

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

Открытие комбинационного рассеяния света в России и Индии

И.Л. Фабелинский

Кратко излагается история открытия комбинационного рассеяния света (раман-эффекта) в Москве и Калькутте. Московские физики впервые видели линии нового явления 21 февраля 1928 г., а опубликовали результаты 13 июля 1928 г., а индусские физики видели впервые линии нового явления 28 февраля 1928 г., а опубликовали результаты 21 апреля 1928 г. За это открытие Нобелевская премия была присуждена одному Раману. Кратко излагаются условия исследований в России и Индии.

PACS numbers: 01.65. + g, 42.25. – p, 78.30. – j

Содержание

1. Введение (1137).
 2. Экспериментальные исследования в Москве (1138).
 3. Исследование рассеянного света в Калькутте (1140).
 4. После открытия (1141).
- Список литературы (1144).

1. Введение

Небо над нашей землей есть результат рассеяния солнечного света на молекулах газов, составляющих земную атмосферу. Поэтому вопрос о том, кто первый наблюдал явление светорассеяния, теряет смысл. Но кто первый использовал это явление, сказать не так просто. Во всяком случае Лукреций Кар (I в. до н.э.) обратил внимание на свет, рассеянный пылинками в луче солнечного света, и наблюдал движение пылинок, рассеивающих свет.

К объяснению голубого цвета неба причастны такие великие люди, как Леонардо да Винчи (XV в.), Ньютон (XVII в.), Клаузиус (XIX в.). Они пытались объяснить голубой цвет неба, однако их попытки оказались тщетными.

Только после первых лабораторных опытов Тиндаля (1869 г.) и теории лорда Рэлея (1899 г.) были правильно установлены закономерности, ведущие к светорассеянию, и правильно объяснена голубизна неба.

Еще одной принципиальной трудностью, требующей адекватного преодоления, была критическая опалесценция. Многочисленные попытки объяснить ее успеха не имели, и только Смолуховский (1908 г.) нашел правильное объяснение этому удивительному явлению. Он

установил, что в критической области при фазовых переходах резко возрастают флуктуации плотности, что ведет к сильному росту интенсивности светорассеяния.

Двумя годами позже (1910 г.) Эйнштейн показал, как рассчитывать флуктуации термодинамических величин, и вычислил интенсивность света, рассеянного вследствие флуктуаций не слишком близко к критической точке.

Орнштейн и Цернике внесли поправку в формулу Эйнштейна на случай, когда интенсивность рассеянного света соответствует области, близкой к критической точке.

Таким образом, теория рассеяния света вследствие флуктуаций уже в первой четверти XX в. была развита с достаточной полнотой.

Полученные теоретические результаты с успехом применялись для описания наблюдаемых явлений, определения числа Авогадро при рассеянии света в газах и для других исследований.

Изучением рассеянного света занимались во многих странах мира. Достоверно известно, что изучением света, рассеянного в различных средах, занимались в России, Франции, Индии, Соединенных Штатах Америки (США), Германии.

В конце первой трети XX в. в потоке рассеянного света стали искать свет, частота которого отлична от частоты света, возбуждающего рассеяние. Насколько нам известно, такие работы велись в Индии Ч.В. Раманом и К.С. Кришнаном, в России Г.С. Ландсбергом и Л.И. Мандельштамом и во Франции Ж. Кабанном и П. Дором и И. Рокаром.

Все три группы физиков искали рассеянный свет измененной частоты вследствие различных физических причин. Две из трех групп нашли не то, что искали. Но их исследования были плодотворны, средства исследования достаточны, чтобы открыть комбинационное рассеяние света.

В феврале текущего 2003 г. исполнилось 75 лет со времени открытия комбинационного рассеяния света (раман-эффекта) — одного из самых значительных оптических и спектральных явлений, обогативших многие области наших знаний, поднявших на новый более

И.Л. Фабелинский. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991 Москва, Ленинский просп. 53, Российская Федерация
Тел. (095) 135-24-11. Факс (095) 938-22-51
E-mail: fabelins@sci.lpi.msk.su

Статья поступила 4 апреля 2003 г.,
после доработки 7 апреля 2003 г.

высокий уровень физическую и химическую науки [1] и не только их.

Экспериментальные и теоретические исследования насчитывают многие тысячи работ. Написаны многочисленные многотомные монографии (см., например, [2–5]), много сказано в печати и об истории открытия комбинационного рассеяния, поэтому повторения неизбежны, что в некоторой степени может быть оправдано не только значительностью открытия, но и неизбежной сменой читателей и появлением новых фактов.

Бывает, что длительное время некоторое явление или свойство, существенное для наших знаний и для нашей жизни, "дремлет" в неизвестности, а в какой-то момент вдруг становится предметом исследования сразу двух или даже нескольких групп исследователей.

Самые крупные открытия в физике были сделаны случайно, некоторые открытия были предсказаны теоретически.

Комбинационное рассеяние света принадлежит к числу редких явлений, как мы теперь понимаем, открытие которого сделано случайно, но в то же время было предсказано. Как это могло случиться, будет ясно из дальнейшего, но этот предмет заслуживает особого анализа и возможно не только физического.

История открытия комбинационного рассеяния света была описана во многих работах. Мы ограничимся здесь только ссылкой на недавние работы на эту тему [6–11].

2. Экспериментальные исследования в Москве

В Москве исследовать рассеянный свет, по-видимому, начали позднее, чем в Индии, Франции и других странах. Только в 1925 г. на физическом факультете МГУ начинается такая работа.

Часть московских физиков обратилась к Л.И. Мандельштаму [12], работавшему тогда в Ленинграде (Санкт-Петербург) и хорошо известному своими радиофизическими и оптическими работами, с предложением переехать в Москву и занять здесь кафедру теоретической физики.

Л.И. Мандельштам занял кафедру в 1925 г. и сформулировал в качестве первой экспериментальной задачи обнаружение тонкой структуры линии Рэлея, обусловленной модуляцией линии рассеянного света тепловыми дебаевскими волнами [13].

