1951 г. Июнь Т. XLIV, вып. 2

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

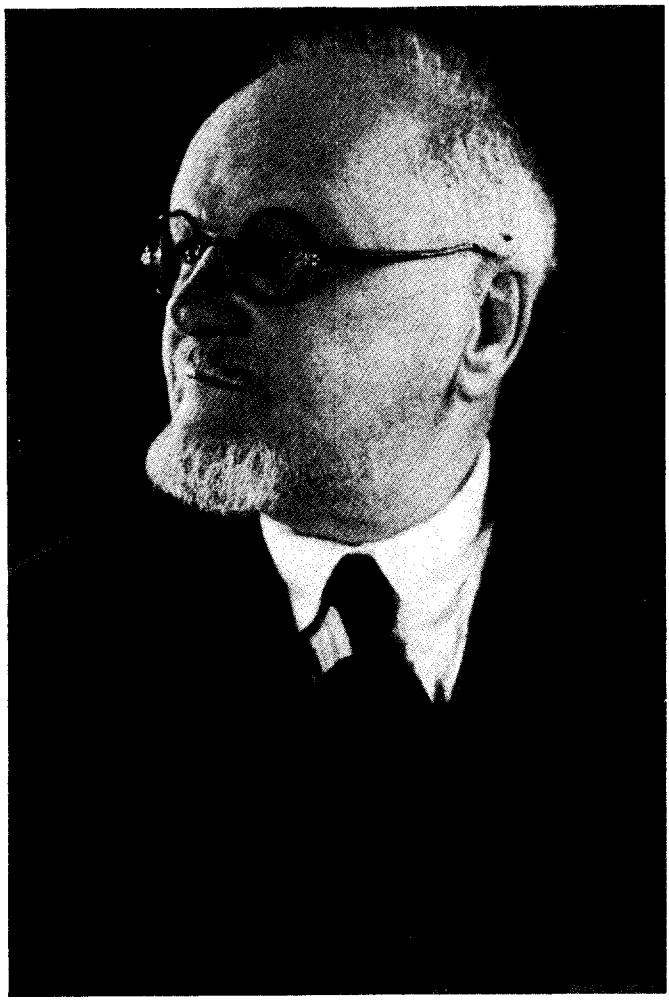
ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ РОЖДЕСТВЕНСКИЙ
(К 75-летию со дня рождения)

С. Э. Фриш

Дмитрий Сергеевич Рождественский родился в 1876 г. в Петербурге в семье учителя гимназии. Среднее образование он получил в Петербургской шестой гимназии, которую окончил в 1894 г. с серебряной медалью. В том же году он поступил в Петербургский университет, где первое время занимался естественными науками и лишь со второго курса посвятил себя изучению наук физико-математических. Он окончил университет в 1900 г. по математическому отделению с дипломом 1-й степени и был оставлен при университете для подготовки к профессорскому званию.

Как в свои студенческие годы, так и в годы после окончания университета, Дмитрий Сергеевич Рождественский принадлежал к прогрессивной части русской интеллигенции, выступавшей против преступной политики царских властей. В 1899 г. он примкнул к студенческой забастовке, отказавшись сдавать государственные экзамены, происходившие в том году под надзором полиции. В 1905 г. он участвовал в забастовках преподавателей университета, в том числе в забастовке, проводившейся в знак протеста против кровавых событий 9 января 1905 г. Он участвовал в ряде собраний, требовавших введения конституционного строя и состоял секретарём университетской группы «младших преподавателей».

Научную работу Д. С. Рождественский начал вести ещё студентом под руководством проф. Н. Г. Егорова. По окончании университета он поступил лаборантом в Военно-медицинскую академию, где проработал, однако, всего два семестра, до весны 1901 г. Затем для продолжения образования он поехал, как это было принято в то время, за границу в Германию, в Лейпциг. В 1903 г. вернувшись в Петербург, он занял в Университете место лаборанта, что соответствует современному ассистенту. С тех пор он был связан с Петербургским—Ленинградским университетом,



ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ
РОЖДЕСТВЕНСКИЙ

за исключением короткого перерыва, до самой своей смерти в 1940 г.

В начале нынешнего столетия в Петербургском университете ещё не было постоянных научных физических школ. Профессорами физики в Университете в то время были О. Д. Хвольсон и И. И. Боргман. Оба они широко известны как лица, много сделавшие для развития преподавания физики в России, но исследовательской деятельности они уделяли сравнительно мало внимания и не руководили научной работой. Дмитрию Сергеевичу надо было в значительной мере самому пробивать себе путь в области научных исследований. Он принялся за это дело с огромной энергией и упорством, выбрав очень трудную в экспериментальном отношении тему — исследование аномальной дисперсии света в парах натрия.

Ещё во второй половине XIX столетия в результате теоретических работ ряда физиков стало известно, что вблизи спектральной линии поглощения коэффициент преломления света должен возрастать до огромных значений по одну сторону линии и принимать весьма малые значения по другую сторону от неё. Этот разрыв в ходе коэффициента преломления, получивший название «аномальной дисперсии», является следствием резонансного раскачивания квазиупругой системы атома падающей световой волной. Количественное изучение аномальной дисперсии представляло большой интерес, так как оно не только даёт способ проверить теорию дисперсии, но и позволяет определить число тех электронов, находящихся внутри атома, которые обусловливают взаимодействие света с веществом. В результате длительной и настойчивой работы Д. С. Рождественский достиг больших успехов и 8 декабря 1909 г. он смог уже сделать первый доклад о полученных результатах в Отделении физики Русского физико-химического общества; напечатан этот доклад был в 1910 г.

