Национальная академия наук Беларуси
Институт физики имени Б.И.Степанова НАН Беларуси
Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований
ОО "Белорусское физическое общество"

АКАДЕМИК
М. А. ЕЛЬЯШЕВИЧ

Воспоминания учеников и современников,
избранные статьи

(К 100-летию со дня рождения)

Минск
«Голиафы»
2008

УДК 53(476)(092) + 929Ельяшевич
ББК 22.3г
А38

Редакционная коллегия

С. Я. Килин (главный редактор), П. А. Апанасевич,
В. С. Бураков, О. А. Гапоненко,
Ю. А. Курочкин, Л. М. Томильчик,
Н. Г. Кембровская, В. К. Кононенко,
А. Н. Чумаков, Л. В. Танин

А38 **Академик М. А. Ельяшевич** : Воспоминания учеников и современников, избранные статьи (К 100-летию со дня рождения) / редкол. : С. Я. Килин (гл. ред) [и др.]. – Минск : Голиафы, 2008. – 206 с., илл. – 35.

ISBN 978-985-6906-12-4

В книге публикуются воспоминания учеников и современников об академике М. А. Ельяшевиче (1908–1996) – крупном ученом-физике, обогатившем атомную и молекулярную физику трудами большого значения, создавшем в Беларуси известную школу в области спектроскопии и физики плазмы. В издание включены также четыре статьи М. А. Ельяшевича, ярко раскрывающие многогранность его таланта.

УДК 53(476)(092) + 929Ельяшевич
ББК 22.3г

ISBN 978-985-6906-12-4

© Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, 2008
© Оформление ЧИУП “Голиафы”, 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

21 августа 2008 года исполнилось 100 лет со дня рождения академика Михаила Александровича Ельяшевича, выдающегося российского и белорусского физика, труды которого в области атомной и молекулярной спектроскопии, физики плазмы, радиационной газодинамики, истории физики снискали мировую известность.

Вклад М. А. Ельяшевича в становление и развитие физических исследований в Беларуси трудно переоценить. Отдавая дань уважения личности М. А. Ельяшевича, его трудам и заслугам перед белорусскими физиками, 3 ноября 2008 года в рамках II конгресса физиков Беларуси был проведен симпозиум, посвященный 100-летию со дня рождения М. А. Ельяшевича. На симпозиуме выступили: академик НАНБ В. С. Бураков, академик РАН Е. Б. Александров, член-корреспондент РАН С. И. Анисимов, академик НАНБ Н. С. Казак, член-корреспондент НАНБ А. М. Томильчик, ученик М. А. Ельяшевича – доцент А. А. Сокольский и старший сын М. А. Ельяшевича – профессор А. М. Ельяшевич. В ходе II конгресса физиков Беларуси было принято решение об издании книги, посвященной Михаилу Александровичу, с включением в нее ряда его оригинальных статей.

Настоящая книга включает в себя воспоминания учеников и современников М. А. Ельяшевича, в том числе и те, которые были представлены на II конгрессе физиков. При выборе работ М. А. Ельяшевича для включения в данную книгу редакционная коллегия ограничилась четырьмя работами. Открывает их опубликованная в 1931 году первая работа Михаила Александровича, которая по счастливой случайности оказалась и первой статьей известного физического журнала ЖЭТФ. В работе 1940 года, опубликованной в Докладах Академии Наук СССР, М. А. Ельяшевич предложил простой метод расчета частот колебаний многоатомных молекул – метод, послуживший основой для большого цикла исследований, отмеченных впоследствии Государственной премией

СССР. В качестве следующей работы выбрана научно-популярная статья по делению тяжелых ядер и использованию атомной энергии, опубликованная в 1946 году в журнале «Физика в школе». Включая эту статью в книгу, мы хотели бы специально обратить внимание на еще одну сторону в многогранной деятельности Михаила Александровича как ученого – его участие в атомном проекте СССР. Замыкает эту серию статья М. А. Ельяшевича «Вклад Эйнштейна в развитие квантовых представлений», опубликованная в журнале «Успехи физических наук» в 1979 году. Эта работа демонстрирует талант М. А. Ельяшевича как историка физики, скрупулезно проникавшего в историю создания квантовой теории и открывавшего для нас важные детали этого процесса, ранее не замеченные другими исследователями.

Издание этой книги способствует познанию истории традиций физических школ, сложившихся в нашей стране. Связь поколений в физике не должна прерываться.

Председатель Белорусского
физического общества
С. Я. Килин

В. С. Бураков

ЭТАПЫ ЖИЗНЕННОГО И ТВОРЧЕСКОГО ПУТИ М. А. ЕЛЬЯШЕВИЧА

Минувшие 12 лет после кончины Михаила Александровича Ельяшевича, теоретика-спектроскописта с мировым именем, знаменитого ученого в области атомной и молекулярной спектроскопии, физики плазмы и радиационной газодинамики, четко высветили немеркнущую значимость его научного наследия, важность его целенаправленной деятельности по созданию научных школ. Он – создатель разветвленной научной школы в Институтах физики, молекулярной и атомной физики, тепло- и массообмена, Белгосуниверситета, НИИ прикладных физических проблем. С его именем связано становление многих и поныне развиваемых научных направлений в ряде крупнейших научных центров Ленинграда, Минска и Москвы.

Жизненная и творческая судьба Михаила Александровича необычна и весьма многогранна. Он родился 21 августа 1908 года в Мюнхене в семье российских студентов, обучавшихся в Германии. Отец Михаила Александровича впоследствии стал известным экономистом, преподавал в Ленинграде, заведовал кафедрой. Прекрасное семейное воспитание, превосходное школьное образование в одной из старейших школ Петербурга – Ленинграда[1] с прогрессивными традициями сыграли немаловажную роль в формировании характера и творческих способностей Михаила Александровича.

В 1925–1930 годах он обучался на физическом факультете Ленинградского университета, который был теснейшим образом связан с Государственным оптическим институтом. Еще будучи студентом, Михаил Александрович в 1928 году начал работу в лаборатории Александра Николаевича Теренина.

[1] Ленинградская средняя школа № 217, которую М. А. Ельяшевич закончил в 1925 году, представляла собой переименованную после 1917 года известную гимназию Карла Мая, основанную еще в середине прошлого столетия. Среди ее выпускников были член-корр. Я. И. Френкель, академик Д. С. Лихачев, писатель и языковед Л. И. Успенский, архитектор Л. Н. Бенуа, художник К. А. Сомов.

Основным местом работы молодого специалиста в 1930–1935 годах был Физико-технический институт и выделившийся из него Институт химической физики. Однако его научным интересам больше отвечал Государственный оптический институт (ГОИ). В итоге с 1935 года Михаил Александрович – сотрудник теоретической группы академика В. А. Фока[2], занимается вопросами молекулярной спектроскопии. В 1937 году успешно защищает кандидатскую диссертацию, и в следующем году она была опубликована в виде монографии «Вращательно-колебательная энергия многоатомных молекул». Он одновременно занимается спектроскопией атомов, в итоге в 1940 году выходит в свет его монография «Спектры атомов редких земель».

После перевода лаборатории Д. С. Рождественского в Ленинградский государственный университет Михаил Александрович в 1939 году переходит в лабораторию молекулярной спектроскопии профессора В. М. Чулановского. Здесь началась его совместная работа с Б. И. Степановым по теории колебаний и колебательных спектров многоатомных молекул. Работы развивались успешно до начала Великой Отечественной войны.

С началом войны Михаил Александрович перешел в лабораторию профессора В. К. Прокофьева и эвакуировался вместе с ней из Ленинграда. До конца 1942 года он занимался разработкой методов спектрального анализа сплавов цветных металлов, что было важно для оборонной промышленности.

С 1943 года появилась возможность вернуться к работам по теории колебаний молекул совместно с Борисом Ивановичем Степановым и Михаилом Владимировичем Волькенштейном. В 1944 году Михаил Александрович защитил док-

[2] Фок Владимир Александрович (1898–1974) – выдающийся физик-теоретик, академик, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий. Автор фундаментальных трудов по квантовой механике и электродинамике, общей теории относительности. Разработал метод самосогласованного поля для многоэлектронных систем (метод Хартри-Фока), метод вторичного квантования, теорию распространения радиоволн над земной поверхностью. Глава научной школы.

торскую диссертацию; в 1946 году была завершена подготовка двухтомной монографии «Колебания молекул». В 1949 году она была опубликована, а в следующем году – удостоена Государственной премии. Эта монография определила направление научной деятельности целого ряда исследователей-спектроскопистов на много лет вперед. С учетом последующего прогресса в этой области монография при непосредственном участии М. А. Ельяшевича была переработана Л. А. Грибовым[3] и вышла в свет вторым изданием в 1972 году.

С 1946 года Михаил Александрович включается в работы по подготовке оптических наблюдений атомного взрыва и в течение 1946–1949 годов он отвечает за подготовку и реализацию программы этих наблюдений.

Интерес к проблемам атомной энергии и ядерных взрывов проявлялся у Михаила Александровича и до этого. В Ленинграде в 1945–1946 годах он прочитал ряд лекций по теории ядра, а также принимал участие в написании третьего издания книги «Оптика в военном деле», которая вышла в свет под редакцией С. И. Вавилова[4]. В ней Михаилу Александровичу принадлежит первая глава, посвященная основам физической оптики.

При подготовке к оптическим наблюдениям воедино были слиты и проблемы теоретических оценок мощности взрыва по световому излучению, и создание аппаратуры, и вопросы согласования хода работ различных организаций. 29 августа 1949 года на Семипалатинском полигоне был успешно продемонстрирован итог создания в Советском Союзе атомного оружия. Важное место в этих испытаниях сыграли оптические методы наблюдения огненного шара. Материалы

---

[3] Грибов Лев Александрович (р. 1933) – член-корреспондент РАН. Создал общую теорию молекулярных спектров, развил теорию проведения безэталонного спектрального анализа.

[4] Вавилов Сергей Иванович (1891–1951) – основатель советской научной школы в области физической оптики, академик, президент АН СССР в 1945–1951 гг. Лауреат четырех Государственных премий СССР. Автор фундаментальных трудов по спектроскопии и физической оптике. Под его руководством открыто излучение Черенкова-Вавилова. В 1932–1945 гг. – научный руководитель Государственного оптического института (ныне – ГОИ им. С. И. Вавилова) в Ленинграде.

испытаний атомного оружия ныне рассекречены, преданы гласности. Михаил Александрович отмечен одним из первых в числе исполнителей работ по испытанию атомного взрыва.

Этапы и результативность работ в этот период изложены Михаилом Александровичем в воспоминаниях, опубликованных в газете «Навіны Акадэміі навук Беларусі». Они начали публиковаться в декабре 1995 года и завершились в феврале 1996-го, уже после смерти Михаила Александровича.

За участие в атомном проекте Михаил Александрович стал лауреатом Государственной премии СССР, орденоносцем. Но радость успехов была недолгой. По сфабрикованному так называемому «ленинградскому делу» был арестован его отец, который работал заведующим кафедрой в Ленинградском инженерно-экономическом институте.

Михаил Александрович был отстранен от работ в ГОИ и полностью сосредоточился на своей деятельности в Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО). Здесь он читал лекции, занимался научной работой по открытой тематике. Весной 1951 года он был исключен из партии. Обком, учтя его заслуги по укреплению обороноспособности страны, ограничился строгим выговором. В результате беспринципной позиции ректора ЛИТМО Михаил Александрович в течение полугода оставался без работы. За это время он основательно переработал ранее изданную монографию «Спектры редких земель». Она была опубликована в 1953 году, и ее основное содержание полностью сохранено до сих пор.

Лишь в конце 1951 года Михаил Александрович при поддержке обкома смог устроиться на работу в Пединститут им. А. И. Герцена. Здесь проявился его интерес к радиоспектроскопии.

В 1953 году отец Михаила Александровича был реабилитирован и вернулся в Ленинград на прежнюю работу. Появилась возможность и у Михаила Александровича вернуться к прежней проблематике. По приглашению академика Н. Н. Семенова[5] он в 1954 году перешел на работу в Инсти-

[5] Семенов Николай Николаевич (1896–1986) – один из основоположников химической физики, основатель крупной научной школы, академик. Дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Нобелевской,

тут химической физики и продолжил деятельность по закрытой тематике с выездом на Семипалатинский полигон. Он становится научным руководителем оптической лаборатории на этом полигоне, 22 ноября 1955 года участвует в испытании водородной бомбы мегатонной мощности. Работы на полигоне продолжились и в дальнейшем.

В марте 1956 года он избирается академиком АН БССР и начинает работу во вновь созданном Институте физики и математики (с 1959 г. Институт физики). На протяжении 40 лет жизнь и деятельность Михаила Александровича связана с Академией наук Беларуси и Белгосуниверситетом.

В своих воспоминаниях Михаил Александрович отмечает: «В Институте физики и математики АН БССР, в котором я стал работать, сначала заведовал организованной мной лабораторией радиоспектроскопии, но в скором времени занялся серьезно оптикой и спектроскопией низкотемпературной плазмы как продолжением моих работ по световому излучению ядерного взрыва. А в 1961 году на базе специальной группы я организовал лабораторию высокотемпературной оптики».

В состав лаборатории входили сотрудники: Л. И. Киселевский [6], В. Е. Плюта[7], Л. Я. Минько[8], В. Д. Шиманович[9],

---

Ленинской и Государственной премий. Организатор и первый директор Института химической физики АН СССР. Создал общую количественную теорию цепных реакций, разработал теорию теплового взрыва газовых смесей, развил цепную теорию гетерогенного катализа.

[6] Киселевский Леонид Иванович (1927–1991) – известный белорусский физик, академик, лауреат Государственной премии БССР. В период 1971–1978 гг. – заместитель директора Института физики АН БССР, в 1978–1983 гг. – главный ученый секретарь Президиума АН БССР, в 1983–1990 гг. – ректор Белгосуниверситета, в 1990–1991 гг. – академик-секретарь Отделения физики и математики АН БССР. Организатор космических исследований в Беларуси, связанных с наблюдением Земли из космоса.

[7] Плюта Владимир Ефимович (1935–2001) – кандидат физико-математических наук. Руководил лабораторией дистанционной спектроскопии Института физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси.

[8] Минько Леонид Яковлевич (1934–2002) – доктор физико-математических наук, профессор. Руководил лабораторией радиационной плазмодинамики Института молекулярной и атомной физики НАН Беларуси, дважды лауреат Государственной премии Беларуси.

[9] См. биографическую справку на с. 202.

С. И. Анисимов[10], Г. С. Романов[11], Ю. В. Ходыко[12] и другие. Первых четырех из названных сотрудников нет уже с нами, но вечная им память и благодарность как верным помощникам и достойным сподвижникам академика М. А. Ельяшевича, активно и плодотворно развивавшим его научные идеи и творческие начинания.

На результативности деятельности вновь созданной лаборатории благоприятно сказались обширные научные контакты Михаила Александровича с рядом ведущих научных центров. Тематика лаборатории с первых дней приобрела важное оборонное значение. Выполнялись работы по моделированию плазменной оболочки, образующейся при вхождении космических аппаратов в плотные слои атмосферы. Были установлены связи с ЦНИИМАШ, КБ академика С. П. Королева и рядом других академических и отраслевых институтов.

В начале шестидесятых годов Михаил Александрович принимает решение развернуть в лаборатории исследования по воздействию лазерного излучения на вещество. Он вступает в контакт с академиками А. М. Прохоровым и Н. Г. Басовым. По результатам теоретических работ была опубликована (практически одной из первых в мировой литературе) монография «Действие излучения большой мощности на металлы». Авторы: С. И. Анисимов, Я. А. Имас, Г. С. Романов, Ю. В. Ходыко; редакторы: А. М. Бонч-Бруевич и М. А. Ельяшевич. В 1963 году начались экспериментальные работы в этом направлении.

Интенсификации деятельности лаборатории содействовало принятое постановление директивных органов. Были выделены средства для строительства специального лабораторного корпуса, его оснащения оборудованием, предоставлены квартиры для сотрудников. У Михаила Александровича на-

[10]Анисимов Сергей Иванович (р. 1934) – физик-теоретик, член-корр. РАН, лауреат Государственной премии СССР. В 60-70-е гг. – сотрудник Института физики АН БССР, в настоящее время – руководитель лаборатории Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау АН СССР.

[11] См. биографическую справку на с. 201.

[12] Ходыко Юрий Викторович (р. 1938) – доктор физико-математических наук, профессор. Руководитель лаборатории оптики неравновесных сред Института физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси.

пряженный ритм работы: идет формирование тематики лаборатории, подготовка ее кадров, подводятся итоги испытаний ядерного оружия.

Совместно с ведущими учеными Института химической физики и Института физики Земли АН СССР была подготовлена двухтомная монография по итогам исследования высотных ядерных взрывов. В 1966 году она была отмечена Ленинской премией. В авторский коллектив, помимо Михаила Александровича, входили также П. В. Кевлишвили, А. С. Дубовик, Ю. П. Райзер, И. В. Немчинов.

Актуальность тематики, разносторонние государственные хоздоговорные работы содействовали ускоренной подготовке высококвалифицированных научных кадров лаборатории в Институте физики. В 1968 году в ней работало уже 63 человека. Начался неизбежный процесс деления, «почкования» коллектива. Выделяется лаборатория низкотемпературной плазмы во главе с Л. И. Киселевским, а лаборатория высокотемпературной оптики преобразуется в лабораторию неравновесных процессов. Михаил Александрович остается ее руководителем на общественных началах. Основная же его работа – в Белорусском государственном университете. Здесь он руководит кафедрой атомной и молекулярной физики (1968–1977), работает профессором кафедры ядерной физики (1977–1983), является консультантом в НИИ прикладных физических проблем при БГУ (1983–1990). Здесь сосредоточены его интересы по моделированию процессов, протекающих при подземных ядерных взрывах. Ответственный исполнитель этих работ Романов Геннадий Степанович.

В дальнейшем эти работы переносятся в Институт тепло- и массообмена, и Михаил Александрович здесь – главный научный сотрудник. С апреля 1995 года он – советник при дирекции Института молекулярной и атомной физики. В этом выделившемся из Института физики научном центре находилась группа лабораторий, созданных Михаилом Александровичем. Он активно вникает в задачи лабораторий, имевших своими истоками лабораторию высокотемпературной оптики. Фронт их деятельности ширился и укреплялся. В целом в их активе следующие результаты:

1. Разработка активных и пассивных методов диагностики плазменной оболочки космических аппаратов в лабораторных и природных условиях, отмеченная в 1974 году Государственной премией БССР в области науки и техники.

2. Разработка методов получения и исследования импульсных эрозионных плазменных потоков и процессов в плазмотронах, плазменных ускорителях, изучение оптических и теплофизических свойств воздуха и других газов в широком диапазоне температур.

3. Работы в области газодинамики и исследования излучательной способности факелов баллистических ракет.

4. Создание методов и аппаратуры аэрокосмического исследования природных ресурсов по отражательной способности Земли. Достижения в этом направлении вошли в цикл работ, отмеченных Государственной премией СССР в последний год ее присуждения.

5. Цикл работ по физике плазмодинамических процессов при лазерно-плазменном воздействии на металлы и композиционные материалы в 1992 году был отмечен Государственной премией Республики Беларусь. В числе лауреатов – М. А. Ельяшевич (научный руководитель), Л. Я. Минько, Г. С. Романов, В. К. Гончаров, А. Н. Чумаков, Ю. А. Станкевич.

За прошедшие после ухода из жизни Михаила Александровича годы находят свою конкретную реализацию его научные идеи, творческие заделы, фундаментальные труды.

Так, в развитие работ Института физики в области космических исследований созданы основы лазерно-плазменного двигателя и его прототип для корректировки траектории полета малых космических аппаратов. Работа выполнялась с былыми партнерами Михаила Александровича и его учеников.

На компрессионных плазменных ускорителях, получивших путевку в жизнь в лаборатории, созданной академиком Ельяшевичем, показаны пути упрочнения поверхности сплавов в несколько раз, возможность получения нанотрубок. Модернизированная модель КСПУ по заказу создана в Сербии, что расширило возможности исследований плазменных образований в этой братской стране. А вообще здесь прицел на внесение вклада в проблему термоядерного синтеза.

Спектроскопические методы исследования плазмы, обоснованные Михаилом Александровичем, инициировали развитие диагностических подходов к плазменно-лазерным способам получения наноразмерных структур материалов, а также придания принципиально новых возможностей методам аналитической спектроскопии.

Получили основательное развитие исследования комплексов редкоземельных элементов и расширение области их применения.

Приведенные примеры представляют явно ограниченную иллюстрацию жизненной устойчивости, фундаментальной и практической значимости научного наследия крупного ученого-физика 20-го столетия Михаила Александровича Ельяшевича.

Благодаря прирожденной мудрости, необычайно развитой гражданской ответственности, широте научных знаний он активно участвует в решении перспектив развития Академии наук Беларуси, часто выступает на ее сессиях

На всех этапах жизненного пути разносторонняя плодотворная научная деятельность Михаила Александровича сочетается с активным участием в педагогическом процессе. В 1932–1937 годах он преподает теоретическую физику в Ленинградском госуниверситете, Политехническом институте. По возвращении в Ленинград из эвакуации – профессор кафедры теоретической физики в Пединституте им. А. И. Герцена, с осени 1946 года – заведующий кафедрой в ЛИТМО. Здесь он находит приложение своих сил и в начале пятидесятых годов.

С приездом в Беларусь педагогическая деятельность продолжается в БГУ. И в молодые, и в зрелые годы он испытывает удовлетворение от общения со студенческой молодежью.

В БГУ Михаилом Александровичем была завершена уникальная монография «Атомная и молекулярная спектроскопия», изданная в 1962 году. Уже не одно поколение студентов– физиков и родственных специальностей – осваивают основы по неподвластным времени монографиям и трудам гениального белорусского академика. Его книги остаются ценными настольными пособиями в лабораториях спектроскопического и химического профилей.

Среди непосредственных учеников Михаила Александровича 12 докторов наук, в их числе академик и член-корреспондент НАН Беларуси, а также член Российской АН. Михаил Александрович был Учителем с большой буквы. Практически не было ни одного заседания специализированных ученых советов по защите диссертаций, присутствуя на которых Михаил Александрович не выступил бы, не дал доброе напутствие молодому ученому, не указал пути и перспективы дальнейшего развития исследований. И в то же время достаточно было его критического отношения к работе, чтобы она, как правило, не выносилась на защиту.

Михаил Александрович вел большую научно-организационную и общественную работу, являясь членом бюро научных советов АН СССР по спектроскопии, физике плазмы, принимал активное участие в работе Международного союза чистой и прикладной химии. Многогранной была его редакционно-издательская деятельность. Еще в 1946–1947 годах он был главным редактором Ленинградского отделения Гостехиздата. В Минске он проявляет инициативу по созданию «Журнала прикладной спектроскопии» и является заместителем главного редактора. Одновременно Михаил Александрович – член редколлегии журнала «Оптика и спектроскопия», научный консультант «Большой Советской Энциклопедии», «Физического энциклопедического словаря», «Советского энциклопедического словаря», «Белорусской Советской Энциклопедии» и других изданий.

Михаил Александрович отличался редким сочетанием исключительной доброты, тактичности и душевности, твердой научной, политической и жизненной позиции. Он покорял своим обаянием, доброжелательностью, скромностью, широкой эрудицией, высочайшей интеллигентностью и общей культурой. Таким был Михаил Александрович Ельяшевич, таким он остается в памяти всех тех, кто знал его, кто работал и общался с ним – выдающимся ученым 20-го столетия, самоотверженным педагогом, истинным учителем, человеком высоких нравственных идеалов.

Вклад Михаила Александровича Ельяшевича в отечественную и мировую науку огромен. Он удостоен престижных зва-

ний: Лауреат Ленинской премии, дважды лауреат Государственной премии СССР, лауреат Государственной премии Беларуси. Его имя как выдающегося ученого, внесшего важный вклад в область теоретической и прикладной спектроскопии, в решение задач укрепления обороноспособности страны, посвятившего 40 лет своей жизни развитию научного потенциала и активной педагогической деятельности в Беларуси, достойно увековечения памяти в этом всегда искренне благодарном молодом государстве.

А. П. Войтович

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ М. А. ЕЛЬЯШЕВИЧА[13]

21 августа 1998 года исполнилось 90 лет со дня рождения выдающегося физика, виднейшего специалиста в области атомной и молекулярной спектроскопии, академика Национальной академии наук Беларуси, доктора физико-математических наук, профессора Михаила Александровича Ельяшевича. Михаила Александровича сегодня уже нет с нами. Но все, кто знал его и общался с ним, хорошо помнят этого замечательного человека и остаются навсегда покоренными его удивительными обаянием, доброжелательностью, скромностью и широчайшей эрудицией.

Михаил Александрович всегда перед нами и как выдающийся физик, и как человек – живой, общительный, доброжелательный! Исключительно цельная натура, личность, Михаил Александрович достиг в науке самых больших высот. Он – лауреат Ленинской премии, двух Государственных премий СССР, Государственной премии Республики Беларусь, награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, «Знак почета», медалями. На его долю выпало заниматься исключительно важным для государства делом – создавать его ядерный щит. Вы знаете, как он всегда вспоминал об этом, я бы сказал – с удовольствием. И в нем никогда не сквозило ноток самовосхваления или чего-либо подобного. Конечно, он гордился тем, что был причастен к разработке ядерного оружия в Советском Союзе.

С именем Михаила Александровича Ельяшевича неразрывно связано развитие физической науки в Беларуси. Благодаря также и его многолетней научной деятельности, и усилиям его учеников возник тот феномен, который сегодня принято называть «белорусская физическая школа».

---

[13] Вступительное слово на открытии чтений, посвященных памяти академика М. А. Ельяшевича, Минск, 1998 г. (из юбилейного издания «Академик М. А. Ельяшевич», академическая серия «Люди белорусской науки», Минск, 1999).

Становление М. А. Ельяшевича как ученого происходило в 30-е годы в Ленинграде. После окончания Ленинградского государственного университета М. А. Ельяшевич работал в Институте химической физики АН СССР, занимаясь экспериментальными исследованиями флуоресценции паров ртути и йода. Уже в 1933 году, спустя три года после окончания вуза, выходит в свет его первая, написанная совместно с В. Н. Кондратьевым, монография «Элементарные процессы обмена энергии в газах». В 1935 году Михаил Александрович становится сотрудником Государственного оптического института. Именно здесь, в центре ленинградской физической школы, в окружении корифеев физики и определились его основные научные интересы, связанные главным образом с разработкой проблем теоретической спектроскопии.

Первые его работы, посвященные детальному изучению взаимодействия колебаний и вращений многоатомных молекул, легли в основу кандидатской диссертации, успешно защищенной в 1937 году и вскоре опубликованной в виде монографии. Дальнейшее исследование динамики молекул привело Михаила Александровича к крупному достижению – созданию теории колебательных спектров многоатомных молекул, что стало предметом его докторской диссертации. Она была защищена в 1944 г. Основы этой теории были сформулированы Михаилом Александровичем в столь универсальной, простой и завершенной форме, что до сих пор она не подверглась изменениям. Результаты этих исследований, а также исследований Б. И. Степанова[14] и М. В. Волькенштейна[15] были изложены в фундаментальной

[14] Степанов Борис Иванович (1913–1987) – крупный белорусский физик, академик. Герой Социалистического Труда, лауреат трех Государственных премий СССР и Государственной премии БССР. Один из организаторов исследований в области лазерной физики в Беларуси. В 1957–1985 гг. – директор Института физики АН БССР (ныне Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси).

[15] Волькенштейн Михаил Владимирович (1912–1992) – известный физико-химик и биофизик, член-корр. АН СССР. В 1950 г. совместно с М. А. Ельяшевичем и Б. И. Степановым удостоен Государственной премии СССР за монографию «Колебания молекул». Автор научных работ по молекулярной спектроскопии, физике молекул и макромолекул, молекулярной биофизике.

монографии «Колебания молекул» (1949), которая долгие годы служила и продолжает служить настольной книгой для всех специалистов, работающих в области молекулярной спектроскопии.

Параллельно с исследованиями в области молекулярной спектроскопии в этот период М. А. Ельяшевич успешно разрабатывает теорию спектров сложных атомов. Международное признание получила фундаментальная монография «Спектры редких земель», изданная в 1953 году и вскоре переведенная на английский язык.

В январе 1952 года Президиум АН БССР, внимательно проанализировав состояние фундаментальной и прикладной науки в Беларуси, ее соотношение с уровнем развития промышленности и общим состоянием народного хозяйства республики, принимает решение о необходимости расширения исследований по физико-математическим и техническим наукам, без ускоренного развития которых невозможно было создать прогрессивные отрасли промышленности и обеспечить высокие темпы научно-технического прогресса. Эти вопросы неоднократно обсуждались руководством Академии наук, ее президентом в то время – академиком В. Ф. Купревичем с руководством Академии наук СССР и с представителями известных научных школ. На совместном совещании Президиума АН СССР и Президиума АН БССР были одобрены инициативы Президиума нашей Академии наук по усовершенствованию структуры академии и намечены перспективы ее дальнейшего развития. Как одно из необходимых условий развития физики в Беларуси, рассматривалось привлечение высококвалифицированных ученых из-за ее пределов. Исключительно важную роль в этом процессе сыграл и переезд на постоянную работу в нашу республику приглашенных из России талантливых ученых и организаторов науки. В их числе был и М. А. Ельяшевич. После приезда в Минск начинается новый период в его научной и педагогической деятельности.

В 1955 году на базе сектора физики и математики Физико-технического института был создан Институт физики и математики. Научно-организационное ядро коллектива со-

ставили А. Н. Севченко[16], Б. И. Степанов, Ф. И. Федоров[17] и Н. А. Борисевич[18]. В 1956 году М. А. Ельяшевич возглавил лабораторию высокотемпературной оптики в этом институте и начал работы в актуальном и новом для Беларуси научном направлении – физике низкотемпературной плазмы. Под его руководством формируется тематика, готовятся научные кадры. Уже в первые годы лаборатория предложила ряд методов получения и диагностики низкотемпературной плазмы. К этому времени относится также написание монографии «Атомная и молекулярная спектроскопия», которая стала основным учебником для нескольких поколений физиков-спектроскопистов.

Многие исследования Михаила Александровича, начатые в этот период, легли в основу различных направлений оптики и спектроскопии и в настоящее время успешно развиваются его многочисленными учениками. Среди них – более шестидесяти кандидатов наук, десять докторов наук, члены Национальной академии наук Беларуси и Российской академии наук.

М. А. Ельяшевич был не только выдающимся ученым, но и замечательным педагогом. Невозможно переоценить его

---

[16] Севченко Антон Никифорович (1903–1978) – известный белорусский физик, академик, Герой Социалистического Труда. Ученик С. И. Вавилова. Первый директор Института физики АН БССР (сейчас – Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси). Профессор и ректор (1957–1972) Белгосуниверситета. Организатор НИИ прикладных физических проблем при БГУ, носящего ныне его имя.

[17] Федоров Федор Иванович (1911–1995) – крупный белорусский физик, академик, Герой Социалистического Труда, заслуженный деятель науки БССР, лауреат Государственных премий СССР и БССР. Ученик В. А. Фока. Внес значительный вклад в развитие кристаллооптики и кристаллоакустики. Разработал метод проективных операторов в теории элементарных частиц, предложил оригинальную векторную параметризацию группы трехмерных вращений и группы Лоренца. Создал белорусскую школу физиков-теоретиков. В 1943–1950 гг. – декан физико-математического факультета БГУ, в 1963–1987 гг. – академик-секретарь Отделения физико-математических наук АН БССР.

[18] Борисевич Николай Александрович (р. 1923) – крупный белорусский физик, академик НАН Беларуси и Российской АН, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской премии, Государственных премий СССР и Республики Беларусь. В 1969–1987 гг. – президент АН БССР, с 1992 г. – почетный президент НАН Беларуси. Автор крупных научных трудов по люминесценции, спектроскопии и лазерной физике.

роль в подготовке молодых физиков. Еще в довоенный период он преподавал в Ленинградском политехническом институте и Ленинградском университете. После войны он продолжает педагогическую работу в Ленинградском институте точной механики и оптики, где заведует кафедрой теоретической физики на инженерно-физическом факультете, затем – в Ленинградском педагогическом институте имени А. И. Герцена. С 1957 года Михаил Александрович – профессор, а с 1968 по 1977 год – заведующий кафедрой атомной и молекулярной физики Белорусского государственного университета. Многие из нас, из сегодняшнего поколения белорусских физиков, помнят его удивительно захватывающие лекции. Он умел просто и исключительно ясно донести до каждого самые, казалось бы, сложные вопросы читаемого им курса.

В лаборатории неравновесных процессов Института физики Академии наук, на кафедре атомной и молекулярной физики БГУ Михаилом Александровичем были подготовлены специалисты по различным направлениям физики: физической газодинамике, физике плазмы, теоретической спектроскопии. Многие из бывших студентов, аспирантов и учеников Михаила Александровича сегодня составляют ядро Института молекулярной и атомной физики Национальной академии наук Беларуси, советником при дирекции которого и одним из старейших научных сотрудников был Михаил Александрович в последние годы своей жизни.

Михаил Александрович провел большую работу по созданию современного курса атомной физики. Подготовленная им программа этого раздела курса общей физики была принята в качестве учебной для физических специальностей университетов СССР.

Существен вклад Михаила Александровича и в разработку вопросов истории и методологии физики. С большим интересом были встречены его статьи о физической интерпретации периодической таблицы Менделеева, о становлении квантовой механики, написанные им для журнала «Успехи физических наук» и отличающиеся глубиной и полнотой анализа рассматриваемых вопросов. На протяжении многих лет Михаил Алек-

сандрович был руководителем секции естествознания Белорусского отделения Советского национального комитета по истории и философии науки и техники. С 1980 по 1983 год он читал студентам физического факультета Белгосуниверситета курс лекций по истории физики. Им были подготовлены первые научные кадры историков науки в Беларуси.

Михаил Александрович был знаком со многими выдающимися физиками Советского Союза, и в своих воспоминаниях он написал об этих встречах очень ярко и красочно. Эти воспоминания – важная деталь для изучения и понимания истории науки будущими поколениями и один из источников изучения феномена М. А. Ельяшевича как ученого и педагога.

Как один из крупнейших советских спектроскопистов он представлял нашу науку на Международных конгрессах и симпозиумах. В 1960–1975 годах Михаил Александрович был членом физико-математической секции ВАК СССР.

Много энергии, начиная с 1931 года, М. А. Ельяшевич отдавал и редакционно-издательской деятельности, являясь научным редактором различных оригинальных и переводных монографий. На протяжении ряда десятилетий он был заместителем главного редактора «Журнала прикладной спектроскопии», членом редколлегии журнала «Оптика и спектроскопия», научным консультантом раздела «Физика атома и спектроскопия» Большой Советской Энциклопедии.

Удивительная внутренняя гармония, отзывчивость и доброжелательность были так свойственны этому человеку. Возможно, это все оттого, что он всегда всего себя посвящал любимому делу – науке, имя которой Физика.

Это был человек, который принципиально не стремился занимать высокие административные должности. Он избегал их всегда, когда это оказывалось возможным, считал, что его дело – творить в науке, и всю жизнь занимался именно этим, всю свою сознательную жизнь, буквально до самых ее последних мгновений.

Михаил Александрович всегда был живым и оптимистичным человеком и остался таким до последних дней своей жизни. В то же время он был человеком прочных убеждений и не изменял им никогда. И если кто-то имел счастье общаться с

Михаилом Александровичем, скажем, в 1994, 1995 году и даже в 1996-м, незадолго до его кончины, то чувствовал, что этот человек остался верен своим убеждениям, что очень важно в наше неспокойное, нестабильное время, потому что жизнь держится на таких людях, и они – основа стабильности общества.

Я хотел бы пожелать родным и близким Михаила Александровича – его сыновьям и дочери, супруге Михаила Александровича здоровья, благополучия. Я хотел бы пожелать всем ученикам Михаила Александровича успехов в работе, которую сам Михаил Александрович ценил превыше всего. Я хотел бы пожелать успехов в науке и здоровья всем, кто общался с Михаилом Александровичем, кто так или иначе испытал на себе влияние этого выдающегося человека.

Е. Б. Александров

МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ В МОЕЙ ЖИЗНИ

В течение жизни я не часто встречался с Михаилом Александровичем, не более двух десятков раз, всего несколько раз – один на один, когда рассказывал ему о наших работах, и ни разу – в приватной обстановке. Однако в моей жизни он сыграл важнейшую роль одной из тех немногих базисных личностей, сверяясь с которыми молодой человек строит свою судьбу. (Кроме своего отца я мог бы назвать еще только двух-трех человек того же масштаба влияния на меня – например, известного многим П. П. Феофилова[19]).

Я окончил Политехнический институт по отделению ядерной физики, диплом писал по физике полупроводников, а попал в Оптический институт, где П. П. Феофилов обратил на меня внимание и поручил мне осваивать работы Кастлера по атомной радиоспектроскопии. Когда же я впал в панику, ничего не понимая в теории и практике спектроскопии, Феофилов порекомендовал мне почитать машинописную стенограмму курса атомной спектроскопии, прочитанного Михаилом Александровичем Ельяшевичем в бытность его в ГОИ. Это и было моим первым заочным знакомством с Михаилом Александровичем. Курс меня быстро избавил от комплекса неполноценности в этой области. Как я понимаю, именно этот курс в дальнейшем был доработан автором и стал лучшим в мире учебником по атомной и молекулярной спектроскопии, который, я надеюсь, будет скоро переиздан. К моменту первой встречи с Михаилом Александровичем я уже был много наслышан о нем от Феофилова и Бонч-Бруевича[20] и порядочно робел, когда они меня, наконец, представили. Михаил Алек-

[19] Феофилов Петр Петрович (1915–1980) – известный физик, член-корр. АН СССР, лауреат двух Государственных премий СССР. Выполнил фундаментальные исследования поляризованной люминесценции. Открыл кооперативную сенсибилизированную люминесценцию.

[20] Бонч-Бруевич Алексей Михайлович (1916–2006) – известный физик, член-корр. РАН, лауреат Государственной премии СССР. В течение многих лет руководил одной из лабораторий ГОИ им. С. И. Вавилова. Автор трудов по квантовой электронике и физической оптике. Разработал (в соавторстве) лазер на неодимовом стекле.

сандрович сразу же очаровал меня приветливой заинтересованностью в моих новых делах. Была в его манере та неповторимая благородная аристократическая простота, которая так отличает людей истинно просвещенных и благородных от нуворишей и снобов.

В дальнейшем я общался с Михаилом Александровичем главным образом через его книги, лишь изредка встречаясь с ним в дни его приездов в ГОИ, когда он, обычно с Феофиловым, обходил знакомых, в число которых был теперь включен и я. В то время я вполне преуспел в воспроизведении работ группы Кастлера и отклонился в область уже своих собственных фантазий, которые оказались плодотворными и вылились в цикл работ по интерференции состояний атомов. Эти работы были весьма настороженно встречены местной общественностью, которая воспринимала их как что-то весьма сомнительное или просто еретическое. (Тогда все знали, что фотон или электрон могут проходить через две щели сразу, а из моих экспериментов следовало, что атом может одновременно занимать несколько энергетических уровней, что казалось бредом, так как атомный уровень для спектроскописта давно превратился в такую же обыденную реальность, как полка в шкафу – один предмет может лежать только на одной полке!). У меня назревали трудности с защитой диссертации. На предзащите академик А. Н. Теренин сказал, что подобные результаты были получены 30 лет назад Руппом и тут же пояснил, что это был известный мошенник, который описывал несуществующие опыты. Сообщив это, Теренин покинул заседание. А. М. Бонч-Бруевич объяснил мне чуть позже, что Теренин просто жестоко подшутил над молодым выскочкой. Б. С. Непорент[21], который был моим рецензентом на предзащите, в заключительном слове сказал, что он не знает, как объяснить мои эксперименты, но убежден, что мои объяснения неверны. Мне посоветовали просить быть оппонентом С. Э. Фриша[22] как высшего

[21]Непорент Бертольд Самуилович (1911–1997) – известный физик-спектроскопист, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Ленинской премии.

[22] Фриш Сергей Эдуардович (1899–1977) – известный физик, член-корр. АН СССР, профессор ЛГУ. Автор научных работ по спектроско-

ленинградского авторитета по атомной физике и оптике. Он тоже отнесся к этой истории очень осторожно и, как мне рассказывал Феофилов, стал с ним советоваться. Феофилов хорошо относился ко мне, но предпочел адресовать Фриша к Михаилу Александровичу как к последней инстанции, а мне велел срочно послать ему в Минск все оттиски (которых почти что и не было). Михаил Александрович немедленно отреагировал, полностью поддержав мои позиции. После этого Фриш согласился оппонировать, и все тучи рассеялись. На защите присутствовал Е. Ф. Гросс[23], который предложил присвоить мне сразу докторскую степень. Но этого делать не стали, чтобы не «дразнить гусей». Все же некоторый флёр скандальности этой защиты возник после того, как главный теоретик ГОИ Анатолий Власов[24] на защите спросил, не находятся ли идеи этой работы в родстве с «осужденной теорией химического резонанса» Лайнуса Поллинга. (Это был отголосок одиозной истории борьбы нашей ортодоксальной философии с квантовой механикой. Сходство действительно было весьма близкое). Я струсил и отвечал невнятно. Не знаю, имело ли это последствия, но после этого моя диссертация без движения пролежала в ВАК около года. На конференции в Белоруссии в 1965 году на озере Нарочь Феофилов рассказал об этом Б. И. Степанову, который тут же обратился к академику А. Н. Севченко, члену ВАК и, как мне шепотом сказал Феофилов, очень влиятельному государственному человеку. Диплом кандидата мне после этого действительно очень скоро выдали.

Тем временем я продолжил свою работу, дополнив ее технически крайне трудным, но весьма убедительным экспериментом, после чего уже никаких возражений быть не могло, и работа была защищена как докторская. Но тревоги мои не кон-

---

пии и промышленному спектральному анализу. Соавтор трехтомного «Курса общей физики» – основного учебного пособия для студентов-физиков 50–60-х гг.

[23] Гросс Евгений Федорович (1897–1972) – известный физик, член-корр. АН СССР, лауреат Ленинской и Государственной премий. Внес значительный вклад в спектроскопию конденсированных сред: экспериментально доказал существование экситонов в кристаллах, исследовал рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.

[24] Власов Анатолий Александрович (1908–1975) – физик-теоретик, профессор МГУ, лауреат Ленинской премии.

чились! В 1968 году отмечалось 50-летие ГОИ. Меня включили в число юбилейных докладчиков, что, как мне объяснили, было большой честью для молодого человека. Все происходило в очень торжественной и официальной обстановке в присутствии множества гостей и начальства, во главе с нашим министром С. А. Зверевым. Я чувствовал себя очень неловко, в начале доклада неудачно сострил в том смысле, что моя внеплановая работа стала привлекать внимание в институте, как бывает с внебрачным ребенком. (Тут я увидел, что министр наклонился к директору, что-то сказал ему, и тот покраснел). Я пал духом, но тут заметил в первом ряду Михаила Александровича, который смотрел на меня с приветливой улыбкой. Я приободрился и занялся докладом, уже ни на что не отвлекаясь. Обычно парадные сообщения не сопровождаются дискуссией. Но тут вышло иначе. Сразу же после меня слово взял академик Севченко. Он сказал, что присутствующим рассказывают какие-то невероятные сказки, показывая картинки каких-то «штатив-эффектов», каковых мы, дескать, насмотрелись достаточно. Сравнил меня с каким-то ранее разоблачённым жуликом. Говорил он в свойственной ему эксцентрической и энергичной манере и не оставил от моего доклада «камня на камне». Я растерялся и не нашел ничего лучшего, как сослаться на то, что мои основные результаты уже подтверждены за границей. Это произвело скорее обратное впечатление на академика, который добавил еще несколько слов, столь же категорических. Воцарилось тягостное молчание, что-то должно было последовать. Министр сидел черный как туча, директор шептался с начальником отдела кадров. Из наших ученых я запомнил только П. П. Феофилова, сидевшего с опущенными глазами. И тут в гнетущей скандальной тишине раздался голос Михаила Александровича: «Позвольте мне несколько слов», – сказал он легко и так же легко и быстро буквально вспорхнул на трибуну. «Я думаю, – так примерно сказал он, – что тут возникло недоразумение. По-видимому, уважаемый Антон Никифорович не вполне понял Евгения Борисовича. Здесь был изложен действительно новый круг явлений атомной физики и спектроскопии, вполне согласующийся с основами квантовой механики. Я знаком с этими работами, они вполне надежные и

уже повсеместно признаны. Это очень хорошая и передовая работа, и с ней можно поздравить и Евгения Борисовича и ГОИ». Тут немножко похлопали, напряжение спало.

Надо знать расстановку сил и биографию Михаила Александровича, чтобы вполне оценить его благородство и мужество в этом эпизоде, – никто ведь его не принуждал заступаться за меня. Академик Севченко был действительно могущественным человеком с не всегда предсказуемыми реакциями. При этом он был постоянным покровителем Михаила Александровича, который, тем не менее, публично и прямо, хотя и, как всегда, деликатно, сказал, что академик просто ничего не понял. Ясно и то, каким авторитетом пользовался Михаил Александрович, если такой могущественный человек воспринял сказанное как должное и просто промолчал.

В последующие годы я изредка виделся с Михаилом Александровичем во время его визитов в ГОИ. Он был неизменно приветлив и всегда живо интересовался нашими делами. Много лет он состоял в редколлегии журнала «Оптика и спектроскопия», куда я был назначен редактором после безвременной кончины П. П. Феофилова. Я обращался к Михаилу Александровичу в самых трудных и часто конфликтных случаях, и он неизменно и без проволочки немедленно отзывался. И еще нашлась область нашего полного единства – это непримиримое отношение ко всяким проявлениям лженауки.

Михаил Александрович был замечательным человеком и замечательным ученым. Что касается последнего, боюсь, что обстоятельства нашей государственной изоляции не позволили мировой научной общественности в полной мере осознать это. Мы-то это знаем.

