

eISBN 978-5-9905275-1-5

П.Н. Николаев

**Михаил Васильевич Ломоносов
и развитие физики
в Московском университете**

Москва 2013

Николаев П.Н. (Павел Николаевич) Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете. М., 2013. - 125 с.

Изучается влияние идей и замыслов М.В. Ломоносова на развитие физики в Московском университете на протяжении всей его истории. Исследуются закономерности в осознании научным сообществом и обществом в целом значимости фундаментальных научных открытий.

Книга рассчитана на читателей, интересующихся историей и методологией физики и науки в целом.

Nikolaev P.N. (Pavel Nikolaevich) Mikhail Vasil'evich Lomonosov and the development of physics in Moscow University. Moscow, 2013. - 125 pages

eISBN 978-5-9905275-1-5

© Николаев П.Н., 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
I От истоков до первой физической лаборатории	8
II От А.Г. Столетова до создания физического отделения ...	30
III Физический факультет	47
Заключение	53
Литература	55
Приложение I	
Николаев П.Н., Николаева О.П.	
Природа статистических и динамических закономерностей в физике	63
Приложение II	
Николаев П.Н., Николаева О.П.	
Кинетическая теория жидкости: у истоков проблемы.....	106

ВВЕДЕНИЕ

Создание Московского университета в 1755 году явилось реализацией потребности в высококвалифицированных специалистах. Университет создавался в первую очередь как учебное учреждение. Исключительное значение оказала деятельность М.В.Ломоносова, направленная на создание Московского университета. Влияние его идей, заложенных в фундамент образовательной программы университета, прослеживается на протяжении всей истории развития университета [1-3] (см. Приложение I и Приложение II).

М.В. Ломоносов в 1753 г. отправляется в Москву и начинает подготовительную работу. Летом 1754 г. в письме И.И. Шувалову М.В. Ломоносовым дается краткий проект университета и основные принципы его организации. 19 июля Сенат утверждает представленное И.И. Шуваловым «Донесение об утверждении в Москве университета и двух гимназий» с приложением Проекта их организации. Начинается практическая деятельность по подготовке к открытию университета.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

В августе выходит указ императрицы Елизаветы Петровны о передаче учреждаемому в Москве университету «Аптекарского дома» у Воскресенских (Курятных) ворот на Красной площади: «Е. и. в. всемилостевейшая государыня указать соизволила для учреждающегося вновь в Москве университета дом состоявшей в Курятных ворот в коем прежде была аптека починкою исправить и в состояние привести». После перевода учреждений, занимавших «Аптекарский дом», был проведен ремонт, который был в основном закончен в декабре.

12 января 1755 г. Елизавета Петровна утвердила Проект организации Московского университета и гимназий. Согласно этому проекту университет должен был состоять из трех факультетов – юридического, медицинского, философского, объединяющих 10 кафедр. По своей структуре университет соответствовал проекту университета в Академии наук 1724 г., а также проекту М.В. Ломоносова для академического университета. 12 октября 1748 г. М.В. Ломоносов писал В.К. Тредиаковскому: «Государь мой, Василий Кириллович! Вы изволили мне объявить словесно, что в Собрании требуют от меня мнения об университетском регламенте, что я оное кратко объявляю и думаю, что в университете неотменно должно быть трем факультетам: юридическому, медицинскому и философскому (богословский оставляю синодальным училищам), в которых бы производить в магистры, лиценциаты и доктора ...» .

24 января был опубликован указ об учреждении университета и двух гимназий. кураторами университета были назначены И.И. Шувалов, Л.Л.Блюментрост, директором – А.М. Аргамаков.

В марте из Академического университета в Петербурге в Московский университет были переведены ученики и последователи

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

М.В. Ломоносова – магистры Н.Н. Поповский, А.А. Барсов, Ф.Я. Яремский. В смете университета, утвержденной Сенатом, были предусмотрены 5 тысяч рублей «для покупки книг и прочего». 16 и 20 марта по просьбе директора университета А.М. Аргамакова на заседаниях конференции Академии наук рассматривался вопрос о помощи университету в оснащении библиотеки и приобретении оборудования для физического кабинета. Академия наук оказала реальную помощь Московскому университету в решении этих проблем.

26 апреля состоялась торжественная церемония открытия (инаугурации) университета. С речами при открытии университетской гимназии выступили Н.Н. Поповский, А.А. Барсов, учителя немецкого и французского языков. Речь А.А. Барсова называлась «О пользе учреждения Московского университета». 25 мая в университет были зачислены первые шесть студентов, а уже в июне Н.Н. Поповский начал чтение лекций по философии. Это и явилось началом занятий студентов в университете.

Открытие Московского университета оказало большое влияние не только на развитие образования, но и на всю общественную жизнь в России. Уже в 1756 г. при нем была открыта типография и книжная лавка, начала издаваться газета «Московские ведомости», открылась библиотека университета, которая была общедоступной. В августе 1758 г. вышел первый том сочинений М.В. Ломоносова (на титульном листе указан 1757 г.), который содержал как стихотворные, так и научные, научно-популярные и публицистические произведения. В «Московских ведомостях» за 9 октября 1758 г. сообщалось, что в «Московском Императорском университете недавно отпечатано и продается собрание сочинений

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

Коллежского Советника, химии профессора и Санкт-Петербургской Императорской академии наук члена господина Ломоносова». Вторым том был опубликован в 1765 г.

Первоначально среди данных университету привилегий отсутствовало право «производить в градусы», то есть присуждать ученые степени. Физика в Московском университете стала преподаваться в полном объеме на философском и медицинском факультетах с 1758 года.

Историю развития физики в Московском университете с точки зрения характера преподавания можно поделить на три периода: от создания университета до создания первой физической лаборатории, от Столетова до создания физического отделения и от создания физического факультета в 1933 году до наших дней.

I ОТ ИСТОКОВ ДО ПЕРВОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Московский университет был утвержден в 1755 году по Указу Императрицы Елизаветы Петровны [4] на основе «Доношения», представленного И.И. Шуваловым и утвержденного Сенатом 19 июля 1754 года [5] с приложением Проекта его организации, написанного М.В. Ломоносовым [6]. День подписания Указа – 12 января (25 января по новому стилю, «Татьянин день») – считается днем основания университета и студенческим праздником [7]. Вплоть до начала XIX века включительно днем основания университета считался день его инаугурации.

Университет должен был состоять из трех факультетов – юридического, медицинского и философского [4]. Философский факультет насчитывал в своем составе четыре кафедры, в том числе и кафедру «физики экспериментальной и теоретической» [7, с. 17]. Студенты университета должны были первые три года обучаться на философском факультете [8, с. 33]. В план философского факультета

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

входили математика, механика, физика, исторические, политические, экономические и словесные науки.

Университет получил ряд привилегий. Он находился под покровительством Императрицы и подчинялся только распоряжениям Сената. Все «чины университета» без ведома кураторов и дирекции были неподсудны никакому суду, кроме университетского. Дома их освобождались от «постоев и всяких полицейских тягостей».

Среди данных университету привилегий отсутствовало право «производить в градусы», то есть присуждать ученые степени.

Первыми кураторами университета стали И.И. Шувалов и Л.Л. Блюментрост, директором – А.М. Аргамаков [4].

С основания Московского университета начинается работа по формированию кафедры «физики экспериментальной и теоретической» и созданию условий для чтения курса физики на философском университете. А.М. Аргамаков обращается в Академию наук с просьбой о помощи университету в приобретении оборудования для физического кабинета. Соответствующий вопрос был рассмотрен на заседании конференции Академии наук 16 и 20 марта 1755 года [9].

Торжественная церемония открытия (инаугурация) университета состоялась 26 апреля (7 мая по новому стилю) [10, 11]. 25 мая в университет были зачислены первые шесть студентов, а в июне начались занятия.

Становление преподавания физики первоначально шло сложно. Первоначально для преподавания физики использовались иностранные учебники и так продолжалось всю вторую половину XVIII века. Вместе со становлением университета происходило и

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

становление преподавания физики, появлялись отечественные кадры.

Первые косвенные сведения о преподавании физики в университете относятся к 1756 году [8, с. 33]. Непосредственное упоминание о лекциях по физике относится к 1757 году, когда аббат Франкози начал читать лекции по экспериментальной физике на французском языке по понедельникам, вторникам, четвергам и пятницам, а эксперименты демонстрировались по средам и субботам «от двух до шести часов», то есть по четыре часа в день [8, с. 34]. Данная система чтения физики сохранилась до 1791 года.

Таким образом, в 1757 году оборудование физического кабинета позволяло осуществлять демонстрации как составной части лекционного курса физики.

В 1758 году физику начинают читать и на медицинском факультете. Первым лектором здесь был Иоганн Христиан Керштене, прибывший в университет в марте 1758 года на должность профессора химии [12]. До этого он был магистром свободных наук и философии, доктором медицины в Лейпцигском университете. На философском факультете физику читал Даниил Васильевич Савич (с 1758 по 1761 годы) и Иоганн Рост. Д.В. Савич получил степень магистра философии и свободных наук в Веттенбергском университете [8, с. 37].

С 1761 года кафедру физики занимает И. Рост и остается в этой должности до 7 апреля 1791 года. И. Рост окончил в 1757 году Геттингенский университет и прибыл в Московский университет для обучения студентов английскому языку.

Физический кабинет постоянно пополнялся новым оборудованием. В протоколе № 11 Конференции университета от 10

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

марта 1761 года говорится: «Пригласили П. Демулена в качестве механика для ремонта и хранения инструментов по математике и приборов по физике в университете, а также делать новые, если этого потребуются» [13]. Ему определили 60 рублей жалованья и 60 рублей квартирных, что в сумме составляло две трети от оклада профессора.

8 октября 1761 года академик Миллер в письме И. Росту предлагает свою помощь в покупке инструментов для физического кабинета: «Если вам чего-либо недостает, я могу вам легко достать от г-на Мушенбрука, с которым поддерживаю постоянную переписку» [14].

На основании «Доношения», составленного И. Ростом 26 октября 1767 года о приеме физических инструментов и снарядов у механика П. Демулена [15] можно судить о тех разделах, которые были в физическом кабинете. Первый раздел составляли приборы для демонстрации опытов о природе и свойствах воздуха. Второй раздел, по-видимому, включал в себя приборы, служившие для опытов с электричеством. Относительно третьего раздела можно сказать, что он содержал приборы для опытов по оптике, как и четвертый раздел. Пятый раздел содержал весы различного типа и другие приборы для демонстрации тяжести. Шестой раздел сохранился и в более позднее время получил название «Снаряды для показания свойств теплоты». О седьмом разделе судить трудно, а в восьмой вошли механические приборы, изготовленные П. Демуленом.

В 1788 году начинает издаваться естественно - научный журнал «Магазин натуральной истории, физики и химии» в качестве приложения к газете «Московские ведомости». «Московские ведомости» Московский университет начал издавать с апреля 1756 года.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

Таким образом, развитие физики в Московском университете началось с создания физического кабинета и с появлением на философском факультете учебного курса физики. До 1791 года преподавание данного курса велось преподавателями, получившими образование за границей. В основном это были иностранцы.

Известно небольшое число случаев, когда студенты привлекались в этот период к работам по обеспечению курса физики. Механику П. Демулену было поручено обучить гимназиста Бабушкина обращаться с физическими приборами [8, с. 40]. Студенты Кудрин и Сибирский были выделены в помощь И. Росту для приема «физических инструментов и снарядов» [15].

В 1778 году П.И. Страхов успешно окончил Московский университет. В 1885 году он был командирован за границу для ознакомления с постановкой научных исследований и обучения в западноевропейских университетах. В отчете о поездке он писал, что университета Европы по «нравственному направлению» не являются подходящими духу и обычаям русского народа. Однако по множеству кафедр и по богатству библиотек, музеев, кабинетов они имели перед Московским университетом большое преимущество. По мнению П.И. Страхова это проистекало «от древности учреждения, множества учащихся и более сильных денежных вспомоществований» [16, с. 451].

После смерти И. Роста оставшаяся после него кафедра математики и физики была разделена на две – кафедру математики и кафедру опытной физики [16, с. 203]. Кафедрой опытной физики возглавил П.И. Страхов. В 1787 году он стал профессором философии. В 1789 году за научное сочинение «О движении тел вообще и в особенности звезд небесных» П.И. Страхов получил звание профессора.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

После первой пробной лекции П.И. Страхова директор университета П.И. Фонвизин распорядился оборудовать для лекций особую аудиторию, а также выделить специальное помещение для приборов, необходимых для демонстрации опытов на лекциях [8, с. 48]. Вначале в качестве учебного пособия П.И. Страхов использовал трехтомный учебник Бриссона [17], переведенный им с французского языка и изданный в типографии университета в 1801 – 1802 годах. В 1810 году он издал свой учебник «Краткое начертание физики» [18]. В стиле написания этой книги видна ее связь с «Вольфианской экспериментальной физикой», переведенной М.В. Ломоносовым. Это и не удивительно, так как именно М.В. Ломоносовым впервые была создана научная терминология в области физики на русском языке. Это отмечал рецензент учебника П.И. Страхова в статье, опубликованной в «Русском вестнике» в 1810 году.

Показ физических опытов П.И. Страхов осуществлял в ходе лекции.

В начале XIX века происходят серьезные изменения в организации работы университета. П.И. Страхов был одним из активных участников этих реформ. 17 сентября 1803 года он был избран в члены-корреспонденты Петербургской Академии наук за успешную научную и педагогическую деятельность.

5 ноября 1804 года утверждается Устав Московского университета. Согласно этому уставу университет состоит из четырех отделений, в том числе отделения физических и математических наук, в которое входит кафедра теоретической и опытной физики. В составе университета предусматривались также физический кабинет и астрономическая обсерватория [19].

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

П.И. Страхов избирается первым деканом отделения физических и математических наук. В мае 1805 года он становится ректором университета и находится в этой должности согласно Уставу в течении года.

С осени 1803 по 1808 годы П.И. Страхов читал публичные лекции по физике, которые проходили по субботам с одиннадцати утра [20].

В 1805 году по инициативе группы профессоров Московского университета было организовано Московское Общество испытателей природы, которое ставило своей задачей «заниматься единственно Натуральною Историею и Науками, относящимися к ней, как то: Анатомией, собственно так называемой и сравнительною, Химиею, Физикою, Сельскою Экономиею и проч.» [21,22]. П.И. Страхов стал первым из русских ученых Почетным членом этого научного общества [8, с. 54].

Научные исследования П.И. Страхов вел, главным образом, в области геофизики. Он изучал климат Москвы [23,24], а также занимался исследованиями атмосферного электричества и электричества вообще [25]. К научной работе П.И. Страхов привлекал студентов. На одном из заседаний Общества испытателей природы его учеником Каховским была доложена работа, выполненная П.И. Страховым совместно с учениками: «Гальванические и электрические опыты, проведенные на Москве-реке» [25]. В 1799 году был изобретен первый гальванический элемент – вольтов столб [26, с. 358] и начала развиваться техника экспериментирования с постоянным током. Опыты П.И. Страхова были посвящены последним достижениям физической науки своего времени.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

П.И. Страхов первым в Московском университете организовал метеорологические наблюдения температуры, атмосферного давления, направления ветра и описание облаков в период с 1808 по 1812 годы и опубликовал свои результаты в «Московских ведомостях» [23].

11 июня 1812 года войска Наполеона вторглись в Россию. 23 августа выходит распоряжение Московского главнокомандующего Ф.В. Ростопчина об эвакуации университета в Нижний Новгород. Для эвакуации физического кабинета и болевшего в то время профессора П.И. Страхова была выделена одна крестьянская подвода. Основная работа по эвакуации легла на лаборанта Н.С. Семенова, которому удалось спасти небольшую часть физического кабинета.

В сентябре во время пожара в Москве сгорела большая часть ценностей Московского университета [27]. П.И. Страхов умер в Нижнем Новгороде 12 февраля 1813 года.

3 мая 1813 года выходит предписание министра народного просвещения о возвращении из Нижнего Новгорода в Москву профессоров, учащихся и университетского имущества. Восстанавливается деятельность и кафедры физики, профессором которой становится И.А. Двигубский .

И.А. Двигубский закончил медицинский факультет Московского университета в 1796 году. В 1802 году получил степень доктора медицины [28]. 16 ноября 1808 года И.А. Двигубский был утвержден профессором по кафедре «Технология и науки, относящиеся к торговле и фабрикам» [8, с. 89].

В течение многих лет он читал курс физики в университетском пансионе. И.А. Двигубский перевел на русский язык учебник физики

Жокато [29], который долгое время использовался как учебное пособие для гимназий. Он переиздал его с целым рядом изменений и дополнений, в результате чего получилось учебное пособие для университетов [30,31]. Большое значение И.А. Двигубский придавал восстановлению и расширению физического кабинета.

Из эвакуации вернули 64 прибора физического кабинета [32], а на 1 января 1816 года было уже 94 прибора и инструмента [8, с. 117]. В 1821 году впервые был опубликован список приборов физического кабинета, насчитывающий 220 наименований [33]. В дальнейшем этот список пополнялся [34] и в 1826 году был составлен последний список И.А. Двигубского [35]. Он насчитывал 395 физических приборов. Они подразделялись на девять разделов: 1) общие свойства тел и механика, 2) свойства жидких тел, 3) свойства газов, 4) свойства звука, 5) теплота, 6) магнетизм, 7) электричество, 8) гальванизм и электромагнетизм, 9) оптика. С 1808 по 1829 годы в физическом кабинете работал Н.С. Семенов, ремонтировавший приборы и изготавливавший новые [36].

До 1826 года лектора в Московском университете были мало ограничены в преподавании предметов. В 1826 году вводится требование о чтении лекций по утвержденным конспектам, то есть программам [8, с. 118]. Автором первого в Московском университете «конспекта физических лекций» стал И.А. Двигубский [37].

И.А. Двигубский много внимания уделял организации экспериментального обучения студентов, привлекая студентов к научной работе. Под его руководством была защищена магистерская диссертация Н.В. Кацаурова [38], в которой были получены значительные результаты [39].

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

И.А. Двигубский организовал издание нового научного журнала «Новый магазин естественной истории, физики, химии и сведений экономических». Он выходил с 1820 по 1830 годы включительно. Этот журнал сыграл важную роль для развития российской науки. И.А. Двигубский опубликовал в нем ряд собственных статей. В этом журнале в 1828 году впервые появился перевод на русский язык работы М.В. Ломоносова «О причине теплоты и холода», написанной в 1750 году и посвященной разработке кинетической теории теплоты. Перевод с латинского языка на русский язык сделал Н.Е. Зернова. Эта статья во втором томе полного собрания сочинений М.В. Ломоносова имеет название «Размышления о причине теплоты и холода» и дается в переводе Б.Н. Меншуткина.