Экспериментально этой работой занялись Л.И. Мандельштам и Г.С. Ландсберг. Исследование было решено выполнять на совершенном кристалле твердого тела. Лучшее, что можно было тогда выбрать — это монокристалл кварца. Но и его найти было не так просто. Как Ландсберг вышел из этого положения я уже писал [6, 14]. Укажу здесь только то, что образцы монокристалла кварца отыскивались в комиссионных магазинах. Но дело было не только в трудностях отыскания подходящего образца, гораздо хуже дело обстояло с имеющимися тогда работами по изучению молекулярного рассеяния в твердом теле.

Была единственная работа Стретта (сына лорда Рэлея), который исследовал рассеяние света в кварце [15] и пришел к заключению, что он не наблюдал рассеянный свет молекулярного происхождения, а наблюдал свет, рассеянный на посторонних включениях и несовершенствах кристалла — то, что принято назы-

вать фальшивым светом. Между тем Раман [16] в короткой заметке в *Nature* утверждает, что Стретт наблюдал молекулярное рассеяние света, а не фальшивый свет.

В том, что в кварце должно быть молекулярное рассеяние света, никто не сомневался. Вопрос был в том, можно ли его в реальном кристалле изучать. Не будет ли оно маскировано фальшивым светом. Отысканием подходящего монокристалла кварца и выяснением, можно ли в нем найти место, откуда исходит молекулярно рассеянный свет в количестве, необходимом для исследования, занялся Г.С. Ландсберг.

Все, что делал Ландсберг в этой непростой работе, было чрезвычайно успешным. Он нашел подходящие образцы, обнаружил в них молекулярное рассеяние света и нашел критерий, позволяющий отделить свет молекулярного рассеяния от фальшивого света.

Результаты своих работ Ландсберг публикует в самом популярном физическом журнале [17]. Таким образом, уже в 1927 г. Ландсберг и Мандельштам приступают к решению задачи, сформулированной Мандельштамом. О трудностях решения этой задачи, разумеется, они знали заранее. Трудность, прежде всего, состояла в том, что необходимо было наблюдать малое изменение частоты света. Как это было рассчитано Мандельштамом [18] и Бриллюэном [19], изменение частоты рассеянного света должно определяться из соотношения

$$\Delta\Omega = \pm 2n\omega \frac{V}{c} \sin \frac{\theta}{2}. \quad (1)$$

Здесь n , ω , V , c , θ — показатель преломления света, частота света, скорость звука, скорость света и угол рассеяния, соответственно.

Поскольку при $\theta = 90^\circ$ $2n \sin(\theta/2) \cong 2$, отношение $V/c \sim 10^{-5}$ и, следовательно, сдвиг частоты $\Delta\Omega \sim 10^{-5}\omega$, или, если говорить о возможном изменении длины волны света, то для зеленого света можно ожидать изменения длины волны $\Delta\lambda \cong 0,3 \text{ \AA}$.

Это Мандельштам и Ландсберг прекрасно знали. Знали они и то, что для наблюдения дублета, вызванного модуляцией рассеянного света упругими тепловыми волнами, нужно обладать весьма совершенным интерференционным или дифракционным прибором. В оптической лаборатории физического факультета Московского государственного университета, где осуществлялась работа Ландсберга и Мандельштама, в то время не было достаточно оптической аппаратуры для решения поставленной задачи.

Работа была начата с того, что свет молекулярного рассеяния в кристаллах анализировался спектрографом "Fuss B". То, что было обнаружено, оказалось необычным. Помимо линии несмещенной частоты в спектре они наблюдали дополнительные линии, которые называли "бликами", и искали способ борьбы с этими "бликами".

В этих работах для возбуждения рассеянного света применялась линия ртутного спектра $\lambda = 4358,3 \text{ \AA}$ и $\lambda = 2536,5 \text{ \AA}$.

Работы Г.С. Ландсберга и Л.И. Мандельштама, касались ли они измерений, наблюдений или их истолкования, отличались особенной основательностью. За их работы, выполненные в течение всей жизни, им не приходилось брать обратно или даже уточнять свои

результаты. Если они наблюдали не то, что искали, то это четко осознавалось и находило адекватное объяснение. Примером может служить открытие комбинационного рассеяния света.

В опытах Ландсберга и Манделъштама, о которых здесь идет речь, комбинационное рассеяние света было обнаружено случайно. Вот что написано в первых строчках сообщения в *Naturwissenschaften* [20]. "При исследовании молекулярного рассеяния света в твердых телах, предпринятом нами для выяснения вопроса о том, происходит ли изменение длины волны, которое можно было ожидать исходя из дебаевской теории теплоемкости, **мы нашли новое явление**, которое, как нам кажется, представляет определенный интерес. Это явление состоит в изменении длины волны, величина которого, однако, другого порядка, чем мы ожидали, и которое имеет совсем другое происхождение".

Таким образом, в первом же сообщении, написанном 6 мая и появившемся в журнале 13 июля 1928 г., авторам было ясно, что ("**мы нашли новое явление**") они наблюдают совершенно новое явление, представляющее интерес. Необычно большое внимание было уделено совершенствованию установки, чтобы со всей убедительностью доказать, что они действительно наблюдают новое явление.

В первом сообщении говорилось, что авторы не будут давать полного теоретического описания, но уже было сказано, что появление новых линий (спутников) определяется взаимодействием света с инфракрасными колебаниями молекул, что и есть общее, но совершенно верное указание на природу нового явления. В этой же заметке приведены спектрограмма и таблица наблюдаемых смещений линий комбинационного рассеяния и сравнение этих величин с вычисленными величинами инфракрасных колебаний кварца. Совпадение этих величин было полным. Несомненно, Ландсберг и Манделъштам к моменту публикации своей первой заметки имели больше сведений, чем опубликовано, и совершенно четкий план дальнейших исследований.

Еще в 1928 г. датированная 9 июня в журнале *Zeitschrift für Physik* была опубликована статья Ландсберга и Манделъштама [22] под названием "О рассеянии света в кристаллах". Это уже была основательная и подробная работа с исчерпывающим объяснением и с указанием на теоретические работы, в которых содержалось предсказание того, что наблюдалось в опытах Ландсберга и Манделъштама. Но, к сожалению, приступая к эксперименту, они не знали ни работы А. Смекаля [23], ни работы Крамерса и Гейзенберга [24].

