

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт истории естествознания и техники им С.И.Вавилова

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

для подготовки
к кандидатскому экзамену

по
ИСТОРИИ
и
ФИЛОСОФИИ НАУКИ

ИСТОРИЯ
ФИЗИКИ



Москва
«Янус-Ко»
2003

УДК 53(091)
ББК 22.3r
М.545

Методические материалы для подготовки к кандидатскому экзамену по истории и философии науки (история физики). Сост. и ред. Вл.П. Быков. – М.: «Логос-К», 2003. 124 с.

ISBN 5-8037-132-7

Предлагаемый Вами кандидатский выпуск методических материалов для подготовки к кандидатскому экзамену по специальности «История и философия науки» (история физики) предназначен для соискателей ученой степени кандидата физико-математических наук. В сборнике включены программы кандидатского экзамена, общий комментарий к структуре программы и пособия по истории физики, три главы, посвященные физическим знаниям в античности, формированию и развитию общей теории относительности и истории физики конденсированного состояния и квантовой электроники, а также библиографический указатель русскоязычной литературы по истории физики.

© Вл. П. Быков, ред. составитель, 2003
© ИИФТ РАН, 2003

ISBN 5-8037-132-7

Содержание

Предисловие редактора-составителя	4
<i>Вызум Вл. П.</i>	
Программа кандидатского экзамена	5
<i>Вызум Вл. П. и др.</i>	
Общий комментарий к структуре программы и пособия по истории физики	13
<i>Вызум Вл. П.</i>	
Физические знания в Античности	20
<i>Бююк Д. А., Кирсанов В. С.</i>	
Общая теория относительности: формирование и развитие	45
<i>Вызум Вл. П.</i>	
Физика конденсированного состояния и квантовая электроника	63
<i>Кессенит А. В.</i>	
Приложение 1	85
Приложение 2	89
Библиографический указатель литературы по истории физики на русском языке	89
<i>Токымын К. А.</i>	

Предисловие редактора-составителя

Предлагаемая брошюра содержит проект программы кандидатского монографии по истории физики, разработанный сектором истории физики и механики ИИЭТ РАН; комментарий к ней и к структуре пособия, на нее опирающееся; а также предварительные варианты трех глав этого пособия, посвященных античной физике, общей теории относительности и развитию физики конденсированного состояния. Материалы завершаются обширным библиографическим указателем русскоязычной литературы по истории физики, который выходит далеко за пределы планируемого пособия, но будет весьма полезным дополнением как для аспирантов, так и для преподавателей.

Выбор тематики для предварительных вариантов глав диктовался обладением необходимых пропорций между материалами по истории доклассической науки и истории современных разделов физики. Сопоставление античной науки с наукой ХХ в. демонстрирует, с одной стороны, единство физического знания, а с другой стороны масштаб свершений в науке о природе. Есть все основания считать, что ХХ в., золотой век физики, войдет в историю не только как столетие освоения ядерной энергии и полетов в ближний космос, но и как век расширяющейся Вселенной, черных дыр и т. д., а также как век транзисторов, сверхпроводящих соленоидов, мазеров и лазеров.

Цель нашего комментария к программе (и соответственно к структуре планируемого пособия) – указать на неизбежность включения даже в столь краткое и прагматически ориентированное пособие некоторых элементов социокультурного, философского и философско-научного рода и подчеркнуть необходимость некоторого смещения распространенного соотношения «доклассики», «классики» и «современности» в сторону «современности».

Об авторстве: программа составлена мною при участии В.С.Кирсанова и Д.А.Бакса («Доклассическая физика» и «Научная революция XVII в.»), Н.В.Вдовиченко («Физика тепловых явлений»), А.В.Кессениха («Физика конденсированного состояния и квантовая электроника»). Комментарий и раздел по общей теории относительности написаны мною. Раздел «Физические знания в Античности» подготовлен Д.А.Баксом и В.С.Кирсановым. Раздел по истории физики конденсированного состояния и квантовой электроники написал А.В.Кессених. Библиографический указатель русскоязычной литературы по истории физики составил К.А.Томилин.

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

«История и философия науки»

ИСТОРИЯ ФИЗИКИ

1. Введение в физику

Натурфилософские корни физики. Физика в системе естественных наук. Физика и техника. Эксперимент и теория. Физическое явление, законы природы и принципы физики. Математические структуры физических теорий. Физика и философия. Институционализация физики. Научное сообщество физиков. Методологические подходы к изучению развития физики: картины мира, исследовательские программы, научные революции.

2. Доклассическая физика

2.1. Физические знания в Античности. От натурфилософии к статике Архимеда и геоцентрической системе Птолемея.

Эволюция представлений о природе и ее первоначалах у досократиков. Амфитеатрийские атомисты (Леокинт, Демокрит, Эпикур, Лукреций Кар). Пифагор и Платон – прародители математического естествознания. Физика и космология Аристотеля. Типы движения и аристотелевы диахотомии небесного и подземного миров, а также естественного и насильственного движений. Евклид и его «Начала». Архимед и Герон Александрийский: законы рычага и гидростатики, пять простых машин. Проблема измерения времени. Теория движения Иоанна Фаллонона. Оптика Евклида, Архимеда, Герона Александрийского и Птолемея. Геоцентрическая система мира Птолемея.

2.2. Физика Средних веков (XI–XIV вв.).

Упадок европейской науки. Основные античные знания арабской (мусульманской) наукой: статика и учение об удельных весах (ал-Бируни, ал-Хазин и др.), оптика (Альхазен и др.), строение вещества (Андрров). Влияние арабов на возрождающуюся европейскую науку XI–XIII вв.

Возникновение университетов. Пути примирения веры и рационального знания. Статика в сочинениях Иордана Неморария. Кинематические исследования У. Гейтбера и Т. Брадвардина (возмущение скорости неравномерного движения), а также У. Откана и Ж. Бурдадана (концепция импульса и проблема относительности движения). Учение о свете (Р. Гроотест, Р. Бекон, Э. Виттальий).

2.3. Физика в эпоху Возрождения и квантовая революция в астрономии (XV–XVI вв.).

Возрождение культурных ценностей античности. Феномен гуманизма и его связь с познанием природы. Влияние герметической и каббалистических традиций. Сближение инженерного дела и естественных наук.

Физические открытия, механизма и изобретения Леонардо да Винчи (законы трения, явления капилярности, фотометрия и геометрическая оптика и т.д.). Статистика и гидростатика С. Стивена, Н. Тарталья, Дж. Бенедетти и др. – предшественники галилеевского учения о движении. Создание Н. Коперником гелиоцентрической системы – важная предпосылка научной революции XVII в.

3. Научная революция XVII в. и ее вершина – классическая механика Ньютона

3.1. Галилеевский, предновтоновский, период

Кеплеровские законы движения планет. Механика Г. Галилея. Метод мысленного эксперимента. Закон падения тел, принципы инерции и относительности, параболическая траектория движения снаряда. Разрушение аристотелевской двойственности физических законов.

Галилей – наблюдатель и экспериментатор. Процесс Галилея.

Методология науки в сочинениях Ф. Бэкона и Р. Декарта. Картезианская картина мира и вклад Декарта в физику. Академии – основные формы институционализации науки.

Механика Х. Гейгельса. Динамика разномерного крутого движения, формула центробежной силы. Магнитные часы. Законы сохранения. Теория физического маятника. Теория упругого удара.

Основные достижения физики XVII в. Исследования У. Гильберта в области электричества и магнетизма. Геометрическая оптика И. Кеплера, В. Снелльса и Декарта; принцип П. Ферма. Конечность скорости света (О. Ремер). Наблюдения дифракции света (Ф. Гриимальди, Р. Гук). Волновая теория света Гейгельса. Учение о пустоте, пневматика, учение о газах и теплоте (О. Герике, Э. Торричелли, Б. Паскаль, Р. Бойль и др.).

3.2. Создание Ньютона основ классической механики и математики

«Математические начала натуральной философии» Ньютона. Путь Ньютона к созданию «Начала». Структура «Начала». Представление о пространстве и времени (абсолютные пространство и время, симметрии пространства и времени, принцип относительности). Три основных закона ньютоновской механики. Закон всемирного тяготения и небесной механики. Выход законов Кеплера. Место законов сохранения в системе Ньютона. Ньютонская космология. Геометрические и дифференциально-аналитические формулировки законов механики. Вклад Г. Лейбница в механику. Оптика Ньютона.

3.3. Восприятие и развитие классической механики и становление физики как самостоятельной науки

Восприятие механики Ньютона в континентальной Европе. Аналитическое развитие механики: от А. Эйлера и Ж. Даламбера до Ж.-Л. Лагранжа и У. Р. Гамильтонова. Создание основ гидродинамики (А. Эйлер, Д. Бернулли, Даламбер). Успехи небесной механики, особенно в трудах П.С. Лапласа.

Классико-механическая картина мира (программа «молекулярной механики» Лапласа).

Исследование электричества и магнетизма – на пути к количественному эксперименту (Г. Рихман, Г. Клемендиш, О. Кулон). Флюидные и эфирные представления об электричестве Б. Франклина, Ф. Энниуса, М. В. Ломоносова и А. Эйлера. «Гальванизм» и явление электрического тока (А. Гальванни, А. Вольта, В. В. Петров).

Развитие основных понятий учения о теплоте; представление о теплопроводе и кинетической природе теплоты (М.В. Ломоносов, Дж. Блэк, А. Анигульский). Корпускулярная сингексия: от Ньютона до Лапласа. Элементы волновых представлений о свете (Эйлер).

4. Классическая физика

4.1. Начало формирования классической физики на основе точного эксперимента, фематико-аналитического подхода в математическом анализе (1800–1820-е гг.)

Парижская Политехническая школа – детище Великой французской революции и лидер математико-аналитического подхода к физике. Волновая теория света О. Френеля (его предшественник Т. Юнг, ее развитие в работах О. Коши). Электродинамика А.М. Ампера. Теория теплопроводности Ж. Фурье. Теория тепловых машин С. Карно. Ключевая концепция Фурье – физика как теория дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка. Освоение французского опыта в Германии (Г.С. Ом, Ф. Нейман и др.), Британии (Дж. Грин, У. Томсон и др.), России (Н.И. Лобачевский, М.В. Остроградский и др.). Формирование физики как научной дисциплины в России (от Э.Х. Ленца до А.Г. Столетова).

4.2. Единая наука: теория электричества, математика и света: от М. Фарадея к Дж. К. Максвеллу (1830–1860-е гг.)

Накопление знаний об электричестве и магнетизме в 1820–1830-е гг. (Дж. Генри, М. Фарадей, Э.Х. Ленц, Б.С. Якоби, А. Нобелли и др.).

Фарадеевская программа синтеза физических взаимодействий на основе концепции близкодействия. Открытие Фарадеем электромагнитной индукции. Силовые линии и идея поля у Фарадея. Электродинамика дальнодействия и ее конкуренция с программой близкодействия (В. Вебер, Ф. Нейман, Г. Гельмгольц и др.). Генезис теории электромагнитного поля Максвелла. Уравнения Максвелла. Электромагнитные волны и электромагнитная теория света. Представление о локализации и потоке энергии электромагнитного поля (Н.А. Умов, Дж. Пойнтинг и др.). Опыты Г. Герца с электромагнитными волнами и другие экспериментальные подтверждения теории (П.Н. Лебедев и др.). Симметричная формулировка уравнений Максвелла Г. Герцем и О. Хенкайцом.

4.3. Физика пылевых зарядов. Закон сохранения заряда и основы термодинамики (1840–1860-е гг.)

Открытие закона сохранения энергии как соотношения энергетической эквивалентности всех видов движения и взаимодействия (Дж.П. Джоуль,

Г. Гельмгольц и Р. Майер, 1840-е гг). Введение У. Томсона в абсолютной шкалы температуры. Соединение идей С. Карно с концепцией сохранения энергии – рождение термодинамики в работах Р. Клаузиуса, У. Томсона и У. Ранкина (1850-е гг). Второе начало термодинамики для обратимых и необратимых процессов, понятие энтропии и проблема «тепловой смерти» Вселенной. Последующее развитие термодинамики: химическая термодинамика Дж.У. Гиббса, третье начало термодинамики В. Нернста и элементы термодинамики неравновесных процессов.

4.4. Физика газовых лентий. Кинетическая теория газов и статистическая механика (1850–1900-е гг.)

Кинетическая теория газов Клаузиуса и Максвелла (и их предшественников). Создание основ статистической механики: распределение Максвела-Больцмана, от попытки механического обоснования 2-го начала термодинамики к его статистическому обоснованию Больцманом. Кинетическое уравнение Больцмана. Развитие статистической механики Гиббсом. Теория броуновского движения и доказательство реальности существования атомов (А. Эйнштейн, М. Смолуховский). Эргодическая гипотеза и ее развитие в XX в. Статистическая физика.

5. Научная революция в физике в первой трети XX в. и ее вершина – квантово-реалистические теории

5.1. Электрический профиль в микромире; кризис классической физики; электромагнитно-полевая картина мира

Лавина экспериментальных открытий: рентгеновские лучи, радиоактивность, электроны, эффект П. Зеемана и т.д. Кризис классической физики: проблемы эфирного ветра, распределение энергии излучения в спектре черного тела, статистического обоснования 3-го начала термодинамики и др.; критика классико-механической картины мира. Электронная теория Х.А. Лоренца и электромагнитно-полевая картина мира.

5.2. Квантовая теория излучения М. Планка. Статистика А. Эйнштейна (1900-е гг.)

Предыстория: появление абсолютно черного тела, законы теплового излучения (Г. Кирхгоф, Й. Стефан, А. Больцман). Проблема распределения энергии в спектре излучения абсолютно черного тела и ее светотехнические истории. Первые попытки решения проблемы: формулы В.А. Михельсона, В. Вина, Дж. Рэля, М. Планка. Квантовая гипотеза Планка; постоянная Планка; планковский закон излучения. Световые кванты Эйнштейна и квантовая теория фотозефекта. Открытие Эйнштейном корпускулярно-волнового дуализма для света.

