

Современная физика в курсе «История и методология физики»

П. Н. Николаев*

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра квантовой статистики и теории поля
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2*

(Статья поступила 13.06.2017; Подписана в печать 15.06.2017)

Исследуются принципы построения изложения современной физики в курсе «История и методология физики». Отмечена причинная связь состояния современной физики и содержания курса «История и методология физики».

PACS: 01.65.+g, 01.70.+w.

УДК:53

Ключевые слова: история науки, философия науки.

ВВЕДЕНИЕ

Ход развития науки в двадцатом столетии ознаменовался коренными изменениями в развитии физики. В первой половине столетия появились квантовая и релятивистская физика [1, 2]. В связи с этим изменились многие основополагающие представления о природе. Во второй половине изменяется организационное строение науки в целом и физики в частности. Влияние науки на развитие общества стало огромным.

Современный этап развития физики следует разделить на периоды с учетом внешних связей с другими науками и социальными институтами в силу сильных интеграционных тенденций [2]. Здесь выделяются два периода: период неклассической физики (до 1985 г.) и период постнеклассической физики. Это два связанных, но принципиально разных по характеру периода развития физической науки. Их изучению и посвящена настоящая работа.

Развитие физики продолжается. Возникают новые проблемы, которые либо решаются, либо до сих пор ждут своего решения. Постоянно существуют различные точки зрения на решение тех задач, которые стоят перед физикой. Перед историей и методологией науки стоит задача не только объективного и полного изложения фактического материала, но и выделения наиболее перспективных направлений развития. Окончательную оценку этой работы дает только время. Эта оценка редко появляется сразу. Чаше проходят годы, а иногда — столетия.

1. НЕКЛАССИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Возникшая в XX веке релятивистская и квантовая физика ознаменовала переход к неклассической физике. Возникло представление о границах применимости классической физики. Во многом оно связано с развитием физики микромира.

По своей структуре XX век с точки зрения изучения элементарных частиц можно разделить на четыре периода: 1897–1926 гг. — электроны и атомные ядра, 1926–1935 гг. — лептоны и нуклоны, 1935–1964 гг. — лептоны и адроны, 1964– .. гг. — лептоны и кварки [3].

Первый период начинается с открытия электрона и заканчивается созданием основ квантовой механики. Этот период ознаменовался экспериментальным и теоретическим обоснованием сложного строения атома: установлено существование атомных ядер (Э. Резерфорд, 1911 г.) и электронных оболочек, создана планетарная модель атома Резерфорда–Бора, построена квантово-механическая модель атома.

В этот период были открыты фундаментальные единицы строения материи — первые элементарные частицы: электрон как первичный носитель наименьшего элементарного отрицательного электрического заряда и протон (Э. Резерфорд, 1919 г.) — ядро атома водорода, несущее элементарный положительный электрический заряд [4].

Абсолютные значения зарядов протона и электрона оказались равными. Одновременно формируется представление о фотоне, кванте света — дискретной элементарной порции светового излучения с энергией $E = h\nu$, распространяющейся в пространстве со скоростью света.

В 1924 г. Бозе предлагает свой способ вывода формулы Планка. Обобщение этого метода Эйнштейном привело к появлению статистики Бозе–Эйнштейна (1924–1925 гг.). Рассматривая системы частиц, для которых должен выполняться принцип Паули, Ферми создает в 1926 г. статистику, получившую в дальнейшем название статистики Ферми–Дирака.

Устанавливается единая электромагнитная природа внутриатомных сил, связывающих электроны атома с его ядром, а затем и межатомных и межмолекулярных сил.

На завершающей стадии формирования классической электродинамики — электродинамики Максвелла–Лоренца, а именно при решении проблемы построения электродинамики движущихся тел, создается необычайно общая принципиально новая фундаментальная физическая теория — теория относительности.

*E-mail: nikolaev@phys.msu.ru

Рассматриваемый период включает в себя и создание теории гравитации — общей теории относительности, которая уже на первом этапе своего развития получает экспериментальное подтверждение.

Второй период начинается с построения релятивистской квантовой механики и заканчивается открытием и описанием сильного и слабого взаимодействий.

В 1926 г. ряд ученых, в том числе В. А. Фок, О. Клейн, В. Гордон, Э. Шредингер, предпринимают попытки получить релятивистское квантово-механическое уравнение.

Полученное уравнение Клейна–Фока–Гордона, решавшее проблему, как стало ясно позже, для частиц со спином, равным нулю, в общем случае оказалось неприемлемым.

В общем виде данная задача была решена в 1928 г. П. Дираком. Введенное им релятивистское уравнение привело к строгому теоретическому обоснованию наличия у электрона собственного момента количества движения и к предсказанию первой античастицы — позитрона (e^+) (1930–1931 гг.).