Чтобы подтвердить абсолютную надежность их результатов, лучше всего аргументировать их собственными словами.

Описание установки, на которой велась эта замечательная работа, дано ими в следующих словах [22, 25]. "Уже первые спектрограммы света, рассеянного кристаллом кварца, сделанные при сравнительно коротких экспозициях (примерно до 15 час), обнаружили явление: рядом с ртутными линиями в рассеянном свете появились новые линии, причем каждая интенсивная основная линия сопровождалась спутниками.

То обстоятельство, что это же явление точно повторялось с другим кристаллом кварца, а также не подлежащая сомнению закономерность в распределении новых линий, сделали совершенно невероятным предположе-

ние, что дело сводится к появлению ложных линий, вызванных непредвиденными отражениями. Несмотря на это, мы считали необходимым проверить эту возможность контрольными опытами. Решающим был для нас следующий опыт. Как известно, резонансная линия 2536,5 Å может быть легко поглощена несветящимися ртутными парами. Между рассеивающим кристаллом и щелью спектрографа помещался эвакуированный кварцевый сосуд с ртутными парами, подогревавшийся электрической печкой. Подходящим выбором силы тока в лампе и соответствующей регулировкой температуры пара можно достичь полного поглощения линии 2536,5 Å. Она исчезает из спектрограммы, принадлежащие же ей спутники остаются неизменными. Таким образом, им действительно соответствует другая длина волны.

На первых спектрограммах каждая ртутная линия, если она была достаточно интенсивной, появлялась в сопровождении двух спутников, сдвинутых в красную сторону. Интенсивность дальнего отстоящего более сильного спутника составляла в среднем, по грубой оценке, примерно 30% от интенсивности основной линии".

Далее сказано следующее: "Последние спектрограммы для кварца были получены при времени экспозиции около 100 час с узкой (около 1/20 мм) щелью. На них обнаруживается 72 новые (т.е. не содержащиеся в ртутном спектре) линии, которые без труда могут быть все подразделены на пять систем, так что внутри каждой системы разность частоты спутника и основной линии постоянна по абсолютной величине".

На рисунке 1 представлен спектр комбинационного рассеяния света в исландском шпате и спектр сравнения, а на рис. 2 — спектр комбинационного рассеяния света в кварце и спектр сравнения.

На основании приведенных экспериментальных исследований Ландсберга и Манделъштама на кристал-

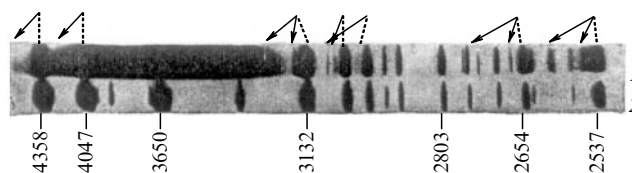


Рис. 1. Спектр света, рассеянного в исландском шпате (двукратное увеличение): 1 — спектр рассеянного света, снятый при 20 °С (экспозиция 40 ч), 2 — спектр сравнения.

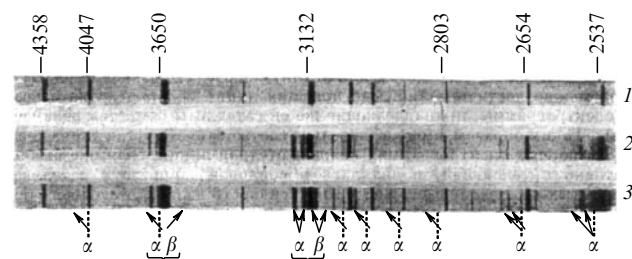


Рис. 2. Спектр света, рассеянного в кварце (двукратное увеличение): 1 — спектр сравнения; 2, 3 — спектры рассеянного света, снятые при 20 °С и 220 °С (экспозиция 105 ч); α — красные спутники; β — фиолетовые спутники.

лах кварца и исландского шпата и их теоретического описания можно сделать вывод: Ландсберг и Мандельштам впервые 21 февраля 1928 г. открыли новое явление — комбинационное рассеяние света, правильно поняли природу нового явления [20–22] и выполнили обширную работу с указанием на теоретические исследования [22] этой принципиально значимой проблемы. Открытие оказалось плодотворным.

Как указывалось выше, первое наблюдение нового явления Ландсбергом и Мандельштамом было сделано 21, а затем сразу 23–24 февраля 1928 г., а опубликовано в *Naturwissenschaften* только 13 июля 1928 г. Между наблюдением и выходом из печати сообщения о наблюдении прошло много времени. Возникает естественный вопрос — почему между первым наблюдением нового явления и датой отправки работы в печать (6 мая 1928 г.) проходит такой долгий срок — два с третью месяца. Ответ на этот вопрос есть, но он, к сожалению, не имеет отношения к науке, хотя и влияет на нее.

Дело в том, что в это время власти не только арестовали родственника Л.И. Мандельштама Л.И. Гуревича, но успели приговорить его к смертной казни. Вся работа была приостановлена и Л.И. Мандельштам занялся судьбой своего родственника. Действуя энергично, удалось смертный приговор Л.И. Гуревичу заменить ссылкой в Вятку. Жизнь была спасена, но время ушло. Подробности об этом эпизоде можно найти в уже упомянутом интересном очерке Е.Л. Фейнберга [12].

Работа и публикации были продолжены и их научная ценность ничуть не уменьшилась от того, что публикация несколько задержалась.

Оценка значимости независимых научных исследований должна быть иной, чем оценка спортивного забега.

3. Исследование рассеянного света в Калькутте

В Москве Г.С. Ландсберг и Л.И. Мандельштам искали в свете, рассеянном в кристаллах кварца и исландского шпата, свет измененной частоты вследствие модуляции рассеянного света тепловыми упругими волнами.

