СПЕКТРЫ И АТОМЫ: ОТ КИРХГОФА ДО ПЕТЕРБУРГСКОЙ ШКОЛЫ СПЕКТРОСКОПИИ

В. В. Лебедева[1], **В. В. Прокофьева-Михайловская**[2]

[1] *Московский государственный университет, Москва, Россия*

[2] *Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория", пгт. Научный, Крым, 98409, Украина*
e-mail: prok@crao.crimea.ua

Г. Р. Кирхгофом совместно с Р. В. Бунзеном были заложены основы спектрального анализа в 1859 г. Кирхгоф показал, что в спектрах испускания и поглощения атомов спектральные линии одинаковы. Началось активное исследование звезд, туманностей и галактик. Дальнейший успех в астрофизических исследованиях спектров небесных объектов тесно связан с развитием теории спектров и спектральным приборостроением. Период конца XIX – начала XX веков ознаменовался как активными исследованиями астрономических объектов, так и повышенным интересом к теории строения атома и экспериментальному его изучению. В 1913 г. были опубликованы первые статьи Н. Бора. 15 декабря 1918 г. в Петрограде был создан Государственный оптический институт (ГОИ) под руководством Д. С. Рождественского, который сыграл значительную роль в развитии спектральных исследований. Создание Д. С. Рождественским интерференционного метода "крюков" дало в руки физикам простую и надежную методику определения интенсивностей линий поглощения, а также таких важных атомных констант как силы осцилляторов и вероятности переходов. В 1933–1935 гг. при ГОИ была создана группа астрофизиков, в которую входили В. А. Амбарцумян, В. Ф. Газе, Н. А. Козырев, В. Б. Никонов, А. В. Марков, Г. А. Шайн и П. П. Добронравин. Все они стали известными учеными, сделавшими существенный вклад в развитие астрофизики.

ВВЕДЕНИЕ

История развития науки неразрывно связана с именами выдающихся исследователей, ученых и педагогов. Развитие науки во все времена требовало преодоления трудностей и полной отдачи сил. Они посвятили всю свою жизнь преданному служению науке и воспитанию будущих поколений ученых. Перед нами судьбы таких ученых. Всякое открытие требует научной подготовки. Ряд фактов был накоплен в первой половине XIX века. Укажем некоторые из них. Уильям Волластон впервые заметил в спектре Солнца темные линии – линии поглощения, которые затем были тщательно исследованы Йозефом Фраунгофером, имя которого теперь входит в их название. В 1849 г. Л. Фуко установил совпадение длин волн фраунгоферовой D-линии и желтой линии в спектре натрия. В 1857 г. В. Сван установил, что в спектре каждого вещества можно указать некоторую характеристическую линию с неизменным положением ее в спектре. После накопления многих фактов последовал теоретический анализ, приведший к их обобщению в единый закон природы. Этот закон был открыт в 1959 г. немецким физиком Г. Р. Кирхгофом совместно с химиком Р. В. Бунзеном и стал основой нового направления развития физики – спектроскопии. После создания спектроскопии физика вплотную подошла к созданию теории атома. Основные работы, посвященные истолкованию серий атомных линий, были сделаны Н. Бором в 1913 г. Ему удалось построить схему движения электронов по квантовым круговым орбитам, которая давала численные значения длин волн в бальмеровской серии спектра водорода. Зоммерфельд построил теорию эллиптических орбит электронов в атоме. Этими работами было показано, что длина волны спектральной линии может быть вычислена и сопоставлена с простой схемой переходов электронов с одной орбиты на другую.

РАБОТЫ КИРХГОФА

Немецкий физик Густав Роберт Кирхгоф с 1875 г. член Берлинской академии, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (с 1862 г.). Он родился в Кёнигсберге 12 марта 1824 года. В гимназии Густав охотнее всего занимался математикой и физикой. Поэтому, естественно, в 18 лет, окончив гимназию, он поступил на физико-математический факультет Кенигсбергского университета. Самой яркой фигурой там был Франц Нейман, которого Людвиг Больцман в речи, посвященной памяти

Рис. 1. Г. Р. Кирхгоф (1824–1887 гг.)

Кирхгофа, назвал “отцом и Нестором” математической физики. На семинаре Неймана Густав Кирхгоф и выполнил свою первую научную работу (о прохождении электричества через пластинки). Ему тогда шел 21-й год. Влиянию Неймана, а позже и Бунзена (1811–1899 гг.), наука обязана тем, что Кирхгоф стал физиком, хотя физика сначала его не увлекала. В 1846 г. он окончил Кёнигсбергский университет. Кирхгоф был профессором университетов в городах Бреслау (с 1850 г.) и Гейдельберге (с 1854 г.); с 1875 г. он возглавлял кафедру математической физики в Берлинском университете [1]. Кирхгоф был выдающимся теоретиком и экспериментатором. Он получил фундаментальные результаты во многих областях физики, но особенную известность приобрел открытый им принцип спектрального анализа. Он увидел в многообразии экспериментальных фактов действие единого закона природы и сформулировал его. В 1845–1847 гг. он открыл закономерности протекания тока в разветвлённых цепях (правила Кирхгофа). В 1857 г. Кирхгоф получил достаточно совершенную призму, отшлифованную самим Фраунгофером, что послужило началом важных открытий. В 23 года Густав Кирхгоф получил свою первую ученую степень и научную командировку в Париж. Однако, из-за политических событий поездка не состоялась, и в 1848 г. Кирхгоф, защитив в Берлинском университете диссертацию, был приглашен экстраординарным профессором в Бреславль (ныне Вроцлав, Польша). По счастливому стечению обстоятельств туда через год приехал химик Роберт Вильгельм Бунзен, с которым Кирхгофа связала многолетняя дружба и сотрудничество. Бунзен вскоре перебрался в Гейдельберг. Туда он пригласил и Кирхгофа, который охотно принял это предложение (отказавшись от приглашения в Берлин и в Бонн). Через 4 года в Гейдельберг приехал и (еще не пришедший тогда в физику) молодой профессор физиологии Г. Гельмгольц. Роберт Вильгельм Бунзен занимался анализом газов, основанным на наблюдении за изменением окраски пламени при введении в него разных элементов. Кирхгоф предложил усовершенствовать метод и сделать его более информативным, наблюдая не просто окраску пламени, а его спектр. Началась совместная работа ученых. Она привела их к созданию спектрального анализа. Экспериментальным работам весьма способствовала “горелка Бунзена”. Она давала высокотемпературное несветящееся пламя, что позволяло переводить в парообразное состояние различные химические вещества и наблюдать их спектры, не осложненные собственными линиями пламени. Кирхгоф занялся анализом связи между процессами испускания и поглощения света. Он поставил следующий эксперимент: через спектроскоп наблюдал темную фраунгоферову D-линию натрия в спектре Солнца. При помещении перед щелью спектроскопа пламени горелки с поваренной солью на месте темной линии появлялась яркая желтая линия. Так им было открыто обращение спектральных линий.