Скрестив два оптических прибора — диффракционную решётку и интерферометр, Д. С. Рождественский получил интерференционные полосы, необычайно наглядно воспроизводившие крутое возрастание и резкий спад коэффициента преломления вблизи линии поглощения. Полученная им фотография аномального хода дисперсии в парах натрия (рис. 1) приобрела небывалую в науке популярность: нет ни одного подробного учебника по оптике, ни одной статьи по аномальной дисперсии света, где она не воспроизводилась бы.

Сущность метода, которым пользовался Д. С. Рождественский, заключается в следующем. Интерференционные полосы, получающиеся в белом свете, проектируются на вертикальную щель спектрографа. Положение максимума, соответствующего нулевой разности хода, не зависит от частоты света. Отсюда этому максимуму в сплошном спектре, даваемом спектрографом, отвечает

горизонтальная светлая полоса, тянущаяся вдоль всего спектра. Максимумы же, соответствующие разностям хода в одну, две, три и т. д. длины волны, располагаются для разных частот падающего света на разных высотах щели. Им отвечают в сплошном спектре светлые полосы, расположенные выше и ниже нулевой полосы и расходящиеся веером от синей части спектра к красной.

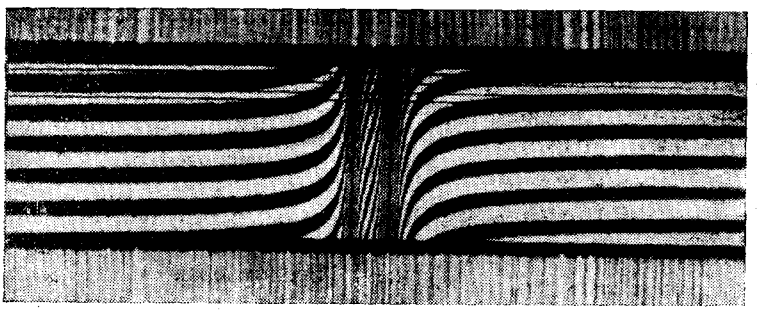


Рис. 1.

Между светлыми полосами располагаются тёмные, отвечающие минимумам в интерференционной картине, спроектированной на щель. В результате сплошной спектр оказывается вдоль всей длины прочерченным попеременно светлыми и тёмными полосами. Если ввести в интерферометр на пути одного из лучей исследуемое вещество в виде плоскопараллельного однородного столба паров, то полосы сместятся на величину, пропорциональную введённой разности хода. Разность же хода при данной толщине столба паров пропорциональна $n-1$, где n — показатель преломления паров.

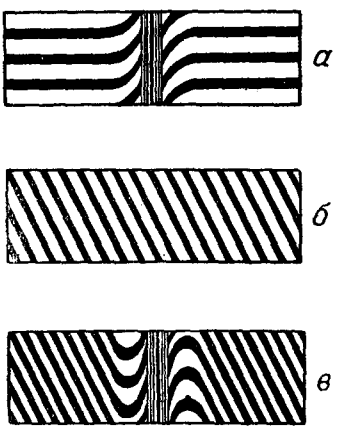


Рис. 2.

Таким образом, смещение интерференционных полос в спектрографе непосредственно воспроизводит ход дисперсии во всей наблюдаемой области. Если в эту область попадёт какая-нибудь из линий поглощения, то интерференционные полосы загнутся около неё, как показано на рис. 2, *а*.

Однако такой метод изучения аномальной дисперсии ещё мало пригоден для получения количественных данных; он требует промера большого числа точек на круто восходящей или ниспадающей части интерференционной полосы, где измерения кропот-

ливы и недостаточно точны. Вблизи самой линии поглощения полосы идут так круто и расположены так близко друг к другу, что промеры вообще становятся невозможными. Для того чтобы приспособить метод к количественным измерениям, Д. С. Рождественский подверг его существенному и в высшей степени остроумному изменению. Во вторую ветвь интерферометра он ввёл плоскопараллельную стеклянную пластинку определённой толщины. При отсутствии паров в первой ветви интерферометра введение такой пластинки дало бы смещение полос, изображающее ход дисперсии в ней. В прозрачной стеклянной пластинке вдали от полос поглощения ход дисперсии сводится к монотонному убыванию коэффициента преломления с возрастанием длины волны («нормальная» дисперсия), что ведёт лишь к наклону полос.

При большой толщине пластинки наклон значителен. Наконец, так как пластинка введена в другую ветвь интерферометра, не в ту, где пары, то наклон полос получается в обратную сторону. Вид этих полос изображён на рис. 2, *б*.