Несколько ранее, в 1824 г. И.А. Двигубский в третьем издании своего учебника «Физика» указывает М.В. Ломоносова среди наиболее выдающихся физиков.

В 1820 году И.А. Двигубский возобновил метеорологические наблюдения, прерванные в 1812 году, и публиковал их результаты в «Московских ведомостях» ежемесячно с мая 1820 года по декабрь 1830 года [40,41].

После вторичного избрания на должность ректора Московского университета И.А. Двигубский 11 июня 1827 года освобождается от заведования кафедрой физики по личной просьбе.

После ухода с кафедры физики И.А. Двигубского ею стал заведовать М.Г. Павлов.

Михаил Григорьевич Павлов окончил физико-математическое и медицинское отделения Московского университета. Будучи доктором медицины, он с 1824 года являлся профессором кафедры минералогии и сельского хозяйства. После того, как М.Г. Павлов

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

начал преподавать физику, он продолжал читать лекции и по сельскому хозяйству [42]. В 1833 – 1836 годах вышел его двухтомный учебник физики [43,44], подвергнутый резкой критике со стороны Э.Х. Ленца [45]. Вместе с тем имеется множество свидетельств об исключительной популярности лекций М.Г. Павлова среди студентов [46] - [50].

Причины неоднозначного отношения к М.Г. Павлову специалистов в различных областях науки наиболее полно выражены А.И. Герценом в «Былом и думах»: «Павлов преподавал введение в философию вместо физики и сельского хозяйства. Физике мудрено было научиться на его лекциях, сельскому хозяйству – невозможно, но его курсы были чрезвычайно полезны. Павлов стоял в дверях физико-математического отделения и останавливал студентов вопросом: «Ты хочешь знать природу? Но что такое природа? Что такое знать?»... Ответом на эти вопросы Павлов излагал учение Шеллинга и Окена с такой пластической ясностью, которую никогда не имел ни один натурфилософ» [51].

Целый ряд полемических статей был опубликован М.Г. Павловым по поводу М.В. Ломоносова в 20 -30 годы XIX века. В одной из своих работ он писал: «Почему в учебных книгах своих без исследования повторяем слова иностранных ученых, не зная рассуждения Ломоносова, утверждающих, что Румфорд первый предложил происхождение тепла от внутреннего движения тел?».

В рассматриваемый период развитие физики в Московском университете в большей мере определялось деятельностью Д.М. Перевощиков, ординарного профессора по кафедре астрономии (с 1826 года) [52].

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

Дмитрий Матвеевич Перовошиков окончил Казанский университет. С 1818 года он преподавал в Московском университете. Круг научных интересов Д.М. Перовошиков был исключительно широк. Он занимался математикой, астрономией, физикой, геофизикой и другими областями науки [8, с. 288 - 292]. И везде им были получены значительные результаты. В 1831 году в Московском университете им была организована обсерватория. В 1833 году он издал учебник «Руководство по опытной физике» под редакцией И.А. Двигубского [53] .

Д.М. Перовошиков неоднократно обращался к исследованиям М.В. Ломоносова в области атмосферного электричества, оптики, кинетической теории теплоты. Они были изложены в его «Руководстве к опытной физике».

В 1835 году утверждается «Общий устав императорских Российских университетов». В результате кафедра физики была преобразована в кафедру физики и физической географии. 10 марта 1836 года М.Г. Павлов передал кафедру профессору И.С. Веселовскому [8, с. 151], доктору медицины. В октябре 1838 года И.С. Веселовский прекратил преподавание физики по состоянию здоровья и был уволен из университета 12 января 1839 года.

Научные интересы И.С. Веселовского лежали вне области физики [54]. В 1838 году физику читал Д.М. Перовошиков, который передал 26 января 1839 года чтение этого курса вновь назначенному адъюнкту М.Ф. Спасскому [8, с. 194].

Михаил Федорович Спасский окончил Главный педагогический институт и был отправлен для продолжения образования за границу [55]. 26 января 1839 года М.Ф. Спасский был назначен адъюнктом по кафедре физики и физической географии Московского университета,

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

где он работал вплоть до своей смерти в 1859 году. Доктор химии и физики (1848). В 1850 году утвержден в звании ординарного профессора.

В разные годы М.Ф. Спасский читал физику на философском и медицинском факультетах, физическую географию и метеорологию [56]. Курс состоял из 35 – 40 лекций, при этом была опубликована и программа лекций.

Научная деятельность М.Ф. Спасского касалась главным образом вопросов геофизики. В этой области он является автором известных работ. Особенно это касается изучения климата Москвы. Его докторская диссертация «О климате Москвы» [57] содержит полный анализ наблюдений за 26 лет (1820 -1846 годы). В результате ему удалось сделать ряд общих выводов на эту тему.

М.Ф. Спасским была установлена следующая последовательность в преподавании физики: опытная физика (для студентов первого курса), математическая физика (для студентов третьего и четвертого курсов). Студентам второго курса читалась физическая география. В свою очередь опытная физика разделялась на общую и частную.

Согласно М.В. Спасскому деление физики на общую и частную вытекает из причин, производящих явления. Общая физика при его делении включает в себя общие понятия о веществе, понятие о силах, общие свойства механического движения, гидростатику и гидродинамику, газовые законы, колебания и волны в упругих жидкостях. Частная физика изучает теплоту, свет, электричество, магнетизм, гальванизм.

Математическая физика имеет целью «преимущественно объяснить студентам общий способ применения анализа к различным вопросам физическим и, вместе с тем, дать понятие о том,

каким должно понимать результаты анализа относительно явлений физических» [58]. Этот раздел включает в себя исследование на основе «волнообразных движений» явлений интерференции и дифракции, отражения и преломления света, поляризации, теплопроводности, электростатики, магнитостатики.

Физическая география преподавалась «в смысле прикладной физики, она имеет предметом объяснение всех явлений, замеченных нами на поверхности Земли и в атмосфере, на основании общих физических законов» [58].

В дополнение к общему курсу М.Ф. Спасский начал читать и специальный курс теоретической оптики [59], а адъюнкт Н.А. Любимов – специальный курс по теории тепла [60]. Следует отметить, что М.Ф. Спасский имел склонность к исследованиям в области оптики. Это наложило отпечаток на выбор материала преподавания в Московском университете и было по достоинству оценено [61].

В 1851 году Л. Фуко осуществил эксперимент с маятником (маятник Фуко), экспериментально доказавший вращение Земли вокруг своей оси. Уже 3 февраля того же года вопрос об эксперименте Фуко рассмотрела Парижская академия наук. 21 апреля 1851 года опыт был подробно описан в «Московских ведомостях», а 24 и 26 мая (№ 62 и №63) в этой же газете помещена статья профессора Н.Е. Зернова, посвященная этому опыту.

Н.Е. Зернов также сообщил о подготовке этого опыта М.Ф. Спасским как в физическом кабинете университета (высота 7 аршин), так и под сводом университетской лестницы (высота 8 сажень). Подробное описание постановки опыта Фуко в Московском

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

университете дано в брошюре М.Ф. Спасского, вышедшей в 1851 году [62], а также в «Вестнике естественных наук» [63].

12 января 1855 года торжественно отмечалось 100-летие образования Московского университета [64]. К юбилею были изданы «Библиографический словарь профессоров и преподавателей Московского университета» в двух томах, в котором помещены 259 биографий, «История Императорского Московского университета» С.П. Шевырева и сборник «В воспоминание 12 января 1855 года. Учебно-литературные статьи профессоров и преподавателей Императорского Московского университета, изданные по случаю его столетнего юбилея».

Особое место в истории Московского университета имеет период подготовки и проведения реформ конца 50-х – начала 60-х годов XIX столетия. В это время начинает деятельность в Московском университете выдающийся педагог и организатор, профессор Николай Алексеевич Любимов [65]. Его влияние на последующее развитие физики в Московском университете трудно переоценить. Он уделял первостепенное значение педагогической деятельности, качеству лекционных демонстраций [66] - [69]. Н.А. Любимов значительно повысил уровень преподавания физики, расширил материальное обеспечение кабинета физических демонстраций. В итоге возникли те условия, которые позволили в дальнейшем А.Г. Столетову организовать научные исследования [70] - [76].

Николай Алексеевич Любимов родился 26 января 1830 года в Москве. В 1847 году он поступил на естественное отделение физико-математического факультета Московского университета, которое закончил в 1851 году вторым кандидатом. В дальнейшем он работает старшим учителем естественных наук в 4-й Московской

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

гимназии. После сдачи в 1854 году магистерских экзаменов Н.А. Любимов назначается адъюнкт-профессором по кафедре физики и физической географии.

В конце 1856 года Н.А. Любимов защитил диссертацию на степень магистра физики на тему «Основной закон электродинамики и его применение к теории магнитных явлений» [95]. Диссертация получила высокую оценку Д.М. Перевощикова [65, с. 8].

В 1857 году Н.А. Любимов командировается за границу для усовершенствования в своей специальности. Там он пробыл два года. После возвращения из-за границы он становится экстраординарным профессором, а после смерти М.Ф. Спасского занял кафедру опытной физики. В 1862 году Н.А. Любимов вместе с профессорами Н.Е. Лясковским и М.Я. Киттеры работал экспертом на Всемирной выставке в Лондоне [7, с. 88].

В 1865 году Н.А. Любимов защитил диссертацию на степень доктора физики на тему «О дальтоновом законе и количестве пара в воздухе при низких температурах» [78]. В том же году он избирается ординарным профессором по кафедре физики. Результаты голосования Совета Московского университета: за – 30, против – 1. В этой должности Н.А. Любимов находился до 21 октября 1882 года, когда после назначения членом Совета министра народного просвещения переезжает в Петербург.

Время прихода Н.А. Любимова в Московский университет совпало с эпохой интенсивного развития университета. Во время заведования кафедрой Н.А. Любимов особое внимание уделяет оснащению физического кабинета. Он пишет многочисленные ходатайства о выделении средств, командировании за границу для приобретения там лучших образцов демонстрационных приборов. «Он сразу поднял

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

преподавание физики в Московском университете своим талантливым изложением, популяризацией науки и стремлением довести преподавание до уровня, с которым он познакомился в своей заграничной поездке» - писал Н.А. Умов [79, с. 129].

В 1860 году Н.А. Любимов открывает первый публичный курс физики о явлениях света, электричества и магнетизма [65]. Эти лекции имели большой успех. На них впервые в России было применено электрическое освещение. Электричеством был освещен университетский двор с прилегающей территорией.

В этом же году Н.А. Любимов изобретает демонстрационный снаряд для объяснения опыта Фуко [80]. В 1872 году он изобретает опрокидывающийся термометр для определения температуры в артезианских колодцах в Москве. Наблюдения производил Н.Н. Шиллер.

Много сил отдал Н.А. Любимов расширению университетской механической мастерской. В 1866 году он пригласил на должность механика любителя – часовщика Т.Ф. Симонова. В 1870 – 1872 годах по поручению Н.А. Любимова Т.Ф. Симонов изготовил гальваноскоп, который затем широко использовался для лекционных демонстраций в течении длительного времени. Он хранился в экспозиции постоянно действующей выставки на физическом факультете «Развитие физики в Московском университете». Эта выставка была открыта на физическом факультете МГУ в 1980 году в связи с 225-летием со дня основания Московского университета. Она работала до 1995 года. В дальнейшем на ее месте был открыт Музей физического факультета.

В экспозиции выставки хранился также рояль известной немецкой фирмы “RUD. IBACH SOHN” № 1357, использовавшийся

Н.А. Любимовым в демонстрациях по звукопроводности [66, с. 146-147]. Во время реставрации в начале XXI века оригинальные элементы рояля были утрачены.

За целым рядом демонстрационных опытов по свободному падению прочно закрепилось название «опыты Любимова» [68, с. 77-78].

Вторая половина XIX века была отмечена важным изменением в организации подготовки специалистов в области физики. В это время сначала в Европе, а затем и в Америке создаются физические лаборатории. По университетскому Уставу 1863 года каждый российский университет должен был иметь наряду с физическим кабинетом и физическую лабораторию. Первую научную лабораторию в России создает при Петербургском университете Ф.Ф. Петрушевский.

Весной 1871 года профессор Н.Н. Любимов и доцент А.Г. Столетов представили факультету и Совету университета мотивированное заявление, в котором кратко обосновали необходимость открытия лаборатории [74, с. 24-25]. Из-за отсутствия помещений решение данного вопроса затянулось. Проблема была решена лишь к осени 1872 года. Под лабораторию была отведена часть бельэтажа «ректорского дома», состоящая из нескольких комнат.

А.Г. Столетов начинает оборудовать лабораторию. Для этого он переносит из физического кабинета приборы, сделанные им совместно с Н.Н. Шиллером, устанавливает кронштейны на стенах, конструирует установки для физического практикума. В этом ему помогают добровольцы из числа студентов.

К концу 1872 года лаборатория была готова для практических занятий студентов. Но для ее открытия необходимо было

финансирование, которое не выделили. Тогда Н.А. Любимов уступает для этих целей 600 рублей из штатной суммы кафедры. А.П. Соколов вспоминал: «Лаборатория обнаружила свою деятельность уже в первый год своего существования. Было установлено несколько инструментов, отчасти пожертвованных бывшим профессором К.А. Рачинским; явилось несколько студентов, которые заинтересовались делом, деятельно стали помогать Ал. Гр. в доставке приборов; из них П.А. Зилов, ныне проф. Варшавского университета, сделал в лаборатории свою первую работу – определение величины Ома в ртутных единицах. С течением времени лаборатория получила более устроенный вид: был проведен газ, установлены каменные постаменты на сводах для чувствительных к тряске приборов, устроена маленькая оптическая комната, мастерская и т.д. Постепенно были приобретены ценные измерительные приборы: квадрант-электромметр и гальваномметр Томсона, катетомметр, спектрометр и пр.» [74, с. 13-14].

В 1874 году И.Ф. Усагин приобретает учебник по физике Н.А. Любимова и создает в подвале лавки своего отца небольшой физический кабинет с электрическими машинами, гальваническими элементами и т.п. [67]. Он пишет письмо Н.А. Любимову, который принял деятельное участие в его судьбе. Он уговорил отца отпустить И.Ф. Усагина и поселил последнего в семье архивариуса Московского университета Ларионова, а также определил его учеником в университетскую мастерскую. Одновременно в течении шести месяцев он обучал его арифметике, краткой геометрии, алгебре и грамматике.

Уже через год И.Ф. Усагин помогал Н.А. Любимову на лекциях по физике в лицее цесаревича Николая [65, с. 58-59]. Многoму научился

И.Ф. Усагин у Т.Ф. Симонова, который не только ремонтировал и изготавливал физические приборы, но и демонстрировал опыты на лекциях Н.А. Любимова. После смерти Т.Ф. Симонова в 1882 году И.Ф. Усагин занял его место.

21 октября 1882 года Н.А. Любимова назначили членом Совета министра народного просвещения, и он переехал в Петербург. В петербургский период своей жизни Н.А. Любимов написал большой труд «История физики» в трех томах [81] - [83]. Освободившуюся кафедру занял А.Г. Столетов.

В 1872 г. Н.А. Любимов опубликовал работу «Жизнь и труды Ломоносова», являющуюся по замыслу автора пособием по изучению истории эпохи, когда жил и работал М.В. Ломоносов. Пособие было предназначено для воспитанников старших классов лицея цесаревича Николая. Здесь мы имеем достаточно подробное изложение биографии М.В. Ломоносова и его организационной деятельности в академии наук. Что касается анализа его научной деятельности, то она проведена на примере небольшого числа работ. В конце работы дается анализ психологического портрета М.В. Ломоносова. Здесь же приведена заключительная оценка деятельности М.В. Ломоносова: «Ничто так не противоречит всему характеру деятельности Ломоносова, всему духу Петровского преобразования как такое стремление противопоставить русское европейскому... . По отношению к Ломоносову это стремление столь же фальшиво, как стремление изобразить Ломоносова непонятым, нецененным и изнемогающим в борьбе Истинное значение Ломоносова, как ученого, в том что он был первым русским ученым в европейском смысле, живым оправданием замысла Петра ввести Россию, как равного члена, в семью европейских народов. ... Заслуги

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

Ломоносова достаточно велики, он не нуждается ни в преувеличении, ни в фальшивом освящении». И далее: «Истинное великое значение трудов Ломоносова не в истории науки вообще, а в истории русского образования: это блестящие в ней страницы».

Н.А. Любимов был известным специалистом в области образования. Он смог провести анализ деятельности М.В. Ломоносова в этой области и дать оценки, которые не потеряли своего значения до настоящего времени. Что касается анализа научной деятельности М.В. Ломоносова, то он фрагментарен и формален. Здесь не учтен главный фактор: наука постоянно развивается и оценки деятельности различных ученых постоянно меняются. И не всегда господствующая точка зрения оказывается верной [1] (см. также Приложения I и II).



Здание («ректорский домик»),
в котором была открыта в 1872 году первая физическая
лаборатория
в Московском университете. Сентябрь 2013 года.

II ОТ А.Г. СТОЛЕТОВА ДО СОЗДАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ

После назначения Н.А.Любимова членом Совета министра народного просвещения освободившуюся кафедру занял А.Г. Столетов.

Александр Григорьевич Столетов родился в 1839 году во Владимире. В 1860 году он окончил физико-математическое отделение Московского университета и по инициативе Н.А. Любимова был оставлен в университете для подготовки к профессорскому званию. В 1862 – 1866 годах А.Г. Столетов находился в Германии, где совершенствовал знания у Г. Магнуса, Г. Кирхгофа и В. Вебера. После возвращения в Москву он начал вести курс математической физики. В 1873 году А.Г. Столетов становится профессором. С 1882 года он ведет курс экспериментальной физики вплоть до своей смерти в 1896 году.

После возвращения А.Г. Столетова из-за границы условий для экспериментальной работы не было. Поэтому он проводит теоретическое исследование о распределении электричества на

проводниках в присутствии заданных электрических зарядов [84]. Примерно в это же время Н.А. Любимов выполнял эксперименты по тематике докторской диссертации. Они проводились в физическом кабинете.

В период пребывания за границей А.Г. Столетов заинтересовался вопросом о зависимости между индукцией и напряженностью магнитного поля при наличии ферромагнетика. В то время этот вопрос еще не подвергался серьезному исследованию, хотя с каждым годом приобретал все большую актуальность. Это было связано с развитием электротехники, в которой все шире стали применяться электромагниты с железными сердечниками [73].