В 1932 г. позитрон был обнаружен в космических лучах К. Андерсоном.

П. Дирак ввел концепцию вторично квантованного поля как систему с переменным числом микрочастиц — квантов поля, способных рождаться и уничтожаться.

С каждым типом элементарных частиц с этого времени стали связывать свое вторично квантованное поле, кванты которого и отождествляются с рассматриваемыми элементарными частицами.

Эта концепция нашла свое первое конкретное воплощение в теории взаимодействия вторично квантованных электромагнитного и электронно-позитронного полей — квантовой электродинамике, основы которой были заложены в работах П. Дирака, В. Гейзенберга, В. Паули, Э. Ферми, В. А. Фока и др.

Открытие Дж. Чедвиком в 1932 г. второй ядерной частицы — нейтрона — привело в результате к установлению протонно-нейтронной структуры атомных ядер Д. Д. Иваненко и В. Гейзенбергом. Теперь в рассмотрение вводится сильное взаимодействие, ответственное за внутриядерные силы, и слабое, объясняющее бета-активное превращение атомных ядер.

В 1933 г. Э. Ферми создал первый вариант теории слабых взаимодействий. Одновременно предпринимаются попытки построения мезонной теории внутриядерных сил И. Е. Таммом и Д. Д. Иваненко в 1934 г., а также Х. Юкавой в 1935 г.

Д. В. Скобельцын в 1927 г. впервые наблюдал в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле, следы заряженных частиц высоких энергий космического излучения. Он заложил основы физики высоких энергий.

В 1928 г. Дж. Хартри разработал приближенный метод решения задач теории многих частиц — метод самосогласованного поля. В 1930 г. этот метод был развит с учетом статистики (метод Хартри–Фока).

И. Ленгмюр и Л. Тонкс в 1929 г. заложили основы теории плазмы — четвертого состояния вещества. Они установили наличие плазменных колебаний.

В 1931 г. Л. Онсагер развивает термодинамику линейных необратимых процессов и устанавливает соотношение взаимности (соотношение взаимности Онсагера) (Нобелевская премия по химии 1968 г. «за формулировку соотношений взаимности в необратимых процессах, носящих его имя и имеющих важное значение для термодинамики необратимых процессов»).

В 1934 г. П. А. Черенков открывает эффект свечения веществ под действием заряженных частиц сверхсветовой скорости, теория которого была разработана в 1937 г. И. Е. Таммом и И. М. Франком. Все они были удостоены Нобелевской премии по физике за 1958 г.

Третий период начинается с экспериментальных поисков π -мезонов и заканчивается обнаружением омега-минус-гиперона.

С одной стороны, были обнаружены и изучены все необходимые для построения первоначальной картины элементарные частицы. С другой, открытие очень большого числа новых элементарных частиц, главным образом сильно взаимодействующих, поставило под сомнение сам вопрос об элементарности этих микрочастиц.

В этот период в квантовой электродинамике удалось решить проблему возникающих расходящихся выражений с помощью перенормировок — подхода, развитого в работах С. Томонаги, Р. Фейнмана, Ю. Швингера, Ф. Дейста.

В 1938 г. выходит статья А. А. Власова «О вибрационных свойствах электронного газа», ознаменовавшая новый этап описания систем заряженных частиц. Для системы трех сортов частиц (совокупность электронов, ионов, нейтральных частиц) А. А. Власов предлагает систему трех кинетических уравнений, которая наряду с интегралами столкновений Больцмана содержит новый элемент — самосогласованное поле. Уравнение, полученное Власовым и описывающее плазму, теперь называют кинетическим уравнением Власова для плазмы.

В результате были заложены основы описания четвертого состояния вещества — плазмы.

Среди всех веществ гелий обладает целым рядом свойств, которые являются уникальными. В рассматриваемый период в данной области было сделано много открытий.

Фонтанирование жидкого гелия II (термомеханический эффект) был открыт Дж. Алленом и Х. Джонсом в 1938 г. В том же году П. Л. Капица и Дж. Аллен независимо открывают сверхтекучесть гелия II.

В 40-х годах особенно актуальной стала проблема статистического описания неравновесных процессов. В это время существовала, с одной стороны, последовательная статистическая механика Гиббса, разработанная им для равновесных процессов, а с другой — полученные независимо кинетические уравнения для одночастичных функций распределения.

Проблема динамической теории в статистической физике была рассмотрена Н. Н. Боголюбовым. Он предложил подход, который лег в основу статистической теории неравновесных систем.

В 50-х годах XX века появляются фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию генераторов и усилителей нового типа — мазеров и лазеров. За эти работы Ч. Таунс, Н. Г. Басов и А. М. Прохоров были удостоены Нобелевской премии по физике за 1964 г.