5.3. Специальная теория относительности (1900-е гг.)

Опыт А. Майкельсона – Э. Морли. Сокращение Фитцджеральда – Лоренца и преобразование Лоренца. Работы Лоренца, А. Пуанкаре и Эйнштейна (1904–1906 гг.) – создание фундамента специальной теории относительности. Завершение теории Эйнштейном: аксиоматика теории, операционально-

измерительная и кинематическая трактовки теории, отказ от эфира. Экспериментальное подтверждение теории относительности. Четырехмерная формулировка теории Г. Минковским. Релятивистская перестройка классической физики. Возникновение на основе теории относительности теоретико-математического подхода.

5.4. Общая теория относительности. Релятивистская космология. Проекты гравитационного единства гипотез физики (1910–1920-е гг.)

Положение в теории тяготения на рубеже XIX и XX вв. Принцип эквивалентности Эйнштейна, основанный на релятивистском толковании равенства инерционной и гравитационной масс.

Тензорно-геометрическая концепция гравитации. Открытие А. Эйнштейном и Д. Гильбертом общековариантных уравнений гравитационного поля – завершение основ теории. Возникновение релятивистской космологии от А. Эйнштейна до А.А. Фридмана. Последующее развитие теории и ее экспериментальное подтверждение.

Проекты единых теорий поля, основанные на идее геометризации физических взаимодействий, и их неудачи (теория Г. Вейля, Т. Калуцы – О. Клейна, А. Эйнштейна). Эвристическое значение единых теорий поля.

5.5. Квантовая теория атома Бора и ее發展 (1910–1920-е гг.)

Серальные спектры и ранние модели структуры атомов. Открытие З. Резерфордом ядерного строения атомов. Квантовая теория атома водорода Бора. Принцип соответствия Бора. Квантовые условия Бора – А. Зоммерфельда. Объяснение оптических и рентгеновских спектров атомов. Дополнительное подтверждение теории в опытах Дж. Франка – Густава Герца и О. Штерна–В. Герлаха. Попытки объяснения периодической системы элементов. Принцип запрета В. Паули и спин электрона. Трудности «старой квантовой теории». Квантовая теория дисперсии и гипотеза Н. Бора, Х. Крамера и Дж. Слаутера о статистическом характере закона сохранения энергии и импульса.

5.6. Квантовая механика (1925–1930-е гг.)

Квантовая механика в матричной форме (В. Гейзенберг, М. Борн, П. Йордан). Волны вещества Л. де Бройля и волновая механика Э. Шредингера. Экспериментальное подтверждение волновой природы микрочастиц. Развитие операторной формулировки квантовой механики (П. Дирак и др.) и доказательство эквивалентности ее различных форм. Вероятностная интерпретация квантовой механики М. Борном. Принципы неопределенности (Гейзенберг) и дополнительности (Бор) – основы физической интерпретации квантовой механики. Проблемы причинности в квантовой механике и дискуссии между Бором и Эйнштейном. Квантовые статистики, симметрия и спин. Важнейшие приложения квантовой механики (в частности, работы советских ученых Я.И. Френкеля, В.А. Фока, Г.А. Гамова, А.Д. Ландau). Основные центры и научные школы в области квантовой физики.

5.7. Квантовая электродинамика, квантовомеханическая квантовая теория поля вакуума и квантовая гидравлика поля (1927–1940-е г.)

Проблемы квантования электромагнитного поля до создания квантовой механики (П. Эренфест, П. Дебай, А. Эйнштейн). Квантовая теория излучения П. Дирака. Релятивистские волновые уравнения (Э. Шредингер, О. Клейн, В. А. Фок, В. Гордон).

Уравнение Дирака для электрона, включающее теорию спина. Дираковская теория «дирок» и открытие поинтрана. Общая схема построения квантовой теории поля по В. Гейзенбергу и В. Паули. Состошешие неопределенностей в квантовой электродинамике. Проблема расходимостей и ее решение в конце 40-х гг. (Р. Фейнман и др.). Экспериментальное подтверждение квантовой электродинамики.

6. Основные линии развития современной физики (вторая половина XX в.)

*6.1. Физика атомного ядра и элементарных частиц (от нейтрона до лизонов).
Космические лучи и ускорители заряженных частиц (1930–1940-е г.)*

1932 г. – решающий стартовый год в развитии физики ядра и элементарных частиц (открытие Дж. Чадвика нейтрона, гипотеза Д.Д. Иваненко и В. Гейзенберга о протонно-нейтронном строении ядра, первые ядерные реакции с искусственным ускорением протонами и др.). Космические лучи. Первые ускорители заряженных частиц. Первые теории ядерных сил (И.Е. Тамм, Д.Д. Иваненко, В. Гейзенберг, Х. Юкава). Открытие сильных и слабых взаимодействий элементарных частиц. Ядерные модели. Искусственная радиоактивность. Воздействие нейтронов на ядра (Э. Ферми, И. В. Курчатов и др.). Открытие ядерного деления (О. Ган и Ф. Штрасман, Л. Мейтнер и О. Фриш), теория деления Бора – Дж. Уолтера и Л. И. Френкеля. Открытие пионов. Принцип автофазировки (В.И. Векслер, Э. Мак-Миллан) и разработка нового поколения циклических ускорителей.

6.2. Ядерные оружия и ядерные реакторы. Проблемы управляемого термоядерного синтеза

Ценная ядерная реакция деления урана и выведение понятия критической массы. Первые инициативы о принятии государственных программ по созданию атомной бомбы (Англия, США, Германия, СССР). Пуск первого ядерного реактора (США, Э. Ферми, 1942). Два основных направления развития государственных ядерных программ: плутониевое – с использованием ядерных реакторов; и урановое – с использованием разделительных установок. Создание атомной промышленности и первых атомных бомб в США (1945) и СССР (1949) (под руководством Р. Оппенгеймера и И. В. Курчатова).

Предыстория освоения термоядерной энергии. Создание термоядерного оружия в США и СССР. Проблема управляемого термоядерного синтеза в Англии, США и СССР. Резкий рост физических исследований, вызванный «ядерной революцией» в военном деле, промышленности и энергетике. Политические, социальные и этические аспекты «ядерной революции» во II половине XX в.

6.3. Физика конденсированных систем и квантовая магнетика

Квантовая механика – теоретическая основа физики конденсированного состояния (ФКС) и квантовой электроники (КЭ). Зонная теория. Метод квазичастич. Магнитно-резонансные явления: электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) и ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта. Теория сверхпроводимости и сверстекучести. Теория фазовых переходов. Гетероструктуры.

Радиоспектроскопические предпосылки квантовой электроники. Создание моллеров и лазеров. ФКС и КЭ – важные источники технологических приложений физики второй половины ХХ в. Воздействие идеи и методов ФКС и КЭ на смежные области физики, химии, биологии и медицину. Основные научные центры и школы в области ФКС и КЭ. Отечественный вклад в оба направления (ФКС – школа А.Ф. Иоффе, П.А. Капица, А.Д. Амальзу, Ж.И. Амферов и др.; КЭ – Н.Г. Басов, А.М. Прохоров и др.).

6.4. Физика высоких энергий: на пути к стандартной модели

Развитие физики элементарных частиц и высоких энергий, вызванное успешной реализацией национальных ядерно-оружейных программ (1950–1960-е гг.). Создание больших ускорителей заряженных частиц. Коллайдеры и ионосцинтесцентные камеры. Пузырьковые камеры и другие средства регистрации частиц.

Квантовая теория поля – теоретическая основа физики элементарных частиц. Концепция калибровочного поля и разработка на ее основе квантовой хромодинамики (современного аналога теории сильных взаимодействий) и единой теории электрослабых взаимодействий.

6.5. Релятивистическая астрофизика и космология

Волна открытый в астрофизике и космологии в 1960-е гг., связанная с развитием радиотелескопов, рентгеновской и гамма-астрономии. Открытие квазаров; релятивистического излучения, подтверждавшего гипотезу «горячей Вселенной»; пульсаров, отождествленных с нейтронными звездами. Рентгеновские и гамма-телескопы на искусственных спутниках Земли (ИСЗ). Развитие физики черных дыр. Нейтриноастрономия. Инфляционная космология. Проблема гравитационных волн. Проблема скрытой массы. Космологические модели с лямбда-членом в уравнениях Эйнштейна и космический вакуум.

Рекомендуемая основная литература

1. Дарракс Л. Г. Всемирная история физики [с древнейших времен до конца XVIII в.]. М.: Наука, 1974.
2. Дарракс Л. Г. Всемирная история физики [с начала XIX до середины XX в.]. М.: Наука, 1979.
3. Крамин Ю. А. Физики. Биографический справочник. М.: Наука, 1983.
4. Очерки развития основных физических идей/Ред. А. Т. Григорьев, А. С. Полак. М.: Изд. АН СССР, 1969.
5. Рыжиков Е. Г. История теории афера и электричества. Ижевск: НИЦ «Регуларная и хаотическая динамика», 2001.
6. Физика XIX–XX вв. в образовательном и социокультурном контексте. Физика XIX в./Отв. ред. В.П. Виноград, А.С. Полак. М.: Наука, 1986.

7. Амаль А.М. Старты развития физической теории в первой трети XX в. М.: Наука, 1986.
8. Глотова С. Атом. Атомное ядро. Атомная энергия. Развитие представлений об атоме и атомной энергии /Ред. А. А. Арцимович. М.: Изд. института ядер., 1981.
9. Гинзбург В.А. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными? //В кн.: В. А. Гинзбург. О физике и астрофизике: статьи и выступления. 3-е изд. М.: Бирю Книгпум, 1995. С.5-158.
10. Физический Энциклопедический Словарь /Гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1984.

Дополнительная литература

1. Кафкас Л. С. Научные революции XVII века. М.: Наука, 1987.
2. Лайз А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна /Ред. А. А. Логунов. – М.: Наука, 1989.
3. Окузу А. Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1988.
4. Душкин И.М. Великие открытия в области электроники. М.: Ирида, 1974.
5. Кандин М.И., Фриман Б.Л. Веки истории физики твердого тела. М.: «Знание», 1981.

Общий комментарий к структуре программы и пособия по истории физики

Вызган В.А.

«Границы условия»

Планируемое пособие по истории физики предназначается для широкого круга аспирантов физических и физико-технических специальностей. По согласованному с «заказчиком» замыслу, оно должно быть небольшим по объему (примерно 20 л.л.), охватывая при этом развитие физики от древности (Пифагор, Архимед и др.) до современности (стандартные модели в физике элементарных частиц и космологии и т.п.) и включая в себя не только материал о творцах науки, научных институтах и социокультурных и философских аспектах, сколько о научных знаниях, идеях, теориях, экспериментах. Иначе говоря, это должна быть прежде всего «история идей», а не «история людей». Это объясняется тем, что философские и социокультурные стороны науки предполагается изложить в пособии по философии науки.

Пособие предполагается готовить в соответствии с приведенной программой по истории физики. Более того, программа составлена так, что каждый ее раздел [их всего 22] является как бы кратким содержанием соответствующей главы пособия размером около одного печатного листа.

Соотношение «древности», «классики» и «современности»

Чаще всего в сравнительно кратких учебниках и курсах истории физики хронологический материал распределен в соответствии со следующей пропорцией: половина его относится к доклассической науке и гильотиновской революции, четверть – к классике XIX в. и четверть – к научной революции первой трети XX в. и последующему развитию [1–3]. Встречается и такое распределение: треть – доклассика, треть – классика, треть – научная революция XX в. и дальнейшее развитие физики [4].

В наших программе и пособии это соотношение существенно сдвинуто в сторону современности. Несколько условно, оно таково: половина материала – это доклассика и классика и другая половина – это квантово-релятивистская революция и развитие физики во второй половине XX в. Более или менее современный курс истории физики не может не включать поразительные достижения XX в., как экспериментальные, так и теоретические, такие, как создание ускорителей, ядерных реакторов, лазеров и т.д., а также квантовой хромодинамики, теории электрослабых взаимодействий, релятивистских астрофизики и космологии и т.д. К тому же о развитии физики в доклассический период существует доступная письменная литература [5–7], а история физики второй половины XX в. до сих пор уделялось немалого внимания. Отметим, впрочем, блестящий, периодически обновляемый аналитический обзор В.Л.Гинзбурга [8, 9].

Современная физика до сих пор базируется на теориях относительности (специальной и общей) и квантовой механике, созданных в первой трети XX в. и ставших триумфальным завершением квантово-релятивистской революции. Этой революции посвящено примерно четверть всего материала, хотя по времени она охватывает примерно 30 лет. Четверть материала относится к физике второй половины XX в. Здесь пришлось делать выбор в пользу наиболее фундаментальных достижений. За пределами программы и пособия остались спиритуализм (защите ее междисциплинарности) и некоторые важные приложения физики к технике, механике, биологии, химии и т.д.

Не только «история идей»

Все-таки в какой-то мере и в программы, и пособия находят или должны найти определенное отражение люди, институты науки, социальные факторы ее развития и т.д. Особенно это заметно в разделе «Доклассическая физика». В античности мы отмечаем связь научных знаний с натурфилософией Пифагора, Демокрита, Платона, Аристотеля и др., в Средние века – роль мусульманской науки и университетов, в эпоху Возрождения – возрождение культурных ценностей античности и связь гуманистического идеала с познанием природы. В XVII в. особо подчеркивается методологическая проработка научного метода в философских трудах Ф.Бэконa и Р.Декарта, а также возникновение академической формы институционализации естествознания.

В классической науке XIX в. и физике XX в. эти аспекты выражены, казалось бы, не так определенно, но тем не менее и в эти периоды они присутствуют. В начале XIX в., как это видно из программы, за вполне Французской революции лидерство от академической науки переходит к вузовской, университетской науке (здесь особо подчеркивается роль Парижской политехнической школы в формировании классической физики). В XX в. открытие ядерного деления урана приводит к возникновению масштабных государственных программ создания ядерного оружия. Физика монополизирует историю общества, что создает новые гигантские стимулы для возникновения «большой науки».