Вернувшись в Москву, А.Г. Столетов проводит обработку экспериментов, которые он провел в Гейдельберге у Кирхгофа. Он пишет работу «Исследования о функции намагничивания мягкого железа», которую защищает как докторскую диссертацию в 1872 году.

В 1888 году А.Г. Столетов исследовал явление внешнего фотоэффекта, открытого незадолго до этого Г. Герцем.

А.Г. Столетов воспитал выдающихся учеников – Н.Н. Шиллера, Р.А. Колли, О.А. Гольдгаммера, А.П. Соколова.

С 1891 года на кафедре физики в качестве внештатного ассистента начал работать П.Н. Лебедев, попавший сюда по рекомендации своего друга по Страсбургу Б.Б. Голицына. А.Г. Столетов предоставил ему возможность организовать маленькую лабораторию в помещении физической лаборатории на втором этаже двухэтажного дома на Моховой улице, 11 (ректорский дом, бывший дом Волконских).

П.Н. Лебедев сразу же приступил к исследованиям. Как вспоминал один из первых его учеников Т.П. Кравец, эта «физическая лаборатория имела весьма неприглядный вид и

ютилась на одном этаже маленького двухэтажного домика между химическими и анатомическими корпусами. П.Н. Лебедев получил здесь для работы одну комнату, отделявшуюся от парадной занавеской из черного малексина. В лаборатории работал всего один механик, а оборудование состояло из одного простенького станка. Экспериментальных исследований никаких не велось».

Т.П. Кравец отмечает, что «тяжесть обстановки усугубляло отсутствие научного общения, которое особенно сказывалось на П.Н. Лебедеве. Для него одним из самых ярких воспоминаний остался коллоквиум Кундта, который придавал огромное значение научному общению. Единственным человеком, с которым, по словам Т.П. Кравца, П.Н. Лебедев мог «отвести душу», был Б.Б. Голицын. Но вскоре Б.Б. Голицын избирается адъюнктом Академии наук. Это произошло после того, как его диссертация получила отрицательный отзыв А.Г. Столетова и А.П. Соколова. П.Н. Лебедев высказал неодобрение этому избранию, и отношения между ним и Б.Б. Голицыным надолго испортились».

Несмотря на все это уже в 1993 году на IX Съезде естествоиспытателей и врачей в Москве П.Н. Лебедев с блеском демонстрирует опыты Герца. В 1994 году он берется за следующую научную задачу – исследование механического действия волн на резонаторы, которая велась с перерывами до 1897 года.

Еще в период пребывания за границей у П.Н. Лебедева возникла идея, что при объяснении межмолекулярных сил молекулы можно рассматривать как источники и приемники электромагнитного излучения. В Москве он решил экспериментально проверить это предположение.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

Однако непосредственно проверить эту гипотезу было нельзя. Поэтому он начал изучать силовое пондеромоторное взаимодействие между макроскопическими источниками и приемниками различного рода волн. П.Н. Лебедев исследовал действие электромагнитных и акустических волн на соответствующие резонаторы. При этом он выяснил, при каких условиях действие падающих волн на резонаторы сводится к отталкиванию, а при каких к притяжению.

Полученные результаты он изложил в работе «Экспериментальное исследование пондеромоторного действия волн на резонаторы», которую защитил как докторскую диссертацию в 1900 году. После этого он был утвержден экстраординарным профессором, а в 1906 году П.Н. Лебедев стал ординарным профессором [85].

В связи с выходом А.Г. Столетова «за штат» на его место в 1893 году был назначен Н.А. Умов.

Николай Алексеевич Умов окончил Московский университет в 1867 году и был оставлен для подготовки к профессорскому званию. С 1871 по 1893 годы преподавал в Новороссийском университете в Одессе. В 1874 году защитил в Московском университете докторскую диссертацию на тему «Уравнения движения энергии в телах». В ней Н.А. Умов рассматривает энергию любого вида как распределенную в пространстве, говорит о ее локализации и об ее плотности в каждой точке. Такая постановка вопроса была новой для 70-х годов XIX века, так как теория Максвелла еще не получила широкого признания среди физиков.

Свою преподавательскую деятельность в Московском университете Н.А. Умов начал с чтения лекций по физике на медицинском факультете. Своего помещения и лаборатории у Н.А. Умова вначале не было, и он проводил экспериментальные исследования совместно с

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

физиологом А.Ф. Самойловым в физиологическом институте университета.

После смерти А.Г. Столетова произошло перераспределение обязанностей на кафедре физики. Заведующим физическим кабинетом становится Н.А. Умов, А.П. Соколов заведует физической лабораторией. Администрация факультета очень подробно разграничила сферу их полномочий.

Н.А. Умову перешло чтение части курса опытной физики студентам физико-математического факультета (другую часть читал А.П. Соколов), а также за ним сохранилось чтение части курса физики на медицинском факультете, где начал преподавание П.Н. Лебедев, читавший лекции по электричеству и магнетизму для студентов-медиков.

Во второй половине 90-х годов XIX века Н.А. Умов неоднократно был в заграничных командировках. В 1896 году он представлял Московский университет на юбилейных торжествах по случаю пятидесятилетия научной деятельности В. Томсона. Здесь Н.А. Умову была присуждена почетная степень доктора права университета в Глазго. В качестве одного из мотивов присуждения почетного звания послужили его работы о движении энергии [86].

В середине 90-х годов XIX века вместо одной обычно существовавшей научной группы со своим лидером, которыми попеременно выступали П.И. Страхов, И.А. Двигубский, М.Ф. Спасский, Н.А. Любимов, А.Г. Столетов (за исключением 30-х годов XIX века, когда в качестве лидера в данной области фактически стал астроном Д.М. Перевощиков), параллельно стали работать несколько - Н.А.Умова, А.П. Соколова, П.Н. Лебедева. Последний до смерти А.Г. Столетова входил в его научную группу.

Начиная с этого времени уровень развития экспериментальной базы и квалификация исследователей позволяет воспроизводить наиболее важные экспериментальные открытия. В этом отношении наиболее знаменательным стал декабрь 1895 года, когда после открытия В.Рентгеном X-лучей практически сразу на кафедре начинается создание рентгеновской установки, которая была сделана П.Н.Лебедевым уже в январе 1896 года. В 1896 году появляется сообщение А.Беккереля об установлении им нового вида излучения урановой соли. В 1897-98 годах П.Н.Лебедев исследует зависимость интенсивности лучей Беккереля от количества урана и от расстояния до их источника.

Исследования по изучению радиоактивности начал и А.П.Соколов, научная работа которого в дальнейшем была связана с этой областью. К 1912 году при его самом активном участии была создана первая в России радиологическая лаборатория.

Из обнаруженного П.Н. Лебедевым действия волн на резонаторы вытекало наличие давления света на твердые тела. Существование такого давления следовало также из теории Максвелла, причем из его теории определялась также и величина этого давления. Измерение давления света на твердые тела было одной из возможностей экспериментальной проверки справедливости теории Максвелла.

Преодолев большие экспериментальные трудности, П.Н. Лебедев измерил давление света на твердые тела и получил значения, хорошо согласующиеся с теорией Максвелла.

О результатах своих исследований он впервые сообщил в 1899 году научному обществу в Лозанне, когда находился на лечении в Швейцарии. В 1900 году он опубликовал результаты своих

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

экспериментов. Опыты П.Н. Лебедева привлекли большое внимание. Они создали ему славу замечательного экспериментатора.

В 1904 году П.Н. Лебедеву была присуждена премия Академии наук, которая давалась российским ученым за наилучшие достижения. Одновременно он был избран членом-корреспондентом Академии наук.

В последующем П.Н. Лебедев решил еще более сложную экспериментальную задачу. К концу 1907 года ему удалось осуществить серию экспериментов по измерению сил светового давления на газы. В 1908 году он сделал предварительное сообщение, а в 1910 году опубликовал результаты.

Еще в 70-х годах XIX века А.Г. Столетов предпринимал попытки создать физический институт при университете. Лишь спустя двадцать лет решение проблемы сдвинулось мертвой точки. Возникли соответствующие социальные предпосылки и нашлись средства для его постройки.

Весной 1897 года проект института, подготовленный Н.А. Умовым, А.П. Соколовым и П.Н. Лебедевым совместно с архитектором Е.М. Быковским, был разработан.

В личном архиве Н.А. Умова хранятся многочисленные бумаги и документы, касающиеся строительства института, в частности, «Доклад о сооружении физического института при Императорском Московском университете» [79, с. 595].

В этом докладе Н.А. Умов так определил цели и задачи данного учреждения: «Кроме обучения студентов, физический институт должен способствовать и развитию физической науки, он должен дать место и поставить в удовлетворительные условия как занятия профессоров, так и начинающих молодых ученых, а также и ученых и

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

других русских университетов... . Наконец, физический институт должен быть в состоянии воспроизвести всякое новое открытие и исследование».

Здание института заложено в 1898 году. 3 октября 1903 года в нем была прочитана первая лекция. Возможности научных исследований в университете значительно расширились. В первую очередь это сказалось на исследованиях П.Н.Лебедева, создавшего большую школу физиков, оказавших значительное влияние на развитие физики в России. Позже в этом здании разместится физический факультет до своего переезда на Ленинские (Воробьевы) горы. Именно с этим зданием многие поколения физиков связывают свое обучение в университете («старое здание» физического факультета).

Исследования в области физики в Московском университете велись не только на кафедре физики. Уже с 1903 года В.И. Вернадский использовал метод Гиббса в кристаллографии. По-видимому, это было первое использование методов современной статистической физики в России.

П.Н. Лебедев воспитал целую плеяду физиков [87,119]. Своим ученикам он давал темы научных исследований и повседневно следил за их работой. Он организовал в своей лаборатории коллоквиум, на заседаниях которого обсуждались научные вопросы, в том числе и работы каждого из его учеников.

Среди его учеников был П.Н. Лазарев, начавший работать у П.Н. Лебедева в 1905 году и избранный в 1917 году академиком. Другим выдающимся учеником П.Н. Лебедева был В.К. Аркадьев, который начал работать у него в 1907 году, избран членом-корреспондентом АН СССР в 1927 году. Под руководством

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

П.Н. Лебедева начали свою работу будущие профессора Московского университета Н.А. Капцов, А.Б. Млодзиевский, А.К. Тимирязев и др.

В 1906 году в университет пришел талантливый физик А.А. Эйхенвальд. Он известен своими экспериментами по определению магнитного поля конвекционными токами, а также токов смещения в диэлектриках.

Только в XIX веке была создана законченная физическая теория – кинетическая теория материи и статистическая физика, где Л. Больцману принадлежат фундаментальные идеи. Сам Л. Больцман был членом основных Академий Старого и Нового света. Но в конце его жизни его взгляды были объявлены антинаучными. Только в 1908 г. В. Освальд под влиянием прямых экспериментов признал существование атомов и молекул [2]. В этой связи М. Смолуховский писал: «Весьма поучительно следить за изменчивыми судьбами научных теорий. Они более интересны, чем изменчивые судьбы людей, ибо каждая из них включает в себе что-то бессмертное, хотя бы частицу вечной истины».

Поэтому вызывает искреннее уважение работа Б.Н. Меншуткина, который в непростое время собирал, переводил и опубликовывал работы М.В. Ломоносова. В 1911 году, когда отмечалось 200-летие со дня рождения М.В. Ломоносова, взгляды на молекулярно-кинетическую теорию в физике изменились. Физика в целом претерпевала коренной перелом. В это время стали в большей мере востребованы общие подходы к решению проблем, предложенные М.В. Ломоносовым.



Здание, открытое в 1903 году
как Физический институт при Московском университете.

Сентябрь 2013 года.

Опубликованная в это время первое издание книги Б.Н. Меншуткина «Жизнеописание Михаила Васильевича Ломоносова» разошлось тиражом 80000 экземпляров. После этого в курсе физики О.Д. Хвольсона появляется ссылка на М.В. Ломоносова.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

В XX веке М.В. Ломоносов занял свое достойное место в учебной литературе.

Во второй половине 90-х годов XIX века начал исследовать научное наследие М.В. Ломоносова в области геологии и минералогии В.И. Вернадский. Он одним из первых указал на то, что М.В. Ломоносов – один из создателей методологических основ современного естествознания, творчество М.В. Ломоносова имеет не только большое научное, но и общественное значение. Слова В.И. Вернадского оказались пророческими. Именно наука XX показала справедливость и актуальность исследований М.В. Ломоносова.

В 1911 году развитию физики в Московском университете был нанесен тяжелый удар. Министр просвещения уволил ректора и его помощника, которые фактически отказались выполнять циркуляр, обязывающий администрацию российских университетов незамедлительно сообщать в органы полиции о политических сходках студентов в стенах учебных заведений. В знак протеста против действий министра из Московского университета ушел ряд профессоров и сотрудников. Среди них были профессора физики Н. А. Умов, П.Н. Лебедев, А.А. Эйхенвальд и профессор астрономии В.К. Цераский.

В 1911 году из Одессы на кафедру физики был переведен по приказу министра просвещения Б.В. Станкевич [87, с. 172]. На кафедре в то время работали профессор А.П. Соколов, старший ассистент К.П. Яковлев, приват-доцент А.И. Бачинский, впоследствии профессора Московского университета.

Станкевич Борис Вячеславович окончил Московский университет в 1882 году и был оставлен на кафедре для подготовки к

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

профессорскому званию. В студенческие годы он увлекался математикой. В 1884 году Б.В. Станкевич опубликовал работу «Кинетическая теория газов в математическом изложении». В данной работе автор анализировал два подхода – Больцмана и Максвелла к построению кинетической теории. За эту работу математический факультет Московского университета присудил Б.В. Станкевичу премию имени Н.Д. Брашмана.

По кинетической теории газов Б.В. Станкевич написал еще ряд статей и защитил на эту тему магистерскую диссертацию в университете в Одессе. Его диссертация получила высокую оценку Н.А. Умова. Докторскую диссертацию «Материалы к познанию диэлектрической поляризации в жидкостях» он защитил в Казанском университете, и ему была присуждена степень доктора физических наук.

Время после 1911 года в Московском университете так характеризовал А.С. Предводителев, бывший в то время студентом физико-математического отделения: «Период истории физики в Московском университете от 1911 года до февральской революции надо считать периодом глубокого упадка. Не было профессоров, которые привлекали бы студенческие массы к изучению физики. В это время на факультете имелось только два профессора физики – А.П. Соколов и Б.В. Станкевич, которые отличались крайне неуживчивыми характерами и в силу этого значительное время тратили на всякого рода конфликты между собой, что отрицательно отзывалось на учебной и научной жизни Физического института. Специализировались по физике единицы (3-5 человек). Огромный Физический институт пустовал. Шкафы с приборами находились под замком» [87, с. 173].

Вместе с тем, как отмечал К.П. Яковлев [87, с. 116], следует отметить деятельность в тот период А.П. Соколова, перенесшего в 1911 году тяжелую операцию и в 1912 году бывшего в отпуске. «Он отправляется для лечения за границу, - пишет К.П. Яковлев,- но и там, как только восстановились силы, начинает интересоваться всеми новостями научного мира, старается ознакомиться с ними на месте, вывезти из-за границы что-либо полезное для своей лаборатории» [87].

Соколов Алексей Петрович родился в 1854 году в Калуге. В 1873 году он поступает на физико-математический факультет Московского университета, который окончил с золотой медалью и был оставлен при университете для подготовки к профессорскому званию на кафедре физики.

В 1879 году он закончил сдачу магистерских экзаменов и был послан за границу на два года «с научной целью и содержанием 1000 руб. в год из сумм министерства народного просвещения». За границей он обучался в основном у Кирхгофа и Гельмгольца. После возвращения в 1882 году защищает магистерскую диссертацию на тему «О гальванической поляризации электродов». Вначале он некоторое время работает в Варшавском университете, но уже с 1883 года по предложению А.Г. Столетова приглашается физико-математическим факультетом на должность доцента в Московский университет. В 1886 году А.П. Соколов получает степень доктора физики за работу «Опытное исследование электрических колебаний в электролитах». С 1884 года А.П. Соколов экстраординарный профессор, с 1890 - ординарный профессор, а с 1909 года – заслуженный профессор Московского университета.

А.П. Соколов многое сделал для организации физического практикума и впервые в Московском университете ввел описание задач. Первое издание описаний вышло в 1909 году, а второе – в 1926.

К рассматриваемому периоду относятся его исследования по радиоактивности, начавшиеся еще во время ее открытия Беккерелем. А.П. Соколов поддерживает контакт со всеми ведущими центрами в этой области – лабораторией М. Кюри в Париже, лабораторией О. Гана в Берлине, лабораторией Э. Резерфорда в Манчестере [87, с. 120]. Ему принадлежат первые систематические исследования в России по естественной радиоактивности ее территорий, а также расположению радиоактивных элементов. «В 1913 году радиологическая лаборатория работала уже полным ходом; в ней создан был особый «практикум по радиоактивности» для студентов, в помощь которым автор настоящего очерка (К.П. Яковлев – ред.) издал тогда «Специальный практикум по радиоактивности». Лаборатория привлекает к себе большое внимание студенчества, появляются «специалисты по радиоактивности», из которых выдвигается в дальнейшем целый ряд научных работников в этой области, как, например, проф. В.И. Баранов, В.А. Соколов, Е.С. Щепотьева, Н.А. Самойло, Грачева и многие другие» [87, с. 121].

В 1914 году А.П. Соколов пишет прошение об оставлении на кафедре физики А.С. Предводителя: «Сам имею честь ходатайствовать об оставлении при Университете на кафедре физики окончившего с дипломом 1-ой степени Александра Саввича Предводителя, весьма усердно и успешно работавшего в физическом институте и занимавшегося теоретической физикой. Г-н Предводителев достаточно знаком с немецким и французским

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

языком. Инструкция г. Предводителю будет дана в сентябре с.г. З. оп. А. Соколов».

А.С. Предводителев впоследствии также отмечал деятельность А.П. Соколова в этот период: «В первую очередь следует упомянуть об экспедиции в Киев, которая была организована проф. А.П. Соколовым для производства наблюдений над полным солнечным затмением, происходившим в августе 1914 года. Военное время и неудачная погода не позволили получить особо ценных научных результатов. Однако на подготовку к этой экспедиции было затрачено ее членами много труда. В.А. Карчагин готовился к наблюдению поляризации коронных лучей, В.Г. Тихонов готовился к наблюдению ионизации атмосферного воздуха, Г.С. Ландсберг собирался определить интенсивность рассеянного света неба и, наконец, И.Ф. Усагин готовился к фотографированию коронь» [87, с. 174].