За много тысяч километров от Москвы, совершенно независимо от москвичей, в индийском городе Калькутта Ч.В. Раман и К.С. Кришнан искали в рассеянном в жидкостях свете свет измененной частоты вследствие оптического аналога эффекта Комптона.

Все это происходило в начале 1928 г. Раман [26] говорит: "Размышляя над явлением, описанным Раманатаном и Кришнаном, как "слабая флюоресценция", тогда я подумал, что здесь мы имеем дело с совершенно другим типом вторичного излучения, которое принимается за флюоресценцию". И далее Раман [26] формулирует свою гипотезу изменения частоты света, рассеянного в жидкости, следующим образом: "В начале этого года мощный стимул к дальнейшему исследованию у меня возник, когда у меня зародилась мысль, что этот эффект был некоторым видом оптического аналога рассеяния рентгеновских лучей, открытых профессором Комптоном, за которое он недавно получил Нобелевскую премию по физике. Я немедленно предпринял экспериментальную перепроверку явления в сотрудничестве с мистером Кришнаном". Следовательно, Раман и Кришнан [26] искали рассеянный свет измененной

длины волны вследствие оптического аналога эффекта Комптона¹.

Первая попытка обнаружения света измененной длины волны была предпринята на светосильной установке. Интенсивный пучок солнечного света направлялся в сосуд с жидкостью или газом. Наблюдение рассеянного света выполнялось визуально, а для обнаружения света измененной длины волны применялся метод скрещенных светофильтров.

Раман и Кришнан [27] утверждают, что сквозь скрещенные светофильтры они наблюдают свет, но, разумеется, нет и речи о дополнительных линиях комбинационного рассеяния, поскольку возбуждение рассеяния осуществлялось сплошным солнечным светом.

Однако авторы приписывают то, что они видят сквозь скрещенные светофильтры, "новому типу вторичного излучения". Из-за малой интенсивности и поляризации наблюдаемого света они не считают это светом флюоресценции. Заметка в *Nature* озаглавлена "Новый тип вторичного излучения".

В следующей публикации Рамана и Кришнана [28] для возбуждения рассеянного света применена ртутная дуга — линия ртутного спектра $\lambda = 4358 \text{ \AA}$. На этом спектре рассеянного света можно видеть сателлиты комбинационного рассеяния света. Статья озаглавлена: "Оптический аналог комптон-эффекта". Авторы полагают (хотя и не твердо), что они наблюдали оптический аналог комптон-эффекта. Проведя опыты с 60-ю жидкостями, они пришли к убеждению (не твердо), что положения смещенных линий не зависят от вещества. Имеется в статье и сравнение с инфракрасными частотами молекул.

Третье письмо Рамана и Кришнана [29] в *Nature* озаглавлено "Отрицательное поглощение излучения". В самом начале этого письма, насколько его можно понять, говорится, что антистоксовы сателлиты — линии комбинационного рассеяния света есть результат взаимодействия света с возбужденными молекулами, обусловленный отрицательным поглощением, предсказанным Эйнштейном при выводе формулы Планка, и которое лежит в основе принципа работы лазера.

Удивительным образом Раман и Кришнан воспринимали свои наблюдения линий комбинационного рассеяния. То они полагали, что наблюдают результат оптического аналога эффекта Комптона, то, наблюдая антистоксовы сателлиты, считали, что эти линии своим происхождением обязаны отрицательному поглощению радиации, предсказанному Эйнштейном.

Между тем, оба эти эффекта не имеют никакого отношения к явлению комбинационного рассеяния, которое они наблюдали, начиная с исследований [28]. В предшествующей работе [27] возбуждение рассеяния проводилось сплошным спектром солнечного света, и велось визуальное наблюдение, поэтому вообще трудно сказать, свет какого происхождения они видели.

¹ Отметим, что наблюдать оптический аналог эффекта Комптона вряд ли возможно для видимого света. Энергия рентгеновского кванта много больше энергии связи электрона в легких атомах. Поэтому рентгеновские лучи фактически рассеиваются на свободных электронах. Квантовая теория дает изменение длины волны $\Delta\lambda = 2d \sin(\theta/2)$, $d = h/(m_0c)$, где h — постоянная Планка, m_0 — масса покоя электрона, d — универсальная длина, одинаковая для всех веществ, а $\Delta\lambda$ зависит только от угла рассеяния θ и массы частицы m . Для электрона $\Delta\lambda = 2,4 \times 10^{-10}$ см, для протона $\Delta\lambda = 1,3 \times 10^{-13}$ см.

Публикации Рамана и Кришнана производят странное впечатление. То сдвиги линий комбинационного рассеяния сопоставляются с инфракрасными колебаниями молекул, что позволяет думать, что авторы на верном пути, а то в заголовках своих сообщений пишут "Оптический аналог комптон-эффекта" или "Отрицательное поглощение излучения". Эти заголовки указывают на непонимание природы наблюдаемого явления.

4. После открытия

Само наблюдаемое явление в обеих группах физиков производило сильное впечатление, на физиков-спекроскопистов особенно.

Действительно, было чему удивляться. В прозрачную среду — кристалл или жидкость вступает свет определенной частоты ν , в рассеянном свете появляется свет смещенной частоты $\nu \pm \Delta\nu$. Причем $\Delta\nu$ так велико, что в спектре на примитивном спектрографе четко видны дополнительные линии — стоксова частота $\nu - \Delta\nu$ и антистоксова — $\nu + \Delta\nu$.

В 1928 г. появление в физической литературе описания такого явления произвело сильное впечатление, и все, кто занимался спектроскопическими задачами, в особенности в рассеянном свете и флуоресценцией, переключились на изучение нового очень впечатляющего явления — комбинационного рассеяния света.

Если принять точку зрения Ландсберга и Мандельштама, то тонкая структура линии Рэлея [30] возникает в результате модуляции рассеянного света акустической или дебаевской ветвью частот. Комбинационное же рассеяние света возникает в результате модуляции рассеянного света оптической или борновской ветвью частот.

Отношение к предмету исследования у Ландсберга и Мандельштама и у Рамана и Кришнана было совершенно различным. Отчасти об этом уже было сказано раньше [6, 7]. Отметим сейчас только, что для Ландсберга и Мандельштама предмет их исследований был источником новых сведений о природе явления и неторопливых размышлений о ней и публикаций, когда все или почти все было на своем месте.