При одновременном действии паров с аномальной дисперсией и стеклянной пластинки с нормальным ходом дисперсии смещение полос определится алгебраической суммой смещений, вызванных парами и стеклянной пластинкой в отдельности. Вдали от полосы поглощения паров, где их показатель преломления мало зависит от длины волны, сильнее выражен наклон, вызванный стеклянной пластинкой. Вблизи полосы поглощения, где изгиб интеференционных полос, вызванный дисперсией паров, очень велик, сильнее изгиб, даваемый парами. В результате полосы в некотором месте перегнутся и дадут своеобразные максимумы и минимумы, схематически представленные на рис. 2, *в*.

Эти изгибы Рождественский назвал «крюками». При данной толщине стеклянной пластинки положение крюков определится величиной дисперсии около рассматриваемой линии поглощения паров. Чем сильнее дисперсия паров вблизи линии, тем дальше от линии образуются крюки. Таким образом, по положению крюков можно непосредственно измерить величину дисперсии паров около линии поглощения. Подбором соответствующей толщины стекла крюки всегда можно отодвинуть от линии и добиться такого их положения, при котором измерения будут легко выполнимыми и точными. В этом огромное преимущество метода Рождественского: измерения производятся просто, точно и могут выполняться на столь малых расстояниях от линий поглощения, где все другие методы перестают быть пригодными.

На рис. 3 представлена в несколько упрощённом виде схема установки Рождественского: S — вольтова дуга, являющаяся мощным источником сплошного спектра, F — светофильтр с водой для поглощения инфракрасных лучей, L_1 — линза, дающая параллельный пучок лучей. Лучи падают на интерферометр, состоящий

из четырёх зеркал A_1, A_2, A_3, A_4, два из которых, A_2 и A_3 сплошные, остальные два полупрозрачные. Интерферометр представляет собою видоизменение интерферометра Жамена и позволяет сильно развести друг от друга пучки света $A_1 A_3$ и $A_2 A_4$. В оба пучка вводятся одинаковые трубки B_1 и B_2, к концам которых прикреплены одинаковые плоскопараллельные стеклянные пластинки. Таким образом, трубки B_1 и B_2 сами по себе не вносят в пучки света добавочной разности хода. Пройдя через трубки и отразившись от зеркал A_3 и A_4, пучки света соединяются вместе и отображаются линзой L_2 на щель спектрографа C. В качестве спектрографа Д. С. Рождественский употреблял плоскую диффракционную решётку в автоколлимационной установке. Дисперсия решётки во втором порядке, в котором производились снимки, достигала 5 Å/*мм*.

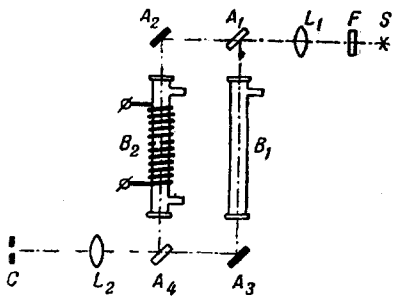


Рис. 3.

Для наблюдения аномальной дисперсии в одну из трубок, например трубку B_2, вводился исследуемый металл. Трубка нагревалась электрической печью до температуры, достаточной для того, чтобы в ней получились пары при необходимом давлении. С целью образования «крюков» в пучок A_1A_3 вводилась плоскопараллельная стеклянная пластинка.

Пользуясь своим методом, Д. С. Рождественский прежде всего промерил ход аномальной дисперсии вблизи D-линий натрия. Результаты измерений оказались в прекрасном соответствии с теоретической формулой Зельмейера. Незначительные отступления наблюдались лишь на очень малых расстояниях от линий; при этом можно было показать, что они носят «инструментальный» характер: при фотографировании спектра в разных порядках диффракционной решётки они получились разными.

Таким образом, уже первая работа Д. С. Рождественского показала весьма точную выполнимость формулы Зельмейера и, как казалось, подтвердила гипотезу о квазиупругом характере внутриатомных сил. Впоследствии, на сессии Академии наук СССР в марте 1936 г., Рождественский сказал: «Вряд ли кто-нибудь тщательнее меня вдоль и поперёк исследовал эти кривые, и мой ответ: да, эти кривые — гиперболы и, следовательно, электрон имеет квазиупругую связь. К счастью, присущий мне скепсис заставил меня прибавить: впрочем, достаточно линейности уравнений, заведующих колебаниями электрона, чтобы обусловить гиперболу, не входя в рассмотрение вопроса о существе связи». Последняя фра-

за весьма замечательна: она характеризует научную осторожность и прозорливость Рождественского. Он допускал возможность и иного толкования законов аномальной дисперсии, отличного от толкования, основанного на наглядном модельном представлении о квазиупругих колебаниях электрона внутри атома. Но если теоретические выводы и не были однозначны, то во всяком случае после работы Д. С. Рождественского стало ясно одно: всякая будущая теория должна считаться с точной выполнимостью формулы Зельмейера.

Результаты, полученные Д. С. Рождественским, послужили темой его магистерской диссертации, которую он с исключительным успехом защитил в 1912 г. Эта диссертация под названием «Исследование аномальной дисперсии в парах натрия» представляет собою классическое исследование в области аномальной дисперсии. Она получила широкое признание сразу после её опубликования и была удостоена Менделеевской медали Академии наук. В том же 1912 г. Д. С. Рождественский получил звание приват-доцента.