Несмотря на тяжелое положение Московского университета с 1911 по 1917 годы основные преподавательские кадры и научные традиции в нем удалось сохранить. После февральской революции 1917 года в состав правительства вошел бывший ректор Московского университета А.А. Мануйлов, который одним из первых издал циркуляр, по которому предоставлялось право вернуться всем профессорам и преподавателям, ушедшим из университета в 1911 году. Уже в марте вернулись профессор А.А. Эйхенвальд, приват-доцент А.К. Тимирязев, ассистент М.В. Вильберг [7, с. 169].

Физическим кабинетом стал заведовать К.П. Яковлев, а А.П. Соколов был избран 1919 году профессором на вновь учрежденную кафедру физики при медицинском факультете.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

В 1918 году в два раза увеличился прием студентов. В 1919 году был создан рабочий факультет. Физический кабинет обслуживал лекции для физико-математического, медицинского, общественных наук и рабочего факультетов.

В этот период число студентов, специализировавшихся в области физики, стало достигать 20- 30. Они в течении трех месяцев в году работали на фабрике электрических ламп, Центральном телеграфе в Москве и в Орле, при опытных работах на линии связи Москва - Орел, в Государственном экспериментальном электротехническом институте, Рентгеновском институте и др. С 1923 года стала функционировать аспирантура [73, с. 156].

В 1918 году в Московский университет возвращается С.И. Вавилов, начавший свою деятельность в должности преподавателя практикума, а затем приват-доцента. В 1929 году он становится профессором и заведующим кафедрой общей физики.

В 1925 году по инициативе С.И. Вавилова в университет в качестве заведующего кафедрой теоретической физики и оптики был приглашен Л.И. Мандельштам, который в 1928 году был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1929 году – академиком. Академик Л.И. Мандельштам создал в Московском университете большую научную школу, представители которой работали в области физики колебаний, оптики, молекулярной и теоретической физики.

В этот период в Физическом институте университета начинают функционировать физический кабинет, лаборатория общих работ по физике и лаборатория физических измерений. В это время постоянно возникают и распадаются научные лаборатории и группы. Более долговечным оказался созданный в 1922 году Институт физики и

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

кристаллографии (в дальнейшем НИИФ: научно исследовательский институт физики).

По инициативе А. А. Эйхенвальда в 1921 году в Физический институт был приглашен С.А. Богуславский, который стал заведовать кабинетом теоретической физики. С.А. Богуславский читал лекции по строению атома, вел семинары. В 1923 году он скончался.

В результате многочисленных преобразований в университете 20-х - начала 30-х годов XX века сформировалось значительное сообщество физиков, которые во многом определили развитие физики в Московском университете на последующие годы. В первую очередь здесь следует отметить С.И. Вавилова и Л.И. Мандельштама. Учеником Л.И. Мандельштама был И.Е.Тамм, подготовивший много известных физиков-теоретиков, в том числе А.А. Власова и В.С. Фурсова.

В 1930 году физико-математический факультет получил наименование физико-механико-математического с отделениями физико-механическим, математическим и астрономо-геодезическим. В области физики в то время специализировалось около 300 студентов.

27 апреля 1931 года приказом по Московскому университету предполагалось не позднее пятого мая текущего года ликвидировать органы факультетского управления на физико-механико-математическом факультете, образовав вместо факультета отделения физическое, механическое и астрономо-математическое.

III ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

В 1933 году в Московском университете восстанавливается факультетская система и приказом от 16 апреля образуется физический факультет на базе физического отделения и научно-исследовательского института физики как отражение реальных тенденций в развитии университета.

Переход на факультетскую систему был осуществлен, начиная с 1 мая 1933 года. Первым деканом факультета стал член-корреспондент АН СССР М.Б. Гессен, бывший до этого руководителем физического отделения. Он работал в этой должности до 1934 года включительно, а затем перешел работать в ФИАН на должность заместителя директора.

В 1933 году факультет закончили 17 специалистов-физиков при общем числе студентов 409, а уже в 1935 эта цифра возросла до 59 при общем числе обучающихся 635. В 1934 году была восстановлена система защиты кандидатских и докторских диссертаций. На физическом факультете первым кандидатскую диссертацию защитил Д.И. Блохинцев на тему «Некоторые вопросы теории твердых тел и в особенности металлов». Ему была присуждена степень доктора физико-математических наук.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

В 1935 году деканом факультета становится профессор С.Э. Хайкин.

Окончательное организационное оформление физического факультета относится к 1937 – 38 годам, когда в университете была введена штатно-окладная система. В 1937 году деканом факультета стал профессор А.С. Предводителев (член-корреспондент АН СССР с 1939 года). В 1938 – 1940 годах прием на факультет составил 170 человек, а общее число студентов достигло 770.

27 ноября 1936 г. на торжественном вечере в Московском университете, посвященном 225-летию со дня рождения М.В. Ломоносова, академик Н.Д. Зелинский предложил назвать университет именем М.В. Ломоносова. С 7 мая 1940 г. университет стал называться Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова.

Исследования, проведенные в XX веке по изучению наследия М.В. Ломоносова огромны. Опубликовано полное собрание сочинений. Появляются новые материалы, которые казались безвозвратно потерянными. Интерес к жизни и деятельности М.В. Ломоносова за прошедшие 300 лет не только не ослабел, но и значительно усилился. Это и есть основной критерий степени его влияния на развитие науки и образования в России.

М.В. Ломоносов стоит у истоков нашей науки и образования. Он во многом предопределил характер их развития. Обращение к этим истокам наиболее характерно для времени коренных перемен. Так было в начале XX века, когда менялся характер преподавания физики в Московском университете, с большим трудом стала возникать серьезная экспериментальная база для научных исследований. То же мы имеем в середине прошлого столетия, когда

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

число обучающихся студентов-физиков увеличилось в пятнадцать раз по сравнению с началом 30-х годов, появились новые области в физике, образованные на стыке разных наук.

В начале Великой отечественной войны число обучающихся на факультете сократилось до 200 человек, но уже в 1943 году стало возрастать. В 1950 году оно достигло 850 человек.

Во время войны после возвращения факультета из эвакуации (1943 год) происходит обновление преподавательского состава за счет сотрудников, появившихся в университете в результате эвакуации и реэвакуации (Н.Н. Боголюбов, А.А. Соколов, Д.И. Иваненко и др.). На этот процесс оказывают влияние и общие государственные программы, в первую очередь – ядерная программа. 1 ноября 1944 года академик И.В. Курчатов утвержден в должности профессора (по совместительству) на кафедре физики атомного ядра физического факультета. Эта кафедра была образована на физическом факультете в 1940 году, и ее руководителем был член-корреспондент АН СССР Д.В. Скобельцын (академик АН СССР с 1946 года).

В сложное послевоенное время деканом физического факультета был член-корреспондент АН СССР С.Т. Конобеевский.

Строительство комплекса новых зданий на Ленинских горах потребовало больших усилий и работы всего коллектива. С 1948 по 1954 годы деканом факультета был профессор А.А. Соколов, возглавивший эту сложную работу, В 1953 году факультет переезжает в новое здание.

Начавшийся еще в 30-х годах прошлого столетия процесс подготовки специалистов в масштабах, на порядок превышающих существовавшие ранее, привел к болезненному делению науки на «академическую» и «вузовскую». Частично это противоречие было

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

снято в результате проведенных на факультете реформ в середине 50-х годов. В августе 1954 года деканом факультета был утвержден профессор В.С. Фурсов, трижды лауреат Государственной премии. Реформы середины 50-х годов стали необходимы в связи с возникновением новых научных направлений и с выходом числа ежегодно подготавливаемых специалистов на такой уровень, который требовал упорядочения структуры специальностей. В середине 50-х годов число выпускников факультета впервые превысило 500.

В 1955 году было завершено строительство астрономической обсерватории на Ленинских горах, а в октябре 1956 года в состав физического факультета вошло астрономическое отделение механико-математического факультета.

Начиная с 1960 года осуществляется тесное сотрудничество Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в г. Дубне и физического факультета, инициатором которого стал Д.И. Блохинцев, профессор физического факультета, член-корреспондент АН СССР, являвшийся в то время директором ОИЯИ. На базе института было подготовлено большое число специалистов-физиков.

Существующая ныне на факультете отделенческая структура возникла в 1963 году.

В 1973 году ректором Московского университета становится член-корреспондент АН СССР Р.В. Хохлов (академик с 1974 года) – крупный ученый, внесший серьезный вклад в развитие нелинейной оптики, радиофизики, акустики и квантовой электроники, теории колебаний. Его жизнь трагически оборвалась в 1977 году. Будучи убежденным сторонником активных занятий спортом, он принимает самое активное участие в подготовке и проведении Универсиады в

Москве летом 1973 года, которая проходила на базе Московского университета.

С 1977 по 1992 годы ректором Московского университета был академик А.А. Логунов, внесший фундаментальный вклад в развитие квантовой теории поля, установивший строгие теоремы для поведения характеристик сильного взаимодействия при высоких энергиях, создал релятивистскую теорию гравитации.

Проведенные в 60-х годах прошлого столетия науковедческие исследования показали, что исключительно высокие темпы развития науки, которые были характерны для нее в 50 – 60-е годы не могут сохраняться достаточно долго. При таких темпах к концу XX века все население планеты должно было бы заняться наукой, а вся бумага использовалась бы для научных публикаций.

В дальнейшем темпы роста научных исследований в мире в целом стали снижаться. Интенсивно ищутся новые носители информации больших объемов. В целом стало уменьшаться и финансирование образовательных программ (если учитывать инфляцию). Все эти процессы стали характерными с начала 70-х годов.

Что касается развития физики в Московском университете с середины 50-х до середины 80-х годов прошлого столетия, то они характеризуются устойчивыми темпами научных исследований и устойчивым уровнем подготовки специалистов – примерно 450 выпускников ежегодно.



Физический факультет. Сентябрь 2013 года.

В июне 1989 года на физическом факультете были проведены выборы декана. Им стал профессор А.П. Сухоруков. В 1992 году был принят Устав физического факультета. В результате проведенных после этого выборов деканом факультета стал профессор В.И. Трухин. В 2012 году деканом физического факультета избран профессор Н.Н. Сысоев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возникшие в середине 80-х годов XX века новые компьютерные технологии смогли решить проблемы хранения, обработки и передачи больших информационных потоков. Вместе с тем в мире в целом возникли проблемы, связанные с недостатком специалистов в области естественных наук. Когда в конце XX века в России возникли серьезные экономические проблемы, в том числе и с финансированием образования, они существенно усилили процесс внешней «утечки умов». От этого в значительной степени пострадал и физический факультет.

С начала 90-х годов прошлого столетия на факультете изменяется система подготовки специалистов, связанная с целью приближения ее к международным стандартам. Но наибольшее влияние на работу факультета в это время оказало изменение системы его финансирования, которое было недостаточным.

В последние годы ситуация постепенно стала меняться, что было отмечено не только отечественными, но и зарубежными специалистами. В настоящее время мы являемся свидетелями реформирования науки [3], в том числе соотношения академической

и вузовской науки, сложившегося в годы формирования физического факультета.

Принятые решения определяют развитие науки и образования на многие годы вперед. И снова актуально звучат спустя столетия слова М.В. Ломоносова о том, что сделанный «скудный и узкий план» придется опять переделывать и изменять финансирование, если исходить из сиюминутных проблем, а не из логики развития.

При решении проблем организации научных исследований и просвещения М.В. Ломоносов использовал наиболее перспективные подходы, которые существовали в мире, а затем и среди них выбирал наиболее эффективные. В современном мире, где изменения в области науки и образования происходят особенно быстро, и приходится решать много сложных проблем не только научного, но и социального характера, метод М.В. Ломоносова, его цельный взгляд на жизнь и науку, безукоризненная честность по отношению к себе и людям, приобретают первостепенное значение.

Будем надеяться, что проблемы в образовании и науке будут решаться комплексно, исходя из логики их развития и генетической взаимосвязи, национальных традиций и задач, стоящих перед обществом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев П.Н. // Успехи физических наук 2011. Т. 161. № 11. С. 1201.
DOI: [10.3367/UFNr.0181.201111f.1195](https://doi.org/10.3367/UFNr.0181.201111f.1195)
2. Боголюбов Н.Н., Саночкин Ю.В. // Успехи физических наук 1957. Т. 61. № 1. С.7. DOI: [10.3367/UFNr.0061.195701b.0007](https://doi.org/10.3367/UFNr.0061.195701b.0007)
3. Schiermeier Q. // Nature 2013. Vol. 497. Issue 7450. P. 420.
DOI: [10.1038/497420a](https://doi.org/10.1038/497420a)
4. Полное собрание законов Российской империи. Т. XIV. N 10346.
5. История Московского университета. Т. 1. М.: издательство Московского университета. 1955.
6. Ломоносов М.В. Сочинения. Т. 8. Москва – Ленинград: 1948. С. 172 – 174.
7. Летопись Московского университета. М.: издательство Московского университета 1979.
8. Кононков А.Ф. История физики в Московском университете (1755 - 1859). М.: издательство Московского университета 1955.
9. Протоколы заседаний конференции Академии наук. Санкт – Петербург 1899. С. 324 – 325.
10. «Санкт – Петербургские ведомости». 1955. 16 мая.
11. «Московские ведомости». 1757. 16 мая, 20 мая (№ 40).

12. «Московские ведомости». 1758. 3 апреля.
13. Научная библиотека МГУ имени М.В. Ломоносова. Протоколы Конференции за 1761 г.. Лист 35.
14. Архив РАН. Фонд 21. Опись 3. Дело 307/32. Письмо Миллера от 8 октября 1761 года.
15. Доношение И.И.Ю. Роста от 26 октября 1767 года. Приложение к Протоколу Конференции университета от 27 октября 1767 года (на латинском языке). Хранится в научной библиотеке МГУ. Перевод с латинского дан в [6], с. 249 – 253 (автор перевода Н.А. Пенчко).
16. Библиографический словарь профессоров и преподавателей Московского университета. Часть II. М., 1855.
17. Объявление о публичных лекциях в Московском университете и обеих гимназиях оного, преподаваемых с 17 августа 1791 г. По 26 июня 1792 г. М., 1791. С. 9.
18. Страхов П. Краткое начертание физики. М., 1810.
19. Периодическое сочинение об успехах народного просвещения. 1805. № 9. С. 123 – 190.
20. «Вестник Европы». Часть XII. М., 1803. С. 261.
21. «Московские Ученые Ведомости». 1805. № 38. С. 297.
22. Бюллетень МОИП. 1953. Том 58 (2). С. 95.
23. Страхов П.И. Метеорологические наблюдения. «Московские ведомости». 1808 – 1812.
24. Двигубский И. Речь в собрании членов Московского университета 1814 года, февраля 18 дня, в память умершего профессора Страхова, читаемая профессором Иваном Двигубским. М., 1814.

25. D'expériences galvaniques et d'électricité, faites sur a rivere de Moscou, pdess de Crymscoy –brod (О гальванических и электрических опытах, произведенных на Москве реке). Записки Общества испытателей природы в Москве. Том 1. 1806. С. 239 – 242.
26. Храмов Ю.А. Физики. Библиографический справочник. М.: Наука 1983.
27. Русский архив. Книга 1. 1881. С. 416.
28. Формулярный список И.А. Двигубского. Архив МГУ. Формулярные списки господ профессоров и преподавателей за 1832 г.
29. Двигубский И.А. Физика. М., 1808.
30. Двигубский И.А. Физика. 2-е издание. М., 1814.
31. Двигубский И.А. Физика. 3-е издание в двух частях. 1824 – 1825.
32. Архив МГУ. Журнал заседаний физико-математического отделения 1814 года. 31 января. Листы 10-11 с оборотом. Список физических инструментов, которые привезены из Нижнего Новгорода.
33. Список физических инструментов Московского университета, составленный 1821 г. Профессором физики. М., 1821.
34. Прибавление первое к списку физических инструментов Московского университета. М., 1822.
35. Список физических инструментов Московского университета, составленный 1826 г. Профессором физики. М., 1826.
36. Архив МГУ. Формулярные списки чиновников Московского учебного округа за 1818 г. Лист 223 с оборотом и 224.

37. Конспекты физико-математического отделения. М., отпечатано в университетской типографии. 1826.
38. Кацауров Н. Рассуждение об измерении высот посредством барометра. М., 1823.
39. Спасский М.Ф., Страхов П.И. Избранные работы по физике атмосферы. М., 1951.
40. Новый магазин естественной истории, физики, химии и сведений экономических (И.А. Двигубский редактор и издатель). 1820 – 1830. Всего 132 книги.
41. Новый магазин естественной истории, физики, химии и сведений экономических. 1820. № 6. С. 78 – 79.
42. Архив МГУ. Журналы Совета 1827 года. С. 521 – 523.
43. Павлов М.Г. Основания физики. Часть 1. М., 1833.
44. Павлов М.Г. Основания физики. Часть 2. М., 1836.
45. *Dorpaten Jahrbucher fur Litteratur, Statistik und Kunst, besonders Russlands*. 1834. N 2. S. 145 – 146.
46. Анненков П.В. Литературные воспоминания. Санкт-Петербург, 1909. С. 382.
47. Студитский А. Павлов – профессор физики в 1835 году. «Москвитянин». Часть 2. № 3. М., 1835. С. 23 – 24.
48. Костенецкий Я.И. Воспоминания из моей студенческой жизни. Русский архив. Книга 1. 1887. С. 229 – 230.
49. Чернышевский Н.Г. Полное собрание сочинений. Том III. 1947. С. 178 – 179.
50. Белинский Н.Г. Полное собрание сочинений под редакцией Венгерова. Том III. Санкт – Петербург, 1901. С. 376.
51. Герцен А.И. Полное собрание сочинений. Том XIII. Петербург, 1919. С. 12.

