

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 5 — 1967

В. Л. БОНЧ-БРУЕВИЧ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ЗА 50 ЛЕТ

История теоретической физики в Московском университете восходит к Н. А. Умову, состоявшему профессором университета в 1897—1911 гг. Однако обстановка, в которой жил и работал Н. А. Умов, не способствовала плодотворной научной деятельности. В 1911 г. после известного разрома, учиненного министром Кассо, Н. А. Умов в числе других профессоров был вынужден покинуть университет, не оставив научной школы. Систематическое развитие теоретической физики в университете началось лишь после Октябрьской революции.

Едва ли не самая характерная черта современного уровня теоретических исследований на физическом факультете — это универсальность. Сейчас нет практически ни одной кафедры, где бы не было теоретиков, и ни одного направления исследований, в котором кто-либо из них не принимал участия. По этой причине полное описание достижений университетских теоретиков мало отличалось бы от обзора научных достижений всего факультета. Здесь пойдет речь лишь о наиболее важных результатах, полученных на «чисто теоретических» кафедрах.

Кафедра теоретической физики была создана в 1921 г. по предложению А. А. Эйхенвальда. Первым ее заведующим (вплоть до кончины в 1923 г.) был С. А. Богуславский, известный глубокими исследованиями по теории движения электронов в электрических и магнитных полях. Сейчас эта задача уже передана в технику. Тогда, однако она составляла предмет теоретической физики и притом предмет большой важности, ибо речь шла в сущности о теоретических основах электроники. Знаменитая «формула Богуславского—Лэнгмюра» ныне стала классической.

Уже в этот начальный период четко проявилась характерная тенденция университетских работ: исследованию подвергались и подвергаются не отдельные частные, более или менее случайно выбранные, задачи, а наиболее актуальные, коренные проблемы теоретической физики. Эта тенденция стала особенно ясной и осознанной, когда с приходом в 1925 г. Л. И. Мандельштама, начался период расцвета теоретической физики в Московском университете. В это время чрезвычайную актуальность приобрела теория колебаний, развития которой настоятельно требовали как практические задачи (радиотехника), так и логика раз-

втия самой науки. Неудивительно поэтому, что физика колебаний оказалась в центре внимания Л. И. Мандельштама и его сотрудников. Существовавшая к тому времени общая теория относилась к линейным системам; нелинейным же задачам было посвящено лишь весьма небольшое число важных и интересных, но все же разрозненных работ. В то же время задачи о генерации незатухающих колебаний требовали подхода, принципиально нелинейного (ясное понимание этого факта со всеми вытекающими из него последствиями составляет важную заслугу школы Л. И. Мандельштама). Привычные идеи и методы линейной теории колебаний здесь были бессильны.

Аспирантом Московского университета (впоследствии — академиком, основателем горьковской радиофизической школы) А. А. Андроновым впервые был найден (в 1929 г.) адекватный нелинейным задачам математический аппарат. Тем самым были заложены основы общей теории нелинейных колебаний, получившей затем блестящее развитие прежде всего в трудах той же московской школы физиков.

Из других работ по теории колебаний, выполненных в то время в Московском университете, следует отметить теорию параметрического резонанса, развитую Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси в начале 30-х годов. Возможность этой теории далеко не исчерпаны. Так, в последние годы она нашла себе применение в полупроводниковой электронике (параметрические диоды).

Труды физиков Московского университета по теории колебаний, суммированные в классической монографии А. А. Андропова, А. А. Витта и С. Э. Хайкина (первое издание которой вышло в 1937 г.), в совокупности составляют одно из крупнейших достижений физики XX в. Этим, однако, не исчерпывается список достижений университетской теоретической физики в предвоенные годы. Фундаментальные результаты были получены еще в четырех направлениях — физической кинетике, теории плазмы, теории твердого тела и квантовой электродинамике.