Четвертый период начался с того, как в первые месяцы 1964 г. М. Гелл-Манн и Дж. Цвейг предложили составную модель адронов. Они ввели представление о кварках u, d, s со спином $1/2$ и соответствующих антикварках.

Кварки и антикварки имеют дробный электрический и барионный заряд. Позже были введены и так называемые тяжелые кварки s, b, t . Постепенно стало увеличиваться число параметров, характеризующих эти частицы. Получила развитие и теория этих частиц — квантовая хромодинамика.

В 1964 г. было введено и представление о бозоне Хиггса. Эта элементарная частица, отвечающая за инертную массу элементарных частиц, была обнаружена на Большом адронном коллайдере в 2012 г.

Эксперименты второй половины 60-х годов, проведенные на ускорителях, привели к установлению существования в нуклонах силовых центров.

В это же время Ш. Глэшоу, А. Салам и С. Вайнберг строят теорию, объединяющую электромагнитные и слабые взаимодействия (Нобелевская премия за 1979 г. «за работы по созданию теории, объединяющей слабое и электромагнитное взаимодействия элементарных частиц, особенно за предсказание существования нейтральных слабых токов»).

Теория Глэшоу–Вайнберга–Салама предсказывала существование W^+ , W^- и Z -бозонов. Они были открыты в ЦЕРНе в 1983 г. Уже через полгода после этого события основные авторы проекта К. Рубиа и С. ван дер Меер получили Нобелевскую премию по физике «за определяющий вклад в проект, осуществление которого привело к открытию частиц, переносящих слабые взаимодействия» (1984 г.).

В 1972 г. Д. Ли, Д. Ошерофф и Р. Ричардсон открыли сверхтекучесть в гелии-III (Нобелевская премия по физике за 1996 г.).

В 2003 г. Нобелевская премия по физике была присуждена А. Абрикосову, В. Гинзбургу, Э. Леггету «за вклад в развитие теории сверхпроводимости и сверхтекучести».

2. ВРЕМЯ РАДИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕН

В последней четверти XX века в физике, да и в науке в целом, произошли радикальные изменения [1, 2]. Это связано с целым рядом факторов, главным из которых стало превращение науки в такую область де-

ятельности человека, которая непосредственно влияет на производство. В результате появились новые науки и новые технологии, которые в принципе изменили классическое представление о науке.

Нельзя сказать, что это стало неожиданностью. Уже в середине XX века наблюдался бум в развитии науки [5–8]. Это было характерно и для физики. В развитие научных исследований вкладывались огромные средства, величина которых постоянно возрастала. Росло и число людей, занимавшихся научными исследованиями.

Возникшее примерно в это время науковедение предсказывало к концу XX века коллапс в развитии науки, связанный с тем, что у общества просто не хватит средств для поддержания таких темпов развития науки. Государства не стали ждать коллапса, а стали постепенно сокращать финансирование науки [2].

Но ресурсы для поддержания высоких темпов научных исследований возникли внутри самой науки. Это связано, во-первых, с радикальным увеличением скорости вычислений, и, во-вторых, с принципиально новыми возможностями и объемами хранения информации.

Появившиеся возможности привели в свою очередь к коренным преобразованиям в организации самой науки, включая физику. Если во второй половине XVII века появляются первые научные журналы, число которых возрастало исключительно медленно, то во второй половине XX века появляются первые электронные журналы, число которых стремительно увеличивается.

Возникла проблема оценки качества поступающей информации и представления ее в виде, который ученые способны освоить [9]. Если с начала второй половины XX века никто из физиков уже не рисковал утверждать, что он является специалистом во всех ее областях, то к концу XX века, а особенно в начале XXI, возрастает число узко специальных направлений.

Возникла нетривиальная задача как перед физикой в целом, так и перед историей и методологией физики: что в данной области остается общим, несмотря на все многообразие исследуемых явлений, используемого математического аппарата и организационного оформления? Сами группы исследователей стали варьироваться от нескольких человек до нескольких тысяч. При этом финансирование изменяется от весьма скромного до огромных размеров, которые зачастую не по силам отдельным государствам [1, 2].

При всем многообразии современной физики в ней остаются те проблемы, которые принято называть «вечными»: пространства, времени, движения, представления о жизни с точки зрения физики [1]. Эти общие проблемы объединяют физиков вне зависимости от тех узких специальных областей, где они работают. Наличие «вечных» проблем говорит о том, что современная физика, строго говоря, не ограничена временными рамками. В зависимости от ситуации проблемы, известные очень давно, становятся современными и актуальными.

При этом история науки знает множество примеров, когда проблема была решена, но актуальной она становится лишь через несколько веков, а иногда и тысячелетий. Достаточно вспомнить эолопил Герона, созданный в первом веке до нашей эры, который по существу явился прототипом паровой турбины, изобретенной во второй половине XIX века [2].