52. Формулярный список Д.М. Перевощикова (1850 г.). Архив МГУ. Формулярные списки о службе профессоров Московского университета за 1850 год. Листы 140 – 143.
53. Перевощиков Д.М. Руководство по опытной физике. М., 1833.
54. Капцов Н.А. Физика в Московском университете со дня его основания и до Столетова // Ученые записки Московского университета. Юбилейная серия. 1940. Выпуск 52. Физика. С. 40.
55. Формулярный список М.Ф. Спасского (1653 г.). Архив МГУ. Формулярные списки о службе господ профессоров и преподавателей 1853 года.
56. Московские ведомости. 1841. № 87 от 29 октября. С. 651.
57. Спасский М.Ф. О климате Москвы. М., 1847.
58. Программа по физике и физической географии М.Ф. Спасского. Архив МГУ. Физмат. 1813 – 1916. Дело № 173. Программы физико-математического отделения 1849 – 1855 гг. Листы с 1 по 9 с оборотом.
59. Программа по оптике М.Ф. Спасского. Архив МГУ. Физмат. 1813 – 1916. Дело № 173. Программы физико-математического отделения 1849 – 1855 гг.
60. Программа Н. Любимова. Программа специального курса физики, читаемого в 1854/55 академическом году студентам 3-го и 4-го курсов. Архив МГУ. Физмат. 1813 – 1916. Дело № 173. Программы физико-математического отделения 1849 – 1855 гг.
61. Отзыв С.И. Вавилова на рукопись очерков по истории физики в России. Протокол заседания Ученого совета физического факультета МГУ от 24 июня 1948 года.
62. Спасский М.Ф. Наглядное доказательство обращения Земли около своей оси. М., 1851.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

63. Спасский М.Ф. Маятник, как наглядное доказательство обращения Земли около своей оси // Вестник естественных наук 1855. № 11. С. 323 – 340.
64. Московские ведомости, 1855. 13, 15, 18 января (№№ 6, 7, 8).
65. Памяти Николая Алексеевича Любимова. Санкт – Петербург, 1897.
66. Любимов Н.А. Начальный курс физики в объеме гимназического курса. М.: Университетская типография 1876.
67. Конопаткин Н.М., Лукьянов Е.А., Николаев П.Н. Демонстрационные приборы и опыты Н.А. Любимова. В книге: Памятники науки и техники. 1989. М.: Наука 1990. С. 33 – 40.
68. Лекционные демонстрации по физике. 2-е издание, переработанное. Под редакцией В.И. Ивероновой. М.: Наука 1972. 639 с.
69. Сухов Б.П. К истории электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы // Вопросы истории естествознания и техники 1957. Выпуск 5. С. 124 – 136.
70. Соколов А.П. Александр Григорьевич Столетов. Биографический очерк. Санкт – Петербург, 1897.
71. Столетов А.Г. Собрание сочинений (Под редакцией профессора А.К. Тимирязева). Т. 2. Общедоступные лекции и речи, критические и биографические заметки. Москва – Ленинград, 1941.
72. Соминский М.С. Александр Григорьевич Столетов. Ленинград: Наука 1970.
73. Спасский Б.И., Левшин Л.В., Красильников В.А. Физика и астрономия в Московском университете (к 225-летию основания университета) // УФН 1980. Том 130. Выпуск 1. С. 149 – 175.

74. Тепляков Г.М., Кудрявцев П.С. Александр Григорьевич Столетов. М., 1966.
75. Болховитинов В.Н. Столетов. М., 1965.
76. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. М.: Просвещение 1982.
77. Любимов Н.А. Основной закон электродинамики и его приложение к теории магнитных явлений. М., 1856.
78. Любимов Н.А. О дальтоновом законе и количестве пара в воздухе при низких температурах. М., 1865.
79. Умов Н.А. Собрание сочинений. Том 3. Речи и статьи общего содержания. М., 1916.
80. Любимов Н.А. Изобретение снаряда для объяснения опыта Фуко // Вестник естественных наук 1860.
81. Любимов Н.А. История физики. Часть I. Период греческой науки. Санкт – Петербург 1892.
82. Любимов Н.А. История физики. Опыт изучения логики открытий в их истории. Часть II. Период средневековой науки. Санкт – Петербург 1894.
83. Любимов Н.А. История физики. Опыт изучения логики открытий в их истории. Часть III. Физика в XVIII веке. Отдел первый: Эпоха опыта и механической философии. Санкт – Петербург 1896.
84. Болховитинов В.Н. Александр Григорьевич Столетов (1839 - 1896). М.: Молодая гвардия 1953.
85. Сердюков А.Р. Петр Николаевич Лебедев. М.: Наука 1978.
86. Научное наследство. Сборник. Том II. Москва – Ленинград: издательство АН СССР 1951. 376 с.

87. Ученые записки Московского университета. Юбилейная серия.
Выпуск 52. М.: издательство Московского университета 1940. 237
с.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

П.Н. Николаев, О.П. Николаева

Природа статистических и динамических закономерностей в физике

P.N. Nikolaev, O.P. Nikolaeva

Nature of statistical and dynamical laws in physics

О г л а в л е н и е

Введение	66
Глава I. Статистические и динамические закономерности в классической физике	69
§ 1. Возникновение физики и постановка динамических задач . .	69
§ 2. Статистическая механика и статистические закономерности .	72
§ 3. Причинность в классической физике	76
Глава II. Соотношение статистических и динамических закономерностей в квантовой механике	79
§ 4. Новый подход к описанию систем в квантовой механике	79
§ 5. Интерпретация квантовой механики и ее проблемы	82
§ 6. Квантовая статистика	85
Глава III. Физика нового времени и новые аспекты проблемы соотношения статистических и динамических закономерностей	88
§ 7. Метод молекулярной динамики и статистическая термодинамика	88
§ 8. Физический вакуум и динамика частиц в квантовой механике	91

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

§ 9. Динамический хаос	93
Заключение	96
Литература	99

В в е д е н и е

Физика стала формироваться как наука, начиная со второй половины XVII века. В 1687 году выходит основополагающая работа Исаака Ньютона “Математические начала натуральной философии” (Newton, Isaac. Philosophiae naturalis principia mathematica. Londini: Joseph Streater. MDCLXXXVII), которую по замечанию А.Н. Крылова следовало бы перевести как “Математические основания физики” [1]. С именем Ньютона связывают установление основных положений классической механики, ограниченность которой была осознана лишь в начале XX века. Ньютон сформулировал целую научную программу, под влиянием которой физика развивалась в XVIII-XIX веках [2-3].

В такой же мере механика как динамическая теория сформировалась в работах Л. Эйлера, Ж.Л. Лагранжа и целого ряда ученых. По этому образцу и подобию формулировались другие области физики.

Вероятностные же представления были введены в физику при разработке молекулярно-кинетической теории газов Максвеллом в 1860 году [6] при выводе закона распределения молекул по скоростям. Позже эти представления более широко использовались Больцманом [7]. Завершением работ Больцмана стала

статистическая механика Гиббса, положенная в основу всей статистической термодинамики [8].

Иногда полагают, что “понятие вероятности впервые вошло в теоретическую физику через молекулярную интерпретацию необратимости” (И. Пригожин [9]). Также часто связывают становление статистической картины мира с именем Гиббса [10, 11]. Но, так или иначе, это связано с возникновением и развитием статистической физики [12, 13].

В рамках классической механики возникла глубокая эргодическая теория, определяющая те условия, при которых для рассматриваемой системы при определенных условиях применима термодинамика [14]. Вместе с тем, в рамках данной теории не учитывается макроскопический характер таких систем [15]. Учет макроскопического характера этих систем приводит к существенному расширению тех классов, для которых статистические закономерности могут быть поняты в рамках динамической теории.

В квантовой механике статистические закономерности характерны уже для отдельной частицы, что следует из стандартной интерпретации квантовой механики. При таком подходе вероятностное описание в принципе не может быть сведено к динамическому. Другое представление о сущности квантовой механики было у А. Эйнштейна, который пришел к выводу, что “квантовая механика описывает ансамбль систем, но не отдельные системы” [19, с. 621]. Дискуссии по этому вопросу происходят до настоящего времени в рамках обсуждения парадокса Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР) [20].

Наряду с указанными интерпретациями, предложен целый ряд других интерпретаций квантовой механики. В частности

М.Б.Менский предлагает подход, основанный на концепции Эверетта, получивший название многомирового. Он полагает, что «концептуальные проблемы квантовой механики возникают не из практических надобностей, таких как расчет реальных систем, и не из эксперимента, но из желания сделать теорию более логичной и последовательной»[16].

Сложность рассматриваемой проблемы заключается и в том, что на саму природу вероятностных методов взгляды ученых существенно различаются. На это обратил внимание Поппер, который писал: «Нигде субъективистская эпистемология не распространяется столь сильно, как в области исчисления вероятностей» [17, с. 482].

Открытия в физике нового времени, связанные с методом молекулярной динамики (ММД) и новыми представлениями о физическом вакууме, привели к дальнейшему развитию представлений о статистических и динамических закономерностях, а вместе с тем и о причинности с точки зрения открытых новых законов. В настоящей работе данная проблематика рассматривается с точки зрения этих новых результатов, полученных в физике.

Г л а в а I

Статистические и динамические закономерности в классической физике

§ 1. Возникновение физики и постановка динамических задач

Физика как наука сформировалась в XVII веке, начиная с работ Галилея [21] и заканчивая исследованиями Ньютона [1]. “Математические начала натуральной философии” явились первым систематическим изложением классической механики. До этого механика представляла собой совокупность решений некоторых

простейших задач – задача падения, движение тела по наклонной плоскости и др.

При формулировке основных понятий механики Ньютон вынужден был коснуться общих методологических вопросов: о пространстве и времени, о силе и, в особенности, о природе силы тяжести. С.И. Вавилов писал: “На языке Ньютона мы думали, говорили долгое время, и только теперь делаются попытки изобрести новый язык. Вот почему можно утверждать, что на всей физике лежал отпечаток его мысли; без Ньютона наука развивалась бы иначе” [2, с. 217-218].

Введя понятие силы, Ньютон фактически исключил из рассмотрения механики все немеханические формы движения и свел ее основную задачу либо к нахождению движений по известным силам, либо к нахождению действующих сил по движениям. То есть задача была сформулирована как динамическая.

Хотя основная задача механики и была поставлена Ньютоном (представление об уравнении движения, вообще говоря, было уже у Аристотеля [22, с. 140]), решение конкретных задач выглядело у него искусственно, и они решались каждая своим способом. Поэтому Эйлер писал: “Хотя читатель и убеждается в истине выставленных предположений, но он не получает достаточного ясного и точного их понимания, так что, если чуть-чуть изменить те же самые вопросы, он едва ли будет в состоянии разрешить их самостоятельно” [23, с. 33-34]. Эйлером, а в дальнейшем Даламбером и Лагранжем [24, 25] и целым рядом других исследователей, был разработан математический аппарат механики. В результате сформировался динамический подход в механике, идеи которого в дальнейшем успешно использовались в других областях физики. Основные же понятия

механики – масса, сила, система отсчета, относительность движения и др. – получили дальнейшее развитие [26, 27].

Таким образом, зная состояние системы в некоторый момент времени t_0 , мы можем определить его в произвольный момент времени. Данное утверждение получило название лапласовского детерминизма. Лаплас сформулировал принцип причинности в механике в общей форме: “Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движение величайших тел Вселенной, наравне с движением легчайших атомов: не оставалось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором” [28, с. 9]. Под лапласовским детерминизмом понимается не только данное утверждение, относящееся к механике, а и утверждение, относящееся к любой области физики (например, электродинамике), где оно выполняется.

Основные идеи лапласовского детерминизма, отражающего динамические закономерности, наложили существенный отпечаток на все последующее развитие физики. Среди физиков они не подвергались сомнению вплоть до создания квантовой механики.

§ 2. Статистическая механика и статистические закономерности

Впервые статистические закономерности были введены в физику при развитии молекулярно-кинетической теории газов Максвеллом в работе “Пояснения к динамической теории газов” (1860) [29], в которой он ввел закон распределения газовых молекул по скоростям. Максвелл пришел к выводу, что “скорости распределяются между частицами по тому же закону, по которому распределяются ошибки между наблюдениями в теории “метода наименьших квадратов”, то есть в соответствии со статистикой Гаусса”. В описании физических явлений впервые вошла статистика, и это знаменует новый этап в развитии физики.

Максвелл полагал, что отдельные акты столкновения между частицами подчиняются динамическим закономерностям и в этом смысле строго детерминированы. Вероятностные методы используются из-за невозможности точно описать поведение огромного числа частиц для получения общей картины поведения газа. В то время, да и позже, перспективы методов расчета динамических задач для большого числа частиц выглядели туманно (см. главу III).

Разработка основ термодинамики в середине XIX века явилось одним из наиболее замечательных достижений физики [30, 31]. Но наряду с решением важных теоретических и практических задач возникновение новой области физической науки привело к постановке ряда проблем, одной из которых стала проблема “тепловой смерти Вселенной”. Эти проблемы помогла решить лишь

статистическая теория. Выдающуюся роль здесь сыграло установление Л. Больцманом статистического смысла второго закона термодинамики.

В 1872 году Больцман доказал знаменитую H-теорему для частного случая при отсутствии внешних сил. Здесь он использует соответствующее кинематическое уравнение для газов.

Получив в 1875 году общее газокINETическое уравнение, он в 1877 году в работе “О связи между вторым законом механической теории теплоты и теорией вероятностей” показал для идеального газа пропорциональность H-функции и энтропии системы. То есть энтропия была связана с вероятностью данного макроскопического состояния. В результате термодинамические свойства вещества можно было связать с его молекулярным строением. Данная концепция стала основой всей статистической физики.

Истолкование энтропии как величины, пропорциональной логарифму вероятности состояния, является блестящим достижением Больцмана. Формула

$$S = k \ln W$$

по словам Зоммерфельда “высеченная на памятнике Больцмана на Венском кладбище, парит на фоне облаков, плывущих над могилой великого Больцмана” [32].

“H-теорема Больцмана вызвала огромную и весьма плодотворную дискуссию, благодаря которой создался ряд новых научных направлений, например, так называемая эргодическая теория” – говорится в докладе Н.Н. Боголюбова и Ю.В. Саночкина, прочитанного 5 сентября 1956 года на заседании отделения

физико-математических наук АН СССР, посвященном 50-летию со дня смерти Л. Больцмана [33].

Спустя почти 30 лет Н.Н. Боголюбов обратил внимание на то, что в эргодической теории рассматриваются динамические системы, изолированные от внешних влияний, с компактным фазовым пространством, независимо от того, могут они считаться макроскопическими или нет [15].

Но с точки зрения статистической механики только для макроскопических систем и нужно устанавливать приближение временной средней к пространственной средней. Поэтому классическая эргодическая теория налагает слишком сильные ограничения на рассматриваемые системы. Это отчасти связано с тем, что в рамках общей динамической теории трудно ввести понятие макроскопичности.

И. Пригожин утверждал, что “понятие вероятности впервые вошло в теоретическую физику через молекулярную интерпретацию необратимости” [9], что является скорее данью уважения Больцману и его вкладу в развитие вероятностных методов в физике, чем исторической истине.

Создание статистической механики обычно связывают с именем Дж. Гиббса. Для перехода от механического описания системы к вероятностному, статистическому, он ввел понятие статистического ансамбля - совокупности большого числа копий данной механической системы, находящихся в одинаковых с макроскопической точки зрения внешних условиях.

Совокупность аналогичных систем была введена в 1871 году еще Больцманом для системы с заданной полной энергией под названием эргодов, то есть ансамблей с эргодическим распределением по

состояниям. По терминологии Гиббса это микроканонический ансамбль. Понятие статистического ансамбля у Больцмана не получило дальнейшего развития, так как для задач кинетической теории газов, которыми он занимался, достаточно частного понятия статистического ансамбля, соответствующего распределению по координатам и импульсам отдельных молекул.

Для функции распределения в фазовом пространстве Гиббс вводит основное уравнение статистической механики, которое в настоящее время принято называть уравнением Лиувилля. Сам по себе переход от уравнений Гамильтона к уравнению Лиувилля не приводит к статистической физике. Статистическое описание появляется на основе введения дополнительных допущений (“размытость” начальных условий и т.д.).

Работы Гиббса произвели сильное впечатление, как на его современников, так и на последующие поколения. Н. Винер даже говорил о переходе от ньютоновского мира к вероятностному [34]. Он писал, что “именно Гиббсу, а не Альберту Эйнштейну, Вернеру Гейзенбергу или Макс Планку мы должны приписать первую великую революцию в физике XX века” [34, с. 26]. Вместе с тем представление о вероятности, соотношении статистических и динамических закономерностей, вызывает острые дискуссии, а вопрос о природе вероятности многие исследователи считают открытым [11].

§ 3. Причинность в классической физике

Возникновение науки привело к научному анализу понятий причины и следствия. В рамках греческой натурфилософии в наиболее развитой форме он был приведен Аристотелем. С развитием естествознания и новой философии учение Аристотеля о причинах претерпело изменения. В естествознании было исключено представление о целевых причинах, а остальные виды причин сведены к единственному виду, явившемуся в известном смысле развитием понятия действующей причины.

В рамках философии понятие причины подвергалось научному анализу. Английский философ Гоббс ввел представление о “полной” и “достаточной” причинах, понимая под полной причиной совокупность всех условий и обстоятельств, вызывающих появление данного следствия. Спиноза исследовал вопрос о внешних и внутренних причинах, вызывающих данное явление. Лейбниц сформулировал строгий принцип причинности в виде принципа достаточного основания [36].

Среди физиков вплоть до XX века господствующей точкой зрения в представлении о причинности был детерминизм. Вначале это было тесно связано с механикой Ньютона, где особую роль играла “сила” как причина движения. В дальнейшем, когда стали рассматривать системы тел, представление о причинности усложняется. Теперь под принципом причинности в механике стали понимать то, что состояние механической системы в определенный момент времени t_0 однозначно определяет состояние системы в любой другой момент

времени. Этому принципу Лаплас придал всеобщий характер, полагая, что вся Вселенная является механической системой.

В дальнейшем лапласовский детерминизм был распространен и на другие области классической физики. Но развитие термодинамики и статистической физики привело к тому, что формулировка лапласовского детерминизма в этой области была видоизменена. Он теперь сводился к следующему утверждению: состояние системы в данный момент времени определяет только ее будущее. Данное изменение является следствием необратимости реальных наблюдаемых физических явлений.

В статистической физике раскрывается природа термодинамических закономерностей и причина необратимости макроскопических явлений. В классической статистической физике восстанавливается лапласовский детерминизм для микропроцессов, а вместе с тем возникает представление о существовании новой формы причинных связей в области макроскопических явлений. Она выражается в существовании статистических законов, то есть законов для систем, состоящих из большого числа частиц.

Большинство ученых, использующих статистический метод в физике, рассматривали его как результат невозможности применять на практике обычные методы расчета поведения сложных систем. Так Гиббс считал, что применение вероятностей вызывается грубостью наших восприятий [8, с. 551]. Больцман в семидесятых годах XIX века пришел к идее о статистическом характере второго закона термодинамики, начав ранее свои исследования с попытки вывести законы термодинамики из механики. Но в рамках классической физики, начиная с Максвелла, хотя и различали статистические и динамические закономерности [37], их

противопоставления не было. Оно возникло позже при исследовании явлений микромира.

М. Планк в 1914 году писал: “...не остается никаких сомнений: материя состоит из атомов; теплота есть движение молекул и теплопроводность, равно как и все остальные необратимые процессы, управляются не динамическими, а статистическими законами, т.е. законами вероятности” [38]. Относительность таких утверждений стала ясна лишь после создания метода молекулярной динамики и проведения расчетов для систем, состоящих из большого числа частиц [39-41].