Тем самым, отдавая явное предпочтение интерналистскому подходу, рассматривая историю физики как, прежде всего, «историю идей» (и, добавим, как историю экспериментально-теоретического исследования), мы не избегаем социальных и культурных аспектов этой истории. Не игнорируются при этом и «история людей», творцов физической науки, первооткрывателей новых науки, искусственных экспериментаторов, создателей фундаментальных теорий. Но за рамками и программы, и пособия остаются биографии этих героев.

Связь с философией; место в системе естественных наук

Натурфилософские истоки физики в доклассическую эпоху достаточно очевидны, и это отражено в программы. Мы говорили и о «философском обеспечении» науки Нового времени. В дальнейшем взаимодействие физики и философии в программы уделяется значительно меньше внимания, хотя в пособии мы повсюду, где это существенно, стараемся обозначить контуры

штого взаимодействия. Так, позитивизм XIX в. опирался на успехи феноменологического направления в классической физике, а в генезисе квантово-релятивистских идей, с одной стороны, был важен феноменализм Э.Маха, а с другой, – возрождение пифагорейско-платоновской концепции природы и т.д. Проблемы физической интерпретации теорий относительности и особенно квантовой механики, в свою очередь, сильно повлияли на философию XX в. Успехи в разработке единой физической теории и космологии, описанные в двух последних разделах программы, породили настроение блаженного конца фундаментальной физики. И в этом пункте нельзя избежать упоминания философии.

Нет сомнения в том, что в течение XIX в. физика выходит в лидеры естествознания, сохраняя это положение и на протяжении почти всего XX в. Это явным образом в программе не выражено, но в соответствующих местах пособия предполагается подчеркнуть. Астрономия, механика и химия всегда были тесно связаны с физикой и в разные периоды занимали в естествознании ведущее положение. Достаточно вспомнить системы мира Птолемея и Коперника и их роль в развитии физики, а также небесную механику, ставшую образцом для классической теоретической физики. Как говорил А.Планкаре, «математическая физика родилась из небесной механики и т.д.» [10, с.233]. Учение о строении вещества, атомистика первоначально формировалась в химии. Имена Р.Бойля, М.В.Ломоносова, А.Лавуазье, Ж.Гей-Люссака, Г.Дьюи, А.Ангадро, П.Дюлонга и других хорошо известны и в химии, и в физике. Периодическая система элементов, имеющая в атомной и ядерной физике основополагающее значение, была создана выдающимся русским химиком Д.И.Менделеевым. В дальнейшем физика с любовью возвращает свои долги родственным естественным наукам. На основе общей теории относительности возникают радиевистские астрофизика и космология. Механика сплошной среды физикализируется (например, в нее включается термодинамика). Квантовая механика становится фундаментом теоретической химии. Прецisionные методы физического эксперимента усваиваются экспериментаторами и наблюдателями в астрономии, механике и химии.

О физических картинах мира

Нередко встречается точка зрения, что историю науки следует рассматривать как эволюцию соответствующей этой науке картины мира [11]. Такой подход возможен, особенно если это касается таких фундаментальных наук, как астрономия, механика, физика. Своего рода эквивалентами понятия картины мира можно считать понятия парадигмы [12] или глобальной исследовательской программы [13]. Не вдаваясь в вопросы определения этих понятий и предпочтительности одного из них, на хорошо известных примерах из истории физики поясним их смысла.

После Ньютона утверждается классико-механическая картина мира (парадигма, программа), которая редуцирует физический мир к движению частиц по законам классической механики. При этом предполагается, что между частицами действуют кван-ньютоновские силы. Развитие физики,

особенно в XIX в., все больше демонстрируют ограниченный или слишком идеализированный характер этой картины мира. На смену ей на короткое время приходит электромагнитно-волновая картина, согласно которой именно электромагнитное поле и неразрывно связанный с ним эфир являются первичной реальностью. Но в процессе квантово-релятивистской революции уже в первом десятилетии XX в. эта картина мира отходит на второй план, уступая место релятивистской и квантовой концепциям, которые только к концу 20-х годов сливаются в единую квантово-релятивистскую картину мира, существенно утрачивающую свою гладкость, «картинность». Поэтому, по-видимому, когда речь идет о физике XX в. предпочтительнее использовать термины парадигма (в духе Т.Куна) или глобальная исследовательская программа (в духе И.Лакатоса).

Но, конечно, реальная история физики не сводится к динамике этих картин (парадигмы, программ). Так, классико-механическая картина, вполне сформированная в конце XVII в., господствовала чуть ли не до начала XX в. И именно в этот период возникла и получила значительное развитие классическая физика, иногда в опоре на эту картину (например, кинетическая теория материи и в значительной степени – статистическая механика), иногда вопреки ей (термодинамика, электродинамика и т.д.). Основы квантово-релятивистской картины мира (соответственно, квантово-релятивистской парадигмы и т.д.) были заложены в первой трети XX в. В последующие десятилетия, вплоть до настоящего времени, физика развивалась весьма быстро и много. Физика атомного ядра и элементарных частиц, физика конденсированного состояния, квантовая электродинамика, физика плазмы, астрофизика и космология – ладили блестящих экспериментальных и теоретических достижений. И все это – в рамках одной и той же, квантово-релятивистской, картины мира. Таким образом, картины мира (парадигмы и т.д.) – это методологические идеализации, не охватывающие многие важные аспекты научного развития, в частности прикладные сферы или математические методы и структуры. Поэтому, обращая внимание на эволюцию господствующих картин мира (парадигмы, глобальных программ), мы из вной мере не пытаемся ограничиться этим и подменять ею историю физических знаний, законов, экспериментов, теорий.

Фундаментальная роль математики

Математика с античных времен служила мощным ресурсом теоретизации физического знания. В античных теоретических построениях использовались теории пропорций и практического многогранников и евклидовы геометрия, ставшая основной математической структурой физики вплоть до XVII в. Затем, вместе с классической механикой в физику внедряется математический анализ, который в XIX в. выходит далеко за рамки механики. Уже в классической механике оформляется концепция динамического закона, содержащего в форме обыкновенных дифференциальных уравнений все возможные движения исследуемых систем. В физике (учениях о теплоте, свете, электричестве, магнетизме) интенсивная математизация приводит к

формированию классических теорий, в которых концепция динамического закона расширяется до класса уравнений с частными производными 2-го порядка (уравнения Лапласа, Пуассона, Фурье, волновых уравнения, уравнения Максвелла и т.д.). С математической точки зрения, классические физические теории стали мыслиться как теории уравнений с частными производными 2-го порядка.

На примере истории аналитической механики видно, как вслед за обычновенными дифференциальными уравнениями к механике подключилось множество и других математических теорий и структур: вариационное исчисление, теория уравнений с частными производными 1-го порядка, многомерные дифференциальные риманова и симплектическая геометрия и т.д. [14].

Аналогичный процесс происходит и в физике, точнее математической физике, занимающейся исследованием математических структур физики и являющейся «физическим аналогом» аналитической механики. В частности, в XIX в. выясняется, что чуть ли не все фундаментальные уравнения физики (Максвелла, Эйнштейна, Шредингера, Клейна-Фока, Дирака и др.) выводятся из вариационного принципа Гамильтонта.

Отношение к математике как лишь вычислительному средству, только как некоторому формальному языку, специальному приспособленному для вычислений, на наш взгляд, ошибочно. В действительности, уравнения теорий являются их квинтэссенцией. Г.Герц говорил: «Теория Максвелла – это уравнения Максвелла» [15, с.23]. А А.И.Мандельштам полагал, что всякая физическая теория состоит из двух дополняющих друг друга частей: физической интерпретации величин, фигурирующих в теории, и дифференциальных уравнений, связывающих эти величины в единую математическую структуру (уравнения Ньютона, уравнения Максвелла, уравнения Эйнштейна-Гильberta, уравнения Шредингера, уравнения Дирака и т.д.). «Без первой части, – говорил Мандельштам, – теория плахахорна, пуста. Без второй части вообще нет теории» [16, с.326–327]. Активная, иногда спорожняющая роль математического конструирования физических теорий подчеркнута и в словах Р.Фейнмана: «Угадывание уравнения – по-видимому очень хороший способ открывать новые законы» [17, с.57].

Поэтому в планируемом пособии математическим структурам физических теорий, основным дифференциальным уравнениям движения и полей, геометрии пространства и времени предполагается, насколько это возможно, уделять особое внимание.

Физика и техника

В самом простом варианте взаимодействие науки и техники может быть охарактеризовано замечанием выдающегося физика и инженера П.А.Капицы: «Только при живом и здоровом единении науки и техники они помогают друг другу: наука открыывает перед техникой новые возможности, за которых она без покуждения ускользывает. При росте техники наука со своей стороны не только обогащается новыми техническими возможностями, но ее тематика расширяется и становится более целеустремленной» [18, с.118–119]. Такого

рода взаимоотношения прослежены, например, в книге Дж.Бернала, а именно в таблице 8 [19, с.694–695], с античных времен до середины ХХ в.

Более тонкие аспекты этого взаимодействия рассмотрены в ряде работ (см., например, [20]).

«Наиболее реалистической и исторически обоснованной точкой зрения, – говорится в упомянутой книге, – является та, которая утверждает что вплоть до конца XIX в. регулярного применения научных знаний в технической практике не было, но это характерно для технических наук сегодня» [20, с.330]. Взаимоотносящие процессы «специализации техники» и «теханизации науки», особенно ярко выраженные во 2-й половине ХХ в. при переходе к «большой науке» (*“big science”*), конечно, имели свои истоки и в более ранние периоды. Эти истоки предполагаются хотя бы кратко затронуть в планируемом пособии.

В разделах же, посвященных «ядерной революции», физике конденсированного состояния и квантовой электронике, взаимодействие физики и техники должно быть одной из центральных тем.

Проблема российского вклада

Хотя планируемое пособие является курсом мировой, или всемирной, истории физики, мы считаем необходимым, имея в виду русскоязычного читателя, особо отмечать достижения российской науки, наиболее крупные отечественные научные школы и т.п. При этом, мы надеемся избежать «перекосов» как в смысле преувеличения российских достижений (в духе известного анекдота о том, что «Россия – родина слонов»), так и в плане недооценки их.

Славные имена М.В.Ломоносова, Г.Рихмана, В.В.Петрова, Н.И.Лобачевского, М.В.Остроградского, Э.Х.Ленна, Д.И.Менделеева, А.Г.Столетова, Н.А.Умова, П.Н.Лебедева и др., советских ученых А.И.Мандельштама, А.Ф.Иоффе, Д.С.Рождественского, А.А.Фридмана, Я.И.Френкеля, В.А.Фока, И.Е.Тамма, П.А.Капицы, Л.Д.Ландау, И.В.Курчатова и др. фигурируют в программе и, несомненно, должны присутствовать и в пособии.

Вместе с тем, следует иметь в виду, что Россия в европейской науке присоединяется лишь в XVIII в., что, несмотря на отдельные блестательные имена и достижения, в целом российская физика была достаточно провинциальной иплоть до 1930-х гг., когда она приблизилась к уровню передовых научных держав. В послевоенный период, особенно в 1950-е–1960-е гг. отечественная физика становится по своим достижениям и широте исследовательского фронта вполне сравнима с физикой лидирующей научной державы, физикой США. Этот факт во многом был порожден необходимости создания ядерного оружия и другими большими научно-исследовательскими проектами.

Литература

1. Дорфман Л.Г. Всемирная история физики (с древнейших времен до конца XVIII в.). М.: Наука, 1974, 352 с.
2. Дорфман Л.Г. Всемирная история физики (с начала XIX в. до середины XX в.). М.: Наука, 1979, 317 с.

3. Head F. Geschichte der physikalischen Begriffe. Teil 1. Marburg etc. B.G.-Wissenschaftsverl. 1978, 221 S.; Teil 2, 1978, 223 S.
4. Курдюков Л.С. Курс истории физики. М.: Просвещение, 1985, 480 с.
5. Розенфельд И.Д. Развитие естествознания в эпоху античности. М.: Наука, 1979, 460 с.
6. Гайденко В.П., Г.А. Сандров. Западноевропейская наука в средние века. М.: Наука, 1989, 352 с.
7. Каракозов В.С. Научная революция XVII века. М.: Наука, 1987, 343 с.
8. Гомбурс В.А. О физике и астрофизике. М.: Бюро Книзгута, 1926, 512 с.
9. Гомбурс В.А. О науке, о себе и о других. М.: Физматлит, 2001, 496 с.
10. Пушкарь А. Цивилизация науки // А.Пушкарь. О науке. М.: Наука, 1983, с.153-282.
11. Браунинг А.Н., Царин Ф.А. История астрономии. М.: Изд. МГУ, 1989, 340 с.
12. Кук Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1977, 288 с.
13. Валент В.Л. Математика в квантово-релятивистской революции // Физика XIX-XX вв. в образовании и современном контексте: Физика XX в. М.: Янус-К, 1997, с.7-30.
14. Валент В.Л. Между механикой и математикой: аналитическая механика как фактор развития математики (XIX в.) // Исследования по истории физики и механики. 1986. М.: Наука, 1986, с.49-62.
15. Нетт Н. Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft. Leipzig: J.A. Barth. 1892.
16. Мандельштам А.И. Лекции по основам квантовой механики (теория когерентных измерений) (1939) // Мандельштам А.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1973, с.235-399.
17. Фейнман Р. Характер фундаментальных законов. М.: Мир, 1968, 222 с.
18. Капица П.А. Единство науки и техники // П.А.Капица. Научные труды. Наука и современное общество. М.: Наука, 1998, с.118-122.
19. Берна Дж. Наука в истории общества. М.: Изд. иностр. лит., 1956, 736 с.
20. Соловьев В.С., Григорьев В.Г., Роман М.А. Философия науки и техники. М.: Гарвардка, 1996, 400 с.