В 1859 г. Кирхгоф обобщил накопленный опыт и показал, что в спектрах испускания и поглощения атомов спектральные линии одинаковы. В том же году он опубликовал в журнале "Ежемесячные сообщения Берлинской академии наук" небольшую статью "О фраунгоферовых линиях". В ней он писал: "В связи с выполненным мною совместно с Бунзеном исследованием спектров пламен, я сделал некоторые наблюдения, приводящие к неожиданному выводу о происхождении фраунгоферовых линий и позволяющие по ним судить о составе атмосферы Солнца и, возможно, также ярких неподвижных звезд..." В 1859 г. на заседании Прусской академии наук Кирхгоф сделал сообщение об открытии закона теплового излучения, согласно которому отношение испускательной способности тела к поглощательной одинаково для всех тел при одной и той же температуре (закон Кирхгофа). На основании этого закона Кирхгоф объяснил появление фраунгоферовых линий в непрерывном солнечном спектре. Газ, находящийся во внешних, наиболее холодных слоях солнечной атмосферы, избирательно поглощает из сплошного спектра ярко светящейся фотосферы Солнца излучение тех длин волн, которые соответствуют линиям испускания возбужденного газа. Позже Кирхгоф поставил в спектроскоп 4 призмы и, использовав в нем трубу с 40-кратным увеличением, составил подробный атлас линий поглощения Солнца. Кирхгоф и Бунзен провели совместно большой цикл исследований спектров щелочных и щелочно-земельных металлов и в середине 1860 г. могли уже заключить: "Ничто не оказывает никакого влияния на положение спектральных линий отдельных металлов". Ими была установлена фантастическая чувствительность нового метода химического анализа. Спектральный прибор обнаруживал присутствие в смеси ничтожного количества примесей. Было открыто существование двух новых щелочных металлов – рубидия и цезия. В 1862 г. Кирхгоф ввел понятие "абсолютно чёрного тела" и предложил его модель – полость с небольшим отверстием. Разработка проблемы излучения "абсолютно чёрного тела" привела к созданию квантовой теории излучения. Основные труды Г. Р. Кирхгофа – "Исследования спектра Солнца и спектров химических элементов" (1861–1862 гг.) и "Лекции по математической физике" (в четырёх томах, 1874–1894 гг.) – сыграли огромную роль в развитии теоретической физики.

АСТРОСПЕКТРОСКОПИЯ

Применение фотографии во второй половине XIX в. открыло дорогу массовым спектральным исследованиям. Первыми выдающимися астроспектроскопистами стали А. Секки, П. Жансен, У. Хеггинс, Дж. Локьер и др., а в России А. А. Белопольский. Кратко укажем их основные работы. Анджело Секки (Secchi) (1818–1878 гг.) – итальянский астроном, один из пионеров астроспектроскопии, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1877 г.) – исследовал спектры звезд, планет, комет, Солнца. Автор первой классификации спектров звезд (1863 г.). Уильям Хеггинс (Huggins) (1824–1910 гг.), английский астроном, одним из первых оценил значение открытого Г. Р. Кирхгофом и Р. В. Бунзеном метода спектрального анализа для изучения небесных тел. Он предпринял в 60-е годы XIX в. наиболее ранние попытки изучения движения звезд методом лучевых скоростей. В 1864 г. он впервые по наблюдениям спектров светящихся туманностей доказал, что они являются газовыми. Начиная с 1875 г. им были выполнены многочисленные фотографические спектральные наблюдения звезд, планет, Луны. Он член (1865 г.) и президент (1900–1905 гг.) Лондонского королевского общества, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1901 г.). Герман Карл Фогель (1841–1907 гг.), немецкий астроном, с 1874 г. работал в Потсдаме, в 1882–1907 гг. – первый директор Потсдамской астрофизической обсерватории. Выполнил спектральные наблюдения всех планет (от Меркурия до Нептуна), многих комет, туманностей, новых звезд, исследовал в лаборатории спектральными методами вещество метеоритов; изучил спектр полярных сияний. Опубликовал в 1882 г. работу "первый спектроскопический каталог звезд до 7.5^m", охватывающий зону от $20°$ северного до $1°$ южного склонения. В 1887 г. Фогель вместе с Ю. Шейнером построил спектрограф, с которым они начали систематические измерения лучевых скоростей звезд. В 1889 г. они впервые доказали, что у Алголя переменность блеска вызвана затмениями в двойной системе. Они установили также спектральную двойственность α Девы и β Лиры. Фогель – иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1892 г.) и Парижской АН (1906 г.). Имена астроспектроскопистов П. Жансена (1824–1907 гг.) и Дж. Локьера связаны с открытием гелия на Солнце. Во время солнечного затмения 1868 г. астрономы впервые применили спектроскопию для исследования атмосферы Солнца. 24 октября 1868 г. Французская академия наук получила два сообщения (от П. Жансена из Индии и от Дж. Локьера из Лондона) об открытии ими в спектре солнечной короны новой ярко-желтой линии, которой впоследствии был присвоен символ $D3$. Дав новому элементу название гелий, долго не могли найти его на Земле. Только в 1895 г. Рамзай, изучая газ, выделенный им из минерала клевеита, в гейслеровой трубке неожиданно обнаружил яркую желтую линию. Выдающийся спектроскопист того времени Крукс определил длину волны новой линии (5874.9 Å) и установил, что это линия $D3$. На этом основании Рамзай 23 марта 1895 г. сообщил об открытии им гелия на Земле. Прошло 27 лет с момента наблюдений гелия на Солнце. Весто Мелвин Слайфер