Среди философов высказывались и мнения, сводящиеся либо к отрицанию причинности, либо сводящие ее к чисто логической категории, к свойству человеческого мышления. С точки зрения И. Канта причинность есть априорная врожденная категория рассудка [42, 43]. Э. Мах полагал, что причинность вытекает из субъективных устремлений людей [44, 45]. Для Б. Рассела понятие причины является лишь руководством к действию [47]. Данные подходы стали обсуждаться позже уже в XX веке.

Г л а в а П

Соотношение статистических и динамических закономерностей в квантовой механике

§ 4. Новый подход к описанию системы в квантовой механике

В начале XX века было установлено, что классическая механика имеет ограниченную область применимости. В классической механике описание частиц осуществляется путем задания их координат и скоростей в зависимости от времени [47-49]. Такому описанию соответствует движение частицы по вполне определенной траектории. Однако опыт показал, что это не всегда справедливо, особенно для частиц с малой массой.

Хотя первые квантовые представления были введены еще в 1900 году М. Планком [50], первый вариант квантовой механики – матричная квантовая механика – создан В. Гейзенбергом в 1925 году [51]. В. Гейзенберг исследовал спектральные закономерности, а также теорию дисперсии. Еще в 1923 году он принял точку зрения, согласно которой “модельные представления принципиально имеют только символический смысл, они являются аналогами “дискретной” квантовой теории” [52]. Теория атомных явлений по Гейзенбергу должна ограничиваться установлением соотношений между величинами, которые непосредственно наблюдаются в экспериментальных исследованиях – частотой излучения спектральных линий, их интенсивностью, поляризацией и т.п. “Ненаблюдаемые” величины, такие как координата электрона, его скорость, траектория, по которой он движется, не должны использоваться в теории атома. Реализация этой программы позволила Гейзенбергу получить квантовые матричные уравнения. Усилиями Борна, Йордана, а также Дирака, математический аппарат матричной квантовой механики приобрел законченный вид.

Несколько позже в 1926 году Э. Шредингер формулирует волновой вариант квантовой механики [53]. Еще в 1923 году Луи де Бройль высказывает идею о волновой природе материальных частиц [54]. Используя идеи де Бройля, а также оптико-механическую аналогию, Шредингер получает волновое уравнение. В рамках данного подхода состояние микрочастицы описывается волновой функцией. Достаточно быстро им же было установлено, что его подход и матричное описание математически эквивалентны. Эта

эквивалентность следует из определения линейного дифференциального оператора.

Шредингер на первом этапе считал электрон не точечной частицей, а электрическим зарядом, размазанным в пространстве. При этом волновая функция ψ определяет плотность заряда

$$\rho = e|\psi|^2$$

Но данная интерпретация встретила целый ряд сложностей. Особенно это касалось многоэлектронных атомов. Не получило развитие и представление об электроны как пакете волн де Бройля – этот пакет слишком быстро расплывался.

Теория Шредингера сразу стала популярной. С математической точки зрения она была более удобна, чем матричная механика. На первом этапе казалось, что она дает возможность интерпретировать закономерности атомной физики без непонятных квантовых скачков, без отказа от наглядных представлений.

В 1926 году М. Борн предложил вероятностное толкование волновой функции: $|\psi|^2$ определяет плотность вероятности пребывания частицы в данной точке пространства [55]. Данная интерпретация волновой функции получила широкое признание и стала общепринятой. Но вместе с ней возник вопрос о природе статистических закономерностей в квантовой механике, которые имеют место даже для одной частицы [56].

Открытие в 1927 году Дэвисоном и Джермером явления дифракции электронов на кристалле никеля стало прямым экспериментальным подтверждением волновых свойств электронов,

а значит и основ квантовой механики. Хотя квантовая механика и является динамической теорией в том смысле, что для волновой функции можно построить задачу Коши, сама волновая функция имеет статистическую интерпретацию. Поэтому в квантовой механике дискуссии о соотношении динамических и статистических закономерностей и их природе приняли острую форму. Они не прекращаются и до настоящего времени.

§ 5. Интерпретация квантовой механики и ее проблемы

Созданный аппарат квантовой механики вначале был достаточно формальным, а попытки ее интерпретации не вполне успешными. Лишь статистическая интерпретация волновой функции М. Борна получила всеобщее признание. Но возник вопрос о смысле статистичности квантовой механики, решение проблемы корпускулярно-волнового дуализма микрочастиц и другие. Здесь единства не было. Физики по этому вопросу разделились примерно на две группы. Одни предлагали считать, что реально существуют и частицы, и волны. Наиболее последовательно эту точку зрения проводил де Бройль [57]. Другое направление возглавлялось Н. Бором и получило название копенгагенской школы.

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

В 1927 году В. Гейзенберг формулирует принцип неопределенности [58]. Н. Бор пришел к более общим идеям и создал принцип дополнительности, куда вошел и принцип неопределенности Гейзенберга. Согласно этому принципу волновые и корпускулярные свойства являются необходимыми свойствами для описания микрочастиц, а в то же время они исключают друг друга и дополняют друг друга. В зависимости от ситуации частица ведет себя по разному. Принцип дополнительности и лег в основу копенгагенской интерпретации квантовой механики [59].

Причиной корпускулярно-волнового дуализма по Бору является то, что микрообъект не является ни волной, ни частицей в обычном понимании. Наши сведения о нем возникают в результате его взаимодействия с классическим прибором. В результате мы описываем его на классическом языке. Бор писал, что невозможно приписать самостоятельную реальность в обычном (т.е. классическом) смысле не явлениями, ни средствам наблюдения. В рамках копенгагенской интерпретации созрело представление об отказе от причинности в единичных микропроцессах. Дирак считал, что здесь “природа делает свой свободный выбор”. Гейзенберг, тоже сторонник копенгагенской интерпретации, говорил, что “наблюдатель сам делает выбор”. Т.е. полного единства даже в рамках одного направления не было.

Что касается другого направления, к которому относились А. Эйнштейн, М. Планк, Э. Шредингер, Л. де Бройль и М. фон Лауэ, то отказ от классических принципов они отвергали. Широко известно утверждение А. Эйнштейна, что он не может допустить, что в

атомных процессах “господь прибегает к помощи игральных костей” [60, с. 218].

Следует отметить, что как копенгагенская интерпретация квантовой механики, так и интерпретация их оппонентов, эволюционировали по мере развития самой квантовой механики. Так в широко известной статье Эйнштейна, Подольского и Розена 1935 года “Можно ли считать квантово-механическое описание физической реальности полным?” приведен конкретный пример, который должен был показать неполноту квантовой механики, которая использует описание с помощью волновой функции. То есть на первом этапе предпринимались попытки найти внутренние противоречия в теории. Все их Н. Бор успешно отверг.

В дальнейшем А. Эйнштейн пришел к выводу, что хотя квантовая механика непротиворечива, она является статистической теорией [62]. Он заключает, что “квантовая механика описывает ансамбль систем, но не отдельные системы” [62, с. 617]. При таком подходе различия в интерпретациях стали различиями в представлениях о реальности. Для А. Эйнштейна физической реальностью является объективная реальность. Даже самая незначительная часть Вселенной должна для него существовать так же объективно, как город или камень, независимо от того, доступна она наблюдению исследователя или нет [63].

Н. Бор же понимает под физической реальностью не сами материальные объекты, а максимально полные сведения о них. Именно так построена квантовая механика, в которой понятие “состояния” сливается с понятием “сведения о состоянии”, о чем писал Фок [61, с. 437].

Статистическая интерпретация квантовой механики получила свое дальнейшее развитие в работах К.В. Никольского [64] и Д.И. Блохинцева [65]. Предпринимались и попытки интерпретации волновой функции как характеристики состояния отдельного микрообъекта. Для этого Фоку пришлось ввести представление о несиловых взаимодействиях, или “логической связи” [66-67].

Если рассматривать нерелятивистскую квантовую механику, то представление о несиловых взаимодействиях здесь вполне приемлемо. В рамках же релятивистской квантовой механики это не так. Согласно теории относительности взаимодействие передается с конечной скоростью. Поэтому должен существовать физический агент, переносящий взаимодействие. Им является физическое поле. Трудности релятивистской квантовой механики – это трудности теории поля. Сам А. Эйнштейн видел преобладание трудностей квантовой механики в создании единой теории поля. Ему этого сделать не удалось. В настоящее время имеет место существенный прогресс в этой области, но до полного завершения теории далеко [68, 69].

§ 6. Квантовая статистика

При рассмотрении системы из многих частиц, состояния которых определяются законами квантовой механики, необходимо вводить

статистические описания для системы объектов, которые уже подчиняются вероятностным законам.

Если в классических системах наблюдаемые величины есть вещественные функции, определяемые на фазовом или конфигурационном пространстве системы, то в квантовых системах каждой наблюдаемой величине соответствует самосопряженный оператор, действующий в гильбертовом пространстве состояний системы. В классической статистической механике для определения среднего по ансамблю используют вероятностную меру на фазовом или конфигурационном пространстве системы. В квантовой статистической механике для этой цели служит матрица плотности, определенная в гильбертовом пространстве состояний системы. Описание состояний системы с помощью матрицы плотности было введено независимо в 1927 году Ландау и Блохом [70, с. 60; 71, с. 291].

Матрица плотности была введена для описания систем, являющихся частью некоторой изолированной системы. При этом предполагалось, что состояние изолированной системы можно описать волновой функцией. Описание с помощью матрицы плотности является наиболее общим описанием системы, когда мы имеем смешанные состояния. Если же матрица плотности сводится к произведению волновой функции и ее комплексной сопряженной, то состояние системы описывается волновой функцией, и мы имеем чистое состояние.

Матрица плотности подчиняется уравнению Неймана, являющемуся квантовым аналогом уравнения Лиувилля [72, 73]. Идеи фон Неймана [74] были восприняты в 30-х годах XX века

московской школой физиков-теоретиков, которую в то время возглавлял Л.И. Мандельштам.

Данное направление было в дальнейшем существенно развито К.В. Никольским [75], который оказал влияние на Д.И. Блохинцева. Последний развивает интерпретацию квантовой механики как теории квантовых статистических ансамблей, как прямое обобщение классической статистической механики [56]. По мнению Д.И. Блохинцева, “такой подход к основам квантовой механики имеет преимущество перед традиционным ее изложением на основе волновой функции, так как позволяет включить как главу квантовой механики теорию квантовых измерений” [56, с. 5].

В подходе, предложенном Д.И. Блохинцевым, отпадают парадоксы, связанные со скачкообразным изменением волновой функции в результате измерения. Следует отметить, что концепция квантовых ансамблей, выдвинутая еще в 1934 году фон Нейманом, принципиально отличается от концепции классических статистических ансамблей: в первом случае это когерентные ансамбли, во втором – некогерентные. Когерентный ансамбль в квантовой механике выступает как максимально упорядоченный коллектив с нулевым значением энтропии, имеющим максимально возможную информацию.

Следует отметить, что для матрицы плотности можно поставить задачу Коши. Таким образом, динамические закономерности и в данной области сочетаются со статистическими при описании систем многих частиц [76].

Г л а в а III

Физика нового времени и новые аспекты проблемы соотношения статистических и динамических закономерностей

§ 7. Метод молекулярной динамики и статистическая термодинамика

Начиная с середины 50-х годов XX века компьютерные методы, используемые в физике, начинают значительно прогрессировать. Если в классической физике до сих пор точно решенной проблемой является проблема двух тел [48], то с середины 50-х годов численному

расчету стали поддаваться системы, состоящие из десятков и даже сотен частиц.

Метод молекулярной динамики состоит в решении системы уравнений Ньютона для системы N тел. Вначале его рассматривали как некоторый технический прием, облегчающий анализ сложных систем. Но после того как в 1957 году с его помощью удалось обнаружить принципиально новое явление – фазовый переход в системе твердых сфер [77], отношение к нему изменилось. По существу возникла физика нового времени, основанная на компьютерных методах. Отличие от старого подхода заключалось не только в том, что компьютеры считали быстрее, но и тем, что находится не полное, а частичное решение задачи. Задачи ставит физик и определяет ее границы. Поэтому стали говорить о машинном эксперименте и моделировании. В настоящее время моделируются как системы, состоящие из нескольких частиц, а также существенно более сложные системы, например, ядерные взрывы [78].

В расчетах по методу молекулярной динамики было показано, что достаточно быстро (за время, при котором происходит порядка нескольких столкновений) распределение по скоростям в системе становится максвелловским [79]. Равновесные термодинамические свойства систем многих частиц уже давно рассчитываются по методу молекулярной динамики с большой точностью [80-82]. Таким образом, равновесные статистические закономерности могут быть получены из динамических закономерностей классической механики. Полная механическая информация о частицах системы не изменяет ни вероятности микросостояний, ни законов термодинамики. Статистические закономерности появляются из динамических, но для этого мы из всех состояний выбираем лишь те,

которые соответствуют термодинамическому поведению макросистемы. В этом смысле статистические закономерности не сводятся к динамическим – метод молекулярной динамики позволяет понять их природу.

В последние двадцать лет метод молекулярной динамики стал успешно использоваться для исследования и неравновесных термодинамических свойств системы [83-87]. Сам В. Гиббс неравновесные свойства рассмотрел лишь в общих чертах. Создание же неравновесной статистической физики тормозил тот факт, что по существу до работ Онзагера не была развита даже неравновесная термодинамика [88-90]. В работах 1946 года Н.Н. Боголюбов вводит частичные функции распределения и получает для них неравновесную цепочку уравнений. Он же разработал метод решения цепочки уравнений. Это стало возможным на основе введения представлений об иерархии релаксационных процессов и принципа ослабления корреляций. В результате удалось не только получить уравнения Больцмана [91] и Власова [92-94], но и сформулировать процедуру их дальнейшего улучшения, что имело весьма важное значение, так как и подход Больцмана, и подход Власова имели на первых этапах своего развития как сторонников, так и противников [95,96].

Но уже в 60-х годах XX века были обнаружены трудности при рассмотрении приближений высших порядков в подходе Боголюбова [97, с. 15]. Оказалось, что интегралы столкновений, определяющие в кинетических уравнениях диссипативные процессы, при учете взаимодействия четырех и большего числа частиц становятся расходящимися.

В настоящее время существует целый ряд теоретических подходов к изучению неравновесных процессов в рамках статистической механики. Вместе с тем общее решение проблемы далеко до своего разрешения. В этом смысле метод молекулярной динамики является той путеводной нитью, которая помогает сделать правильный выбор. То есть динамический и статистический подходы в данном случае дополняют друг друга.

§ 8. Физический вакуум и динамика частиц в квантовой механике

Вакуум в переводе с латинского означает “пустота”. В физике под этим понятием понимается состояние газа при давлении, меньшем атмосферного [98]. В частности понятие вакуума относится и к случаю, когда давление газа стремится к нулю. Естественно возникает общий вопрос, что представляет собой пространство, свободное от известных нам частиц.

На первом этапе развития волновой оптики, а затем и электродинамики существовало понятие эфира, заполняющего все пространство. Но механические модели эфира привели в конце XIX века к большим трудностям, и в рамках специальной теории относительности Эйнштейна он был исключен из теории [99]. В связи с этим у ряда исследователей сложилось впечатление, что вакуум – это и есть абсолютно пустое пространство. При этом обычно ссылались на Эйнштейна, хотя он этого никогда не утверждал [100].

Существовал вариант теории относительности Лоренца, в рамках которого эфир не был исключен из рассмотрения. Как писал М. Лауэ: “Мало того, экспериментально было бы невозможно произвести выбор между этой теорией и эйнштейновской теорией относительности и, если, тем не менее, теория Лоренца отошла на задний план – хотя она еще имеет сторонников среди физиков – то это произошло, без сомнения, в силу оснований философского порядка” [101, с. 34].

В 1942 году У. Лэмб и Р. Резерфорд обнаружили смещение уровня энергии $2s_{\frac{1}{2}}$ относительно уровня $2p_{\frac{1}{2}}$ в атоме водорода и водородоподобных атомах, хотя согласно релятивистской теории П. Дирака эти уровни должны совпадать [101]. Объяснение этому явлению впервые дал Х. Бете на основе учета взаимодействия электрона с электромагнитным вакуумом. В дальнейшем Вельтоном, а затем А.А. Соколовым и В.С. Тумановым было дано новое обоснование статистического характера квантовой механики, имея в виду, что электрон при своем движении должен подобно брруновской частице взаимодействовать с флуктуациями электромагнитного вакуума.

В квантовой теории поля понятие электромагнитного вакуума было обобщено и получило название физического вакуума. Это наинизшее энергетическое состояние квантовых полей, характеризующееся отсутствием каких-либо реальных частиц. Все квантовые числа физического вакуума равны нулю. Вместе с тем физический вакуум является основным в квантовой теории поля, так как все остальные состояния могут быть получены из вакуумного действием операторов рождения частиц. Возможность виртуальных

процессов в физическом вакууме приводит к наблюдаемым эффектам.

В классической механике всегда можно сформулировать точные уравнения движения, откуда следуют динамические закономерности. В квантовой теории этого сделать нельзя даже при описании движения одного электрона, где необходимо учитывать флуктуационные удары со стороны поля вакуумных фотонов. В силу этого в основе квантовой механики лежат статистические закономерности [102].

§ 9. Динамический хаос

Попытка обоснования статистической механики, то есть определение тех условий, при которых из механики можно получить статистические закономерности, привела к целому ряду интересных результатов. Во-первых, оказалось, что здесь существенное значение имеет неустойчивость динамических траекторий [103]. Но данный вывод привел к тому, что статистические закономерности появились даже у механических задач (для некоторых областей движения число частиц могло равняться и двум).

С другой стороны, такие многочастичные системы, как система гармонических осцилляторов и идеальный газ, оказались при стандартном рассмотрении неэргодическими. Данный результат

привел Н.Н. Боголюбов к мысли, что необходимо дополнительно учитывать макроскопичность системы [15].

В 70-х годах XX века возникает синергетика – область научных исследований, целью которых является выявление общих закономерностей в процессах образования и разрушения упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных структурах. Термин “синергетика” (от греч. *synergeia* – совместное действие, сотрудничество) предложен немецким физиком Г. Хакеном. В рамках данного подхода изучается и “возникновение порядка из беспорядка” [104] в различных областях: реакция Белоусова-Жаботинского в химии, спиральные галактики в космологии, организация сообществ в экологии и т.д.

