахманов подчеркнул, что это невозможно сделать с достаточной полнотой, не сказав о замечательной научной атмосфере тех лет — атмосфере, в создание которой огромный вклад внес прежде всего сам Рем Викторович. Это была атмосфера напряженного творческого поиска, тесного взаимодействия и обмена идеями со многими исследовательскими группами как внутри МГУ, так и за его пределами (ГОИ им. С. И. Вавилова, ФИАН, Институт физики АН БССР и др.), высокий дух международного сотрудничества. Р. В. Хохлов всегда первый поддерживал свежие, нестандартные идеи своих коллег, ему никогда не было присуще чувство уязвленного самолюбия. Действительно высшую радость доставляли ему новая идея, новый результат.

Подлинно научная и доброжелательная атмосфера с самого начала пронизывали работу созданной им кафедры волновых процессов МГУ, деятельность возглавлявшихся Р. В. Хохловым на протяжении почти десяти лет оргкомитетов крупнейших Всесоюзных конференций по когерентной и нелинейной оптике, созданного им Совета по когерентной и нелинейной оптике АН СССР.

Работам Рема Викторовича, выдвинутым им физическим идеям, созданным лабораториям суждена долгая продуктивная жизнь.

Затем С. А. Ахманов кратко охарактеризовал последние работы лаборатории нелинейной оптики им. Р. В. Хохлова физического факультета МГУ, в которых продолжают и развиваются научные направления, заложенные еще Ремом Викторовичем, работы, выполненные его ближайшими сотрудниками, а также его научными «детьми» и «внуками». На этажах корпуса нелинейной оптики развернута стендовая секция работ лаборатории им. Р. В. Хохлова.

Далее с докладами выступили В. П. Чеботаев, Н. И. Коротеев, Д. Н. Клышко. Они остановились на ряде интересных проблем нелинейной теории волновых процессов и нелинейной оптики, решенных в последние годы в лабораториях, находящихся под глубоким влиянием идей Рема Викторовича.

Член-корреспондент АН СССР В. П. Чеботаев выступил с докладом «Классическое и квантовое эхо». Как сейчас хорошо известно, в ансамбле нелинейных осцилляторов с достаточно близкими, но несовпадающими частотами после возбуждения разделенными временем  $T$  двумя импульсами возникает когерентный отклик (эхо) в момент времени, отстоящий от первого импульса на время  $2T$ . Метод эха стал универсальным для исследования физически различных объектов, когда неоднородное уширение линии в ансамбле осцилляторов больше ширины резонансной кривой отдельного осциллятора. Обычно рассматривается эхо в ансамблях с непрерывным распределением их частот. Лишь недавно Дубецким и Чеботаевым было проанализировано эхо в ансамблях осцилляторов с дискретными частотами. Оказалось, что в таких «дискретных» системах это явление обладает новыми качественными особенностями, причем различными для систем классических и квантовых осцилляторов. Наиболее ярким является феномен «многого» эха, т. е. появление затухающей последовательности когерентных откликов в моменты, как бы предшествующие импульсам «истинного» эха и отстоящие от первого возбуждающего импульса на времена  $t_n = T + n\tau$ , где  $n$  — целое,  $\tau^{-1} = \Delta f$  — «шаг» изменения частоты в ансамбле осцилляторов (период эквидистантного спектра).

Исключительно наглядно явления типа эха наблюдаются в созданном В. П. Чеботаевым с сотрудниками демонстрационном приборе, представ-

ляющем собой набор из 15 механических маятников с тщательно подобранными длинами подвеса — такими, что частоты колебаний маятников образуют эквидистантный спектр (в приборе В. П. Чеботаева  $\Delta f = 0,016$  Гц,  $\tau = 60$  с). Сигнал, пропорциональный суммарной силе воздействия со стороны всех маятников на подвес, выводится на самописец, где отчетливо просматриваются как серия «импульсов», следующих друг за другом через время  $\tau$ , — отклик на единичное воздействие, обусловленный синхронизацией линейных колебаний, — так и серия импульсов истинного и «мнимого» эха, порождаемых двойным воздействием импульсов, следующих друг за другом через время  $\tau$ , но отстоящих от первого импульса парного воздействия на времена  $2T + n\tau$  и  $T + m\tau$  ( $n, m$  — целые числа) соответственно. Мнимое (как и обычное) эхо обусловлено нелинейностью ансамбля осцилляторов. Относительные интенсивности обычного и мнимого эха зависят от соотношения интенсивностей импульсов возбуждения.

Принципиальным является вопрос о минимальном числе осцилляторов, в ансамбле которых еще можно наблюдать эховые явления. Наилучшим в этом смысле является ансамбль с эквидистантным спектром с неоднородной шириной, меньшей обратной длительности импульса возбуждения. Экспериментально удалось наблюдать эхо в ансамбле, состоящем всего из пяти маятников. В. П. Чеботаев подарил свой прибор кабинету физических демонстраций физического факультета МГУ.

Начиная с основополагающих работ Р. В. Хохлова с сотрудниками и Н. Бломбергена с сотрудниками, в нелинейной оптике традиционно рассматриваются среды, состоящие из однородных элементов (атомы, молекулы, элементарные ячейки кристаллов), каждый из которых находится в основном энергетическом состоянии. Именно такая картина возникает в классической теории нелинейных восприимчивостей, развитой в первых работах. Она вполне адекватна огромному большинству реализованных до сих пор экспериментальных ситуаций.