Физические знания в Античности

Барк Д.А., Кирсанов В.С.

Эволюция представлений о природе и её первоначалах у досократиков

Возникновение физики как науки о природе предшествовало выведение природы в сознание людей из области чистого божественного произвола. В ней должно было существовать нечто, позволяющее увидеть за одиничными явлениями единое целое и открывающее это единство человеческому рассудку. В истории человеческой мысли первая известная нам попытка такого рода была сделана в Древней Греции. В качестве начальных, позволяющих понять природу, в разных философских системах выступали: законы, первоматерия, число и движение (либо его аналогичность).

Законы

Наличие законов как основного источника регулярности природных явлений, не происходящих, следовательно, хаотично в силу абсолютной случайности или произвола богов, делает природу упорядоченной, превращая ее из ложи в касмос (общего), что в переводе с древнегреческого означает «красота» или «порядок». Иначе говоря, законы, которым подчиняются природные явления, упорядочивают и украшают природу.

Вероятно, первым законом природы, осознанным именно как закон, была теорема Пифагора, утверждающая равенство квадрата гипотенузы и суммы квадратов катетов для прямоугольного треугольника. Согласно легенде, Пифагор был так обрадован открытием, что земля принести в жертву прославившим его богам сто быков (есть и другие источники, утверждающие, что Пифагор принес эту жертву, когда обнаружил несопоставимость сторон квадрата и его диагонали). Примечательно, что для него это было экспериментальный факт, относящийся скорее к физике, чем к математике. О существовании «магических» троек чисел, связывающих между собой длины гипотенуз и двух катетов, было известно задолго до него, в Вавилоне и Древнем Египте. Но там эти «тайны природы» не понимались как «законы».

К концу Пифагора, т.е. к VI веку до н. э. относятся первые известные нам попытки рационально объяснять явления природы. К этому времени греки уже достигли высокого уровня в искусстве вычислений для практических целей (т.н. логистики) и строительной технике – примером тому может служить километровый туннель, прорытый на острове Самос по приказу тирана Поликрата. Как было доказано археологами уже в XIX веке, туннель проходил с двух сторон, и хотя строителям не удалось смыть две половины в точности в одном месте, геодезические измерения были достаточно точными, чтобы в конце концов соединить их небольшой перешейком. Но как это ни показывает странным, идея закона возникла не в логистике и не в технике, а в мифологии. Как

почти во всякой системе мифов, в древнегреческой мифологии важнейшее место занимала проблема происхождения и устройства мира. И если в ранних примитивных мифах воля богов ничем не ограничивается, то в более поздних – им на каждом шагу противостоят рок, некая не персонифицированная и неразумная сила, за которой угадывается сама природа вещей. Стремление преобразовать мифологические представления в схемы, где уже не боги и не их божественная воля являются служит объяснением всего происходящего в мире, а некие причины, не зависящие от воли богов, приводят к возникновению ранней греческой науки о природе – ффизу⁶ λόγος.

Пифагорейская школа была не единственной, где возникло представление о законе природы. Вторая, не менее знаменитая – мильтская, называвшая так по наименованию города Мильт, расположенного в Азии на берегу Средиземного моря, недалеко от современного турецкого города Севе, где жило большинство ее представителей. Обе школы так назначе рассматривали законы, в соответствии с которыми возник космос и которым он продолжает подчиняться.

Основатель мильтской школы Фалес (согласно Геродоту родившийся в 624 г. до н. э.) часто рассматривается в качестве прародителя теоретического мышления – в равной мере научного и философского – так же как и Пифагор (родившийся около 580 г. до н. э.). Вторичные источники доносят до нас только две или три фразы, принадлежащие ему самому, и многие исследователи склонны видеть в нем лишь человека, давшего первый толчок греческой теоретической мысли, передав ей аналогичные попытки более древних цивилизаций, о теориях которых нам просто ничего не известно. Легенда приписывает Фалесу предсказание солнечного затмения 586 г. до н. э., а также доказательство теоремы о равенстве углов в основании равнобедренного треугольника. Он считал, что все в нашем мире произошло из воды, и сама Земля плавает в воде подобно куску дерева. Для него характерны анимистические представления («все полюбь богов»), по-видимому весьма распространенные в его время. Но подлинной главой мильтской школы стал Анаксимандр (610–546/545 до н. э.), разработавший попытку Фалеса найти в природе универсальный материальный субстрат, из которого построены все тела.

Материя

Идея материального начала (φρή⁷), из которого рождается все сущее, у Анаксимандра теряет присущую Фалесу конкретность. Он придерживался взгляда, что в основании всего сущего лежит αιώνιο, некое бесформенное и беспредельное начало, из которого мир возникает в результате борьбы противоположных качеств – теплого и холодного. Развитие мира – периодически повторяющийся процесс: через определенные промежутки времени мир снова поглощается беспредельным началом. У Анаксимандра мы встречаемся с зачатками эволюционной модели: жизнь зародилась во влажном иле, первоначально покрывавшем всю землю; затем некоторые животные вышли на сушу, среди них были рыбообразные существа, которые и дали начало людям.

Согласно космогонии Анаксимандра, в недрах беспредельного начала возникает зародыш будущего мира – влажное и холлодное ядро, окружённое огненной оболочкой. Ядро постепенно высыхает, пары раздувают оболочку, которая лопается, распадаясь на ряд колец. В центре мира происходит образование плотной Земли, которая имеет форму цилиндра; от огненных колец ее отделяют темные воздушные цилиндрические нервы (трубки); съёмющиеся отверстия в этих трубках кажутся нам звездами. Среди этих звезд находятся также и Луна и Солнце. Анаксимандру приходит некоторые данные, говорящие нам об относительных размерах вселенной: цилиндр, представляющий Землю, имеет образующую, в три раза меньшую диаметра его основания, а расстояния до звезд, Луны и Солнца от центра мира равны соответственно 9, 18 и 27 диаметрам основания земного цилиндра. Откуда он это взял, остается неизвестным.

Кроме того, у Анаксимандра впервые в явном виде появляется тезис о сферической форме космоса. Из этой посылки извлекается важный тезис о покое Земли в центре сферы, локализованный на основании соображений симметрии: Земля покоятся, потому что у нее нет оснований предпочесть какое-то одно направление по сравнению со всеми другими. На это возвращение спустя два века особое внимание обратил Аристотель: по мнению Анаксимандра, писал он в своем трактате «О небе», «тому, что помещено в центре и равно удалено от всех крайних точек, ничуть не более надлежит двигаться вверх, низжел вниз, или же в боковые стороны. Но одновременно двигаться в противоположных направлениях невозможно, поэтому оно вообще должно покояться». Комментатор Аристотеля VI века н.э. Симпликий приписывает Анаксимандру еще более радикальный взгляд – о бесконечности Вселенной.

В добавок ко всему перечисленному легенда приписывает Анаксимандру создание первой географической карты Земли (в ней вся известная грекам обитаемая земля распадалась на две равные части – Европу и Азию), а также – изобретение плоских солнечных часов (гномона).

Третий представитель милетской школы, Анаксимен (даты жизни неизвестны, но расцвет его творчества приходится примерно на 545 до н. э.) был немногим позже Анаксимандра и мог быть его учеником. Материальной первоосновой мира он считал воздух. Все материальные тела образуются из него в результате стужения или разрежения, причем, в отличие от современных представлений, разрежение у него сопровождается нагреванием, а стужение – охлаждением. Воздух находится в непрерывном движении, ибо иначе материальные вещи не могли бы возникать. Таким образом, Анаксимен первым придумал конкретный физический механизм возникновения материи из первоначальства. О происхождении же самой Вселенной Анаксимен высказывается довольно туманно. Землю он считает пахотой, неподвижно висящей в воздухе. Земная твердь возникла первой, потом моря и облака. Еще позже появились небесные светила, образовавшиеся из поднимающихся вверх земных испарений. Поднимаясь, они должны разрываться и, нагреваясь, приобретать огненную природу. Неподвижные звезды ябты, как звезды, в твердый небосвод, а Солнце и Луна плавают в воздухе подобно огненным

листым. Северная часть Земли пропадает, и Солнце не скрывается ночью под Землю, а, проходя параллельно горизонту, прячется за ее северной частью.

Таковы возрения первых представителей милетской школы относительно возникновения мира и его структуры. Их можно было бы с некоторой натяжкой назвать материалистическими; мир изготавливается из какого-то одного материала — первоначества. В противоположность ей, также с некоторой натяжкой, взгляды представителей пифагорейской школы можно было бы назвать идеалистическими: в основе всего они видели число.

Число

Пифагор — фигура еще более легендарная чем Фалес. Сохранилось исключительно его жизнеописаний, плохо стыкующихся друг с другом и вызывающих большие сомнения. Свою школу он основал уже в зрелом возрасте, когда поселился в южно-итальянском городе Кротоне. Это сообщество пифагорейцев заслуживало название школы в гораздо большей степени, чем милетская школа. У него даже были некоторые черты религиозного братства, да и взгляды его членов были в значительной степени более мистическими, чем взгляды милетцев (в частности пифагорейцы верили в существование душ и ее бессмертие).

Суть пифагорейского учения выражается максимой «все есть число». В этом утверждении содержался глубокий мистический смысл, так как числа представляли собой скрытую от неосвещенных первооснову мира в той же мере, в какой для милетцев ее была вода, воздух или неопределенный «апейрон». При этом некоторые числа были «лучше», а некоторые «хуже». А единица и вовсе числом почти и не были: она отождествлялась в их космологии с мужским началом, которое, соединяясь с женским началом, или пустотой, или шумом, рождала линии, в частности квадрат: «Огненная единица родила подобно клетке в питательной среде; она вдахнула приспешавшее к ней беспредельное, ограничивая его и оформляя. Вытянувшись в длину, а затем в ширину и в высоту, она породила двойку, тройку, а затем и четверку. Все дальнейшее есть процесс последовательного образования Космоса числами» [3, с. 48].

Отрезок натурального ряда от 1 до 4 образовал пифагорейскую тетраду, также обладавшую божественными свойствами. В частности, тетраде подчинился закон гармонии, и музыкальные интервалы могли быть благозвучны, только если «звукущие тела» (т. е. их объем, вес и т. п.) находились в отношении чисел тетрады: 1:2 (интервал октавы), 2:3 (интервал квинты) или 3:4 (интервал кварты). Этому закону подчинились и все прочие явления природы — тем более гармоничные, чем точнее соответствовали отношением тетрады.

Дополнение

Совершенно новый этап в истории древнегреческой мысли обозначили Гераклит, Эмпедокл и Парменид. Их столь интересовать не только проблема первоздания, то есть космоса, и начала бытия, то есть его первопричины, но и смысл движения и его возможность. Гераклит (ок. 540—ок. 480) родился в Эфесе, расположенным на том же Ионийском полуострове, что и Милет, и

был близок милетской философской школе и по времени, и по умонастроению. Его резкая критика была направлена на представителей всех прочих течений от Гомера и Гесиода до пифагорейцев. Последних он осуждал за «много-знание» и отсутствие интереса к конкретным задачам. Вероятно, это ему самому не мешало заниматься проблемами отнюдь не частного характера. Так, он считал, что «единственная мудрость – познать замысел, управляющий всем посредством всего». Материальной первоосновой всего сущего он считал огнь, и в этом также был близок традициям милетской школы. Так же как и Анаксимандр он считал мир конечным в пространстве, но бесконечным во времени, хотя и совершающим следующие друг за другом циклы гибели и возрождения. Причем он даже рассчитал продолжительность такого цикла: исходя из того, что возраст одного поколения 30 лет и что каждое поколение представляет собой космические сутки, он положил длительность космического года равной 360 раз по 30, то есть 18 тысяч лет.

В силу этого мироздание по Гераклиту не является твердым: «Этот мирской порядок (космос) один и тот же для всех, его не создал никто из богов и людей, но он всегда был, есть и будет вечно живым огнем, мерами вспыхивающим и мерами погасающим». Нам не известны высказывания Гераклита о форме и положении Земли, однако мы знаем, что он считал небесные тела продуктом земных испарений; это – светлые и чистые испарения, которые скапливаются в крутых впадинах и превращаются в огнь. Тёмные и влажные испарения являются причиной дожда и других подобных явлений.

Тем не менее главным проявлением единства мира для него было не в общности материального субстрата всех тел, а в их всеобщей изменчивости, их способе пребывать в вечном движении. При этом он прекрасно понимал, что движимые это не значит позерменно покончиться в различных местах или со стоянках. Движущиеся движутся в любой момент своего существования. Знамениты его метафоры, с помощью которых он пытался выразить эту идею: «все течет», «в одну и ту же реку нельзя войти дважды». Сущность такой прерывной изменчивости Гераклит видел в тождестве противоположностей: «Одно и тоже – жизнь и смерть, бдение и сон, юность и старость [то есть все противоположности], ибо первое переходит во второе, а второе в свою очередь в первое»; «путь прямой и извилистый – одно и то же»; «благо и зло – одно и то же». Тождество противоположностей подразумевает, что тело одновременно и холодное, и горячее, или оно одновременно находится здесь и не здесь.

Кроме тождественности противоположностям свойственно внутреннее напряжение, вражда, которые рождают движение и гармонию: «Война – родинчальница и владычница всего»; «Противодействие обличает. Из противоположностей образуется совершенная гармония. Все возникает благодаря вражде»; «Люди должны знать, что война – совместна и что правда – вражда, ибо все возникает и уничтожается благодаря вражде». Гераклит был последователем в своем учении тождественность и враждебность также противоположны и следовательно тождественны.

В значительно большей степени, чем его предшественники Гераклит указывал на нестабильность законов природы и их независимость от любой власти, в том числе божественной. Боги практически никак не способны повлиять на течение жизни: «Существующий мировой порядок, одинаковый для всего, не создан ни богами, ни людьми»; «Рок тяготеет над всем».