Г. С. Романов

ОН ЛЮБИЛ ПОВТОРЯТЬ: «Я ВСЕГДА ПРИВЕТСТВУЮ ВСЯКУЮ ИНИЦИАТИВУ»[25]

Мне посчастливилось познакомиться с Михаилом Александровичем в 1958 году, когда я был студентом третьего курса БГУ. Я тогда специализировался по специальности электрофизика на кафедре Михаила Кононовича Шидловского и предположить не мог, чем мне потом придется заниматься. Дело в том, что тогда Михаил Александрович организовал в АН БССР лабораторию радиоспектроскопии, которой нужны были молодые люди, и мне посоветовали к нему обратиться, чтобы взять курсовую работу и в случае успешного ее выполнения прийти работать в эту лабораторию. Для этого надо было просто позвонить Михаилу Александровичу домой, представиться и попросить о встрече, что я и сделал. Он принял меня совершенно непринужденно. Я не почувствовал тогда никакой разницы в возрасте, хотя я на тридцать лет моложе его. Он мне сказал: «Для начала вот я Вам дам книжечку Н. Бора. Три статьи по теории атома. А книгу А. Зоммерфельда «Строение атома и спектры» Вы возьмете сами в библиотеке и почитаете. А потом приходите ко мне». Эту «книжечку» я, конечно, осилил, она была написана совершенно доступным языком. А вот что касается Зоммерфельда, да еще в двух томах, то моего тогдашнего образования на все это совершенно не хватало. Первый том – атомная физика, второй – квантовая механика, причем и то и другое – на очень высоком уровне.

Все это меня сильно озадачило, и я исчез на год. Потом, немножко «образовавшись», спустя год – это было летом 1959-го, я снова позвонил Михаилу Александровичу и пришел к нему с тем, чтобы сказать, что вот, мол, я кое-что узнал и могу чем-то заняться. А он мне говорит на это: «Вы знаете, я сейчас несколько меняю область своих интересов. Я органи-

[25] Из юбилейного издания «Академик М. А. Ельяшевич», академическая серия «Люди белорусской науки», Минск, 1999.

зую лабораторию высокотемпературной оптики. И если Вы хотите со мной сотрудничать, то вот Вам книжечка Я. Б. Зельдовича «Теория ударных волн» 1946 года издания, ну, а Ландау и Лифшица «Механику сплошных сред» возьмете в библиотеке, и вот за лето Вы их почитаете, а потом приходите ко мне». Надо было понять мое состояние. Я специализировался в электрофизике, а к гидродинамике и газовой динамике, естественно, не имел никакого отношения. Сведения, полученные только в рамках раздела теоретической механики второго курса – это практически ничего. За лето я это дело освоил, понятно, в том объеме, в котором было возможно. Прихожу к нему осенью и говорю: «Михаил Александрович, мне все это более или менее понравилось, что мне делать дальше?» – «Очень хорошо. Я Вас познакомлю со своим аспирантом Сергеем Ивановичем Анисимовым, и Вы будете работать с ним». Что, в общем, и произошло.

Это предисловие к тому, о чем я хочу в основном рассказать. Сергей Иванович Анисимов, как известно, очень своеобразный человек. Говорит: «Что тебе там велел Михаил Александрович читать?» – «Да вот, – говорю, – теорию групп» – «Плюнь. Раз и навсегда пойми: надо начинать с конкретной задачи. У тебя есть задача? Вот вокруг нее и читай. Всего в жизни не прочтешь. И нечего забивать себе голову всякой ерундой». Все это, естественно, было сказано очень доброжелательно, в качестве совета старшего. Стали мы с ним заниматься. Михаил Александрович тогда вошел в тесный контакт с Конструкторским бюро академика С. П. Королева. Речь шла о теории струйных течений в соплах ракет. Необходимо было выяснить роль релаксационных процессов в высокотемпературных струях, причем там, где течение сверхзвуковое, для того, чтобы знать, как эти струи взаимодействуют с телом, которое помещается в сопло, и насколько при этом процесс вхождения в атмосферу Земли искусственных объектов адекватно моделируется. В общем, сделали мы эту работу. Однако надо учесть ту ситуацию, которая сложилась в лаборатории, первоначально – группе высокотемпературной оптики, организованной Н. А. Борисевичем на базе лаборатории инфракрасных лучей. К этому времени в нашей лаборатории были

начаты работы по получению, использованию и диагностике квазистационарных плазменных потоков. Никто соплами заниматься пока не собирался, да и не было возможности. И некоторое время была неопределенность, вплоть до начала 1962 года, когда Михаил Александрович вернулся из одной из своих многочисленных командировок на ядерные полигоны. Он вернулся из Капустина Яра и сказал: «Вот я летел в самолете с академиком Щукиным[26], так он мне предложил заняться проблемой взаимодействия лазерного излучения с веществом». Нужно сказать, что взрывы могут происходить и в лабораторных условиях, и в космосе. Вообще это явления родственные, разница только в пространственно-временных масштабах.

Так вот, к тому времени было выполнено несколько экспериментов по действию концентрированных потоков лазерного излучения на вещество. Наблюдались совершенно необычные на первый взгляд явления. В результате воздействия сфокусированного излучения получалось облако ионизированных светящихся паров. Надо было разобраться в физике этих процессов. Одни из первых экспериментов были выполнены в лаборатории Алексея Михайловича Бонч-Бруевича в Ленинграде, в Государственном оптическом институте. Михаил Александрович об этом знал и предложил нам втроем съездить в ГОИ. С этих пор и начались в Институте физики и теоретические и экспериментальные работы по изучению лазерных взрывных процессов. Вскоре мы получили из ГОИ первый отечественный промышленный лазер, который стала эксплуатировать группа в составе Л. И. Гречихина, Л. Я. Минько и Г. И. Баканович. Этот лазер в отличие от последующих был на прямоугольном стекле. Давал он несколько джоулей энергии с длительностью импульса порядка мс. Почему в Институте физики начались экспериментальные исследования? Казалось бы, ГОИ – такой гигант, где все возможно,

[26] Щукин Александр Николаевич (1900–1990) – ученый-радиотехник, академик, генерал-лейтенант-инженер, дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственной премий. Автор работ по распространению радиоволн в различных средах, теории и методам расчета дальней радиосвязи.

около 5000 сотрудников. На самом деле спектроскопические исследования, которые проводились Михаилом Александровичем, были доведены до очень высокого уровня, временное разрешение – порядка $10^{-7} \div 10^{-8}$ с, так что по оснащенности наша лаборатория занимала одно из ведущих мест в Союзе. И ее возглавлял Михаил Александрович Ельяшевич – совершенно уникальный и широко известный спектроскопист. Вряд ли кого-то можно поставить рядом с ним. На его монографии «Атомная и молекулярная спектроскопия» учились и будут учиться многие поколения физиков. Таким образом, у нас в институте начались экспериментальные и теоретические исследования воздействия лазерного излучения на вещество и сопутствующих явлений. Надо сказать, что работы тогда велись очень быстро, интенсивно, и все задания выполнялись в срок. В начале 1963 года мы поехали в ГОИ с уже готовым отчетом, где были изложены теория и спектроскопический эксперимент, которые показывали, каковы параметры плазмы, ее температура, концентрация электронов и т. п. То есть была дана расшифровка того фазового состояния среды, которое возникает в результате трансформации энергии лазерного излучения в тепловую и механическую энергию струи. Первоначально наиболее трудным и непонятным был такой вопрос: как все-таки энергия света превращается в тепловую и механическую энергию конечных продуктов. Теория была создана во многом на качественном уровне, поскольку тогда и речи не было о наличии соответствующей вычислительной техники. Но тем не менее все оценки, которые были нами сделаны, совпали (с определенной степенью точности, конечно) с экспериментальными результатами. Эти работы стали интенсивно развиваться и продолжаться уже в направлении исследования многокомпонентных сред, которые использовались для теплозащиты космических кораблей. Дело в том, что процесс входа летательного аппарата в атмосферу и условия, которые образуются при входе в атмосферу со скоростями до 10 км/с, могли быть смоделированы, вообще говоря, только путем воздействия лазерного излучения на соответствующие покрытия, потому что здесь получается совершенно стерильная плазма того вещества, на которое действует излу-

чение. Это было первое направление взрывных работ, с которыми мне пришлось столкнуться.

В 1966 году мы узнали о том, что Михаилу Александровичу присуждена Ленинская премия. Только тогда до нас дошло по-настоящему, что то, чем мы занимаемся, – отнюдь не главное дело Михаила Александровича. Надо иметь в виду секретность того времени. Мы понятия не имели, куда он уезжает и что делает. Конечно, мы знали, что он не на прогулку ездит, но тем не менее... Потом некая информация все же просочилась. В 1967 году мы с ним поехали в Москву на совещание в Институт физики Земли АН СССР, в спецсектор, и только находясь там, я осознал, в чем все-таки заключается основная деятельность Михаила Александровича. На этом совещании зашла речь о том, что поскольку проводятся подземные ядерные взрывы, то, значит, есть ведомство, которое контролирует это дело – Министерство среднего машиностроения. Однако военным совершенно непонятна физика подземного взрыва, что там делается, какие процессы там происходят, в чем отличие от атмосферного взрыва. Как зависит, скажем, положение фронта ударной волны от времени, как эта зависимость соотносится с энергией взрыва, ну и другие детали. В те времена у каждого Главного управления Министерства обороны был свой головной институт. Ядерные испытания и все с этим связанное относилось к 12-му Главному управлению, и у него был головной институт ЦНИИ-12 Министерства обороны. Это в городе Загорск (ныне Сергиев Посад). Там был большой штат работников, занимавшихся обработкой экспериментальных данных, которые им поставляли испытатели. Короче говоря, на этом совещании представитель Министерства обороны сделал доклад по поводу того, какие проблемы интересуют военных, и предложил взяться за эту работу. Институт физики Земли – известная организация. Директором его был академик М. А. Садовский[27], который возглавлял наблюдения за явлением взрыва, а дальше были разные подразделения, занимав-

[27] Садовский Михаил Александрович (1904–1994) – известный геофизик, академик, Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственных премий. Один из основоположников науки о физике взрыва. Директор Института физики Земли АН СССР в 1970–1994 гг.

шиеся отдельными сторонами явления. Михаил Александрович Ельяшевич возглавлял оптические наблюдения. Нужно объяснить, насколько это было важно. Дело в том, что при воздушном ядерном взрыве в видимое световое излучение уходит примерно 40% энергии взрыва. Это очень большая цифра, по которой можно судить о том, какова энергия взрыва, на какой высоте произведен взрыв, то есть, можно узнать очень много параметров именно по характеристикам светового излучения. Надо сказать, что все участники семинара, их было человек тридцать, – встретили предложение представителя Министерства обороны скептически. И тут Михаил Александрович встает и говорит, что мы наверное возьмемся за это дело. В общем, это было довольно смелое заявление, поскольку там уже сложившийся с 1949 года коллектив, целый спецсектор порядка 200 человек, специализированные лаборатории. Но тем не менее (я тогда был молодой – 29 лет) я встретил его слова с энтузиазмом. В общем, возвратились в Минск, предварительно договорившись в Министерстве обороны о формальностях. Было ясно, что работа заказная, за нее должны заплатить приличные деньги, тогда хоздоговорные работы только входили в обиход, а это – дополнительные ассигнования на оборудование, на зарплату. Короче, за это дело мы и взялись. Михаил Александрович как человек опытный понимал, что надо создать коллектив и что требуется какое-то время, чтобы вникнуть в проблему. Не вдаваясь в детали, скажу, что все вопросы были решены, и в 1968 году на базе вычислительных мощностей Института математики начались численные расчеты процессов, протекающих при подземном взрыве, опять же благодаря тому, что Михаил Александрович договорился с Николаем Павловичем Еругиным[28] о том, что нам будет предоставлена зеленая улица в использовании вычислительных машин. Это позволяло уже говорить не о каких-то качественных оценках, а о нормальных количественных

[28] Еругин Николай Павлович (1907–1990) – известный математик, академик АН БССР, лауреат Государственной премии СССР. В 1952–1956 гг. директор Ленинградского отделения Математического института АН СССР, в 1959–1977 гг. директор Института математики АН БССР.

расчетах.

Надо сказать несколько слов и о самом подземном ядерном взрыве. Для того, чтобы взяться за эту задачу, требовалось очень много сведений из самых различных областей физики плазмы и физики твердого тела. Надо было знать уравнение состояния плазмоподобной среды, которая возникает в результате ядерного взрыва (там получается не полностью ионизованная, неидеальная плазма), оптические характеристики этой среды и что перенос энергии в начальные микросекунды происходит в основном путем теплового рентгеновского излучения. Интересная особенность ядерного взрыва состоит в том, что 0.9–0.99 всей энергии уходит в тепловое излучение и только несколько процентов остается на долю кинетической и тепловой энергии самих продуктов взрыва. Энергия уносится в основном мягким рентгеновским излучением, которое и воздействует на окружающую среду. Если это воздушный взрыв, то идет ионизация воздуха в достаточно большом объеме – это километры, если это подземный взрыв, то идет нагрев стенок камеры, в которой взрывается устройство, на глубину порядка нескольких десятков сантиметров, а потом уже начинается резкое падение температуры среды. Со всеми этими процессами надо было разобраться. Кроме того, надо было иметь параметры реальных сред, с которыми приходится иметь дело. Возникала масса вопросов, а нас было всего-то человек пять, причем все молодые.

Надо сказать, что со всеми этими вопросами мы разобрались примерно за пять лет – с 1968 по 1973 год – и в общем успешно сдали работу, построили различные приближенные зависимости. В это же время в России (в Челябинске и Арзамасе) над этими вопросами работали коллективы из сотен людей, там была очень развита микродеталировка, не было такого подхода, чтобы рассматривать качественно явление в целом. Тем не менее, было широко распространено мнение, что они считают на самом высоком уровне, на современных машинах, – этого никто не отрицает, конечно, но прежде чем считать явление точно, надо понимать его в общих чертах качественно. Михаил Александрович всегда подчеркивал именно это: сначала качественное понимание, пусть грубое, с

точностью до 50%. А уже потом надо браться за количественные расчеты, которые или подтверждают качественную модель, или ее опровергают. Это было то направление в исследовании физики взрыва, с которым нам благодаря Михаилу Александровичу пришлось столкнуться.

В дальнейшем, когда мы уже немножко поднаторели, встал вопрос о другом интересном явлении – о приземном неконтактном ядерном взрыве. Дело в том, что теория воздушных ядерных взрывов была разработана еще до подземных ядерных взрывов. Это взрыв в однородной атмосфере. Здесь тоже имеется целый комплекс сложнейших явлений, но все это уже было описано. В частности, в той двухтомной монографии, о которой упоминал Виктор Семенович Бураков. Что же касается взрыва у границы раздела двух сред – разреженной и плотной, то тут практически ничего не было известно, начиная с самого главного – сколько энергии передается от источника в плотную среду. А это – вопрос очень большой практической важности, потому что если приземный взрыв действует на грунт, а в грунте имеются какие-то сооружения, то важно знать, какие нагрузки действуют в грунте, сколько энергии передается в плотную среду и сколько уходит в атмосферу.

Следующим этапом в физике взрыва, которым мы начали заниматься примерно с 1974 года, была задача о контактных и высотных ядерных взрывах. Там опять-таки целый комплекс своих проблем, особенно в исследовании роли излучения, которое переносит в первые моменты времени подавляющее количество энергии. Эти вопросы тоже были нами подняты. Тогда уже была лаборатория в НИИ прикладных физических проблем БГУ, коллектив который составлял человек 25, и к тому времени был накоплен большой опыт. Хотя Михаил Александрович тогда работал в Белгосуниверситете, но он всегда зримо или незримо был с нами. Всегда, когда вставал какой-то кардинальный вопрос, Михаил Александрович очень ненавязчиво, но умело направлял нашу деятельность в нужную сторону. Дело в том, что Михаил Александрович никогда не читал нотаций, не устраивал никаких выволочек, даже какое-либо повышение тона было для него делом совершенно невозможным. Но несколько мягко сказанных слов все стави-

ло на свои места. Это была его отличительная черта: он никогда никого не подавлял. Его любимыми словами были: «Я всегда приветствую всякую инициативу». И это были не просто слова, а на самом деле так. Он всегда приветствовал инициативу, если она, конечно, не какая-либо явно заумная. Тогда он просто мягко говорил, что этого делать не надо.

Вслед за проблемой приземного взрыва следующий этап работ – это многократные и множественные взрывы. Что такое многократные взрывы? Это когда, скажем, посылаешь в одну точку несколько боезарядов. Множественные взрывы – это когда взрывы разнесены в пространстве и во времени. Это уже трехмерная задача. Но эта задача очень практически важна.

С начала 90-х годов в силу известных событий работы в этом направлении пришлось свернуть. Встал вопрос о поиске каких-нибудь других задач, и мы решили обратиться в Международный научно-технический центр, который был создан недавно. В 1996 году мы получили грант на выполнение проекта по воздействию природных и техногенных факторов на экологию и окружающую среду. Это прямое продолжение наших работ, выполненных под руководством Михаила Александровича. Если бы у нас не было этих наработок, то, конечно, в такую деятельность мы бы включиться не смогли. Сейчас она успешно завершается. Несомненно, что тот опыт, который мы накопили благодаря Михаилу Александровичу – большому ученому, педагогу и учителю, мы сумеем плодотворно использовать и в дальнейшем.

В. Д. Шиманович

М. А. ЕЛЬЯШЕВИЧ И ПЕРВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В БЕЛАРУСИ[29]

В газете «Комсомольская правда» начиная с сентября 1998 года публиковались записки писателя Ярослава Голованова, известного популяризатора науки, особенно в области космической техники, физики взрывов и вопросов ядерных исследований. Вот одно из его высказываний: «О Боже, сделай так, чтобы я мог узнать, что когда-либо, кто-либо, каким-либо образом украл мою книгу». Автор счастлив только тогда, если его труд востребован обществом. Михаилу Александровичу Ельяшевичу не надо было писать в своих записных книжках такую фразу. Сразу после издания его книги, особенно последняя – «Атомная и молекулярная спектроскопия» – становились библиографической редкостью. Даже в лаборатории, где каждый сотрудник покупал эту книгу для своей работы, через некоторое время ее найти было трудно. Нередко, придя в лабораторию, он говорил своему ученику, впоследствии академику Л. И. Киселевскому: «Ну что, Леонид Иванович, дать Вам почитать мою книжечку? Кстати, у вас ее опять уже нету». Книги Михаила Александровича были постоянно в работе, они переходили от одного сотрудника к другому, но в чьей они были личной собственности, установить было практически невозможно. И эта популярность книг Михаила Александровича относилась не только к нашей лаборатории – так было во всей республике, во всем Союзе.

Известность Михаила Александровича как ученого создавала весьма благоприятную базу для проведения в Институте физики тех исследований, о которых здесь рассказывалось. Геннадий Степанович Романов сказал, что только в 1966 году стал проясняться масштаб личности Михаила Алексан-

[29] Из юбилейного издания «Академик М. А. Ельяшевич», академическая серия «Люди белорусской науки», Минск, 1999)

дровича, что он значит и в институте, и вне его. Мне вспомнилась шутка, относящаяся примерно к 1960–1961 годам (на самом деле это началось ранее). Если Михаил Александрович уезжал в командировку, то сотрудники института ждали очередного сообщения ТАСС. Это обычно касалось очередных испытаний космической техники. Ну, я бы не сказал, с какой точностью оправдывался этот прогноз, но в общем ситуация была схвачена достаточно точно. Именно в том месте, о котором говорилось в сообщении ТАСС, Михаил Александрович находился в командировке.

Геннадий Степанович здесь вспоминал о многих работах, связанных со взрывами. Я бы хотел рассказать о несколько иных работах, и для того, чтобы сделать ситуацию более наглядной, я вначале расскажу об особенностях входа летательных аппаратов в плотные слои атмосферы. Первый космический корабль «Восток» имел сферическую форму, и когда он входил в плотные слои атмосферы, вокруг него образовывалась воздушная плазменная оболочка с температурой до 20 000 градусов, а затем, непосредственно у стенки корабля – более низкотемпературный слой с примесью теплозащитных материалов. При таких условиях кондуктивный перенос энергии к стенке корабля становится меньше лучистого. Возникала проблема радиационного переноса энергии для космической техники.

Для ее решения в нашей лаборатории был разработан ряд установок, на которых проведены исследования оптических свойств газов при температурах до 30 000 градусов и давлении до сотен атмосфер. Впервые в мире для указанного диапазона температур и давлений в широкой спектральной области.

На этой установке совместно с Михаилом Александровичем проведены очень интересные и пока еще никем не повторенные экспериментальные исследования излучательной способности воздушной плазмы и воздушной плазмы с примесью теплозащитных материалов. Были определены параметры ван-дер-ваальсовского, штарковского и резонансного взаимодействий, определяющих уширение наиболее характерных спектральных линий указанных типов плазмы. Полученные результаты позволили определить величину радиа-

ционного переноса к стенке космического корабля, разработать новые методы диагностики плазмы. Последнее оказалось весьма полезным. На этих установках в широком динамическом диапазоне давлений, температур и в широком спектральном диапазоне были определены спектроскопические свойства плазмы, которые затем сопоставлены с теоретическими данными. В результате было показано, что для непосредственной проверки результатов лабораторных исследований требуется установка на борту космического корабля спектральной малогабаритной аппаратуры. Эти работы начались у нас в 1961 году, в 1967-м был создан первый действующий образец спектрального прибора РСПМ-2.

Работа была блестяще выполнена ближайшими учениками Михаила Александровича – Валерием Николаевичем Снопко и Владимиром Анатольевичем Ждановским.

В серии спусков прибор зарегистрировал спектры излучения плазменной оболочки, что позволило установить причины отказа штатной аппаратуры космического корабля в тех или иных случаях. В итоге была усовершенствована сама аппаратура и скорректированы траектории входа в плотные слои атмосферы.

Это был первый в мире спектрограф, установленный на космическом корабле. Именно эта пионерская работа дала значительный импульс развитию оптико-механической промышленности. Особенно это заметно в исследованиях по дистанционному зондированию. Выполнялись они учениками Михаила Александровича – Леонидом Ивановичем Киселевским и Владимиром Ефимовичем Плютой. Суть дистанционного зондирования сводится к тому, что солнечный свет падает на различные объекты Земли, поглощается и рассеивается. В рассеянном излучении, которое может регистрироваться с самолета или с помощью космических кораблей, содержится спектрально-энергетическая характеристика, которая содержит закодированную информацию о состоянии этих объектов. В настоящее время уже создан целый ряд приборов, которые были использованы более чем двадцатью космонавтами для получения различной информации о состоянии поверхности Земли.

Последняя работа, о которой я хотел бы сказать, – это за-

пуски баллистических ракет. В 60-х годах многие страны стали обладать ракетно-ядерным оружием, и поэтому необходимо было разработать специальную оптико-электронную систему раннего обнаружения пуска баллистических ракет. Уровень знаний, необходимый для решения этой проблемы, в то время был практически нулевым, не было никакой информации о параметрах струй, о химических процессах в этих струях, об их спектральных характеристиках и излучательной способности, по которым можно определить время запуска баллистической ракеты. Вся эта работа у нас выполнялась учениками Михаила Александровича под руководством Юрия Викторовича Ходыко, Эдуарда Израилевича Виткина, Виталия Павловича Кабашникова и безвременно ушедшего Казимира Серафимовича Адзерихо. В результате комплексного рассмотрения газодинамической, химической и оптико-спектроскопической задач авторами было получено единое, цельное решение важнейшей научно-технической задачи. Важность теоретических работ в данном направлении определялась тем, что эксперимент был очень дорогостоящим. Заслуга лаборатории Ю. В. Ходыко в том, что она решила эту задачу, и точность была просто феноменальной. Данные теории совпадали с экспериментальными с точностью до 30 % (в тех случаях, конечно, где можно было провести эксперимент). На самом деле возможности теории были гораздо шире, и они позволили получить обширную информацию, на основе которой можно было проводить надежное обнаружение ракет.

И в заключение своего выступления хотел бы сказать следующее. Михаил Александрович в своей работе постоянно был в поиске, всегда с бумагой, с карандашом, с ручкой. Где бы он ни был, он постоянно, независимо от степени занятости, что-то записывал и вычислял. По-видимому, все помнят конференцию по физике и технике плазмы, которая состоялась в 1994 г. Михаил Александрович был тогда уже серьезно болен, тем не менее он был самым активным слушателем доклада Г. А. Дюжева об одном из наиболее экзотических объектов атомной физики – фуллеренах. Михаил Александрович сидел во втором ряду и постоянно задавал вопросы. Именно это отношение почти детской, юношеской заинтересованности всегда было неотъемлемой чертой личности Михаила Александровича.

Л. М. Томильчик,
Н. Г. Кембровская

ИССЛЕДОВАНИЯ М. А. ЕЛЬЯШЕВИЧА ПО ИСТОРИИ ФИЗИКИ

Настоящая статья подготовлена специально к столетию со дня рождения Михаила Александровича. Её общая структура и основное содержание соответствуют материалу, опубликованному в юбилейном издании «Академик М. А. Ельяшевич» (Академическая серия «Люди белорусской науки», Минск, 1999). В данном варианте работы, помимо некоторой чисто редакционной правки, значительно расширена, по сравнению с предыдущим, та часть раздела 5, которая посвящена анализу вклада Эйнштейна в создание квантовой теории излучения, а также добавлен новый раздел 6, содержащий изложение оригинальных результатов исследования электродинамических трудов Вальтера Ритца.

Исследования в области истории физики занимают в научном наследии Михаила Александровича заметное место. Дело здесь не только и не столько в объеме исследований и широте тематического диапазона, хотя и то и другое само по себе впечатляет. Общее число публикаций Михаила Александровича по этой тематике превышает три десятка, причем половина из них – это обстоятельные аналитические статьи в таких журналах, как «Успехи физических наук», «Вопросы истории естествознания и техники», «Вопросы философии», «Известия АН СССР», а также в специальных изданиях монографического типа. Объектом исследования Михаила Александровича были этапы истории науки, связанные с такими именами, как М. В. Ломоносов, Д. И. Менделеев, Дж. Максвелл, А. Эйнштейн, Н. Бор, И. Ридберг, В. Ритц.

Однако главное, конечно, в органическом сочетании глубины и современности общеметодологического подхода Михаила Александровича к проблеме с исключительной тщательностью проработки конкретного исторического материала, прежде всего – оригинальных научных текстов. В итоге удалось получить новое видение и более глубокое понимание целого ряда

казалось бы хорошо изученных фрагментов истории науки, скорректировать некоторые достаточно широко распространенные исторические аберрации и обнаружить новые факты, ранее не описанные в историко-научной литературе. Первая публикация Михаила Александровича по истории науки увидела свет в 1970 году. Последняя вышла из печати уже после его кончины, в 1997 г.

Мы не будем в нашем изложении придерживаться хронологического принципа, а сгруппируем соответствующие работы Михаила Александровича по тематическому признаку, и будем рассматривать их в порядке возрастания степени разработанности рассмотренных в них проблем, их удельного веса в общей совокупности работ, а также значимости полученных оригинальных результатов.

1. Научное наследие М. В. Ломоносова.

М. В. Ломоносову посвящены три статьи, приуроченные к 275-летию со дня рождения ученого («М. В. Ломоносов как родоначальник отечественного приборостроения» [14][30], «Проблемы физики в трудах Ломоносова» [15], «М. В. Ломоносов как оптик» [16]).

В исключительно разнообразном творческом наследии Ломоносова особо выделены и проанализированы два основных направления его оптических исследований: 1) изучение цветов: «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее, в публичном собрании Императорской Академии наук июля 1 дня 1756 года говоренное Михаилом Ломоносовым»; 2) создание оптических приборов различных типов: «ночезрительная труба» – прибор для ночного видения; однозеркальный телескоп; рефрактометр для исследования прозрачных жидкостей; колориметры; усовершенствованный микроскоп и т. п.

Можно сказать, что благодаря скрупулезному прочтению Михаилом Александровичем работ Ломоносова, посвященных оптическим приборам, «перед нами (говоря словами

[30] Здесь и далее цифра в скобках означает ссылку на порядковый номер в списке публикаций М. А. Ельяшевича по истории науки, приведенном в конце статьи.

С. И. Вавилова) выступает фигура замечательного оптика, мыслителя и теоретика в этой области и вместе с тем неустанного оригинального конструктора, овладевшего химической и механической стороной практической оптики».

2. Д. И. Менделеев и спектроскопия.

Научное творчество Д. И. Менделеева исследовано в двух работах: «Периодический закон Д. И. Менделеева, спектры и строение атома (к истории физической интерпретации периодической системы элементов)» [1], Менделеев и спектроскопия (к 150-летию со дня рождения Д. И. Менделеева)» [10].

Здесь Михаил Александрович отмечает, что еще в 1871 г. (Основы химии. 1 изд.) Д. И. Менделеев пророчески говорил о значении спектроскопических методов исследования для решения проблемы строения атомов и раскрытия причин периодичности. Об этом красноречиво свидетельствует следующая цитата из Менделеева: «Самым интересным вопросом в отношении спектральных исследований должно считать, по моему мнению, открытие законной зависимости между атомным составом и весом светящегося вещества и длиной волн лучей, ему свойственных».

В этих работах Михаила Александровича дан глубокий и всесторонний историко-методологический анализ того комплекса физических идей, которые лежат в основе современного объяснения периодического закона Менделеева.

Использованный здесь Михаилом Александровичем и ставший для него традиционным исследовательский прием основан на изучении текстов оригинальных работ с учетом общего состояния науки ко времени их написания. В анализе всех восьми изданий «Основ химии» центральное место занимает исследование эволюции взглядов Менделеева на роль и значение спектроскопии для химии.

3. Жизнь и научная деятельность А. Дж. Ван-ден-Брука.

К этой тематике примыкает также обстоятельнейший тридцатипятистраничный обзор под названием «Новые материалы о жизни и научной деятельности А. Дж. Ван-ден-

Брука», увидевший свет в 1981 г. в известном международном издании «Янус», специализирующемся на публикации исследований по истории науки.

Следует заметить, что и личность Ван-ден-Брука, и сама история возникновения этого исследования Михаила Александровича весьма неординарны.

Вначале о голландском ученом Антониусе Ван-ден-Бруке (1870–1926). Будучи юристом по образованию, он на протяжении последних двадцати лет жизни пытался, причем в целом небезуспешно, активно совмещать свою основную профессиональную деятельность с научными исследованиями в области ядерной и атомной физики. В частности, он еще в 1911 году выдвинул гипотезу, согласно которой заряд ядра атома равен порядковому номеру элемента, а также высказал идею о том, что атомные ядра состоят из протонов и электронов.

Что же касается самого обзора, посвященного жизни и деятельности Ван-ден-Брука, то он явился итогом семилетней (1974–1981) работы, начало которой, весь ее ход и завершение в высшей степени показательны для общего стиля работы Михаила Александровича.

Еще на рубеже 60–70-х годов, отыскивая в фонде периодических изданий Фундаментальной библиотеки Белорусской академии наук какую-то понадобившуюся ему статью, опубликованную в свое время в известном английском журнале «Philosophical Magazine» за март – апрель 1914 года, Михаил Александрович совершенно неожиданно натолкнулся на интереснейшие исторические материалы, связанные с деятельностью Ван-ден-Брука. Прежде всего, сюда входил полный комплект номеров журнала «Philosophical Magazine» с января 1906 г. по январь 1924 г. с многочисленными пометками Ван-ден-Брука на обложках и страницах отдельных номеров. Как выяснилось, этот комплект составлял когда-то часть домашней библиотеки ученого и оказался в фонде АН БССР после окончания Второй мировой войны. Здесь же находилась часть авторского оттиска первой научной публикации Ван-ден-Брука (1907) с новой рукописной редакцией ее выводов и незавершенный черновик отклика на мар-

товскую, 1914 года, статью Резерфорда «Строение атома». Кроме того, были обнаружены: таблица Международных атомных весов за 1912 год берлинского издательства 1919 года, вырезанная из статьи Н. Бора «Строение атома» (1923) диаграмма характеристических рентгеновских спектров с пометками Ван-ден-Брука; страница с таблицей «Сто ярчайших звезд», а также список 32 книг, относящихся главным образом к проблемам экономики.

В течение семи лет, собрав и тщательно исследовав публикации и архивные материалы, используя при этом начатую в 1974 году переписку с дочерью ученого – К. Витсен-Ванден-Брук, Михаил Александрович сумел воссоздать полную картину систематической упорной деятельности Ван-ден-Брука в области атомной и ядерной физики, дать всестороннюю оценку его идей и гипотез.

4. Дж. К. Максвелл и статистическая физика.

Здесь Михаилу Александровичу принадлежит обширный аналитический обзор «Вклад Максвелла в развитие молекулярной физики и статистических методов» [8], а также историко-методологическое исследование «Программа Клаузиуса и программа Максвелла в области кинетической теории газов» [11].

В этих работах на основе систематического анализа оригинальных работ Максвелла на общем научном фоне 60–70-х годов прошлого столетия дана адекватная оценка вклада, внесенного Максвеллом в молекулярную физику и статистическую механику.

Процитируем вслед за Михаилом Александровичем очень яркое высказывание Гиббса: «Когда читаешь Клаузиуса, кажется, что читаешь механику, если же читать Максвелла и многие наиболее ценные работы Больцмана, то, скорее, читаешь о теории вероятностей. Нет сомнений, что более общий способ рассмотрения проблем молекулярной физики, предложенный Максвеллом и Больцманом, позволил им в некоторых случаях получить более удовлетворительный и полный ответ, даже для тех вопросов, которые на первый взгляд кажутся не нуждающимися в таком широком рассмотрении».

В своих работах Михаил Александрович постоянно подчеркивал значение Максвелла как основоположника той линии в исследовании систем с большим числом степеней свободы, которая в конечном итоге привела к созданию статистической физики.

5. Развитие квантовых представлений.

Совершенно особое место в историко-научных исследованиях Михаила Александровича занимает проблематика, связанная с процессом возникновения, формирования и становления квантовых представлений. Этой тематике фактически посвящено более половины всех его публикаций по истории науки – восемнадцать наименований [2–7, 12, 17, 18, 20–27, 29]. Здесь прежде всего следует выделить анализ вклада Эйнштейна в развитие квантовой теории, и, в особенности, – цикл исследований, посвященных изучению той линии развития квантовых представлений, которая связана с именем Нильса Бора.

Вначале – о работах, посвященных Эйнштейну. Это статьи «Вклад Эйнштейна в развитие квантовых представлений» [6] и «К истокам работ Эйнштейна по квантовой теории излучения» [7]. В них Михаил Александрович существенно восполняет тот пробел в огромном массиве литературы об Эйнштейне, который связан с недостаточно глубоким и обстоятельным анализом того вклада, который внес Эйнштейн в создание и развитие квантовой теории.

Несколько упрощенная, а порой и не вполне правильная трактовка работ Эйнштейна, посвященных проблемам квантовой теории, довольно широко распространена в литературе, особенно в учебной. Работы Михаила Александровича, относящиеся к эйнштейновскому циклу, не только содержат глубокий и всесторонний анализ генезиса квантовых представлений Эйнштейна, развития им основных квантовых идей и эволюции его взглядов на проблему, но и вносят ряд важных концептуальных уточнений.

Так, например, о первой статье этого цикла, опубликованной под весьма необычным для стиля Эйнштейна названием «Об одной эвристической точке зрения, касающейся

возникновения и превращения света», как правило, говорят только как о работе, содержащей объяснение фотоэффекта. Однако уравнению Эйнштейна для фотоэффекта посвящен лишь один параграф статьи, а ее реальное содержание несравненно шире. Как эту, так и последующие работы Эйнштейна нельзя рассматривать просто как непосредственное продолжение исследовательской линии Планка. В действительности физические модели, которыми оперировал здесь и в дальнейшем Эйнштейн, существенно отличались от планковских. Эйнштейн в значительной мере опирался на работы Вина, которые, как хорошо известно, исторически предшествовали работам Планка. В отличие от Планка, у которого соотношение $\varepsilon = h\nu$ означало связь между энергией и частотой осциллятора, у Эйнштейна такое соотношение определяло связь между частотой монохроматического электромагнитного излучения и элементарной порцией (квантом) энергии, соответствующей излучению этой частоты. Затем, исходя из представления о дискретном, одноактном характере энергетического обмена между излучением и отдельным электроном внутри металла, Эйнштейн написал уравнение баланса энергии для такого процесса, получив ставшее впоследствии знаменитым уравнение, которое в точности воспроизводит основные экспериментально наблюдаемые закономерности фотоэффекта.

Важно подчеркнуть, что первоначально представление о «зернистой» структуре излучения было введено Эйнштейном не для всего диапазона частот, а лишь для высокочастотной области спектра. Кроме того, в этой работе речь шла просто о сгустке энергии, и совершенно не рассматривался важный вопрос о количестве движения, связанном с элементарным носителем этого сгустка. Иными словами, здесь еще отсутствовало представление о фотоне в современном его понимании – как о безмассовой частице с заданными значениями энергии и импульса.

Как правило, недооценивается значение работ Эйнштейна 1909 года, в которых понятие корпускулярно-волнового дуализма для электромагнитного излучения формулируется в терминах статистических флуктуаций энергии и давления

(передачи импульса), а следующая фраза в его докладе на 81-м собрании Общества немецких естествоиспытателей в Зальцбурге (сентябрь 1909 г.) вообще звучит пророчески: «*...Существует обширная группа фактов в области излучения, показывающих, что свет обладает рядом фундаментальных свойств, которые можно понять с точки зрения теории истечения Ньютона намного лучше, чем с точки зрения волновой теории. Поэтому я считаю, что следующая фаза развития теоретической физики даст нам теорию света, которая будет в каком-то смысле слиянием волновой теории света с теорией истечения*».

Завершающие штрихи в основные контуры такой теории Эйнштейн внес спустя семь лет. В 1916 г. вышли в свет две его статьи. В первой из них было сформулировано понятие спонтанного и вынужденного излучения и введены знаменитые коэффициенты, вошедшие в физику под его именем и образовавшие теоретическую базу всей квантовой электроники. Во второй был получен важнейший вывод о существовании импульса у кванта излучения. «*...К непротиворечивой теории мы придем только в том случае, если все элементарные процессы будем считать полностью направленными*», – писал Эйнштейн в этой работе.

Тем самым в физике фактически впервые появился фотон в качестве особой элементарной частицы, обладающей помимо энергии также импульсом, направленным вдоль волновой нормали. Нужно заметить, что конституирование фотона в качестве «световой корпускулы» пришло лишь в 1923 г., после открытия эффекта Комптона (1922 г.), сам термин «фотон» был предложен американским физико-химиком Льюисом в 1926 г., а в научный обиход этот термин вошел, начиная с 1929 г. Добавим еще, что «векторный характер» фотона, т. е. необходимость существования у него собственного углового момента (спина), равного единице, был осмыслен еще позднее, только в рамках квантово-полевого подхода. Но в действительности формирование базовых квантовых представлений об электромагнитном излучении, включая вероятностную трактовку корпускулярно-волнового дуализма, было завершено Эйнштейном к 1917 г., еще до

создания квантовой механики (1925–1926 гг.) и возникновения первоначальных вариантов квантовой электродинамики (конец 20-х – начало 30-х годов прошлого столетия). Более того, Эйнштейн по праву может считаться «крестным отцом» волновой механики Шредингера, поскольку именно он в 1924 г. решительно поддержал «безумную» идею де Бройля о распространении корпускулярно-волнового дуализма на массивные частицы (волны материи де Бройля).

Завершающим вкладом Эйнштейна в развитие квантовой физики явилась разработка в 1924–1925 гг. теории одного из двух основных квантовых статистических распределений (статистика Бозе-Эйнштейна) и открытие им в этой теории фазового перехода (известного сегодня как явление Бозе-конденсации), лежащего в основе современной теории таких макроскопических квантовых эффектов, как сверхтекучесть и сверхпроводимость.

Особенно значимым является тот новый вклад, который внес Михаил Александрович в исследование роли и места Бора в развитии квантовых представлений. Это выглядит особенно удивительным, если принять во внимание то обстоятельство, что наличие обширнейшей литературы, посвященной научному творчеству Бора, казалось бы, полностью исключает возможность существования каких-либо «белых пятен». Здесь, прежде всего, нужно выделить следующие важные моменты:

1) Выявление конструктивной роли принципа соответствия, который был вначале использован Бором применительно к частотам излучательных переходов, а затем – к анализу интенсивностей и поляризации излучения в таких переходах. Как известно, именно этот путь привел В. Гейзенберга к формулировке матричной механики [5, 12, 17, 18].

2) Указание на четкое понимание Н. Бором вероятностной природы излучательных квантовых переходов [12, 18].

3) Последовательно проводимая идея о необходимости строгого разграничения двух частей первоначальной теории Бора – его постулатов и модельных представлений [2, 3, 12, 17, 18].

4) Новый взгляд на вопрос о непосредственной реакции

научного сообщества на «Трилогию» Бора 1913 года и, в частности, на эволюцию позиции Эйнштейна и Зоммерфельда по отношению к первоначальной теории Бора за период с 1913 по 1915 годы, когда появились известные работы Зоммерфельда, в которых идеи Бора были впервые сформулированы на языке аналитической механики с дополнительными условиями квантования фазовых интегралов [17, 18].

Важное место в боровском цикле Михаила Александровича занимает статья, посвященная анализу исследований Бора по электронной теории металлов (1909–1912), которые непосредственно предшествовали его основополагающим работам по квантовой теории атома.

В статье была подчеркнута существенная роль этого раннего этапа научной деятельности Бора. Именно тогда Бор пришел к убеждению, что на основе классических представлений о структуре вещества нельзя объяснить целый ряд явлений «в том смысле, что мы не можем составить себе наглядные представления об этих явлениях на основе существующих понятий физики».

В ходе попыток применения электронной теории металлов к описанию более широкого круга явлений у Бора сложилось твердое убеждение в необходимости поиска новых подходов к решению проблем, связанных с описанием физических свойств электронов и атомов.

Но пожалуй, наиболее интересные результаты относятся к предыстории возникновения первоначальной теории Бора и исследованию доквантового этапа развития спектроскопии, охватывающего период со времени открытия спектрального анализа (1859) до установления основных спектральных закономерностей в атомных спектрах, включая формулировку комбинационного принципа Ридберга-Ритца (1908–1909). При этом попутно были обнаружены и подробно исследованы малоизвестные либо вовсе не описанные в историко-научной литературе стороны научного творчества замечательного швейцарского физика Вальтера Ритца. На этом вопросе мы специально остановимся в заключительной части нашего сообщения.

При изучении динамических и спектроскопических осно-

ваний теории Бора был впервые проведен систематический анализ ряда оригинальных работ, которые сыграли ключевую роль в установлении основных закономерностей в линейчатых спектрах и содержали попытки теоретического обоснования спектральных закономерностей на базе использования классических моделей. При этом было убедительно показано, что общепринятая в историко-научной и физической литературе трактовка доквантового этапа развития спектроскопии как периода постепенного накопления экспериментальных данных и их систематизации на базе эмпирических и полуэмпирических схем является слишком упрощенной и не соответствует реальному положению дел.

Здесь было показано, что доборовский период развития спектроскопии естественно подразделяется на два этапа, которые существенно различаются между собой удельным весом и уровнем используемых теоретических моделей.

Первый из них завершается фундаментальными исследованиями И. Ридберга [20–24]. Сравнительный анализ подходов Ридберга – с одной стороны и Кайзера-Рунге – с другой обнаружил их принципиальное различие. Если подход Кайзера-Рунге был чисто эмпирическим, то исследовательская программа Ридберга базировалась на представлении о наличии глубинной связи между структурой атома и его спектром. Поэтому Ридберг в процессе поиска нужных аналитических выражений для описания линейчатых спектров руководствовался не только необходимыми условиями соответствия с экспериментом, но и соображениями универсальности, а также требованием минимальности количества используемых параметров. Иными словами, Ридберг в своих поисках в отличие от Кайзера и Рунге использовал определенные конкретно-научные методологические регулятивы, что придавало его результатам более высокий теоретический статус, чем формулам его оппонентов. Не случайно Кайзер впоследствии в своих воспоминаниях с сожалением писал, что он и Рунге «упустили действительный ключ к пониманию сериальных линий в терминах атомной структуры».

В ходе изучения второго, заключительного, доквантового этапа развития спектроскопии был впервые выполнен после-

довательный и систематический анализ собрания трудов Ритца, прослежены все три основные линии его научной деятельности: спектроскопические исследования, работы по вариационному методу и попытки развития бесполевой концепции электромагнетизма [27, 30, 31].

Здесь было показано, что спектроскопические работы Ритца содержат все необходимые признаки развернутого теоретического исследования: четкую постановку задачи, аргументированный выбор модели, последовательное использование развитого математического аппарата, хотя само исследование базировалось исключительно на идеях и методах классической физики. Но, несмотря на это, оказалось, что отдельные детали подхода Ритца поразительным образом предвосхитили некоторые черты будущего квантового описания. В результате исследования всей совокупности спектроскопических работ Ридберга и Ритца было выявлено, каким образом происходил процесс повышения теоретического статуса комбинационного принципа - от утверждения, предложенного Ридбергом в рамках полуэмпирической схемы, до универсального спектроскопического закона, базирующегося на использовании теоретической модели, достаточно строго обоснованной математически.

Детальный анализ упругостной и магнитной моделей атома, предложенных Ритцем (1902 и 1907 гг.), позволил также внести существенные уточнения в до конца еще не выясненный вопрос об авторской формулировке комбинационного принципа. Необходимо отметить также, что магнитная модель Ритца несомненно привлекла внимание современников. В частности, о ней, как о приемлемой, несмотря на ее несколько искусственный характер, довольно подробно говорит Пуанкаре в своей лекции «Взаимоотношения материи и эфира», вошедшей в сборник его работ «Последние мысли», изданный в 1913 г.

6. Бесполевой подход в электродинамике.