Манера исследований и публикаций своих результатов у Рамана и Кришнана совершенно иная, чем у Ландсберга и Мандельштама.

Раман [6, 7, 14] сам говорит, а его ученик и сотрудник Бхагавантам [26, 31] подтверждает, что когда Раман работал в Калькутте и в первый раз увидел линии комбинационного рассеяния света 28 февраля 1928 г., сообщение об этом он сумел опубликовать в одной из ежедневных газет уже на следующий день 29 февраля 1928 г.

Раман проявил проворство, завидное для корреспондента — охотника за сенсациями. Затем, как уже было указано, пошли сообщения о результатах эксперимента в журнал *Nature*.

Когда приходилось писать об обстоятельствах работы Рамана и Кришнана и Ландсберга и Мандельштама, то мы знали об этих последних, но почти ничего не знали о Рамане и Кришнана и их личном отношении к работе.

С появлением интересной статьи Р. Сингха и Ф. Рисса [10] наши знания о характере самих исследователей стали богаче. В частности, приводится высказывание сотруд-

ника Рамана, когда этот последний работал в Калькутте: "Раман предпочитал быстро публиковать, но он был очень требовательным к составлению и редактированию научной статьи... Часто оказывалось слишком поздно, чтобы отправить статью к издателю обычным образом. Тогда он брал такси, мчался на главный почтамт, платил штраф и добивался отправки статьи вовремя". Далее в [10] приводится такой эпизод: "Если дело идет об особом случае статьи, относящейся к открытию, то здесь он проявлял особое внимание. Например, 16 марта 1928 года он вручил текст речи в Южную Индийскую научную ассоциацию в Бангалоре и эта лекция, названная "Новое излучение" ... была написана немедленно по его возвращению в Калькутту и была напечатана вечером того же дня благодаря любезности Университетского издательства в Калькутте ... Тысячи препринтов этой уникальной статьи были отправлены в тот же день ученым во всем мире. *Ind. J. of Phys.* был основан в 1927 г. и недостаточно распространен в 1928 году".

"Чтобы максимально рекламировать свое открытие Раман 2000 препринтов своей исторической статьи, после публикации в *Ind. J. of Phys.*, послал всем крупным физикам, включая тех, кто работает в области рассеяния света во Франции, Германии, России, Канаде и США, и в институты во всем мире, чтобы закрепить приоритет Рамана в сделанном открытии". Все это поведение Рамана по наблюдениям его сотрудников относится к периоду, когда он (Раман) еще не знал, что Ландсберг и Мандельштам сделали точно такое же открытие и в одно и то же время. (Как выяснилось потом, даже на неделю раньше они видели само явление комбинационного рассеяния света.)

Далее Сингх и Рисс [10] пишут: "После публикации своих результатов российскими физиками Рамана стали беспокоить вопросы приоритета". Спасение пришло из Германии в виде статьи немецкого ученого П. Прингсхайма, который был специалистом в областях флуоресценции, люминесценции и рассеяния света. Он повторил эксперимент Рамана, подтвердил его результаты и ввел термин "Raman effect". После того, как эта работа была опубликована, Раман был уверен, что вопрос решен в его пользу. Один из сотрудников Рамана сказал: "Он (Раман) сказал нам, что обсуждение вопроса о приоритете открытия улажено, поскольку эффект назван только одним его именем".

Сказанное выше не оставляет сомнения, что Раман верил в быструю публикацию, между тем, как россияне были более медлительные. Закон — "кто первый пришел, тот первый обслуживается" (*first come first served*) был и остается основой исследования. Раман очень хорошо это знал. Но не только это, он знал, как бороться за приоритет.

Здесь уже много сказано о рекламной деятельности Рамана, но это далеко не все. В дальнейшем мы еще приведем некоторые эпизоды поведения Рамана, неприличные для нас.

Выше уже упоминалось о житейских сложностях, сопровождавших экспериментальное исследование спектра рассеянного света в кварце и исландском шпате Г.С. Ландсберга и Л.И. Мандельштама. Когда, наконец, все было позади, тогда все необходимые материалы об открытии комбинационного рассеяния света были получены и результаты опубликованы [20–22].

Никакой рекламной шумихи вокруг сделанного открытия не было и быть не могло, поскольку речь шла о поведении интеллигентных людей, увлеченно работающих физиков.

Л.И. Мандельштам говорит: "Г.С. Ландсберг сделал доклад по нашей совместной работе "О новом явлении диффузии света" на оптическом Colloquium'e при Институте физики наркомздрава 27 апреля 1928 г." Насколько нам известно, это было первое публичное сообщение о открытии Ландсбергом и Мандельштамом комбинационного рассеяния света. Это было обычное сообщение коллегам о своей работе.

Работа Г.С. Ландсберга и Л.И. Мандельштама была представлена более широкому кругу физиков, когда она была доложена на VI съезде ассоциации русских физиков. Съезд был многочленным — на нем присутствовало около 400 человек, среди них 21 иностранный ученый. Съезд начался в Москве 5 августа 1928 г., а затем участники поехали в Нижний Новгород, и далее на пароходе по Волге до Саратова. Среди иностранных гостей были Борн, Бриллюэн, Дарвин, Дебай, Дирак, Поль, Прингсгейм, Ф. Франк, Шелл и другие. Съезд окончился 15 августа 1928 г.

После возвращения домой иностранные участники VI съезда написали восторженные отзывы о своих путешествиях.

Мы приведем только краткие выдержки из заметок М. Борна и Ч. Дарвина об их впечатлениях от доклада Г.С. Ландсберга и Л.И. Мандельштама. Борн [34] писал: "Явление, открытое Ландсбергом и Мандельштамом на кристаллах, по существу своему, тождественно с эффектом, который был наблюден Раманом и его сотрудником Кришнаном в жидкостях; русская физика вправе гордиться тем, что это важное открытие было сделано московскими исследователями независимо от работ индусов и почти одновременно с ними (20 февраля 1928 г.). Это совпадение служит еще одним доказательством интернациональности нашей науки, охватившей теперь весь мир".