Непримиримым оппонентом Гераклита был Парменион (род. ок. 515 до н.э.), уроженец еще одной греческой окраины – Элеи, – расположенной на юге Итальянского полуострова. Если Гераклит видел в движении основное свойство природы, то Парменион считал его иллюзией, а саму природу пребывающей в вечном неизменном покое. Свои учения Парменион изложил в поэме «О природе». После короткого вступления, описывающего встречу героя с богами, следуют две части поэмы «Путь истины» и «Путь мнений», в которых богиня рассказывает герою сначала, что мир на самом деле неизменен, а затем, как он представляется меняющимся в иллюзиях смертных.

Парменионова онтология до сих пор стоит в тупик исследователей: с одной стороны, провозглашенные им принципы кажутся бесспорными, а с другой довольно трудно принять существующий видимый мир за иллюзию. Тем не менее значение ее огромно, поскольку именно программа Пармениона сыграла кардинальную роль в становлении теоретического мышления вообще и представлений о физической теории в особенности. Одним из самых распространенных толкований деления поэмы на части и противопоставления их трактуется как различие математики и физики. Математика достоверна и неизменна, так как она выводится путем рассуждения из очевидных и бесспорных принципов, которые остаются таковыми всегда. Поэтому «путь истины» следует понимать как «путь рассуждения». Ему противостоит «путь догадок», или гипотез, присущий физике, раскрывающей истину через выдвижение гипотез и их проверку. Такой взгляд отчасти был близок Платону, утверждавшему устами Тимея в одном из своих диалогов, что «для начала должно разграничить вот какие две вещи: что есть вечное, не имеющее возникновения бытие и что есть лично возникающее, но никогда не сущее. То, что постигается с помощью размышления и рассуждения, очевидно, и есть вечно тождественное бытие; а то, что поддается мнению и передумываемому ощущению, возникает и гибнет, но никогда не существует на самом деле».

Эту платоновскую точку зрения, однако, естественным образом спасать как противопоставление теории и наблюдения. Парменионову программу познания в таком случае можно интерпретировать как познание неизменного: например закона природы, которые тождествены себе и не подвержены изменениям. Задача познания природы, тем самым, сводится к тому, чтобы исследовать ее неизменные законы, скрытые за текучими и мимолетными явлениями. Более того, сами законы должны устанавливать связи между явлениями, то есть неменяющимися величинами. В таком качестве выступают почти все характерные физические параметры: масса, энергия, импульс, заряд и т. п. Познавать меняющуюся действительность в соответствии с такой точкой зрения означает показывать скользящий характер изменения и подлинность неизменности.

Наконец, очевидную парадоксальность вывода Парменида об иллюзорности любых изменений удалось уже в античную эпоху разрешить при помощи одной единственной поправки к его схеме: из нее был исключен принцип единства бытия; вместо этого признавалось существование множества первооснов, обладающих свойствами истинного бытия Парменида. Тогда, взаимодействие различных первооснов друг с другом определяет все многообразие вещей, их изменение и движение, возникновение и гибель. При этом каждая из них неизменна и неделима, откуда и название – атомы. Атомистические взгляды в эпоху античности развивали Левкипп и Демокрит, но некоторые предварительные соображения были высказаны Анааксагором и Эмпедоклом. Хотя у двух последних мыслителей мы не находим идею атома как таковую, их космология предвраляет атомизм, так как в ней, во-первых, выводится множественность первоначал, а, во-вторых, появляется понятие пустоты.

Античные атомисты

По своему значению для последующего развития науки возникновение атомизма можно сравнить только с парменидовской идеей о существовании истинного неизменного мира, скрытого за завесой явлений, познанием которого и должна заниматься наука. Следует иметь ввиду, что атомы стали объектом философии в силу исключительно метафизических причин и никаких экспериментальных обоснований атомизма не существовало на протяжении по крайней мере двух тысячелетий, после его возникновения. Атом обладает двумя основными свойствами – неделимость и неизменность; кроме того, центральным свойством атомизма является признание пустоты, то есть, по определению Аристотеля, – «протяженность, линейной свойств». Атомистическая программа заключается, следовательно, в объяснении наблюдаемых изменений посредством движения неизменных атомов в не обладающей свойствами, а следовательно так же неизменной пустоте. Нет сомнений, что это очень амбициозная научная программа, предлагающая весьма эффективную объяснительную схему, которая тем не менее в истории физики неоднократно переживала глубокий кризис.

Атомы

По сравнению со всеми перечисленными в предыдущем разделе теоретическими посыпками древнегреческой науки атомы отличаются своим дополнительным метафизическими характером. У этой идеи не было никакого не только экспериментального, но даже зрительного образа. Число, движение, даже закон так или иначе распознаются в окружающих предметах. Атом выделить в них невозможно.

Атомы древних греков не имеют ничего общего с тем, что обозначается этим словом сегодня. Они стали своего рода решением парменидовского парадокса бытия и динамики. Если бытие единственно, а небытие существовать не может, то движения нет. Таков главный вывод поэмы Парменида, и с ним в рамках древнегреческого мышления было очень сложно спорить. Поэтому атомизм принял два радикальных допущения: 1) бытие неединственно и 2) небытие существует. При этом к каждому отдельному экземпляру бытия

применяю логика Парменида, поэтому оно незменно, – в частности, неделимо. За пределами их находится небытие, или пустота (вакуум). Оно не обладает никакими свойствами, за исключением протяженности. Именно благодаря этому атомы могут изменять свое положение относительно друг друга, то есть бытие может вторгаться в небытие, из-за чего и возникает движение.

Отличие этих представлений от тех, что подразумеваются современной физикой, – очевидно. В современной физике атомом называют довольно сложную конструкцию многочисленных полей и частиц, способную как изменять свое состояние (например, переходить из одного состояния в другое), так и делиться (испускать электроны или распадаться на другие атомы). Современный вакуум также мало похож на своего античного «одиофамильца», обладающего многочисленными свойствами и даже энергией. В нем могут рождаться пары частиц. Наконец, в нем присутствуют поля излучения, изменяющие его свойства, но не являющиеся атомами.

Согласно античным атомистам, иными сочетаниями различных атомов рождают материальные тела и разнообразные формы бытия. Для иллюстрации этого положения они часто пользовались аналогией с буквами. Например, буквы *N* и *Z* отличаются только количеством, «уха» и «мышка» отличают добавление одного нового «атома». Отсюда видно, что результат смешения атомов понимался ими вовсе не как простая механическая смесь. Эта идея оказалась настолько плодотворной, ее развили многие мыслители как в античности, так и в более позднее время.

Левкипп и Демокрит

Судя по всему, Левкипп был приблизительно современником Анаксагора. Практически невозможно установить хронологическую последовательность и линейную зависимость сочинений этих трех мыслителей. В силу особенности своей биографии Левкипп смешал несколько философских традиций Древней Греции. Как принято сейчас считать, он родился в Милете в V в. до н. э., то есть еще при жизни если не Анаксимена, то крайней мере Анаксагора. Тем самым он был близок милетской школе. Затем он предпринял путешествие в Элею, чтобы учиться у Зенона Элейского, бывшего в свою очередь учеником Парменида. После этого он перебрался в Абдеры, родной город Демокрита. Есть также некоторые довольно смутные указания на то, что Левкипп испытал определенное влияние восточных мистиков, также училих о пустоте, атомах и мистике букв.

Демокрит (ок. 460–360 до н.э.) был немногим младше Левкиппа и, вероятно, ходил у последнего в учениках. Фракийский город Аблера, где он родился, был расположен на берегу Эгейского моря в устье реки Нестос. По свидетельству Диогена Лавртии Демокрит был отпрыском богатого рода, что позволяло ему много путешествовать, и за свою долгую жизнь он написал 73 трактата, от которых до нас дошли лишь разрозненные фрагменты, преимущественно касающиеся этики. Видимо, он существенно развил атомизм своего предшественника, ибо Аристотель, отдавая приоритет Левкиппу, отождествляет чаще Демокриту.

С Левкиппом в древнегреческой физике появляются понятия, до того никогда не обсуждавшиеся, хотя, возможно, в целом и не новые: абсолютно пустое пространство, абсолютно плотный атом и механическая причинность. Атом по Левкиппу виделим как в силу своей беспрецедентной плотности, так и в силу минимальности своего размера. Отсюда, в частности, следует и то, что меньший размер невозможен и в пустом пространстве. Поскольку атомы не могут различаться ни размером, ни плотностью, единственное, что им остается, – это форма, или «вид».

Соединения и разъединения атомов в различных комбинациях образуют причину всех изменений. Следствие, таким образом, всегда следует за причиной, и никогда не предшествует ей. То есть причиной не может быть достижение какой-либо цели. Иначе говоря, механицизм Левкиппа исключаетteleологию.

Демокриту несколько преобразовал атомистическую теорию своего учителя. Но центральный момент в ней остался прежним: атомы принципиально различались между собой своим видом, поэтому основное сочинение Демокрита об атомах называется «Об идеях». Слово «идея» происходит от греческого глагола *ἰδεῖν*, то есть «видеть». Это обстоятельство вместе с сохраненной у Демокрита буквенной аналогией не позволяет однозначно толковать его атомизм как теорию материи, равно как и всю его философию как однозначно материалистическую. Но этот вопрос выходит за рамки настоящего пособия.

О демокритовском, а пренемногим даже эпикурейском атомизме мы знаем из поэмы древнеримского поэта Тита Лукреция Кара, жившего в I веке до н.э. Несмотря на определенные сходства и очевидную преемственность, демокритовский атомизм имеет некоторые существенные отличия от левкипповского. Так, он снимает ограничения на размер. По свидетельству Лукреция атом у Демокрита мог быть так же велик как и весь мир. Значит, неделимость уже не могла быть следствием малости, для него требовалась другое обоснование. Им могло служить бесконечная твердость атома, вызванная отсутствием в нем пустот. Во-вторых, деление атома разрушало его самодентичность: он менял свой вид, и потому переставал существовать. А так как он считается неподвижным и вечным, то это невозможно. Тем не менее Демокрит считал такую процедуру осуществимой в потенции: он знал представление об амерах, лишенных размера, из которых состоит атом. Амер можно себе представить как грани атома или точку его поверхности. Он не может быть выделен из атома в реальности, но может быть обнаружен в нем умозрительно. (Впрочем, говоря об амерах, Лукреций не совсем ясен: возможно они появились уже только у Эпикура.)

Демокрит особым образом останавливается на понятии пространства, и его можно считать первым теоретиком, попытавшимся дать соответствующее определение: пространство – это «не имеющее реальности», которое тем не менее подлинно существует. Абсолютность реальности и существования в мире до сих пор не подвергалась сомнению. Богиня в поэме Пармениса однозначно заявляет: «Ибо то, чего нет, нельзя ни познать (не удастся), / Ни

и нельзя / Ибо мыслить – то же, что быть » Только Гераклит пытается облемнить бытие и небытие, утверждая: «Одно и то же – жизнь и смерть, бдение и сон ». Демокрит продолжает линию Гераклита на релятивизацию бытия и небытия: и то, и другое лишь относительны.

Наконец, Демокрит дополняет рационалистические доводы Левкиппа в пользу атомизма своими эмпирическими. Естественно, говорить тогда ни об опытной проверке гипотезы атомов ни даже о каких-то экспериментальных косвенных доказах было невозможно. Впервые поставить вопрос таким образом стало возможно только в XVI веке, да и то выводы приходилось делать преимущественно на основании метафизических посылок (об это будет говориться в соответствующем разделе). Аристотель приводит четыре аргумента в пользу существования пустого пространства, заявляемых атомистами: 1) движение требует пустого пространства, так как то, что можно, не может содержать ничего другого; 2) разрежение и сгущение возможны только при существовании в телах пустых промежутков; 3) рост возможен лишь при проникновении пищи в пустые места тела; 4) сосуд, наполненный пеплом, может принять в себя столько же воды, как и пустой. Первые три чисто метафизические аргументы были выдвинуты Левкиппом. Последний аргумент, принципиально отличающийся от трех предыдущих, был добавлен Демокритом. Он кажется эмпирическим: действительно, пепел очень рагка и способен впитывать в себя очень много воды. Конечно, имеющиеся в нем поры не имеют никакого отношения ни к пустоте, ни к атомам, но само направление мысли на прямую экспериментальную проверку очень показательно.

Атомизм, как метафизика множественности бытия на микроскопическом уровне, порождает множественность миров и в космологии. Атомисты считали пустое пространство бесконечным и не ограниченным в существовании во времени. Атомы, двигаясь хаотично и произвольно, закручиваются в вихри. Внутри такого вихря возникает сила тяжести, направленная к его центру, и упорядоченность, подобная той, какую создает веялка. В последнем рассуждении у них перед глазами опять же стоит простой зриттельный образ сельскохозяйственное орудие, применявшее для разделения различных зерен принцип центрифуги. Оно позволяет сортировать зерна разных весов. Точно также и в космическом вихре атомы разных сортов собираются по отдельности, образуя различные тела. Таких вихрей всегда много. В любой момент они образуются и разрушаются, и вместе с ними образуются и разрушаются миры.

Эпикур

В каком-то смысле Эпикур (341–270 до н.э.) наиболее известен среди атомистов, хотя эта его известность относится не к физике, а, скорее, к гедонистической этике. Своим знакомством с учением Демокрита он обязан учичеству у Насифана, ученика Демокрита.

У Эпикура демократов атомизм был несколько модифицирован. Во-первых, пространство у него анизотропно: в нем есть выделенное направление, определяющее верх иниз. Вследствие этого у атомов имеется

естественное движение – сверху вниз. Это значит, что атомы по природе тяжелы, так же как они тяжелы у Демокрита. Но у Демокрита это их свойство проявляется только внутри вакуума, в то время как у Энникура атомы всегда пребывают в состоянии падения – «движдя атомов». Таким образом, у Энникура, в отличие от исходного атомизма, тяжесть в большей степени чем форма оказывается основополагающим свойством атомов.