Дальнейшая научная работа Д. С. Рождественского была посвящена развитию метода «крюков» и его применению к исследованию аномальной дисперсии не только в парах натрия, но и в парах других щелочных металлах — калия, рубидия и цезия. Эти исследования привели к новому и не менее важному результату. Д. С. Рождественский промерил отношение числа вибраторов для жёлтых линий натрия и получил для него значение 2 с точностью до 2,5%. Он показал, что это отношение не зависит ни от температуры, ни от давления паров и, следовательно, определяется свойством самих атомов натрия. Такое же отношение, близкое к 2, он получил и для составляющих головных дублетов калия, рубидия и цезия. Результаты этих измерений оказались, таким образом, весьма существенными: они показали, что отношения интенсивностей спектральных дублетов целочисленны. Этот факт, в то время совершенно непонятный, указал на своеобразие законов, которым подчиняются внутриатомные процессы; он нашёл впоследствии подтверждение в квантовой механике. Результаты этих новых исследований, обобщённые в труде: «Простые соотношения в спектрах щелочных металлов», послужили темой докторской диссертации, защищённой Д. С. Рождественским в 1915 г.

Сразу после защиты докторской диссертации Д. С. Рождественский избирается заведующим Физическим институтом, а в 1916 г. — профессором Петроградского университета. Он вносит новую свежую струю в затхлую до того атмосферу Физического института. Ещё в период 1910—1912 гг. он совместно с А. Ф. Иоффе и П. С. Эренфестом организует научный семинар, который привлекает к себе наиболее талантливую и активную молодёжь и становится центром научной физической мысли Петербурга. Став профессором, Рождественский собирает вокруг себя учени-

ков и начинает руководить оригинальной творческой научной работой. Одновременно, нарушая «академические» традиции, в силу которых учёные не выходили за пределы «чистой» науки, он совместно с группой других передовых учёных и инженеров (И. В. Гребенщиков, Н. Н. Качалов и др.) начинает заниматься производством оптического стекла, в котором столь нуждалась в то время русская армия. Таким образом, деятельность Д. С. Рождественского уже в предоктябрьский период достигла широких размеров и носила глубокопрогрессивный характер, но полный размах она смогла приобрести лишь после Великой Октябрьской революции.

К Октябрьской революции Д. С. Рождественский отнёсся с энтузиазмом. Он принадлежал к числу тех передовых русских учёных, которые всегда стремились поставить науку на службу народу и сразу поняли, какие огромные и новые возможности открывает в этом отношении Октябрьская революция. В первый же год существования советской власти Д. С. Рождественский внёс в Наркомпрос обширный и детально разработанный план организации Оптического института. Оптический институт был им задуман как учреждение нового типа, в котором тесно сочетались бы наука и практика. Впоследствии он сам писал: «Все мы были одушевлены одной общей задачей — созданием Оптического института — того учреждения нового типа, в котором неразрывно связывались бы научная и техническая задачи».

Проект Д. С. Рождественского нашёл полное признание в Наркомпросе и 15 декабря 1918 г. Государственный оптический институт был организован. Д. С. Рождественский состоял директором и активным руководителем оптического института до 1932 г. и много способствовал развитию как научной оптики в СССР, так и всех отраслей оптической промышленности. Он принимал непосредственное участие в пуске в ход первого советского завода оптического стекла и много труда и энергии отдал развитию всех других отраслей нашей, ставшей ныне столь мощной, оптической промышленности.

Деятельность Д. С. Рождественского была также тесно связана и с Академией наук СССР. В 1925 г. он был избран членом-корреспондентом, а в 1929 г. — академиком. По его инициативе при Академии была создана первоначально Комиссия по изучению редких земель, а затем Спектроскопическая лаборатория, которую он возглавлял до конца своей жизни. Блестящий организатор, человек, умеющий заражать своим научным энтузиазмом окружающих, он собрал вокруг себя большое количество молодых физиков, сумел воспитать плеяду талантливых учеников, создал крупную школу ленинградских оптиков.

Вопросы подготовки научных кадров всегда были в центре внимания Д. С. Рождественского. В период создания и развития

Оптического института он с исключительной энергией продолжал работу и в Ленинградском университете. В 1919 г. он организовал самостоятельное физическое отделение на физико-математическом факультете и провёл коренную реформу преподавания физики. По его инициативе был разработан специальный курс математики, учитывающий интересы физиков; были также включены в программу все новейшие разделы физики и наряду с лекциями введены семинары с их активной формой обучения студентов. Реформа, проведённая Д. С. Рождественским, значительно повысила уровень обучения студентов и легла в основу всех тех последующих преобразований, которые привели к современным физическим факультетам университетов. Сам Д. С. Рождественский читал ряд лекционных курсов — по оптике, электричеству, электромагнитной теории света и вёл семинары. Ко всем своим лекциям и докладам Дмитрий Сергеевич Рождественский готовился в высшей степени тщательно, нередко на четыре часа лекций у него уходила почти вся неделя подготовки. Он обдумывал и записывал план каждой лекции, подбирал литературу и придумывал новые демонстрационные опыты. Лекции его, не отличаясь внешним эффектом, были чрезвычайно содержательны и приносили для внимательного слушателя огромную пользу. В лекциях, и особенно в докладах, сказывался большой самобытный талант Дмитрия Сергеевича, свежесть и оригинальность его мысли, обилие больших и новых идей. Перу Д. С. Рождественского принадлежат две большие главы в V томе «Курса физики» О. Д. Хвольсона, а именно, «Электромагнитная теория света» и «Магнитооптика и электрооптика». Обе эти статьи в течение долгого времени были наиболее полными и обстоятельными изложениями электромагнитной оптики из имеющихся на русском языке.