(1875–1969 гг.), американский астроном, в 1912 г. впервые получил лучевые скорости галактик, а в 1914 г. опубликовал первое определение лучевой скорости туманности Андромеды (M31). В следующем году он установил отражательный характер спектра туманности в Плеядах. К 1924 г. Слайфер имел спектры уже 41 объекта Вселенной. Аристарх Аполлонович Белопольский (рис. 2) был основателем спектроскопического направления исследований небесных тел в России. Он успешно окончил физико-математический факультет Московского университета и был оставлен при нем для приготовления к профессорскому званию по кафедре астрономии, а с 1879 г. стал работать в обсерватории внештатным ассистентом. В 1886 г. Белопольский успешно защитил магистерскую диссертацию на тему "Пятна на Солнце и их движение", а в 1888 г. был приглашен на работу в Пулковскую обсерваторию, где проработал всю жизнь [3]. Он первым в России применил фотографию для детального изучения спектров различных небесных объектов. С 1892 г. он организовал и сам проводил систематические спектрографические исследования на 30$''$ рефракторе. В 1899 г. А. А. Белопольский получил степень доктора астрономии, защитив докторскую диссертацию на тему "О спектре переменной δ Cephei". Он ежегодно печатал около 10 статей в русских и зарубежных журналах.

В Пулкове был установлен большой солнечный спектрограф конструкции Белопольского. В течение многих лет ученый неустанно наблюдал на обоих инструментах – днем на солнечном спектрографе, ночью на 30-дюймовом астрографе. В 1892–1895 гг. он впервые применил спектрограф при исследовании звезд, затем установил неравномерность вращения поверхностных слоев Солнца, одним из первых получил фотографии спектров небесных тел, измерил лучевые скорости многих звезд, обнаружил периодичность лучевых скоростей цефеид, что позволило открыть пульсации этих звезд. А. А. Белопольский занимался также исследованием комет, проводил фотографические наблюдения затмений Солнца. В 1932 г. он сделал вывод о возможно вековом замедлении экваториального вращения Солнца. Белопольским впервые в мире (1915 г.) спектрографическим путем была определена температура солнечных пятен. Лабораторные работы Белопольского, связанные с доказательством эффекта Доплера–Физо, представляют большой интерес. Теоретически этот эффект был установлен немецким физиком и математиком Х. Доплером в 1842 г. для волн любой природы и уточнен для световых волн французским физиком И. Физо. Если в спектре источника имеются темные или светлые линии, то движение его обнаружится по смещению линий к красному (при удалении) или фиолетовому (при приближении) концу спектра. В 1890-е годы начались массовые измерения лучевых скоростей звезд на крупных обсерваториях. Тогда же к таким измерениям приступил и Белопольский. Однако в конце XIX столетия у физиков еще не было полной уверенности даже в самой применимости эффекта Доплера–Физо к свету в астрономии (для звуковых волн он был проверен и доказан еще в середине XIX в.). Белопольскому принадлежит заслуга первого экспериментального подтверждения справедливости принципа Доплера–Физо при космических скоростях источника света. Он нашел оригинальное решение проблемы, воспользовавшись выводом немецкого физика-теоретика Кеттелера об изменении длины волны света при его отражении от движущегося зеркала. Идея состояла в том, что источник света помещался между двумя параллельными зеркалами. Если зеркала привести в движение, то длина волны от отраженного в зеркале источника будет изменяться по сравнению с длиной волны от неподвижного источника света в зависимости от скорости и направления взаимного движения (расхождения или сближения) зеркал. В 1894 г. Белопольский опубликовал идею прибора и опыта в трудах Итальянского общества спектроскопистов и в немецком журнале Astronomische Nachrichten. Получив финансовую поддержку от американского научного фонда, он осуществил постройку оригинальной установки, обеспечивающей высокие скорости движения зеркал [3]. Основной частью прибора были два вращающиеся барабана – колеса с укрепленными на них системами из восьми плоских зеркал. Колеса-барабаны устанавливались на двух параллельных валах с некоторым смещением одного относительно другого, так что луч света от источника (которым служило Солнце), пройдя сквозь узкую щель, шел мимо первого колеса на перемычку-зеркало второго и лишь после отражения попадал на зеркало первого колеса. Барабаны приводились во вращение электромоторами таким образом, что на короткое мгновение зеркала обоих барабанов оказывались параллельными, обеспечивая второе отражение падающего луча в том же направлении, в котором он шел от источника, и попадание его на щель спектрографа, а затем на фотопластинку, после многократных взаимных отражений от движущихся зеркал, что создавало эффект достаточно быстрого движения источника света. В июне-августе 1900 г. им были получены первые спектрограммы с эффективными лучевыми скоростями "источника" до 1.3 км/с, чем была доказана применимость принципа Доплера–Физо к световым волнам при скоростях источника порядка космических. Результаты Белопольского были подтверждены в 1907 г. в еще более точных опытах Б. Б. Голицына и И. Виллипа [3]. В честь А. А. Белопольского назван кратер на Луне и астероид 1004 Belopolskya, открытый С. И. Белявским 5 сентября 1923 года в Симеизской обсерватории. За время своей 57-летней научной работы А. А. Белопольский опубликовал около 270 научных работ. Он был избран академиком Петербургской АН с 1903 г., академиком РАН с 1917 г., академиком АН СССР с 1925 г.