В заключение хотелось бы более подробно остановиться на содержании работы, посвященной электродинамическим исследованиям Ритца. Причина, по которой мы считаем необхо-

димым сделать это, заключается не только в том, что речь идет о последней, уже посмертной, публикации Михаила Александровича, посвященной к тому же вопросам, которые не входили в сферу его прямых научных интересов. Как нам представляется, здесь особенно ярко проявилась еще одна особенность его творческой натуры – то, что принято называть английским словом **serendipity**. Под этим, несколько экзотически звучащим термином, понимается особый талант исследователя систематически находить всевозможно полезные вещи, обнаружение которых вовсе не значится среди первоначальных целей поиска. (Так произошло, в частности, в описанной нами истории с Ван-ден-Бруком).

Если выявление вклада Ритца в развитие атомной спектроскопии было естественным завершением многолетнего целенаправленного исследования доборовского этапа развития этой области физики, то задача анализа электродинамической концепции ученого первоначально вообще не ставилась, тем более что «с легкой руки» Эйнштейна и особенно – Паули за ней прочно закрепилась однозначно негативная репутация.

И здесь решающую роль сыграла твёрдая общеметодологическая установка Михаила Александровича: независимо от степени авторитетности устоявшихся мнений ориентироваться прежде всего на оригинальные авторские тексты.

Работы Ритца, посвященные основаниям электродинамики, составляют весьма заметную (более трети общего объема) часть его научного наследия. По свидетельству известного американского историка науки П. Формана (P. Forman), на них «он затратил больше всего усилий», связывал с ними свои основные надежды и для их продолжения «тщетно желал еще несколько лет жизни». По злой иронии судьбы именно эти исследования Ритца вошли в историю физики как полностью ошибочные. Между тем, внимательное ознакомление с ситуацией показало, что, с одной стороны, на протяжении почти целого столетия электродинамические труды Ритца фактически оставались вне рамок специального историко-методологического исследования, а с другой – что негативная оценка этих работ не вполне справедлива.

Дело в том, что критические замечания В. Паули, выска-

занные в его фундаментальной монографии по теории относительности, относятся исключительно к эмиссионному подходу (баллистическая гипотеза) и совершенно не касаются существа той исследовательской программы, которую пытался реализовать Ритц. Однако в действительности эта программа имела достаточно богатую историческую традицию, основанную на представлении о прямом запаздывающем взаимодействии между зарядами. Возникновение такой концепции связано прежде всего с именами Гаусса и Римана. Уже после принятия научным сообществом электродинамики Максвелла-Лоренца бесполевой подход разрабатывался К. Шварцшильдом (1903 г.), а позднее – Г. Тетроде и А. Фоккером (20-е – 30-е годы прошлого столетия). Концепция в целом приобрела известное завершение в работах Дж. Уилера и Р. Фейнмана (середина XX в.) и в различных вариантах продолжает развиваться в наши дни.

Анализ всего цикла публикаций Ритца, посвященных проблемам электродинамики, позволил выявить связь его теоретических построений с бесполевым подходом. Можно с уверенностью сказать, что категорическое утверждение Паули, согласно которому в рамках подхода Ритца «вся электродинамика должна быть построена заново», не следует понимать слишком буквально. В действительности речь шла о попытке построения теории электромагнетизма на основе альтернативного максвелловскому бесполевого подхода, уже получившего к этому времени определенные «права гражданства» в физике.

Конечно, с позиций сегодняшнего дня очевидно, что попытка Ритца была обречена на неудачу. Однако причина этого кроется вовсе не в ошибочности самой идеи отказа от использования концепции поля и опережающих решений как нефизических. Последующее развитие бесполевого подхода показало, что без явного введения полевых переменных и опережающих (как, впрочем, и запаздывающих) потенциалов и в самом деле можно обойтись. Однако требование релятивистской ковариантности теории и условие ее симметрии по отношению к обращению времени оказались, безусловно, необходимыми, тогда как в подходе Ритца они отсутствовали вообще.

И дело здесь не только и не столько в субъективной ограниченности исследовательской позиции Ритца. Понимание возможности эквивалентных, хотя и весьма различных по форме, описаний одной и той же физической реальности стало приобретать характер нормы «общественного научного сознания» лишь в тридцатые годы XX в. Решающую роль здесь сыграло создание квантовой механики, которая, как известно, исторически возникла независимо в двух, совершенно различных формах – матричной (Гайзенберг, 1925 г.) и волновой (Шредингер, 1926 г.), эквивалентность которых, явно продемонстрированная Шредингером, произвела тогда столь сильное впечатление на членов научного сообщества. Об этом, в частности, упоминает и Фейнман в той части своей нобелевской лекции, которая касается истории формирования известного подхода в электродинамике, носящего сегодня его имя.

С другой стороны, следует учитывать также и то, что развитие релятивистской физики и, прежде всего, – механики, находилось в 1907–1909 гг. по существу лишь в самой первоначальной стадии. Все это позволяет утверждать, что в конце первого десятилетия XX в. еще отсутствовали необходимые объективные предпосылки как для адекватной теоретической реализации бесполевого подхода, так и для его принятия научным сообществом.

Эта же мысль была высказана Уилером и Фейнманом в следующей образной форме: «Полевая теория постепенно на протяжении семи десятилетий давала такие тяжелые уроки, как постоянство скорости света, относительность пространства и времени, запаздывающие и опережающие силы, и наконец сделала возможным посредством такого кружного пути прийти к теории прямого межчастичного действия, который Гаусс надеялся достичь одним прыжком». Нам представляется, что это высказывание в адрес Гаусса в полной мере может быть отнесено и к Ритцу.

В процессе нашей совместной работы над анализом наследия Вальтера Ритца в очередной раз в полной мере проявилась органически присущая Михаилу Александровичу тщательность в проработке оригинальных научных текстов. Михаил

Александрович никогда не ссылался на используемые литературные источники, взятые «из вторых рук». Наличие той или иной работы в списке литературы к статьям, автором которых являлся Михаил Александрович, означает, что эта работа прочитана им в оригинале. (Этому способствовало и то, что Михаил Александрович, как известно, свободно владел тремя основными европейскими языками – английским, французским, немецким, а также достаточно хорошо – итальянским).

Для Михаила Александровича было характерно стремление к предельной ясности и завершенности во всем. «Если осталось что-то доделать, считай, что ничего не сделано». Это – изречение из поэмы «Форсалия» римского поэта Лукана (I в. н.э.), которое выявляет, по мысли автора, главную черту в характере Юлия Цезаря. Этой же фразой можно охарактеризовать и научное кредо самого Михаила Александровича.

Наконец, фантастическая работоспособность и феноменальная память были отличительными чертами Михаила Александровича буквально до последних дней (даже часов) его жизни.

СПИСОК
публикаций М. А. Ельяшевича по истории науки (хронологический)

1. Периодический закон Менделеева, спектры и строение атома // УФН. 1970. Т. 100. Вып. 1. С. 6–43. Она же: Периодический закон и строение атома. М., 1971. С. 41–78.

2. Важнейший этап развития квантовой теории (к выходу 1 тома Избр. научных трудов Н. Бора) // УФН. 1971. Т. 103. Вып. 2. С. 381–386.

3. Непрерывный поиск новых путей развития физической теории (к выходу 2 тома Избр. научных трудов Н. Бора) // УФН. 1972 Т. 108. Вып. 1. С. 197–200.

4. Fifty Years of Quantum Mechanics Discovery // Proc. XV International congress of the History of Science. Edinburgh, 1977. Sec. IV.Physics and Science. Moscow.1977.

5. От возникновения квантовых представлений до становления квантовой механики // УФН. 1977. Т. 122. Вып. 4. С. 674–717.

6. Вклад Эйнштейна в развитие квантовых представлений // УФН. 1979. Т. 128. Вып. 3. С. 503–536; Она же: Эйнштейн и современная физика. М.: Знание, 1979. № 10. С. 37–77.

7. К истокам работ Эйнштейна по квантовой теории излучения // Вопросы истории естествознания и техники. 1980. Вып. 3–4. С. 39–46.

8. Вклад Максвелла в развитие молекулярной физики и статистических методов // УФН. 1981. Т. 135. Вып. 3. С. 381–423 (совместно с Т. С. Протько).

9. New Materials on the Life and Scientific Activities of A. J. Van Den Brotk // Janus. Rev. Int. hist. Sci., medic, pharmacie, technique. 1981. Т. 68. № 4. С 241–279 (совместно с Ю. И. Лисневским).

10. Д. И. Менделеев и спектроскопия // Вопросы истории естествознания и техники. 1984. Вып. 3. С. 3–14 (совместно с Т. С. Протько).

11. Программа Клаузиуса и программа Максвелла в области кинетической теории газов // Вопросы истории естествознания и техники. 1984. Вып. 4. С. 79–88 (совместно с Т. С. Протько).

12. Развитие Нильсом Бором квантовой теории атома и принципа соответствия // УФН. 1985. Т. 147. Вып. 2. С. 253–301.

13. Электронная теория металлов в работах Г. А. Лоренца и Н. Бора // Вопросы истории естествознания и техники. 1986. Вып. 1. С. 49–61. (совместно с Т. С. Протько).

14. М. В. Ломоносов как родоначальник отечественного приборостроения // Весці АН БССР. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1986. № 4. С. 3–10.

15. Проблемы физики в трудах Ломоносова // Весці АН БССР. Сер. фіз.-мат. навук. 1986. № 6. С. 3–11.

16. Ломоносов как оптик // Журнал прикладной спектроскопии. 1986. № 6. С. 887–894.

17. К истории возникновения и развития теории Бора // Препринт ИФ АН БССР № 516. Мн., 1988 (совместно с В. И. Дынич, Л. М. Томильчиком).

18. Роль принципа соответствия Бора в становлении квантовой теории атома // Нильс Бор и физика XX века. Киев, 1988. С. 55–65 (совместно с В. И. Дынич, Л. М. Томильчиком).

19. Рец. на статью: Храмов Ю. А. Научные школы в физике // Вопросы истории естествознания и техники. 1989. Вып. 1. С. 127–129.

20. История развития спектроскопии и теория Бора // Журнал прикладной спектроскопии. 1989. Т. 51. № 3. С. 359–367.

21. Теория Бора и спектроскопия//Известия АН СССР. Сер. физ. 1989. Т. 53. Вып. 9. С. 1654–1656.

22. Ридберг и квантовая теория Бора // Препринт ИФ АН БССР № 584. Мн., 1990 (совместно с Н. Г. Кембровской, Л. М. Томильчиком).

23. Ридберг и развитие атомной спектроскопии // УФН. 1990. Т. 160. № 12. С. 142–165 (совместно с Н. Г. Кембровской, Л. М. Томильчиком).

24. Rydberg and Modern Atomic Spectroscopy // Europhysics conference Abstracts 22-nd EGAS, Upsala (Sweden). 1990. P. 149–151 (совместно с Н. Г. Кембровской, Л. М. Томильчиком).

25. Столетие работы И. Ридберга о закономерностях в атомных спектрах // Юбилеи науки: 1990–1991. Киев, 1991. С. 57–65 (совместно с Н. Г. Кембровской, Л. М. Томильчиком).

26. Особенности первоначального этапа развития теории Бора (1913–1916) // Очерки истории естествознания и техники. Киев, 1991. Вып. 39. С. 20–29 (совместно с В. И. Дынич, Л. М. Томильчиком).

27. Вальтер Ритц и теоретическая физика начала XX века // Препринт ИФ АНБ № 651. Мн., 1992 (совместно с Н. Г. Кембровской, Л. М. Томильчиком).

28. Наука и вненаучное знание (негативные тенденции и пути их преодоления) // Препринт ИФ АНБ. № 685. Мн., 1993 (совместно с В. И. Дынич, Е. А. Толкачевым, Л. М. Томильчиком).

29. Особенности динамики вненаучного знания и современный кризис научного мировоззрения // Вопросы философии. 1994. № 12. С. 122–134 (совместно с В. И. Дынич, Л. М. Томильчиком, Е. А. Толкачевым).

30. Вальтер Ритц как физик-теоретик и его работы по теории атомных спектров // УФН. 1995. Т. 165. № 4. С. 457–480 (совместно с Н. Г. Кембровской, Л. М. Томильчиком).

31. Вальтер Ритц и развитие бесполевого подхода в электродинамике // Препринт ИФ АНБ № 710. Мн., 1997 (совместно с Н. Г. Кембровской, Л. М. Томильчиком).

А. А. Сокольский,
В. Е. Граков

О МИХАИЛЕ АЛЕКСАНДРОВИЧЕ ЕЛЬЯШЕВИЧЕ – ПЕДАГОГЕ

Когда встречаются те, кому посчастливилось работать на кафедре атомной и молекулярной физики БГУ, созданной и возглавляемой Михаилом Александровичем, всегда возникает тема: Михаил Александрович – педагог, учитель и наставник. Читал ли он лекции, принимал экзамен, вел семинар, беседовал с сотрудниками, выступал на Ученом совете или ГЭК – в каждом эпизоде вспоминается его неповторимый облик. Это – оптимизм, доброжелательная требовательность, сосредоточенность на существе дела, стремление сделать все не откладывая и самым достойным образом. Это – нескрываемое удовольствие от хорошо исполненного, быстрая реакция. Широчайшая эрудиция, знание основных европейских языков, осведомленность во многих, порой самых неожиданных вещах (вплоть до способов правильного завязывания узлов), феноменальная память и работоспособность. При ясном осознании своего уровня – ни малейшего давления авторитетом, положением. Органическое стремление поддержать обратившегося к нему человека, его разумную идею, инициативу. Искреннее удивление при проявлении безынициативности, высокая принципиальность при встрече с проявлениями лженауки и моральной нечистоплотности. Серьезное отношение к подбору сотрудников, к качеству учебного процесса, но никакой деятельности ради показателей, ради демонстрации активности.

Каждый, кто работал в этот период с Михаилом Александровичем, помнит не один случай реальной поддержки с его стороны. К примеру, идя навстречу пожеланиям двух преподавателей кафедры (казавшихся им самим скорее мечтами), Михаил Александрович добился для них стажировки в одно и то же время непосредственно у Я. Б. Зельдовича, удивительным образом преодолев сопротивление последнего!

Кафедра, открытая в 1968 году, была задумана как теоретическая, но имеющая прикладной профиль с акцентом на подготовку специалистов по спектроскопии и физике плазмы, по-

требность в которых в те годы была очень высокой. В соответствии с замыслами Михаила Александровича сложилась стройная система спецкурсов, к чтению которых привлекались ведущие белорусские ученые. Курсовые и дипломные работы студенты кафедры выполняли в лабораториях Академии наук республики и НИИ прикладных физических проблем БГУ, так что учебный процесс был максимально сближен с исследовательским. Студенты кафедры неоднократно завоевывали звание лучшей группы факультета, при распределении практически все направлялись на научную работу. Кафедра обеспечивала курс атомной физики и курс статистической физики и термодинамики для студентов физического и радиофизического факультетов. Сам Михаил Александрович читал курс атомной физики на двух потоках, вел спецкурсы. К занятиям всегда готовился тщательно, писал конспект, клал его во время лекции перед собой, но почти туда не заглядывал. Умел, как лишь немногие лекторы, удерживать внимание студенческой аудитории. На экзаменах ободрял студентов, казалось, что он чуть ли не подсказывает ответ. На самом же деле требования к знаниям предъявлялись ничуть не меньшие, чем со стороны преподавателей, имеющих устойчивую репутацию строгих. Многим выпускникам БГУ Михаил Александрович запомнился и как председатель ГЭК. Его профессионализм и особая тактичность превращали защиту дипломной работы в торжественное, праздничное событие.

Нельзя не остановиться на работе Михаила Александровича по созданию нового курса атомной физики. Он радикально пересмотрел существовавшую тогда программу, сделав атомную физику в полном смысле «квантовой физикой на атомно-молекулярном уровне». Не ограничиваясь своим огромным объемом знаний и опыта, он обращался как к первоисточникам, работам классиков науки, так и к современным, еще не вошедшим в учебники материалам. Эта огромная работа воплотилась в его лекции, публикации по методике и истории физики, в новую, принятую вскоре в масштабе СССР университетскую программу, в рукопись учебника (к сожалению, по ряду причин пока еще не увидевшего свет).

Разумеется, педагогическая деятельность Михаила Алек-

сандровича и по времени и по масштабу выходила далеко за рамки его работы на кафедре атомной и молекулярной физики (1968–1977) или в БГУ в целом (1957–1990).

Она началась в студенческие годы и продолжалась буквально до последних дней его жизни. Ее истоки – в семейной традиции, в атмосфере Ленинграда 20–30-х годов, во влиянии выдающихся ученых и педагогов.

Так, студенту физического отделения физико-математического факультета ЛГУ Михаилу Ельяшевичу читали лекции: по общей физике – О. Д. Хвольсон[31] (автор российского университетского учебника физики тех лет), по математике – Б. Н. Делоне[32], В. И. Смирнов[33] (а практические занятия вел С. Э. Фриш[34]), по теоретической механике – А. И. Тудоровский[35], по электродинамике – В. К. Фредерикс[36], по статистической физике – Ю. А. Крутков[37], по оптике – Д. С. Рождественский[38], а спецкурсы по механике сплошных

---

[31] Хвольсон Орест Данилович (1852–1934) – известный физик, академик, учитель нескольких поколений петербургских и ленинградских физиков, автор пятитомного «Курса физики» переиздававшегося несколько раз в течение 40 лет, начиная с 1897 г.

[32] Делоне Борис Николаевич (1890–1980) – русский математик, член-корреспондент АН СССР с 1929 года. Работал в области алгебры, вычислительной геометрии и математической кристаллографии.

[33] Смирнов Владимир Иванович (1887–1974) – выдающийся ученый-математик и педагог, действительный член АН СССР, Герой Социалистического Труда. Автор пятитомного «Курса высшей математики». Доктор физико-математических наук, профессор.

[34] См. сноску на стр. 24.

[35] Тудоровский Александр Илларионович (1875–1963) – выдающийся ученый и организатор науки, основатель советской школы вычислительной оптики и оптотехники. Доктор физико-математических наук (1946), профессор (1944), член-корреспондент АН СССР (1933), заслуженный деятель науки и техники СССР (1956).

[36] Фредерикс Всеволод Константинович (1885–1944) – выдающийся русский ученый, известный своими работами в кристаллографии и космологии. Он первым наблюдал переориентацию ЖК под действием внешнего электромагнитного поля – явление, которое ныне используется в устройствах отображения информации.

[37] Крутков Юрий Александрович (1890–1952) – физик-теоретик, член-корр. АН СССР, лауреат Государственной премии СССР. Блестящий лектор и популяризатор физики, сыграл значительную роль в организации и становлении теоретической физики в СССР.

[38] Рождественский Дмитрий Сергеевич (1876–1940) – выдающийся физик-оптик. Один из главных организаторов производства оптического стекла и оптико-механической промышленности Советского Союза.

сред – В. А. Фок[39]!

Первый педагогический опыт у Михаила Александровича состоялся зимой 1929 года, когда он, студент 4-го курса, успешно подготовил группу рабочих Ленинградского металлического завода для поступления во ВТУЗ. А сразу же по окончании ЛГУ – параллельно с интенсивными занятиями наукой – Михаил Александрович идет работать ассистентом на кафедру в Политехнический институт связи.

Важнейшим этапом становления Михаила Александровича как ученого и педагога стал начавшийся с февраля 1932 года период работы на кафедре теоретической физики Политехнического института у Я. И. Френкеля[40]. Впоследствии Михаил Александрович вспоминал: «Теоретическую физику я стал понимать достаточно глубоко, когда сам начал преподавать. Упущения в моем образовании были тогда ликвидированы». Любил рассказывать Михаил Александрович и про то, какую сердечную обстановку создал на кафедре Я. И. Френкель и о том, как изложение в курсе механики вопросов, связанных с использованием базисных векторов криволинейных координат (на чем настаивал Я. И. Френкель) очень помогло ему (Михаилу Александровичу) в создании теории колебаний многоатомных молекул.

Всего через год Михаил Александрович уже читает свой первый вузовский курс – статистическую физику, а с 1935 года преподает в ЛГУ, становится доцентом, читает электродинамику и спецкурс по спектроскопии (в числе слушателей которого был и А. М. Прохоров[41]). В это время значительное влия-

---

Организатор и первый директор (1918–1932) Государственного оптического института (ГОИ). Академик АН СССР (1929). В 30-ые годы активно участвовал в формировании учебных планов подготовки инженеров-оптиков в ЛИТМО.

[39] См. сноску на стр. 6.

[40] Френкель Яков Ильич (1894–1952) – известный физик-теоретик, член-корр. АН СССР, лауреат Государственной премии СССР. Разработал первую квантовую теорию ферромагнетиков, кинетическую теорию жидкостей, ввел понятия экситона и дефектов в кристалле.

[41] Прохоров Александр Михайлович (1916–2002) – выдающийся физик, академик, один из основоположников квантовой электродинамики, дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Нобелевской, Ленинской и Государственной премий. Директор института общей физики

ние на Михаила Александровича оказал В. А. Фок – его требовательность и основательность сыграли большую роль в формировании молодого ученого.

Прерванная войной педагогическая практика возобновилась сразу по ее окончании – в 1946 г. Михаил Александрович возглавляет кафедру теоретической физики в Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО). Даже в период участия на ответственных должностях в атомном проекте (1946–1949) Михаил Александрович находит время для чтения нового курса лекций – это была «Теория огненного шара», а слушателями – военные специалисты.

Педагогическая деятельность Михаила Александровича неотделима от его работы над монографиями, каждая из которых становилась учебником высокого уровня для огромного круга специалистов. Это относится и к книге «Спектры редких земель» (1953), переведенной в США, и к монографии «Колебания молекул» (1949), удостоенной Сталинской премии (эта книга переработана и переиздана в 1972 году), и, конечно, к фундаментальному труду «Атомная и молекулярная спектроскопия», потребность в котором (и нехватка которого) ощущается и сейчас. История последнего говорит сама за себя. В 1956 году Михаил Александрович читает для сотрудников ГОИ цикл лекций, суммировавших его уникальный опыт и знания, а затем на основе конспекта этих лекций создает свою 892-х страничную энциклопедию атомной и молекулярной спектроскопии менее чем за два года!

Это было как раз начало белорусского периода жизни Михаила Александровича. И тут он свою научную и организационную работу с самого начала совмещает с педагогической. Уже с 1957 года он читает спецкурсы в БГУ, растит молодых ученых, многие из которых получили признание не только в Беларуси, но и за ее пределами. По самым скромным подсчетам среди них – два академика НАН Беларуси, член-корреспондент РАН, 12 докторов, 45 кандидатов наук. Позволим себе упомянуть персонально лишь об одном из его учеников – академике Л. И. Киселевском, который в период своего

РАН. Создал (совместно с Н. Г. Басовым) первый квантовый генератор – мазер.

ректорства в БГУ фактически возродил кафедру М. А. Ельяшевича, основав кафедру атомной физики и физической информатики.

Масштабы и значимость педагогической деятельности М. А. Ельяшевича невозможно осветить в рамках этой статьи. За ее пределами остается и работа Михаила Александровича в качестве председателя Совета по физическому университетскому образованию Минвуза СССР, его редакционно-издательская деятельность, работа в ВАК, многочисленные выступления в роли оппонента, его борьба с лженаукой, статьи в энциклопедических изданиях и многое другое.

Светлая память о М. А. Ельяшевиче – крупнейшем ученом и педагоге, человеке огромной души, редкого таланта и обаяния жива у всех, кто имел счастье его знать, общаться и работать рядом с ним.

Э. М. Шпилевский

ВЫДАЮЩИЙСЯ БЕЛОРУССКИЙ ФИЗИК, ИСТОРИК-НАУКОВЕД И МЕТОДИСТ

Михаил Александрович Ельяшевич начал работать в Беларуси, будучи уже маститым учёным. Доктор наук, соавтор двух монографий, за одну из которых присуждена Сталинская (Государственная) премия, один из разработчиков оптических методик и участник испытаний первого советского ядерного заряда. Работа этом направлении высоко оценена правительством (за выполнение правительственных заданий его наградили в 1949 году Орденом Ленина и вручили Сталинскую (Государственную) премию). М. А. Ельяшевич принимал участие в испытаниях ядерного, а затем термоядерного оружия. На Семипалатинском полигоне он создал оптическую лабораторию и был её руководителем. В ноябре 1955 года участвовал в испытании водородной бомбы мегатонной мощности.

В марте 1956 года М. А. Ельяшевич был избран академиком АН БССР и начал работу в Институте физики и математики. Здесь он сначала возглавил созданную им лабораторию радиоспектроскопии, затем организовал лабораторию высокотемпературной оптики. Новому направлению нужны были молодые кадры. И Михаил Александрович готовил их. Параллельно с работой в Институте физики он читал лекции в БГУ, а затем организовал там кафедру атомной и молекулярной физики. На специализирующей кафедре проходили подготовку не только студенты, но и аспиранты, как советские, так и иностранные.

В белорусский период Михаил Александрович завершил написание монографии «Атомная и молекулярная спектроскопия», ставшей настоящей энциклопедией для многих поколений физиков-спектроскопистов. Совместно со своими учениками он разработал методы и аппаратуру диагностики низкотемпературной плазмы, изучил процессы зарождения плазмы в плазмотронах и плазменных ускорителях, провёл исследования излучательной способности нагретых до высо-

ких температур газовых потоков, выявил особенности воздействия плазменных потоков на металлы и композиционные материалы. Усилиями Михаила Александровича была сформирована белорусская научная школа по физике плазмы, получившая мировую известность.

Живя и работая в Минске, он создал научные коллективы, которые совместно с Михаилом Александровичем принимали самое действенное участие в разработке оптико-электронной системы раннего обнаружения пуска баллистических ракет и других исследованиях военной тематики. В 1966 году за вклад в решения оборонных задач Михаилу Александровичу была присуждена Ленинская премия.

Весомый вклад внес М. А. Ельяшевич в изучение истории физики. Его работы о Менделееве, Эйнштейне, Боре, Максвелле, Ридберге, Ритце, о становлении квантовой механики отличались глубиной и объективностью. Публикации Михаила Александровича по истории науки трудно назвать статьями: как правило, их объём составлял 40–50 страниц журнала «Успехи физических наук». Его лекции для студентов по истории физики были насыщены яркими примерами очевидца, их с интересом посещали преподаватели и сотрудники. Мне, тогда декану физического факультета, запомнились эти лекции не только образностью изложения, но и показом динамики важнейших научных открытий, раскрытием методологии научного поиска, умением вычленить вклад конкретного учёного в решение общей проблемы, рассказами эпизодов из личной жизни известных учёных.

Являясь одним из крупнейших спектроскопистов, к тому же свободно владеющим английским, французским, немецким и достаточно хорошо итальянским языками, Михаил Александрович достойно представлял нашу науку на Международных конгрессах, конференциях, симпозиумах. Его имя хорошо знали в ученом мире и приглашали выступать с докладами. Он несколько раз побывал в Германии, Франции и Испании, а также посетил Японию, Англию, Канаду, Италию, Югославию, Австралию и США.

Разноплановая научная работа в БГУ и Институте физики, общие лекции по атомной физике, специальные курсы по спек-

троскопии сложных молекул, по истории физики, консультации аспирантов и докторантов, рецензирование и редактирование научных работ, командировки на закрытые объекты – всё это можно было успеть только благодаря незаурядному таланту, колоссальной трудоспособности и целеустремлённости Михаила Александровича.

В памяти всплывают сотни эпизодов общения с Михаилом Александровичем за многолетний период нашей совместной работы в Белорусском государственном университете. Это и яркие выступления на заседаниях студенческого научного общества и лекции Михаила Александровича, которые мне запомнились со студенческих лет, и его увлекательные популярные доклады на конференциях молодых ученых, и выступления при вручении дипломов выпускникам, на заседаниях учёных советов при защитах диссертаций и многое другое. Исследуя закономерности массопереноса и образования новых фаз при ионной имплантации металлов, я неоднократно консультировался у Михаила Александровича, а в 1981 году под его руководством помогал решать организационные вопросы по проведению Международной конференции по ионизованным газам, которая проходила в Минске с участием огромного числа (более 200) иностранных гостей.

В 70-е и 80-е годы с Михаилом Александровичем мы десятки раз обсуждали вопросы развития науки и методологии исследований, проблемы подготовки специалистов-физиков и методики преподавания. Обычно наши беседы проходили в процессе праздничных демонстраций, когда после рукопожатий сослуживцев на сборном пункте колонны трудящихся, дожидаясь своей очереди прохода перед правительственными трибунами, то медленно передвигались, то останавливались, чтобы вписаться в определённом месте нескончаемого потока. Михаил Александрович брал меня под руку, и мы подолгу прогуливались вдоль университетских колонн, обсуждая самые разные вопросы. Михаил Александрович не пропускал ни одной праздничной демонстрации, и наши прогулки-беседы были регулярными, а для меня чрезвычайно полезными. Многие мои работы по методике преподавания физики были инициированы Михаилом Александровичем.

По его рекомендации я был включен в состав делегации СССР на Международную конференцию по физическому образованию, организованную ЮНЕСКО в Праге в августе 1980 года. Отмечу, что в сформированную Минвузом и АН СССР делегацию входило лишь пять человек, и только благодаря авторитету Михаила Александровича могло состояться моё участие в этой конференции.

Как учёный, как специалист в своей области, Михаил Александрович проявлял себя блистательно, ярко, компетентно, доброжелательно и в то же время требовательно, строго следуя научной логике. Являясь по натуре добрым человеком, своими убеждениями он не поступался, дипломатично, но недвусмысленно расставлял, как говорят, всё по ранжиру.

Остановлюсь на двух эпизодах, не связанных непосредственно с научной или преподавательской деятельностью, но характеризующие Михаила Александровича как человека, искренне болеющего за результаты любого дела, за которое он взялся.

Эпизод первый. В рамках политической учёбы на физическом факультете ежемесячно проводились семинары преподавателей и сотрудников. К таким семинарам отношение было, мягко говоря, несерьёзное. Я, тогда заместитель секретаря партбюро, обратился к Михаилу Александровичу за советом, как изменить отношение к семинару. Он предложил свою тематику: «Проблемные вопросы философии естествознания» и стал руководителем этого семинара. И дела пошли. На заседания семинара никого не требовалось загонять, пришлось переходить в большую аудиторию. К занятиям готовились, их ждали, всем было интересно.

Эпизод второй. Михаил Александрович и профессор МГУ В. А. Матвеев являлись сопредседателями методического совета Министерства высшего и среднего специального образования СССР по преподаванию физики в вузах. Выезжая на заседания совета, Михаил Александрович иногда приглашал меня с собой. В одну из таких поездок (в ноябре 1982 года) методический совет должен был подготовить к утверждению новый учебный план по специальности «Физика».

Когда на методическом совете Минвуза СССР обсуждение нового учебного плана было в разгаре, министерский управленец сообщил о смерти Л. И. Брежнева и сказал, что министр распорядился в течение часа прекратить работу всех служб, работу методического совета перенести на неопределенное время и всем иногородним в течение 1–2 дней уехать из Москвы. Однако Михаил Александрович не любил откладывать незаконченные работы. Он призвал всех переехать в гостиницу и там завершить подготовку разрабатываемого учебного плана. Доводы Михаила Александровича были столь убедительны, что все, в том числе и министр, согласились.

Мы, представители всех Союзных республик и регионов Российской Федерации, жили в минвузовской гостинице «Университетская», поэтому все, включая москвичей, поехали туда. Михаил Александрович разделил нас на группы и каждой группе дал задание. Три группы разрабатывали предложения по очередности курсов, их наполнению и количеству часов, выделяемых на тот или другой предмет. Ещё три группы работали над перечнем специализаций и их наполнением. Мы работали вторую половину дня и практически всю ночь. Михаил Александрович челноком ходил от группы к группе, проверяя и корректируя наши наработки. К утру (примерно в 5 часов), в очередной раз проинспектировав нас, он, довольный результатами, распорядился 3 часа поспать, и на 9.00 назначил пленарное заседание.

На утреннем заседании Михаил Александрович поблагодарил всех за усердную и продуктивную работу, заставил всех внимательно прочитать сведенный им воедино итоговый документ и высказать замечания. Замечания были, но несущественные, их всё равно обсудили. «Ладненько, мы всё сделали. Сейчас машинистка все оформит начисто. А мы пойдём завтракать. После завтрака все соберёмся, и каждый подписью удостоверит своё согласие. Дальше – дело министра, утверждать или не утверждать» – подвел итог работы Михаил Александрович. Я понял, что, отпустив нас отдыхать, он дорабатывал документ и в эту ночь совсем не спал. Мы работали примерно 15–16 часов. А Михаил Александрович ещё больше, в свои-то 74 года. Общая обстановка в стране не позволяла

нам как-то отметить наш ударный труд, но все, и особенно присутствующие деканы и ректоры были довольны подготовленным планом.

Хочу ещё остановиться на важных для каждого человека семейных отношениях. Высокое чувство к избраннице, создание семьи, любовь и теплые взаимоотношения на протяжении десятилетий – особая книга жизни Михаила Александровича. И всё, что я знаю из этой книги (из личных бесед с Михаилом Александровичем и от его дочери Наташи, с которой знаком со студенческих лет), отражает самые высочайшие человеческие качества М. А. Ельяшевича.

Михаил Александрович Ельяшевич, молодой, подающий надежды ученый и машинистка завода «Севкабель» Мария Георгиевна Евграфова познакомились на ледовой дорожке катка в феврале 1935 года. Пылкие чувства двух молодых людей не могли пригасить уговоры и предстоящие трудности. У осиротевшей девятнадцатилетней невесты на иждивении были две младшие сестры и брат. Михаил Александрович был непреклонен. Высокое чувство победило, и в профессорскую семью была принята простая девушка, обременённая заботой о ближайших родственниках. В мае они поженились. Потом был рабфак и учёба в 1-ом Ленинградском медицинском институте. Преодолевать трудности помогала любовь. Они были счастливы от головокружительных чувств, перспективных планов и радужных ожиданий. Но в день последнего выпускного экзамена Марии Георгиевны в мединституте объявили о начале войны.

Радость и огорчения они делили на протяжении более 60 лет и каждый год 10-го февраля отмечали день своего счастливого знакомства. Вырастили троих детей, дали им прекрасное образование. Они перенесли эвакуацию, потерю близких людей, незаслуженное увольнение Михаила Александровича, обидные отказы в работе, унижающее безденежье того периода. А сколько сил и волнений доставляла ситуация, когда семья жила в Ленинграде, а Михаил Александрович работал в Москве?! Но самым трудным периодом для семьи было время, когда Михаил Александрович был отстранён от работ по закрытой тематике, уволен из Государственного оптического

института, а затем из Ленинградского института точной механики и оптики. Встретив неожиданно навалившиеся на него испытания с подлинным мужеством, Михаил Александрович не прекратил научную работу, а терпеливо боролся (в том числе и показывая новые результаты) против обвинений в свой адрес.

Минуты радостного настроения, которые приходили с творческим успехом, успехами своих детей и своих многочисленных учеников, наградами, денежными вознаграждениями, признанием окружающих и государства, почестями и новыми возможностями работать и творить, творить и работать, работать – тоже были общими.

Мария Георгиевна старалась окружить мужа заботой и вниманием, не хныкать, сдерживать и скрывать свои переживания, чтобы не отвлекать, не мешать главному делу, которому служил Михаил Александрович – работе.

Однако Михаил Александрович был не тем человеком, который мог бы переложить семейные заботы на другого, пусть близкого и ответственного человека. Горести, успехи и неудачи родных не оставались незамеченными Михаилом Александровичем. Он не только интересовался, вмешивался и корректировал поступки своих детей, но и разделял с ними свой досуг, ходил в театр, на праздничные демонстрации.

Ярким примером заботы Михаила Александровича о близких людях служит один его очень показательный сыновний поступок. Александр Борисович, отец М. А. Ельяшевича, в 1949 году как бывший эсер высокого ранга был арестован и отправлен по железнодорожному этапу вместе с уголовниками в Сибирь. Михаил Александрович, переживая за здоровье своего 62-летнего отца, бросил все дела и сопровождал своего отца по всему пути от Москвы до Канска, поддерживая его продовольственными передачами, выхлопотанным медицинским обслуживанием, своими свиданиями. Но даже для заслуженного человека (к тому времени М. А. Ельяшевич был награждён орденом Ленина и дважды удостоен Сталинской премии), такой вояж не был безопасным. И Михаил Александрович в конечном итоге пострадал из-за этого. Зная опасность, он не стал уговаривать себя: «всё обойдётся, да и стар отец», а своими дейст-

виями спас отца. Александр Борисович в 1953 году вернулся в Ленинград, ещё 8 лет работал профессором экономического вуза и умер в 1967 году в возрасте 79 лет.

Несмотря на изменение моего возраста и статуса (от студента до декана факультета, секретаря партийного бюро, заведующего отделом) Михаил Александрович постоянно вызывал (и продолжает вызывать) у меня чувство восторга его умом, деловитостью, высочайшей интеллигентностью, деликатностью, неподдельным вниманием, желанием помочь.

Л. А. Грибов

МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ. КАКИМ ОН БЫЛ?

Автор этих воспоминаний в течение многих лет имел честь и удовольствие пользоваться не просто вниманием, а, несмотря на принадлежность к разным поколениям, дружбой с Михаилом Александровичем. Создалась традиция: в каждый свой приезд в Москву Михаил Александрович всегда находил время быть у меня в доме. Всё обычно начиналось со звонка: «Лев Александрович, я в Москве. Я Вам позвоню, когда приду!» В свою очередь, я во время командировки в Минск всегда бывал в тёплой обстановке большой семьи Михаила Александровича – зимой в городе, а летом – на даче.

Такое постоянство не могло ускользнуть от внимания окружающих. Дочь Михаила Александровича – Наташа – со смехом рассказала мне, что в Минске распространился слух о том, что у Михаила Александровича есть вторая семья. В общем-то, это было правдой, только в том, конечно, смысле, что в Москве у Михаила Александровича действительно был дом, где он всегда чувствовал себя очень хорошо и свободно и мог от всяких дел отдохнуть. Ему, я уверен, было приятно бывать у нас. Иначе какой был смысл продолжать это до конца жизни?

Я хочу сразу заметить, что наши отношения не были отношениями ученика и учителя. Конечно, общение со столь крупным ученым, каким был Михаил Александрович, много дало мне в чисто профессиональном плане, но я никогда не входил в число его сотрудников, он не рекомендовал мне темы исследований и не помогал их проводить. А вот как человек он научил меня многому – как должен относиться один учёный к другому, несмотря на разность положений в науке. Прожив довольно долгую жизнь, я могу на основании своего опыта утверждать, что подобное явление в научной среде встречается весьма не часто.

В этой краткой статье я хочу остановиться лишь на нескольких эпизодах, которые, как мне кажется, и характеризуют Михаила Александровича именно как человека.

Моя судьба сложилась так, что даже при выполнении дипломной работы на Физическом факультете МГУ, который я закончил в 1956 г., у меня фактически не было руководителя. Во всяком случае, я довольно быстро обнаружил, что следование указаниям назначенного руководителя приведёт к тому, что я вообще дипломную работу не сделаю. Пришлось спасаться самому. Это «везение» продолжалось и далее. Я не учился в аспирантуре, у меня снова не было руководителя. Тем не менее к 1960 г. у меня было самостоятельно опубликовано несколько работ в журнале «Оптика и спектроскопия», которые я и обобщил в кандидатской диссертации. Написать-то я диссертацию написал, а вот потом начались «хождения по мукам». Позицию учёных, к которым я обращался с просьбой организовать защиту, чётко выразил один из них (доктор наук, замечу). Он мне прямо сказал, что, если ему будет за кого спрятаться, то… При этом раньше он мне говорил всякие лестные слова о моих публикациях и даже выражал это в письмах. Стало быть, не уровень исследований его смущал, а то, что я хожу один, как «кошка, гуляющая сама по себе». Не буду называть фамилию этого учёного, тем более что и другие были такими же. Это не мешало нам с ним в дальнейшем, когда я уже стал доктором, неоднократно вдвоём распивать бутылку вина, но по делу я уже к нему никогда не обращался. Итак, поиски в Москве ни к чему не привели.

Вот тут я решился на весьма нахальный шаг. Я был немного знаком с академиком А. Н. Терениным, который бывал иногда в лаборатории в Институте физхимии АН СССР, где я в то время работал. Я написал ему письмо, в котором изложил своё мнение о том, что теория спектров нужна, что без неё в спектроскопии не проживёшь и т. д. А. Н. Теренин находился на вершине науки, я – где-то у основания горы. Стандартный учёный повесил бы моё письмо на гвоздик в кабинете уединения. Действительно, куда сопляк лезет? Без него, что ли, мы не знаем, что делать? Академик А. Н. Теренин, с которым в дальнейшем у меня тоже сложились наилучшие отношения, стандартным учёным, к счастью, не был, а являл собой пик в виде дельта-функции на общем уровне шумов. Он поэтому и повёл себя нестандартно

– написал письмо Михаилу Александровичу – признанному главе отечественной теоретической школы – о том, что вот есть молодой человек, вроде бы дело пишущий, хорошо бы маленькое совещание собрать, обсудить положение дел, парня пригласить и т. д. Михаил Александрович сам много раз мне о письме А. Н. Теренина рассказывал. В этом письме была и такая приписка: «Я советую Вам обратить внимание на этого молодого человека. У него, мне кажется, есть будущее». Михаил Александрович обещал мне даже это письмо подарить, разыскав его в своём архиве. Я, правда, всегда сомневался в успехе этого мероприятия, глядя на громадный забитый бумагами и книгами шкаф в его домашнем кабинете, где я потом многократно сиживал.

Как уже было сказано, Михаил Александрович тоже относился к категории дельта-функций и вместе с академиком Б. И. Степановым, в то время директором Института физики АН БССР, организовывал в Минске в феврале 1961 г. совещание о проблемах дальнейшего развития того самого направления в науке, основы которого сам и заложил. Я в этом деле сыграл роль маленькой затравки. Не могу не вспомнить о некоторой анекдотической ситуации. Всем участникам были в гостинице «Минск» заказаны люксы. Платить за люкс мне было нечем, а других мест не было. Борис Иванович нашёл выход: меня поселили в кабинете зам. директора Н. А. Борисевича, который был ещё, если я не забыл что-нибудь, только кандидатом. Все тогда были молодыми. У меня в Минске сразу образовалось много дружеских связей, которые сохранились на всю жизнь. Во время совещания сотрудники Института были удивлены, наблюдая, как по утрам из кабинета зам. директора вылезает долговязый парень в пижаме с полотенцем через плечо и идёт в туалет умываться.

В Минск я взял свою диссертацию и просил Михаила Александровича её посмотреть. До этого я с ним никогда не встречался, хотя, конечно, работы его уже знал хорошо. Михаила Александровича моё положение «кошки, гуляющей сама по себе», не смутило. Дня через два я услышал следующее: «Мне понравилась Ваша работа. Если Вы не возражаете, я буду Вашим оппонентом. Второго оппонента я Вам

тоже подберу. Вы ведь сами-то никого, наверное, не знаете».

«Если Вы не возражаете!» - очень характерная для Михаила Александровича оговорка. Ему, конечно, вполне было ясно, что вряд ли найдётся дурак, который от подобного предложения откажется. Он, однако, по врождённой деликатности даже в таком деле не считал возможным себя навязывать.

В результате потом всё пошло как по маслу, и в июне того же года я стал кандидатом.

Шло время. Я явно стал двигаться в сторону докторской диссертации, по-прежнему оставаясь всё такой же кошкой.

Некоторым «нормальным» учёным стало ясно, что пора укоротить нахала. Решили прицепиться к одной моей работе, и в качестве убийственного критика избрать как раз Михаила Александровича. Результат казался совершенно ясным: после того, как и Михаил Александрович работу разгромит, Грибову придётся понять, где его место. Произошла, однако, осечка из-за особенностей личности Михаила Александровича.

Вместо того, чтобы бегло по диагонали просмотреть работу и с ходу заключить, что всё это ерунда (очень распространенная реакция), Михаил Александрович со свойственной ему мягкостью сказал мне, что некоторые выводы вызывают подозрение, но надо всё подробно обсудить. В результате все вопросы были сняты и нужные акценты расставлены. В ДАН СССР была опубликована наша совместная (их было немного) статья о точных и приближенных естественных координатах в теории колебаний молекул. Челюсти доброжелателей щелкнули зря! Конечно, попытки окоротить меня продолжались. Но было уже ясно, что в этом смысле от Михаила Александровича толку не будет!

Наступил 1964 г. Я явился к Михаилу Александровичу с докторской диссертацией. Обратите внимание на годы – 1961 и 1964. Снова Михаил Александрович поступил как Михаил Александрович: прочитал работу, посоветовал кое-что выбросить, чтобы лишних споров не вызывать, кое-что изменить (не существенно, в общем-то). Опять-таки мой возраст (мне был 31 год) его не смущал и советов не торопиться он мне не давал. В январе 1965 г. он был председателем на Со-

вете, где я докторскую успешно защитил.

Я всё это рассказываю не для того, чтобы донести до читателей свою историю, а для того, чтобы оттенить одну черту, которая проявляется в крупных личностях и учёных, да и то далеко не у всех.

Что привлекало Михаила Александровича к автору этой статьи? На основании личного длительного опыта я могу утверждать, что Михаил Александрович прежде всего увидел во мне продолжателя научного направления, им же созданного. Сам он в это время уже в основном занимался другим. Но он вполне отдавал себе отчёт, что то крупное, что он сделал в теории и методах расчётов спектров молекул, является лишь началом длинного пути. Отойдя в значительной степени от этого направления, он не мог относиться равнодушно к возможности остановки развития того, что он так успешно начал. Ему нужен был последователь. Откуда этот последователь взялся и где работает – не имело никакого значения. В авторе этой статьи такого продолжателя он, я склонен думать, и нашёл. Я уже сказал, что это является одним из очень важных признаков большого учёного. Не случайно же и Э. Резерфорд поддерживал П. Капицу, который вообще занялся совсем не тем, что делал Резерфорд. Резерфорд чувствовал, что рождается в науке очень большая фигура, и надо этому рождению помочь, а не убивать, подобно Ироду, младенца для того, чтобы рядом никто не появился!