Свое впечатление о VI съезде ассоциации российских физиков Дарвин [35] касательно комбинационного рассеяния света опубликовал в *Nature*: "По-видимому, наиболее интересные работы — проф. Иоффе об отражении электронов, включая неудачную попытку обнаружить поляризацию, и работа профессоров Мандельштама и Ландсберга. Эти последние рассказали, как они независимо открыли то же, что и Раман — изменение частоты при рассеянии света".

В обеих заметках — Борна [34] и Дарвина [35] дается объективная и совершенно правильная оценка открытия Ландсбергом и Мандельштамом того же самого явления, которое обнаружили Раман и Кришнан.

Судя по тому, как развивались события дальше, можно думать, что утверждения Борна [34] и Дарвина [35] не понравились Раману и он публикует в *Nature* письмо [36] с целью приписать все достижения в изучении рассеянного света и люминесценции себе и своим сотрудникам, а главное убедить Дарвина и других читателей, что российские физики ничего оригинального не сделали. Все это для утверждения своего приоритета.

В письме сообщается, что обнаружение в рассеянном свете света измененной длины волны, было открыто в 1923 г. в Калькутте. Из сказанного там ясно, что речь идет о стоксовой люминесценции.

Сделанное в письме утверждение вызывает недоумение, поскольку люминесценция обнаружена не в 1923 г. в Калькутте, а, как утверждает Вавилов [37], 400 лет тому назад. Этим еще Галилей занимался.

По-видимому, заметка Рамана [36] написана ради ее последнего абзаца, в котором есть утверждение: "Русские физики, на чьи наблюдения эффекта в кварце ссылается проф. Дарвин, сделали свое первое сообщение об этом предмете после публикации заметки в *Nature* от 31 марта и 21 апреля. Их статья появилась в печати после шестнадцати других публикаций об этом эффекте разными авторами в научной периодике".

Работа Рамана и Кришнана [29], в которой наблюдались линии комбинационного рассеяния света, вышла из печати в журнале *Nature* 21 апреля 1928 г.

Ландсберг и Мандельштам [20] совершенно независимо от Рамана и Кришнана наблюдали линии комбинационного рассеяния света, и результаты этой работы опубликованы в журнале *Naturwissenschaften* 13 июля 1928 г. Между этими датами 83 дня (неполных три месяца).

Раман [36] сообщал Дарвину [35], что между публикацией его (Рамана) статьи и выходом из печати работы Ландсберга и Мандельштама [20] "появилось уже шестнадцать публикаций, посвященных этому эффекту и принадлежащих разным авторам". Это означает, по его мнению, что работа [20] не самостоятельна. Проще говоря, Ландсберга и Мандельштама обвинили в плагиате.

В такой же манере написана большая библиографическая статья Ганесана [38], где приведены ссылки на 160 публикаций и иногда их краткая аннотация. По тематике все 160 работ касаются комбинационного рассеяния света и выполнены до августа 1929 г. Первые 16 работ — это те работы, о которых пишет Раман [36].

Если работа возникла в результате использования того, что теперь чаще называют раман-эффектом, то библиография содержит указание "Refer to the Raman effect". Это означает, что кроме работ Рамана ничего оригинального и нет.

В библиографии работ [38] под № 16 и 17 даны публикации Ландсберга и Мандельштама, также помеченные "Refer to the Raman effect". Это означает, что оригинальной работе Ландсберга и Мандельштама можно приписать авторство Рамана и Кришнана. Работы сделаны независимо друг от друга, хотя, как выяснилось позже, они исследовали одно и то же физическое явление.

В упомянутой библиографии [38] под № 30 приведена работа Ландсберга и Мандельштама [22]. В аннотации № 30 уже не говорится, что она связана с Раманом, но и не говорится, что ее авторы видели сателлиты раньше Рамана и Кришнана, а главное нет даже упоминания, что она сделана совершенно независимо от Рамана и Кришнана.

Представляло интерес выяснить, о каких работах "разных авторов" идет речь, ведь у Рамана в [36] библиографии нет. Оказалось, согласно [38], из 16 работ 6 работ принадлежат индусским авторам — Раману и Кришнану, 9 работ — французским физикам² и одна № 16 — Ландсбергу и Мандельштаму.

² Номер слева соответствует номеру, под которым работа значится в [38]:

4. Rocard Y *Comptes Rendus (CR)* 186 1107 (1928)

Французские физики понимали, что должно существовать комбинационное рассеяние света и именно это явление они искали. Однако они опасались, что большое межмолекулярное взаимодействие мешает им наблюдать дискретную смещенную линию, поэтому они изучали рассеяния в газе.

Ирония судьбы состоит в том, что французские физики искали комбинационное рассеяние света и не нашли ничего. Разумеется, они знали, что интенсивность рассеянного в газах света мала, но они не знали, что она так мала. Им просто не хватило интенсивности рассеянного света, чтобы зарегистрировать эффект.

Их коллеги в Индии и в России нашли комбинационное рассеяние света, хотя искали совсем иное.

Как только Раман и Кришнан [28] опубликовали заметку под заголовком "Оптический аналог комптон-эффекта", французские физики сразу поняли, что на самом деле наблюдали Раман и Кришнан и, не теряя времени, приступили к работе. Работы были подготовлены и психологически, и экспериментально. Таким образом, за короткий срок было выполнено 9 работ, правда, среди них были работы теоретические, разъясняющие природу явления.

Подчеркнем еще раз, что Ландсберг и Манделъштам в Москве увидели явление комбинационного рассеяния света раньше (на несколько дней, но раньше), чем Раман и Кришнан в Калькутте. Это обстоятельство дает основание считать, что открытие комбинационного рассеяния света принадлежит Ландсбергу и Манделъштаму.