Рис. 2. А. А. Белопольский (1 июля 1854 г. – 16 мая 1934 г.)

Рис. 3. Д. С. Рождественский (26 марта 1876 г. – 25 июня 1940 г.)

ПЕТЕРБУРГСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКАЯ ШКОЛА

Основателем Петербургской спектроскопической школы является выдающийся ученый академик Дмитрий Сергеевич Рождественский (рис. 3). В 1900 г. он окончил Петербургский университет. Стажировался в лабораториях известных физиков за границей в Лейпциге (1901 г.) и Гисене (1903 г.). Когда Дмитрий Сергеевич осенью 1903 г. приступил к работе в Петербургском университете [2], научной школы физиков там не было. В тогдашней России такая школа физиков была только в Москве у профессора П. Н. Лебедева. Д. С. Рождественский создал школу физиков-оптиков в Санкт-Петербурге. Сразу после поступления в Петербургский университет Д. С. Рождественский начинает самостоятельно работать над темой "Исследования аномальной дисперсии в парах натрия". В самом выборе этой темы сказались выдающиеся качества Дмитрия Сергеевича как научного работника. Эта тема сохранила свое значение и в наши дни квантовой теории дисперсии.

Д. С. Рождественскому приходится преодолевать огромные трудности, создавая научную лабораторию практически на пустом месте. Свой первый научный доклад он сделал только в 1909 г. В своей магистерской диссертации в 1912 г. он описал экспериментальный метод чрезвычайно простого определения интенсивностей линий поглощения в спектрах атомов. Это был ставший впоследствии широко известным интерференционный метод "крюков". Докторская диссертация (1915 г.) Д. С. Рождественского "О простых соотношениях в спектрах щелочных металлов" была посвящена развитию метода "крюков". Автор исследовал отношение интенсивностей в дублетах главных серий металлов натрия, калия, рубидия, цезия и снова превзошел работы своих предшественников, появившиеся после его магистерской диссертации. Оценка работ Д. С. Рождественского западноевропейскими учеными была чрезвычайно высока. Роберт Вуд, известный экспериментатор, назвал работы Д. С. Рождественского "остроумными, ценными и прекрасными". Он писал, что фотографии "крюков" Рождественского превзошли все, что он видел в своей жизни. Оптическая схема Рождественского для исследований по методу "крюков" приведена на рис. 4. Каждая пара зеркал (полупрозрачное и полностью отражающее) устанавливалась строго параллельно друг другу. Интерферометр обеспечивал широкое разведение интерферирующих пучков и стабильность интерференционной картины.

Метод Рождественского во много раз превосходил все известные методы определения интенсивностей спектральных линий по точности. Так Рождественским было найдено отношения интенсивностей линий $D1$ и $D2$ дублета натрия равное 1.98, вместо полученного Бором числа 2. Уточнение отношения

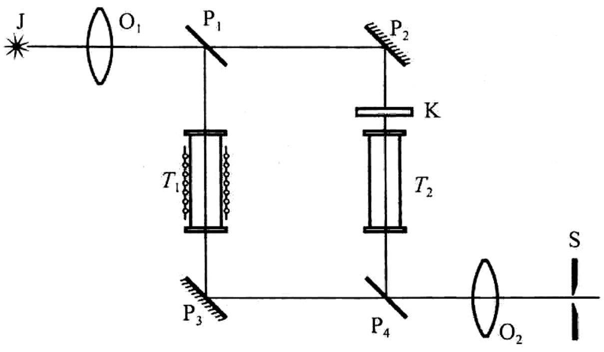

Рис. 4. Интерферометрическая оптическая схема установки Д. С. Рождественского. J – источник излучения, O_1 и O_2 – объективы, P_1, P_2, P_3, P_4 – пластины интерферометра, T_1 – трубка с парами исследуемого элемента, T_2 – компенсирующая трубка, K – пластинка компенсационная

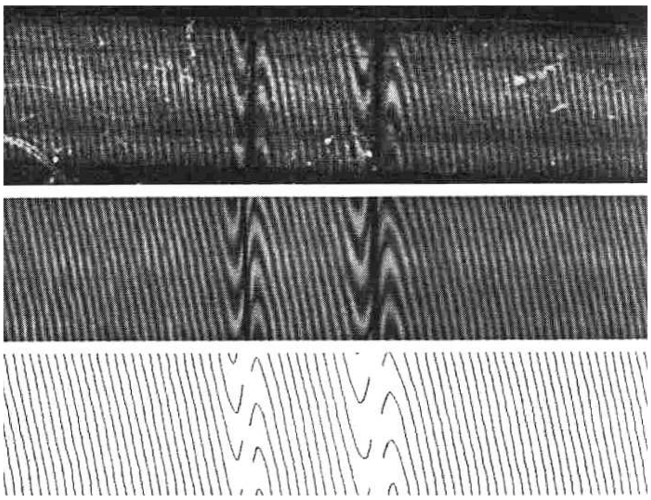

Рис. 5. Картина полос, полученная методом “крюков” Д. С. Рождественского (вверху), улучшенная картина полос (в середине), восстановленные линии минимумов (внизу) (рис. взят из [4])

интенсивностей линий в дублете показывало преимущество разработанной Рождественским методики. Отметим некоторые преимущества метода “крюков”. Метод “крюков” позволял надежно определять произведение N_iF_{ik}, где N_i – концентрация поглощающих атомов, F_{ik} – сила осциллятора, которая однозначно связана с вероятностью соответствующего электронного перехода A_{ik} в атоме. Метод “крюков” сводит измерение произведений N_iF_{ik} к измерению расстояний между вершинами крюков, расположенных по обе стороны от спектральной линии. Результаты измерений не зависят от формы, ширины и сверхтонкой структуры линии. Метод удобен для измерения величин N_iF_{ik} спектральных линий, широко расставленных по спектру. Метод “крюков” выдержал испытание временем и продолжает применяться для измерения важнейших атомных констант. Компьютерная обработка фотографических изображений “крюков” позволяет повысить качество снимков и улучшить точность их измерений. Пример приведен на рис. 5. Труды по теории атомных спектров и строению атомов выдвинули работы Д. С. Рождественского в один ряд с наиболее выдающимися исследованиями начала XX века.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ОПТИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ В ЛЕНИНГРАДЕ