Исследования в области физической кинетики можно разделить на две группы. Работы первой группы выполнялись в тесном контакте с математиками и были посвящены в основном развитию общих методов решения задач теории флуктуаций в системах с непрерывно изменяющимися параметрами и приложению этих методов к сложным случаям теории броуновского движения. В работах Л. С. Понтрягина, А. А. Андропова и А. А. Витта, А. Н. Колмогорова и М. А. Леонтовича были заложены основы общей статистической кинетики непрерывных систем. Эти исследования, казавшиеся первоначально довольно абстрактными, впоследствии оказались непосредственно связанными с конкретными задачами большого прикладного значения: развитая в них методика составляет ныне рабочий аппарат радиофизики в части, касающейся теории «шумов».

К этой же группе следует отнести и работы В. С. Фурсова и А. Д. Галанина, в которых впервые были рассчитаны флуктуации в идеальном газе Ферми—Дирака и Бозе—Эйнштейна.

В работах второй группы, выполнявшихся А. А. Власовым и В. С. Фурсовым (1933—1939 гг.), была создана последовательная и законченная теория ширины и сдвига спектральных линий в однородных газах. Важная и сама по себе, эта группа исследований по существу явилась мостом к основополагающим работам А. А. Власова по теории электронной плазмы. В этих работах, начатых в 1937 г. и удостоенных в 1945 г. Ломоносовской премии, впервые была ясно понята и математически оформлена основная особенность системы многих заряженных частиц — доминирующая роль коллективных эффектов. До

того времени электронные процессы в плазме пытались описывать на основе стандартной газокинетической картины парных взаимодействий, однако применение этой картины к системе с кулоновскими силами встречалось со значительными трудностями. Как выяснилось, эти трудности носили отнюдь не случайный, а глубоко принципиальный характер: в рассматриваемом случае мы имеем дело с далекодействующими силами, соответственно чему представление о «радиусе действия» сил теряет смысл, и вместо отдельных, редких, но радикальных актов взаимодействия при «парных столкновениях» на первый план выступает самосогласованное взаимодействие сразу многих частиц. Основанные на этой идее уравнения Власова ныне стали уже классическими. Они широко используются при решении ряда задач современной теории плазмы, занимающей столь видное место в физике наших дней.

Из довоенных работ по теории твердого тела прежде всего надлежит отметить выполненное И. Е. Таммом исследование рассеяния света в твердом теле. Стимулированные вначале классическими опытами Л. И. Мандельштама и Г. С. Ландсберга по комбинационному рассеянию света, эти работы, однако, по своему значению вышли далеко за рамки названной конкретной физической задачи. Дело в том, что в них впервые была дана последовательная квантовомеханическая трактовка колеблющейся решетки на основе представления о фононном газе (равно как и введен самый термин «фонон»). В сущности это была первая формулировка замечательной идеи об элементарных возбуждениях — «квазичастицах», идеальный газ которых описывает слабо возбужденные состояния реальной системы сильно взаимодействующих частиц. Эта идея занимает центральное место в современной динамической теории конденсированных систем.

До сих пор не потеряли своего значения также работы И. Е. Тамма, Д. И. Блохинцева и С. П. Шубина по электронной теории металлов, в частности — по теории внешнего фотоэффекта и гальваномагнитных явлений.

В квантовой электродинамике важный результат был получен И. Е. Таммом (1930 г.), который (практически одновременно с Клейном и Нишиной) вывел формулу, описывающую рассеяние света на свободных электронах. Чрезвычайно существенными оказались также выполнявшиеся в группе И. Е. Тамма исследования взаимодействия частиц через промежуточную систему. Эти идеи, в частности, легли в основу первой теории ядерных сил, предложенной И. Е. Таммом и Д. Д. Иваненко (1934 г.).

Говоря о довоенных достижениях теоретической физики в Московском университете, нельзя не упомянуть о сложившихся тогда же традициях преподавания основных теоретических дисциплин. Здесь прежде всего следует назвать замечательные лекции Л. И. Мандельштама, содержащие не только ясное изложение известных фундаментальных результатов, но и глубокий оригинальный анализ тонких проблем теоретической физики. В частности, именно на лекциях по основам квантовой механики (1939 г.) была изложена развитая Л. И. Мандельштамом теория косвенных измерений. Записанные, обработанные и изданные его учениками, лекции Л. И. Мандельштама до сих пор представляют собой непревзойденный образец педагогического мастерства.