Теперь пара бытовых эпизодов, характеризующих Михаила Александровича как очень простого в общении (конечно, без фамильярности) человека. Возвращается как-то Михаил Александрович в Москву из Англии. По традиции приходит домой ко мне. Рассказывает об Англии. В частности, что у его ботинка отлетела подошва. Советская власть выезжающих за рубеж учёных держала не просто на голодном пайке, но практически на уровне нищенства. Теперь представьте себе, что ходить не в чем, а ходить-то надо? Советский учёный находит простой выход – не обедать, а обувь купить! Михаил Александрович так и сделал и, горделиво поднял ногу, показал своё приобретение из числа «типа солдатских». Мне приятно вспомнить этот эпизод, потому что он

показывает – Михаил Александрович чувствовал себя в нашем доме именно как во второй семье. А в семье чего стесняться!?

В 1967 г. в Мадриде происходил Европейский конгресс по молекулярной спектроскопии. Фактически конгресс был Всемирным, т. к. ничего более престижного не существовало. Михаил Александрович был главой делегации и ездил за счёт государства. Таким же привилегированным был профессор В. М. Чулановский из Ленинграда. Автор статьи был приглашенным пленарным докладчиком, а потому финансировался Оргкомитетом. Остальные относились к категории так называемых научных туристов. Жили мы трое отдельно от группы и составляли нечто самостоятельное. Дипотношений с Испанией тогда у СССР не было. Поэтому летели через Париж. В конце Конгресса у нашей троицы возникла хитрая идея (Париж-то посмотреть очень хотелось!) – сознательно опоздать на самолет Париж-Москва. Эти рейсы тогда не были ежедневными. Деньги на парижское житьё мы решили взять из моего гонорара за доклад. Мне, конечно, заранее было указано, сколько денег я должен был привезти в Москву для пополнения госресурсов. Мы, однако, надеялись, что Посольство СССР в Париже войдёт в наше положение (билетов-то на более ранний рейс из Мадрида в Париж мы, как ни старались, купить не сумели – все разобрали!), а посему сочтёт наши лишние по сравнению с установленными дни пребывания в Париже и расходы обоснованными. В своём замысле мы вполне преуспели.

В Париже произошла история, о которой, возможно, даже члены семьи Михаила Александровича не знают. Всем известно, что в Париже есть площадь и улица Пигаль. Чем они знамениты – тоже многие знают.

Я и начал уговаривать Михаила Александровича погрузиться в пучину разврата и пойти посмотреть соответствующее кино, т. к. знакомство с натуральным действием нам было не по карману. После недолгого сопротивления Михаил Александрович сдался и мы отправились смотреть, как капиталисты разлагаются. Первый фильм нас не удовлетворил, т. к. содержание его в желаемом аспекте было несравненно более скромным по сравнению с тем, что сейчас показывают

ежедневно по всем каналам телевидения. Душа взыграла, и мы, пересчитав на ладони монеты, отправились во второе заведение, где нам показали сцены из программ наиболее известных кабаре мира.

Вполне довольные, мы вернулись в гостиницу (из тех, номера в которых парочки снимают часа на два). И вот заключительная сцена. В номере размером с железнодорожное купе под самой крышей, со скошенным потолком и урыльником в углу (это такой предмет, не позже 18 века, с кувшином с водой сверху и сливным ведром внизу) сидят три советских профессора – двое на кровати и третий на единственном стуле. В руках у каждого гранёные стаканы (с вином, решит читатель, и ошибётся) с водой из того самого кувшина! У автора сохранился ещё из Москвы запас еды в виде трёх плиток шоколада, которые и были розданы участникам симпозиума. Три профессора сидят, пьют и закусывают! Идиллия!

Рассказал я всё это не для того, чтобы читателей посмешить, а чтобы показать, что Михаил Александрович был естественен в любой ситуации: и среди своих коллег-учёных на приёмах и в такой необычной обстановке. Кстати, проговорили мы до середины ночи, и я до сих пор с удовольствием вспоминаю эту очень интересную беседу с двумя замечательными людьми.

Кстати, еще об одном забавном эпизоде, также с Конгрессом связанном. В Мадрид мы вначале попали только втроём: В. М. Чулановский и я первопроходцами и Михаил Александрович вечером после нашего приезда. Причина была в следующем. Милая АН СССР не сообщила в Оргкомитет, что Михаил Александрович едет как глава делегации. Поэтому ему виза в Испанию оформлена не была. С группой научных туристов было ещё хуже: первоначальный список докладчиков от СССР был одним. Но надо же было включить стукачей! Заявленный список был откорректирован. В последнюю минуту пара участников группы отказалась от поездки по разным причинам. Это снова изменило список тургруппы. Получилось три (!) разных списка! Изумленное Консульство Испании в Париже ничего понять не могло! Михаил Алек-

сандрович и велел мне и В. М. Чулановскому сразу лететь в Мадрид, чтобы разъяснить ситуацию на месте. Кто какой профессор М. А. Ельяшевич – все в Оргкомитете прекрасно знали. Поэтому вопросов не возникло, и он часов через 7–8 после нас оказался в Мадриде. По поводу же некоторых участников группы мне с М. В. Чулановским приходилось на ходу придумывать версии об их отношении к науке. Успех мы имели, но группа всё же опоздала, кажется, на два дня.

Дальше произошло следующее. В день открытия Конгресса в прекрасном парке был устроен приём. Михаил Александрович (он хорошо владел тремя языками) был «пленён» иностранными коллегами и так увлечен общением, что, когда обратился к столам, то нашёл их пустыми. Разумеется, мы двое не упустили случая по пути из парка в отель (мы жили в одном и том же) поиронизировать по этому поводу, тем более, что мы ясно видели, что Михаил Александрович есть-то очень хочет! Но… ночью не совсем привычная смесь в желудках дала нам с Чулановским знать о себе. Я по младости ещё сумел к утру немного прийти в себя и быть на открытии, а для Чулановского Конгресс начался с опозданием на один день! Этот день был днём торжества Михаила Александровича, который неоднократно с хитрой улыбкой интересовался нашим здоровьем. Конечно, все трое обладали чувством юмора, и весь эпизод послужил нам удачным предметом шуточных пикировок вплоть до конца Конгресса.

Мои многочисленные встречи с Михаилом Александровичем дают мне, разумеется, много тем для воспоминаний о нём просто как о человеке, но я боюсь утомить читателей.

Не могу не сказать о семье Михаила Александровича. Она была большой и очень дружной. Молодое поколение этой семьи лучшие качества своих родителей восприняло. Я горжусь тем, что они тоже принадлежат к числу моих друзей. Не забуду Марии Георгиевны (жена) и её сестры Ефросиньи Георгиевны. Мои визиты в этот дом начинались с разговоров с Михаилом Александровичем, а потом я попадал в руки дам, очень трогательно угощавших меня «чем Бог послал»! Вина Михаил Александрович практически не пил, разве что бокал сухого. Зато однажды в отсутствии старшего поколения я явился в дом Ми-

хаила Александровича с довольно большим запасом напитков, и мы с Наташей и Мишей (зять) оторвались, выражаясь современным литературным языком, по полной программе. В этой семье проблемы отцов и детей не существовало и особая непринуждённая атмосфера дома вполне сохранялась.

Таков был Михаил Александрович.

Мир праху его и Вечная память, ибо Праведник он был!

А. М. Ельяшевич

ВОСПОМИНАНИЯ СТАРШЕГО СЫНА

Свой рассказ о Михаиле Александровиче я начну с его предков. Отец был первым физиком в роду. Но его дед по матери – известный агроном Михаил Ефимович Филипченко, дважды удостоенный премии Стебута (самой престижной премии в России в области сельскохозяйственной науки), уже в конце прошлого века, работая управляющим имениями Балашевой на Украине, стал применять метод вращения плоскости поляризации для оценки сахаристости свеклы. В результате ему за десяток лет удалось повысить процент сахара в этой такой важной для Украины сельскохозяйственной культуре с 4% до 16%. Как утверждал директор краеведческого музея города Городище Черкасской области, сам специалист по свекле, за последующие годы ученым удалось превзойти это достижение всего на 2 или 3 процента. Так что интерес к оптике в семье возник уже давно.

Родился Михаил Александрович в Мюнхене, его родителям было всего по двадцать лет, причем они происходили из двух совершенно разных семей. Отец – Александр Борисович Ельяшевич – был сыном уроженца Новогрудка – уездного городка Минской губернии. Дед Михаила Александровича Борис Акимович воспитывался в традиционной еврейской семье, в которой гордились тем, что в ней были ученые, журналисты, ремесленники, но не было торговцев. Он поехал учиться в Москву, окончил Медицинский институт, стал военным врачом, дослужился в Иркутске до майора (высший чин, доступный в то время нехристианам), был награжден несколькими орденами: Анны, Владимира, Станислава. Из четырех его сыновей трое стали профессорами. Старший – Василий Борисович – был юристом, профессором Политехнического института в Петербурге. Эмигрировав в двадцатые годы во Францию, он в течение многих лет возглавлял в Париже Союз выпускников Политехнического института. Второй сын – Зиновий Борисович – работал всю жизнь в Баку, стал профессором-электротехником, заслуженным деятелем науки Азербайджана.

Многие армянские и азербайджанские академики были его учениками. К судьбе третьего брата – профессора-экономиста и отца Михаила Александровича я еще вернусь.

Еще больше известны в научной среде предки матери Михаила Александровича – Екатерины Михайловны Филипченко. Девичья фамилия ее матери – Кистяковская говорит сама за себя, а девичья фамилия ее бабушки была Бугаева. Сын известного московского профессора математики Николая Васильевича Бугаева Борис, известный в русской поэзии под псевдонимом Андрей Белый, приходился бабушке Михаила Александровича двоюродным братом. Его же двоюродным же дядей был Юрий Александрович Филипченко – основатель кафедры генетики Ленинградского университета. Так что оснований для природной интеллигентности Михаила Александровича, о которой здесь говорилось, было достаточно – гены от родителей ему достались хорошие.

Но кроме природных способностей Михаил Александрович обладал двумя редко сочетающимися качествами: с одной стороны, ему были присущи необычайная широта интересов и азарт, а с другой стороны – необычайная целеустремленность и высочайшая самодисциплина. Что касается первого качества, то мой дед считал благом закрытие в Ленинграде игорных домов: он боялся, что его сын Миша настолько азартен, что станет не ученым, а профессиональным игроком.

Л. М. Томильчик в своем выступлении сказал, что в Михаиле Александровиче было много детского. Это очень точное наблюдение. Он действительно обладал детской живостью, любознательностью, искренностью, непосредственностью и сохранил эти качества до последнего дня своей жизни. Что же касается его целеустремленности и самодисциплины – приведу лишь один пример. Школьником отец очень хорошо играл в шахматы. Он занимался в группе мастера Романовского, учениками которого были и будущий чемпион мира Михаил Ботвинник, и замечательный белорусский гроссмейстер Игорь Болеславский. Но в 10 классе он решил, что занятия наукой и шахматами несовместимы, выбрал науку и поставил на шахматах крест.

Это был, безусловно, правильный выбор – в научных кругах Ленинграда тогда царила исключительно благоприятная

для творчества атмосфера. На выставке трудов Михаила Александровича выставлен первый номер «Журнала экспериментальной и теоретической физики». В первом выпуске на первой странице помещена статья Михаила Александровича – двадцатидвухлетнего студента. Его научный руководитель – будущий академик Александр Николаевич Теренин отказался от соавторства, объяснив это тем, что работал студент, а он только консультировал. Такую атмосферу высокой нравственности отец старался создавать и поддерживать всю свою жизнь, где бы он ни работал. И своим ученикам он прививал серьезное, преданное отношение к науке. Он служил примером не только для тех, кто у него учился или кто с ним работал. Один ученый (я, к сожалению, не помню его фамилии) рассказывал мне, что когда он приехал к Михаилу Александровичу, которому тогда уже было за восемьдесят, чтобы получить отзыв на докторскую диссертацию и привез ему, как это нередко делается, «болванку» отзыва, то отец даже не взглянул на нее, а стал подробно обсуждать саму работу. Он разговаривал с диссертантом три часа, и тот признался мне, что он не представлял, что можно так глубоко вникнуть в его работу, не будучи специалистом по компьютерным методам, применению которых была посвящена диссертация.

Когда началась Великая Отечественная война, отец подавал заявление за заявлением с просьбой отправить его на фронт. Все они были оставлены без внимания. Эвакуированный в Йошкар-Олу Государственный оптический институт, сотрудником которого в то время был Михаил Александрович, выполнял очень важные для обороны страны работы. Отец вел в институте по местной радиосети передачу «На фронтах Отечественной войны». Не так давно я встретил бывшую сотрудницу ГОИ, которая рассказала мне, что она до сих пор хорошо помнит голос моего отца, его характерные интонации: «Именно от него мы узнавали обо всем, что происходило на фронте, сначала со страхом слушали сообщения об отступлении, а потом с радостью – о победах».

Я не могу не рассказать о самом тяжелом периоде в жизни нашей семьи. В 1949 году был арестован отец Михаила Александровича Александр Борисович. Это случилось 17 сентября, через три недели после успешного испытания первой совет-

ской атомной бомбы, в организации оптических наблюдений за которым отец принимал активное участие. Арестовали деда по «ленинградскому делу», по которому были арестованы многие ленинградские экономисты. Обвинили же его в том, что он выступал против советской власти в 1918 году. Дело в том, что дед, кроме того, что был крупным экономистом (он окончил Мюнхенский университет и в 1914 году защитил в этом университете докторскую диссертацию по экономике, а в 20-х годах был инициатором и организатором инженерно-экономического образования в Ленинграде, его портрет висит вторым в галерее ректоров Санкт-Петербургского Инженерно-экономического университета), состоял в партии эсеров, причем относился не к левому, а к правому ее крылу.

Приехав в 1917 году после Февральской революции в Петроград (до этого он, пойдя в армию вольноопределяющимся, с 1914 года воевал на передовой, заслужив два солдатских Георгия), Александр Борисович активно включился в политическую жизнь, был избран в Учредительное собрание и даже выступил на последнем его заседании. После разгона Учредительного собрания до середины 1918 г. он открыто выступал против политики большевиков. Дали ему по 58-й статье (контрреволюционная деятельность) смешной по тем временам срок – 5 лет ссылки. В результате в 1950 году его отправили по железнодорожному этапу вместе с уголовниками в Сибирь. Было ему в это время 62 года, крепким здоровьем он, перенесший ленинградскую блокаду, не отличался и едва ли доехал бы живым до места назначения – уголовники с «врагами народа» не церемонились и пищу у них часто отбирали. Жизнь ему спас его сын – Михаил Александрович.

После испытания атомной бомбы отец среди прочих наград (орден Ленина, Сталинская премия «по закрытой линии») получил так называемый «ковер-самолет» – удостоверение, дающее право на бесплатный проезд по территории Советского Союза всеми видами авиационного, железнодорожного и морского транспорта, а также на внеочередное получение билетов. И вот, пользуясь «ковром-самолетом», Михаил Александрович сопровождал своего отца по всему пути от Москвы до Канска. Он прилетал в каждый промежуточный пункт пути и, надев все свои награды (а дважды лауреатами Сталинской премии тогда

были единицы), шел к начальнику местного МГБ, и просил положить Александра Борисовича на некоторое время в тюремную больницу и передать ему продукты. Ни разу он не получил отказа, и дед благополучно добрался до Канска, где жил до своего возвращения в 1953 году после амнистии в Ленинград.

Такой поступок не остался ненаказанным. Директор Ленинградского института точной механики и оптики, в котором работал Михаил Александрович (кстати, бывший ученик деда, проявлявший живой интерес и сочувствие к судьбе своего учителя: «Конечно то, что произошло с Александром Борисовичем является недоразумением. Как он себя сейчас чувствует?»), попытался втянуть отца в какие-то темные дела, считая, что сын осужденного контрреволюционера не посмеет ему возразить. Отец же не побоялся вместе в другими принципиальными членами партии открыто выступить против действий директора, которые он считал нечестными. Тогда директор инициировал партийное дело, в результате которого послушная директору партийная организация исключила отца из партии. Обком, правда, не утвердил это решение. Первый секретарь – Фрол Романович Козлов – задал только один вопрос: «За что награды?», а услышав ответ, сказал: «Ладно, хватит с тебя строгача». Директору ЛИТМО оставался один путь расправы – увольнение. В результате отец остался без работы и 8 месяцев не мог никуда устроиться. Жила наша семья эти месяцы на деньги, оставшиеся от Сталинских премий, а Михаил Александрович за это время написал «Спектры редких земель». В конце 1951 года отец пошел на прием к тому же Ф. Р. Козлову и тот милостиво разрешил отцу преподавать в вузе и дал указание, чтобы его взяли на работу в Педагогический институт им. А. И. Герцена.

Я не буду рассказывать о дальнейших событиях – возвращении после смерти Сталина к научной работе в Институте химической физики (отец в течение длительного периода каждую неделю ездил в Москву), переезде в 1956 году в Минск, а перейду к последнему периоду его жизни. За полтора года до смерти, летом 1994 года, у отца обнаружили неизлечимый рак печени. И эти свои последние полтора года, к удивлению всех врачей, он не просто жил, а интенсивно работал, продуктивно

используя каждый день, каждый час. У него как будто появилось второе дыхание. Желая сохранить ясность ума, Михаил Александрович до последних дней отказывался от наркотиков (их ему стали давать за несколько дней до кончины). Близким он не позволял даже заикаться о своей болезни. Он считал, что должен работать.

Человеком он был очень пунктуальным и фиксировал все свои дела. Я составил опись материалов, содержавшихся в его последней папке за 1995 год. Эта опись заняла 8 страниц. Можно по дням установить, что он делал. Поразительно, сколько он успел за это время. В этот год он написал много писем, копии которых сохранял. В этих письмах проявилась необычайная деликатность отца, его забота о других. Среди отправленных писем есть письма к женам и детям умерших друзей, которых он старался утешить и морально поддержать.

2 ноября, за два месяца до смерти, произошел страшный случай – отец упал на улице и очень сильно разбил лицо. Мама рассказывала, что когда он вошел в квартиру, все его лицо было залито кровью и она даже не понимает, как смогла сохранить выдержку и оказать ему первую медицинскую помощь. А вот как отец описывает этот случай в письме к Льву Александровичу Грибову: «Узнал, что у Вас было не хорошо с сердцем. Надеюсь, Вы теперь совсем поправились. Будьте осторожны и помните о возрасте. Хотя Вы и много моложе меня, но у Вас чрезмерная нагрузка, тогда как я веду спокойный образ жизни. У меня тоже не все было благополучно. Переоценив свои силы, я ездил в Академию наук в городском транспорте, и по дороге туда, идя к остановке троллейбуса, споткнулся около цирка, упал и расшиб до крови нос. Пришлось вернуться домой, а потом обращаться к врачам. Сразу же мне помогла Мария Георгиевна. Теперь все прошло и чувствую себя удовлетворительно. Хорошо, что я себе ничего не сломал. В основном сижу дома, ко мне приходят сотрудники. В Академию наук съездил раз туда и обратно на машине, такая возможность у меня имеется, и мне идут навстречу. Работаю по утрам. Кстати, вызвали большой интерес мои воспоминания, как в Москве, так и здесь. А возраст есть возраст, и ничего не поделаешь». И такой оптимизм он сохранил до последнего дня своей жизни. 31 декабря, за четыре дня до смерти, его отнесли в ванну. Он лежал в ванне

и говорил: «Как мне хорошо! Как я счастлив!» Он жил полной жизнью до последней своей минуты. Вечером 3 января мне позвонила в Петербург сестра Наташа и предупредила, что папа находится в тяжелом состоянии, и я должен быть готов к худшему. Утром она позвонила еще раз и сказала, что папа скончался. А накануне вечером он сказал Марии Георгиевне, которая не спала несколько ночей: «Ты знаешь, сегодня я чувствую себя лучше, спи спокойно». Она заснула, а когда проснулась, он был уже холодный, а его рука была сжата в кулак. До последней минуты он заботился о других.

Чтобы не заканчивать мой рассказ на такой грустной ноте, я хочу сказать, что отец прожил прекрасную жизнь. И еще... В 1956 году он переехал в Минск, и 40 лет, прожитые здесь, были счастливейшими годами его жизни. Он полюбил Беларусь, ставшую для него настоящей родиной. От всей нашей семьи я хочу выразить глубокую благодарность Беларуси, ее Национальной Академии Наук, всем ученикам, сотрудникам и товарищам Михаила Александровича за то, как они относились к нему при его жизни, и за то, как сейчас помнят о нем, за все прекрасные слова, которые были здесь сказаны. Спасибо!

Основные даты жизни и деятельности академика М. А. Ельяшевича

М. А. Ельяшевич родился 21 августа 1908 г. в г. Мюнхене.

1908–1910, 1912	–	жил в Германии вместе с родителями.
1911	–	жил в Петербурге.
1913–1922	–	жил в Иркутске, на Украине (под Киевом) и в Саратове.
1925	–	окончил среднюю школу в Ленинграде.
1925–1930	–	студент физического отделения физико-математического факультета Ленинградского государственного университета.
1930	–	окончил физико-математический факультет Ленинградского государственного университета (по специальности электрофизика).
1930	–	научный сотрудник Главной геофизической обсерватории (Ленинград).
1930–1931	–	ассистент Политехнического института связи (Ленинград).
1930–1935	–	научный сотрудник Института химической физики АН СССР (Ленинград).
1933	–	вышла монография «Элементарные процессы обмена энергии в газах».
1932–1937	–	ассистент Ленинградского политехнического института.
1935–1949	–	научный сотрудник Государственного оптического института (Ленинград).
1935–1941	–	ассистент Ленинградского Государственного университета.
1937	–	защитил кандидатскую диссертацию на тему «Вращательно-колебательная энергия многоатомных молекул».
1940	–	вышла монография «Спектры атомов редких земель».
1941–1945	–	находился в эвакуации в Йошкар-Оле Марийской АССР.
1944	–	защитил докторскую диссертацию (диплом доктора наук выдан в 1945 г.).
1945	–	принят в члены КПСС.
1945	–	награжден медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне».
1945–1946	–	профессор Ленинградского Государственного педагогического института им. А. И. Герцена.
1946–1948	–	главный редактор Ленинградского отделения «Гостехиздата».

1946–1951	–	заведующий кафедрой теоретической физики Ленинградского института точной механики и оптики.
1948	–	присвоено ученое звание профессора (кафедра теоретической физики).
1948	–	доцент Ленинградского государственного университета.
1949	–	вышла монография «Колебания молекул» (в соавторстве с М. В. Волькенштейном и Б. И. Степановым).
1949	–	присуждена Государственная премия СССР за выполнение научных исследований в области физики.
1949	–	награжден орденом Ленина.
1950	–	присуждена Государственная премия СССР за двухтомную монографию «Колебания молекул».
1952–1956	–	профессор Ленинградского государственного педагогического института им. А. И. Герцена
1953	–	издана монография «Спектры редких земель».
1954–1956	–	заведующий лабораторией Института химической физики АН СССР (Москва).
март 1956	–	избран академиком Академии наук БССР.
1956	–	переезд в Минск на постоянную работу.
1956–1957	–	заведующий лабораторией радиофизики Института физики и математики АН БССР.
1956–1988	–	член редколлегии журнала «Оптика и спектроскопия».
1956	–	награжден орденом «Знак Почета».
1957–1968	–	заведующий лабораторией высокотемпературной оптики Института физики АН БССР.
1957–1968	–	профессор Белгосуниверситета.
1959	–	заместитель главного редактора «Инженерно-физического журнала».
1962	–	вышла монография «Атомная и молекулярная спектроскопия».
1964–1985	–	заместитель главного редактора «Журнала прикладной спектроскопии», с 1986 г. член редакционного совета журнала.
1966	–	присуждена Ленинская премия за работы по физике плазмы, связанные с проблемами защиты входящих в атмосферу космических аппаратов.
1967–1971	–	депутат Верховного Совета БССР.
1968–1977	–	заведующий лабораторией неравновесных процессов Института физики АН БССР.

1968–1977 – заведующий кафедрой атомной и молекулярной физики БГУ.

1968 – награжден орденом Трудового Красного Знамени за заслуги в научно-педагогической деятельности и в связи с 60-летием со дня рождения.

1970 – награжден медалью «За доблестный труд».

1971 – награжден Почетной Грамотой Президиума Верховного Совета БССР.

1977–1983 – профессор кафедры ядерной физики, профессор-консультант Белгосуниверситета.

1978 – присвоено звание «Заслуженный деятель науки БССР».

1982 – член бюро Отделения физико-математических наук АН БССР.

1983–1990 – старший научный сотрудник-консультант, с 1987 г. – главный научный сотрудник НИИ прикладных физических проблем БГУ им. А. Н. Севченко.

1983 – награжден Почетной Грамотой Президиума Верховного Совета БССР за многолетнюю научно-педагогическую работу, подготовку научных кадров и в связи с 75-летием.

1990–1995 – главный научный сотрудник Академического научного комплекса «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова».

1990 – член Правления Белорусского физического общества.

1992 – присуждена Государственная премия Республики Беларусь за цикл работ по физике плазмодинамических процессов при лазерно-плазменном взаимодействии на металлы и композиционные материалы.

1995 – советник при дирекции Института молекулярной и атомной физики НАН Беларуси.

4 января 1996 года М. А. Ельяшевич скончался в г. Минске.

Лауреат Ленинской, двух Государственных премий СССР, Государственных премий БССР и Республики Беларусь академик М. А. Ельяшевич. 80-е годы.

М. А. Ельяшевич с матерью Е. М. Филипченко.
Германия, 1908 г.

М. А. Ельяшевич. Германия, апрель 1910 г.

Отец М. А. Ельяшевича А. Б. Ельяшевич.
Иркутск, 1903 г.

Бабушка и дед М. А. Ельяшевича по линии матери –
Л. Ф. Филипченко и М. Е. Филипченко. Ялта, 1908 г.

М. А. Ельяшевич (первый ряд справа) с учениками 2 класса II ступени средней школы № 217. Слева в первом ряду – директор школы В. Л. Краснов. Петроград, 1923 г.

Ассистент Ленинградского государственного университета М. А. Ельяшевич со студентами группы геофизиков физического факультета. Ленинград, 1939 г.

М. А. Ельяшевич в Йошкар-Оле во время эвакуации с ГОИ.

М. А. Ельяшевич после вручения Государственной премии СССР. Ленинград, 1950 г.

М. А. Ельяшевич (первый ряд, слева в центре) среди участников ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне. Май 1968 г.

М. А. Ельяшевич с женой Марией Георгиевной, дочерью Натальей и сыном Алексеем. Ленинград, 1948 г.

М. А. Ельяшевич с сыном Михаилом на Первомайской демонстрации. Слева – академик Н.А.Борисевич. 1958 г.

Академик М. А. Ельяшевич с учениками – академиком Л. И. Киселевским и доктором физ.-мат. наук И. А. Малевичем. Конец 80-х годов.

Академик М. А. Ельяшевич со своим учеником кандидатом физ.-мат. наук А. А. Сокольским.

Академик М. А. Ельяшевич в лаборатории высокотемпературной оптики при подготовке установки ЭПР к эксперименту с С. С. Шушкевичем (ныне член-корреспондент НАН Беларуси). 1959 г.

Лекция академика М. А. Ельяшевича в ГОИ.
Ленинград, 1979 г.

В перерыве конференции. Академик М. А. Ельяшевич с коллегами. 80-е годы.

Академик М. А. Ельяшевич на конференции, посвященной 100-летию Н. Бора. Вильнюс, 1985 г.

Сессия АН БССР. 1986 г.

Академик М. А. Ельяшевич на ноябрьской демонстрации. 80-е годы.

Редколлегия «Журнала прикладной спектроскопии» в день 20-летия журнала. Ноябрь, 1984 г.

Михаил Александрович и Мария Георгиевна
в день Золотой свадьбы. Май 1985 г.

Академик М. А. Ельяшевич на Торжественном собрании,
посвященном 40-летию Института физики НАН Беларуси.
Справа – директор института академик П. А. Апанасевич.
Январь 1995 г.

Таким он запомнился нам – его ученикам и современникам.
М. А. Ельяшевич во время лекции о Н. Боре
во Дворце Ученого. Вильнюс, октябрь 1985 г.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ АКАДЕМИКА М. А. ЕЛЬЯШЕВИЧА*

I. Монографии:

1. Элементарные процессы обмена энергии в газах // ГТТИ. Серия «Успехи физики». 1933. 99 с. (совместно с В. Н. Кондратьевым).
2. Спектры атомов редких земель. Л., 1940. 152 с.
3. Колебания молекул: В 2 т. М.; Л., 1949. 1040 с. (совместно с М. В. Волькенштейном и Б. И. Степановым).
4. Спектры редких земель. М.; Л., 1953. 456 с. (монография переведена на английский язык).
5. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.; Л., 1962. 892 с.
6. Колебания молекул. М., 1972. 699 с. (совместно с М. В. Волькенштейном, Б. И. Степановым, Л. А. Грибовым).

II. Научные статьи:

1. Fluorescence of Mercury Vapour in the Far Ultra-Violet // Nature. 1930. V. 125. № 3162. P. 856 (совместно с А. Н. Терениным).
2. Оптическое возбуждение паров ртути в далекой ультрафиолетовой области спектра // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1931. Т. 1. С. 1–8.
3. Волновое уравнение трехатомной молекулы // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1936. Т. 5. С. 232–243.
4. Вращательно-колебательная энергия многоатомных молекул // Труды ГОИ. Т. 12. Вып. 106. С. 1–136.
5. Колебательные спектры молекул углеводородов: Методы изучения колебаний // Журнал физической химии. 1940. Т. 14. С. 451–473.
6. Колебательные спектры молекул углеводородов: Приближенный метод отделения колебаний групп OH, CH_2 и CH_3 // Журнал физической химии. 1940. Т. 14. С. 483–488.
7. Колебательные спектры молекул углеводородов: Общий метод составления уравнений для расчета колебаний сложных молекул // Журнал физической химии. 1940. Т. 14. С. 1331–1346.
8. Колебательные спектры молекул углеводородов: Зависимость формы колебаний от симметрии молекулы // Журнал физической химии. 1941. Т. 15. С. 831–846.
9. Колебательные спектры молекул углеводородов: Упрощенная методика составления уравнений для определения частот колебаний сложных молекул // Журнал физической химии. 1941. Т. 15.

* Общее число научных публикаций и статей в энциклопедических изданиях М. А. Ельяшевича превышает 200.

С. 847–864.

10. Расчет колебаний органических молекул // Известия АН СССР. Серия физическая. 1941. Т. 5. С. 155–157.

11. Колебательные спектры молекул углеводородов: Расчет частот пропана и бутана // Журнал физической химии. 1943. Т. 17. С. 145–158 (совместно с Б. И. Степановым).

12. Решение основных задач теории колебательных спектров многоатомных молекул: Дисс. док. физ.-мат. наук. 1944. 460 с.

13. Механика колебаний молекул // Успехи физических наук. 1946. Т. 28. С. 482–544.

14. Современное состояние радиоспектроскопии // Успехи физических наук. 1954. Т. 54. С. 513–550.

15. Свойства симметрии кристаллов и общая классификация точечных групп // ДАН БССР. 1959. Т. 3. С. 44–46.

16. О точных и приближенных естественных координатах в теории колебаний многоатомных молекул // ДАН СССР. 1966. Т. 166. С. 1080–1083.

17. Действие мощных световых потоков на металлы // Журнал технической физики. 1966. Т. 36. С. 1273–1279 (совместно с С. И. Анисимовым, Л. А. Бонч-Бруевичем, Я. И. Имасом, Н. А. Павленко, Г. С. Романовым).

18. Применение спектроскопических методов для диагностики низкотемпературной плазмы // Низкотемпературная плазма. М., 1967. С. 287–284.

19. Переход от квадратичного эффекта Штарка к линейному для спектральных линий атома лития. Расчет расщепления уровней энергии // Оптика и спектроскопия. 1968. Т. 25. С. 12–16 (совместно с В. И. Толкачевой).

20. Изучение физического состояния продуктов разрушения при лазерном воздействии на конденсированные среды // Журнал прикладной спектроскопии. 1971. Т. 15. С. 200 (совместно с В. К. Гончаровым, Л. Я. Минько и Г. С. Романовым).

21. Возможность применения высокоскоростной спектрографии для диагностики эрозионных импульсных плазменных ускорителей // Журнал прикладной спектроскопии. 1972. Т. 14. С. 422–425.

22. Вывод уравнения типа Бибермана-Холстена для неравновесно излучающего двухатомного газа // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 20. С. 95–97 (совместно с В. И. Кругловым, Ю. В. Ходыко).

23. Взаимодействие лазерного излучения с эрозионными плазменными потоками // Тезисы докладов V Всесоюзного совещания по неравновесному взаимодействию оптического излучения с веществом. Л., 1981. С. 7–8 (совместно с Л. Я. Минько).

24. Расчет параметров светоэрозионных плазменных факелов с учетом спектральной зависимости их излучательных характеристик // Труды IV Всесоюзной конференции «Динамика излучающего газа». М., 1981. Т. 1. С. 90–101 (совместно с Г. С. Романовым и Ю. А. Станкевичем).

25. Термодинамические функции и коэффициенты поглощения плазмы висмута и ксенона при температурах до 30 эВ // Труды IV Всесоюзной конференции «Динамика излучающего газа». М., 1981. Т. 1. С. 129–139 (совместно с Ф. Н. Боровик, С. И. Касько, Г. С. Романовым, К. Л. Степановым, М. И. Сыркиным и В. И. Толкачевым).

26. Исследование процессов плазмообразования и динамики формирования эрозионных плазменных факелов при воздействии лазерного излучения умеренной интенсивности на твердые тела // IV Всесоюзная конференция по физике низкотемпературной плазмы: Тезисы обзорных докладов. Л., 1983. С. 42–51 (совместно с Л. Я. Минько и Г. С. Романовым).

27. Динамика плазмы, возникающей при действии лазерного излучения на твердые преграды // Известия АН СССР. Серия физическая. 1985. № 6. С. 1132–1139 (совместно с Л. Я. Минько, Г. С. Романовым, Ю. А. Станкевичем, Ю. А. Чивелем, А. Н. Чумаковым).

28. О закономерностях деформации энергетического спектра вещества при сверхвысоких сжатиях // Доклады АН БССР. 1987. Т. 31. № 2. С. 127–130 (совместно с Ф. Н. Боровик, Г. С. Романовым).

III. Труды по истории науки

Перечень трудов М. А. Ельяшевича, посвященных историко-методологической проблематике, представлен в списке литературы к статье Л. М. Томильчика и Н. Г. Кембровской в этом сборнике

ЖУРНАЛ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ТОМ.1 1931

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ПАРОВ РТУТИ В ДАЛЕКОЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА.

М. А. Ельяшевич.

1. Задача и метод исследования.

Целью работы являлось исследование полосатого спектра испускания паров ртути в далекой ультрафиолетовой области 1850–2000 Å при возбуждении в этой же области. Как известно, для спектра поглощения плотных ртутных паров, который по всем данным принадлежит двухатомной молекуле ртути, являются характерными области сплошного поглощения, примыкающие к резонансным линиям атома ртути 1849 и 2537 со стороны длинных волн. Испускание при возбуждении в последней области исследовано довольно подробно,[1] испускание же при возбуждении в области поглощения у линии 1849 хотя и неоднократно изучалось,[2] но лишь для длин волн более 2000 Å. Между тем весьма важно исследование испускания в той же области, где происходит поглощение: в этом случае молекулы ртути еще не претерпели изменений, ведущих к испусканию более длинных волн;

[1] Pringsheim und Terenin. ZS. f. Phys. **47,** 330, 1928;Ray1eigh. Proc. Roy. Soc. **125,** 1, 1929.

[2] Mrozowski. ZS. f. Phys. **50,** 657, 1928; Wood and Voss. Proc. Roy. Soc **119,** 698, 1928; Niewodniszanski. ZS.f. Phys. **49,** 59, 1928.

отсутствие таких данных представляло значительный пробел. Затем весьма интересно было сравнить испускание ртути в области, примыкающей к резонансной линии 1849 (1^1S_0–2^1P_1,) с соответствующим испусканием кадмия, изученным Капуцинским;[3] следует отметить, что для ртути сравнительно легко можно было изучить влияние перегрева, тогда как для кадмия это затруднительно, – упругость паров кадмия достаточна лишь при высоких температурах.

Для исследования применялся обычный метод оптического возбуждения: мощная конденсированная искра возбуждала пары ртути в кварцевом сосуде, нагреваемом до заданной температуры; флуоресценция фотографировалась спектрографом, прозрачным для ультрафиолетовых лучей (кварцевым или флуоритовым). По сравнению с обычными условиями работы этим методом пришлось столкнуться со значительными трудностями из-за сильного поглощения в далекой ультрафиолетовой области спектра; уже поглощение воздуха весьма велико, и поэтому длина хода как возбуждающего, так и испускаемого луча должна быть сведена к минимуму; поглощение кварца также значительно, так что всюду, где было возможно, применялся вместо него флуорит. При соблюдении этих условий удалось весьма успешно наблюдать флуоресценцию; ее интенсивность в исследуемой области очень велика, и тот факт, что ранее она наблюдалась лишь однажды,[4] объясняется лишь недоучетом трудностей работы в этой области.

Помимо исследования испускания были произведены опыты с поглощением паров ртути, в качестве дополнения к опытам с испусканием.

---

[3] Kapuscinski C. R. Soc. Pol. de Phys. 2, 8, 5, 1927, ZS. f. Phys. **41,** 214, 1927.

[4] Теренин, ZS. f. Phys. **31,** 98, 1926. Наблюдено лишь наличие узкой полосы флуоресценции в области возбуждающих линий A1 1854–1862 Å.

2. Описание установки.

Схема установки изображена на рис. 1. Искра *A*, служившая источником света, получалась при колебательном разряде емкости порядка 20000 *см* (лейденские банки или два последовательно включенных минос-конденсатора), заряжаемой от вторичной обмотки трансформатора; первичная обмотка последнего питалась от городской сети переменного тока (120 V, 50 герц при мощности до 2 kW). Искровой промежуток состоял из массивных (для лучшего охлаждения) алюминиевых электродов и регулировался так,

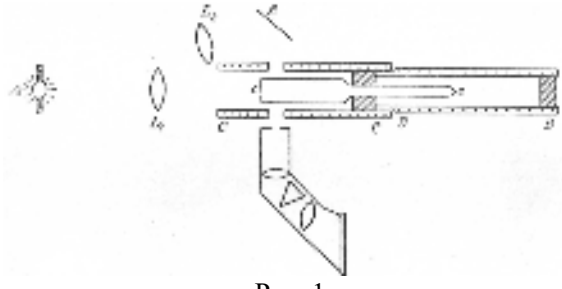


Рис. 1

чтобы излучение в области коротких волн было максимальное,[5] разрядное напряжение было порядка от 5000 до 10000 V. Короткофокусная флуоритовая линза L_1 проектировала свет от искры на сосуд; расстояние от искры до сосуда не превышало 16 *см*. Кварцевый сосуд *cc* был цилиндрический (диаметр около 2 *см*) с плоским входным окошком; ртуть находилась в отростке сосуда в специальном углублении.

---

[5] Это будет достигнуто при максимальной энергии отдельных разрядов (см. Kowalski C. R. **158,** 1337, 1914); поэтому выгодно иметь высокие разрядные потенциалы и большие емкости. Это осуществляется, беря разрядный потенциал близким к напряжению на концах вторичной обмотки трансформатора и такую мощность в первичной обмотке, чтобы емкость как раз успела зарядиться и разрядиться за полупериод тока. По вопросу о получении мощной искры см. Warburg. ZS. f. Elektroch. **97,** 133, 1921, библиография у Löwe, Handbuch d. Phys. T. XIX, 1929.

Сосуд нагревался двойной электрической нихромовой печкой: часть *BB* печки (намотанная для равномерности нагрева на железном цилиндре) создавала нужную упругость паров, часть *CC* нагревала пары до заданной температуры (допускала нагрев до 1000°). Температура измерялась термопарами Ni – NiCr и NiCr – const, с точностью около 10° (при низких температурах точнее, при высоких менее точно), что было вполне достаточно для качественных исследований. Кроме описанного сосуда применялся также другой, в виде круглой колбы (рис. 2), около 5 *см* диаметром с отростком; ртуть находилась на дне колбы, которое подогревалось печкой из нихромовой спирали, утопленной в асбесте, отросток же охлаждался воздухом или специальным водяным охлаждением; при этом получалась весьма энергичная дистилляция, которая могла быть сильно уменьшена нагреванием отростка небольшой цилиндрической печкой. Сосуды перед отпайкой прогревались в течение нескольких часов при усиленной откачке, затем вводилась ртуть перегонкой в вакууме.

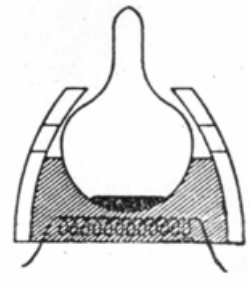


Рис. 2

Флуоресценция фотографировалась светосильным спектрографом, вплотную приставляемым к отверстию, сделанному в печке; этим устранялся лишний путь луча в воздухе и линзе для проектирования флуоресценции на щель спектрографа. Наилучшие результаты были получены со специально смонтированным флуоритовым спектрографом с общей длиной хода луча только около 12 *см* и светосилой 1 : 3; дисперсия была невелика, – около 40 Å на 1 *мм* для области 1850, но достаточна для хорошего разрешения линий алюминия 1854 и 1862; большим достоинством спектрографа являлось и то, что почти весь спектр в короткой области получался сфокусированным одновременно. Выдержки с этим спектрографом брались от 5 до 15 минут (расстояние от места возбуждения флуоресценции в сосуде до щели спектро-

графа 2–3 *см*). Что поглощение действительно играет роль при работе в исследуемой области, ясно видно из сравнения этих результатов с результатами, даваемыми кварцевым спектрографом с длиной хода луча около 25 *см*; грубо говоря, то, что с флуоритовым спектрографом получалось за 5 минут, с кварцевым требовало выдержки в 5 часов. Однако и с кварцевым спектрографом с достаточно коротким ходом луча (малая демонстрационная модель Фюсса) удалось получить удовлетворительные результаты. Пластинки применялись главным образом шумановские, как наиболее чувствительные в области коротких волн; были произведены и снимки на сенсибилизированных обыкновенных пластинках, причем наилучшее сенсибилизирующее действие для области 1850 получалось при употреблении масла для швейных машин (обычно применяемое парафиновое масло давало худшие результаты). Помимо флуоресценции на каждой пластинке снимался спектр алюминиевой искры в качестве спектра сравнения; для этого свет от искры проектировался на щель спектрографа через сосуд при помощи линзы L_2 и зеркала *K* (стеклянной пластинки; стекло хорошо отражает в области коротких волн) (см. рис. 1). Выдержки были невелики – от 1 до 10 сек. Это же устройство служило и для исследования поглощения паров (при нагретом сосуде свет от искры, проходя через него, поглощался).

Съемка всегда производилась при вполне установившейся температуре в печке. При ненагретом сосуде производились контрольные снимки для учета роли света, рассеянного стенками сосуда (в случае цилиндрического сосуда роль рассеянного света была незначительна). Были произведены два ряда снимков: 1) при постоянной температуре и переменном давлении и 2) при постоянном давлении и переменной температуре (перегрев). В первом случае температура поддерживалась постоянной от 240° до 500° для различных серий снимков. Одна подобная серия снимков на одной пластинке воспроизводится (рис. 3); температура паров 450°. Верхний снимок – спектр алюминиевой искры.

3. Результаты опытов.

Уже при 145° (давл. 2,5 *мм*) появляется слабое обратное испускание линии алюминия 1854, интенсивность которого с увеличением упругости сильно возрастает и появляется обратное испускание линии 1862,[6] затем появляется сплошное испускание от 1854 к коротким волнам, на фоне которого довольно резко видно обратное испускание следующих линий алюминия – 1935 и 1990.

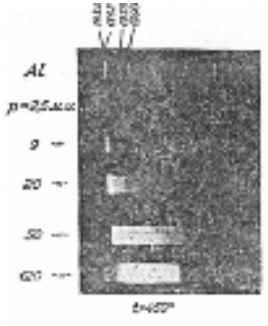


Рис. 3

В сторону длинных волн сплошное испускание доходит до 2345, где оно обрывается. Одновременно с усилением испускания и его распространением к длинным волнам со стороны коротких волн происходит постепенное поглощение. Появление линии в обратном испускании вполне соответствует распространению области поглощения у резонансной линии 1849 (**1^1S_0–2^1P_1**) к длинным волнам; это подтвердилось опытами с поглощением алюминиевых линий: сперва поглощается линия 1854**,** при большей плотности паров 1862 и при еще большей 1935 и 1990.Описанное испускание паров ртути весьма схоже с испусканием паров кадмия;[7] обратное испускание возбуждающих линий, однако, у ртути более резко, чем у кадмия, что особенно заметно для линии 1854. На рис. 4 воспроизводится пластинка, полученная для перегрева паров при упругости 8 *мм*, где спадание весьма отчетливо и хорошо видна его постепенность. Важно отметить, что спадание сплошного фона и обратно испускаемых линий происходит как целого; это указывает на их связь.

---

[6] Область у самой линии 1854 была снята и при большой дисперсии. Между обратно испускаемыми линиями 1854 и 1862 получился сплошной фон, на котором выделялись полосы поглощения кислорода воздуха, исчезавшие при наполнении спектрографа углекислотой.

[7] Kapuscinski. L. c.

Уничтожающее влияние перегрева на испускание понятно, если считать, что его носителем являются молекулы ртути: при перегреве молекулы разрушаются. На то, что изучаемое явление есть действительно обратное испускание, а не молекулярное рассеяние, указывает его очень большая интенсивность при малой концентрации молекул (так как и концентрация атомов мала, а концентрация молекул для случая ртути не может превышать долей процента концентрации атомов), его селективность и сам характер испускания – испускание сильно расширенных (в особенности у кадмия) линий. Наиболее вероятна трактовка обратного испускания как коротких резонансных серий (с антистоксовыми членами), не разрешенных вследствие малости колебательных квантов ртутной молекулы;[8] при этом легко понять большую асимметрию испускания 1854 но сравнению с 1935 и 1990 и обратным испусканием у кадмия в области длин волн более 2300 Å, считая, что в первом случае происходит возбуждение с нормального уровня при малой колебательной энергии, в остальных с нормального уровня при большей колебательной энергии; соответственно и интенсивность в первом случае больше.