После революции 1917 г. Россия была отрезана от развития науки на Западе. Все поставки стекла прекратились. Нужно было создавать свою оптическую промышленность. 15 декабря 1918 г. декретом народного комиссара просвещения Луначарского был образован Государственный оптический институт (ГОИ). Директором его назначен Д. С. Рождественский, инициатор создания института. ГОИ начал свою деятельность, имея в штате всего 24 научных сотрудника! Численность института в 1922 году составляла 86 человек, а к 1931 году она выросла до 240 человек. В 1922 году государством была выделена значительная сумма денег для закупки оборудования за рубежом, и ГОИ стал одним из наиболее оснащенных институтов страны. В 1970–1980-е годы институт превратился в одно из самых крупных научных учреждений страны и крупнейший научный центр по оптике в мире. Его численность достигала 12 тысяч сотрудников, в том числе около 100 докторов и 700 кандидатов наук. Программа деятельности ГОИ на ближайший период после его создания включала: научные исследования всех вопросов лучистой энергии, особенно ультрафиолетовой и инфракрасной областей спектра; научные исследования производства оптического стекла; содействие оптической промышленности организацией вычислительного бюро и экспериментальной оптической мастерской и распространение оптических знаний среди специалистов и широких масс. Программа практически была выполнена: государство было обеспечено своим оптическим стеклом, а в институте были развернуты научные исследования спектральных особенностей атомов практически всей системы Менделеева. С 1932 года и до своей кончины в 1951 году в ГОИ работал академик Сергей Иванович Вавилов, имя которого носит сейчас институт. Уже в 1919 г. у Д. С. Рождественского появилась мысль, что нужно создавать кадры будущих ученых из числа студентов факультета. В университете тогда был естественный факультет с физико-математическим отделением. Там преподавали математику, физику, астрономию. В середине января 1919 г. была набрана первая группа молодежи в число сотрудников института на небольшую зарплату – группа “лаборантов при мастерских”. Туда входили В. А. Фок, А. Н. Теренин, С. Э. Фриш, Е. Ф. Гросс, А. И. Стожаров, В. К. Прокофьев. Так была создана активная группа молодежи. Все стали в будущем известными учеными. Так как лаборантам жилось довольно трудно, по инициативе Рождественского для них был организован “атомный паек”, который студенты получали в Доме ученых. “Это было немного, но этот паек помогал нам существовать”, – писал впоследствии В. К. Прокофьев. 15 декабря 1919 г. было первое годовое собрание сотрудников Оптического института, где Д. С. Рождественский выступил с речью. Он говорил: “Наши сотрудники были воодушевлены одной общей идеей – создания Оптического института – учреждения нового типа, в котором неразрывно связывались бы научные и технические задачи. Тесное сотрудничество технических и чисто научных отделов института открывает как для техники, так и для самого научного эксперимента такие возможности, о которых нам, университетским работникам, не приходилось и мечтать”. Раньше считалось, что университеты должны заниматься теоретической, фундаментальной наукой, а техника – это дело инженеров. Теперь наука и техника должны быть как единое целое. “Работа всех сотрудников вместе – мастеров и ученых – составляет одно органическое целое, оторвать ту или другую часть, науку или технику, значит, омертвить обе”, – сказал Рождественский. В Оптическом институте основной научной задачей было изучение внешних оболочек атома, спектроскопия. Внутренние оболочки атома исследовались в организованном в те же годы Физико-техническом институте А. Ф. Иоффе. В то время атом был основным объектом научных исследований в области физики. Интересны высказывания Д. С. Рождественского, предугадывающие события, связанные с изучением атома. Рождественский так выразился в 1919 г. в своем докладе: “В 19 веке были громадные изменения в науке и в приспособлении науки для человека. Но мы и предугадать не можем, как преобразится жизнь человечества в ближайшие десятилетия, когда загадка атома будет разгадана, когда тысячи, десятки тысяч ученых приложат волю к разрешению, наряду с другими задачами, этой, быть может, важнейшей задачи, когда наука ежечасно будет приближаться к жизни. И благо тому народу, той стране, где эти воли найдутся, благо человечеству, если оно сумеет понять, что в этой работе источник его живых сил, если сумеет сберечь и сохранить их”. Первый съезд Российской ассоциации физиков был в 1919 г. в Петрограде. Второй съезд был в Киеве, но туда многие физики не могли попасть, так как в те годы (1920–1921 гг.) этот район Украины был очень неспокойным. Третий съезд был в Нижнем Новгороде осенью 1922 г. На этом съезде молодежь выступала с первыми научными докладами. В. А. Фок сделал доклад по математическим методам решения уравнений Вольтерра, А. Н. Теренин – о спектре ртути, С. Э. Фриш – о явлении Зеемана, В. К. Прокофьев – об аномальной дисперсии в парах калия. Четвертый съезд Ассоциации физиков был в 1924 г. в Ленинграде, молодые лаборанты при мастерских уже в расширенном составе выступали с новыми своими работами. В 1924–1925 годы в физике интенсивно развивалась теория атомных переходов из одного состояния в другое. Это было продолжением работы Эйнштейна 1916 года, в которой были введены понятия вероятностей спонтанных и вынужденных переходов.