Однако, как отмечалось в докладе проф. Н. И. Коротева (МГУ), в последнее время в нелинейной оптике и спектроскопии появились задачи, которые для своего решения требуют учета распределения частиц исследуемой среды по большому числу возможных квантовых состояний, т. е. учета возбуждения среды. В термодинамически равновесных системах задача сводится к определению температурной зависимости нелинейных восприимчивостей. В докладе «Сильные оптические нелинейности возбужденных атомно-молекулярных сред и плазмы» были суммированы результаты последних экспериментальных и теоретических исследований оптических нелинейностей сильновозбужденных атомно-молекулярных газовых и газоподобных сред, включая плазму лазерной и электрической искры, выполненных в МГУ. Наиболее интересным и, в общем-то, неожиданным результатом этих работ стало установление универсальной закономерности сильного возрастания абсолютных значений оптических нелинейностей таких сред по мере возбуждения электронной подсистемы составляющих эту среду атомов и ионов.

Впрочем, говоря о чисто «молекулярной» нелинейности нагретых газов, следует отметить, что на первых порах тепловое возбуждение молекулярного газа ведет к уменьшению этих резонансных восприимчивостей и к общему падению оптической нелинейности газа. Однако (и это очень важно) эта тенденция становится обратной при еще больших возбуждениях, когда не только продолжают заселяться все новые возбужденные колебательно-вращательные состояния молекул, но и начинают заселяться электронные состояния, лежащие выше основного, т. е. при температурах в десятки и сотни тысяч кельвинов, при которых, кстати, значительная доля молекул диссоциирует, а часть атомов — ионизируется. В этих условиях четырехфотонные и другие нелинейные оптические процессы, «стартуя» из высоковозбужденных электронных состояний, становятся квазирезонансными для

любого сочетания взаимодействующих частот, поскольку соседние электронные уровни регулярно сближаются по мере роста энергии возбуждения.

Для равновесно нагретого газа из ридберговских атомов, точнее из атомов водорода, прямым расчетом можно вычислить нелинейные оптические восприимчивости и их температурные зависимости, учитывая больцмановское распределение частиц по дискретным энергетическим состояниям и принимая во внимание возможную ионизацию. Это довольно кропотливый компьютерный расчет провели недавно С. М. Гладков, М. В. Рычев и О. Штенцель, а А. Желтиков дополнил его учетом радиационных переходов в ионизационном континууме. Было установлено, что эффективность нелинейных процессов возрастает по мере нагрева газа до 10 кК на 4—6 порядков и выше, а поляризационные свойства сигналов становятся аномальными.

Эксперименты по четырехфотонному смешению и генерации третьей гармоники (ГТГ) в квазиравновесной плазме лазерного пробоя газов и плазме электроискрового газового разряда обнаружили аномально высокую эффективность таких процессов (в частности, наблюдалась ГТГ в плазме лазерного пробоя воздуха в КПД более 0,1 %) и их необычные поляризационные характеристики в полном качественном и частично даже количественном согласии с проведенными модельными расчетами.

Разумеется, эти сильнонелинейные среды весьма интересны и перспективны с точки зрения создания высокоэффективных нелинейно-оптических устройств — генераторов оптических гармоник и комбинационных частот, устройств для обращения волнового фронта лазерного излучения и т. п.

В докладе проф. Д. Н. Клышко (МГУ) «Метод изготовления одно- и двухфотонного состояния поля и демонстрации принципа дополнительности» было изложено предложение простого экспериментального устройства, которое способно периодически переводить световое поле из состояния вакуума в чистое возбужденное состояние. Последнее соответствует распространению двух коррелированных фотонов с определенной пространственно-временной структурой. Работа устройства базируется на использовании спонтанного параметрического рассеяния, т. е. излучения пар фотонов нелинейным кристаллом, возбуждаемым когерентной импульсной накачкой в условиях фазового синхронизма ( $k_0 = k + k'$ ). Фактически это устройство способно реализовать мысленный эксперимент Эйнштейна, Подольского и Розена и, в частности, позволить наблюдать корреляцию поперечных импульсов фотонов (при расположении двух детекторов в дальней зоне,  $k_{\perp} = -k'_{\perp}$ ), либо их поперечных координат (при расположении детекторов в ближней зоне,  $r_{\perp} = r'_{\perp}$ ).

Однофотонное состояние поля может быть «изготовлено» из двухфотонного с помощью оптического затвора, который открывается на короткое время под действием импульса на выходе ФЭУ, зарегистрировавшего один из двух фотонов, испущенных при спонтанном параметрическом распаде фотона накачки. В докладе приводились характеристики соответствующего состояния поля и зависимость структуры излучаемого фотона от координаты и момента регистрации первого фотона и наглядно проиллюстрировано, в чем состоит «влияние» координаты детектора на диаграмму направленности излучаемого фотона. Устройство может представить интерес для фотометрии, особенно оно интересно и необычно с методической точки зрения — для наглядной экспериментальной демонстрации парадокса Эйнштейна — Подольского — Розена и соотношения дополнительности между поперечными координатой и импульсом фотона.

Семинар завершился вечером воспоминаний и прекрасным концертом, в котором выступили бывшие выпускники кафедры волновых процессов МГУ — солистка Большого театра, заслуженная артистка РСФСР Л. Богданова и известные авторы и исполнители песен Татьяна и Сергей Никитины.

Н. И. Коротеев, Б. Ф. Полковников