Пифагор и Платон – провозвестники математического естествознания

Наиболее последовательно идеи математического познания природы выразил в XVII веке Галилео Галилей: «Книга природы написана на языке математики». И хотя обращаться с числами и геометрическими величинами люди научились намного раньше, именно в Древней Греции возникла мысль о том, что математика сама по себе способна дать большее знание о природе, чем простые наблюдения. Необыкновенная эффективность математики в физике стала очевидной лишь в XX веке, когда познание приближалось к пределу наблюдаемости и даже перешло его. В этом положении математическая обоснованность порой может сказать о природе больше, чем эксперимент. В Древней Греции задачу познания определяли через поиск математических закономерностей Пифагор и Платон: закон природы должен выражаться в числах.

Пифагорейская математика

Легенда, повторенная во множестве позднеантических и средневековых источников, гласит, что Пифагор пришел к открытию числовых закономерностей природы случайно, наблюдая за работой кузнецов. Он заметил, что иногда при ударах молотов о наковальни возникают музыкальные звуки. Вспомнив наковальни, он обнаружил в их весе отношения чисел тетрады. Тогда он начал экспериментировать с монокордом – музыкальным инструментом, имеющим всего одну струну. И там тоже обнаружил те же пропорции. Принято стало толковаться в самом общем смысле, а поиск закономерностей в природном явлении – сводиться к обнаружению тех чисел тетрады, которые подди этого явления стояли. Несмотря на весь метафизический и даже мистический характер такого обобщения, чрезвычайно плодотворной и важной для всего последующего прогресса науки оказалась выработанная в нем абстрактная идея числа. Тринадцатая, как сегодня может показаться, мысль, что мы можем оперировать в своих задачах не с пятью, например, или тремя определенными предметами, а просто с пятью и тремя, как самостоятельными сущностями, означает колоссальный скачок в развитии научного знания.

Возможно, конечно, что пифагорейцы были не первыми, или хотя бы не единственными, кто начал использовать числа отдельно от исчисляемых величин, но они первыми это стали делать систематически. Точно также некоторые частные случаи теоремы Пифагора были известны и раньше, например древним египтянам, но Пифагор был первым, кто понял, что эта теорема справедлива всегда, и во достоинству оценил общность этого утверждения,

как и самое возможность делать утверждения не для данного конкретного треугольника, а для всех прямоугольных треугольников сразу.

Возможно, что, обнаружив несопоставимость диагонали квадрата и его стороны, Пифагор усомнился в скрепленности чисел, ибо числами для него были только натуральные числа. Выяснилось, что нет такого даже очень маленького отрезка, который уложился бы целое число раз и в стороне квадрата и в его диагонали. Но доказательство этого факта было не менее фундаментально, чем доказательство теоремы Пифагора: оно было первым доказательством отрицательного положения, начинаящегося словами «не существует». Наконец, не исключено, что именно этот шок, пережитый греческим естествознанием, положил начало развитию доказательной науки.

Бытие и единство

Трудно найти какого-нибудь другого мыслителя в истории человечества, который оказал бы столь колоссальное влияние на весь ее ход, как Платон. Вероятно, он был вторым философом Древней Греции, учение которого охватывала бы все стороны жизни: и космологию, и этику, и антропию, и теорию музыки, и политическое устройство (первым был, по-видимому, Демокрит, однако ни один из его 73 трактатов не дошел до наших дней, и об их содержании мы можем судить лишь по вторичным источникам). В XX веке в Платоне начали усматривать основателя таких несхожих между собой доктрины, как объективный идеализм и тоталитаризм. Трудно найти такой по настоящему важный вопрос, при всестороннем и глубоком рассмотрении которого не пришлось бы совершить хотя бы небольшой экскурс в философию Платона.

Платон пошел дальше по пути предложенном Пифагором, утверждавшим различие чувственного материального мира и мира идей. Лишь через причастность идеям материальные тела обладают какими-то свойствами, и именно со свойствами идей имеет дело математика. Как и в физике Демокрита, материя у Платона состоит из мельчайших частиц. Однако отличие этих частиц от атомов Демокрита очень существенно. Во-первых, их всего пять видов, по количеству правильных многогранников. Такое их количество получается следующим образом. Космос должен быть видимым и осязаемым. Значит, в нем есть огонь и есть земля. Если бы он был плоским, то доставало бы лишь трех простых тем: а именно, огня, земли и их срединного – $f:x = x:t$, где f – это огонь, t – это земля, а x – некое неизвестное среднее. Однако космос имеет три измерения, поэтому в разнотипе должен быть еще один компонент: $f:a = a:t = t:t$. Таким образом, огонь и земля объединяются двумя посредниками: воздухом (a) и водой (t). Тетраэдры, образованные четырьмя правильными треугольниками, – представляют собой атомы огня. Они самые подвижные и имеют «колющие» вершины и «режущие» грани. Куб, построенный из квадратов, в силу своей «неподвижности и способности образовывать другие тела» должен быть атомом земли. Октаэдр, построенный из восьми правильных треугольников, – это атом воды, а икосаэдр, построенный из двадцати правильных треугольников, – это атом воздуха.

К этим четырем материальным элементам, добавляются также атомы эфира, составленные из правильных пятиугольников. Они представляют собой дodeкаэдры и поэтому не могут превращаться ни в какие другие элементы. Земля также не может превращаться в другие элементы, на что способны лишь те из них, атомы которых имеют треугольные грани.

Тут, казалось бы, логика простая: тела, составленные из частиц с треугольными гранями, могут превращаться одно в другое, а тела, частицы которых имеют в основании квадрат или пятиугольник, остаются тождественными сами себе. Платон, однако, рассуждает по-другому. И квадрат, и равносторонний треугольник могут быть «разрезаны» на прямоугольные треугольники. Но квадрат разрезается на четыре равнобедренных прямоугольных треугольника, со отношениием сторон $1 : 1 : \sqrt{2}$, а правильный треугольник разрезается на шесть прямоугольных треугольников с отношением сторон $1 : \sqrt{3} : 2$. Путем подсчета количества таких «переходных» треугольников Платон пытается определять возможные переходы элементов: например, частица воды имеет 20 граней, или $20 \times 6 = 120$ треугольников, у частицы воздуха 8 граней превращаются в $8 \times 6 = 48$ треугольников, а частица огня, состоящая из 4 граней, имеет $4 \times 6 = 24$ треугольника. Поэтому две частицы огня могут превратиться в одну частицу воздуха, а две частицы воздуха и одна частица огня – в частицу воды. Вода может образовываться и прямо из воздуха, когда его частицы, претерпевшая насилие, дробятся, и тогда на каждую частицу воды понадобится две с половиной частицы воздуха.

Из-за того, что у частиц огня острые грани, они легче других разрезают грани других элементов на части. Они могут разрезать и частицы земли, только получившиеся осколки не будут ни во что превращаться, а так и будут носить киперемешку с частицами огня до тех пор, пока, при более благоприятных обстоятельствах, не смогут снова объединиться в частицы земли.

Различие таких коринескулярных представлений и атомизма Демокрита очевидно. Атомы Демокрита неделимы, а частицы Платона могут делиться сколько угодно раз. Атомы Демокрита неисчислимого много, а частицы Платона существуют всего в пяти родах. Атомы Демокрита не могут превращаться друг в друга, частицы Платона свободно переходят из одной формы в другую в зависимости от обстоятельств, в которых они оказались. Платон даже предлагает некое подобие «закона сохранения»: неизменность исходного количества «элементарных треугольников». При этом совершенно очевидно, что в этой своеобразной теории, например, не сохраняется объем: например две частицы огня в $\frac{\sqrt{3}}{4}$ раз меньше по объему, чем одна частица воздуха, которые должна из них получиться.

Смысла платоновских треугольников также неиссен. Несохранение объема, безусловно известное Платону, не позволяет их трактовать, просто как поверхность частиц. Они несут гораздо большую смысловую нагрузку в теории, чем частицы сами по себе. Весьма натянутой выглядит попытка рассматривать их как тонкие материальные пластинки, их которых конструируются полые внутри частицы. Марсилио Фичино, один из главных комментаторов

Платона в Италии эпохи Возрождения, указывала, что «при построении прамильных тел из элементарных треугольников, имеется в виду не столько слагать их, сколько сравнивать друг с другом». Вероятнее всего, Платон в своей корпускулярной теории вещества хотел дать наглядную модель его переходов из одной формы в другую, не подразумевая его истинную первичность, как у Демокрита.

Физика и космология Аристотеля

И все же в истории физики величие Платона несколько затмевается грандиозностью его не менее талантливого ученика – Аристотеля. Различие этих двух мыслителей очень знаменательно – если у Платона всякая вещь понимается через ее причастность идеям, то Аристотель ее пытается извлечь из самой себя. Платон, продолжая пифагорейскую философскую традицию, считал, что идеи, числа, идеальные схемы существуют до материального мира, оказывающегося лишь бледной их копией. Согласно Аристотелю, всякая вещь существует «бездны чего-то», то есть она представляет собой часть единого организма, и поэтому всякую абстракцию, будь то идея, число или форма, – разум находит в сущей вещи, выделяя ее оттуда в результате мыслительного акта. Именно эта мысль оказалась очень близка современной физике.

Проблема движения оказалась в конечном итоге одним из главных затруднений античной философии и как следствие главным объектом античной физики. Различные рассуждения о том, как оно возможно или невозможно, было суммировано и переосмыслено Аристотелем. Выработанные им принципы легли в основу всей физики, включая механику, и оставались неизменными на протяжении почти двух тысячелетий, до самого XVII века, хотя кое-что новое было добавлено Александрийскими механиками.

До Аристотеля уже сложились некоторые варианты теории движения. Во-первых, Парменид сделал вывод об иллюзорности всякого изменения. Иначе говоря, движение возникает лишь как следствие восприятия мира с неизбежностью порождающим ошибки сознанием. Пользуясь довольно чуждой для Парменида лексикой, можно сказать, что истинное бытие и изменение и туже движение. Однако оно закрыто для сознания. Сознанию открыто только истиинное бытие, в котором движение возможно, хотя и иллюзорно.

Основываясь на этом выводе Парменида, другие залоги, в частности Зенон Элейский нашли противоречия, присущие самому понятию движения. Зенон сформулировал несколько хорошо известных парадоксов, показывающих несочетаемость представления о движении с дискретной картинкой времени. Если время не течет равномерным непрерывным потоком, не содержащим пропусков, а представляет собой последовательность «моментов», разделенных конечным, пусть даже очень малым интервалом, вместо движения мы будем иметь последовательность статических «кадров». Каждых из них вполне может отличаться от предыдущего, но он не будет содержать движения, – только его результат.

Альтернативный вариант был несколько ранее предложен Гераклитом: движение – это тождество противоречий, когда одно оказывается многим,

всякое тело одновременно тут и не тут, горячее и холодное, живое и мертвое. Объединение противоположных качеств единой сущностью есть движение. Такое определение кажется темным и парадоксальным даже в наше время. Вряд ли оно казалось более ясным его современникам. Неслучайно Сократ у Платона сравнивает чтение сочинений Гераклита с пытливым за жемчугом.

Наконец, третий, атомистический ответ заключался в том, что движущееся и неизменное строго разделялись: бытие, т. е. atom, неизменно, во оно окружено небытием, т. е. пустотой, погруженной в которую, бытие приобретет возможность к изменению. Таким образом для атомистов (как в определенной степени и для Гераклита) движение было возможно в той мере, в какой возможна пустота.

Аристотель изначально выступает на реалистическую позицию: то что мы наблюдаем, не может быть исключено из рассмотрения как иллюзия. Или иначе: всякая иллюзия реальна в той мере, в какой она наблюдаема. Пустота нереальна и ненаблюдаема, и более того – именно в пустоте движение и не было бы возможным. Аристотель подтверждает платоновской тезис о взаимосвязи движения и времени: если существует движение, то существует и время и наоборот. Однако именно время и кажется несуществующим, так как оно состоит из прошлого, которое уже перестало существовать, и будущего, которое еще не начало существовать, а сложить время, имеющее протяженность, из сменяющих друг друга «стенев», не имеющих протяженности, невозможно. Но время существует, и вместе с ним существует движение, которым время измеряется.

Все учение Аристотеля о движении оказывается тесно связанным с его космологией. Космос у него вечен, ограничен в пространстве и сферичен. За пределами ограничивающей его сферы ничего нет: там, по словам Аристотеля, нет ни пустоты, ни даже просто места. В этих пределах мир поделен на две сферы, наддушную и поддушную, каждой из которых соответствует свой тип наполняющей ее материи и свой тип движения. В наддушной области происходят равномерные круговые движения вокруг центра, т.е. Земли. Все небесные тела имеют идеальную сферическую форму, они не были созданы и будут существовать вечно в неизменном виде. Тела в поддушной области состоят из четырех элементов – земли, воды, воздуха и огня, – которые могут соединяться и разъединяться друг с другом. Таким образом тела «возникают» и «уничтожаются». И то и другое достаточно условно, поскольку возникают и уничтожаются сами тела, а не те элементы, из которых они состоят.

Различные типы соединения, превращения и перемещения элементов соответствуют различным типам движения, под которыми Аристотель понимает все возможные изменения материальных тел. При этом он подчеркивает, что движение невозможно без движущегося, а поэтому природа движения зависит от природы движущегося и определяется ею. Классификация движения по Аристотелю такова: движение из не субстрата в субстрат, движение из субстрата в не субстрат, и движение из субстрата в субстрат. Первое и второе – это возникновение и уничтожение, движением в собственном смысле слова можно называть только последнее, которое в свою очередь делится на движение в

отношении качества – качественное изменение, движение в отношении количества – рост и убыль, и движение в отношении места – перемещение.