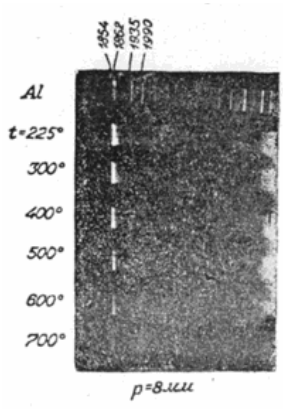


Рис. 4

Что касается других частей полосатого спектра, то они либо совсем отсутствовали на снимках (полоса 2540 с резонансной линией 2537, полоса 2345**),** либо были очень слабы (широкая полоса с максимумом 3300**);** зеленая флуоресценция наблюдалась визуально, но с не очень большой интенсивностью (и лишь при малых перегревах, так как она весьма чувствительна к перегреву, что давно известно). Причиной ослабления флуоресценции в области длин волн более 2345 являлось наличие посторонних тушащих газов – при отпайке, которая произво-

[8] M r o z o w s k i. ZS. f. Phys. **62,** 314, 1930.

дилась кислородно-водородным пламенем, сквозь стенки могли продиффундировать малые количества водорода и кислорода. Действительно, при дистилляции (которая особенно хорошо получалась в круглом сосуде с отростком), т. е. когда газы вытеснялись из области наблюдения, появлялись, наряду с описанным испусканием в области коротких волн, все обычно появляющиеся и хорошо изученные части полосатого спектра: весьма интенсивная зеленая флуоресценция, 3300, 2537–2540 и 2345; последняя полоса ограничивает сплошное испускание со стороны длинных волн; ее отсутствие при дистилляции, когда сплошное испускание просто обрывается, однозначно указывает на независимость этой полосы от сплошного испускания. Полосы Штеубинга не наблюдались самостоятельно, но несомненно, что это объяснялось малой дисперсией; их следует отнести к сплошному испусканию – при большей дисперсии сплошной фон в области длин волн более 2000 Å распался бы на эти полосы.[9]

Отсутствие тушения коротковолновой части спектра малыми примесями газов (что примеси были малы, показывает наличие, хотя и в ослабленном виде, зеленой флуоресценции) указывает на недолговечность их носителя; срок жизни последнего во всяком случае много меньше порядка 10^{-3} сек.– срока жизни длинноволновых, легко тушимых частей полосатого спектра. Короткий срок жизни носителя исследованной части спектра соответствует ее несомненной принадлежности к молекулярному электронному уровню, связанному с уровнем 2^1P_1 атома. Весьма важно определить порядок этой величины – для молекулярного резонансного испускания можно ожидать порядка 10^{-7}–10^{-8}сек.

Настоящая работа произведена в Физическом институте Ленингр. гос. университета в лаборатории проф. А. Н. Теренина, которому приношу искреннюю благодарность за руководство и неизменный интерес к работе.

Поступило в редакцию 12 сентября 1930 г.

[9] Таким образом, полосы Штеубинга следует отнести к уровню 2^1P_1, см. также W i n a n s. Phil. May. **7, 555,** 1929, Kuhn. ZS. f. Phys. 63,458, 1930; полоса же 2345 несомненно относится к уровню 2^3P_2. см. напр. Rayleigh. Proc. Roy. Soc. **114** 620, 1927.

OPTICAL EXITATION OF MERCURY VAPOUR IN THE FAR ULTRAVIOLET.

M. Eliashevich.

The fluorescence spectrum of dense mercury vapour exited by an aluminium spark was examined, using a small fluorite spectrograph. A strong reemission of aluminium lines 1854 Å., 1862 Å., 1935 Å. and 1990 Å. together with a continuous background, spreading from 1854 Å. to 2345 Å. was observed (fig. 3). The heating of the vapour to 1000° at constant pressure destroys the whole spectrum (fig. 4). The presence of small traces of gases does not produce the strong quenching effect which takes place when the near ultra-violet and visible fluorescence is conserned. A brief discussion of the results is given, the spectrum being no doubt due to Hg_2 molecules.

Доклады Академии Наук СССР

1940. Том XXVIII, № 7

ФИЗИКА

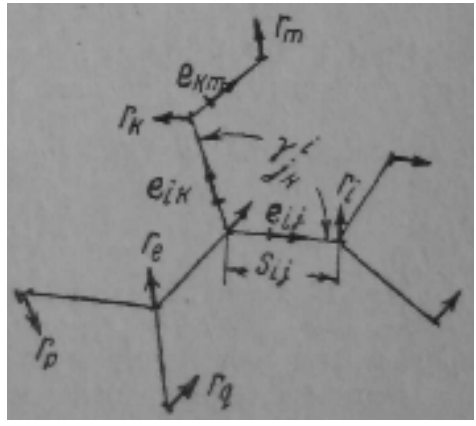
М. А. ЕЛЬЯШЕВИЧ

ПРОСТОЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 4 VII 1940)

Практический расчет частот колебаний многоатомных молекул представляет трудную и громоздкую задачу. Поэтому весьма существенно применять рационально выбранный метод расчета. Для решения задачи о малых колебаниях лучше всего исходить непосредственно из уравнений движения, не пользуясь явным выражением для потенциальной энергии. Этот подход к решению задачи имеет то преимущество, что условия равенства нулю полного количества движения и полного момента количества движения выполняются автоматически. Уравнения движения для частных случаев колебаний атомных систем составлялись Борном и Карманом ([1]) (колебания бесконечной цепочки атомов), Бартоломе и Теллером ([2]) и Кирквудом ([3]) (конечная цепочка), Лехнером ([4]) (трех-, четырех- и пятиатомные молекулы) и др. Однако желательна разработка общего метода составления уравнений движения. Подобный метод описывается в настоящей заметке. В качестве нулевого приближения взята модель валентных сил, являющаяся хорошим приближением для широкого класса молекул; применение этой модели не связано, однако, принципиальным образом с рассматриваемым методом. Уравнения движения составляются в векторном виде,

что значительно упрощает расчеты и делает их более наглядными по сравнению, например, с расчетами Лехнера ([4]).



Фиг. 1

Рассмотрим разветвленную молекулу, состоящую из атомов i, j, k,… с массами m_i, m_j, $m_{k...}$ (фиг. 1). Равновесную конфигурацию мы определим заданием единичных векторов $\mathbf{e}_{ij}$, направленных по связям ij и длин s_{ij} соответствующих связей. Валентные углы γ^i_{jk} между связями ij и ik определяются $\cos\gamma^i_{jk} = \mathbf{e}_{ij}\mathbf{e}_{ik}$ В качестве переменных мы введем изменения q_{ij}, длин связей s_{ij} и изменения α^i_{jk} валентных углов γ^i_{jk}.

Величины q и α можно выразить через малые смещения $\mathbf{r}_i$, $\mathbf{r}_j$ $\mathbf{r}_k$,… ядер из положений равновесия. Приближенные выражения для зависимости величин q и α от относительных смещений будут

$$q_{ij} = \mathbf{e}_{ij}\left(\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i\right) \tag{1}$$

и

$$\alpha^i_{jk} = \frac{\left(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j\right)\mathbf{f}_{jk}}{s_{ij}} + \frac{\left(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_k\right)\mathbf{f}_{kj}}{s_{ik}}, \tag{2}$$

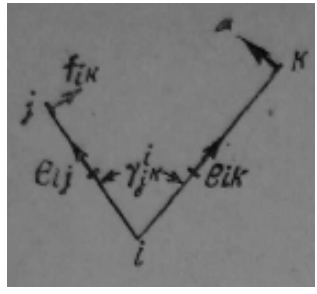
где

$$\mathbf{f}_{jk} = \frac{1}{\sin\gamma^{i}_{jk}}\left(\mathbf{e}_{ik} - \mathbf{e}_{ij}\cos\gamma^{i}_{jk}\right)$$

и

$$\mathbf{f}_{kj} = \frac{1}{\sin\gamma^{i}_{jk}}\left(\mathbf{e}_{ij} - \mathbf{e}_{jk}\cos\gamma^{i}_{jk}\right) - \qquad (3)$$

единичные векторы, лежащие в плоскости *ijk* и перпендикулярные связям *ij* и *ik* (фиг. 2).



Фиг. 2

Потенциальную энергию мы возьмем в виде

$$U = U\left(q_{ij}, \alpha^{i}_{jl}\right) = \frac{1}{2}\sum k_{ij,km} q_{ij} q_{km} + \frac{1}{2}\sum c^{i,r}_{pq,si}\alpha^{l}_{pq}\alpha^{r}_{st} + + \sum d^{l}_{pq,ij}\alpha^{l}_{pq} q_{ij}. \qquad (4)$$

Соответствующие обобщенные силы будут

$$-\frac{\partial U}{\partial q_{ij}} = -\sum k_{ij,km} q_{km} - \sum d^{l}_{pq,ij}\alpha^{l}_{pq}, \qquad (5)$$

$$-\frac{\partial U}{\partial \alpha^{l}_{pq}} = -\sum c^{l,r}_{pq,st}\alpha^{r}_{st} - \sum d^{l}_{pq,ij} q_{ij}. \qquad (6)$$

Суммирование производится по всем связям и по всем валентным углам. Выражение (4) является хорошим приближением для большого класса молекул, когда ставится задача расчета валентных и деформационных колебаний. Модель валентных сил получается, если в (4) оставить лишь чистые квадраты.

Уравнения движения имеют вид

$$m_i\ddot{\mathbf{r}}_i = -\nabla U\left(q_{ij}, \alpha^r_{st}\right) = -\sum_j \frac{\partial U}{\partial q_{ij}}\nabla_i q_{ij} - \sum_{kl}\frac{\partial U}{\partial \alpha^i_{kl}}\nabla_i \alpha^i_{kl} - \\ -\sum_{km}\frac{\partial U}{\partial \alpha^k_{im}}\nabla_i \alpha^k_{im}. \quad (7)$$

Из (1) и (2) мы получаем, пользуясь соотношением $\nabla_i(\mathbf{r}_i, \mathbf{b}) = \mathbf{b}$, справедливым для произвольного постоянного вектора b,

$$\nabla_i q_{ij} = -\mathbf{e}_{ij}; \qquad \nabla_i \alpha^i_{kl} = -\mathbf{F}^i_{kl}; \qquad \nabla_i \alpha^k_{im} = -\frac{\mathbf{f}_{im}}{s_{ki}}, \quad (8)$$

где

$$\mathbf{F}^i_{kl} = \mathbf{F}^i_{lk} = \frac{\mathbf{f}_{kl}}{s_{ik}} + \frac{\mathbf{f}_{lk}}{s_{il}}. \quad (9)$$

Отсюда

$$m_i\ddot{\mathbf{r}}_i = -\sum_j \frac{\partial U}{\partial q_{ij}}\mathbf{e}_{ij} - \sum_{kl}\frac{\partial U}{\partial \alpha^i_{kl}}\mathbf{F}^i_{kl} + \sum_{km}\frac{\partial U}{\partial \alpha^k_{im}}\nabla_i \frac{\mathbf{f}_{im}}{s_{ki}}. \quad (10)$$

Первый член в правой части (10) есть сила, связанная с изменением длин связей, второй член – сила, связанная с изменением валентных углов между парами связей, исходящими от атома *i*, третий член – сила, связанная с изменением валентных углов между парами связей, исходящих из соседних атомов, при условии, что одна из этих связей кончается на атоме *i*.

Как легко показать

$$\sum_i m_i\ddot{\mathbf{r}}_i = \frac{d}{dt}\sum_i m_i\dot{\mathbf{r}}_i = 0$$

и

$$\sum_i \mathbf{a}_i \times m_i\ddot{\mathbf{r}}_i = \frac{d}{dt}\sum_i \mathbf{a}_i x m_i\dot{\mathbf{r}}_i = 0, \quad (11)$$

где вектора $\mathbf{a}_i$ определяют равновесные положения ядер. Для случая периодического движения ($\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_{i0}\mathbf{e}^{i\omega t}$, $\omega \neq 0$) мы получаем из (11) условия равенства нулю полного количества движения $\mathbf{P} = \sum_i m_i\dot{\mathbf{r}}_i$ и полного момента количества движе-

ния $\mathbf{M} = \sum_i \mathbf{a}_i \times m_i \dot{\mathbf{r}}_i$; последний берется для малых смещений (для которых $\mathbf{a}_i + \mathbf{r}_i \approx \mathbf{a}_i$).

Для получения уравнений движений в переменных q и α мы составим разности

$$\ddot{\mathbf{r}}_j - \ddot{\mathbf{r}}_i = -\left(\frac{1}{m_i} + \frac{1}{m_j}\right)\frac{\partial U}{\partial q_{ij}}\mathbf{e}_{ij} + \frac{1}{m_j}\sum_{r\neq i}\frac{\partial U}{\partial q_{jr}}\mathbf{e}_{jr} - \frac{1}{m_i}\sum_{i\neq j}\frac{\partial U}{\partial q_{il}}\mathbf{e}_{il} -$$
$$-\frac{1}{m_j}\sum_{rs}\frac{\partial U}{\partial \alpha^j_{rs}}\mathbf{F}^j_{rs} + + \frac{1}{m_i}\sum_{kl}\frac{\partial U}{\partial \alpha^i_{kl}}\mathbf{F}^i_{kl} + \frac{1}{m_j}\sum_{rt}\frac{\partial U}{\partial \alpha^r_{jt}}\frac{\mathbf{f}_{jt}}{s_{rj}} - \frac{1}{m_i}\sum_{km}\frac{\partial U}{\partial \alpha^k_{im}}\frac{\mathbf{f}_{im}}{s_{ki}}. \tag{12}$$

Мы учли, что как $\ddot{\mathbf{r}}_j$, так и $\ddot{\mathbf{r}}_i$ содержит член $\dfrac{\partial U}{\partial q_{ij}}$.

Умножая (12) на $\mathbf{e}_{ij}$, мы находим

$$\ddot{q}_{ij} = \mathbf{e}_{ij}\left(\ddot{\mathbf{r}}_j - \ddot{\mathbf{r}}_i\right) = -\left(\frac{1}{m_i} + \frac{1}{m_j}\right)\frac{\partial U}{\partial q_{ij}} - \frac{1}{m_j}\sum_{r\neq i}\frac{\partial U}{\partial q_{jr}}\cos(ji, jr) -$$
$$-\frac{1}{m_i}\sum_{l\neq j}\frac{\partial U}{\partial q_{il}}\cos(ij, il) + \frac{1}{m_j}\sum_{rs}\frac{\partial U}{\partial \alpha^j_{rs}}\mathbf{F}^j_{rs}\mathbf{e}_{ji} +$$
$$+\frac{1}{m_i}\sum_{kl}\frac{\partial U}{\partial \alpha^i_{kl}}\mathbf{F}^i_{kl}\mathbf{e}_{ij} - \frac{1}{m_j}\sum_{rt(r\neq i)}\frac{\partial U}{\partial \alpha^r_{jt}}\frac{\mathbf{f}_{jt}\mathbf{e}_{ji}}{s_{rj}} - \frac{1}{m_i}\sum_{km(k\neq j)}\frac{\partial U}{\partial \alpha^k_{im}}\frac{\mathbf{f}_{im}\mathbf{e}_{ij}}{s_{ki}}. \tag{13}$$

Здесь приняты во внимание соотношения

$$\mathbf{e}_{ij} = -\mathbf{e}_{ji};\ \ \mathbf{e}_{ij}\mathbf{f}_{is} = \mathbf{e}_{ji}\mathbf{f}_{jl} = 0;\ \ \mathbf{e}_{ij}\mathbf{e}_{il} = \cos(ij, il);$$
$$\mathbf{e}_{ij}\mathbf{e}_{jr} = -\mathbf{e}_{ji}\mathbf{e}_{jr} = -\cos(ji, jr). \tag{14}$$

Аналогичным образом мы получаем уравнения для α^i_{jk}, умножая $\ddot{\mathbf{r}}_j - \ddot{\mathbf{r}}_i$ на $-\dfrac{\mathbf{f}_{jk}}{s_{ij}}$ и $\ddot{\mathbf{r}}_k - \ddot{\mathbf{r}}_i$ на $-\dfrac{\mathbf{f}_{kj}}{s_{ik}}$. Мы выпишем эти уравнения в явном виде только для простейшего случая центрального атома i с массой $m_i = M$, связанного с атомами p, q, … Мы получаем

$$\ddot{\alpha}_{pq} = \frac{1}{M}\frac{\partial U}{\partial q_p}\frac{\mathbf{e}_p\mathbf{f}_{qp}}{s_q} + \frac{1}{M}\frac{\partial U}{\partial q_q}\frac{\mathbf{e}_q\mathbf{f}_{pq}}{s_p} + \frac{1}{M}\sum_{l\neq p,q}\frac{\partial U}{\partial q_l}\mathbf{e}_l\mathbf{F}_{pq} -$$
$$-\frac{1}{M}\sum_{kl}\frac{\partial U}{\partial \alpha_{kl}}\mathbf{F}_{kl}\mathbf{F}_{pq} + \frac{1}{m_p s_p^2}\sum_l \frac{\partial U}{\partial \alpha_{pl}}\mathbf{f}_{pl}\mathbf{f}_{pq} - \frac{1}{m_q s_q^2}\sum_l \frac{\partial U}{\partial \alpha_{ql}}\mathbf{f}_{ql}\mathbf{f}_{qp}, \qquad (15)$$

где значок *i* опущен.

Уравнения для величин q и α содержат производные $\dfrac{\partial U}{\partial q}$ и $\dfrac{\partial U}{\partial \alpha}$, которые определяются формулами (5) и (6), и скалярные произведения векторов $\mathbf{e}_{ij}, \mathbf{f}_{kl}, \mathbf{F}_{pq}$, … которые легко могут быть найдены в конкретных случаях.

Положим, как обычно,

$$q_{ij} = q_{ij}^0 e^{i\omega t}; \quad \alpha_{st}^r = \left(\alpha_{st}^r\right)_0 e^{i\omega t}. \qquad (16)$$

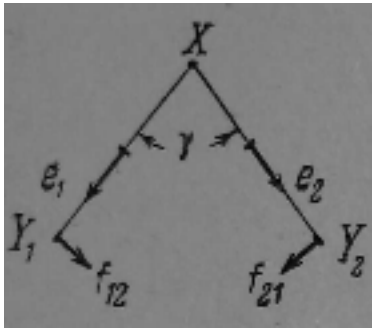
Мы получаем уравнения вида

$$\left.\begin{aligned} \sum_\mu \left(c_{\lambda\mu} - \omega^2\delta_{\lambda\mu}\right)q_\mu + \sum_{\sigma\tau} c_{\lambda,\sigma\tau}\alpha_{\sigma\tau} = 0, \\ \sum_\mu c_{\chi\nu,\mu}q_\mu + \sum_{\sigma\tau}\left(c_{\chi\nu,\sigma\tau} - \omega^2\delta_{\chi\nu,\sigma\tau}\right)\alpha_{\sigma\tau} = 0, \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

где связи обозначены значками λ, μ, χ, ... вместо ij, lm, rs, ….

Решение (17) определяет частоты и вид колебаний. Для понижения степени соответствующего секулярного уравнения можно воспользоваться свойствами симметрии молекулы; при этом приходится выписывать в явном виде лишь уравнения движения, соответствующие величинам q и α, которые не преобразуются друг в друга при операциях симметрии. В большинстве случаев большая часть недиагональных коэффициентов в (17) равна нулю или же мала по сравнению с диагональными, благодаря чему становится возможным приближенное разделение колебаний различного типа. Например, если коэффициенты $c_{\lambda,\sigma\tau}$ и $c_{\chi\nu,\mu}$ в (17) можно положить равными нулю, мы получаем независимые секулярные уравнения для валентных колебаний и для деформационных колебаний.

Описанный метод может быть иллюстрирован на примере нелинейной трехатомной симметричной молекулы XY_2 (фиг. 3). Пусть q_1, q_2 – изменения длин связей X–Y, α – изменение валентного угла, M и m – массы атомов X и Y соответственно. Равновесная конфигурация может быть определена заданием единичных векторов $\mathbf{e}_1$ $\mathbf{e}_2$, $\mathbf{f}_{12}$, $\mathbf{f}_{21}$ и $\mathbf{F}_{12} = \frac{\mathbf{f}_{12} + \mathbf{f}_{21}}{s}$, длин связей s и величины валентного угла γ.



Фиг. 3

Для простоты мы рассмотрим модель валентных сил

$$U = \frac{1}{2}k\left(q_1^2 + q_2^2\right) + \frac{1}{2}c\alpha^2. \tag{18}$$

Отсюда

$$\frac{\partial U}{\partial q_1} = kq_1, \quad \frac{\partial U}{\partial q_2} = kq_2, \quad \frac{\partial U}{\partial \alpha} = c\alpha. \tag{19}$$

Из уравнений (13) и (15) мы получаем

$$\ddot{q}_1 = -\left(\frac{1}{M} + \frac{1}{m}\right)\frac{\partial U}{\partial q_1} - \frac{1}{M}\frac{\partial U}{\partial q_2}\cos\gamma + \frac{1}{M}\frac{\partial U}{\partial \alpha}\mathbf{F}_{12}\mathbf{e}_1,$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{1}{M}\frac{\partial U}{\partial q_1}\frac{\mathbf{e}_1\mathbf{f}_{21}}{s} + \frac{1}{M}\frac{\partial U}{\partial q_2}\frac{\mathbf{e}_2\mathbf{f}_{12}}{s} - \frac{1}{M}\frac{\partial U}{\partial \alpha}\mathbf{F}_{12}^2 - \frac{1}{ms^2}\frac{\partial U}{\partial \alpha}\mathbf{f}_{12}^2 - \frac{1}{ms^2}\frac{\partial U}{\partial \alpha}\mathbf{f}_{21}^2.$$

Так как

$$\mathbf{e}_1\mathbf{f}_{21} = \mathbf{e}_2\mathbf{f}_{12} = \sin\gamma;\quad \mathbf{f}_{12}^2 = \mathbf{f}_{21}^2 = 1;$$

$$\mathbf{F}_{12}\mathbf{e}_2 = \frac{\mathbf{f}_{12}\mathbf{e}_2}{s} = \frac{\sin\gamma}{s};\quad \mathbf{F}_{12}^2 = \frac{\left(\mathbf{f}_{12}+\mathbf{f}_{21}\right)^2}{s^2} = \frac{4}{s^2}\sin^2\frac{\gamma}{2},$$

то

$$\left.\begin{aligned} \ddot{q}_1 &= -\left(\frac{1}{M}+\frac{1}{m}\right)kq_1 - \frac{\cos\gamma}{M}kq_2 + \frac{\sin\gamma}{Ms}c\alpha, \\ \ddot{\alpha} &= \frac{\sin\gamma}{Ms}k\left(q_1+q_2\right) - \left(\frac{2}{ms^2}+\frac{4}{Ms^2}\sin^2\frac{\gamma}{2}\right)c\alpha. \end{aligned}\right\} \qquad (20)$$

Для симметричных колебаний $q_1 = q_2 = q$, отсюда

$$\left.\begin{aligned} \ddot{q}_1 &= -\left(\frac{1}{m}+\frac{1+\cos\gamma}{M}\right)kq - \frac{\sin\gamma}{Ms}c\alpha, \\ \ddot{\alpha} &= \frac{2\sin\gamma}{Ms}kq - \frac{2}{s^2}\left(\frac{1}{m}+\frac{2}{M}\sin^2\frac{\gamma}{2}\right)c\alpha. \end{aligned}\right\} \qquad (21)$$

Соответствующее секулярное уравнение будет

$$\begin{vmatrix} k\left(\frac{1}{m}+\frac{2}{M}\cos^2\frac{\gamma}{2}\right)-\omega^2 & -c\frac{\sin\gamma}{Ms} \\ -k^2\frac{\sin\gamma}{Ms} & c\frac{2}{s^2}\left(\frac{1}{m}+\frac{2}{M}\cos^2\frac{\gamma}{2}\right)-\omega^2 \end{vmatrix} = 0. \qquad (22)$$

Это уравнение имеет решения ω_1^2 и ω_2^2 для которых

$$\left.\begin{aligned} \omega_1^2+\omega_2^2 &= \frac{k}{m}\left(1+\frac{2m}{M}\cos^2\frac{\gamma}{2}\right)+\frac{2c}{ms^2}\left(1+\frac{2m}{M}\sin^2\frac{\gamma}{2}\right); \\ \omega_1^2\omega_2^2 &= \frac{2kc}{m^2s^2}\left(1+\frac{2m}{M}\right). \end{aligned}\right\} \qquad (23)$$

Для антисимметрических колебаний α=0, $q_1 = -q_2 = q$, отсюда

$$\ddot{q} = -\left(\frac{1}{m}+\frac{1-\cos\gamma}{M}\right)kq = -\frac{k}{m}\left(1+\frac{2m}{M}\sin^2\frac{\gamma}{2}\right)q. \qquad (24)$$

Решение будет

$$\omega_3^2 = \frac{k}{m}\left(1 + \frac{2m}{M}\sin^2\frac{\gamma}{2}\right). \qquad (25)$$

Хорошо известный результат, содержащийся в формулах (23) и (25), получен значительно проще, чем обычно. Следует отметить, что мы не выписывали уравнения для q_2, так как оно приводит к прежним уравнениям (21) и (24) для q благодаря тому, что q_1 и q_2 переходят друг в друга при отражении и повороте.

Лаборатория молекулярной спектроскопии
Государственный оптический институт

Поступило
10 VII 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Born u. Karman, Phys. ZS., 13, 297 (1912). [2] Bartholome u Teller ZS. f. phys. Chem., 19, 366 (1932). [3] Kirkwood, J. Ghem. phys 7, 506 (1939). [4] Lechner, Wien. Ber., **141,** 291 (1932).

ФИЗИКА В ШКОЛЕ №1, 1946

ДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Проф. М. А. Ельяшевич

(Ленинград)

С тех пор, как первобытный человек научился получать огонь, все шире и шире химические превращения применялись в качестве источника энергии. Основой современной энергетики являются процессы сгорания топлива, при которых энергия выделяется в результате реакций соединения простейших молекул в более сложные. В военной технике широко применяются взрывчатые вещества, действие которых является результатом освобождения энергии при реакциях разложения сложных молекул, из которых состоят эти вещества.

Величайшим достижением современной науки является открытие огромных источников энергии, заключающихся внутри атомов вещества, в их ядрах – открытие атомной энергии. Первым явлением, при изучении которого были обнаружены эти внутренние запасы атомной энергии, было явление радиоактивности, открытое 50 лет тому назад в 1896 г. французским ученым Анри Беккерелем и затем подробно изученное супругами Кюри, Резерфордом, Содди и рядом других ученых. Сейчас, через 50 лет, осуществлено первое техническое использование атомной энергии – для военных целей в виде атомной бомбы. Огромное значение открытия использования атомной энергии состоит в том, что оно открывает исключительные перспективы мирных применений атомной энергии, открывает новый этап подчинения человеком сил природы.

Каковы же запасы энергии, скрытой в недрах вещества? Об этом лучше всего говорят цифры, получаемые в результа-

те сравнения энергий, освобождающихся при химических реакциях, с атомной энергией.

Мы будем применять для измерения энергии единицы, принятые в атомной физике – электрон-вольты (eV). За единицу энергии – один электрон-вольт (1eV) – берется энергия, которую приобретает электрон или другая частица, обладающая одним элементарным электрическим зарядом (e = $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ электростатических *CGS* единиц), в ускоряющем электрическом поле при разности потенциалов в 1V. Когда мы говорим о частице с энергией в 100 eV, это означает, что она обладает энергией, равной энергии, получаемой электроном под действием ускоряющей разности потенциалов в 100 V.

Для химических превращений – реакций соединения и разложения – типичными являются следующие цифры: при сгорании угля в результате соединения атома углерода (C) с молекулой кислорода (O_2), состоящей из двух атомов кислорода, в молекулу углекислого газа (CO_2) выделяется энергия в 4 eV, что составляет 0,25 eV в расчете на 1/12 долю массы атома углерода, равную единице атомной массы (за которую берется, как известно, 1/16 массы атома кислорода). При разложении молекул взрывчатого вещества тротила – тринитротолуола $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ – выделяется энергия 10 eV, что составляет на единицу атомной массы около 0,04 eV (молекулярный вес тротила равен 227, и нужно взять 1/227 от 10 eV).

Внутренняя атомная энергия, заключающаяся в скрытом виде в частицах вещества, согласно закону эквивалентности массы и энергии Эйнштейна[1], измеряется их массой m**.** В частице массы m заключается энергия mc^2**,** где c – скорость света, равная 300000 км/сек =3.10^{10} см/сек.

Энергия, заключающаяся в частице, обладающей единицей атомной массы, оказывается равной 931 миллиону электрон-вольт (931 MeV, где через MeV обозначена часто применяемая единица – миллион электрон-вольт) или, грубо го-

[1] Этот закон был установлен Эйнштейном при создании им специальной теории относительности в 1905 г. Его установлению предшествовало развитие представлений об электромагнитной массе электрона.

воря, 1 миллиарду электрон-вольт. Эта энергия, превосходящая в миллиарды раз химические энергии, выделилась бы полностью при превращении частиц вещества в свет – в излучение. Процессы подобного рода, носящие неудачное название аннигиляции материи[2], наблюдались для электронов. Обычный отрицательный электрон и положительный электрон – позитрон, встречаясь, уничтожаются как частицы и дают две порции световой (электромагнитной) энергии – два кванта. При этом освобождается энергия $2m_0c^2$, соответствующая массам двух электронов, положительного и отрицательного, и равная примерно 1 MeV (масса электрона составляет $^1/_{1850}$ атомной единицы, т. е. ей соответствует энергия $^1/_{1850}\cdot 931$ MeV = 0,5 MeV). Однако, для тяжелых частиц – ядер (в том числе для самого легкого ядра – ядра водорода, т. е. протона) процессы аннигиляции не наблюдались, и неизвестно – могут ли они вообще быть осуществлены экспериментально. Поэтому вопрос о возможности полного использования скрытой в веществе энергии пока остается открытым. Иначе обстоит дело с энергией ядерных превращений, т. е. с энергией, которая выделяется при превращениях одних химических элементов в другие. Такие превращения впервые наблюдались при процессах радиоактивности, когда они происходят самопроизвольно. Искусственно они могут быть осуществлены путем бомбардировки атомов быстро движущимися частицами (искусственные превращения элементов). Энергии ядерных превращений измеряются миллионами вольт и могут быть с большой точностью оценены по изменению массы участвующих в ядерных реакциях частиц. Рассмотрим энергии образования ядер из элементарных частиц, являющихся их составными частями, а именно из положительно заряженных ядер водорода – протонов и из нейтральных частиц – нейтронов. Как извест-

[2] Разумеется, при этих процессах никакой аннигиляции (уничтожения) материи в философском ее понимании, как объективной реальности, не происходит, а идет лишь речь о переходе одной формы материи (в виде частиц) в другую ее форму (в виде излучения, т. е. в виде электромагнитных волн).

но, число протонов в ядре определяет его положительный заряд – его порядковый номер Z и, следовательно, химические свойства атома, образованного путем присоединения к этому ядру Z электронов. Общее число протонов и нейтронов в ядре A приближенно равно его атомному весу и носит название массового числа или массового номера. Различные изотопы одного элемента представляют собой ядра, отличающиеся массовым номером при том же порядковом номере. Например, для урана (U) мы имеем главные изотопы U^{238} с массовым номером 238 (238 частиц – 92 протона и 146 нейтронов) и U^{235} с массовым номером 235 (235 частиц – 92 протона и 143 нейтрона). Разность M – A действительного атомного веса M атома и его массового номера A носит название дефекта массы и характеризует тот избыток энергии, которым обладает данный атом по сравнению с атомом веса A.

На рис. 1 приведена кривая так называемых упаковочных множителей, дающих дефекты массы, приходящиеся на одну частицу, т. е. величины (M – A)/A. Чем меньше эти множители, тем прочнее связаны частицы в ядре и тем оно устойчивее. Минимум кривой приходится на значения массовых номеров (т. е. атомных весов) от 60 до 80. При дальнейшем увеличении атомного веса устойчивость ядер падает. Энергия образования заданного ядра из протонов и нейтронов определяется разностью полной массы $ZM_p+(A-Z)M_n$, составляющих его протонов и нейтронов и массы M этого ядра, т. е. величиной:

$$[ZM_p+(A - Z)M_n] - M,$$

где M_p и $M_п$ – массы протона и нейтрона, соответственно равные 1,00895 и 1,00759; Z – число протонов и A – Z – число нейтронов. Это выражение может быть переписано в виде:

$$[Z(M_p - 1) + (A - Z)(M_n - 1)] - (M - A) =$$

$$=[Z(M_p - 1) + (A - Z)(M_n - 1)] - A\cdot P,$$

т. е. выражено через дефекты массы нейтрона и протона и упаковочный множитель ядра. Для ядра гелия He^4, состоящего из 2 протонов и 2 нейтронов, данная разность равна

0,03031, что соответствует энергии образования гелия из протонов и нейтронов, равной 28,2 MeV. На рис. 2 приведена кривая зависимости энергии образования ядер из протонов и нейтронов от атомного веса. Пунктиром показана энергия соответствующего числа ядер гелия He^4 (α-частиц) и энергия нескольких ядер наиболее устойчивых, типа, например, ядер Kr или Ni.

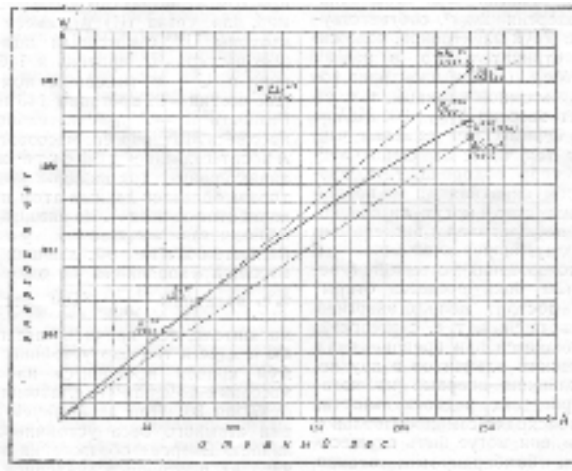


Рис.1

Рассмотрение графиков (рис. 1 и 2) показывает, что для легких элементов выгодно постепенное усложнение ядер, т. е. образование более сложных ядер из более простых сопровождается выделением энергии. Особенно выгодно образование ядер гелия из протонов и нейтронов, при котором на единицу атомной массы выделяется энергия 28/4 = 7MeV, т. е. почти 1% полной энергии, заключенной в единице атомной массы (931 MeV). По-видимому, реакция подобного типа происходит в недрах звезд (при участии атомов углерода, азота и кислорода) и является главным источником энергии, поддерживающим излучение звезд. В земных условиях, однако, пока не удалось осуществить таких реакций типа химических реакций горения, пригодных для практического использования атомной энергии. При ядерных реакциях, вы-

зываемых ударами быстрых частиц (обычно протонов, нейтронов, ядер тяжелого водорода – дейтронов и ядер гелия – α-частиц), лишь ничтожная доля ударяющих частиц вызывает превращение и освобождающаяся энергия недостаточна для дальнейшего продолжения реакции. Проблема практического использования атомной энергии легких элементов не решена и является в настоящее время, по-видимому, еще далекой от разрешения.

Рассмотрим теперь энергию образования тяжелых ядер, являющихся, как уже подчеркивалось выше, менее устойчивыми. С увеличением атомного веса добавление новых протонов и нейтронов делается все менее выгодным, и для ядер с атомным весом около 200 и выше добавление двух протонов и двух нейтронов приводит к выигрышу энергии

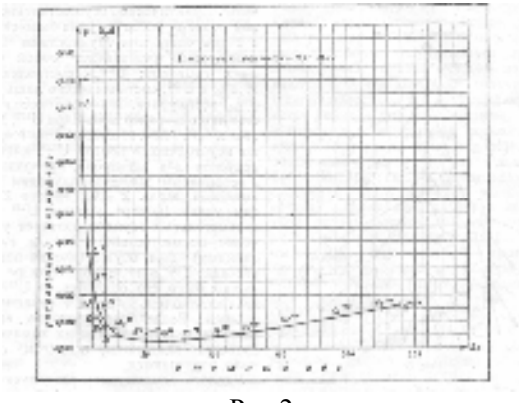


Рис.2

меньшему, чем выигрыш, связанный с образованием ядра гелия He^4 (наклон сплошной кривой рис. 2 становится меньше наклона пунктирной кривой для гелия); поэтому для тяжелых ядер энергетически выгоден распад ядра с выбрасыванием ядра гелия (α-частицы), наблюдаемый при радиоактивных явлениях.

Вместе с тем легко видеть, что полная энергия образования тяжелых ядер значительно меньше, чем энергия образования двух ядер половинной массы. Например, энергия образования ядра U^{235} составляет 1764 MeV, а энергия обра-

зования двух ядер олова Sn^{116} составляет 1964 MeV, т. е. на 200 MeV больше. Таким образом, энергетически выгоден распад ядра урана на два ядра половинной массы, который должен быть связан с дополнительным выделением энергии в 200 MeV или примерно 0,8 MeV на единицу атомной массы – энергии, в 20 миллионов раз превосходящей химическую энергию распада молекулы тротила. Процесс распада тяжелых ядер на части действительно происходит. В 1939 г. было открыто явление деления ядер урана при их бомбардировке потоком нейтронов. Нейтрон, сталкиваясь с ядром, захватывается им[3], после чего это ядро распадается на две части – два осколка почти равной массы. Обычно деление, как показали опыты, происходит на два осколка, один из которых имеет массу 130–140, а другой 90–100. Освобождающаяся при этом энергия близка к 200 MeV. Важнейшей особенностью деления урана является то, что наряду с этими тяжелыми осколками выбрасывается и два-три нейтрона. Это связано с тем, что в тяжелых ядрах имеется значительный избыток нейтронов по сравнению с протонами. Даже после выбрасывания двух-трех нейтронов при делении в каждом из осколков имеется избыток нейтронов, и эти осколки затем распадаются, претерпевая ряд последовательных превращений – являются радиоактивными. Они испускают электроны и превращаются, обычно через несколько часов или дней, в известные устойчивые элементы. Выбрасывание нескольких нейтронов при делении урана делает в принципе возможным цепной процесс, при котором эти нейтроны вызывают деление новых ядер урана с выбрасыванием новых нейтронов, вызывающих опять процессы деления с выбрасыванием нейтронов и т. д. Для осуществления процесса, идущего нарастающим образом, необходимо, чтобы на каждый нейтрон, вызывающий деление, получалось бы число k новых нейтро-

[3] Тот факт, что именно нейтроны вызывают деление урана, объясняется тем, что они, как нейтральные, незаряженные частицы, могут близко подойти к ядру, тогда как положительно заряженные протоны, дейтроны и α-частицы очень сильно отталкиваются ядрами.

нов, вызывающих новые деления, превышающие единицу. Когда это число k точно равно единице, реакция деления урана будет как раз поддерживаться – получится медленная саморазвивающаяся реакция. Нарастающий процесс деления урана, протекающий достаточно быстро, приведет к взрыву, подобно тому, как это происходит при детонации взрывчатого вещества. Известно, что при детонации в результате разложения исходных сложных молекул под действием осколков – продуктов распада – будут разлагаться новые молекулы, дающие новые осколки и
т. д., причем число разлагающихся молекул быстро нарастает и в короткое время детонация охватывает всю массу взрывчатого вещества.

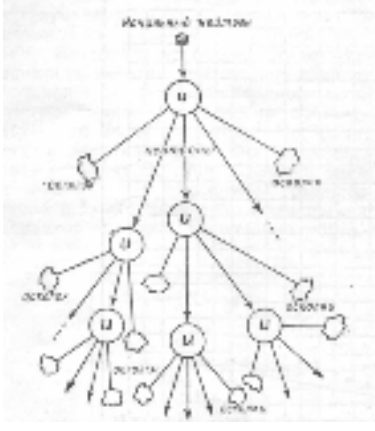


Рис.3

Процесс нарастающего разложения ядер урана схематически показан на рис. 3. Часть нейтронов не вызывает делений, но в общем число процессов деления на каждой следующей стадии становится все больше и больше. Именно ценную реакцию подобного типа с освобождением огромного количества атомной энергии в виде взрыва атомной бомбы удалось осуществить в Соединенных Штатах Америки в результате широко поставленных работ по использованию атомной энергии для военных целей, описанных в специальном американском отчете[4]. Практическое осуществление цепной реакции распада урана было связано с очень большими трудностями. Обычный уран представляет собой смесь двух изотопов: U^{238}, составляющего 99,3% и U^{235}, составляющего лишь 0,7% (1/140) всего урана. Цепной процесс

[4] Смит. Атомная энергия для военных целей, перевод с английского. Трансжелдориздат, 1946 г.

возможен лишь для ядер U^{238}. Ядра U^{238}, захватывая нейтроны, обычно не делятся, а дают неустойчивый изотоп U^{239}, который, испуская два электрона, превращается в устойчивый[5] элемент – плутоний Pu^{239}, имеющий заряд Z = 94 вместо Z = 92 для урана (потеря ураном U^{239} двух отрицательных зарядов означает увеличение положительного заряда на две единицы). Для осуществления цепного распада U^{235} в виде взрывной реакции нужно было его отделить от U^{238}, что являлось очень трудной технической задачей. Разделение изотопов весьма затруднительно, так как их химические свойства одинаковы, а массы очень мало различаются.

Удалось осуществить разделение изотопов в технических масштабах двумя способами – методом газовой диффузии и методом магнитного разделения. В методе диффузии используется различная скорость диффузии газов различного молекулярного веса через пористые перегородки; эта скорость пропорциональна корню квадратному из молекулярного веса. Применялся уран в виде соединения UF_6, (шестифтористый уран), обладающего упругостью паров в 1 атм. при 56°. Так как при диффузии через одну перегородку происходит лишь небольшое увеличение концентрации $U^{235}F_6$ по сравнению с $U^{238}F_6$, то необходимо применять большое число последовательных ступеней разделения – сотни перегородок. Для разделения значительных количеств урана поверхность пористых перегородок должна быть очень велика. В методе магнитного разделения используется различное отклонение ионов различной массы в магнитном поле мощных магнитов. Главная трудность этого метода состоит в разделении пучков ионов очень больших интенсивностей, необходимых для того, чтобы можно было вести процесс в нужных масштабах. Для этой цели была применена специальная система магнитной фокусировки в приборе, названном калютроном. Для разделения изотопов обоими методами в Соединенных Штатах были построены крупнейшие заводы (в штате Теннесси, около города Окридж). Из общих затрат в 2 млрд. долларов

[5] Плутоний является радиоактивным, однако распадается очень медленно, в течение десятков тысяч лет, испуская α-лучи.

на осуществление атомных бомб, свыше 1 млрд. приходится на работы по разделению изотопов урана.

Однако, помимо получения в достаточных количествах изотопа U^{235}, казался осуществимым способ получения и другого вещества, ядра которого способны разлагаться цепным способом. Таким веществом является плутоний (Pu^{239}), получаемый из урана. Идея его получения состоит в следующем.

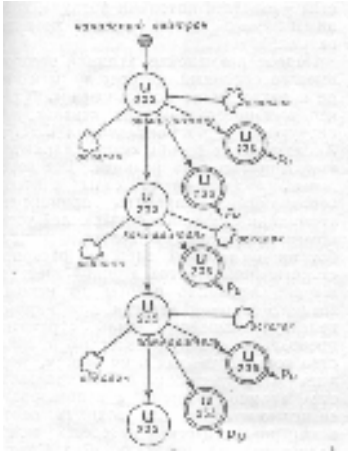


Рис. 4

При разложении ядер U^{235} в обычном уране освобождающиеся при делении нейтроны, захватываясь ядрами U^{238}, вызывают образование плутония. Часть нейтронов может пойти и на разложение новых ядер U^{235}. Если бы удалось подобрать условия так, что из 2–3 нейтронов, получающихся при делении, один нейтрон шел бы на деление нового ядра U^{235}, а остальные поглощались бы ядрами U^{238} с образованием плутония, то в результате шла бы саморазвивающаяся реакция разложения U^{235} и одновременно получался бы Pu^{239} (рис. 4).

Главная трудность реализации подобных условий состояла в том, что быстрые нейтроны, получающиеся при делении урана, гораздо охотнее захватываются U^{238}, чем вызывают деление U^{235}. Однако известно, что U^{235} эффективнее всего делится под действием медленных нейтронов с энергиями в несколько сотых eV (нейтронов тепловых скоростей), тогда как ураном U^{238} захватываются более быстрые нейтроны определенных скоростей (так называемый резонансный захват).

Применяя в качестве замедлителя легкий элемент, можно затормозить нейтроны. Эффективнее всего был бы водород, ядра которого – протоны – имеют массу, примерно равную

массе нейтрона[6]. Однако протоны поглощают нейтроны, соединяясь с ними в ядра тяжелого водорода – дейтроны, имеющие заряд Z = 1 и массу 2. Можно было бы применить для торможения тяжелый водород, однако получение необходимого для этой цели исходного продукта – тяжелой воды – само является сложной задачей[7]. Был применен в качестве замедлителя нейтронов углерод в виде графита. При этом оказалось рациональным не смешивать уран с замедлителем, а размещать куски урана в решетке из графита. В таких условиях быстрые нейтроны, проходя через толщу графита, замедляются до малых скоростей, при которых они лучше всего вызывают деление; вместе с тем, теряя свою скорость в графите, при промежуточных скоростях они не поглощаются ядрами U^{238}, что имело бы место, если бы уран был бы просто смешан с графитом. При надлежащим образом рассчитанной решетке из графита с урановыми кусками оказалось возможным осуществить медленную саморазвивающуюся реакцию, согласно схеме рис. 4 – осуществить урановый "котел" для производства плутония.