С «вечными» проблемами связаны фундаментальные исследования. Представление о них берет свое начало со времен Аристотеля, который писал, что «все люди от природы стремятся к знаниям» [10]. Но строгое определение фундаментального исследования дать сложно. Обычно к таким исследованиям относятся как к некоторому первичному понятию, которое уже не определяется. Есть достаточно грубое определение фундаментальных исследований как тех, практическая польза которых изначально не очевидна. При этом утверждается, что в дальнейшем полезность фундаментальных знаний обязательно проявится.

В результате фундаментальных исследований создана фундаментальная наука, которая во многом определяет наше представление об окружающем мире. Считается, что прикладные исследования проводятся с использованием фундаментальных знаний, хотя это, увы, не всегда так. Логика прикладных исследований во многом, если не во всем, определяется текущей конъюнктурой.

Начиная со второй половины XX века в физике начинают использоваться новые методы исследования — метод молекулярной динамики (ММД) и метод Монте–Карло (ММК), которые позволили исследовать системы большого числа частиц и процессы, происходящие в них, без больших материальных затрат. Возможности исследований в области физики значительно расширились, особенно после появления мощных суперкомпьютеров.

Вместе с тем осталось актуальным утверждение, что физика — наука экспериментальная. В последние десятилетия планируются и проводятся эксперименты, которые требуют огромных капитальных вложений, а сроки работ растягиваются на годы и десятилетия (например, поиски кварков, бозона Хиггса, гравитационных волн и т. д.). В ряде случаев эти поиски не увенчиваются успехом.

В силу длительности подготовки и проведения некоторых экспериментов сам их процесс становится пред-

метом исторического исследования. Все это приводит к тому, что процесс изложения современной физики в рамках курса «История и методология физики» должен осуществляться с максимально возможным учетом постоянно изменяющегося содержания физики как науки [2, 11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие физики с начала XX века принято называть периодом современной физики.

Данный период начинается с формирования принципиально новых областей — релятивистской и квантовой физики. В результате возникло представление о границах применимости классической физики. Все области физики преобразуются на основе нового подхода. Возникают совершенно новые области и принципиально новые возможности применения физики.

Серьезное влияние на развитие физики оказала ядерная программа, развиваемая в целом ряде стран и используемая в военных целях. В дальнейшем данное направление трансформировалось и достижения ядерной физики стали применяться и в других областях (атомная энергетика, медицина и т. д.).

Начиная с середины XX века физика начинает играть существенно большую роль в обществе. Начавшаяся космическая программа способствовала этому.

Но к 70-м годам ускоренное развитие физики и науки в целом привело к диссонансу с производством и другими областями: возникли перспективы непомерных трат на развитие науки. В результате финансирование науки начинает сокращаться.

Выход из сложившегося положения был найден в рамках самой науки. Развитие компьютерной техники позволило существенно увеличить эффективность научных исследований.

Компьютерные технологии изменили не только характер науки, но и жизнь общества в целом. Они создали принципиально новые возможности, которые привели к появлению новых наук и новых технологий.

В XXI веке физика развивается уже в рамках новой реальности, возникают новые проблемы. Но это уже проблемы новой современной физики.

[1] Гинзбург В. Л. УФН. 2004. **174**, № 11. С. 1240.

[2] Николаев П. Н., Николаева О. П. История и методология физики. Том 4. История современной физики. М., 2016.

[3] Боевич А. А. Очерки по истории физики микромира. Минск, 1990.

[4] Ишханов Б. С., Капитонов И. М., Юдин Н. П. Частицы и атомные ядра. М., 2013.

[5] Кун Т. С. Структура научных революций. М., 1975.

[6] Спасский Б. И. История физики. Части 1 и 2. Высшая

школа. М., 1977.

[7] Кудрявцев П. С. Курс истории физики. Просвещение. М., 1982.

[8] Селье Г. От мечты к открытию. М., 1987.

[9] Nature. 2017. **541**. P. 14.

[10] Аристотель. Сочинения. В 4-х томах. Мысль. М., 1975–1983.

[11] Stanley M. Physics Today. 2016. **69**, N 7. P. 38.

Modern physics in the course «History and methodology of physics»**P. N. Nikolaev***Department of Quantum Statistics and Field Theory, Faculty of physics, Lomonosov Moscow State University**Moscow 119991, Russia**E-mail: pnikolaev@phys.msu.ru*

The principles of the construction the exposition of the modern physics in the course «History and methodology of physics» is investigated. The causal link between the state of modern physics and the content of the course «History and the methodology of physics» has been noted.

PACS: 01.65.+g , 01.70.+w.

Keywords: history of science, philosophy of science.

Received 13 June 2017.

Сведения об авторе

Николаев Павел Николаевич — доктор физ.-мат., профессор; тел.: (495) 939-12-90, e-mail: nikolaev@phys.msu.ru.