Синергетические модели – это модели нелинейных неравновесных систем, которые подвергаются действию флуктуаций. Именно флуктуации переводят одну фазу в другую при приближении системы к области фазового перехода. Возникновение организованного поведения может обуславливаться как внешним воздействием, так и результатом собственного развития [105, 106]. Как правило, исследуемые системы являются диссипативными открытыми системами.

Таким образом, не только в динамической системе возможны статистические закономерности, но и в системах, ведущих себя хаотически (и, следовательно, здесь имеют место статистические закономерности), могут иметь место динамические закономерности. В последние тридцать лет данная область получила существенно развитие. Используемые здесь модели в обобщенном смысле

называют динамическим хаосом. Таким образом, динамический хаос соответствует статистическому поведению системы, которая математически может быть описана детерминированными законами. При этом данная система может состоять как из малого числа частиц, движение которых неустойчиво, так и из большого числа частиц, где неустойчивость определяется именно их количеством.

Вопрос о природе динамических и статистических закономерностей при такой постановке задачи сводится к следующему: “Где лежит граница между регулярной, но сложно организованной структурой (то есть порядком) и беспорядком?”. Критерием появления хаоса и статистических закономерностей может служить устойчивость возникающих в системе образований по отношению к малым возмущениям. При ее отсутствии детерминированное описание теряет смысл и необходимо использовать статистические методы.

Продвижение в понимании природы статистических и динамических закономерностей позволило перевести на математический язык описание поведения сложных биологических систем, проблему обработки информации, смоделировать финансовые временные ряды и целый ряд социальных процессов.

З а к л ю ч е н и е

Возникшая физическая теория вначале сформировалась как наука, в основе которой были положены динамические закономерности. Дальнейшее ее развитие привело к тому, что в физической науке стали широко использоваться методы, основанные на вероятностных законах.

Вопрос о соотношении статистических и динамических закономерностей неоднократно ставился и ставится как в физике, так и в более широком познавательном, философском смысле. Особое значение имеет исследование природы этих закономерностей, что позволит свести поведение сложных систем (например, биологических, социальных и т.п.) к поведению более простых систем.

В рамках физики в понимании статистических закономерностей был сделан существенный прогресс, основанный в первую очередь на исследовании методов молекулярной динамики для исследования систем, состоящих из многих частиц. В результате были подтверждены основные положения статистической физики. Но это было не просто сведение статистических закономерностей к

динамическим в рамках классической статистической физики, а определение именно их природы, то есть условий, при которых статистические закономерности имеют место в динамических системах.

Общепринятая в настоящее время статистическая интерпретация квантовой механики, получившая экспериментальное подтверждение, позволила значительно продвинуться в понимании процессов, происходящих как в микромире, так и в макромире. Хотя экспериментально наблюдаемой наименьшей частицей является электрон (кварка в свободном состоянии пока непосредственно никто не наблюдал), для объяснения многих эффектов в рамках теории поля используется представление о виртуальных частицах. Это связано с потребностью продвинуться вглубь мироздания. Представления квантовой механики перестали носить мистический характер. Это определяется не только развитием уровня нашего знания, но развитием практики. Наноструктуры теперь – это хотя еще не демон Максвелла, но весьма конкретное практическое приложение.

Статистические и динамические способы описания не исключают друг друга, а взаимно дополняют. Только используя их совместно можно исследовать проблемы, стоящие перед современной физикой. Согласно Попперу наш мир представляет собой «взаимосвязанную систему из облаков и часов, в котором даже самые лучшие часы в своей молекулярной структуре оказываются облакоподобными» [17, с. 504]. Под понятием «облако» он подразумевает вероятностный образ мышления, а под «часами» – концепцию жесткой детерминированности. Это связано с тем, что любые реальные

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

системы являются открытыми. При рассмотрении таких систем необходимы оба подхода и динамический, и статистический.

Л и т е р а т у р а

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М., 1989
2. Вавилов С.И. Исаак Ньютон. М.-Л.: изд. АН СССР, 1945
3. Боголюбов А.Н. Роберт Гук. М.: Наука, 1984
4. Леонард Эйлер. Сб. статей. М., 1958
5. Тюлина И.А. Жозеф Луи Лагранж. М., 1977
6. Кудрявцев П.С. Максвелл. М., 1956
7. Больцман Л. Лекции по теории газов. М.: ГИТТЛ, 1956
8. Гиббс Дж.В. Термодинамика. Статистическая механика. М.: Наука, 1982
9. Пригожин И. От существующего к возникающему. М., 1985.
10. Винер Н. Кибернетика и общество. М., 1958.
11. Сачков М.В. Вероятность как загадка бытия и познания // Вопросы философии – 2006. № 1. С. 80
12. Уленбек Г. Фундаментальные проблемы статистической механики // УФН – 1971. Т. 103. Вып. 2
13. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация. М., 1997
14. Penrose O. Foundation of statistical mechanics // Rep. Phys. – 1979. V42. №12

15. Боголюбов Н.Н. О некоторых проблемах, связанных с обоснованием статистической механики // История и методология естественных наук. Вып. XXX: физика. М., 1983.
16. Менский М.Б. Квантовая механика, сознание и мост между двумя культурами // Вопросы философии – 2004. № 6. С. 64 - 74
17. Поппер К. Логика и рост научного знания. М., 1983.
18. Борн М. Атомная физика. М., 1965.
19. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 3. М., 1966. С. 623
20. Мандельштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука. 1972
21. Штекли А.Э. Галилей. М., 1972
22. Аристотель. Сочинения в четырех томах. Т. 3. М.: Мысль, 1981
23. Эйлер Л. Основы движения точки. М.-Л.: Гостехиздат, 1938
24. Даламбер Ж. Динамика. М.-Л.: Гостехиздат, 1950
25. Лагранж Ж. Аналитическая механика. Т. 1. М.-Л.: Гостехиздат, 1950
26. Мах Э. Механика. СПб., 1909
27. Джермер М. Понятие массы в классической и современной физике. М.: “Прогресс”, 1967
28. Лаплас П. Опыт философии теории вероятностей. М., 1908
29. Основатели классической теории материи. М., 1937
30. Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1983
31. Гельфер Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. М.: Высшая школа, 1981
32. Людвиг Больцман. Статьи и речи. М.: Наука, 1970

33. Успехи физических наук. 1957. Т. 61. В. 1
34. Probability in the science. Bd. II. Agazzi, Dordrecht, 1988
35. Спасский Б.И. История физики. Т. 1, 2. М.: Высшая школа, 1977
36. Лейбниц Г. Избранные философские сочинения. М., 1908
37. Барашенков В.С. Об экспериментальной проверке принципа причинности // Вопросы философии – 1965. № 2. С. 108
38. Планк М. Единство физической картины мира. М.: Наука, 1966.
39. Евсеев А.М., Френкель М.Я. Молекулярная динамики и уравнения состояния аргона в области фазового перехода. В кн.: “Уравнения состояния газов и жидкостей”. М.: Наука, 1975. С. 105
40. Rahman A.// Phys. Rev. – 1964. V. A 136. P. 405
41. Verlet L. // Phys. Rev. – 1967. V. A 159. P. 98
42. Алексеев П.В., Панин А.В. Философия. 3-е изд. М.: изд-во Московского ун-та, 2005
43. Кант И. Критика чистого разума. Соч. Т. 3. М., 1964
44. Мах Э. Анализ ощущений и отношение физического к психическому. М., 1907
45. Мах Э. Познание и заблуждение. М., 1909
46. Рассел Б. Человеческое познание. Его сфера и границы. М., 1957
47. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. М.: Изд. Московского ун-та, 1974
48. Петкевич В.В. Теоретическая механика. М.: Наука, 1981
49. Айзерман М.А. Классическая механика. М.: Наука, 1980

50. Клейн М. Макс Планк и начало квантовой теории // УФН – 1967. Т. 92. В. 4
51. Heisenberg W. // Zeitschr.f. Phys. – 1925. В. 33. S. 879
52. Гейзенберг В. Воспоминания об эпохе развития квантовой механики. В кн.: Теоретическая физика XX века. 1960, с. 54
53. Хоффман Д. Эрвин Шредингер. М.: Мир, 1987
54. Луи де Бройль. По тропам науки. М.: ИЛ, 1962
55. Борн М. Физика в жизни моего поколения. М.: ИЛ, 1963
56. Блохинцев Д.И. Квантовая механика. М.: Атомиздат, 1981
57. L. ge Broile // Journ. d. Phys. – 1927, ser. VI, t. VIII, № 5, p. 225
58. Heisenberg W.// Zeitschr. f. Phys. – 1927. В. 43. S. 172
59. Борн Н. Избранные научные труды. Т. 11. М.: Наука, 1971
60. Albert Einstein - Philosopher – Scientist. N. G., 1951
61. УФН – 1936. Т. 16. Вып. 4
62. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 3. М., 1966
63. Мур Н. Нильс Бор – человек и ученый. М.: Мир, 1969
64. Никольский К.В. Квантовые процессы. М.-Л.: Гостехиздат, 1940
65. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики. М.-Л.: Гостехиздат, 1949
66. УФН – 1956. Т. 59. В. 1, с.116
67. УФН – 1958. Т. 66. В. 4, с. 592
68. Пармер Б. Мечта Эйнштейна: в поисках единой теории строения Вселенной. М.: Наука, 1991
69. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц. М., 2002

70. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Наука, 1974
71. Боголюбов Н.Н. Избранные труды в трех томах. Т. 2. Киев: Наукова думка, 1970
72. Куни Ф.М. Статистическая физика и термодинамика. М.: Наука, 1981
73. Рюэль Д. Статистическая механика. Строгие результаты. М.: Мир. 1971
74. фон Нейман И. Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964
75. Никольский К.В. Квантовые процессы. М.: Гостехиздат, 1940
76. Боголюбов Н.Н. О стохастических процессах в динамических системах// Физика элементарных частиц и атомного ядра – 1979. Т. 9. В. 4, с. 501
77. Alder B.J., Wainwright T.E. // J. Chem. Phys. – 1957. V. 27. P. 1208
78. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука, 1978
79. Крокстон К. Физика жидкого состояния. М.: Мир, 1978
80. Hoover W.G., Ree F.H. // J. Chem. Phys. – 1968. V. 49. № 8. P. 3609
81. Физика простых жидкостей. Экспериментальные исследования. М.: Мир, 1973
82. Erpeaback J.J., Wood W.W. // J. Stat. Phys. – 1984. V. 35. № 3-4. P. 321
83. Perez-Madrid A. // J. Chem. Phys – 2005. V. 123. № 4. 204108
84. Puh K., Chan Eu B. // Phys. Rev. E – 1999. V. 60. № 4. P. 4105

85. Heyes D.M. // J. Phys.: Condens. Matter – 1994. V. 6. P. 6409
86. Gillar M.J., Dixon M. // J. Phys. C.: Solid State Phys. – 1983. V. 16. P. 869
87. Nasrabad A. E., Yaghaei R., Chan Eu B.// J. Chem. Phys. – 2006. V. 124
88. Onsager L. // Phys. Rew. – 1931. V. 37. № 4. P. 405
89. Циглер Г. Экспериментальные принципы термодинамики необратимых процессов и механики сплошной среды. М., 1966
90. Дьярвати М. Неравновесная термодинамика. М., 1974
91. Больцман Л. Кинетическая теория материи. М., 1939
92. Власов А.А. // ЖЭТФ – 1938. Т. 8. Вып. 3. С. 291
93. Власов А.А. Теория многих частиц. М.-Л.: ГИТТЛ, 1950
94. Власов А.А. Статистические функции распределения. М.: Наука. 1966
95. Гинсбург В., Ландау Л., Леонтович М., Фок В.// ЖЭТФ – 1946. Т. 16. В. 3. С. 246
96. Гинсбург В.Л. // Вопросы истории естествознания и техники – 2000. № 4. С. 5
97. Климантович Ю.Л. Статистическая физика. М.: Наука, 1982
98. Сверхвысокий вакуум в радиационно-физическом аппаратостроении. М., 1976
99. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 1. М.: Наука, 1965
100. Логунов А.А. Лекции по теории относительности. Современный анализ проблем. М.: издательство Московского университета, 1983

101. Лауэ М. Принципы относительности. Новые идеи в математике. СПб, 1914
102. Соколов А.А., Тернов И.М. Квантовая механика и атомная физики. М.: Просвещение. 1970
103. Penrose O. Foundation of statistical mechanics // Rep. Prog. Phys. – 1979. V. 42. № 12
104. Пригожин И.Р. Неравновесная статистическая механика. М.: УРСС, 2005
105. Чириков Б.В. Линейный и нелинейный динамический хаос. Новосибирск, 1995
106. Введение в синергетику. Хаос и структуры. М.: УРСС, 2004

ПРИЛОЖЕНИЕ II

П.Н. Николаев, О.П. Николаева

Кинетическая теория жидкости: у истоков проблемы

P.N. Nikolaev, O.P. Nikolaeva

Kinetic theory of liquids:
at the cause of the problem

Кинетическая теория жидкости является одним из самых интересных и сложных разделов физики. Связано это с целым рядом причин. Во-первых, теория неравновесных процессов в системах многих частиц до сих пор не имеет стандартного общепринятого единого подхода, каким является метод, предложенный В. Гиббсом для равновесных систем [1].

Число этих подходов значительно [2]. Связано это не только с разнообразием рассматриваемых систем, но и с тем, что для неравновесных процессов трудно выделить общие характеристики. В отличие от равновесного случая неравновесные системы имеют существенно большее число вариантов реализации данного неравновесного состояния. Во-вторых, теория жидкого состояния сама по себе является наиболее сложной областью статистической механики.

Несмотря на то, что она начала формироваться еще в работах Ван-дер-Ваальса, ее равновесная количественная теория возникла лишь в 60-х - 70-х годах 20 века [3]. Начиная с этого времени происходит переосмысливание полученных ранее результатов и в области неравновесных процессов, где решен ряд задач, составляющих лишь небольшую часть проблем теории жидкого состояния [4]. В-третьих, при создании кинетической теории жидкости «интерferируют» трудности построения кинетической

теории в целом и сложности описания плотных систем. Это значительно усложняет решение проблемы.

В-четвертых, область жидкого состояния содержит низкотемпературную область, где совершенно необходим учет квантовых эффектов, что является нетривиальной проблемой. Особенно это касается жидкого гелия, представляющего значительный интерес [5].

Несмотря на указанные выше причины, данная область является одной из наиболее интенсивно развивающихся областей. Это обусловлено общенаучным интересом к ней и, в значительной степени, огромным числом физических приложений. Жидкая фаза занимает промежуточное состояние между твердой и газообразной фазами. Без понимания процессов, происходящих в жидкости, нельзя построить полную фазовую диаграмму состояний веществ, а также описать кинетические процессы, происходящие в них.

Целью нашей работы является изучение процесса формирования современной кинетической теории жидкости. Он начался в 40-х годах XX века. В это время произошло переосмысливание работ Больцмана по кинетической теории газов и работ Гиббса, получившего канонические распределения из уравнения Лиувилля. Стали широко использоваться частичные функции распределения и предпринимались многочисленные попытки сведения решения многочастичной задачи к описанию поведения функций распределения низших порядков. Для систем с бинарным взаимодействием это унарная и бинарная функции распределения.

Общепризнано, что цепочка уравнений для неравновесных функций распределения, созданная Н.Н. Боголюбовым [6], оказалась

Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете

наиболее эффективной. Н.Н. Боголюбов разработал метод, позволяющий получать кинетические уравнения на основе механики систем многих частиц. В этой связи он отмечает непоследовательность метода, примененного Больцманом для получения кинетического уравнения. Н.Н. Боголюбову удалось последовательно реализовать программу получения цепочки уравнений. Кроме того, им была введена процедура, позволяющая рассматривать уравнения в различных временных интервалах и в рамках этих интервалов вводить разумные физические допущения для функций распределения.

Представление о том, что неравновесная функция распределения достигает со временем значения "плато", где появляется возможность определить сглаженные во времени функции распределения, удовлетворяющие кинетическим уравнениям, появилось у Кирквуда [7]. Он также первым ввел согласование по времени для функций распределения.

Н.Н. Боголюбов в своих работах использует допущение, что после промежутка времени, порядка длительности соударения, корреляционная функция становится функционалом одночастичной функции распределения. Данная функция удовлетворяет кинетическому уравнению. Следующий этап эволюции наступает на временах порядка гидродинамического времени, когда одночастичная функция распределения становится функционалом макроскопических параметров.

Н.Н. Боголюбов предложил особые методы степенных разложений, приводящие к кинетическим уравнениям. В частности, он нашел способ обобщения кинетического уравнения Больцмана. Эти обобщенные уравнения справедливы при больших плотностях.

В дальнейшем оказалось, что интегралы столкновений, определяющие в кинетических уравнениях диссипативные процессы, при учете взаимодействия четырех частиц становятся расходящимися [8]. Предпринятые попытки устранения таких расходимостей достаточно быстро увенчались успехом [9]. В силу сложности этих уравнений последовательно реализовать данную программу удалось не сразу. Этому есть много причин, но главная из них - это медленная сходимость ряда по степеням плотности. Для систем твердых сфер в начале XXI века удалось получить девятый вириальный коэффициент (Больцману так и не удалось рассчитать до конца четвертый вириальный коэффициент). Даже в этом случае при описании фазового перехода необходимо использовать методы ускоренной сходимости рядов теории возмущений, наиболее распространенным среди которых является метод аппроксимант Паде. Возможности реальных расчетов кинетических процессов для систем твердых сфер значительно скромнее. Осознание этого факта привело к тому, что параллельно с последовательными теориями развивались и другие подходы к решению данной проблемы, использующие полуэмпирические методы.

Для системы твердых сфер еще в 1922 г. Энском было дано обобщение кинетического уравнения Больцмана на случай систем твердых сфер произвольной плотности [10]. Вначале этот подход рассматривался как удобная модель для описания плотных газов и жидкостей, содержащая один подгоночный параметр - диаметр твердых сфер. После того, как была построена равновесная теория жидкостей, в основе которой лежит базовая модель твердых сфер, подход Энского стал использоваться также как основное приближение, а учет притягивающей части потенциала, в силу его

плавного характера изменения, учитывается в виде решения уравнения типа Фоккера-Планка. Если считать, что эти два типа причин не интерферируют друг с другом, то получается уравнение Райса-Олнета [11], подробный анализ которого дан в работе Мисгвича и Николиса [12].

В начале 50-х годов 20-го века в статистической физике неравновесных систем стало широко использоваться представление о автокорреляционных функциях. Выражение для коэффициентов переноса через автокорреляционные функции было получено в работах целого ряда авторов [13]. Несколько позже показана эквивалентность метода автокорреляционной функции и метода кинетических уравнений в наиболее общем виде [14].