Реакция в подобном котле протекает в течение некоторого времени, а затем прекращается вследствие того, что продукты реакции – осколки отделения U^{235} – тормозят ее ход. Образовавшийся в результате реакции плутоний отделяется от урана химическим путем.

Для производства плутония по описанному способу в Соединенных Штатах был построен крупный завод в Хэнфорде на реке Колумбия. При реакции разложения U^{235} выделяется огромная энергия (200 MeV на делящееся ядро). Всего при производстве 1 *кг* плутония в день выделялось бы тепло, соответствующее мощности в 1 млн. кВт. Данные о размерах

---

[6] Как известно, лучше всего торможение при ударах производится частицами той же массы.

[7] Как известно, в Германии велись работы по атомным бомбам, и в Норвегии было налажено производство тяжелой воды. Видимо, немцы предполагали применить замедлитель нейтронов в самой бомбе. В американских работах замедлитель применялся лишь при получении плутония, а в бомбе реакция шла на быстрых нейтронах.

производства плутония сохраняются американцами в секрете; приведенная цифра дает представление о порядке величины выделяющейся тепловой энергии. На Хэнфордском заводе было применено мощное охлаждение водой из реки Колумбия. В принципе, выделяющееся тепло можно было бы использовать, однако этого сделано не было; ввиду большого количества образующихся при делении урана радиоактивных веществ, воду, служившую для охлаждения, приходилось отстаивать в специальных бассейнах, после чего она спускалась обратно в реку. Именно выделение тепла при описанной реакции открывает наиболее реальные перспективы мирного использования атомной энергии в ближайшем будущем.

Разделением изотопов урана и изготовлением плутония была разрешена проблема получения достаточных количеств вещества, способного разлагаться цепным образом[8]. К лету 1945 г. были изготовлены первые атомные бомбы. В июле 1945 г. был произведен опытный взрыв в штате Нью-Мексико, близ Лос-Анжелеса, где находилась лаборатория, работавшая по непосредственному осуществлению атомной бомбы. 6 и 8 августа две атомные бомбы были сброшены на японские города Хиросима и Нагасаки, где они произвели огромные разрушения. Их разрушительная сила соответствует 20 тыс. *т* тротила, т. е. энергии, выделяющейся при разложении примерно 1 *кг* U^{235} или Pu^{239}. Вместе с тем следует отметить, что действие атомных бомб отличается от действия обычных бомб.

Помимо действия взрывной волны, имеется очень мощное излучение видимых и невидимых лучей большой уничтожающей силы, вызывающих многочисленные пожары. Воронки при этом не образовывалось, так как бомбы взрывались еще в воздухе. Не наблюдалось также каких-либо

[8] Следует иметь в виду, что цепная реакция может идти лишь при достаточных количествах вещества в бомбе, так как при малом количестве вещества значительная доля нейтронов будет разлетаться в стороны, выскакивая из бомбы. Взрыв будет происходить лишь при количествах, превышающих некоторое критическое значение, и по-видимому, составляющих несколько килограммов U^{235} или Pu^{239}.

заметных остаточных действий искусственных радиоактивных веществ, которые могли образоваться в момент взрыва; по-видимому, эти вещества уносились потоками воздуха, поднимавшимися вверх после момента взрыва.

Первое применение атомной энергии вызвало огромный интерес во всем мире к вопросам ее использования. Сейчас в капиталистических странах, и в первую очередь в Соединенных Штатах Америки, идет борьба между силами демократии и силами реакции. Все передовые, прогрессивные силы считают необходимым запретить применение атомной энергии для военных целей, установить эффективный контроль над работами по атомной энергии, раскрыть секреты производства атомной энергии, широко развивать работы по использованию атомной энергии для мирных целей. Реакционные силы стремятся превратить атомную энергию в средство господства над всем миром, держать в секрете способы производства атомной энергии и использовать ее исключительно для военных целей в империалистических интересах монополистического капитала. Для Советского Союза как социалистического государства задачей является использование атомной энергии в мирных целях, для всемерного развития производительных сил. Только в нашей стране, не знающей кризисов и не стоящей перед проблемой искусственного ограничения производства из-за отсутствия рынков сбыта, может быть действительно осуществлено использование огромных новых ресурсов энергии в интересах народа. Наш народ знает, что "будет у нас и атомная энергия и многое другое" (Молотов).

1979 г. Июль *Том 128, вып. 3*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

530.14(09)

ВКЛАД ЭЙНШТЕЙНА В РАЗВИТИЕ КВАНТОВЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

М. А. Ельяшевич

1. ВВЕДЕНИЕ

Важное место в творчестве Эйнштейна занимают его работы по вопросам квантовой теории. В исследованиях по квантовой теории излучения и его взаимодействий с веществом, начиная с основополагающей статьи 1905 г.[1], опубликованной в «Annalen der Physik», Эйнштейн выдвинул важнейшие идеи квантов света – фотонов – и корпускулярно-волнового дуализма для электромагнитного излучения. Он объяснил с квантовой точки зрения элементарные процессы взаимодействия излучения с веществом, а впоследствии ввел коэффициенты, характеризующие вероятности оптических квантовых переходов и получившие название коэффициентов Эйнштейна, дал известный вывод формулы Планка и впервые высказал идею вероятностной интерпретации корпускулярно-волнового дуализма. Эйнштейн также заложил основы квантовой теории теплоемкостей вещества. Наконец, Эйнштейн применил к одноатомному идеальному газу статистический метод, предложенный Бозе для излучения, что привело к созданию квантовой статистики для систем частиц с симметричными собственными функциями (статистики Бозе – Эйнштейна). Все это явилось очень большим вкладом

в развитие квантовых представлений. Отметим, что до конца своей жизни Эйнштейн думал о проблемах квантовой теории и вел знаменитую дискуссию с Бором о полноте квантовомеханического описания явлений микромира, начавшуюся еще в период становления квантовой механики.

Все работы Эйнштейна по вопросам квантовой теории связаны между собой и с его работами по другим вопросам, особенно по статистической термодинамике, являются весьма существенной частью его научной деятельности как великого физика XX века. Вместе с тем в огромной литературе об Эйнштейне главное внимание, естественно, уделялось его фундаментальным работам по теории относительности, основным создателем которой он являлся, и лишь в сравнительно небольшой доле исследований с должной глубиной анализировался его вклад в квантовую теорию. В учебной и монографической литературе часто упрощенно и порой неправильно характеризуются работы Эйнштейна по вопросам квантовой теории. Так до сих пор обычно говорят о первой работе Эйнштейна[1] по этим вопросам как о работе по фотоэффекту, хотя знаменитому уравнению для фотоэффекта (уравнению Эйнштейна) в ней посвящен лишь один параграф и ее содержание несравнимо шире (как это правильно подчеркнуто в статье М. Борна[2] (с. 361), а также в статье известного историка науки М. Клейна[3] (с. 259). Недооценивается значение работ Эйнштейна 1909 г.[4,5], в которых была развита идея корпускулярно-волнового дуализма для излучения на основе рассмотрения флуктуации энергии и импульса равновесного излучения. Говоря о работе Эйнштейна 1916 г.[6], в которой были рассмотрены вероятности оптических квантовых переходов и дан принципиально важный вывод формулы излучения Планка, не обращают должного внимания на анализ Эйнштейном проблемы обмена импульсом между атомными системами и излучением и на подчеркивание роли случайности при сопоставлении волновых и корпускулярных представлений (на важность чего специально указывал Паули в статье[7], посвященной вкладу Эйнштейна в квантовую теорию). Работам Эйнштейна уделяется значительное место в книгах по истории развития квантовой теории[8-10] (см. также

статью[11]), однако в этих книгах не могла быть детально разобрана связь между работами Эйнштейна по квантовой теории и другими его работами, не показана эволюция его взглядов. До сих пор отсутствует достаточно полное рассмотрение противоречий в научном творчестве Эйнштейна, которые выразились в том, что во второй период своей деятельности, при разработке единой теории поля, Эйнштейн выступал против тех идей вероятностной интерпретации квантовой механики, одним из родоначальников которых он был сам.

Необходимы дальнейшее систематическое изучение работ Эйнштейна, посвященных развитию квантовых представлений, анализ генезиса этих работ и их связи с работами других создателей квантовой теории, их места в творчестве Эйнштейна, подготовка специальных монографий по этим вопросам с использованием обширной переписки Эйнштейна и других материалов. Задача данной статьи – дать обзор важнейших работ Эйнштейна периода 1905–1925 гг. по квантовой теории, обратив особое внимание на их генезис, на развитие Эйнштейном основных квантовых идей и на эволюцию его взглядов.

2. О ГЕНЕЗИСЕ РАБОТ ЭЙНШТЕЙНА ПО КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Для понимания возникновения и развития идей Эйнштейна по квантовой теории, впервые высказанных в работах 1905 г.[1], необходим анализ, с одной стороны, его предшествующих работ 1901–1904 гг., а с другой стороны, состояния к 1905 г. проблемы равновесного теплового излучения, при разработке которой Планк впервые ввел квантовые представления. Сразу отметим, что работы Эйнштейна по теории излучения не явились непосредственным продолжением работ Планка, а были связаны с последними более сложным образом; Эйнштейн в значительной степени опирался на работы Вина, предшествовавшие работам Планка.

Полный анализ генезиса работ Эйнштейна по квантовой теории требует специальных исследований, и мы остановимся лишь на некоторых основных вопросах, связанных как с

работами Эйнштейна до 1905 г., так и с работами Вина и Планка по теории равновесного излучения.

Первые статьи Эйнштейна были посвящены теории молекулярных явлений[12,13]. Уже в этих статьях проявились исключительная физическая интуиция Эйнштейна и стремление к нахождению, исходя из анализа конкретного материала, общих подходов к изучаемым явлениям. В первой статье Эйнштейн рассматривает явления капиллярности, используя термодинамические соотношения, и делает определенные предположения о потенциальной энергии парных взаимодействий молекул. Из опытных данных он вычисляет значения постоянных, характеризующих это взаимодействие, и приходит к выводу: «Резюмируя, можно сказать, что оправдалось наше фундаментальное предположение: каждому атому соответствует молекулярное поле притяжения, не зависящее от температуры и способа, которым этот атом связан химически с другими атомами» ([12], с. 17). Во второй статье Эйнштейн развивает термодинамическую теорию разности потенциалов между металлом и полностью диссоциированным раствором соли этого металла, используя представления о консервативных молекулярных силах в жидкостях и применяя выражения для потенциалов парного взаимодействия молекул из предыдущей статьи. Таким образом, термодинамическое рассмотрение производится на молекулярной основе. Развивая подобный подход, Эйнштейн ставит проблему общего статистического обоснования термодинамики и публикует в 1902–1904 гг. три работы, посвященные данной проблеме[14-16]. Первую из этих работ он начинает следующим образом: «Как ни велики достижения кинетической теории теплоты в области физики газов, теория эта до сих пор не имеет удовлетворительной механической основы, поскольку законы теплового равновесия и второе начало термодинамики пока еще не удалось получить из одних только уравнений механики и теории вероятности, хотя Максвелл и Больцман в своих теориях почти достигли этой цели. В настоящем исследовании ставится задача восполнить этот пробел. Одновременно с этим получается обобщение второго начала, имеющее большое значение для применений

термодинамики. Кроме того, математическое выражение для энтропии выводится с точки зрения механики» ([14], с. 34). Не останавливаясь подробно на этих трех очень интересных и глубоких по физическому содержанию работах Эйнштейна (об их оценке см. статью Борна[2], с. 172, а также статью Клейна[3] с. 269), необходимо подчеркнуть, что Эйнштейн ввел независимо от Гиббса, с работами которого он был в то время незнаком, канонический ансамбль (не пользуясь этим термином), дал общее обоснование связи энтропии и вероятности, вывел второе начало термодинамики. Впоследствии, уже ознакомившись с работами Гиббса, Эйнштейн писал[17], отвечая на критику работ[14-15] П. Герцем: «...По-моему, следует предпочесть предложенный Гиббсом в его книге путь, исходным пунктом которого является канонический ансамбль. Если бы книга Гиббса была мне известна в то время, я вообще не стал бы публиковать упомянутые работы, а ограничился бы рассмотрением некоторых частных вопросов». Самостоятельная разработка Эйнштейном статистической термодинамики в общей форме сыграла очень важную роль в дальнейших его исследованиях по квантовой теории, в них он широко применял статистические методы, глубоко понимая их сущность. Вместе с тем Эйнштейна интересовали, как показывают его самые первые работы[12,13], элементарные молекулярные взаимодействия в жидкостях и растворах, и он естественным образом пришел к рассмотрению элементарных процессов взаимодействия излучения с веществом. Для ряда исследований Эйнштейна характерно сочетание применения статистических методов и рассмотрения элементарных процессов; такое сочетание имеется в его работах по броуновскому движению[18] (выполненных, начиная с 1905 г.) и особенно в его работах по квантовой теории, которые рассматриваются в данной статье.

Следует обратить специальное внимание на последние параграфы третьей статьи Эйнштейна по статистической термодинамике[16], относящейся к 1904 г. и непосредственно предшествовавшей его работам 1905 г. по квантовой теории, по броуновскому движению[18] и по специальной теории относительности[19]. Эйнштейн рассматривает в начале статьи вы-

ражение для энтропии системы S через логарифм вероятности $ln\ W$, «...совершенно аналогичное выражению, найденному Больцманом для идеальных газов и введенному Планком в его теории излучения» ([16], с. 67; здесь Эйнштейн впервые упоминает теорию излучения Планка). В § 3 («О смысле постоянной к в атомно-кинетической теории») Эйнштейн показывает, что обозначаемый им как 2κ коэффициент пропорциональности между S и $\ln W$ (т. е. постоянная Больцмана k, впервые введенная в явном виде Планком в 1900 г.[11]), равен отношению газовой постоянной R к числу Авогадро N. При этом Эйнштейн ссылается на работы Больцмана по теории газов и указывает, что «Величина 3κ равна отношению средней кинетической энергии атома к абсолютной температуре» ([16], с. 71). Весьма важен § 4 статьи (предпоследний, «Общий смысл постоянной κ»), в котором Эйнштейн для системы, соприкасающейся «с системой, обладающей бесконечно большой по сравнению с ней энергией и абсолютной температурой T», рассматривает отличие мгновенного значения энергии E от ее среднего значения $\bar{E}$, вводит величину $\varepsilon = E - \bar{E}$ –«флуктуацию энергии» – и получает для среднего квадрата флуктуации формулу

$$\overline{\varepsilon^2} = 2\kappa T^2 \frac{d\bar{E}}{dT}. \qquad (1)$$

Эйнштейн пишет: «Величина $\overline{\varepsilon^2}$ есть мера тепловой стабильности системы; чем больше $\overline{\varepsilon^2}$, тем менее стабильна система. Таким образом, абсолютная постоянная κ определяет тепловую стабильность систем» ([16], с. 73).

Дальнейшее развитие Эйнштейном представлений о термических флуктуациях в жидкостях и растворах привело его к теории броуновского движения[18]. Для нас, однако, особый интерес представляет применение представления о флуктуациях энергии к излучению, что было сделано Эйнштейном в последнем § 5 его статьи (который так и назван: «Применение к излучению») и несомненно явилось существенным этапом в развитии его взглядов на излучение. В начале параграфа Эйнштейн указывает, что уравнение (1) «...позволило бы определить точное значение универсальной постоянной κ,

если бы было можно найти среднее значение квадрата флуктуации энергии некоторой системы». Далее он пишет: «Однако при современном состоянии наших знаний этого сделать нельзя. Из опыта можно заключить, что флуктуации энергии вообще происходят только в физических системах одного единственного типа; такой системой является пустое пространство, содержащее тепловое излучение» ([16], с. 73).

Эйнштейн применяет уравнение (1) к случаю, когда пространство, занятое излучением, имеет линейные размеры порядка длины волны λ_m, соответствующей максимуму энергии излучения при данной температуре T. Он указывает, что в данном случае «флуктуация энергии излучения будет того же порядка величины, что и энергия излучения в этом пространстве», т. е. что $\sqrt{\overline{\varepsilon^2}} \approx \overline{E}$. Полагая согласно закону Стефана-Больцмана $\overline{E} = a\upsilon T^4$, где объем $\upsilon = \lambda_m^3$, а постоянная a = 7,06 $\cdot 10^{-15}$, Эйнштейн с помощью уравнения (1) находит, что $\sqrt[3]{\upsilon} = 0{,}42/\mathrm{T}$ в согласии с опытом, дающим $\lambda_m = 0{,}293/T$ (с законом смещения Вина)*. Эйнштейн заключает свою статью выводом: «Следовательно, и характер зависимости от температуры, и порядок величины λ_m с помощью общей молекулярной теории теплоты определяются правильно; я думаю, что согласие это при большой общности наших исходных предположений невозможно приписать случайности» ([16], с. 74).

Таким образом, для Эйнштейна равновесное излучение было системой, к которой он мог применить развитые им общие методы статистической термодинамики.

Рассмотрим теперь вопросы, связанные с законами равновесного излучения и возникновением квантовых представлений (см. также монографии[8-10,20] и статью[11]).

Главной задачей экспериментальных и теоретических исследований равновесного теплового излучения («излучения черного тела») было установление вида универсальной

---

* Отметим, что, как легко проверить, пользуясь выражениями для постоянных в законах Стефана – Больцмана и в законе смещения Вина, при $\upsilon = \lambda_m^3$ получаем $\overline{E} = a\upsilon T^4$ порядка kT, т.е. порядка энергии одного фотона, соответствующего длине волны λ_m (пренебрегая численными множителями порядка нескольких единиц).

функции спектрального распределения энергии излучения, которую мы будем записывать для спектральной плотности энергии излучения $\rho_\nu=\rho_\nu(T)$, рассчитанной на единицу объема и единицу интервала частот (мы пользуемся обозначением ρ, применявшимся Эйнштейном в его работах). Функция $\rho_\nu(T)$ связана с интегральной плотностью энергии излучения $\rho=\rho(T)$, подчиняющейся закону Стефана – Больцмана

$$\rho = aT^4, \tag{2}$$

где a – постоянная, соотношением

$$\rho = \int_0^\infty \rho_\nu d\nu . \tag{3}$$

Закон (2) был сперва установлен эмпирически Стефаном в 1879 г., а затем выведен Больцманом теоретически в 1884 г.[21], исходя из термодинамики и из соотношения классической электродинамики $p=\rho/3$ между давлением изотропного излучения p и его плотностью ρ. Отметим, что это общее соотношение сохраняется для равновесного излучения и в квантовой теории.

Важным этапом в установлении вида функции $\rho_\nu(T)$, предшествовавшим работам Планка, были работы Вина[22,23], исходившего, как и Больцман, из термодинамики и классической электродинамики. Рассматривая равновесное излучение в объеме с отражающими стенками и учитывая изменение длины волны этого излучения согласно принципу Допплера при отражении от движущейся стенки, Вин вывел закон, согласно которому универсальная функция $\rho_\nu(T)$должна иметь общий вид

$$\rho_\nu = \nu^3 F\left(\frac{\nu}{T}\right), \tag{4}$$

где F – произвольная функция от отношения ν/T.

В оригинальных работах Вина[22,23] рассматривалась функция $\rho_\nu(T)$ (Вин обозначил ее как $\varphi(\lambda)$), рассчитанная на единицу интервала длин волн λ (что соответствует представлению ρ в виде

$$\rho = \int_0^\infty \rho_\lambda d\lambda$$

и имеющая вид

$$\rho_\lambda(T) = \frac{1}{\lambda^5} f(\lambda T), \qquad (5)$$

где $f(\lambda T)$ – произвольная функция от произведения λT. При замене $v = c/\lambda$, где c – скорость света, получается формула (4). Как было сформулировано Вином в[22]: *«В нормальном спектре испускания черного тела с изменением температуры каждая длина волны смещается таким образом, что произведение температуры и длины волны остается постоянным»*. В частности, для длины волны λ_m, соответствующей максимальной энергии излучения, $\lambda_m T$=const. Это представляет обычную формулировку закона смещения Вина. Название «закон смещения Вина» применяют и для общих формул Вина (4) и (5).

Весьма существенно, что в работе[23] Вин рассматривал независимые монохроматические составляющие излучения и характеризовал их не только плотностями энергии, но и плотностями энтропии и соответствующими температурами, вообще говоря, различными для различных монохроматических составляющих. Интегральную плотность энтропии излучения Вин определял как сумму плотностей энтропии монохроматических составляющих излучения, причем она достигает максимума для равновесного излучения, для которого температуры всех его составляющих одинаковы. Результаты Вина, касающиеся энтропии излучения, были впоследствии использованы Эйнштейном в работе[1] (см. ниже, с. 158).

Подчеркнем, что, так же, как и закон Стефана – Больцмана (2), закон (4) является общим; он справедлив для равновесного излучения и в квантовой теории (как известно, эффект Допплера объясняется и согласно этой теории). Отметим, что, как легко проверить, закон (2) является следствием закона (4) и соотношения (3).

Вопрос о конкретном виде функции $F(v/T)$ и следовательно, искомой функции $\rho_v(T)$ (а также о значении постоянной a в законе (2), которая зависит от вида функции $F(v/T)$) не мог быть решен на основе общих соотношений термодинамики и электродинамики и представлял весьма трудную проблему, вообще неразрешимую методами классической физики. Эта проблема, как известно, была решена в 1900 г. Планком, нашедшим закон излучения (формула Планка, см.[24], а также [11,25]; мы пишем этот закон в обозначениях Эйнштейна в работе[1])

$$\rho_\nu = \rho_\nu(T) = \alpha\nu^3 \frac{1}{e^{\beta\nu/T} - 1}. \qquad (6)$$

Постоянные α и β выражаются через фундаментальные постоянные – постоянную Планка h (впервые появившуюся в его работах в 1899 г.[10,11]), постоянную Больцмана k и скорость света c по формулам

$$\alpha = \frac{8\pi\hbar}{c^3} \qquad (7)$$

и

$$\beta = \frac{h}{k} \qquad (8)$$

Закон излучения Планка (6) находится в согласии с общей формулой Вина (4).

Предельными случаями закона Планка являются законы, получающиеся при $\beta\nu / T = h\nu / kT >> 1$ и при $\beta\nu / T = h\nu / kT << 1$.

В первом случае, когда величина кванта энергии $h\nu$ много больше тепловой энергии kT, $\exp(\beta\nu / T) >> 1$ и

$$\rho_\nu = \rho_\nu(T) = \alpha\nu^3 e^{-\beta\nu/T}. \qquad (9)$$

Этот *чисто квантовый* закон излучения был получен Вином еще в 1896 г.[26] из соображений, связанных со сходством между распределением Максвелла молекул газа по скоростям $\bar{\upsilon}$; и спектральной зависимостью плотности излучения при больших $\beta\nu / T$ (что впоследствии было подчеркнуто Эйнштейном в начале статьи[6]). Для распределения Максвелла характерна экспоненциальная зависимость от скорости молекул и температуры, имеющая вид $\exp(-\gamma\bar{\upsilon} / T)$ (где $\gamma = M/2k$, M – масса молекулы, k – постоянная Больцмана); Вин предположил (развивая идеи, ранее высказанные в 1887 г. В. А. Михельсоном[27], на которого он ссылается), что молекулы со скоростью v испускают и поглощают свет с длиной волны λ, обратно пропорциональной $\bar{\upsilon}^2$ (т. е. с частотой ν, пропорциональной $\bar{\upsilon}^2$), а это дает зависимость экспоненты от $1/\lambda T$ (т. е. от ν/T), удовлетворяя закону смещения Вина, и сразу приводит к определению вида функции $F(\nu/T)$ в (4) и к зако-

ну излучения (9). Легко видеть, что приравнивание экспоненты $-\beta\nu / T = -h\nu / kT$ в (9) экспоненте $-\gamma\bar{\upsilon}^2 / T = -M\bar{\upsilon}^2 / 2kT$ в распределении Максвелла дает соотношение $-M\bar{\upsilon}^2 / 2 = h\nu$, т. е. соответствует, с современной точки зрения, возникновению фотона с энергией $h\nu$ за счет кинетической энергии быстрых молекул $(M\bar{\upsilon}^2 / 2 = h\nu >> kT)$ или обратному процессу. Таким образом, работа Вина[27] содержала в скрытом виде квантовую гипотезу (ср. монографию Хунда[8], с. 24). Закон излучения Вина (9) с эмпирическими постоянными α и β хорошо подтверждался опытными данными для больших значений ν/T.

Разумеется, в действительности кинетическая энергия не переходит непосредственно в энергию излучения, как предполагал Вин для молекул газа (а до него Михельсон для атомов твердого тела[27]), а за счет относительной кинетической энергии двух сталкивающихся молекул происходит возбуждение одной из них и последующее испускание фотона; возможен и обратный процесс поглощения фотона молекулой и последующий переход энергии возбуждения в относительную кинетическую энергию при ударе второго рода.

Во втором случае, когда величина кванта энергии $h\nu$ много меньше тепловой энергии kT, $\exp(\beta\nu / T) \approx 1 + (\beta\nu / T)$, $\rho_\nu \approx \alpha\nu^2 T / \beta$, и, учитывая, что, согласно (7) и (8), $\alpha / \beta = 8\pi k / c^3$, т. е. что квантовая постоянная Планка сокращается, находим

$$\rho_\nu = \rho_\nu(T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT . \qquad (10)$$

Этот *чисто классический* закон, получивший впоследствии название закона Рэлея – Джинса, может быть, как известно, выведен на основании подсчета числа $Z(\nu)$ собственных колебаний электромагнитного поля, приходящихся на единицу интервала частот и единицу объема, которое оказывается равным $Z(\nu) = 8\pi\nu^2 / c^3$, и предположения, что на каждое такое колебание (одну колебательную степень свободы электромагнитного поля) приходится средняя энергия kT (согласно классическому закону равнораспределения энергии по степеням свободы)[28]. Пропорциональность спектральной

плотности излучения абсолютной температуре, наблюдающаяся при высоких температурах и малых частотах (при больших длинах волн), сыграла существенную роль при установлении Планком закона излучения (6). Планк стремился найти закон, который давал бы, наряду с известным ему законом излучения Вина (9), справедливым при больших ν/T, и соответствующие опыту результаты при малых ν/T (с работой Рэлея[28] Планк не был видимо знаком; см., например,[10,25]).

При выводе закона излучения (6) Планк впервые в явном виде ввел квантовую гипотезу. Очень важно отчетливо представлять себе, какие основные предположения были сделаны Планком в его классических работах[24] (см. также[11,25]). Прежде всего, Планк моделировал вещество, с которым излучение, характеризуемое спектральной плотностью ρ_ν, находится в равновесии, совокупностью элементарных электрических осцилляторов, гармонических колеблющихся с различными частотами ν и обменивающихся энергией с полем излучения в результате резонансного испускания и поглощения электромагнитных волн соответствующих частот. Планк последовательно решал для совокупности таких осцилляторов (которые он называл «резонаторами») две задачи – во-первых, задачу нахождения связи ρ_ν со средней энергией одного резонатора E_ν во-вторых, задачу определения этой средней энергии при данной температуре T, общей для вещества и излучения, т. е. при полном термодинамическом равновесии.

В результате решения первой задачи, рассматривая по методам классической электродинамики поглощение и испускание электромагнитной энергии отдельными резонаторами как *непрерывные* процессы, Планк получил формулу

$$\rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}\bar{E}_\nu \,. \qquad (11)$$

Для решения второй задачи – определения E_ν – Планк искал выражение для средней энтропии одного резонатора частоты ν, S_ν, с тем, чтобы, пользуясь термодинамической связью энергии и энтропии, найти $\bar{E}_\nu$. Первоначально Планк стремился вывести закон излучения Вина (9) как удовлетво-

ряющий опытным данным (вывод самого Вина в[26] он не считал достаточным). Ему удалось подобрать выражение для S_ν, приводящее к формуле

$$E_\nu = b\nu e^{-a\nu/T} \tag{12}$$

(где a и b – постоянные), которая при подстановке в (11) давала закон излучения Вина (9) (см.[24], с. 219).

Выражение Планка для S_ν имело вид ([24], с. 219)

$$S_\nu = -\frac{\overline{E}_\nu}{a\nu}\left(\ln\frac{\overline{E}_\nu}{b\nu} - 1\right). \tag{13}$$

где, как потом выяснилось, $b = h$, а $a = h/k$. Таким образом, отношение $\overline{E}_\nu / b\nu = \overline{E}_\nu / h\nu$ представляло среднее число квантов энергии, а отношение $\overline{E}_\nu / a\nu = k\overline{E}_\nu / h\nu$ – среднее число квантов энергии, умноженное на постоянную Больцмана k, в согласии с квантованием энергии резонаторов (т. е. гармонических осцилляторов), введенным Планком в последующих работах. Мы видим, что и Планк пользовался квантовым выражением (в данном случае для энтропии), не зная этого.

В дальнейшем Планк вывел закон (6), справедливый и для малых значений ν/T (после того как он сначала получил его полуэмпирическим методом), определив среднюю энтропию резонатора S_ν, исходя из связи, согласно соотношению Больцмана $S = k\ln W$, полной энтропии S совокупности резонаторов данной частоты с вероятностью W при фундаментальной гипотезе о дискретности энергии резонаторов. Согласно этой *квантовой гипотезе* Планка резонатор, колеблющийся с частотой ν, может обладать лишь энергиями, кратными порциям энергии $\varepsilon = h\nu$ (квантам энергии, как их стали называть впоследствии), т. е. возможные значения энергии отдельного резонатора равны

$$E_\nu = n\varepsilon = nh\nu, \tag{14}$$

где n – целое число.

Полученное Планком из вероятностного рассмотрения выражение для средней энтропии резонатора (см.[24], с. 262, 265) было более общим, чем выражение (13); из него следовало, что $E_\nu = h\nu/[\exp(h\nu/kT) - 1]$ и подстановка в (11) давала закон излучения Планка (6) со всеми постоянными.

Следует подчеркнуть, что квантовая гипотеза Планка (14)

относилась к *квантованию энергии вещества* и что процессы поглощения и испускания излучения Планк рассматривал как непрерывные в соответствии с классической электродинамикой. Существенно также, что конкретные элементарные процессы взаимодействия излучения с веществом Планка не интересовали. Резонаторы были лишь моделью, необходимой ему для вывода законов излучения. Он, в частности, писал: «... Вовсе не существенно, основаны ли колебания элементарных резонаторов на токах проводимости (само собой разумеется, при отсутствии электрического сопротивления), либо на токах конвекции (движении электрически заряженных частиц)» ([24], с. 195). Дав закон (14) для квантования энергии резонатора, Планк еще не думал о применении данного закона к конкретным атомным системам.

Понимание этих особенностей подхода Планка очень важно при анализе того нового, что внес Эйнштейн в развитие квантовых представлений.

3. КВАНТОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ (РАБОТА ЭЙНШТЕЙНА 1905 г.)

Рассмотрение работ Эйнштейна по квантовой теории естественно начать с достаточно подробного и систематического анализа его работы 1905 г.[1], в которой он впервые выдвинул революционную идею *квантования энергии излучения* в форме гипотезы квантов света, что являлось основным в этой работе (а не объяснение законов фотоэффекта; см. выше). Именно с данной работы началось развитие квантовой теории излучения.

Уже в кратком введении к работе Эйнштейн очень четко противопоставляет волновой теории света, основанной на представлении о непрерывности электромагнитного поля («оперирующей с непрерывными пространственными функциями») и «прекрасно оправдавшейся при описании чисто оптических явлений», корпускулярную теорию света, согласно которой «энергия света распределяется по пространству дискретным образом» и которая, по мнению Эйнштейна, лучше объясняет «явления возникновения и превращения

света» ([1], с. 92, 93[*]). В конце введения Эйнштейн пишет: «Ниже я излагаю ход мыслей и факты, натолкнувшие меня на этот путь, в надежде, что предлагаемая здесь точка зрения («одна эвристическая точка зрения», как указано в названии работы.– *М. Е.*), возможно, принесет пользу и другим исследователям в их изысканиях».

Из девяти параграфов работы, чрезвычайно оригинальной и богатой по содержанию, первые шесть посвящены подходу к корпускулярным представлениям об излучении и их обоснованию, а последние три – приложениям этих представлений о квантах света (фотонах – по современной терминологии; Эйнштейн пользуется терминами «квант энергии» и «квант света») к процессам возникновения и превращения света.

В § 1 («Об одной трудности в теории "излучения черного тела"») Эйнштейн рассматривает с классической точки зрения равновесие излучения и вещества, содержащего «электроны-резонаторы». Согласно кинетической теории газов средняя энергия колебательного движения электрона-резонатора на одну степень свободы должна равняться *(R/N)T* (Эйнштейн не вводит постоянную Больцмана *k* и вместо нее пишет *R/N)*. Применяя «условие динамического равновесия» (11), выведенное Планком, Эйнштейн получает (он при этом ссылается на работу Планка «О необратимых процессах излучения» ([24], с. 191), в которой Планк выводил закон излучения Вина, исходя из формулы (13) для энтропии), полагая $\overline{E_\nu} = (R/N)T$, соотношение (10), т. е. закон Рэлея – Джинса. Эйнштейн сразу показывает, что в этом случае $\int_0^\infty \rho_\nu d\nu = \infty$ и подчеркивает, что соотношение (10) «не только противоречит опыту, но и утверждает, что в нашей картине (т. е. в классической картине.–*М.Е.*) не может быть и речи о каком-либо однозначном распределении энергии между эфиром и веществом». Таким образом, Эйнштейн не только неза-

[*] См. также[11], где соответствующая цитата приведена полностью и уточнен перевод с немецкого оригинала.

висимо вывел закон Релея – Джинса, но и отчетливо представлял «ультрафиолетовую катастрофу».

Следует вместе с тем отметить, что ни Планк при выводе формулы (11), ни затем Эйнштейн при выводе с ее помощью закона (10) не рассматривали входящее в формулу (11) выражение $8\pi\nu^2/c^3 = Z(\nu)$ как число собственных колебаний электромагнитного поля. Данное выражение трактовалось ими лишь как коэффициент пропорциональности, связывающий спектральную плотность излучения ρ_ν со средней энергией $\overline{E_\nu}$ резонатора, испускающего и поглощающего это излучение. При равновесии вещества и излучения средняя энергия на одну колебательную степень свободы, согласно классическим представлениям, должна быть одинакова и равна kT как для резонаторов, моделирующих вещество, так и для собственных колебаний поля излучения. Поэтому оба способа рассмотрения – Эйнштейна, с одной стороны, и Рэлея, Лоренца и Джинса[28], с другой – дают тот же результат (10), противоречащий опыту при больших ν/T.

Дальнейшее рассмотрение предельного классического случая малых ν/T содержится в § 2 статьи («О планковском определении элементарных квантов»). Эйнштейн в начале этого небольшого параграфа пишет: «Теперь мы покажем, что определение элементарных квантов, данное Планком, является до известной степени независимым от созданной им теории «излучения черного тела». Затем он приводит формулу Планка, как «согласующуюся со всеми проведенными до сих пор экспериментами», в виде (6) с численными значениями постоянных α и β. Эйнштейн при этом ссылается на работу Планка «О законе распределения энергии в нормальном спектре» ([24], с. 258).

Необходимо отметить (и это видно из дальнейшего), что идет речь не о квантах энергии $h\nu$ (в цитированной работе Планк говорил об «элементе энергии» $\varepsilon = h\nu$, еще не называя его «квантом энергии»), а о дискретной структуре вещества и об определении числа Авогадро N, что рассматривалось в работе Планка «Об элементарном кванте материи и электричества» ([24], с. 268).

Для малых ν/T Эйнштейн получает предельный вид формулы (6), $\rho_\nu = (\alpha/\beta)\,\nu^2 T$, и сравнение с найденной им в предыдущем параграфе формулой (10) (где $k=R/N$) позволяет ему

определить значение N=6,17×10^{23} – «в точности то же значение, которое получил Планк» (в упомянутой выше работе).

Рассмотрение классического случая Эйнштейн заканчивает выводом: «... Чем больше плотность энергии и длина волны излучения, тем лучше оправдываются наши теоретические предпосылки; однако для малых длин волн и малых плотностей они оказываются совершенно непригодными». Эйнштейн в дальнейшем рассматривает именно предельный случай больших ν/T – чисто квантовый случай, когда справедлив закон излучения Вина (9). Он пишет: «В дальнейшем «излучение черного тела» будет рассматриваться в связи с опытом, а не на основе каких-либо представлений о возникновении и распространении излучения» ([1], с. 96). На работы Планка он при этом не опирается и больше на них не ссылается. Подход Эйнштейна коренным образом отличался от подхода Планка. В то время как Планк выражает, согласно (11), плотность излучения ρ_ν через *характеризующую свойства вещества* среднюю энергию резонатора $\overline{E_\nu}$, которую находит как функцию средней энтропии резонатора S_ν, а для определения последней применяет соотношение Больцмана для вещества, Эйнштейн по плотности излучения находит его энтропию как функцию объема и, пользуясь тоже соотношением Больцмана, но уже в *применении к самому излучению*, выясняет физический смысл найденного выражения для энтропии; он приходит к фундаментальному выводу о наличии у излучения при больших ν/T корпускулярных свойств. Выполнению этой программы посвящены §§ 3–6 работы Эйнштейна; и весьма поучительно проследить более детально за ходом его рассуждений.

В начале § 3 («Об энтропии излучения») Эйнштейн пишет: «Последующее рассмотрение содержится в знаменитой работе В. Вина и приводится здесь только в целях полноты изложения». Речь идет о статье Вина[23] (см. выше, с. 148), и следует отметить, что Эйнштейн излагает вопрос в несколько иной форме, чем Вин.

Для излучения, занимающего объем υ, Эйнштейн рассматривает спектральную плотность энтропии φ_ν как функ-

цию от спектральной плотности энергии ρ_ν и частоты ν[*]. Он определяет полную энтропию излучения S как аддитивную по частотам функцию, следуя Вину, формулой $S = \upsilon \int_0^\infty \varphi_\nu d\nu$ и находит максимум плотности энтропии $\int_0^\infty \varphi_\nu d\nu$ при постоянной плотности энергии $\int_0^\infty \rho_\nu d\nu$, что соответствует равновесному излучению («излучению черного тела»). Для такого излучения, при учете соотношения $dS = dE/T$ между приращением энтропии dS и сообщенным теплом $dQ = dE$ для обратимого изохорического процесса, получается соотношение

$$\frac{\partial \varphi_\nu}{\partial \rho_\nu} = \frac{1}{T}, \qquad (15)$$

справедливое для всех значений частоты. О соотношении (15) Эйнштейн пишет: «Это и есть закон излучения черного тела. Следовательно, по функции φ_ν можно определить закон излучения черного тела и наоборот, интегрируя этот закон и учитывая, что $\varphi_\nu = 0$ при $\rho_\nu = 0$, можно получить функцию φ_ν»[†] Именно нахождению энтропии равновесного излучения φ_ν, зная его энергию ρ_ν, и посвящен § 4 («Предельный закон для энтропии монохроматического излучения при малой плотности излучения»). Эйнштейн исходит из закона излучения Вина (9), отмечая, что хотя данный закон «точно не выполняется», но «для больших значений отношения ν/T этот закон подтверждается экспериментом очень хорошо». Таким образом, Эйнштейн рассматривает закон Вина как экспериментальный закон и лишь много позже, в 1916 г. в

---

[*] В этом параграфе и последующих Эйнштейн обозначает φ_ν и ρ_ν просто как φ и ρ; в дальнейшем тексте мы сохраняем для ясности индекс ν для спектральных величин, чтобы отличать их от интегральных.

[†] Отметим, что формула (15) приводится Планком в работе 1900 г. «Энтропия и температура лучистой энергии» ([24], с. 234, §§ 5 и 6). Планк применяет эту формулу для нахождения ρ_ν, зная φ_ν.

работе[6] он говорит о выводе Вином формулы (9) (см. с. 148 и, более подробно, с. 185).

Эйнштейн сперва определяет, согласно закону (9), величину $1/T=-(1/\beta\tau)\ln(\rho_\nu/\alpha\nu^3)$; подставляя ее в соотношение (15) и интегрируя, он получает выражение для φ_ν, которое, умноженное на объем υ и на $d\nu$ дает энтропию $S=\upsilon\varphi_\nu d\nu$ излучения в интервале частот от ν до $\nu+d\nu$, обладающего энергией $E=\upsilon\rho_\nu d\nu$. Для зависимости энтропии от объема Эйнштейн находит формулу

$$S - S_0 = \frac{E}{\beta\nu}\ln\frac{\upsilon}{\upsilon_0}, \qquad (16)$$

где S_0 – энтропия излучения, занимающего объем υ_0. Данное выражение, показывающее, «что энтропия монохроматического излучения достаточно малой плотности зависит от объема так же, как энтропия идеального газа или разбавленного раствора», Эйнштейн интерпретирует в дальнейшем «на основе введенного в физику Больцманом принципа, согласно которому энтропия некоторой системы есть определенная функция вероятности состояния этой системы».

Следующий § 5 («Исследование зависимости энтропии газов и разбавленных растворов от объема в молекулярной теории») Эйнштейн начинает с важного общего замечания: «При вычислении энтропии методами молекулярной теории слово «вероятность» часто употребляется в смысле, не совпадающем с определением, даваемым ему в теории вероятностей. Особенно часто предполагается «случай равной вероятности» там, где с теоретической стороны задача является достаточно определенной, чтобы не вводить гипотезу и рассуждать по дедукции». Вопрос о том, какие состояния считать равновероятными, Эйнштейн рассмотрел в дальнейшем при анализе формулы излучения Планка в работах[29,30] и особенно в работе[4], и это оказалось весьма существенным для выявления квантовых закономерностей (см. ниже, с. 165 и 170).

Далее Эйнштейн дает общую формулировку принципа Больцмана. Он получает основную формулу

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \ln W, \tag{17}$$

(где W – относительная вероятность состояния с энтропией S), исходя из общего рассмотрения двух невзаимодействующих друг с другом систем с энтропиями $S_1(W_1)$ и $S_2(W_2)$, где W_1 и W_2 – вероятности мгновенных состояний этих систем, и учитывая аддитивность энтропии $(S=S_1+S_2)$ и мультипликативность вероятностей $(W = W_1W_2)$. Для частного случая n независимых частиц, например идеального газа или разбавленного раствора, занимающих объем υ_0, вероятность сосредоточения всех n частиц в объеме υ, составляющем часть общего объема υ_0, равна

$$W = \left(\frac{\upsilon}{\upsilon_0} \right)^n, \tag{18}$$

и, согласно формуле (17),

$$S - S_0 = R \frac{n}{N} \ln \frac{v}{v_0}. \tag{19}$$

Эйнштейн подчеркивает «что для вывода этого соотношения ... не требуется делать никаких предположений о законе движения молекул».

Сравнению формулы (16) с формулами (17) – (19) и фундаментальным следствиям такого сравнения посвящен § 6 («Интерпретация выражения для зависимости энтропии монохроматического излучения от объема, полученной на основе принципа Больцмана»). Именно этот параграф содержит гипотезу квантов света и является центральным в основополагающей работе Эйнштейна[1]. При записи формулы (16) в виде

$$S - S_0 = \frac{R}{N} \ln \left[\left(\frac{\upsilon}{\upsilon_0} \right)^{\frac{N}{R}\frac{E}{\beta v}} \right] \tag{19'}$$

и сравнении с общей формулой (17) получается, что

$$W = \left(\frac{\upsilon}{\upsilon_0} \right)^{\frac{N}{R}\frac{E}{\beta v}}, \tag{20}$$

в полной аналогии с формулой (18). Соответственно Эйнштейн делает заключение: «Монохроматическое излучение малой плотности (в пределах области применимости закона излучения Вина) в смысле теории теплоты ведет себя так, как будто оно состоит из независимых друг от друга квантов энергии величиной $R\beta\nu/N$» (т. е., учитывая, что $R/N=k$, $\beta=h/k$ и $R\beta N=h$, из квантов величиной $h\nu$; а потому величина $NE/R\beta\nu=E/h\nu$ представляет число квантов света).

Эйнштейн также вычисляет среднюю энергию «квантов энергии "излучения черного тела"», которая, согласно закону Вина (9), равна $3(R/N)T$ (т. е. $3kT$), и сравнивает ее со средней кинетической энергией движения центра тяжести молекулы $(3/2)RT/N$ (т.е. $(3/2)kT$).

В конце § 6 Эйнштейн говорит: «Но если монохроматическое излучение (достаточно малой плотности) в смысле зависимости энтропии от объема ведет себя как дискретная среда, состоящая из квантов энергии величиной $R\beta\nu/N$, то напрашивается вопрос, не являются ли и законы возникновения и превращения света такими, как будто свет состоит из подобных же квантов энергии». Законам возникновения и превращения света, вытекающим из гипотезы квантов света, и посвящены последние три параграфа работы[1]. При этом Эйнштейн переходит от статистического рассмотрения законов равновесного излучения к рассмотрению элементарных процессов взаимодействия излучения с веществом, основанному на представлении о дискретности энергии излучения, и соответственно о дискретности самих процессов поглощения и испускания.

В § 7 («Правило Стокса») Эйнштейн очень просто объясняет установленное Стоксом еще в 1852 г. соотношение для процесса фотолюминесценции – закон или правило Стокса, согласно которому длина волны испускаемого света λ_2 больше длины волны поглощенного света λ_1 или равна ей, т. е. частота $\nu_2 = c/\lambda_2$ меньше частоты $\nu_1 = c/\lambda_1$ или равна ей. Если испускаемый квант света возникает только за счет поглощенного кванта света, то в соответствии с законом сохранения энергии $h\nu_2 \le h\nu_1$ (в обозначениях Эйнштейна

$R\beta\nu_2 / N \le R\beta\nu_1 / N$), т.е. $\nu_2 \le \nu_1$. «Это и есть известное правило Стокса» – говорит Эйнштейн. Он специально подчеркивает, что «при слабом освещении количество возбуждаемого света при прочих равных условиях должно быть пропорционально интенсивности возбуждающего света» и указывает, что отклонения от правила Стокса возможны в двух случаях. Это, во-первых, при столь большой плотности квантов света, «что один квант возбуждаемого света может получить свою энергию от многих возбуждающих квантов», и, во-вторых, при нарушении закона Вина, например, когда «свет испускается телом такой высокой температуры, что для рассматриваемой длины волны закон Вина уже не выполняется». Первому случаю соответствует нелинейная зависимость интенсивности возбуждаемого света от интенсивности возбуждающего; такого рода процессы – многофотонные процессы – как известно, широко изучаются в настоящее время. Во втором случае уже не выполняется условие $h\nu >> kT$; при этом величина испускаемого кванта может увеличиваться за счет тепловой энергии люминесцирующего тела (антистоксова фотолюминесценция). Мы имеем пример глубокого анализа Эйнштейном сущности рассматриваемых элементарных процессов.