Д. С. Рождественский наряду с проведением спектральных исследований различных элементов большое внимание уделял и развитию астрофизики. Он интересовался также и приборостроением и в 1931 г. вошел в состав Комиссии астрономических приборов при Всесоюзном объединении оптико-механической промышленности. В частности, он добился изготовления в ГОИ 40-дюймого объектива к рефрактору Пулковской обсерватории. В 1933–1935 гг., уже не будучи директором ГОИ, Д. С. Рождественский совместно с академиком С. И. Вавиловым организовал в ГОИ группу астрофизиков, в которую входили В. А. Амбарцумян, В. Ф. Газе, Н. А. Козырев, В. Б. Никонов, А. В. Марков, а позже Г. А. Шайн и П. П. Добронравин. Все они стали знаменитыми астрофизиками. В частности, В. Б. Никонов еще в ГОИ разработал первый экземпляр своего фотоэлектрического фотометра. Так формировалась научная школа Д. С. Рождественского, получившая мировое признание. Потомки не забыли заслуги Д. С. Рождественского перед наукой. В честь Д. С. Рождественского выдающегося русского физика-оптика и основанного им Государственного оптического института, в котором были проведены важнейшие исследования по физической и прикладной оптике, малая планета 5839, открытая Н. С. Черныхом 21 сентября 1975 г., названа GOI. Один из кратеров на Луне назван в честь Д. С. Рождественского. Координаты кратера 85° N, 159.18° W. 5–17 мая 1990 г. съезд ученых принял решение об учреждении Всесоюзного оптического общества имени Д. С. Рождественского. В июне 1991 г. в Министерстве юстиции СССР зарегистрирован Устав этого общества. 4 февраля 1992 г. пленум Центрального правления Общества принял решение об изменении названия Общества: "считать в дальнейшем правомерным название "Оптическое общество им. Д. С. Рождественского". Оптическое общество им. Д. С. Рождественского стало преемником традиций Русского оптического общества. Оно является центром притяжения деятелей оптической науки и техники России и новых независимых государств, созданных на территории Советского Союза. Почти ежегодно в ГОИ проходят научные чтения, организованные совместно с Санкт-Петербургским государственным университетом информационных технологий, механики и оптики и оптическим обществом Д. С. Рождественского. Общество учредило почетное звание и награды, в том числе медали Д. С. Рождественского, С. И. Вавилова, А. А. Лебедева, С. А. Зверева, С. Э. Фриша, И. В. Гребенщикова и Почетные дипломы, которыми награждаются члены Общества, внесшие значительный личный вклад в развитие оптики. Д. С. Рождественский был избран членом-корреспондентом АН СССР (1925 г.), а в 1929 г. – академиком. В память о его заслугах Российская Академия наук каждые три года присуждает премию имени Д. С. Рождественского.

СОЗДАНИЕ ТАБЛИЦ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПЕРЕХОДОВ И СИЛ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Работы по определению вероятностей переходов и сил осцилляторов атомов были начаты учеником Д. С. Рождественского В. К. Прокофьевым (рис. 6). Он является крупнейшим ученым в области спектроскопии и спектральных приборов, окончил Михайловское артиллерийское училище (1917 г.) и Петроградский университет (1924 г.). Основным местом его работы являлся Государственный оптический институт: лаборант (1919 г.), научный сотрудник, заместитель начальника сектора спектроскопии (1932–1935 гг.), заведующий лабораторией спектрального анализа (1935 г.). По совместительству преподавал в Ленинградском университете (1925–1932 гг.), Артиллерийской академии (1930–1937 гг.) и Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО), где заведовал кафедрой Физической оптики и спектроскопии с 1946 г. по 1958 г. Доктор физико-математических наук (1936 г.), профессор (1944 г.). Малой планете 3159, открытой Т. М. Смирновой 26 октября 1976 г., присвоено имя В. К. Прокофьева. Созданный Д. С. Рождественским метод "крюков" позволял надежно определять произведение N_iF_{ik}, где N_i – концентрация поглощающих атомов, F_{ik} – сила осциллятора, которая однозначно связана с вероятностью соответствующего электронного перехода A_{ik} в атоме. О преимуществе использования метода "крюков" уже упоминалось выше. Первая работа В. К. Прокофьева по исследованию аномальной дисперсии и соотношений дисперсионных постоянных в главной серии калия [7] была опубликована в 1924 г. В 1928 г. В. К. Прокофьевым и Г. А. Гамовым, тогда еще студентом университета, были выполнены в ГОИ первые опыты по определению атомных констант методом "крюков" Рождественского. Полученные результаты были опубликованы совместно [10], несмотря на отъезд Гамова. Многие работы по определению сил осцилляторов были выполнены впоследствии В. К. Прокофьевым совместно с А. Н. Филипповым, В. Н. Соловьевым, Г. С. Кватером, Е. И. Никоновой, Г. П. Старцевым и др. Ими были измерены относительные силы осцилляторов методом аномальной дисперсии в дуге постоянного тока при пониженном давлении для резонансных мультиплетов многих элементов: алюминия, галлия, хрома, марганца, молибдена, ионов калия, стронция и бария. В. К. Прокофьевым совместно со Г. П. Старцевым были теоретически вычислены абсолютные значения сил осцилляторов для желтого дублета натрия.

Рис. 6. В. К. Прокофьев (16 февраля 1898 г. – 3 января 1993 г.)