Исследования по аномальной дисперсии составляли самую значительную и обширную часть многообразной научной деятельности Д. С. Рождественского. К этой теме он возвращался много раз в течение своей жизни и ей он посвятил свою последнюю большую научную работу, выполненную снова в стенах Ленинградского университета, в который он возвратился в 1939 г. после короткого перерыва. Эта работа, выполненная Д. С. Рождественским совместно с его учеником Н. П. Пенкиным, имела целью распространить метод «крюков» на исследование паров тугоплавких элементов. Употреблявшаяся ранее экспериментальная установка позволяла исследовать лишь сравнительно легкоплавкие элементы. Вещество вводилось в эвакуированную кварцевую трубку и нагревалось электрической печью, позволявшей достигать температур, не превышающих 1200° С. Для перехода к более высоким температурам Д. С. Рождественский создал новую установку с вакуумной печью с телом накала в виде графитовой трубки.

Работа была связана с преодолением исключительных экспериментальных трудностей. В одну из ветвей интерферометра, тончайшего оптического прибора, требовалось ввести громоздкую печь, легко нарушающую строгий температурный режим, необходимый для получения устойчивой интерференционной картины.

После года напряжённой работы был построен новый интерферометр с размером стоек в 30 *см*, т. е. в 5 раз большим, чем у прежних интерферометров. Такой большой интерферометр в высшей степени чувствителен к малейшей тряске, и для того чтобы добиться хороших интерференционных полос, его пришлось смонтировать на двойной системе каменных плит, общим весом в полтонны, на резиновых прокладках. В одну из ветвей интерферометра вводилась печь диаметром около 40 *см* и длиной в 75 *см*. Печь питалась от 30-киловаттного вольтпонижающего трансформатора и при силе тока в 1800 *а* давала температуру в 3000 ° С. Такая высокая температура привела к новым экспериментальным затруднениям. Например, в местах стыка графитовой трубки с подводящими электродами при нагревании возникали деформации, приводившие к разрушению электродов или к порче контакта.

Трудности возникали также при создании оптической системы, обеспечивающей достаточную светосилу при наличии длинной и сравнительно узкой трубки. Тем не менее все они были преодолены и новая установка позволила делать при высоких температурах (до 3000 ° С) снимки «крюков», вполне пригодные для промеров.

В результате проделанной работы экспериментальные возможности оказались сильно расширенными и Д. С. Рождественский исследовал аномальную дисперсию в парах хрома и получил, что отношение интенсивностей составляющих узкого мультиплета хрома, лежащего в фиолетовой части спектра, целочисленно, оно равно 3:5:7. Он наметил также обширную программу дальнейших исследований по аномальной дисперсии, которую ему уже не суждено было выполнить, но которую теперь с успехом выполняют его ученики и последователи. Работы Д. С. Рождественского по аномальной дисперсии и при его жизни тесно переплетались с работами его учеников (А. Н. Филиппов, В. К. Прокофьев, Г. С. Кватер, Н. П. Пенкин и др.). При помощи метода «крюков» Д. С. Рождественского было поставлено и решено большое число задач, имеющих первостепенную важность для выяснения законов взаимодействия света с веществом и для теории строения атомов. Изучение аномальной дисперсии стало монополией советских физиков. Немногочисленные работы по аномальной дисперсии, выполненные за границей, произведены методом «крюков» с помощью аппаратуры, скопированной с аппаратуры Рождественского. Прошло почти 40 лет с момента первой работы Рождественского, однако

открытая им методика не потеряла своей свежести — случай очень редкий при современных очень бурных темпах развития физики.

Метод Рождественского дал простой и точный способ сравнения интенсивностей линий поглощения. Интенсивность линий поглощения, как будет показано ниже (см. формулу (2)), определяется числом поглощающих вибраторов N_i. Число же вибраторов N_i непосредственно связано с константой a_i формулы Зельмейера, по которой вблизи линии поглощения коэффициент преломления может быть представлен в виде:

$$n-1=\frac{a_i}{\nu_i^2-\nu^2}. \qquad (1)$$

Теория метода «крюков» показывает, что значение константы a_i получается простым измерением длин волн, при которых расположены «крюки». Такая простота измерений делает метод «крюков» наиболее удобным, быстрым и точным для определения интенсивностей спектральных линий поглощения. Другие методы — метод фотографической фотометрии, метод резонансного поглощения и метод вращения плоскости поляризации более сложны и менее надёжны.

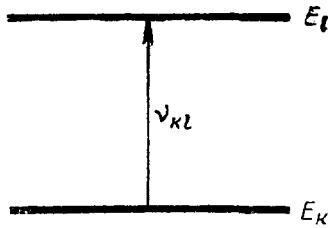


Рис. 4.