Раман и Кришнан наблюдали то же явление, что Ландсберг и Манделъштам, но наблюдали позже, а опубликовали результаты наблюдения раньше на не полных три месяца. Срок публикации научного открытия не имеет существенного значения. Первично открытие, а публикация вторична, а открытие в рассматриваемом случае — это его наблюдение. Было достаточно времени, чтобы оценить достижения Ландсберга и Манделъштама, Рамана и Кришнана, когда шла речь о присуждении Нобелевской премии в декабре 1930 г. По нашему мнению, премии заслуживали Ландсберг и Манделъштам и Раман (вопрос о роли Кришнана в этой работе для меня остается открытым). Тот факт, что Нобелевскую премию по физике получил в 1930 г. один Раман, есть ошибка Нобелевского комитета. Безусловно, это ошибка Нобелевского комитета, но не только его одного. Прежде всего, это вина соотечественников, которые имели право номинации и не сделали это. Есть также вина иностранных коллег. Многие иностранные коллеги знали, что заслуги Ландсберга и Манделъштама

в открытии комбинационного рассеяния света не меньше, чем у Рамана, но не номинировали их.

Для примера приведу оценку открытия Ландсберга и Манделъштама Резерфордом [40], тогда Главой Английского Королевского Общества: "Отличное сообщение об этих прекрасных экспериментах было дано в этом году в наших "трудах" Раманом и Кришнаном. Подобный эффект был обнаружен Ландсбергом и Манделъштамом при исследовании рассеянного света обычными кристаллами. Эти опыты нелегки, потому что рассеянный свет ничтожной интенсивности и нужны длительные экспозиции с интенсивными источниками света, чтобы выявить относительно слабые новые линии. Изучение результатов показало, что изменение частот спектральных линий зависит от характеристик частот молекулы, связанных с ее колебательным состоянием".

Из сказанного следует, что Резерфорду ясна не только физическая сущность открытого явления, но и обстоятельство эксперимента, а также, что Раман, Ландсберг и Манделъштам открыли одно и то же явление независимо друг от друга.

Но когда нужно было номинировать на Нобелевскую премию, Резерфорд выдвинул одного только Рамана. Почему?

Хвольсон, например, поступил иначе, он номинировал Ландсберга и Манделъштама и Рамана.

Сингх и Рисс [10] справедливо отмечают, что личное общение с иностранными коллегами играет большую роль во всех отношениях и особенно в тех случаях, когда необходимо поддержать известного человека, достойного, в частности, высокой награды.

Общение с иностранными коллегами у Ландсберга и Манделъштама было затруднительней, чем у Рамана. Впрочем, уверен, что и характер общения у Рамана и у Ландсберга и Манделъштама с коллегами совершенно различные.

Между тем, Раман очень широко пользовался своими связями. Например, в [10] приводится такой пример: даже до открытия Раман бывал официально или не официально приглашаем нанести визит к хорошо известным ученым, таким как Резерфорд (Англия), Бор (Дания) и Милликен (США). Раман знал, что он может получить поддержку от лауреата Нобелевской премии, имеющего право на номинацию. И действительно, Резерфорд и Вильсон написали восторженное выдвижение Рамана на Нобелевскую премию.

Другой впечатляющий пример, приведенный в [10], связан с именем великого Н. Бора, поздравившего Рамана следующими словами: "Я рад возможности, выразить Вам самые сердечные поздравления по поводу Вашего великого открытия нового излучения, которое значительно расширит наше знание в области оптики и атомной физики". Очень лестно услышать такие слова по поводу такого открытия. Эти же слова можно отнести к Ландсбергу и Манделъштаму, сделавших то же самое открытие независимо от своих индусских коллег и даже несколько раньше их.

Как уже было сказано выше, Нобелевскую премию по физике за 1930 г. получил только один Раман. Его выдвинули десять известных физиков. Вот их имена: Е. Блох, Н. Бор, Л. де Бройль, М. де Бройль, О. Хвольсон, Ж. Перрен, Р. Пфейффер, Э. Резерфорд, Ж. Штарк, Ч.Т.Р. Вильсон.

5. Cabannes J *CR* **186** 1201 (1928)

7. Cabannes J, Daure P *CR* **186** 1533 (1928)

8. Cotton A *CR* **186** 1475 (1928)

10. Bogros A, Rocard Y *CR* **186** 1712 (1928)

11. Cabannes J *CR* **186** 1714 (1928)

12. Daure P *CR* **186** 1833 (1928)

13. Fabry C H *J. de Phys.* **9** 92 (1928)

14. Rocard Y *J. de Phys.* **9** 104 (1928)

Под №№ 4, 5, 7, 8, 10, 11 работы, посвященные обсуждению природы нового явления, № 12 — получены спектры органических жидкостей и растворов, №№ 13 и 14 — сообщения об устных выступлениях (содержание не указано).

В числе "других авторов" отмечена работа № 16 Ландсберга и Манделъштама — единственная оригинальная работа, сделанная независимо от индусских и французских физиков.

Л.И. Мандельштама выдвинули О.Д. Хвольсон и Н.Д. Папалекси, а Г.С. Ландсберга — только О.Д. Хвольсон.

Полагаю, целесообразно воспроизвести рассказ Бхагавантама [31] о том, как Раман встретил весть о присуждении ему Нобелевской премии. Бхагавантам говорит о Рамане: "Я имел честь быть одним из его активных сотрудников в то время, когда ему была присуждена Нобелевская премия по физике, и я отчетливо помню его реакцию, когда я сообщил ему первую весть о присуждении, после того, как сам узнал по телефону от одного индийского агентства новостей в Калькутте. Он спросил меня, присуждена ли премия ему одному или он должен разделить кровать с другими иностранцами". Такие черты, как излишняя эмоциональность³, часто создавали ему репутацию человека бестактного в обращении с людьми.

За два месяца до того, как он узнал о присуждении ему Нобелевской премии, он действовал сверхдерзко (*supreme audacity*), купил билет на пароход, чтобы не опоздать на церемонию в Стокгольме".

В руках Нобелевского комитета были все необходимые материалы, чтобы сделать вывод о том, что индусские и российские физики сделали одно и то же замечательное открытие. Не было большого количества номинированных [11].

Не хотелось бы думать, что Нобелевский комитет оценивает не открытие, а номинаторов.