Позже кинетические уравнения для жидкости, т. е. применимые к плотным системам, стали вводить в несколько ином виде. Они представляют собой уравнения для двухчастичной функции распределения. Это оказалось практичнее, чем использовать замкнутое уравнение для одночастичной функции, несмотря на очевидные технические сложности. Впервые формализм частичных функций распределения была использована для последовательного исследования временных корреляционных функций в работе Лебовица, Перкуса и Сайкса [15]. Авторы исследовали ряд кинетических уравнений для классической жидкости. Они использовали специальный тип начального условия, когда в неравновесном состоянии находится одна частица. Отдельно проведено исследование уравнения, содержащего члены власовского типа и типа Энскога. В заключение получено решение обобщенного уравнения типа Власова-Фоккера-Планка.

Для системы с двухчастичным потенциалом взаимодействия векторы плотности потоков могут быть выражены через бинарную функцию распределения. Поэтому главной задачей кинетической теории жидкостей является задача вычисления этой функции. Это самый общий подход к решению проблемы.

Бинарная функция распределения строго может быть получена либо как решение уравнения Лиувилля, либо путем решения эквивалентной ему системы связанных уравнений для частичных функций распределения.

Одними из первых предприняли попытку построить кинетическую теорию жидкости М. Борн и Грин [39]. Они использовали один из видов суперпозиционного, или кирквудовского, приближения для трехчастичной функции распределения [40,41]. В отличие от метода разложения по степеням плотности по малому параметру они применили метод расщепления цепочки уравнений. Авторы выражали функцию распределения высшего порядка (в данном случае третьего) через функции распределения низших порядков (второго). Для теории жидкости данный подход имеет то преимущество, что может быть применим для случаев, когда разложение по степеням плотности реализовать нельзя. Вместе с тем здесь остается открытым вопрос об обоснованности того или иного типа расщепления. В ряде случаев он приводил к длительной дискуссии.

В работах М. Борна и Грина полученное уравнение для двухчастичной функции распределения решалось методом теории возмущений для состояний, не сильно отклоняющихся от состояния равновесия. Найденные решения использовались для получения векторов плотностей потоков и величин коэффициентов переноса. В

работах дано лишь аналитическое решение без проведения полных численных расчетов для коэффициентов переноса. Борн и Грин утверждали, что результаты их расчетов дают правильный порядок величин и имеют качественно правильную зависимость от плотности и температуры.

Рассматривая решение кинетического уравнения в суперпозиционном приближении при низких температурах, Борн и Грин нашли периодическое решение. В связи с этим они обратили внимание на работу А.А. Власова, получившего периодическое решение интегрального уравнения для одночастичной функции распределения [16]. В целом идею Власова они считают правильной (см. также рукопись письма А.К. Тимирязева [19]). Сам А.А. Власов в работе говорит о «новой теории кристаллического состояния, совершенно отличной от теории М. Борна, в которой позиция каждого атома фиксирована около положения равновесия».

Эти слова приведены также в статье В. Гинзбурга, Ж.Л. Ландау, М. Леонтовича и В. Фока [17], которые совершенно по другому оценили работу А. Власова. Причины, побудившие написать эту работу, и позиция авторов была пояснена В.Л. Гинсбургом значительно позже [18].

В работе А. Власова за долго до появления статьи Райса и Олнета использовано кинетическое уравнение, при получении которого произведено разделение потенциала на плавно меняющуюся и быстро меняющуюся части. При этом им приводится аргументация, связанная с характерными временами столкновений. Это было и до появления работ Н.Н.Боголюбова, посвященных неравновесной кинетической теории. Известно, что А.А. Власов оказал значительное влияние на взгляды Н.Н. Боголюбова. «В

заклучении считаю своим долгом выразить здесь свою благодарность проф. А.А. Власову, беседы с которым значительно способствовали автору в уяснении им физической стороны рассматривающихся проблем» - писал Н.Н. Боголюбов в предисловии к книге «Проблемы динамической теории в статистической физике» [6]. В «Избранных трудах в трех томах», второй том которых вышел в 1970 г., эта фраза опубликована в виде, изменяющем ее смысл [20]. В остальных изданиях работ Н.Н. Боголюбова данные слова приведены в оригинальном виде.

Н.Н. Боголюбов начал развивать метод функций распределения, работая на кафедре теоретической физики Московского университета начиная с 1 ноября 1943 года. В 1946 г. в ЖЭТФ выходят две его статьи [21,22], которые включают основное содержание книги «Проблемы динамической теории в статистической физике».

Спустя 30 лет была опубликована последняя написанная А.А. Власовым книга «Нелокальная статистическая механика» (первоначальное авторское название «Статистическая механика с нецелым (вероятностным) числом частиц»). Функция распределения здесь зависела от координат и их производных до любого порядка. В предисловии от издательства к книге говорится, что рецензенты сделали «много серьезных замечаний принципиального характера». Далее следует предисловие Н.Н. Боголюбова, где в частности написано: «Для научного творчества А.А. Власова всегда было характерно обращение к фундаментальным и актуальным проблемам, создание оригинальных методов их решения... . Несмотря на то, что многое здесь представляется дискуссионным, мы полагаем, что вдумчивый читатель, несомненно, извлечет то ценное, что

содержится в монографии А.А. Власова» [23]. Подтверждением слов Н.Н. Боголюбова стало широкое использование начиная с конца XX века методов теории поля в статистической механике, в том числе и в прикладных ее областях.

Определение функций распределения необходимо для расчета коэффициентов переноса. При этом способы их вычисления могут значительно отличаться. Так для вычисления коэффициента трения Кирквуд развивает теорию возмущений и получает результат, аналогичный результату Чандрасекара [24], найденный им на основе феноменологической теории брауновского движения. В дальнейшем коэффициент сдвиговой вязкости для аргона был вычислен Кирквудом, Баффом и Грином [25], которые использовали потенциал Леннарда - Джонса и экспериментально найденную Эйзенштейном и Грингричем функцию распределения [26].

Для систем твердых сфер высокой плотности можно считать, что эволюция системы происходит в результате частных парных столкновений того же типа, что и предполагаемых при выводе уравнения Больцмана. Однако здесь приходится отказываться от гипотезы молекулярного хаоса.

Если же потенциал взаимодействия меняется плавно, то движения выведенной части системы можно рассматривать как стохастические со временем корреляции τ . При больших значениях времени $t \gg \tau$ движение не коррелирует с начальным состоянием. При этом предполагается, что время корреляции больше времени релаксации, но меньше длительности цикла Пуанкаре [27]. Системы с таким потенциалом описываются уравнениями типа уравнения Фоккера-Планка, либо уравнения Ланжевена.

Для реального характера взаимодействия в правой части кинетического уравнения необходимо учесть наличие двух предельных случаев, рассмотренных выше - потенциалов твердых сфер и потенциалов, изменяющихся плавно. Как отмечено выше, это было сделано Райсом и Олнетом. При этом они постулируют, что процесс парных столкновений учитывается дополнительным членом. То есть предполагается, что в жидкости на фоне брауновского движения во флуктуирующем поле взаимодействия с окружающими молекулами происходят сравнительно редкие парные столкновения. При этом брауновское движение быстро гасит столкновительные корреляции. Поэтому столкновительные члены не коррелируют между собой.

Уравнения Больцмана может быть обобщено на уравнение такого же типа для двухчастичной функции распределения. Такого же типа обобщение было проведено для уравнения Фоккера-Планка (в интерпретации Чандерсекара) на случай двухчастичной функции распределения. В результате Райс и Олнет получили обобщенное уравнение для двухчастичной функции распределения жидкости, что само по себе является нетривиальной задачей.

Следует отметить, что эволюцию малой подсистемы в фазовом пространстве можно исследовать как методами статистической механики с помощью уравнения Лиувилля, либо полученных на его основе уравнений, так и с позиций обычной механики с помощью уравнения Ланжевена [28]. Это порождает значительное число различных подходов к определению коэффициентов переноса. Достаточно трудной является проблема сравнения полученных результатов, так как в разных подходах приближения отличаются существенно. Характеристики диссипативных процессов,

протекающих в системах, можно использовать для описания макроскопического поведения системы только тогда, когда время описания велико по сравнению со временем релаксации микроскопических динамических процессов и мало по сравнению с периодом Пуанкаре. Поэтому Кирквуд для коэффициентов переноса предложил использовать не асимптотические значения при $t \rightarrow \infty$, а "платовые" значения.

Наличие "платовых" значений определяется типом гамильтониана. Так у гармонического гамильтониана их нет, а появляется лишь при учете ангармонизмов. Расчет коэффициентов переноса требует высокой изобретательности. При определении коэффициентов переноса отсутствует единый подход к их вычислению.

Поскольку точное вычисление всех коэффициентов переноса связано с трудными решениями N-частичной динамической задачи, часто используют простые связи между различными диссипативными характеристиками. Это же позволяет лучшим образом сравнить найденные теоретические результаты с экспериментальными данными.

При создании кинетической теории жидкости на первом этапе подходы, основанные на решении кинетических уравнений, строились по аналогии с газовыми разреженными системами. Параллельно с ними в 40-х годах возникли и методы, основанные на аналогии между жидким и кристаллическим состояниями. Наиболее последовательно такую точку зрения проводил Я.И. Френкель [29]. Он предложил развивать кинетическую теорию жидкости как обобщение кинетической теории твердых тел. В связи с этим

Я.И. Френкель вводит понятие конденсированных тел как общего представления о жидкостях и твердых телах.

Я.И. Френкель пришел к общим представлениям о поведении частиц в жидкости в 1924 году. Он считал, что этому движению необходимо приписать колебательно-диффузионный характер. В то время, когда Я.И. Френкель строил кинетическую теорию жидкости, уравнения состояния для таких систем были известны лишь приближенно, а уравнения плавления строились феноменологически. Тем не менее, он полагал, что в силу большой значимости проблемы для формирования единой динамической картины описания систем многих частиц такая теория уже в то время должна была создаваться.

Стремление построить кинетическую теорию жидкостей с использованием аналогии с твердым телом приводит Я.И. Френкеля в начале 40-х годов 20 века к анализу существовавших в то время теорий. В первую очередь - это дырочная теория жидкого состояния. Он обращает внимание на сильные и слабые стороны данного подхода. В дальнейшем Я.И. Френкелем развивается теория, отличная от той, которая развивалась им в 1924 г. (он пишет, что в то время это был общепринятый подход, основанный на аналогии газовой и жидкой фаз).

Я.И. Френкель касается вопроса и о возможности применения фононной теории, развитой в твердых телах, для описания кинетических процессов в жидкости (эту теорию он называет дебаевской). С его точки зрения для последовательной реализации такой программы необходим учет ангармонизмов, что сильно усложняет картину.

О необходимости учета ангармонизмов при рассмотрении теплопроводности указывали П. Дебай и М. Борн еще в 1914 году [30]. Вместе с тем теория квантовых жидкостей, возникшая в 40-х годах XX века, основывается именно на представлении о фононах. Кинетические уравнения составляются для квазичастиц. Наиболее существенным здесь является вопрос о спектре квазичастиц в жидком состоянии. Теории ферми- и бозе-жидкостей, созданная Л.Д. Ландау вслед за экспериментальными открытиями П.Л. Капицы в настоящее время стали самостоятельными разделами теоретической физики [31]. Важность данной области определяется не только тем, что она позволяет описать поведение изотопов жидкого гелия. Свойства электронов в металлах, рассматриваемых как ферми-жидкость с усложнениями, вносимыми наличием кристаллической решетки, также описываются этой теорией. То же самое можно сказать и об описании явления сверхпроводимости.

Но вопросы, поставленные Я.И. Френкелем, все же остаются. В целом ряде случаев нельзя свести описание кинетического поведения жидкостей (в то числе и равновесного) к фононному представлению. В этом случае приходится возвращаться к исходным положениям статистической механики и на ее основе получать коэффициенты переноса. Так Грином была предложена теория линейной реакции. Для процессов, обусловленных механическим возмущением, в ее рамках Кубо получил коэффициенты переноса в форме интегралов по времени от автокорреляционных функций соответствующих потоков [32,42]. Для процессов, при которых отклонения от равновесия невелики, применимость выводов теории линейной реакции очевидна. В остальных случаях требуется дополнительное обоснование. Кроме того, существуют процессы, которые трудно

свести к дополнительному возмущающему члену в гамильтониане системы.

В результате мы возвращаемся к системе кинетических уравнений для частичных функций распределения (в квантовом случае - матриц плотности) как наиболее последовательному способу решения задач неравновесной теории для систем многих частиц. При этом широко развитые в последние пятьдесят лет методы молекулярной динамики не изменяют существа дела, так как и при их использовании решение задач связано с иерархией времен релаксации [33]. Таким образом, основные принципы построения кинетической теории жидкости были заложены, в основном, в 40-х годах XX века.

Осознание того факта, что последовательной теорией является та, которая основана на использовании кинетических функций распределения, не означает, что в дальнейшем все остальные подходы будут отброшены. Каждый из них содержит рациональное зерно, которое эффективно проявляется для определенных предельных значениях термодинамических параметров, описывающих жидкость. Так теория Энскога успешно применяется для описания жидкости при достаточно высоких температурах [34]. Это стало возможным после того, как был достигнут значительный прогресс в определении двухчастичной равновесной функции распределения системы твердых сфер, которая в данном случае необходима для вычисления транспортных коэффициентов.

Наряду с этим было установлено, что суперпозиционное приближение, использованное ранее для описания равновесных и неравновесных состояний жидкости, не является термодинамически согласованным. Поэтому предложены различные способы его

улучшения [35]. Решение модифицированного кинетического уравнения не было проведено, но его структура в настоящее время может быть проанализирована. Этому способствует высокая степень точности описания поведения системы твердых сфер, в том числе в области фазового перехода, чего не было на первом этапе развития кинетической теории [36].

Таким образом, кинетическая теория жидкости в своем развитии в значительной степени опиралась на результаты, которые были получены в рамках равновесной теории. Во многом ее современное состояние, прогресс в сложных областях квантовых жидкостей [37], а также многокомпонентных жидкостей был обусловлен развитием равновесной теории [38].

Л и т е р а т у р а

1. Гиббс Д.В. Термодинамика. Статистическая механика. М., Наука, 1982.
2. Гельфер Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. М., Высшая школа, 1981.
3. Barker J.A., Henderson D. // Rev. Mod. Phys. 1976. V. 48. N 4. P. 587.
4. Barrat J.-L., Jansen J.P. Basic concepts for simple and complex fluids. N.-Y., Cambridge U. Press, 2003.
5. Ковалевский М.Ю., Пелетминский С.В. Статистическая механика квантовых жидкостей и кристаллов. М., Физматлит, 2006.
6. Боголюбов Н.Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. М.-Л., 1946.
7. Kirkwood J. // J. Chem. Phys. 1946. V. 14. N 3. P. 180.
8. Weinstock J. // Phys. Rev. 1963. V. 132. N 1. P. 454.
9. Kawasaki K., Oppenheim I. // Phys. Rev. 1965. V. 139. N 6A. P.1763.
10. Enskog D. // Kungl. Svenska vetenskapsakademiens handlingar. Stockholm. 1922. V. 63. N 4. P.5
11. Rice S.A., Allnatt A.R. // J. Chem. Phys. 1961. V. 34. N 6. P. 2144.

12. Misguich J.H., Nicolis G. // Mol. Phys. 1972. V. 24. N 2. P. 309.
13. Green M.S. // J. Chem. Phys. 1952. V. 20. N. 8. P.1281.
14. Resibois P. // J. Chem. Phys. 1964. V. 41. N. 10. P. 2979.
15. Lebowitz J.L., Percus J.K., Sykes J. // Phys. Rev. 1969. V. 188. N 1. P. 487.
16. Vlasov A. // J. Phys. 1945. V. 9. N. 1. P.25.
17. Гинзбург В., Ландау Л., Леонтович М., Фок В. // ЖЭТФ 1946. Т. 16. В. 3. С. 246.
18. *Гинсбург В.Л.* О некоторых горе-историках физики // Вопросы истории естествознания и техники 2000. № 4. С. 5-14.
19. Архив МГУ. Фонд 201. Оп. 1. Ед. хр. 777.
20. Боголюбов Н.Н. Избранные труды в трех томах. Т. 2. Киев, Наукова думка, 1970.
21. Боголюбов Н.Н. Разложение по степеням малого параметра в теории статистического равновесия // ЖЭТФ 1946. Т. 16. В. 8. С. 681-690.
22. Боголюбов Н.Н. Кинетические уравнения // ЖЭТФ 1946. Т. 16. В. 8. С. 691-702.
23. Власов А.А. Нелокальная статистическая механика. М.: Наука 1978. С. 4.
24. Chandrasekhar S. // Rev. Mod. Phys. 1943. V. 15. N. 1. P. 1.
25. Kirkwood J.G., Buff F. P., Green M.S. The statistical mechanical theory of transport processes. 111. The coefficients of shear and bulk viscosity of liquids // J.Chem. Phys. 1949. V. 17. № 10. P.988-994.
26. Einstein A., Gengrich N.S. // Phys. Rev. 1942. V. 62. P. 261.

27. Пригожин И. Неравновесная статистическая механика. М., Мир, 1964.
28. Боголюбов Н.Н. О стохастических процессах в динамических системах// Физика элементарных частиц атомного ядра 1978. Т. 9. В. 4. С. 501-579.
29. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. Ленинград, из-во АН СССР, 1945.
30. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.
31. Лифшиц У.М., Питаевский Л.П. Статистическая физика. Ч. 2. Теория конденсированного состояния. М.: Наука, 1978.
32. Kubo R. Lectures in Theoretical Physics. V. 1. N.-Y. 1959.
33. Bazarov I.P., Nikolaev P.N. Theory of many-particle systems. N.-Y.: AIP, 1989.
34. Egorov K.A. // J. Chem. Phys. 2008. V. 128. 174503.
35. Nikolaeva O.P. // Moscow University Physics Bulletin 2008. V. 63. N. 2. P. 101.
36. Де Бур М. // УФН 1953. Т. 51. В. 1. С. 41.
37. Лаггет Э.Дж. // УФН 2004. Т. 174. В. 11. С. 1256.
38. Dijkstra M., van Roij R., Evans R. // Phys. Rev. E 1999. V. 59. N. 5. P. 5744.
39. Born M. // Nature 1947. N 4034. P. 251.
40. Born M., Green H.S. A general kinetic theory of liquids. Cambridge. 1949.
41. Green H.S. Molecular theory of fluids. N.-Y., 1952.
42. Kubo R.// J. Phys. Soc. Japan 1957. V. 12. N 6. P.570.

ISBN 978-5-9905275-1-5



9 785990 527515