Целочисленный характер отношения интенсивностей спектральных линий, обнаруженный Рождественским, впервые нашёл отражение в теории атома Бора. По классической теории совокупность вибраторов с собственной частотой колебаний ν_i поглощает энергию

$$\Delta E=N_i\,\frac{\pi e^2}{m}\,\rho(\nu_i), \qquad (2)$$

где N_i — число поглощающих центров, а $\rho(\nu_i)$ — плотность энергии в падающем световом потоке частоты ν_i.

Теория Бора рассматривает поглощение и испускание света атомом как результат перехода атомной системы из одного дискретного энергетического состояния в другое. Если E_k — уровень более бедный энергией, а E_l — уровень более богатый энергией, то акту поглощения света соответствует переход с уровня E_k на уровень E_l, изображённый стрелкой на рис. 4. Частота поглощения света ν_{kl} определяется, как известно, правилом частот Бора

$$\nu_{kl}=\frac{E_l}{h}-\frac{E_k}{h}, \qquad (3)$$

где h — постоянная Планка. Если поглощающий пар содержит в единице объёма N_k атомов, находящихся в состоянии с энергией

E_k, то, по теории Бора, поглощённая энергия равна

$$\Delta E = N_k \frac{g_l}{g_k} \frac{c^3}{8\pi\nu_{kl}^2} A_{kl}\, \rho(\nu_{kl}), \tag{4}$$

где c — скорость света, а A_{kl}, g_k и g_l — константы, определяемые свойствами атома.

Вводя в рассмотрение величину

$$f_{kl} = \frac{g_l}{g_k} \frac{mc^3}{8\pi^2 e^2 \nu_{kl}^2} A_{kl}, \tag{5}$$

перепишем формулу (4) в виде

$$\Delta E = N_k f_{kl} \frac{\pi e^2}{m} \rho(\nu_{kl}). \tag{4a}$$

Она отличается от классической формулы (2) только тем, что вместо числа поглощающих вибраторов N_i стоит произведение из числа атомов N_k и некоторой константы f_{kl}, зависящей от свойств атомов. Это означает, что с точки зрения теории Бора поглощать могут все атомы, но переходы между разными энергетическими уровнями, а следовательно, и соответствующие им акты поглощения происходят не одинаково часто. Величина f_{kl} определяет вероятность данного перехода. Эти «вероятности перехода» f_{kl} непосредственно определяются методом «крюков» Рождественского. В самом деле, равенство

$$N_i = N_k f_{kl}$$

даёт

$$f_{kl} = \frac{N_i}{N_k},$$

где N_i находится, как было сказано, из промера положения «крюков». Для нахождения f_{kl} остаётся ещё определить число поглощающих атомов N_k в единице объёма. Это можно сделать, если проводить опыт с однородным столбом паров и знать их упругость. Однако во многих случаях достаточно знать относительные значения вероятностей переходов f_{kl}; тогда нет надобности определять N_k, и все измерения сводятся к нахождению места расположения «крюков».

Пусть две спектральные линии поглощения с частотами ν_{kn} и ν_{kl} возникают при переходе между одним нижним и двумя верхними уровнями.

Отношение их интенсивностей по формуле (4a) равно

$$\frac{I_l}{I_n} = \frac{f_{kl}}{f_{kn}}, \tag{6}$$

т. е. оно определяется лишь отношением вероятностей переходов $\frac{f_{kl}}{f_{kn}}$. Этим подтверждается, что метод Рождественского позволяет особенно просто определять отношения интенсивностей линий.

Для случая составляющих одного и того же спектрального дублета $A_{kl}=A_{kn}$; кроме того, если дублет узкий, то частоты ν_{kl} и ν_{kn} можно приближённо положить равными друг другу; тогда по (6) и (5)

$$\frac{I_l}{I_n}=\frac{g_l}{g_n}.$$

Величины g_l и g_n имеют в теории Бора смысл статистических весов энергетических уровней E_l и E_n и равны $2J+1$, где J — «внутреннее» квантовое число данного уровня. Для уровней, соответствующих дублетам щелочных металлов, J равно $\frac{3}{2}$ и $\frac{1}{2}$, откуда

$$\frac{I_l}{I_n}=\frac{g_l}{g_n}=\frac{2J_l+1}{2J_n+1}=\frac{4}{2}=2.$$

Таким образом, теория Бора объясняет открытый Рождественским целочисленный характер отношения интенсивностей составляющих спектральных дублетов щелочных материалов.

Механизм испускания спектральных линий определяется двумя характерными для атома величинами: энергиями уровней E и вероятностями переходов f.

Как ясно из сказанного, метод Рождественского оказался применимым для измерения этой новой и важнейшей характеристики внутриатомных процессов — «вероятности переходов» f. Отсюда становится понятным значение работ Рождественского для всего дальнейшего развития учения об атомах.

Одновременно с успехами теории Бора вскрылись и её крупные недостатки. Объясняя целочисленные отношения интенсивностей линий, она — с её представлениями о неизменных стационарных состояниях — не могла объяснить самого факта аномальной дисперсии. Кроме того, дальнейшие измерения Рождественского показали, что отношения интенсивностей не всегда целочислены: для второго дублета рубидия получается отношение 2,6, а для третьего дублета цезия 7,4. Отступление от целых чисел здесь несомненно больше ошибок наблюдений. Таким образом, богатый опытный материал, даваемый работами Рождественского, неизменно переплетался со всеми деталями развития атомных теорий.