Формально к предвоенному периоду относится и начало исследований по теории ускорителей: в 1940 г. Я. П. Терлецким было получено условие устойчивости движения электронов в бетатроне, а также была выдвинута идея безжелезного импульсного бетатрона; эти работы

были удостоены Ломоносовской (1948 г.) и Государственной (1951 г.) премий.

Новый этап, характеризующийся необычайно возросшим темпом и интенсивностью исследований, начался после окончания Великой Отечественной войны. Можно выделить следующие основные направления: 1) квантовая теория поля, теория элементарных частиц и электродинамика; 2) теория гравитации; 3) задача многих тел и статистическая физика; 4) теория атомного ядра.

Интенсивно и успешно исследовались также и другие актуальные проблемы современной теоретической физики, в частности, многочисленные и разнообразные вопросы теории твердого тела, теории колебаний, теории плазмы, молекулярной физики, ускорителей и т. д.

Из работ первого направления выделяются исследования академика Н. Н. Боголюбова и его сотрудников (1951—1956 гг.), посвященные последовательному и математически корректному построению основ теории поля и, в частности, строгому доказательству дисперсионных соотношений. В этих работах, тесно связанных с математическими исследованиями Н. Н. Боголюбова и его школы по теории обобщенных функций, дан глубокий анализ основных постулатов теории и строгим путем получены основные следствия, из них вытекающие. Необходимость в такой уточненной формулировке возникла в связи со своеобразной ситуацией, сложившейся в квантовой электродинамике и в физике элементарных частиц вообще. Развивые в послевоенные годы эффективные методы перенормировки позволили рассчитать ряд весьма тонких эффектов в квантовой электродинамике, при этом было достигнуто поразительно точное соответствие с опытом. Вместе с тем логические основы теории оставались в лучшем случае неясными, а сама процедура перенормировки, сводящаяся к выбрасыванию формально расходящихся величин, вызывала чувство острой математической неудовлетворенности. Первое, что нужно было сделать, — это понять истинный математический смысл перенормировки. Как выяснилось в указанных выше работах, названной методике можно придать четкий математический смысл, причем так называемые «расходимости» возникают просто от некорректного обращения с сингулярными функциями. К сожалению, это не снимает физических трудностей теории: вместо «бесконечных» значений, например, массы и заряда электрона, появляются конечные, но неопределенные и теория их вычислить не может.

Процедура перенормировки, удавшаяся в электродинамике, оказалась неприменимой к некоторым случаям взаимодействия частиц с полями другой природы даже при слабом взаимодействии (не говоря уже о сильном, когда вся программа теории возмущений вообще лишается смысла). Соответственно возник вопрос: какие экспериментально проверяемые утверждения вытекают непосредственно из самих основ теории, без апелляции к той или иной форме теории возмущений или к иным трудно оправдываемым аппроксимациям? Ответ на этот вопрос и составляет содержание дисперсионных соотношений. Строгое их доказательство следует признать одним из крупнейших успехов современной квантовой теории поля.

В последнее время Н. Н. Боголюбов дал оригинальные и изящные доказательства ряда тонких теорем, касающихся групповой классификации элементарных частиц и их взаимодействий. В стиле лучших университетских традиций эти результаты были впервые сообщены на лекциях, прочитанных в весеннем семестре 1966 г.

К числу других важных работ по теории элементарных частиц следует отнести развитую А. А. Соколовым и продолженную его со-

трудниками теорию четырехкомпонентного нейтрино. В этой теории впервые было предсказано существование двух типов нейтрино — «электронного» и «мюонного» (впоследствии этот вывод был подтвержден экспериментально).

Особого внимания заслуживают стоящие на пересечении электродинамики, квантовой механики и теории ускорителей исследования сотрудников кафедры теоретической физики по теории синхротронного излучения. Начатые в 1944 г. Д. Д. Иваненко и И. Я. Померанчуком (АН СССР) и продолженные в 1948 г. Д. Д. Иваненко и А. А. Соколовым, эти исследования были в 1950 г. удостоены Государственной премии. В дальнейшем они составили одно из основных направлений работы в группе А. А. Соколова. Важность их связана с тремя обстоятельствами.