В § 8 («О возбуждении катодных лучей при освещении твердых тел») Эйнштейн рассматривает фотоэффект на основе представления о том, «что возбуждающий свет состоит из квантов с энергией *(R/N)βν*» (т.е. *hν)*, предполагает, что «один световой квант отдает всю свою энергию одному электрону», и учитывает, «что каждый электрон, покидая тело, должен совершить некоторую работу *P* (характерную для данного тела)», т. е. вводит понятие о работе выхода. Приравнивая максимальную кинетическую энергию вырываемого электрона *Rβν/N–P* величине *Пε*, где *П* – величина задерживающего потенциала, а *ε* – заряд электрона, Эйнштейн получает свое знаменитое уравнение для фотоэффекта в виде *Пε=Rβν/N–P*, или, в современной записи,

$$eV = h\nu - P. \qquad (21)$$

Он указывает: «Если выведенная формула правильна, то Π как функция частоты возбуждающего света изображается в декартовых координатах в виде прямой, наклон которой не зависит от природы исследуемого вещества». Как известно, этот линейный закон, из которого может быть определено отношение h/e, был впоследствии с большой точностью проверен Милликеном (в 1916 г.), Лукирским и Прилежаевым (в 1928 г.) и другими.

Эйнштейн отмечает, что об области применимости законов фотоэффекта «можно было бы сделать такие же замечания, какие были высказаны по поводу предполагаемых отклонений от правила Стокса». Он также указывает, что для катодной люминесценции – процесса, обратного фотоэффекту – при больших ускоряющих напряжениях возможно возникновение большого числа квантов света за счет кинетической энергии одного электрона.

В последнем параграфе работы (§ 9 «Об ионизации газов ультрафиолетовым светом») Эйнштейн рассматривает на примере ионизации отдельных молекул газа квантами ультрафиолетового света вопрос о числе таких процессов. Если каждый поглощенный квант вызывает ионизацию одной молекулы, то число ионизированных молекул равно просто числу поглощенных квантов. Это представляет первоначальную форму закона фотохимического эквивалента, который Эйнштейн сформулировал впоследствии для фотохимических процессов[31].

4. АНАЛИЗ ЭЙНШТЕЙНОМ ФОРМУЛЫ ПЛАНКА И КВАНТОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕЩЕСТВА (РАБОТЫ ЭЙНШТЕЙНА 1906–1907 гг.)

Как следует из произведенного анализа первой работы Эйнштейна по квантовой теории излучения, ее центральной идеей была идея *квантования энергии излучения*, базирующаяся на статистическом рассмотрении теплового излучения в предельном случае больших значений ν/T. Эйнштейн смог обосновать эту идею, исходя из справедливого при таких значениях ν/T закона Вина (9), имеющего чисто квантовую

природу, и успешно применил ее к рассмотрению элементарных процессов взаимодействия излучения с веществом, как имеющих дискретный характер. Однако еще не была вскрыта связь его подхода с подходом Планка, *квантовавшим энергию вещества*. Такая связь была выявлена Эйнштейном в его работах 1906–1907 гг.[29,30], существенным результатом которых явилось создание Эйнштейном основ квантовой теории теплоемкостей.

В начале первой из этих работ, небольшой, но весьма важной статьи[29], состоящей всего из двух параграфов, Эйнштейн пишет о своей работе[1], в которой он «пришел к выводу, что свет с частотой ν может поглощаться и испускаться только квантами энергии $(R/N)\beta\nu$», следующее:

«Тогда мне показалось, что теория излучения Планка (Эйнштейн здесь, как и в[1], ссылается на статью Планка «О законе распределения энергии в нормальном спектре»[21], с. 258.– *М.Е.*) в известном смысле противостоит моей работе. Однако новые рассуждения, которые приводятся в § 1 настоящей работы, убеждают, что теоретическая основа теории Планка отличается от той, которую можно было бы получить из теории Максвелла и теории электронов. Теория Планка в действительности неявно использует упомянутую выше гипотезу световых квантов».

Эйнштейн назвал § 1 работы[29] «Теория излучения Планка и световые кванты». В начале этого параграфа он выписывает формулу Рэлея-Джинса (10), «противоречащую опыту», и ставит вопрос о том, почему Планк получил не эту формулу, а формулу (6). Далее Эйнштейн приводит выведенное Планком соотношение (11), $\overline{E}_\nu = \left(c^3 / 8\pi\nu^2\right)\rho_\nu$. Он показывает, что, если определять среднюю энергию резонатора $\overline{E}_\nu$ с помощью выражения для энтропии *S*, найденного в работе[15] по статистической термодинамике, то формула Планка (6) получается только в предположении о дискретности энергии резонаторов. Эйнштейн в результате приходит к заключению:

«Поэтому мы можем считать, что в основе теории Планка лежит следующее утверждение.

Энергия элементарного резонатора может принимать только целочисленные значения, кратные величине $(R/N)\beta\nu$; энергия резонатора при поглощении и испускании меняется скачком, а именно на целочисленное значение, кратное величине $(R/N)\beta\nu$».

Таким образом, Эйнштейн подчеркивает, что из квантования энергии резонатора следует дискретность процессов поглощения и испускания (которая была получена самим Эйнштейном в работе[1] из предположения о дискретности энергии излучения; ср.[11], с. 678).

Далее Эйнштейн делает и второй важный вывод:

«Если энергия резонатора может меняться только скачкообразно, то для определения средней энергии резонатора, находящегося в поле излучения, нельзя применять обычную теория электричества, ибо эта теория не содержит *выделенных* (курсив Эйнштейна. – *М.Е.*) значений энергии. Следовательно, такое предположение заложено в основе теории Планка.

Хотя теория Максвелла неприменима к элементарным резонаторам, но *средняя* энергия элементарного резонатора, находящегося в поле излучения, равна энергии, вычисленной по максвелловской теории электричества».

При этом Эйнштейн отмечает, что в области применимости формулы излучения Вина (9) $\bar{E}_\nu$ много меньше $\varepsilon = h\nu$, т. е. что лишь очень малое число резонаторов имеет энергию, отличную от нуля.

Окончательный вывод Эйнштейна следующий:

«Изложенные выше рассуждения, по моему мнению, отнюдь не опровергают теорию излучения Планка; напротив, они, по-видимому, показывают, что Планк в своей теории излучения ввел новый гипотетический элемент – гипотезу световых квантов».

Мы видим, что Эйнштейн подчеркивает как существенную черту теории Планка связь дискретности поглощения и испускания с предположением о выделенных – дискретных – значениях энергии резонаторов, т. е. о квантовании энергии вещества. Дальнейшее развитие идея дискретности энергии вещества получила в работе Эйнштейна[30], опубликованной в

начале 1907 г.

Отметим, что в рассмотренной работе[29] в § 2 («Ожидаемое количественное соотношение между порогом фотоэффекта и рядом напряжений Вольта») Эйнштейн впервые получает формулу для контактной разности потенциалов V_{12} на границе двух металлов. Согласно этой формуле, основанной на теории фотоэффекта, данной Эйнштейном в работе[1] (см. выше, с. 162), eV_{12} равно разности работ выхода электрона из соответствующих металлов (Эйнштейн вводит потенциалы V_1 и V_2, соответствующие граничным частотам фотоэффекта ν_1 и ν_2 согласно соотношениям, в современных обозначениях, $V_1=h\nu_1/e$ и $V_2=h\nu_2/e$, где в соответствии с формулой (21) при V=0 $h\nu_1=P_1$ и $h\nu_2 = P_2$).

Эйнштейн начинает работу[30] со ссылки на свои работы[1,29], в которых он пришел «к новой точке зрения на явления поглощения и испускания света» и характеризует содержание данной работы так: «В настоящей работе будет доказано, что теория излучения – в особенности теория Планка – ведет к видоизменению молекулярно-кинетической теории, позволяющему устранить некоторые трудности, до сих пор стоявшие на пути этой теории (речь идет о теплоемкостях.– *M.E.*)».

Сначала Эйнштейн, используя результаты своей работы 1903 г. по статистической термодинамике[15], дает очень простой и принципиально важный «вывод формулы для средней энергии резонатора Планка, отчетливо выявляющий связь с молекулярной механикой». Он применяет в случае термодинамического равновесия общую формулу для вероятности dW того, что энергия E подсистемы, составляющей малую часть всей системы и описываемой независимыми переменными P_ν ($\nu = 1, 2, ..., m$), лежит в пределах от E до $E + dE$:

$$dW = Ce^{-(N/kT)E}\omega(E)\,dE\,, \qquad (22)$$

где

$$\omega(E)\,dE = \int_{dE} dp_1 ... dp_m \qquad (23)$$

и «интеграл распространяется на все комбинации p_ν, соответствующие значениям энергии от E до $E+dE$». Таким образом, Эйнштейн рассматривает общий вид распределения Больцмана; от выбора функции $\omega(E)$, т. е. от того, какие состояния считаются равновероятными (см. выше, с. 158), будут зави-

сеть конкретный вид функции распределения и средние значения физических величин. Для частицы, совершающей линейные гармонические колебания, энергия $E=ax^2+b\xi^2$, где x – мгновенное расстояние этой частицы от положения равновесия, а ξ – мгновенная скорость (a и b – постоянные). Формула (23) дает $\int_{dE} dxd\xi = const\ dE,$ следовательно, $\omega(E)$ = const, и среднее значение энергии, согласно (22), получается равным

$$\bar{E} = \frac{\int Ee^{-(N/kT)E} dE}{\int e^{-(N/kT)E} dE} = \frac{kT}{N}. \qquad (24)$$

Для «колеблющегося вдоль прямой линии иона» это приводит при учете соотношения (11) (Эйнштейн ссылается, как и в[1] на работу Планка «О необратимых процессах излучения»; см.[24], с. 191) к формуле (10), о которой Эйнштейн впервые говорит как о «формуле Рэлея». Он подчеркивает, что эта формула справедлива, «как известно, лишь в предельном случае больших значений *T/v*».

«Чтобы прийти к планковской теории излучения абсолютно черного тела», Эйнштейн (ссылаясь при этом на появившиеся в 1906 г. лекции Планка по теории теплового излучения[32]) сохраняет соотношение (11), предполагая, «что максвелловская теория электричества правильно воспроизводит связь между плотностью излучения и $\bar{E}$ », но отказывается от формулы (24), предполагая, «что применение молекулярно-кинетической теории приведет к противоречию с опытом». Он исходит из формулы (22) «общей молекулярной теории теплоты» и вместо ω=const полагает $\omega=0$ для всех значений E, кроме значений от 0 до $0+\alpha$, от ε до $\varepsilon+\alpha$, от 2ε до $2\varepsilon+\alpha$, и т. д., где α бесконечно мало по сравнению с ε, а для этих интервалов приравнивает интегралы $\int \omega dE$ постоянной A, что «включает в себя предположение, что энергия рассматриваемого элементарного образования принимает только значения, бесконечно близкие к величинам 0, ε, 2ε и т. д.». Среднее значение энергии получается равным

$$\overline{E} = \frac{\int E e^{-(N/kT)E} \omega(E)\, dE}{\int e^{-(N/kT)E} \omega(E)\, dE} = \\ = \frac{0 + A\varepsilon e^{-(N/kT)\varepsilon} + A2\varepsilon e^{-(N/kT)2\varepsilon} + \ldots}{A + Ae^{-(N/kT)\varepsilon} + Ae^{-(N/kT)2\varepsilon} + \ldots} = \frac{\varepsilon}{e^{(N/kT)\varepsilon} - 1}, \tag{25}$$

что дает при $\varepsilon = (R/N)\,\beta\nu = h\nu$ («согласно гипотезе квантов»)

$$\overline{E} = \overline{E}_\nu = \frac{(R/N)\,\beta\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \tag{26}$$

и приводит, согласно соотношению (11), к формуле Планка (6). Эйнштейн указывает, что формула (26) «дает зависимость средней энергии резонатора Планка от температуры». В то время как эта формула была получена Планком достаточно сложным путем, Эйнштейн, в результате применения распределения Больцмана (22) к квантованным состояниям, сразу получил ее. Существенно, что простота вывода явилась результатом общего физически обоснованного подхода Эйнштейна.

Очень важным является общий вывод Эйнштейна: «... До сих пор считали, что движение молекул подчиняется таким же точно законам, каким подчиняется движение тел нашего повседневного опыта (с добавлением одного только постулата полной обратимости), теперь же приходится делать предположение, что для колеблющихся с определенной частотой ионов, участвующих в обмене энергией между веществом и излучением, множество состояний, которые могут принимать эти ионы, меньше, чем для тел нашего повседневного опыта». Здесь проявляется глубокое понимание Эйнштейном необходимости отказа от классической механики при описании движения микрочастиц.

Эйнштейн идет дальше и ставит вопрос: «... Если элементарные образования, существование которых предполагалось в теории обмена энергией между излучением и веществом, мы не можем понимать в смысле современной молекулярно-кинетической теории теплоты, то не следует ли нам тогда видоизменить теорию и для других периодически колеблющихся образований, рассматриваемых молекулярной теорией теплоты?» Эйнштейн положительно отвечает на этот вопрос

и, предполагая, что энергия колебательного движения атомов в твердом теле около положений равновесия квантуется, развивает теорию теплоемкостей твердых тел. Для простейшей модели независимых колебаний отдельных атомов, приписывая каждому атому три колебательных степени свободы, Эйнштейн получает для средней энергии колебаний на атом утроенную величину (26), а для грамм-атома энергию

$$3R\frac{\beta\nu}{e^{\beta\nu/T}-1}, \qquad (27)$$

дифференцирование которой по температуре T и суммирование «по всем видам колеблющихся образований, существующих в данном твердом теле», дает удельную теплоемкость как функцию температуры, причем при низких температурах эта теплоемкость стремится к нулю. Мы не будем подробнее останавливаться на разработке Эйнштейном квантовой теории теплоемкости, развитие которой началось именно с данной работы и было продолжено впоследствии другими учеными, в частности Дебаем и независимо Борном и Карманом (см., например, статью Клейна[33], с. 156, а также[10]). Отметим только, что Эйнштейн сперва предполагал, что в твердом теле колеблются ионы, и вычислил по теплоемкости частоты колебаний, которые должны проявляться в инфракрасных спектрах. В частности, для алмаза он предсказал максимум инфракрасного поглощения при $\lambda = 11$ мкм. Однако в заметке[34] он отказался от сделанного в[30] предположения, что «носителями тепла в твердых телах (изоляторах) скорее всего являются только положительные атомные ионы». Эйнштейн указывает, что «весьма вероятно, что могут существовать незаряженные носители тепла, не участвующие в оптических явлениях». И он делает вывод: «Итак, согласно теории следует ожидать, что либо алмаз имеет максимум поглощения при $\lambda = 11$ мкм, либо в алмазе вообще нет обнаруживаемой оптически инфракрасной собственной частоты». Мы видим, как Эйнштейн стремится возможно конкретнее представить себе элементарные процессы, происходящие в твердом теле. Отметим также, что Эйнштейн всегда отказывался от своих утверждений, если обнаруживал их неправильность (см., например, работы Эйн-

штейна[35]; во второй из них он отказался от предположений, сделанных в первой).

5. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ ДЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЕ РАЗВИТИЕ КВАНТОВЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ (РАБОТЫ ЭЙНШТЕЙНА 1909–1915 гг.)

Дальнейшее развитие идей Эйнштейна о свойствах излучения содержится в двух замечательных работах, опубликованных им в 1909 г. в «Physikalische Zeitschrift». В них был впервые рассмотрен корпускулярно-волновой дуализм для излучения, что явилось очень важным этапом в развитии квантовых представлений вообще (см. монографию Хунда[8] и статью Клейна в[3], с. 212, а также[11]).

Мы рассмотрим главные положения данных работ Эйнштейна и весьма важные полученные в них результаты. Вместе с тем мы сможем лишь частично осветить связь этих работ с работами Эйнштейна по статистической термодинамике и теории флуктуации (связь как с работами[14-16,18] так и с небольшой, но важной работой[36], в которой Эйнштейн в 1907 г. рассмотрел вопрос о вероятностях отклонений от термодинамического равновесия), что требует специального анализа.

В начале работы[4] о проблеме излучения Эйнштейн отмечает, что в последнее время Лоренц, Джинс и Ритц «выступили в этом журнале (речь идет о статьях, опубликованных в «Physikalische Zeitschrift» в 1908 г.– *М.Е.*) с изложением своих взглядов на эту чрезвычайно важную проблему, что облегчает критическое осмысливание ее современного состояния». Эйнштейн излагает свои соображения по пунктам (их всего 10), «считая полезной дискуссию ученых, серьезно занимающихся этой проблемой, даже если она и не приведет к окончательному результату».

В пункте 1 Эйнштейн разбирает вопрос о запаздывающих потенциалах в электродинамике, уравнения для которых, в противоположность Ритцу[37], он рассматривает «только как вспомогательные математические формулы». Эйнштейн счи-

тает, что нельзя «утверждать о необратимости электромагнитных *элементарных* явлений». Отметим, что в том же 1909 г. Эйнштейном была опубликована совместно с Ритцем заметка[38], в которой они сформулировали различие в своих взглядах. В конце этой заметки указывалось, что «Ритц рассматривает ограничение в виде запаздывающих потенциалов как один из источников второго начала термодинамики, в то время как Эйнштейн считает, что необратимость покоится исключительно на вероятностных основах». Высказывания Эйнштейна отражают тот интерес, который он проявлял к соотношению между статистическими закономерностями и закономерностями элементарных процессов.

В пункте 2 Эйнштейн пишет, что «мнению Джинса (статистическому рассмотрению собственных колебаний электромагнитного поля; см. с. 148 – *M.E.*) можно противопоставить утверждение о том, что применять общие результаты статистической механики к полости, заполненной излучением, по-видимому, недопустимо». Ссылаясь на свою работу[1] Эйнштейн указывает, что закон (10) («закон, выведенный Джинсом») можно также получить из соотношения (11) между ρ_ν и $\bar{E}_\nu$ для «осциллирующего иона» и из вытекающего из «молекулярной теории теплоты с необходимостью» равенства $\bar{E}_\nu = RT / N$ (см. с. 153).

Далее в пункте 3 Эйнштейн подчеркивает, что «...нельзя сомневаться в том, что наши современные представления с необходимостью приводят к закону, защищаемому Джинсом» (т. е. к закону (10)), и что «с не меньшей уверенностью можно утверждать» о противоречии этого закона опыту, а в пункте 4 Эйнштейн задает вопрос: «в каком отношении находится теория излучения Планка к указанной в пункте 2 теории, построенной на общепринятых в настоящее время теоретических основах?» (т. е. к классической теории). Эйнштейн указывает, что «Ответ на этот вопрос, по-моему, затруднен тем, что Планк допускает в изложении своей теории некоторую логическую незавершенность», и, развивая мысли, высказанные ранее в работах[1,29,30], Эйнштейн анализирует вопрос об определении вероятности W состояния при

рассмотрении соотношения Больцмана $S = (R/N)lnW$+const. Как подчеркивает Эйнштейн, «Ни Больцман, ни Планк не давали определения W» и лишь «полагали чисто формально, что W равно числу «комплексий» рассматриваемого состояния». Эйнштейн показывает, что если бы Планк выбрал комплексий «так, чтобы они были равновероятными в созданной им теоретической картине на основе статистического распределения», то он бы пришел к формуле Рэлея – Джинса (10). И Эйнштейн заканчивает этот очень важный пункт словами: «Как бы ни радовался каждый физик, что Планк, к счастью, отбросил это требование, все же не следует забывать, что формула излучения Планка несовместима с теоретическими основами, из которых Планк исходил». Мы видим, как Эйнштейн с общей точки зрения весьма глубоко анализирует соотношение Больцмана и формулу Планка.

В кратком, но очень существенном пункте 5 Эйнштейн, ссылаясь на свои работы[29,36], указывает, «каким образом можно изменить основы теории Планка для того, чтобы формула излучения Планка действительно являлась следствием теоретических основ». Для этого нужно, во-первых, придерживаться соотношения (11), «выведенного Планком из теории Максвелла» (в важном примечании Эйнштейн говорит, что едва ли можно сомневаться, что «электромагнитная теория излучения дает, по крайней мере, правильные средние по времени значения»), и, во-вторых, «видоизменить статистическую теорию теплоты, введя следующую гипотезу: электрически заряженная система, которая способна, совершая колебания с частотой ν, превращать энергию излучения в энергию вещества и обратно, может находиться в колебательных состояниях не с произвольной энергией, а только с энергией, кратной $h\nu$; при этом h – постоянная, введенная Планком в его формуле излучения» (ср. с работами[29,30]; см. выше, с. 165). Отметим, что, начиная с данной работы, Эйнштейн пользуется постоянной Планка и энергию кванта записывает как $h\nu$.

Центральное место в работе[4] занимают пункты 6 и 7. В начале пункта б Эйнштейн пишет о том, что «Так как только что предложенная модификация основ теории Планка с не-

обходимостью ведет к глубочайшим изменениям наших физических теорий, то крайне важно отыскивать по возможности простые независимые интерпретации формулы Планка или закона излучения вообще, предполагая его известным. Ниже приводятся два подхода к этому вопросу, отличающиеся своей простотой». Данные подходы – рассмотрение для излучения флуктуации энергии и флуктуации импульса – и излагаются в пунктах 6 и 7 соответственно.

Эйнштейн указывает, что соотношение Больцмана $S=(R/N)lnW$ «до сих пор применяли главным образом для того, чтобы, определив сначала на основе более или менее законченной теории величину W, вычислить затем энтропию. Но это соотношение можно использовать также и для обратной задачи – для определения статистической вероятности отдельного состояния A_v некоторой замкнутой системы по найденным из опыта значениям S_v». Именно такой метод применял Эйнштейн в работе[1] (см. с. 153), на что он и указывает; при этом Эйнштейн подчеркивает, что тогда он «исходил из формулы излучения Вина, справедливой только в пределе больших значений v/T» (в оригинальном тексте Эйнштейна, а также в русском переводе[4] ошибочно написано «малых значений»). Теперь Эйнштейн исходит из формулы излучения Планка, что и позволяет ему получить фундаментальные новые результаты.

Эйнштейн рассматривает флуктуации энергии равновесного излучения, частоты которого заключены в интервале от v до $v+dv$, в малом объеме υ, сообщающемся с большим объемом V ($V>>\upsilon$; объемы предполагаются ограниченными диффузно отражающими стенками). Значения энергии η будут отклоняться от ее среднего значения $\bar{\eta}$ (равного $\eta_0=\upsilon\rho_v dv$; см. с. 157) и флуктуация энергии $\varepsilon = \eta-\eta_0$ (см. с. 146). Применяя статистический закон, связывающий вероятность отклонений от среднего с энтропией (ср. с работами[16], с. 72 и[36], с. 146), и разлагая энтропию σ в ряд по степеням ε, Эйнштейн выводит формулу

$$\overline{\varepsilon}^2 = \frac{1}{\frac{N}{R}\left\{\frac{d^2\sigma}{d\varepsilon^2}\right\}_0}, \qquad (28)$$

в которую входит равновесное значение второй производной энтропии излучения (в объеме υ) по его энергии ($d\varepsilon = d\eta$). Отметим, что формула (28) может быть представлена в виде (1) (где $2\kappa = k = R/N$, $\overline{E} = \eta_0$; см. статью Борна[2], с. 368, 379). По известной плотности энергии равновесного излучения ρ_ν можно найти $\overline{\varepsilon^2}$, и в результате такого вычисления Эйнштейн получает основную формулу для флуктуации энергии равновесного излучения

$$\overline{\varepsilon}^2 = h\nu\eta_0 + \frac{c^3}{8\pi\nu^2 d\nu}\frac{\eta_0^2}{\upsilon}, \qquad (29)$$

которую также можно записать в виде

$$\overline{\varepsilon}^2 = \left(h\nu\rho_\nu + \frac{c^2}{8\pi\nu^2}\rho_\nu^2\right)\upsilon d\nu. \qquad (30)$$

Здесь учтено, что $\eta_0 = \upsilon\,\rho_\nu d\nu$.

Эйнштейн показывает при помощи «простых рассуждений на основе анализа размерностей», что второй член в правой части формулы (29) описывает флуктуации согласно волновой теории, обусловленные интерференцией «бесконечно большого числа лучей, составляющих излучение объема υ ». Первый же член «дает такие флуктуации энергии излучения, как будто излучение состоит из движущихся независимо точечных квантов с энергией $h\nu$». Этот член описывает флуктуации согласно корпускулярной теории. Эйнштейн напоминает, «что первый член дает тем больший вклад в среднюю относительную флуктуацию энергии $\sqrt{\overline{\varepsilon^2}/\eta_0^2}$, чем меньше энергия η_0, и что величина относительной флуктуации, обусловленной первым членом, не зависит от величины объема υ, в котором находится излучение».

Отметим, что при введении вместо абсолютных величин относительных формула (29) вообще приобретает особо простой вид и наиболее наглядно выявляется ее физический

смысл. Деля обе части формулы (29) на $\eta_0^2 = \left(\upsilon \rho_\nu d\nu\right)^2$, мы получаем

$$\frac{\overline{\varepsilon^2}}{\eta_0^2} = \frac{\overline{\left(\eta - \eta_0\right)^2}}{\eta_0^2} = \frac{h\nu}{\eta_0} + \frac{c^3}{8\pi\nu^2 d\nu\upsilon}. \qquad (31)$$

Отношение $\eta_0 / h\nu$ представляет среднее число фотонов в объеме υ, $\eta_0 / h\nu = \overline{n}$, а $8\pi\nu^2 / c^3 = Z\left(\nu\right)$, где Z (ν)–число собственных колебаний электромагнитного поля, рассчитанное на единицу объема и единицу интервала частот; следовательно, $q = 8\pi\nu^2 d\nu\upsilon / c^3$ – число таких колебаний в объеме υ и в интервале частот от *ν* до *ν*+*dν* – число колебательных степеней свободы.

Мы получаем

$$\frac{\overline{\left(\eta - \eta_0\right)^2}}{\eta_0^2} = \frac{\overline{\left(n - \overline{n}_0\right)^2}}{\overline{n}^2} = \frac{1}{\overline{n}} + \frac{1}{q}. \qquad (32)$$

При больших частотах излучения, когда *1/q* можно пренебречь, для чисто корпускулярных флуктуации $\overline{\left(n - \overline{n}\right)^2} = \overline{\Delta n^2} = \overline{n}$, что представляет хорошо знакомую формулу для флуктуации числа молекул в идеальном газе или разбавленном растворе.

В пункте 7 Эйнштейн рассматривает флуктуации импульса равновесного излучения. Он вычисляет их для зеркала площади *f*, свободно движущегося в направлении нормали к *f* под действием флуктуации светового давления, обусловленных этими флуктуациями импульса. Для импульса Δ, передаваемого за время τ вследствие случайных флуктуаций светового давления зеркалу, идеально отражающему в интервале частот от ν до ν+*dν* и прозрачному для излучения всех других частот, Эйнштейн получает формулу

$$\frac{\overline{\Delta^2}}{\tau} = \frac{1}{c}\left(h\nu\rho_\nu + \frac{c^3}{8\pi\nu^2}\rho_\nu^2\right) f d\nu, \qquad (33)$$

совершенно аналогичную формуле (29), если последнюю представить в виде (30). Как подчеркивает Эйнштейн, «И в этом случае формула говорит, что, согласно формуле План-

ка, обе названные причины флуктуации выглядят взаимно независимыми (аддитивность членов, составляющих квадрат флуктуации)».

В пункте 8 Эйнштейн делает следующий общий вывод: «Из обоих последних рассуждений (о флуктуациях энергии и о флуктуациях импульса излучения в пунктах 6 и 7.– *М.Е.*), по-моему, неопровержимо вытекает, что излучение должно иметь другую структуру, чем мы предполагали». Далее он пишет: «Отклонение наблюдаемых на опыте значений от теоретических (согласно классической теории.– *М.Е.*) проявляется тем сильнее, чем больше ν и меньше ρ», и специально подчеркивает, что «Согласно сказанному выше, недостаточно предполагать, что излучение может *испускаться* и *поглощаться* только в виде квантов этой величины и что, следовательно, дело сводится к свойству испускающего и поглощающего вещества (как думали Планк и большинство физиков в тот период и впоследствии вплоть до середины 20-х годов.– *М.Е.*); рассуждения в пунктах 6 и 7 показывают, что флуктуации пространственного распределения излучения, равно как и флуктуации светового давления, происходят так, как если бы излучение состояло из квантов указанной величины».

Таким образом, Эйнштейн в полученных результатах видит подтверждение своей идеи квантов света. В пункте 9 он пишет, что «Экспериментальное изучение следствий теории квантов света является, на мой взгляд, одной из важнейших задач, которые предстоит решить современной экспериментальной физике», и подразделяет «полученные до настоящего времени следствия» на три группы: а) «определение энергии элементарных процессов, связанных с поглощением и соответственно испусканием излучения определенной частоты» (закон Стокса, фотоэффект, катодная люминесценция), б) равенство числа элементарных актов при поглощении квантов света величине $E/h\nu$, где E – полная поглощенная энергия, а ν – частота поглощенного света, в) «модификация кинетической теории теплоемкостей» (здесь Эйнштейн ссылается на свою работу[30]; см. с. 165) и «определенные связи между оптическими и тепловыми свойствами тел».

Очень интересен последний пункт 10 рассматриваемой работы. Эйнштейн пишет в его начале: «По-видимому, трудно построить теорию, полностью объясняющую световые кванты так, как наша современная молекулярная механика в соединении с теорией Максвелла-Лоренца объясняет формулу излучения Джинса. Тот факт, что речь идет лишь о *модификации* наших современных теорий, а не о полном *отказе* от них, вытекает уже из того, что закон Джинса в пределе (для малых *ν/T)*, видимо, выполняется» (курсив Эйнштейна.– *М.Е.*). Как известно, мысль о связи между классической и квантовой теориями и о предельном переходе от квантовой теории к классической получила впоследствии развитие в принципе соответствия Бора (см., например,[11], с. 684). Далее Эйнштейн говорит о том, что «Указание на то, каким образом можно осуществить эту модификацию, дает чрезвычайно важный, на мой взгляд, анализ размерностей, проделанный Джинсом несколько лет назад». Речь идет о работе Джинса 1905 г.[39] (которую в 1906 г. Эренфест характеризовал[40] как «поразительно простой вывод закона смещения Вина»). Эйнштейн «коротко воспроизводит» анализ Джинса («измененный в нескольких пунктах») и приходит к соотношению $h = e^2/c$ между постоянной Планка и величиной элементарного электрического заряда. То, что $e^2/c = 7\cdot10^{-30}$, тогда как $h=6\cdot10^{-27}$ и «не хватает целых трех порядков», Эйнштейн относит «за счет неизвестных безразмерных множителей» (как известно, таким безразмерным множителем и является постоянная тонкой структуры $e^2/\hbar c = 2\pi e/hc \approx 1/137$.– *М.Е.*). «Самое важное в этом выводе», пишет Эйнштейн, «что он сводит квантовую постоянную света h к элементарному кванту электричества e». Эйнштейн выражает мнение, «что та модификация теории, которая дает как следствие элементарный квант e, будет также содержать в себе квантовую структуру излучения», и надежду на построение единой теории: «Однако многообразие возможностей, по-видимому, не настолько велико, чтобы отпугнуть от этой задачи». Оптимизм Эйнштейна не оправдался, и, как известно, единая теория до сих пор не построена. Стремление найти самые общие подходы было характерно для Эйнштейна и в данной

работе оно ярко проявилось*.

Заслуживает внимания небольшое добавление в конце работы[4], в котором Эйнштейн подчеркивает по поводу пункта 4, что «Соответствующие противопоставления в моей статье следует понимать не как возражения, в собственном смысле слова, против теории Планка, но только как попытку более отчетливо, чем это делалось ранее, осознать и применить принцип связи энтропии и вероятности».

Дальнейшее рассмотрение корпускулярно-волнового дуализма для излучения на основе результатов, полученных в работе[4] (уравнения (29) и (33)), содержится в работе[5], которая представляет обобщающий доклад Эйнштейна в сентябре 1909 г. в Зальцбурге на 81-м собрании немецких естествоиспытателей и врачей.

Доклад был сделан на объединенном заседании секций физики и математики. Это было первое выступление Эйнштейна перед широкой аудиторией ученых, среди которых находилось большинство ведущих физиков того времени из стран, говорящих на немецком языке; на докладе присутствовали Планк, Зоммерфельд, Лауэ, Борн и многие другие выдающиеся физики, как уже широко известные, так и получившие известность в дальнейшем (см.[10], с. 79). Доклад Эйнштейна, в котором был дан исключительно глубокий анализ проблем современной физики, вызвал очень большой интерес, и по нему развернулась дискуссия (см.[41], с. 354).

В начале работы[5] Эйнштейн пишет, что «сегодня гипотезу эфира мы должны считать устаревшей», и указывает на то, «что существует обширная группа фактов в области излучения, показывающих, что свет обладает рядом фундаментальных свойств, которые можно понять с точки зрения теории истечения Ньютона намного лучше, чем с точки зрения волновой теории. Поэтому я считаю, что следующая фаза развития теоретической физики дает нам теорию света, которая будет в каком-то смысле слиянием волновой теории света с теорией истечения. Цель последующих рассуждений состоит в том, чтобы обосновать такое мнение и показать неизбеж-

* О попытках Эйнштейна в 1909–1910 гг. разрешить проблему излучения и построить общую теорию см. также[10], с. 72.

ность глубокого изменения наших взглядов на сущность и структуру света».

Эйнштейн рассматривает, как происходили поиски законов, описывающих влияние гипотетической среды – эфира на оптические и электромагнитные явления, характеризует теорию Лоренца и излагает основные положения теории относительности. Он приходит к выводу, что «теория относительности изменяет наши взгляды на природу света в том отношении, что свет выступает в ней как нечто существующее самостоятельно, подобное веществу». Далее он перечисляет те «фундаментальные свойства световых явлений», которые волновая теория света не может объяснить, и видит источник ее трудностей в отсутствии в ней обратимости. Он сопоставляет обратимость каждого элементарного процесса в молекулярно-кинетической теории с отсутствием такой обратимости «в рамках волновой теории для элементарных процессов излучения». Эйнштейн указывает, что «Осциллирующий ион, согласно известной нам теории, создает расходящуюся сферическую волну. Обратный процесс, *как элементарный процесс* (курсив Эйнштейна.– *М.Е.*), не существует», и высказывает мнение, что вывод об отсутствии обратимости элементарного процесса испускания света, к которому приводит волновая теория, не соответствует действительности. Анализируя законы возникновения вторичных электронов под действием рентгеновского излучения, Эйнштейн делает фундаментальное заключение о том, что *«Элементарный процесс излучения является*, *по-видимому*, *направленным»*. Затем он рассматривает, следуя Планку, теорию равновесного теплового излучения, как давшую «важные исходные идеи» о структуре излучения, и приходит к выводу, что принять теорию Планка означает отвергнуть самые основы классической теории излучения. Именно это Эйнштейн и считает необходимым сделать, как он «уже пытался показать ранее». В дальнейшем Эйнштейн разбирает из двух подходов, предложенных им в работе[4] (в пунктах 6 и 7, см. с. 170), только один, который «благодаря своей наглядности» ему кажется наиболее убедительным, а именно второй подход, приводящий к формуле (33) для флуктуации

импульса излучения. Он подчеркивает, что для этих флуктуаций «как будто существуют две взаимно независимые разные причины», и на основе анализа формулы (33) делает вывод о существовании неравномерностей в распределении импульса излучения, *«которые при малой плотности энергии излучения намного превосходят»* пространственные неравномерности, вытекающие из волновой теории. В заключение работы Эйнштейн пишет, что, насколько ему известно, «еще не удалось построить математическую теорию излучения, описывающую как волновую структуру, так и структуру, следующую из первого члена нашей формулы (квантовую структуру)». Высказывая, как «пока наиболее естественное», предположение о том, «что появление электромагнитных полей света должно быть связано с особыми точками», Эйнштейн вместе с тем говорит, «что до тех пор, пока такая картина не приведет к точной теории, ей не следует придавать особого значения», и что он «хотел только показать с ее помощью, что нельзя считать несовместимыми обе структуры (волновую и квантовую), которыми одновременно должно обладать излучение в соответствии с формулой Планка».

Обоснование Эйнштейном в работах 1909 г.[4,5], исходя из рассмотрения флуктуации энергии и флуктуации импульса, идеи корпускулярно-волнового дуализма для излучения, наличия у излучения одновременно двух структур, волновой и корпускулярной, явилось весьма важным этапом развития квантовых представлений. Как правильно указывает Хунд (см.[8], с. 51), «своими статьями о статистических флуктуациях излучения Эйнштейн ввел корпускулярно-волновой дуализм для света». Вместе с тем очень существенно, что рассмотрение квантовых флуктуаций импульса излучения привело к представлению о направленности процессов излучения, которое в дальнейшем оказалось весьма существенным для понимания характера связи волновых и корпускулярных свойств излучения (см. с. 185).

В период с 1910 по 1915 г. Эйнштейн опубликовал ряд работ, посвященных дальнейшему развитию квантовых представлений, однако главное внимание он уделял созда-

нию общей теории относительности. Так, в октябре 1912 г. он писал Зоммерфельду[42], который, как и многие другие, ждал он него решающих вкладов в квантовую теорию: «Ваше дружеское письмецо поставило меня в затруднительное положение. Но уверяю Вас, что в вопросе о квантах я не могу сказать ничего нового, что могло бы вызвать интерес... Теперь я занимаюсь исключительно проблемой гравитации...».

Мы вкратце рассмотрим некоторые из работ Эйнштейна этого периода (см. также статьи У. И. Франкфурта и А. М. Френка[43], с. 270, и[41], с. 192).

В работе совместно с Хопфом[44] был дан точный вывод формулы для среднего квадрата флуктуации импульс излучения Δ^2 на основе волновых представлений (в работе[4] Эйнштейн произвел лишь оценку аналогичного члена в ε^2; см. выше, с. 170). В конце работы подчеркивается, с ссылкой на работу[4], «что в действительности существуют еще иные флуктуации импульса» (т. е. квантовые флуктуации).

Среди ряда работ Эйнштейна по квантовой теории теплоемкостей значительный интерес представляет его доклад[46] на первом Сольвеевском конгрессе. В данном докладе Эйнштейн разобрал связь между удельной теплоемкостью и формулой излучения (§ 1), сделал ряд теоретических замечаний о гипотезе квантов (§ 2), рассмотрел общий характер опытов, относящихся к гипотезе квантов (§ 3), и вращение молекул газа (§ 4).

После обсуждения в § 1 квантовой теории теплоемкостей Эйнштейн в § 2 ставит «самый важный, но по сути дела нерешенный вопрос» о том, «Как надо переделать механику, чтобы она описывала формулу излучения Планка и тепловые свойства вещества?». Рассматривая «статистические свойства тепловых явлений», Эйнштейн получает выражение (исходя из общей формулы (1)) для флуктуации колебательной энергии в «идеальном химически простом твердом теле с частотой ν, состоящем из *n* грамм-атомов». Это выражение имеет вид

$$\overline{\left(\frac{\varepsilon}{E}\right)^2} = \frac{h\nu}{E} + \frac{1}{3Nn} = \frac{1}{Z_q} + \frac{1}{Z_f}, \qquad (34)$$

где

$$E = 3nN\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \qquad (35)$$

– средняя колебательная энергия тела, $Z_q = E/h\nu$ – «среднее число имеющихся в теле планковских «квантов»», а $Z_f = 3nN$ – общее число всех колебательных степеней свободы. Эйнштейн подчеркивает, что «относительные флуктуации энергии системы, создаваемые беспоря-

дочным тепловым движением, соответствуют двум совершенно разным причинам, которые выражаются двумя слагаемыми в правой части». Мы видим, что здесь впервые появляются хорошо известные в настоящее время фононы, а сама формула (34) записана в виде, совершенно аналогичном виду формулы (32) для флуктуации энергии излучения. Эйнштейн рассматривает и эти флуктуации. Он показывает, что в среднем флуктуации энергии поглощаемого излучения равны флуктуациям энергии испускаемого излучения.

Результаты § 2 Эйнштейн резюмирует в § 3 следующим образом: «Если тело получает или отдает тепловую энергию посредством квазипериодического механизма, то статистические свойства этого процесса оказываются такими, как если бы энергия распространялась целыми квантами величиной $h\nu$». А далее он пишет: «Те скачки, которые вызывают у нас такое отвращение в теории Планка, в природе, по-видимому, действительно существуют».

В § 4 Эйнштейн разбирает гипотезу Зоммерфельда о возникновении излучения при торможении электронов[46], согласно которой произведение времени торможения τ на испускаемую энергию излучения равно постоянной Планка h. Эйнштейн при этом рассматривает процесс торможения как элементарный акт (см. также[10], с. 126–135).

Доклад Эйнштейна вызвал очень оживленную дискуссию по вопросам квантовой теории (см., например,[47]).

В работе[31] Эйнштейн формулирует закон фотохимического эквивалента: «...Для разложения грамм-эквивалента в фотохимическом процессе необходима энергия излучения $Nh\nu$, где N – число молекул в грамм-молекуле, h – известная постоянная в формуле излучения Планка, ν – частота падающего излучения». Он при этом ссылается на свою основную работу[1].

В работе[48] (единственной, напечатанной Эйнштейном по вопросам квантовой теории в 1914 г.: именно в этом году он опубликовал ряд работ по общей теории относительности, в том числе фундаментальную работу[49]) рассмотрены вопросы, связанные с выводом теоремы Нернста.

Наконец, в 1915 г. были опубликованы результаты опытов Эйнштейна и В. де Гааза (см. статью В. Я. Френкеля)[*].

Наряду с оригинальными статьями Эйнштейна следует отметить написанный им обзор[50], опубликованный в 1915 г. как часть книги «Физика», вышедший под редакцией Лехера. В нем в сжатой, но очень ясной форме рассмотрена молекулярно-кинетическая теория теплоты и в последнем разделе, озаглавленном «Границы применимости молекулярной механики», Эйнштейн характеризует состояние теории. Он указывает, что при низких температурах значение теплоемкости хими-

[*] В данном номере УФН, с. 545.

чески простых твердых тел (обусловленной колебательным движением) оказывается, «вопреки результатам молекулярной механики», меньше теоретического и что «Вблизи абсолютного нуля она даже становится исчезающе малой!». И далее он пишет, что этот результат «показывает, что кинетическая молекулярная теория применима к осциллирующим образованиям тем хуже, чем быстрее их колебания и чем ниже температура. Современные физики без исключения все считают, что для быстрых колебательных движений малых масс законы механики не выполняются (эти вопросы как раз обсуждались на первом Сольвеевском конгрессе в 1911 г., где Эйнштейн выступал с докладом[45] (см. выше, с. 170), и на втором Сольвеевском конгрессе в 1913 г.; см.[41], с. 323, а также[47].– *М.Е.*). Однако, несмотря на все усилия, пока не удалось изменить основы механики так, чтобы они удовлетворяли опыту и в этой области. Проведенные до сих пор теоретические исследования связаны с теорией излучения Планка; хотя они и дали полезные формулы, но не привели к полному теоретическому пониманию». Именно к такому пониманию стремился Эйнштейн.

В 1916 г., после того как Эйнштейн добился исключительных успехов в создании общей теории относительности, он вновь направил свое внимание на фундаментальные проблемы взаимодействия излучения с веществом, опираясь как на результаты своих прежних исследований, так и на работы Бора по теории атома[51]; как известно, Бор в 1913 г. сформулировал знаменитые постулаты о существовании стационарных состояний и об оптических квантовых переходах между ними, подчиняющихся условию частот $\varepsilon_m - \varepsilon_n = h\nu$ (где ε_m и ε_n – энергии двух стационарных состояний, между которыми происходит переход). Эйнштейну удалось в работах[6,52] найти новый подход к проблемам взаимодействия излучения с веществом и внести еще один чрезвычайно существенный вклад в развитие квантовых представлений. Вероятностное рассмотрение элементарных процессов взаимодействия излучения с веществом в этих работах легло в основу современной квантовой электроники*.

*См. статью Н. В. Карлова, А. М. Прохорова в данном номере, с. 537.

6. ВЕРОЯТНОСТНОЕ РАССМОТРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ (РАБОТЫ ЭЙНШТЕЙНА 1916 г.)

В работах[6,52] Эйнштейн ввел вероятностные характеристики элементарных процессов испускания и поглощения излучения молекулами газа и рассмотрел статистическое равновесие между молекулами и излучением, что позволило дать очень простой и принципиально важный вывод формулы Планка (6). Эти результаты широко известны. Мы поэтому ограничимся лишь кратким их разбором и обратим особое внимание на общий подход Эйнштейна, в частности на связь его идей с идеями Вина, и на вопросы направленности элементарных процессов излучения и вероятностной интерпретации корпускулярно-волнового дуализма.