Выход из затруднения был дан квантовой механикой, которая снова привела к формуле Зельмейера и показала, что возможны отступления от целочисленности отношений интенсивностей состав-

ляющих спектральных мультиплетов. Вместе с тем квантовая механика выдвинула требование систематического определения для атомов вероятностей переходов f как одних из основных характеристик их свойств. Отсюда стал ясным и дальнейший путь развития экспериментальных работ по аномальной дисперсии: используя метод Рождественского, определить вероятности переходов для возможно большего числа различных атомов, а для каждого атома — для возможно большего числа линий. В тех же случаях, когда вероятности переходов уже известны, метод «крюков» Д. С. Рождественского даёт возможность определить число поглощающих атомов.

Решение последней задачи особенно важно для исследования механизма газового разряда и многих связанных с ним вопросов. Работы в этом направлении ведутся в настоящее время многими советскими физиками, широко использующими научные методы Рождественского.

Работы по аномальной дисперсии далеко не исчерпывают научной деятельности Д. С. Рождественского. Большое число других вопросов теоретической и прикладной оптики привлекало его внимание. При этом в любом из затронутых им направлений он умел быть оригинальным, сказать своё новое слово. Проблемы аномальной дисперсии Дмитрий Сергеевич никогда не рассматривал узко, в отрыве от других задач и это предопределяло его интерес к теории строения атомов и к спектральным закономерностям. Ещё в январе 1916 г., выступая с председательской речью на заседании физического отделения Русского физико-химического общества, он посвятил свой доклад сериальным закономерностям и новым в то время работам по спектроскопии рентгеновых лучей.

В 1919 г. при праздновании первой годовщины существования Государственного оптического института Д. С. Рождественский выступил с большим докладом «Спектральный анализ и строение атомов». В этом докладе он высказал основные идеи о строении атомов и о структуре линейчатых спектров, развитые им несколько позже в целом ряде специальных статей. Для правильной оценки значения этих идей надо вспомнить, чтó было известно в то время в Советской России, отрезанной блокадой империалистических держав от мировой науки, об атомах и о природе спектров. Знания ограничивались атомом водорода. В области систематики спектров остальных атомов были известны лишь старые эмпирические формулы Ридберга. С удивительной научной проницательностью Д. С. Рождественский сформулировал основные положения, позволившие расширить известную в то время теорию на спектры любых атомов. Вот эти положения:

1) спектральные серии определяют орбиты валентных электронов в атоме;

2) далёкие орбиты в атомах щелочных металлов сходны с далёкими орбитами водорода;

3) число орбит валентных электронов в атомах щелочных металлов в точности равно числу орбит в атоме водорода;

4) дублеты и триплеты создаются внутренним магнитным полем атома;

5) причина аномального явления Зеемана также заключается в существовании внутреннего магнитного поля в атомах;

6) спектр иона некоторого элемента должен походить на спектр нейтрального атома, предшествующего этому элементу в периодической системе Менделеева.

Таким образом, Д. С. Рождественский высказал все те основные идеи, которые позволили обобщить теорию Бора, первоначально относившуюся лишь к водороду и ионизованному гелию, на все другие атомы. Эти идеи, отчасти одновременно, а отчасти и несколько позже, были высказаны на Западе рядом крупнейших физиков и легли в основу современной теории атомных спектров. Многие из идей, высказанных Д. С. Рождественским, представляют собою фундаментальные открытия, лежащие в основе всей спектральной систематики, и справедливость требует, чтобы они были связаны с именем Дмитрия Сергеевича Рождественского.

Д. С. Рождественский вполне определённо высказал идею о магнитной природе спектральных дублетов и триплетов, в значительной мере облёк её в форму настоящей математической теории и связал с теорией явления Зеемана. Тогда эта идея оспаривалась многими видными физиками, но для Д. С. Рождественского, умевшего обобщать разнообразный экспериментальный материал, было ясно, что только силы магнитного характера могут быть причиной существования дублетов и триплетов. Отстаивая эту теорию, он вместе с тем ясно видел и те непреодолимые трудности, которые она в то время встречала. В настоящее время известно, что полностью теория спектральных мультиплетов может быть построена лишь при учёте собственных механического и магнитного моментов электрона (спина), тогда ещё неизвестных.

Кроме того, Д. С. Рождественский впервые дал анализ спектра иона магния; эта работа послужила образцом для многочисленных анализов спектров ионов, проведённых как учениками Рождественского, так и рядом физиков за границей. Наконец, особый интерес представляет его работа по анализу спектра неона. Здесь он полнее, чем кто-либо до него, проводит гипотезу о возможности испускания одной монохроматической линии при одновременном переходе двух электронов. Эта гипотеза не только имеет большое принципиальное значение с точки зрения дальнейшего развития теории строения атомов, но и является ключом к

разгадке структуры сложных спектров атомов и ионов со многими валентными электронами.

Работы Д. С. Рождественского по спектроскопии также не остались без последователей. Благодаря сделанным им открытиям русская физика не только не отстала в области спектроскопии за время империалистической блокады 1918—1921 гг. от зарубежной, но во многих отношениях опередила её.