Ошибочно присуждать самую престижную премию одному и не присуждать ее за то же открытие другому. Но премия, даже самая престижная, — это еще не наука.

Несомненно, открытие Г.С. Ландсберга и Л.И. Мандельштама и его четкое понимание остаются в науке.

Список литературы

1. Борн М, Вольф Э *Оптика* (Харьков–Киев: Гос. науч.-тех. издат. Украина, 1937)
2. Кольрауш К *Спектры комбинационного рассеяния* (М.: ИЛ, 1952)

³ В 1957 г. Раман приезжал в Москву за "Ленинской премией за укрепление мира между народами", которой он был удостоен. Заодно он докладывал о своей теории твердого тела на семинаре П.Л. Капицы в Институте физических проблем. Я был на этом семинаре. Через 15–20 минут после начала доклада, сидевший в первом ряду Л.Д. Ландау сделал краткую реплику. Докладчику видно нечего было сказать в ответ и он начал кричать, топая ногами, выкрикивать оскорбления Ландау, размахивать руками и нести вздор. Л.Д. Ландау встал и вышел из зала. Ведущий семинара не проронил ни слова. Такого не приходилось видеть ни до, ни после.

The discovery of combination scattering of light in Russia and India

I.L. Fabelinskii

*P.N. Lebedev Physics Institute, Russian Academy of Sciences,
Leninskii prosp. 53, 119991 Moscow, Russian Federation
Tel. (7-095) 135-24 11. Fax (7-095) 938-22 51
E-mail: fabelins@sci.lpi.msk.su*

The history of the discovery of combination (Raman) scattering of light in Moscow and Calcutta is briefly described. The Moscow physicists observed the lines due to the new effect on February 21, 1928 and published their results on July 13, 1928, whereas for Indian physicists the respective dates are February 28, 1928 and April 21, 1928. Raman was alone to be awarded the Nobel Prize for the discovery. Research conditions in Russia and India are discussed in brief.

PACS numbers: **01.65. + g, 42.25. – p, 78.30. – j**
Bibliography — 40 references

3. Герцберг Г *Спектры и строение двухатомных молекул* (М.: ИЛ, 1949)
4. Герцберг Г *Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул* (М.: ИЛ, 1949)
5. Герцберг Г *Электронные спектры и строение многоатомных молекул* (М.: Мир, 1969)
6. Фабелинский И Л "Открытие комбинационного рассеяния света" *УФН* **126** 124 (1978)
7. Фабелинский И Л "Комбинационному рассеянию света — 70 лет" *УФН* **168** 1341 (1998)
8. Гинзбург В Л "Почему советские ученые не всегда получают заслуженные ими Нобелевские премии" *Вестник РАН* **68** 51 (1998)
9. Гинзбург В Л *О науке, о себе и о других* 3-е изд. (М.: Физматлит, 2003)
10. Singh R, Riess F "The 1930 Nobel Prize for physics: A close decision?" *Notes Rec. R. Soc. London* **55** (2) 267 (2001)
11. Гинзбург В Л, Фабелинский И Л "К истории открытия комбинационного рассеяния света" *Вестник РАН* **73** 215 (2003)
12. Фейнберг Е Л "Родоначальник (о Леониде Исааковиче Мандельштаме)" *УФН* **172** 91 (2002)
13. Фабелинский И Л *УФН* **170** 93 (2000)
14. Фабелинский И Л *К истории открытия комбинационного рассеяния* (М.: Знание, 1982)
15. Strutt R J *Proc. R. Soc. London Ser. A* **95** 476 (1919)
16. Raman C V *Nature* **109** 42 (1922)
17. Landsberg G S *Z. Phys.* **43** 773 (1927)
18. Мандельштам Л И *Журн. Русск. физ.-хим. общества Ч. Физ.* **58** 381 (1926)
19. Brillouin L *Ann. Phys. (Paris)* **17** 88 (1922)
20. Landsberg G S, Mandelstam L I *Naturwissenschaften* **16** 557 (1928)
21. Ландсберг Г С, Мандельштам Л И *Журн. Русск. физ.-хим. общества Ч. Физ.* **60** 335 (1928)
22. Landsberg G S, Mandelstam L I *Z. Phys.* **50** 769 (1928)
23. Smekal A *Naturwissenschaften* **11** 873 (1923)
24. Kramers H A, Heisenberg W *Z. Phys.* **31** 681 (1925)
25. Ландсберг Г С *Избранные труды* (М.: Изд-во АН СССР, 1958)
26. Raman C V "A new radiation" *Ind. J. Phys.* **2** 387 (1928)
27. Raman C V, Krishnan K S *Nature* **121** 501 (1928)
28. Raman C V, Krishnan K S *Nature* **121** 711 (1928)
29. Raman C V, Krishnan K S *Nature* **122** 12 (1928)
30. Рытов С М *ЖЭТФ* **58** 2154 (1970)
31. Bhagavantam S "The discovery of the Raman effect, reminiscences of sir C.V. Raman", in *Proc. of the Sixth Intern. Conf. on Raman Spectroscopy, Bangalore, India, 4–9 Sept. 1978* Vol. 1 (Eds E D Schmid et al.) (London: Heyden, 1978)
32. Ramdas L A, Raman C V *J. Phys. Educ.* **1** 2 (1973)
33. Krishnan R S, Shankar R K *J. Raman Spect.* **10** 1 (1981)
34. Born M *Naturwissenschaften* **16** 741 (1928)
35. Darwin C G *Nature* **122** 630 (1928)
36. Raman C V *Nature* **123** 50 (1929)
37. Вавилов С И *Несколько слов о книге П. Прингсхейма и М. Фогеля "Люминесценция жидких и твердых тел"* (М.: Госиздат, 1948)
38. Ganesan M A *Indian J. Phys.* **4** 281 (1929) (Bibliography of 150 papers on the Raman effect)
39. Landsberg G, Mandelstam L *CR Acad. Sci.* **187** 109 (1928)
40. Rutherford E *Proc. R. Soc. London Ser. A* **126** 184 (1929)

Received 4 April 2003, revised 7 April 2003