В первой и более краткой работе[62] Эйнштейн во введении характеризует путь, по которому шел Планк, когда «16 лет тому назад создал квантовую теорию, установив свою формулу излучения». Эйнштейн приводит соотношение Планка (11), указывая, что Планк «вычислил среднюю энергию резонатора E как функцию температуры по новым, предложенным им основным правилам квантовой теории», и что вывод Планка «отличался беспримерной смелостью, но нашел блестящее подтверждение». «Однако никого не удовлетворяло, – пишет Эйнштейн, – что рассмотрение на основе электродинамики и механики, приводящее к соотношению (11), противоречит основной идее квантовой теории...» (на противоречивость рассмотрения Планка, как мы видели, Эйнштейн неоднократно указывал и ранее; см. например, с. 158, 170). И далее Эйнштейн ссылается на Бора (впервые в своих работах): «С тех пор как предложенная Бором теория спектров добилась своих замечательных успехов, вряд ли можно сомневаться, что основная идея квантовой теории должна быть сохранена. Таким образом, единство теории, по-видимому, должно быть установлено так, чтобы рассмотрение с помощью электродинамики и механики, приведшее Планка к соотношению (11), заменить *квантовотеоретическими сооб-*

ражениями о взаимодействии между веществом и излучением (курсив мой.– *М.Е.*). Стремясь к этому, я пришел к следующему выводу, который говорит сам за себя благодаря своей простоте и общности». Этим Эйнштейн заканчивает краткое введение к статье. Затем он в § 1 («Резонатор Планка в поле излучения») рассматривает поведение такого монохроматического резонатора, учитывая по классическим законам испускание и поглощение, причем наряду со спонтанным испусканием вводит и вынужденное испускание («индуцированное излучение»). Далее в § 2 («Квантовая теория и излучение») Эйнштейн применяет уже квантовую теорию. Он рассматривает статистическое равновесие для переходов между состояниями с энергиями ε_m и ε_n ($\varepsilon_m > \varepsilon_n$), характеризуя спонтанное испускание, поглощение и вынужденное испускание коэффициентами A_m^n, B_n^m и B_m^n (хорошо известными нам коэффициентами Эйнштейна A и B, определяющими вероятности соответствующих переходов), и выписывает уравнение баланса $A_m^n N_m + B_m^n N_m \rho_\nu = B_n^m N_n \rho_\nu$ (где N_m и N_n – населенности уровней энергии ε_m и ε_n). Определяя отношение N_n/N_m согласно распределению Больцмана *(W_n= p_n*exp(-εkT*)*, где p_n – статистический вес), а также учитывая, что $\rho_\nu \to \infty$ при $T \to \infty$ (это дает соотношение $B_n^m p_n = B_m^n p_m$), Эйнштейн получает спектральную плотность излучения в виде

$$\rho_\nu = \frac{\alpha_{mn}}{e^{(\varepsilon_m - \varepsilon_n)/kT} - 1}, \qquad (36)$$

(где $\alpha_{mn} = A_m^n / B_m^n$), т. е. «соотношение Планка между ρ_ν и T с неопределенными пока постоянными». Следует специально отметить, что Эйнштейн пишет здесь о том, что «Постоянные A_m^n и B_m^n можно было бы вычислить непосредственно, если бы в нашем распоряжении имелись электродинамика и механика, видоизмененные в смысле гипотезы квантов», отлично понимая, что эти постоянные являются микроскопическими характеристиками молекул. Как известно, такая задача смогла быть решена лишь в квантовой механике.

Здесь же Эйнштейн, применяя закон смещения Вина (4), находит, что α_{mn} должно быть пропорционально ν^3, а $\varepsilon_m - \varepsilon_n$ – первой степени ν, что дает $\varepsilon_m - \varepsilon_n = h\nu$, «где h означает постоянную» (т. е. дает «второй постулат теории спектров Бора»). Эйнштейн считает весьма вероятным, исходя из «простоты гипотез, общности и непринужденности рассмотрения», что данное рассмотрение «станет основой будущих теоретических представлений». Это предсказание действительно оправдалось.

Работа[52] еще содержит небольшой § 3 («Замечание к закону фотохимического эквивалента»), где подчеркивается, что поглощение излучения согласно соотношению $\varepsilon_m - \varepsilon_n = h\nu$ может приводить к возбуждению промежуточного квантового состояния, которое затем распадается, и, таким образом, «Поглощение света и химический процесс являются самостоятельными процессами».

Следует специально подчеркнуть, что существенно новым и очень важным в работе[62] было рассмотрение, наряду с поглощением и спонтанным испусканием, *вынужденного испускания*. В отношении спонтанного испускания Эйнштейн отмечает, «что принятый для спонтанного испускания статистический закон есть не что иное, как закон Резерфорда для радиоактивного распада».

Более развернутое изложение своего подхода Эйнштейн дает во второй работе[6]. Очень интересным является введение к ней. Эйнштейн начинает это введение следующим образом: «Формальное сходство кривой распределения по длинам волн теплового излучения с законом распределения Максвелла слишком поразительно, чтобы оно долго могло оставаться нераскрытым». Он указывает, что Вин «пришел благодаря этому сходству к такому определению формулы излучения, которое сыграло в дальнейшем большую роль», и приводит формулу (9) (как мы подчеркивали, см. с. 148), – чисто квантовую, «которая и сейчас является правильной в качестве предельного закона для больших значений ν/T». Далее Эйнштейн пишет, что когда Планк «вывел в своем основополагающем исследовании» формулу (6), «из которой как быстрое следствие развилась квантовая теория, рассуж-

дение Вина, которое привело к уравнению (9), естественно, было забыто». Ссылаясь на свою предыдущую работу[52], Эйнштейн продолжает: «Недавно я нашел применение первоначальному рассмотрению Вина, основанное на главных положениях квантовой теории, к выводу формулы излучения Планка, в котором проявляется связь между максвелловской кривой и кривой распределения по длинам волн. Этот вывод заслуживает внимания не только благодаря своей простоте, но и в особенности потому, что он вносит некоторую ясность в непонятный еще нам процесс испускания и поглощения излучения веществом». Таким образом, рассмотрение вероятностей элементарных процессов испускания и поглощения веществом и свой вывод формулы Планка, получающийся «поразительно простым и общим способом», Эйнштейн считает «применением первоначального рассмотрения Вина», для которого характерно сочетание статистического подхода и учета характеристик элементарных процессов (подчиняющихся квантовым законам, чего, разумеется, Вин не знал (см. с. 151) и что Эйнштейн уже хорошо понимал).

Далее Эйнштейн подчеркивает, что «...если принятые гипотезы о взаимодействии излучения и вещества верны, то они должны давать больше, чем правильное статистическое распределение *внутренней* энергии молекул. При поглощении и испускании имеет место также передача молекулам *импульса* (курсив Эйнштейна.– *М.Е.*)». В результате устанавливается распределение молекул по скоростям, которое должно совпадать с распределением Максвелла, а средняя кинетическая энергия молекулы (на одну степень свободы) должна быть равна $kT/2$, «независимо от природы рассматриваемых молекул и от частот излучений, которые они поглощают и испускают». В данной работе Эйнштейн показывает, что это важное требование действительно выполняется.

Для обмена импульсом возникает вопрос: «испытывает ли молекула отдачу при поглощении и испускании энергии ε?». Отдача будет иметь место, согласно классической электродинамике, для направленного спонтанного испускания, а для сферических волн «вообще нет никакой отдачи». И Эйн-

штейн заканчивает введение ответом на поставленный вопрос: *«Оказывается, что к непротиворечивой теории мы придем только в том случае, если все элементарные процессы будем считать полностью направленными* (курсив Эйнштейна.– *М.Е.*). В этом состоит основной результат последующих рассуждений».

В небольшом § 1 («Основные гипотезы квантовой теории. Каноническое распределение состояний») Эйнштейн рассматривает распределение Больцмана $W_n=p_n exp(-\varepsilon_n/\kappa T)$ как «наиболее широкое обобщение максвелловского закона распределения скоростей».

В § 2 («Гипотеза об обмене энергией посредством излучения») Эйнштейн вводит, как в работе[52], коэффициенты A_m^n, B_n^m и A_m^n, причем дополнительно рассматривает вопрос о передаче импульса при процессах излучения. При поглощении молекула получает импульс $(\varepsilon_m-\varepsilon_n)/c$ в направлении облучения, а при вынужденном испускании – в противоположном направлении. Таким образом, вынужденное испускание (являющееся процессом, обратным поглощению) имеет направление облучения. Далее Эйнштейн указывает, что «При потере энергии в результате спонтанного испускания в случае резонатора Планка последний в целом не получает никакого импульса, так как, согласно классической теории, спонтанное испускание имеет вид сферической волны», и что, как «уже отмечалось», «мы можем прийти к непротиворечивой квантовой теории лишь в том случае, если мы предположим, что процесс спонтанного испускания также является направленным». И это приводит к тому, что молекуле «в каждом элементарном процессе спонтанного испускания» передается импульс, равный $(\varepsilon_m-\varepsilon_n)/c$.

§ 3 («Вывод планковского закона излучения») содержит те же результаты, что и § 2 работы[52], причем о получающемся соотношении $\varepsilon_m-\varepsilon_n=h\nu$ Эйнштейн пишет, что оно «образует, как известно, второе основное правило в теории спектров Бора, о котором после усовершенствования Зоммерфельда и Эпштейна можно уже утверждать, что оно принадлежит к незыблемым основам нашей науки».

Остальные четыре параграфа работы[6] (их всего семь) посвящены передаче импульса и его флуктуациям и являются весьма важными.

В § 4 («Метод расчета движения молекул в поле излучения») Эйнштейн выводит формулу для флуктуации Δ импульса молекулы за время τ:

$$\frac{\overline{\Delta^2}}{\tau} = 2RkT\,, \qquad (37)$$

где R – постоянная, входящая в выражение Rv для силы, действующей на молекулы со стороны излучения. В § 5 «Вычисление R» и в § 6 («Вычисление $\overline{\Delta^2}$ ») Эйнштейн находит выражения для R и $\overline{\Delta^2}$ через плотность излучения ρ_v. «Если затем выразить ρ_v как функцию от v и T в соответствии с формулой Планка (6) и подставить полученный результат в (37)», пишет Эйнштейн, – «то последнее соотношение должно выполняться тождественно». Довольно сложное вычисление R в § 5 Эйнштейн производит, описывая излучение в системе координат, которая покоится относительно рассматриваемой молекулы, пользуясь формулами преобразования для частоты согласно теории относительности. Все элементарные процессы излучения считаются направленными. Учитывается передача импульса молекул при элементарных процессах поглощения и вынужденного испускания (для спонтанного испускания среднее значение передаваемого импульса равно нулю). Получающееся выражение для R пропорционально коэффициенту B_n^m, пропорционально $\exp\left(-\varepsilon_n / kT\right)$ и является функцией от ρ_v. Вычисление $\overline{\Delta^2}$, которое проще, дает для $\overline{\Delta^2}/\tau$ выражение, также пропорциональное B_n^m и $\exp\left(-\varepsilon_n / kT\right)$ и являющееся функцией от ρ_v.

В начале заключительного § 7 («Выводы») Эйнштейн, используя найденные выражения для R и Δ^2, показывает, что соотношение (37) для равновесного излучения, спектральная плотность энергии которого ρ_v определяется формулой Планка (6), действительно *тождественно выполняется*. Таким образом, доказывается, что получаемый молекулами от излучения

импульс не нарушает (в предположении полной направленности элементарных процессов излучения) статистического равновесия, в соответствии со сделанными во введении утверждениями.

Эйнштейн отмечает, подводя итоги исследования, что получается «хорошее подтверждение принятым в § 2 гипотезам о взаимодействии между веществом и излучением через процессы поглощения и испускания, соответственно через спонтанное и индуцированные излучения».

Однако самым важным Эйнштейн считает «вывод, касающийся импульса, который передается молекуле при спонтанном и вынужденном излучениях». Он рассматривает как надежно доказанное, что при испускании или поглощении энергии $h\nu$ молекула всегда получает и импульс $h\nu/c$, при поглощении в направлении пучка лучей, при вынужденном испускании – в противоположном направлении. Далее Эйнштейн особо подчеркивает, что в случае спонтанного испускания «процесс также является *направленным* (курсив Эйнштейна.– *М.Е.*). Спонтанного испускания в виде сферических волн не существует. В элементарном процессе спонтанного испускания молекула получает импульс отдачи, величина которого равна $h\nu/c$, а направление определяется, согласно современному состоянию теории, лишь "случайностью"». И Эйнштейн указывает, что «эти свойства элементарного процесса, требуемые соотношением (37), делают почти неизбежным создание подлинно квантовой теории излучения. Слабость теории заключается, с одной стороны, в том, что она не приводит нас к более тесному объединению с волновой теорией, и, с другой стороны, в том, что время и направление элементарного процесса представляются «случаю»; впрочем, я вполне уверен в надежности выбранного метода».

Таким образом, Эйнштейн приходит к вероятностному истолковании) связи между корпускулярными и волновыми свойствами излучения – к вероятностной интерпретации корпускулярно-волнового дуализма. Впоследствии Борн, давая вероятностную интерпретацию квантовой механики, развивал идеи Эйнштейна[53], на которого он ссылался (см. также[11], с. 696).

7. ПЕРЕД СТАНОВЛЕНИЕМ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ (РАБОТЫ ЭЙНШТЕЙНА 1917–1925 гг.)

После 1916 г., в период, предшествовавший становлению квантовой механики в 1925–1928 гг., Эйнштейн, продолжая интересоваться вопросами квантовой теории, опубликовал ряд работ, посвященных данным вопросам и развивавших отдельные его идеи.

На некоторых из этих работ следует вкратце остановиться (см. также статью А. М. Френка[41], с. 192).

В работе [54] Эйнштейн рассмотрел квантовые условия типа $\int p_i dq_i = n_i h$ для систем с многими степенями свободы с общей точки зрения их инвариантности по отношению к преобразованиям координат.

Совместно с Эренфестом, с которым Эйнштейна связывала тесная дружба и общность научных интересов[55], были выполнены две работы, посвященные весьма актуальным вопросам квантовой теории.

В первой из этих работ[56] обсуждался знаменитый опыт Штерна и Герлаха[67] по отклонению пучка атомов, обладающих магнитным моментом, при прохождении через неоднородное магнитное поле. Был рассмотрен вопрос о пространственном квантовании и о том, могут ли осуществляться «состояния, не удовлетворяющие квантовым правилам ориентации», т. е. такие состояния, в которых атомы «квантуются *не полностью*».

Во второй из этих работ[68] был рассмотрен статистический закон, предложенный Паули[69] для вероятности возможных элементарных актов рассеяния излучения на свободно движущихся электронах. Была решена, на основе «статистических элементарных законов для поглощения и испускания света атомом Бора» (в статье дается ссылка на работу Эйнштейна[6]), более общая задача об элементарных процессах рассеяния на движущихся микрочастицах («молекулах, атомах или электронах») и было показано, что из найденного общего уравнения для свободно движущихся электронов получается формула Паули.

В работе[60] отразилось стремление Эйнштейна к построению единой теории поля, включающей в себя и квантовую теорию. В это время Эйнштейн начал усиленно работать над различными вариантами единой теории поля[61].

Статья общего характера[62] была написана в связи с открытием эффекта Комптона. В ней констатируется, что «теперь мы имеем две теории света, обе необходимые и – как приходится признать сегодня – существующие без логической взаимосвязи, несмотря на двадцать лет колоссальных усилий физиков-теоретиков». В самом конце статьи Эйнштейн пишет: «Положительный результат опыта Комптона показывает, что излучение ведет себя так, как если бы оно состояло из дискретных корпускул не только в смысле передачи энергии, но и в смысле передачи импульса». Таким образом, Эйнштейн еще раз подчеркивает важность рассмотрения передачи

импульса (ср. работу[6], с. 530).

Наиболее существенный вклад Эйнштейна за рассматриваемый период после 1916 г. в развитие квантовых идей представляют статьи по квантовой теории идеального газа[63-65]–хорошо известные работы по квантовой статистике, получившей название статистики Бозе – Эйнштейна.

В 1924 г. Бозе прислал Эйнштейну из Индии статью[66], которая содержала вывод формулы Планка (6) на основе подсчета числа возможных распределений световых квантов по ячейкам фазового пространства. Эйнштейн перевел эту статью с английского языка на немецкий и снабдил следующим примечанием: «Вывод формулы Планка, предложенный Бозе, является, по моему мнению, большим достижением. Использованный им метод дает также квантовую теорию идеального газа, которую я изложу в другом месте». Такая теория и была изложена в работах[63,64].

В начале работы[63] Эйнштейн пишет: «Квантовой теории одноатомного идеального газа, свободной от произвольных предположений, до сих пор не существует. Этот пробел заполняется ниже на основе нового метода, предложенного Бозе и примененного им для исключительно интересного вывода формулы излучения Планка». Эйнштейн дает сжатую и исключительно четкую характеристику этого метода: «Фазовое пространство некоторого элементарного объекта (в рассматриваемом случае – одноатомной молекулы), отнесенное к заданному (трехмерному) объему, делится на «ячейки» объемом h^3. Если имеется большое число элементарных образований, то их микроскопическое распределение, рассматриваемое в термодинамике, характеризуется тем, как размещаются по этим ячейкам элементарные образования. «Вероятность» некоторого макроскопически определенного состояния (в смысле Планка) равна числу разных микроскопических состояний, которыми может характеризоваться данное макроскопическое состояние. Энтропия макроскопического состояния, а также статистические и термодинамические свойства системы определяются затем по формуле Больцмана».

Мы не будем анализировать содержание работ Эйнштейна[63-65], что выходит за рамки настоящего обзора, и рассмотрим

лишь очень важные §§ 8 и 9 статьи[64] (нумерация параграфов общая для статей[63,64], образующих одно целое).

В § 8 («Флуктуационные свойства идеального газа») Эйнштейн применяет свой метод рассмотрения флуктуации, который в работах[4,5] был использован в теории равновесного излучения (см. с. 173). «Этот закон флуктуации, – говорит Эйнштейн о соответствующем законе для идеального газа, – оказывается совершенно аналогичным закону флуктуации квазимонохроматического излучения Планка». Для флуктуации Δ_ν числа n_ν одноатомных молекул, принадлежащих энергетической области ΔE, в объеме газа V, сообщающемся с бесконечно большим объемом того же газа, Эйнштейн записывает закон флуктуации в виде

$$\overline{\left(\frac{\Delta_\nu}{n_\nu}\right)^2} = \frac{1}{n_\nu} + \frac{1}{z_\nu}, \qquad (38)$$

где z_ν – число ячеек фазового пространства, принадлежащих бесконечно малой области энергий молекул ΔE. Мы видим, что формула (38) аналогична формуле (32) для равновесного излучения (а также формуле (34) для флуктуации колебательной энергии в твердом теле). Эйнштейн подчеркивает, что второй член в случае излучения соответствует интерференционным флуктуациям и что этому члену «можно придать соответствующий смысл и в газе, сопоставляя газу некоторый процесс излучения и вычисляя интерференционные флуктуации последнего». Эйнштейн при этом полагает, «что здесь идет речь *не только о простой аналогии»* (курсив мой.– *М.Е.*). И он ссылается на диссертацию Луи де Бройля[67], как работу, «заслуживающую всяческого внимания» (в ссылке на эту диссертацию Эйнштейн указывает, что в ней «имеется также очень интересная геометрическая интерпретация квантовых правил Бора – Зоммерфельда»), и пишет, что де Бройль показал, «Каким образом материальной частице или системе частиц можно сопоставить (скалярное) волновое поле». Эйнштейн приводит соотношение де Бройля между фазовой скоростью волны V и скоростью материальной частицы $\bar{\upsilon}$, $V = c^2/\bar{\upsilon}$, указывая, что, «как показал де Бройль, $\bar{\upsilon}$ в то же время является и групповой ско-

ростью этого волнового процесса». И Эйнштейн пишет:

«Теперь легко видеть, что таким способом можно сопоставить газу скалярное волновое поле; прямым вычислением я убедился в том, что $1/z_\nu$ – средний квадрат флуктуации этого волнового поля, что соответствует исследованной нами выше энергетической области ΔE».

В § 9 («Замечание о вязкости газов при низких температурах» – (название, по которому трудно судить о содержании параграфа!) Эйнштейн указывает, что при прохождении через отверстие пучок молекул должен испытывать дифракцию («аналогичную дифракции луча света»). Для этого длина волны $\lambda = h/m\bar{v}$ (Эйнштейн приводит данную формулу де Бройля) должна быть сравнимой с размерами отверстия. Эйнштейн рассматривает возможность обнаружить такую дифракцию по температурной зависимости коэффициентов вязкости газообразных водорода и гелия при низких температурах, когда λ будет порядка диаметра молекул σ, что должно привести к дифракционным явлениям и увеличению коэффициента вязкости (считая, что происходит дифракция, аналогичная дифракции Фраунгофера на диске, и что молекулы при λ одного порядка с σ сильно отклоняются).

Мы видим, что Эйнштейн не только понял исключительно большое значение идей де Бройля (развивавшего для микрочастиц идеи самого Эйнштейна о корпускулярно-волновом дуализме), но и сумел найти им применение в квантовой статистике. Следует отметить, что, в то время как для флуктуации равновесного излучения Эйнштейн обращал особое внимание на первый, *корпускулярный* член, для флуктуации идеального одноатомного газа такое внимание он обратил на второй, *волновой* член. Очень существенным было и указание Эйнштейна на возможность дифракции микрочастиц.

Необходимо особо подчеркнуть, что поддержка Эйнштейном идей де Бройля сыграла большую роль в их распространении (см. высказывания самого де Бройля[68], а также статьи Клейна в[3], с. 212, и Л. С. Полака в[69], с. 347).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате своих исследований по вопросам квантовой теории за двадцать лет, начиная с 1905 г., Эйнштейн внес вклад в развитие квантовых представлений, который сыграл исключительно большую роль при становлении с 1925 по 1928 г. квантовой механики. Именно на идеях Эйнштейна о корпускулярно-волновом дуализме базировался один из двух подходов к квантовой механике, реализованный Шрёдингером в начале 1926 г. в виде волновой механики[70] (см. подробнее в статье[11]). Шрёдингер писал в марте 1926 г. в статье, посвященной связи матричной механики с волновой (см.[69], с. 56), что его «теория была стимулирована работой Л. де Бройля» (работой[67], в которой последний, как мы уже подчеркивали в конце предыдущего раздела, развивал для микрочастиц идеи Эйнштейна) и «краткими, но в высшей степени прозорливыми замечаниями Эйнштейна» (в работе[64], см. с. 533). Однако непосредственно в становлении квантовой механики Эйнштейн не участвовал и последним его крупным конкретным вкладом в развитие квантовых представлений остались работы[63-65] по квантовой статистике. Когда в 1927 г. предметом обсуждения стали вопросы физической интерпретации квантовой механики на основе соотношений неопределенности Гейзенберга[71] и принципа дополнительности Бора (см.[72], с. 30), началась знаменитая дискуссия Эйнштейна с Бором по поводу полноты квантовомеханического описания явлений микромира (о которой мы упоминали в самом начале статьи; этой дискуссии предшествовало расхождение в мнениях между Бором и Эйнштейном в период с 1923 по 1925 г. по принципиальным вопросам квантовой теории; см. статью Клейна в[33], с. 115). В 1949 г. Бор подробно рассказал о данной дискуссии (см.[72], с. 399, и ответ Эйнштейна[73]; подробнее описание дискуссии можно найти в[74]). Дискуссия продолжалась до кончины Эйнштейна в 1955 г. Эйнштейн продолжал считать, что квантовомеханическое описание не является полным. Он стремился к построению единой физической картины мира, разрабатывая общую теорию поля, чему посвятил вторую половину своей научной деятельности. Его не удовлетворяла физическая кар-

тина мира, основанная на концепции дополнительности и на вероятностной интерпретации квантовой механики (см., например, статью Борна в[2], с. 172). Одним из родоначальников такой интерпретации был сам Эйнштейн, пришедший еще в 1916 г. к вероятностному истолкованию корпускулярно-волнового дуализма (в работе[6], см. с. 531). Однако он не считал ее окончательной и не соглашался с тем, что надо еще решительнее отказаться от классических представлений при изучении микромира, как полагали Бор и его последователи. Взгляды Эйнштейна по методологическим вопросам современной физики требуют специального рассмотрения, выходящего за рамки данной статьи.

Белорусский государственный университет
им. В. И. Ленина

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ссылки на работы Эйнштейна даны по русскому изданию его трудов: Эйнштейн А. Собрание научных трудов, Т. I–IV.– М.: Наука, 1965 –1967.– Указывается том трудов, номер статьи и год публикации ее оригинала (в скобках).

1. Эйнштейн А. Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света. – Т. III, ст. 7 (1905).
2. Борн М. Физика в жизни моего поколения: Сб. статей,– М.: ИЛ, 1965.
3. Эйнштейновский сборник. 1966.– М.: Наука, 1966.
4. Эйнштейн А. К современному состоянию проблемы излучения.– Т. III, ст. 17 (1909).
5. Эйнштейн А. О развитии наших взглядов па сущность и структуру излучения.– Т. III, ст. 19 (1909).
6. Эйнштейн А. К квантовой теории излучения.– Т. III, ст. 44 (1916).
7. Паули В.– УФН, 1965, т. 86, с. 413.
8. Hund F. Geschichte der Quantentheorie.– 2. Aufl.– Mannheim: B. I. Wis-senschaftsverlag, 1975.
9. Jammer M. The Conceptual Development of Quantum Mechanics.– N.Y.: McGraw-Hill, 1966.
10. Hermann A. Fruhgeschichtc der Quantentheorie (1899–1913).– Mosbach in Baden: Physik Verlag, 1969.
11. Ельяшевич М. А.– УФН, 1977, т. 122, с. 673.

12. Эйнштейн А. Следствия из явлений капиллярности.– Т. III, ст. 1 (1901).

13. Эйнштейн А. О термодинамической теории разности потенциалов между металлами и полностью диссоциированными растворами их солей и об электрическом методе исследования молекулярных сил.– Т. III, ст. 2 (1902).

14. Эйнштейн А. Кинетическая теория теплового равновесия и второго начала термодинамики.– Т. III, ст. 3 (1902).

15. Эйнштейн А. Теория основ термодинамики.– Т. III, ст. 4 (1903).

16. Эйнштейн А. К общей молекулярной теории теплоты.– Т. III, ст. 5 (1904).

17. Эйнштейн А. Замечания к работам П. Герца: «О механических основах термодинамики».– Т. III, ст. 28 (1911).

18. Эйнштейн А.– Т. III, ст. 6, 8 (1905), 9 (1906); 14 (1907), 16 (1908).

19. Эйнштейн А.– Т. I, ст. 1 (1905).

20. Kangro H. Vorgeschichte der Plankckschen Strahlungsgesetzes.– Wiesbaden: F. Steiner Verlag, 1970.

21. Bo1tzmann L.– Ann. d. Phys., 1884, Bd. 22, S. 291.

22. Wien W.– Sitzungsber. Berl. Akad. Wiss., 1893, S. 55.

23. Wien W.– Wied. Ann., 1894, Bd. 52, S. 132.

24. Планк М. Избранные труды.– М.: Наука, 1975.– С. 191–281.– Статьи 1900–1901 гг.

25. Полак Л. С. – См.[24], с. 685.

26. Wien W.– Wied. Ann., 1896, Bd. 58, S. 662.

27. Михельсон В. А. Собр. соч. Т. 1.– М.: 1930.– С. 175.

28. Lord Ray1eigh – Phil. Mag., 1900, v. 49, p. 539. Lorentz H.– Proc. Amsterdam Acad., 1903, v. 5, p. 666. Jeans J.– Phil. Mag., 1905, v. 10, p. 91.

29. Эйнштейн А. К теории возникновения и поглощения света.– Т. III, ст. 10 (1906).

30. Эйнштейн А. Теория излучения Планка и теория удельной теплоемкости.– Т. III, ст. 11 (1907).

31. Эйнштейн А. Термодинамическое обоснование закона фотохимического эквивалента.– Т. III, ст. 30 (1912).

32. Planck M. Vorlesungen fiber die Theorie der Warmestrahlung.– Leipzig: Verlag von J. A. Barth, 1906.– (1-е издание).

33. Эйнштейновский сборник. 1974.– М.: Наука, 1976.

34. Эйнштейн А. Поправка к моей работе «Теория излучения Планка и т. д.»– Т. III, ст. 12 (1907).

35. Эйнштейн А.– Т. III, ст. 49 (1921); 51 (1922).

36. Эйнштейн А.– Т. III, ст. 13 (1907).

37. Ritz W.– Phys. Zs., 1908, Bd. 9, S. 903.
38. Эйнштейн А., Ритц В. К современному состоянию проблемы излучения.– Т. III, ст. 18 (1909).
39. Jeans J.– Proc. Roy. Soc. London, 1905, v. 78, p. 546.
40. Ehrenfest P.–Phys. Zs., 1906, Bd. 7, S. 527.
41. Эйнштейновский сборник. 1971.– М.: Наука, 1972.
42. См. в кн.: Зоммерфельд А. Пути познания в физике.– М.: Наука, 1973.– С. 191.
43. Эйнштейновский сборник. 1969–1970.– М.: Наука, 1970.
44. Эйнштейн А., Хопф Л. Статистическое исследование движения резонатора в поле излучения.– Т. III, ст. 21 (1910).
45. Эйнштейн А. К современному состоянию проблемы удельной теплоемкости.– Т. III, ст. 33 (1912).
46. Sommerfeld A.– Sitzungsber. Berl. Akad. Wiss., 1911, Bd. 41, S. 1.
47. Mehra J. The Solvay Conferences on Physics. – Dodrecht: D. Reidel, 1975.
48. Эйнштейн А. К квантовой теории.– Т. III, ст. 36 (1914).
49. Эйнштейн А. – Т. I, ст. 29 (1914).
50. Эйнштейн А. Теоретическая атомистика.– Т. III, ст. 37 (1915).
51. Бор Н. Избранные научные труды.– Т. I.– М.: Наука, 1970.– С. 84.
52. Эйнштейн А. Испускание и поглощение излучения по квантовой теории.– Т. III, ст. 43 (1916).
53. Born M.– Zs. Phys., 1926, Bd. 37, S. 863; Bd. 38, S. 803.
54. Эйнштейн А. К квантовому условию Зоммерфельда и Эпштейна.– Т. III, ст. 45 (1917).
55. Френкель В. Я. Пауль Эренфест.– 2-е изд.– М.: Атомиздат, 1977.
56. Эйнштейн А., Эренфест П. Квантовотеоретические замечания к опыту Штерна и Герлаха.– Т. III, ст. 52 (1922).
57. Gerlach W., Stern O.– Zs. Phys., 1922, Bd. 9, S. 349.
58. Эйнштейн А., Эренфест П. К квантовой теории радиационного равновесия.– Т. III, ст. 55 (1923).
59. Паули В. Труды по квантовой теории.– (Т. I.)– М.: Наука, 1975.– С. 621.
60. Эйнштейн А. Предлагает ли теория поля возможности для решения квантовой проблемы? – Т. III, ст. 56 (1923).
61. Эйнштейн А.– Т. II, ст. 72–75 (1923).
62. Эйнштейн А. Эксперимент Комптона. Существует ли наука ради самой науки? – Т. III, ст. 58 (1924).
63. Эйнштейн А. Квантовая теория одноатомного идеального газа.– Т. III, ст. 62 (1924).

64. Эйнштейн А. Квантовая теория одноатомного идеального газа. Второе сообщение.– Т. III, ст. 63 (1925).

65. Эйнштейн А. К квантовой теории идеального газа.– Т. III, ст. 64 (1925).

66. См. в кн.: Эйнштейн А.– Т. III, приложение к ст. 60.

67. De Brog1ie L. Recherches sur la theorie de quanta: These de doctorat.– Paris: Manson et Cie, 1924.

68. Де Бройль Л. По тропам науки: Сб. статей.– М.: ИЛ, 1972.– С. 351.

69. Шрёдингер Э. Избранные труды по квантовой механике.– М.: Наука, 1976.

70. Шрёдингер Э.– УФН, 1977, т. 122, с. 621.

71. Гейзенберг В.– Ibid., с,. 651.

72. Бор Н. Избранные научные труды. Т. II.– М.: Наука, 1971.

73. Эйнштейн А. Замечания к статьям.– Т. IV, ст. 77 (1949).

74. Jammer M. The Philosophy of Quantum Mechanics.– N.Y.: Wiley-Inter-science, 1974.

Краткие сведения об авторах

Александров Евгений Борисович (р. 1936) – академик РАН. Окончил Ленинградский Политехнический институт. С 1960 г. инженер, затем младший, старший научный сотрудник Государственного Оптического института им. С. И. Вавилова (ГОИ). С 1981 г. – начальник лаборатории радиооптической спектроскопии (с 1999 г. – по совместительству). С 1987 по 1992 гг. – заместитель директора ГОИ по фундаментальным исследованиям. С 1999 г. – заведующий лабораторией квантовой магнитометрии Санкт-Петербургского Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе. С 1980 г. главный редактор журнала ”Оптика и спектроскопия”.

Научные исследования в области оптической и радиоспектроскопии атомов и конденсированных сред, лазерной физики, физической оптики и квантовой магнитометрии. Автор более 150 научных работ и 2 монографий.

Бураков Виктор Семенович (р. 1931) – академик НАН Беларуси, лауреат Государственной премии БССР, заслуженный деятель науки и техники БССР, доктор физико-математических наук, профессор. Окончил Белгосуниверситет. С 1955 г. работал в Институте физики АН БССР научным сотрудником, ученым секретарем, заместителем директора по научной работе, одновременно с 1977 г. заведующий лабораторией лазерной диагностики плазмы. В 1983–1987 гг. – директор Опытно-производственного предприятия по изготовлению уникальных физических приборов и оборудования АН СССР (г. Минск). С 1989 г. – член Президиума АН Беларуси. В 1992–1997 гг. академик-секретарь Отделения физики, математики и информатики НАН Беларуси, одновременно в 1992–1993 гг. директор-организатор Института молекулярной и атомной физики АНБ. В настоящее время – советник Президиума НАН Беларуси. В 1990–1992 гг. главный редактор «Журнала прикладной спектроскопии», в 1992–1997 главный редактор журнала «Весці АН Беларусі. Серыя фізіка-матэматычных навук».

Научные исследования в области лазерной физики и спектроскопии плазмы. Автор более 200 научных работ и монографии.

Войтович Александр Павлович (р. 1938) – академик НАН Беларуси, лауреат Государственной премии Республики Беларусь, доктор физико-математических наук, профессор. Окончил Белгосуниверситет. С 1960 г. – научный сотрудник, заведующий лабораторией, заместитель директора по научной работе Института физики АН БССР. В 1992–1993 гг. – заместитель директора по научной работе Института молекулярной и атомной физики АН Беларуси, с 1993 по 1997 гг. – директор этого института. С 1997 г. по 2000 г. Президент НАН Беларуси.

Научные исследования в области лазерной физики и оптики. Автор более 200 научных работ, в т. ч. двух монографий.

Граков Валерий Ефимович (р. 1938) – кандидат физико-математических наук. Окончил Белгосуниверситет. В 1973–1977 гг. работал на кафедре атомной и молекулярной физики, возглавляемой академиком М. А. Ельяшевичем, а затем на кафедре физической оптики Белгосуниверситета. С 1986 г. – доцент кафедры атомной физики и физической информатики БГУ.

Научные исследования по физике газовых разрядов. Автор более 40 научных работ. Для студентов физического факультета БГУ читает курсы атомной физики и физики плазмы.

Грибов Лев Александрович (р. 1933) – член-корреспондент Российской академии наук, Заслуженный деятель науки России, вице-президент и председатель секции физики Российской академии естественных наук, профессор, доктор физико-математических наук, лауреат Государственной премии России в области науки и техники (1999). Профессор Л. А. Грибов – один из мировых лидеров в области квантовой химии, теории строения и спектров молекул и полимеров, химической информатики и в некоторых направлениях аналитической химии.

Автор 25 монографий и учебников, а также более 500 статей в ведущих международных и отечественных научных журналах.

Ельяшевич Алексей Михайлович (р. 1937) – доктор физико-математических наук, профессор. Окончил Ленинградский государственный университет. С 1960 г. учился в аспирантуре, а затем работал научным сотрудником в Институте высокомолекулярных соединений АН СССР, в 1980–1992 гг. – заведующий лабораторией теории и математического моделирования полимерных систем. В 1992–1996 гг. работал в мэрии Санкт-Петербурга, с 1994 г. – директор Департамента науки и высшей школы. С 1997 г. – профессор Санкт-Петербургского государственного технического университета.

Научные исследования в области биофизики, физики полимеров, статистической физики и компьютерного моделирования. Автор около 100 научных работ.

Кембровская Наталья Геннадьевна (р. 1957) – кандидат физико-математических наук, доцент. Окончила Белгосуниверситет. С 1979 г. – ассистент, с 1994 г. – доцент кафедры общей физики физического факультета Белгосуниверситета.

Научные исследования в области истории и методики преподавания физики. Под руководством академика М. А. Ельяшевича выполнила серию работ по истории физики. Автор 25 научных работ.

Килин Сергей Яковлевич (р. 1952) – доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии Республики Беларусь (2002). Окончил Белгосуниверситет. С 1974 г. работает в Институте физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. С 1994 г. – заведующий лабораторией квантовой оптики. С 2005 г. – Председатель ОО "Белорусское физическое общество".

Научные исследования в области квантовой оптики и квантовой информатики. Автор более 300 научных работ и трех монографий.

Романов Геннадий Степанович (р. 1938) – кандидат физико-математических наук, лауреат Государственной премии Республики Беларусь. Окончил Белгосуниверситет. В 1960–1973 гг. работал в Институте физики АН БССР в лаборатории, возглавляемой М. А. Ельяшевичем. С 1973 г. – заведующий лабораторией теоретической физики НИИ прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ, а с 1980 г. – заведующий отделом квантовой радиофизики этого института. 1990–2003 – заведующий лабораторией радиационной газовой динамики и одновременно (1991–2002) – заместитель директора по научной работе Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси.

Научные исследования в области физики плазмы, газовой динамики, физики взрыва. Автор более 250 научных работ, в т. ч. монографии.

Сокольский Анатолий Алексеевич (р. 1942) – кандидат физико-математических наук, доцент. Окончил Белгосуниверситет. В 1969–1977 гг. работал на кафедре атомной и молекулярной физики, возглавляемой академиком М. А. Ельяшевичем., а затем на кафедре ядерной физики Белгосуниверситета. С 1986 г. – доцент кафедры атомной физики и физической информатики БГУ.

Научные исследования по релятивистской физике и гравитации. Автор более 40 научных работ. Читает студентам БГУ курс атомной физики.

Томильчик Лев Митрофанович (р. 1931) – член-корреспондент НАН Беларуси, профессор. Окончил Белгосуниверситет. С 1957 г. – младший, старший научный сотрудник Института физики АН БССР. В 1963–1970 гг. – ученый секретарь отделения физико-математических наук АН БССР. В 1970–1987 гг. – старший, главный научный сотрудник, в 1987–2004 гг. – заведующий лабораторией теоретической физики Института физики НАН Беларуси. Одновременно в 1967–1970 гг. – доцент, с 1980 г. – профессор кафедры теоретической физики Белгосуниверситета.

Научные исследования в области теории фундаментальных взаимодействий, а также истории и методологии науки. Выполнил исследования по истории формирования ряда фундаментальных физических концепций: электродинамики Максвелла, специальной теории относи-

тельности, первоначальной квантовой теории Бора (совместно с академиком М. А. Ельяшевичем), современной теории калибровочных полей. Автор более 120 научных работ, в т. ч. 2 монографий.

Шиманович Владимир Демьянович (р. 1937) – доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии БССР. Окончил Белгосуниверситет. С 1960 г. работал в Институте физики АН БССР младшим, старшим, ведущим научным сотрудником, с 1989 г. – заведующий лабораторией. С 1992 г. – заведующий лабораторией физики плазменных процессов Института молекулярной и атомной физики НАН Беларуси.

Научные исследования в области физики низкотемпературной плазмы и плазменных технологий. Автор около 200 научных работ.

Шпилевский Эдуард Михайлович (р. 1939) – кандидат физико-математических наук, доцент. Окончил физический факультет БГУ. С 1962 г. по 2002 г. на преподавательских должностях кафедры физики твердого тела физического факультета БГУ. В 1979–1986 гг. декан физического факультета БГУ. С 2002 г. – заведующий отделом «Новые материалы» Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси.

Область научных интересов: физика тонких пленок, радиационная физика твердого тела, материалы и покрытия, содержащие фуллерены и углеродные нанотрубки, история естествознания, методика преподавания физики. Автор свыше 450 публикаций.

Указатель имен

Адзерихо К. С., 40
Александров Е. Б., 23, 199
Анисимов С. И., 29
Баканович Г. И., 30
Басов Н. Г., 64
Белый А., 84
Бенуа Л. Н., 5
Болеславский И., 84
Бонч-Бруевич А. М., 23, 24, 30
Бор Н., 46, 49
Борисевич Н. А., 19, 29
Ботвинник М., 84
Бриллюэн Л., 25
Бугаев Н. В., 84
Бураков В. С., 5, 35, 199
Вавилов С. И., 7, 19, 23
Ван-ден-Брук А. Дж., 43
Виткин Э. И., 40
Власов А., 25
Войтович А. П., 16, 199
Волькенштейн М. В., 6, 17
Герцен А. И., 87
Голованов Я., 37
Граков В. Е., 60, 200
Гречихин Л. И., 30
Грибов Л. А., 7, 74, 88, 200
Гросс Е. Ф., 25
Делоне Б. Н., 62
Дубовик А. С., 11
Дюжев Г. А., 40
Ельяшевич А. Б., 83, 86, 87
Ельяшевич А. М., 83, 200
Ельяшевич Б. А., 83
Ельяшевич В. Б., 83
Ельяшевич З. Б., 83
Ельяшевич М. Г., 89
Ельяшевич Н. М., 89
Еругин Н. П., 33
Ждановский В. А., 39
Зверев С. А., 26
Зельдович Я. Б., 29, 60
Кабашников В. П., 40
Кевлишвили П. В., 11
Кембровская Н. Г., 41, 200
Килин С. Я., 201
Киселевский Л. И., 11, 37, 39, 64
Козлов Ф. Р., 87
Кондратьев В. Н., 17
Королев С. П., 10, 29
Крутков Ю. А., 62
Купревич В.Ф., 18
Ландау Л. Д., 10
Лихачев Д. С., 5
Ломоносов М. В., 42
Лоренц Х. А., 19
Максвелл Дж. К., 45
Мандельштам Л. И., 25
Менделеев Д. И., 20, 43
Минько Л. Я., 9, 30
Немчинов И. В., 11
Непорент Б. С., 24
Плюта В. Е., 39
Полинг Л., 25
Прокофьев В. К., 6
Прохоров А. М., 63
Райзер Ю. П., 11
Ритц В., 41, 52
Рождественский Д. С., 62
Романов Г. С., 10, 28, 37, 201
Садовский М. А., 32
Севченко А. Н., 19, 25

Семенов Н. Н., 8
Смирнов В. И., 62
Снопко В. Н., 39
Сокольский А. А., 60, 201
Сомов К. А., 5
Степанов Б. И., 6, 17, 19, 25
Теренин А. Н., 5, 24, 75, 85
Томильчик Л. М., 41, 84, 201
Тудоровский А. И., 62
Успенский Л. И., 5
Федоров Ф. И., 19
Феофилов П. П., 23, 24, 26, 27
Филипченко Е. М., 84
Филипченко М. Е., 83
Филипченко Ю. М., 84
Фок В. А., 6, 19, 63, 64
Фредерикс В. К., 62
Френкель Я. И., 5, 63
Фриш С. Э., 24, 62
Хартри Д. Р., 6
Хвольсон О. Д., 62
Ходыко Ю. В., 10, 40
Черенков П. А., 7
Чулановский В. М., 6
Шидловский М. К., 28
Шиманович В. Д., 37, 202
Шпилевский Э.М., 66, 202
Щукин А. Н., 30
Эйнштейн А., 46

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

В. С. Бураков Этапы жизненного и творческого пути М. А. Ельяшевича 5

Вступительное слово президента Национальной академии наук Беларуси, академика А. П. Войтовича на открытии чтений, посвященных 90-летию со дня рождения академика М. А. Ельяшевича, Минск, 1998 г. 16

Е. Б. Александров Михаил Александрович в моей жизни 23

Г. С. Романов Он любил повторять: «Я всегда приветствую всякую инициативу» 28

В. Д. Шиманович М. А. Ельяшевич и первые исследования в области космической техники в Беларуси 37

Л. М. Томильчик, *Н. Г. Кембровская*

Исследования М. А. Ельяшевича по истории физики 41

А. А. Сокольский, *В. Е. Граков*

О Михаиле Александровиче Ельяшевиче – педагоге 60

Э. М. Шпилевский Выдающийся белорусский физик, историк-науковед и методист 66

Л. А. Грибов Михаил Александрович. Каким он был? 74

А. М. Ельяшевич. Воспоминания старшего сына 83

Основные даты жизни и деятельности академика М. А. Ельяшевича 90

Основные научные труды академика М. А. Ельяшевича 106

М. А. Ельяшевич Оптическое возбуждение паров ртути в далекой ультрафиолетовой области спектра. 109

М. А. Ельяшевич Простой метод расчета частот колебаний многоатомных молекул 118

М. А. Ельяшевич Деление тяжелых ядер и использование атомной энергии 127

М. А. Ельяшевич Вклад Эйнштейна в развитие квантовых представлений 140

Краткие сведения об авторах 199

Указатель имен 203

Научно-популярное издание

АКАДЕМИК
М. А. ЕЛЬЯШЕВИЧ
Воспоминания учеников и современников,
избранные статьи

Ответственный за выпуск *В. В. Гниламёдов*
Научные редакторы *С. Я. Килин, Л. М. Томильчик*
Дизайн обложки *А. А. Игнатенко*
Верстка *А. А. Букач, А. А. Игнатенко*
Корректор *В. Б. Ходан*

Подписано в печать 1.12.2008. Формат 84 x 108 1/32 Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс ЕТ. Печать офсетная.Усл. печ. л. 12,1. Уч.-изд. л. 9,0.
Тираж 300 экз. Заказ

Частное издательское унитарное предприятие “Голиафы”.
ЛИ № 02330/0150300 от 08.04.2008.
Ул. Брилевская, 11-44, 220039, г. Минск.
E-mail: vish@bk.ru
www.goliafy.com

Совместное общество с ограниченной ответственностью “Медисонт”.
ЛП № 02330/0056748 ад 22.01.2004.
Ул. Тимирязева, 9, 220004, г. Минск.