Последнее также называли «местное движение». В силу того, что наиболее существенная часть движений определяется как изменение места, категория места [тэлос] играет в теории движения очень важную роль. В физике нового времени аналогичную роль стало играть понятие пространства. Как уже говорилось, место не существует за пределами космоса, но и в пределах космоса место в подлуинной и надлуинной сферах существенно различается. В то время как в надлуинной сфере перемещение осуществляется согласно яично му и неизменному закону, в подлуинной сфере перемещение может быть случайным и изменчивым, оно может быть результатом волевого акта. Однако и в обеих сферах справедлив принцип «все что движется, чем-то движимо». В надлуинной сфере источником движения служит перводвигатель – сфера на границе космоса. Хотя сам перводвигатель неподвижен, он передает вращение непосредственно сфере неподвижных звезд. Так она называется, потому что звезды не меняют своего начального расположения. При этом вся сфера как целое вращается с наибольшей скоростью. Несколько медленнее вращаются сферы Сатурна и Юпитера, еще медленнее – Солнца и Венеры. Медленнее всех вращается сфера Луны. Астрономам времен Аристотеля было известно, что планеты Солнечной системы движутся по небу с неизменной скоростью и иногда даже меняют направление движения по отношению к неподвижным звездам. Такое сложное движение следовало представлять комбинацией нескольких одновременных вращений с постоянной скоростью вокруг центра мира (Земли).

Подлуинный мир также был неоднороден. Места в аристотелевском смысле в нем делились на четыре категории – по количеству элементов: сфера земли, сфера воды, сфера воздуха и сфера огня. Эти сферы назывались естественными местами соответствующих элементов. Каждый элемент в своей сфере пребывал в состоянии естественного покоя. Вне ее он находился в состоянии естественного движения в направлении своего естественного места. Кроме того, всякое тело подлуинного мира могло пребывать в состоянии внешнего движения, если на него действовала какая-то внешняя сила. Под действием этой силы тело может даже покинуть свое естественное место и двигаться против природы, как это происходит, например, с камнем, брошенным в воздух. Поскольку в мире не может быть пустот, всякому телу, движимому внешней силой, приходится вторгаться в то место, где уже находится какое-то другое тело, оказавшее первому сопротивление. Поэтому скорость, с которой движется это тело, определяется двумя факторами: силой и сопротивлением. Чем больше сила и чем меньше сопротивление, тем большая скорость движения. Сам Аристотель не конкретизировал этот закон, не давал ему количественной формулировки. Да и не мог бы этого сделать, так как у него не было количественной меры ни для скорости, ни для силы, ни для сопротивления. Тем не менее в поздние времена этот закон аристотелевской динамики интерпретировался как пропорциональность скорости отношению силы к сопротивлению среды.

Особое место в системе классификации движений у Аристотеля занимает живые существа. По его определению живое – то, что само себя движет. В нем движимое и движитель совпадают. Поэтому следовало бы и космос считать живым телом, так как он пребывает в состоянии постоянного движения, а по отношению к нему нет ничего внешнего. Значит, он движет себя сам, т.е. является живым. И Аристотель в некоторых местах явно признает это. Однако в других местах он опровергает этот взгляд на том основании, что небоечно и пребывает в вечном движении. Для того чтобы его поддерживать, лучше мира, если бы она существовала, следовало не только быть вечной самой, но и пребывать в постоянном направлении, не зная досуга. Неоднозначность позиции Аристотеля в этом вопросе на протяжении тысячелетий служила источником нескончаемых дискуссий среди комментаторов.

От движителя к движимому движение должно было чем-то передаваться. Аристотель отрицал, какую бы то ни было форму дальнодействия. В надувной сфере движение от перводвигателя передавалось через эфир, или стущенный в виде твердых небесных сфер и сметающихся гладких светил, или разреженный между ними. В подувной сфере тело движется к своему естественному месту в силу природной склонности находиться именно там. К тому же оно могло покинуть свое естественное место только в результате насильственного движения, с неизбежностью приводящего в возмущенное состояние тело и среду, в которой это движение совершилось. Поэтому возвращение тела должно также сопровождаться циклическим возвращением в невозмущенное состояние и среды, подталкивающей тело в его естественное движение.

Подобные циклические перемещения играют очень важную роль в натурфилософии Аристотеля. Они возникают неизвестно потому, что в мире нет никаких пустот, но есть стущение и разрежение. Камень, представляющий элемент земли, свободно проникает в менее плотную среду, в воду или в воздух, заставляя ее уплотняться. Уплотнение распространяется в среде по круговому пути, возвращаясь к камню и подталкивая его. Этот механизм применен в равной степени и для объяснения естественного движения камня в земле, и для объяснения насильственного движения в воздухе. Но в последнем случае он особенно важен. В самом деле, как объяснить, что брошенный камень продолжает движение после того, как прекращается действие силы, например руки или катапульты? Уплотнения воздуха, образовавшиеся перед движущимся камнем, возвращаются к нему сзади и толкают его вперед, поддерживая (противоестественное) движение. Такое движение среды, в данном случае воздуха, Аристотель назвал «обратным круговым движением» (*άντιπεριστόλειος*). Критика этой теории началась довольно скоро, уже в Византии Иоанн Филопон выдвинул целую серию аргументов против нее. Множество предложений по ее модификации делалось в последние средние века. Они нашли свое отражение в теории «запечатленной силы», развивающейся со временем в понятие инерции.

Эллинистический период

После распада империи Александра Македонского на ее территории образовалось большое количество мелких, непрерывно враждующих друг с

другом государства. Среди них Египту повезло, пожалуй, больше прочих. Возникшая здесь династия Птолемеев правила в течение нескольких веков в условиях относительно спокойного мирного развития. Соединение на небольшом пространстве представителей трех разных культур – древнеегипетской, древнегреческой и древнесарской, – поставило их перед различными представлениями о природе и послужило поводом для рациональной критики взглядов друг друга, что и дало новый толчок развитию доказательной науки.

Высшим достижением этого периода стало математическое доказательство, то самое проявление рациональной критики, которое, как мы увидим, легло в основу научного метода в конце эпохи Возрождения, когда в ходе научной революции XVII века рождалась наука в современном значении этого слова, со свойственными ей профессионализацией и научными институтами.

Евклид и его «Начала»

Для того чтобы физика приобрела современный вид и смогла решить те задачи, которые мы бы определяли как физические, ей надо было объединиться с математикой, точнее овладеть ее методами, стать математической наукой. Для этого сначала математика и сама должна была достичь определенного теоретического уровня. Исторически сложилось так, что геометрия достигла его раньше прочих разделов математики. И по самой своей природе могла быть применена прежде всего к задачам механики и оптики.

Первый расцвет теоретической геометрии связан с именем Евклида (III в. до н.э.). О его биографии известно почти ничего, кроме того, что он основал в Александрии школу и преподавал в ней во времена Птолемея I Сотера. Ему принадлежит книга, озаглавленная «Начала», посвященная математическому изложению всех известных в то время сведений по геометрии, которая на протяжении двух тысячелетий считалась образцом строгости и последовательности не только для математики, но и для любой точной науки.

Первые четыре книги «Начал» посвящены геометрии плоскости. Первая из них начинается с определений, постулатов и аксиом. Затем следуют теоремы, устанавливающие свойства треугольников, трапеций, параллелограммов. Завершается книга доказательством теоремы Пифагора. Во второй книге излагаются основы геометрической алгебры. Например, произведение двух чисел трактуется в ней как прямоугольник, построенный на двух сторонах, длины которых равны исходным числам. К геометрическим построениям сводятся некоторые задачи, требующие решения квадратных уравнений. Третья книга посвящена свойствам круга, его касательных и хорд. В четвертой книге формулируются и доказываются свойства правильных многоугольников. Здесь же Евклид дает построение правильного 15-угольника, по-видимому не известное до него.

Пятая и шестая книги содержат теорию отношений Еудокса, в разной мере справедливую и для рациональных, и для иррациональных величин. При этом Евклид пользуется геометрической терминологией, позволяющей рассматривать несокомеримые отрезки. В седьмой, восьмой и девятой книгах он переходит к арифметике, излагая в основном результаты, полученные

пифагорейцами. Здесь им закладываются основы теории чисел и формулируется знаменитый «алгоритм Евклида» – алгоритмическое правило поиска наибольшего общего делителя двух чисел. В десятой книге содержатся классификации квадратичных иррациональностей.

Заключительные три книги посвящены стереометрии. В одиннадцатой содержатся теоремы о прямых и плоскостях в пространстве, рассматриваются трехмерные задачи на построение. В двенадцатой излагается метод исчерпывания Евдокса, с помощью которой вычисляется площадь круга и объем шара, а также выводятся отношения объемов пирамид и конусов к объемам соответствующих прям и цилиндров. В тринадцатой книге рассматриваются основные свойства правильных многогранников.

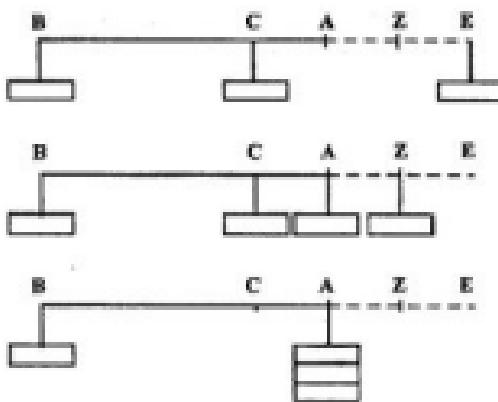
Возможно, к этим тринадцати книгам были добавлены еще две, не принадлежащие Евклиду. Кроме того, ему принадлежат, или, по крайней мере, приписываются, первая попытка перенесения математической строгости с абстрактных мысленных предметов, каковыми являются геометрические тела и фигуры, на реальные природные явления – механические и оптические. Стого говоря, реальность объектов, которые рассматривались в этих трактатах, лишь относительна, так как их рассмотрение было очень абстрактно.

До нашего времени дошло лишь три отрывка по механике, написанных Евклидом и, вероятно, входивших в один и тот же трактат. Первый из них имеет даже собственное заглавие: «Книга Евклида о тяжестях и сравнении тел». Второй отрывок, посвящен весам; он дошел до нас в арабском переводе и очевидно искаженном виде. Третий отрывок объединяет несколько теорем о движении и еще сильнее искажен переводчиками и переписчиками, так что по нему судить об исходных идеях Евклида очень трудно.

Все три отрывка представляют собой развитие идей, изложенных в наиболее древнем известном нам греческом трактате по механике «Проблемы механики», долгое время приписываемемся Аристотелю. Авторство этого трактата установить очень сложно, но большинство современных историков сходится в том, что он принадлежит веру неизвестногоalexандрийскогоperiphiliteka (возможно Страбона). «Проблемы механики» послужили поводом многочисленных комментариев как античных, так и средневековых, которые определяли теоретические контуры механики вплоть до Галилея. В средние века текст его считался утраченным, и о его содержании судили по сочинениям тех, кому удалось с ним познакомиться, не в последнюю очередь по сочинениям Евклида. Текст трактата был обнаружен в конце XV века, что очень стимулировало развитие механики в XVI веке.

Трактат Евклида имеет по отношению к «Проблемам механики» важное отличие: во всех трех сохранившихся отрывках трактата Евклида прослеживается стремление автора предать систематизированную математическую форму определений, аксиом и теорем чисто качественным утверждением «Проблем механики». Евклид выводит сначала соотношение, связывающее силу, вес и расстояние, проходимое данным весом в данной среде, а затем пытается вывести из него закон рычага для частного случая, когда отношения весов на его концах равны трем.

Рассуждение его таково: пусть рычаг AB закреплен в точке C , так что $BC : AC = 3$. Продолжим его вправо до точки E , такой что $CE = BC$. Тогда равные грузы, укрепленные в точках A , C и E не нарушают равновесия. Передвигнем груз из точки C в точку A , а груз из точки E в точку Z , такую что $CA = EZ$. В одном из предварительных утверждений доказывалось, что такое перемещение не нарушит равновесия. Добавим еще один груз такого же веса в точку C . Равновесие от этого снова не нарушится. И еще раз передвигнем его из точки C в точку A , одновременно передвигнув груз из точки Z в точку A . Утверждение теоремы доказано (см. рисунок).



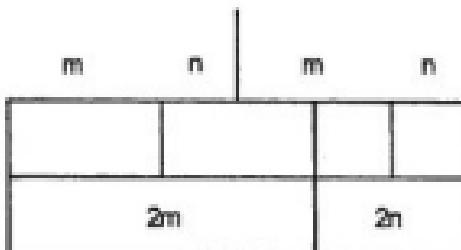
Архимед и Герон Александрийский: законы рычага и гидростатики, пять простых машин

Еще большего успеха в приложении геометрических построений к задачам механики добился Архимед (ок. 290–211/212 до н.э.). Хотя большую часть жизни Архимед провел в Сиракузах, при дворе тирана Гиерона, в Александринии он долго жил и, видимо, получал образование. Следует отметить, что он был там примерно в то же время, к которому относится пик преподавательской активности Евклида; это, возможно, определяло и его интересом, и методами исследования и изложения результатов. Так же как и Евклид, Архимед много занимался математикой. Но кроме того, он был видным изобретателем и инженером.

Трактаты, в которых Архимед наиболее полно изложил основы своей механики, озаглавленные «О центре тяжести» и «О весах или рычагах», до нас не дошли. Полностью или в отрывках сохранились его сочинения «О равновесии плоских тел», «О квадратуре параболы», а также его письмо Эратосфену, которые, тем не менее, дают достаточно полное представление о его доктрине. Кроме того, основы гидростатики были им заложены в сочинении «О плавающих телах», так же сохранившемся.

В механических трактатах Архимеда заложены теоретические основы статики: в них впервые формулируется понятие центра тяжести и дается доказательство закона рычага, отличающиеся от данного Евклидом большой общностью и математической строгостью. Так же как и у Евклида, доказательство Архимеда строится на сопротивлениях симметрии.

Однородный стержень длиной $l = 2m + 2n$ будет находиться в равновесии, если его закрепить в геометрическом центре. После того, как он разделен на две части, первая – длиной $2m$, а вторая – длиной $2n$, каждый из них тоже будет находиться в равновесии, будучи закреплен в своем геометрическом центре. Центр стержня длиной $2m$ окажется на расстоянии n от общего центра всего стержня, соответственно центр стержня длиной $2n$ окажется на расстоянии m от общего центра (см. рисунок). Каждая из двух частей может быть заменена грузом произвольной формы.