Во-первых, излучение электромагнитных волн ускоряемыми электронами весьма серьезно влияет на работу бетатрона, обуславливая существование «радиационного потолка» набираемой энергии.

Во-вторых, в синхротронном излучении мы имеем дело с электроном, «светящимся» в буквальном смысле слова. Это, по-видимому, самый прямой из имеющихся сейчас методов непосредственного наблюдения электрона.

Наконец, в-третьих, бетатрон с кружащимися в нем электронами представляет собой в сущности не что иное, как «атом» классической теории — и притом атом макроскопических размеров. Как и полагается «классическому атому», он, разумеется, неустойчив из-за излучения, но именно в силу макроскопичности размеров время его существования достаточно велико, чтобы сделать возможным и осмысленным прямое экспериментальное исследование его поведения. Весьма интересен и не тривиален здесь вопрос о возможных квантовых эффектах. Как показали работы А. А. Соколова и И. М. Тернова (1953—1956 гг.), названные эффекты должны проявиться уже в области энергий порядка сотен Мэв. Они приводят к «размазке» (квантовым флуктуациям) радиуса орбиты (макроскопической!), что может быть обнаружено, в частности, оптическим путем (исследования Ф. А. Королева и его сотрудников).

В последние годы теория синхротронного излучения приобрела дополнительный интерес в связи с некоторыми астрофизическими задачами — с проблемой радиоизлучения Солнца и Галактики. Дело в том, что при движении заряженных частиц в протяженных космических магнитных полях реализуются условия, близкие к бетатронным — со всеми протекающими отсюда последствиями.

Своеобразный симбиоз теории элементарных частиц и теории тяготения представляет собой предложенная Д. Д. Иваненко и А. А. Соколовым (1947 г.) теория гравитационных трансмутаций — процессов превращения квантов гравитационного поля в обычное вещество (и обратно). За этой работой последовал большой цикл исследований Д. Д. Иваненко и его группы, посвященных различным вопросам общей теории относительности.

Важнейшие достижения современной теории тяготения связаны с именами акад. Я. Б. Зельдовича и сотрудника ГАИШ И. Д. Новикова.

Их исследованиями создана в сущности новая наука — релятивистская астрофизика.

Одна из самых характерных черт современной теоретической физики состоит в резко возросшем интересе к различным аспектам задачи многих тел. По-видимому, это обстоятельство не случайно, а обуслов-

лено самой логикой развития науки. Статистическая физика прошлого века была в основном физикой идеального или почти идеального газа. Взаимодействие между частицами учитывалось лишь в случае крайней необходимости и притом обычно считалось слабым («столкновения» в кинетической теории газов, малые поправки к уравнению состояния идеального газа). Сейчас в соответствии с задачами современного эксперимента нас больше всего интересуют эффекты, в принципе обусловленные именно наличием различного типа взаимодействий. К числу их относятся, в частности, и ферромагнетизм, и сверхпроводимость и важнейшие явления в плазме (газовой и в твердом теле), и т. д. Более того, центральные задачи физики элементарных частиц (о которых, в частности, говорилось выше) также связаны с непрерывным учетом взаимодействия частиц и полей. Без преувеличения можно сказать, что «взаимодействие» есть «главное слово» в современной теоретической физике. Вместе с тем последовательный и корректный учет его связан, как это давно было известно, с совершенно исключительными математическими трудностями, практически исключающими возможность решения задачи «в лоб» — непосредственно с помощью уравнений движения (Ньютона или Шредингера — безразлично). Соответственно возникла насущная необходимость создания достаточно общих и вместе с тем эффективных методов трактовки систем многих частиц. Сейчас усилиями многих авторов эта задача в значительной степени решена. Ведущую роль здесь сыграли фундаментальные исследования Н. Н. Боголюбова, содержащие как формулировку и развитие общих идей и методов теории многих тел, так и применение их к конкретным физическим задачам.