Д. С. Рождественский никогда не замыкался в рамки отвлечённой теории. Он всегда ясно имел в виду практическое применение новых физических открытий и теорий. Дело шло не об узких, частных практических применениях, но о широких перспективных, о новаторских идеях в области техники. В области прикладной оптики он не ограничился организационной работой, но провёл блестящие изыскания по теории микроскопа. Как известно, теория микроскопа была впервые дана Аббе, который учёл роль диффракции при образовании изображения в микроскопе. Однако теория Аббе относилась к случаю освещения объекта когерентными лучами, что практически обычно не имеет места. Л. И. Мандельштам разобрал другой предельный случай — случай самосветящегося объекта, когда лучи некогерентны. Д. С. Рождественский разобрал наиболее общий случай и, что самое важное, случай, соответствующий реальным условиям освещения. Он ввёл понятие о «степени» когерентности света. Далее он показал, что при рассматривании более или менее прозрачных объектов (а такими всегда являются биологические объекты) существенную роль играют явления интерференции. Он сам произвёл наблюдения различных биологических объектов и показал, что микроскоп может быть использован значительно эффективнее, чем это обычно имеет место. Его работы по теории микроскопа являются классическими и ждут дальнейшего развития и применения.

В развитии работ Д. С. Рождественского по микроскопии не малую роль сыграли его интересы в области биологии. Начав ещё на 1-м курсе университета заниматься биологией, он сохранил к ней интерес в течение всей своей жизни. Он был глубоко образованным ботаником и много работал с микроскопом, наблюдая биологические объекты. Достигнутые им успехи в теории микроскопии в значительной мере определялись тем, что в его лице объединились физик-оптик с биологом-микроскопистом. Дмитрий Сергеевич в статье «Чем овладел и что должен завоевать микроскоп» писал о Левенгуке: «он сам плавил стекло, сам шлифовал, сам полировал... и что важнее всего, сам искал и находил объекты наблюдения. Запомним особенно это, потому что в микроскопии творит новое и совершенное тот, кто знает, для чего творит и что ищет». Эти слова характерны и для самого Дмитрия Сергеевича. В любую область, которой он начинал зани-

маться, он входил «до конца», овладевал всеми методами и всей техникой работы. Это относилось и к технике физического эксперимента и к производствам. Его участие в развитии оптической промышленности отнюдь не шло по линии лишь «научных консультаций» и мероприятий организационного характера. Он глубоко вошёл во все детали оптического производства и сам учился у мастера Александрова шлифовать точные оптические поверхности.

Есть среди учёных — иногда даже крупных — такие, которые идут проторенной, известной дорогой, обобщают и развивают уже известные научные положения и методы. Есть другие — подлинные новаторы, идущие своей собственной дорогой, умеющие на каждом своём шагу быть оригинальными. Именно таким учёным был Дмитрий Сергеевич Рождественский. Глубокий эрудит, умеющий использовать всё передовое, что имелось в современной ему науке, он вместе с тем всегда критически подходил к общепризнанным авторитетам и умел во всём сказать своё новое слово. Он всегда проповедывал тесное единение науки с практикой и не боялся делать резкие критические замечания, когда ему казалось, что задачи взаимоотношения науки и техники ставятся и решаются неправильно. Таково было его глубокое принципиальное выступление на мартовской сессии Академии наук в 1935 г., когда обсуждалась деятельность Оптического и Физико-технического институтов. Конечная цель — благо народа — всегда была ему ясна. Даже в те периоды, когда Д. С. Рождественский занимался наиболее, казалось бы, отвлечёнными теориями современной физики, он мечтал о применении спектрального анализа при поисках новых полезных ископаемых, о будущем «инженере-спектроскописте» и в увлекательной форме говорил, что должна возникнуть «химия конкретная, понимающая процесс в тончайших деталях и управляющая атомом, как шофёр автомобилем». Принципиальный и последовательный в своих действиях, Дмитрий Сергеевич Рождественский всю свою научную деятельность ставил на службу народу и своей Советской Родине.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ТРУДОВ Д. С. РОЖДЕСТВЕНСКОГО

1. Аномальная дисперсия в парах натрия. СПБ, 1912.
2. Простые соотношения в спектрах щелочных металлов. Птб., 1915.
3. Спектральный анализ и строение атомов, Труды ГОИ 1, вып. 6, 1920.
4. Значение спектральных серий, Труды ГОИ 2, вып. 7 (1921).
5. Термы высокого порядка и сходство между спектрами одноэлектронных и сложных атомов, Труды ГОИ 2, вып. 8 (1921).
6. Две независимые серии в спектре неона, Труды ГОИ 3, вып. 18 (1923).

7. Записка об оптическом стекле, Труды ГОИ 8, вып. 84 (1932).
8. Периодический закон Менделеева на основе анализа спектров, Труды менделеевского съезда, 1936.
9. Освещение микроскопа, ДАН **25**, № 2 (1939).
10. Когерентные и некогерентные лучи при образовании изображения в микроскопе, ЖЭТФ **10**, 360, 805 (1940).
11. К вопросу об изображении прозрачных объектов в микроскопе, Труды ГОИ **14**, (1941).
12. Определение сил вибраторов в спектрах атомов (совместно с Н. П. Пенкиным). Известия АН СССР, сер. физ. **5**, 97 (1941).