Д. С. Рождественский поддержал эти расчеты и выделил В. К. Прокофьеву вычислителей. Первой была М. И. Петрашень. Вскоре расчет сил осцилляторов перешел под руководство В. А. Фока. Появился метод Хартри–Фока для расчета сложных атомов. Далее расчет сил осцилляторов развивался на кафедре В. А. Фока на физическом факультете университета. Результаты расчетов показали правильность определения сил осцилляторов экспериментальными методами. Интересно отметить, что в эти же годы (около 1935 г.) был максимум спектральных исследований звезд, когда половина всех публикаций в журнале Astrophysical Journal была посвящена исследованию звездных спектров. Потом их доля существенно снизилась. Известны также фундаментальные работы В. К. Прокофьева, А. Н. Филиппова, Г. С. Кватера, Н. П. Пенкина, А. М. Шухтина, С. Э. Фриша, Г. П. Старцева и др. по развитию и усовершенствованию интерференционного метода аномальной дисперсии [4]. В результате этих работ появились надежные данные по силам осцилляторов (вероятностям переходов) для многих элементов периодической системы Д. И. Менделеева. Были опубликованы таблицы спектральных линий, выдержавшие несколько изданий [8]. Д. С. Рождественский, оценивая эти работы, писал: "Раньше аномальная дисперсия в моих работах была как явление, целью исследования, теперь она служит средством для исследования атома – чисел дисперсионных центров вероятностей перехода электрона с одной орбиты на другую, времени жизни на определенной орбите и т. д.". Работы по определению сил осцилляторов, выполненные в ГОИ и лаборатории физического института Ленинградского государственного университета методом "крюков", вошли в золотой фонд спектроскопии. Отметим, что монография американских ученых, в которой были представлены вероятности переходов и силы осцилляторов для 70 элементов [5], была выпущена на русском языке в 1968 г.

РАЗРАБОТКА СПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Работа В. К. Прокофьева с промышленностью началась с 1931 года, когда он был назначен заведующим работами Всероссийского объединения оптико-механической промышленности (ВООМП). В Большой советской энциклопедии (1957 г.) в статье "спектральный анализ" написано, что в 1933–1935 гг. проводились работы по применению спектрального анализа для анализа руд и непосредственно в поле советскими учеными А. Н. Филипповым и В. К. Прокофьевым. С этого началось интенсивное развитие спектрального анализа в СССР. В 1935 году в ГОИ была создана группа спектрального анализа, которую возглавил В. К. Прокофьев. В 1937 г. группа была преобразована в лабораторию спектрального анализа, и В. К. Прокофьев стал начальником этой лаборатории. Началось активное внедрение спектрального анализа на заводах Ленинграда. Итоги предвоенного этапа были подведены на совещании по спектроскопии в Москве 9–10 декабря 1940 г. Оно проводилось совместно с астрофизиками. В частности, там обсуждались предстоящие наблюдения полного солнечного затмения, которое ожидалось 21 сентября 1941 г. Но началась война… ГОИ был эвакуирован в г. Йошкар-Олу. На эвакуированных заводах спектральные лаборатории обычно разворачивались и вступали в строй быстрее химических.

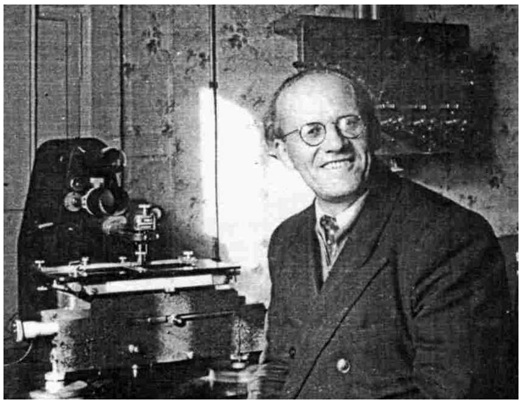

Рис. 7. Профессор В. К. Прокофьев за прибором для измерений спектров в 1950 г. [4]

Потребности фронта и тыла были велики – требовался экспресс-анализ металла, вторсырья, разбраковка металла и др. Спектральные методы анализа прекрасно себя зарекомендовали. Сеть спектральных лабораторий быстро росла – за время войны число их удвоилось. В. К. Прокофьев много времени проводил в командировках, обеспечивая налаживание работ по спектральному анализу на заводах и предприятиях страны. 15 декабря 1943 г. отмечалось 25-летие ГОИ. Указ правительства о юбилее и большой список награжденных были зачитаны по радиотрансляции. В. К. Прокофьев был награжден орденом Трудового Красного Знамени. В апреле 1944 г. ему было присвоено ученое звание профессора по специальности "физика" (спектральный анализ). В 1944–1945 гг. в ГОИ разработан, сконструирован и изготовлен первый кварцевый спектрограф ИСП-22 (к тому времени было найдено отечественное месторождение кварца). Этот спектрограф был разработан В. К. Прокофьевым совместно с конструктором И. Тельтевским и по своим параметрам он не имеет аналогов в мире. В нем использован зеркальный коллиматорный объектив, причем угол между падающим и отраженным лучами составляет всего 2 градуса. Камерный объектив – сложный, состоит из нескольких линз. Он обеспечивает практически плоское изображение спектра на фотопластинке длиной 24 см. ИСП-22 был первым в мире спектрографом с плоским спектром. После окончания войны, с августа 1945 по август 1946 г. В. К. Прокофьев находился в Германии в Иене в составе группы сотрудников ГОИ. Он был командирован туда для ознакомления с работами немецкой фирмы Цейс по спектральным приборам. В конце 1949 г. в ГОИ была нарезана первая решетка, и вскоре стали выпускаться спектральные приборы с дифракционными решетками. С 1950 г. начала развиваться спектроскопия в вакуумной области спектра. Это было связано как с потребностями исследования спектра Солнца с помощью спектральных приборов, устанавливаемых на ракетах, так и с необходимостью спектрального анализа сталей на фосфор, серу, кислород (их аналитические спектральные линии находятся в вакуумной области спектра). В 1950 г. В. К. Прокофьев получил Сталинскую премию за разработку и внедрение в промышленность новых методов спектрального анализа металлов и сплавов. В этом же году он закончил и сдал в печать книгу "Фотографические методы количественного спектрального анализа металлов и сплавов" (2 тома). В ней он, кроме собственного опыта, учел и опыт, полученный им при ознакомлении с работами по спектральным приборам в Иене. Она была настольной книгой спектроскопистов в течение десятков лет. Значительный толчок в развитии отечественного спектрального приборостроения связан со строительством нового здания Московского университета на Ленинских горах (1949–1953 гг.). В соответствии с постановлением правительства лаборатории нового здания МГУ предполагалось оснастить новейшей спектральной аппаратурой. Была создана комиссия во главе с профессором химического факультета В. М. Татевским. В. К. Прокофьев вошел в состав этой комиссии от ГОИ. В лабораториях МГУ, а затем и в других лабораториях страны появились уникальные спектральные приборы, предназначенные для самых различных исследований – спектрографы большой дисперсии, спектрофотометры, светосильные спектрографы и др. В эти годы В. К. Прокофьев руководит общегородским семинаром по спектральному анализу при Доме техники в Ленинграде, совместно с Н. С. Свентицким и К. И. Тагановым организует курсы спектрального анализа и читает на них лекции. С 1946 по 1958 г., до отъезда в Крым, В. К. Прокофьев заведовал кафедрой спектроскопии в ЛИТМО и читал там лекции по спектральным приборам. Его работа в ЛИТМО нашла отражение в книге "Спектральные приборы и техника спектроскопии", написанной им совместно с И. М. Нагибиной [6]. 3 апреля 1958 г. за большие заслуги в области науки и техники В. К. Прокофьеву было присвоено почетное звание "Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР".

СОЗДАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вскоре после окончания Великой отечественной войны президентом Академии наук СССР Сергеем Ивановичем Вавиловым двум институтам ГОИ и ФИАН была поручена разработка спектральных приборов для получения спектров Солнца в ультрафиолетовой области спектра. В ГОИ активное участие в разработках спектральных приборов принимал В. К. Прокофьев. Приборы устанавливались на ракетах. Первый полет ракеты с прибором, сделанным в ГОИ, был произведен в августе 1957 г., и при ее выходе за атмосферу Земли были получены ультрафиолетовые спектры Солнца. Руководил полетами ракет Сергей Павлович Королев. Целью работы В. К. Прокофьева в КрАО являлось развитие внеатмосферных исследований Солнца, звезд и других космических тел с помощью аппаратуры, устанавливаемой на искусственных спутниках Земли (ИСЗ). Имея обширные знания и опыт разработки новых спектральных приборов, он создал базу для нового направления астрофизических исследований – исследований, проводимых из космоса [9]. Первым запущенным в космос в декабре 1960 г. прибором был разработанный В. К. Прокофьевым КДС (коротковолновый дифракционный спектрометр), предназначенный для исследований солнечного излучения в линии ионизованного гелия He II, $\lambda = 30.4$ нм. Группа сотрудников КрАО во главе с В. К. Прокофьевым ездила в Казахстан на запуск спутника. В 1967 г. подобный спектрометр был установлен на спутнике "Космос-166". Измерения проводились в широкой области спектра 80–100 нм. Прибор передал на Землю 1000 записей спектров. По спектрам было обнаружено увеличение ультрафиолетового излучения с увеличением площади активных образований на Солнце. Со спектрометром "Галактика", работавшим на станции "Прогноз-6" в 1977 и 1978 гг., было получено более 4000 спектров в диапазоне длин волн 120–190 нм. В. К. Прокофьев участвовал в разработке спектральной аппаратуры для созданного в КрАО космического телескопа "Астрон", предназначенного для исследований спектров звезд и галактик в ультрафиолетовой области спектра. В. К. Прокофьев был награжден в 1968 г. четвертым орденом Трудового Красного Знамени, в 1978 г. – орденом Октябрьской революции. В 1971 г. ему, в числе большой группы, была присуждена Государственная премия СССР за участие в разработке методов наблюдений и определений координат искусственных космических объектов. В 1967–1973 гг. он возглавлял комиссию Международного астрономического союза по космическим исследованиям, вначале как вице-президент, а потом как президент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В XIX и XX столетиях были сделаны величайшие открытия в изучении спектров элементов, находящихся в различных состояниях. Проведенные фундаментальные спектральные исследования заложили основы современной астрофизики и физики. Достижения спектроскопии предоставили возможность определять химический состав, физическое состояние далеких тел, оценивать их температуру, исследовать их движение и законы взаимодействия. Детальный анализ спектров небесных объектов позволил астрофизикам узнать много нового об окружающей нас Вселенной.

[1] *Бендерский Б. Я.* Краткие биографии ученых. Учебное пособие по курсу "История науки и техники". – Ижевск: УДГУ, 2008. – 230 с.

[2] Воспоминания об академике Д. С. Рождественском. К столетию со дня рождения / Под ред. С. Э. Фриша и А. И. Стожарова. – Л.: Наука, 1976. – 167 с.

[3] *Еремеева А. И.* Пионер отечественной астрофизики. К 150-летию со дня рождения академика А. А. Белопольского // Вестник Российской Академии наук. – 2004. – **74**, № 6. – С. 524–543.

[4] Жизнь и деятельность В. К. Прокофьева / Под общей ред. И. П. Гурова и Ю. Л. Колесникова. – Санкт-Петербург, 2008. – 88 с.

[5] *Корлис Ч., Бозман У.* Вероятности переходов и силы осцилляторов 70 элементов / Перевод О. Н. Митрофановой. – М.: Мир, 1968. – 563 с.

[6] *Нагибина И. М., Прокофьев В. К.* Спектральные приборы и техника спектроскопии. – Л.: Машиностроение, 1967.

[7] *Прокофьев В. К.* Аномальная дисперсия. Соотношения дисперсионных постоянных в главной серии калия // Труды Гос. опт. ин-та. – 1924. – **3**. – С. 1–31.

[8] *Прокофьев В. К., Зайдель А. Н.* Таблицы спектральных линий (3-е изд). – М.-Л.: Наука, 1969.

[9] *Прокофьева-Михайловская В. В. Профессор В. К.* Прокофьев в астрофизике // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2008. – **104**, № 5. – С. 153–158.

[10] *Prokofiev W., Gamov G.* Anomale Dispersion an den Linien der Haupt Serie des Kaliums // Z. Phys. – 1927. – Bd. 44, N 11–12. – P. 887–892.