Математический аппарат современной теории многих тел имеет много общего с аппаратом квантовой теории поля. Причина этого ныне ясна: в обоих случаях мы имеем дело с системами, обладающими большим (в пределе — бесконечно большим) числом степеней свободы. Именно это обстоятельство и было впервые с полной ясностью осознано и использовано в работах Н. Н. Боголюбова и его школы, относящихся к третьему из указанных выше направлений. Здесь можно выделить следующие результаты.

1. Вывод «цепочки» уравнений для последовательных функций распределения (или матриц плотности), справедливый как для классических, так и для квантовых систем, и разработка эффективных методов решения этих уравнений. Будучи применимой как в равновесных, так и в неравновесных задачах, эта методика была использована для последовательного вывода вириальных разложений в теории неидеального газа, для вывода уравнений гидродинамики, обобщенных кинетических уравнений и т. д. Эти исследования Н. Н. Боголюбова были удостоены в 1947 г. Государственной премии. В дальнейшем они продолжались и развивались его учениками Ю. Л. Климантовичем, К. П. Гуровым и др.

2. Развитие метода приближенного вторичного квантования с приложениями к теории неидеального газа Бозе—Эйнштейна, теории ферромагнетизма и т. д. В частности, таким путем в 1947 г. впервые была построена микроскопическая теория сверхтекучести.

3. Создание последовательных методов решения задачи о частице, взаимодействующей с квантовым полем (1950—1953 гг.) с приложениями к теории поляронов. Этому, в частности, была посвящена защитенная в 1954 г. в МГУ докторская диссертация С. В. Тябликова, одного из первых московских учеников Н. Н. Боголюбова.

4. Создание (1957 г.) микроскопической теории сверхпроводимости с помощью чрезвычайно изящного метода «компенсации опасных диаграмм» (в 1957 г. эта работа была удостоена Ломоносовской премии).

5. Формулировка представления о «квазисредних» величинах, позволяющая единым образом рассматривать задачи многих тел с любым типом вырождения.

6. Развитие Н. Н. Боголюбовым и его учениками метода квантовых функций Грина в применении к задаче многих тел и приложение его к различным конкретным вопросам статистической физики и теории твердого тела.

Особого признания заслуживают работы Н. Н. Боголюбова по теории сверхпроводимости и сверхтекучести, в которых было дано изящное решение задач высшей трудности, много лет стоявших в центре внимания физиков. Удостоенные в 1958 г. (вместе с работами по теории поля) Ленинской премии, эти исследования представляют собой одно из самых блестящих достижений квантовой статистической физики.

Обзор всех работ по теории атомного ядра, выполненных в Московском университете, можно найти в статье, посвященной развитию ядерной физики. Здесь мы отметим лишь выдающиеся исследования А. С. Давыдова по теории несферических ядер. Идея об асимметрии ядер позволила А. С. Давыдову с помощью сравнительно простых средств успешно объяснить большую совокупность экспериментальных данных.

Говоря о развитии теоретической физики в Московском университете, нельзя не упомянуть еще об одной важной стороне деятельности университетских теоретиков, которую несколько условно можно было бы назвать научно-организационной и научно-педагогической. Речь идет не столько о чисто организационной деятельности, связанной с проведением различного рода конференций (хотя и она очень важна), сколько об университетских семинарах. Семинары Л. И. Мандельштама в предвоенные годы, работавший в течение нескольких лет университетский семинар Н. Н. Боголюбова, семинары М. А. Леонтовича и И. М. Лифшица, Д. Д. Иваненко и др. были и являются настоящими «центрами кристаллизации» в соответствующих областях теоретической физики. Влияние их на рост и воспитание научной молодежи едва ли можно переоценить.

Не меньшее значение в этом смысле имеют и учебники и оригинальные монографии, созданные университетскими учеными. Нет ни одного из крупных физиков-теоретиков Московского университета, кто не внес бы сюда свой вклад. По книгам, ими написанным, учились и учатся многие сотни студентов и аспирантов — как в нашей стране, так и за рубежом.