Несмотря на хорошо известную занятость Архимеда в технических приложениях и редкой изобретательности, эти его качества никаким образом не отражены в этих трактатах, подчеркнуто оторванных от практики и ее реальных требований.

Так же подчеркнуто математический характер носит изложение основ гидростатики в трактате «О плавающих телах»: основные понятия формулируются определениях, они связываются затем высказываниями, и по их поводу делаются неочевидные утверждения в форме предложений и теорем. Но здесь мы встречаемся с гораздо более физическим способом рассуждений, чем в трактатах по механике, да и сам известный закон Архимеда гораздо ближе к физике, чем сугубо геометрический закон рычага. Согласно легенде, Архимед открыл свой закон, размышляя о том, как определять содержание золота в короне Гиерона. Однажды он проник в ванну, а мысли его были заняты этой задачей. Он заметил, что при погружении тела в воду, уровень воды в ванне меняется, а тело становится легче. Он понял, что тело становится легче на величину веса воды, занимющей тот же объем, что и тело. Таким образом он смог вычислить плотность металла, из которого была сделана корона, и показать, что этот металл – не золото.

Эта легенда показывает, что, в отличие от закона рычага, в основе закона Архимеда лежит опытный факт и что к закону Архимеда невозможно было прийти, исходя из чисто геометрических умозрительных заключений. Поэтому наблюдения Архимеда за своим телом, погруженным в ванну, иногда

называют первым физическим экспериментом, а его закон, связавший физические сущности и выведенный из экспериментальных данных, первым физическим законом. Конечно, подобные утверждения нельзя понимать буквально, но революционный характер сочинений Архимеда они передают верно. Именно в них наиболее ярко выражены переход от качественных рассуждений о равновесии и движении «Проблем механики» Псевдо-Аристотеля к математической науке, связывающей физические сущности математическим законом.

Механические сочинения Архимеда остались мало известными на протяжении всех средних веков и раннего Возрождения. Интерес к ним возник лишь в XVI веке, когда введение в механику «архимедовских традиций» послужило одним из элементов построения механической науки нового времени, преодолевшей разрыв между старой механикой, т.е. наукой о простейших механизмах, вариантом статики, и наукой о движении.

Среди механиков следующего поколения наибольшее значение имел Ктезибий, Филон Византийский, Герон и Папп, самый заметный из которых **Герон Александрийский** (I в. н.э.). Помимо значительного вклада в математику, Герон оставил довольно много сочинений по механике, большая часть которых дошла до нашего времени – это «Пневматика» в двух книгах, «Автоматы», «Военные сооружения» и «Ручная баллисти». Кроме того, в арабском переводе и сильно искаженном виде дошла его «Механика» в трех книгах. Живший около трехсот лет спустя Папп Александрийский упоминает также его сочинение под названием «Методы подъема тяжестей», вероятнее всего один из вариантов «Механики», не дошедший до нас.

В предисловии к «Военным сооружениям» Герон называет себя «учеником Ктезибия». Он так же, как и Ктезибий посвящает себя описанию инженерных сооружений и механическим задачам. Самые знаменитые из которых – это диски крампа, самы открывавшиеся при замертвании жертвенных, и так называемый колеса, или колесо Герона – своего рода паровая турбина. Однако иногда он переходит к теоретическим вопросам. Например, в первой книге «Пневматики» разыскивается возможность сжимать воздух в связи с существованием пустоты. Если бы пустота была невозможна, как думают некоторые философы, то, утверждает он, было невозможно и сжимать воздух. Поэтому следует допустить, что пустота может дробиться и распределяться по объему в воздухе, огне и прочих телах. Герон поясняет: «По утверждениям физиков воздух состоит из крохотных мельчайших не видимых нам молекул; благодаря пустотам между ними его можно сжимать и заставлять делать работу».

В второй книге «Механики» также есть теоретический раздел, посвященный пяти простейшим механизмам: вороту, рычагу, блоку, клину (наклонной плоскости) и винту, – некоторые из них обсуждались уже в «Проблемах механики» Псевдо-Аристотеля, некоторые были впервые рассмотрены Архимедом. Отныне изложение теории этих пяти механизмов становится обязательным для любого теоретического механического сочинения вплоть до Галилея.

В «Механике» Герона впервые формулируется условие равновесия тела на наклонной плоскости. Герону не удалось вывести правильную формулу, – она появится только в средние века.

С распадом греческого государства в Египте, с последовавшей здесь целью войн и захватами античная наука привела в упадок. Большая часть рукописей, как созданных здесь, так и собранных коллекционерами, была уничтожена, равно как и большая часть механизмов, созданных античными инженерами. Тем не менее представители различных волн завоевателей – римляне, византийцы, арабы, – позаимствовали у завоеванного народа по небольшой части его культуры каждый. Так, через их посредничество, небольшими порциями античное знание возвращалось в Европу на протяжении полутора тысячелетий, подготовляя научную революцию XVII века.

Проблема измерения времени

Проблема времени, в значительной мере не решенная и поныне, представляла серьезную проблему и для учёных античности. Рассматривается, те из них, для которых вское изменение – лишь иллюзия, время также считали иллюзией человеческого сознания. Платон, прописавший космосу смыкающие друг друга гибель и восрождения, считал время существующим только тогда, когда космос жив и в нем есть изменения. Аристотель во многом разделял его взгляды. Прежде всего, говорил он, может показаться, что времени не существует, потому что оно состоит из того, что уже прошло, и значит уже не существует, и того, что еще не наступило, и значит пока не существует. Тем не менее время реально поскольку реально изменение. А раз время есть свойство движения, то и измерять его следует движением, как мы и делаем, используя в качестве меры времени какие-то циклически повторяющиеся движения в природе, например годичный оборот Солнца по небосклону.

В Александрии в вопросе об измерении времени отнеслись не столь теоретически. Для Александрийских учёных это был вопрос, скорее, технический, чем принципиальный. Большое распространение здесь получают солнечные часы различных конструкций, и отолосок этой традиции можно найти в «Десяти книгах об архитектуре» Витрувия, считавшего умение делать солнечные часы необходимым для архитектора.

Но главной отличительной особенностью этого периода служат разнообразные конструкции механических часов. Вероятно, одну из первых попыток использовать для измерения времени текущую воду предпринял Ктезибий. Затем Герон попытался усовершенствовать его механизм, компенсируя неравномерность скорости вытекающей воды. До нас дошли сведения о том, что Александрийский медик Герофил использовал водяные часы (клипсидру) для измерения пульса у больных. В средневековой Европе эта идея претерпела инверсию и уже пульс использовался для измерения времени. Как свидетельство тому можно рассматривать строки из «Бури» Шекспира:

«Перед собой, лягя, я выпью воздух,
И ворочусь я прежде, чем твой пульс
Не более двух раз успеет стукнуть».

Оптика

Античная оптика, как показывает само ее название, изначально была наукой не столько о свете, сколько о человеческом зрении (*бфтс*). Она обладала тем, что мы сегодня называли бы геометрической, физической и физиологической оптикой. При этом одним из главных оставался вопрос: распространяется ли свет от глаза к видимому предмету, или наоборот, от предмета к глазу. Формирование античной оптики было тесным образом связано с необходимостью выдвигать зрительные поправки при наблюдениях за небом и при построении перспективных изображений в живописи.

Среди наиболее древних сочинений по оптике, дошедших до наших дней, два сочинения Евклида «Оптика», следующее, в основном, пантомиской теории зрения, и «Катоптрика» (правда, по поводу последнего есть серьезные сомнения в авторстве Евклида), а также «Катоптрика» Герона и «Оптика» Птолемея в пяти книгах. Трактат Архимеда по оптике полностью утерян; до наших дней дошла лишь известная легенда об осаде Сиракуз римским флотом, который якобы был уничтожен при помощи большого количества зеркал. По этой легенде, женщины города, собравшись на берегу, направляли солнечные лучи на ближайший корабль, отчего тот загорелся. Хотя теоретически подобное возможно, нет никаких надежных свидетельств, подтверждающих достоверность этой легенды.

В своей «Оптике» Евклид постулирует прямолинейность распространения «лучей зрения» и формулирует понятие «конуса зрения», вершина которого в глазу, а основанием служит граница предмета. Он доказывает закон равенства углов падения и отражения, но-видимому, известный грекам задолго до него. Значительно превосходит ее по объему «Катоптрика», посвященная проблемам построения отражений в зеркалах различной формы. Однако текст этого сочинения настолько искажен более поздними вставками и исправлениями, что судить по нему о взглядах самого Евклида практически невозможно. Весьма интересна «Катоптрика» Герона, в которой появляется ряд новых положений по сравнению с Евклидом и, например, Архимедом. В частности, Герон объясняет прямолинейность лучей света бесконечной скоростью их распространения, а закон равенства углов падения и отражения тем, что путь, проходимый светом, должен быть напрямичайшим. Много внимания он уделяет и кривым зеркалам и тому, как их можно использовать при постановке театральных представлений.

«Оптика» Птолемея сыграла наиболее важную роль в развитие этой дисциплины премнущественно из-за того, что здесь впервые рассматривалось не только отражение, но и преломление света. Характерно, что Птолемей смог даже дать довольно точную для своего времени таблицу этой зависимости, хотя, судя по всему, он не пытался найти для нее аналитической формы. Здесь же Птолемей описывает явление полного внутреннего отражения. Однако при всем том он оставался уверенным, что «лучи зрения» испускаются глазом.

Геоцентрическая система мира Птолемея

Значение Птолемея в истории науки определяется прежде всего созданием геоцентрической системы мира, вошедшей его именем и просуществовавшей практически без изменений до самой научной революции XVII века. Конечно, за исключением нескольких последователей пифагорейской школы, выступивших с гениальной догадкой о возможности движения Земли вокруг Солнца, неподвижность Земли никем всерьез не оспаривалась. Авторитет Аристотеля, закрепивший центральное ее положение всей мыслью своей тщательно продуманной и полной разнообразных деталей философской системы, надолго вынес этот вопрос из сферы каких-либо обсуждений. Тем не менее идея Аристотеля, что всякие движения в надлунной области должны неизменно совершаться по идеальным круговым орбитам с постоянной скоростью и иметь своим центром Землю, приводила к слишком большим техническим сложностям. Движение светил по небосводу слишком очевидно неравномерно, и чтобы привести их в соответствие с явлениями, приходилось представлять его комбинацией нескольких одновременных вращение вокруг различных осей и с различными скоростями. Так, для адекватного представления всей Солнечной системы, ее приходилось представлять состоящей из 55 гомоцентрических сфер.

Птолемей кардинально преобразовал аристотелевскую систему, отказавшись от гомоцентрических сфер и от постоянной скорости вращения. Вместо этого он допустил вращения вокруг «пустого места» (что также запрещалось аристотелевской физикой) и комбинировал наблюдаемое движение из двух равномерных круговых движений. Первое из них представляло собой качение по окружности, называемой эксцентром, вокруг центра, в свою очередь движущегося по окружности вокруг Земли. Эта вторая окружность называется деферентом. При этом равномерность движения центра эксцентра по деференту вовсе не обязательно понималась как равномерность качения по окружности относительно ее центра – угловая скорость должна быть постоянна относительно некоторой точки внутри круга, ограниченного этой окружностью, называемой экзактом.

Эти две модификации значительно упростили все систему и сделали возможным использовать ее не только для объяснения наблюдаемых движений, но и для предсказания положения светил в будущем. Птолемей смог довольно точно сформулировать правила расчета положения планет и составил таблицы, которыми долго пользовались в средневековой Европе и на арабском Востоке. Например, подбирая отношения периодов движения по экзакту и по деференту, можно учитывать особенности движения светил по небу. Так, для Солнца это отношение должно быть равно двум, тогда два этих круговых движения не изменят круговой формы солнечной орбиты, но ее центр будет смещен по отношению к Земле. Это объясняло неравномерность видимого движения Солнца по небу и известное Птолемею неравнство времен года.

Вся эта теория легла в основу главного его сочинения, ставшего известным под арабским названием «Альмагест» и состоящего из тринадцати книг. Первые две книги содержат общие положения, относящиеся к движению

арабских астрономов, после чего Птолемей последовательно изложил теории движения Солнца, Луны и пяти планет. При этом Птолемей довольно много заимствовал результаты, полученные до него другими астрономами, даже их не проверяя. В частности, он считал, что долгота азимута Солнца всегда остается одной и той же. На самом же деле она изменяется примерно на полтора градуса в сутки. Это заметили только в X веке арабские астрономы, хотя у Птолемея были все шансы заметить это до них. Но он, вероятно, верил в свою систему больше, чем своим наблюдениям.

Система Птолемея идеально отвечала потребностям его эпохи. С одной стороны она достаточно хорошо «спасала явления», то есть позволяла производить теорию в соответствие с наблюдениями. С другой стороны, она обходилась без революционного подрыва основ сложившейся картины мира, вроде допущения суточного вращения Земли или замены геоцентрической системы гелиоцентрической. Вероятно, именно поэтому на протяжении многих последующих столетий она считалась высшей ступенью, до которой способна подняться теоретическая наука о природе.

Литература

1. Арутин А.В. История принципов физического эксперимента от античности до XVIII в. М.: Наука, 1995.
2. Зубов В.П. Физические идеи древности // Очерки развития основных физических идей / Под ред. А.Т.Григорьева, А.С.Полака. М.: Изд. АН СССР, 1969. С. 11–80.
3. Розановский И.Д. Античная наука. М.: Наука, 1980.
4. Розановский И.Д. Развитие естествознания в эпоху античности. М.: Наука, 1979.
5. Розановский И.Д. История естествознания в эпоху классицизма и романской империи. М.: Наука, 1988.
6. Тимашев Л. Первые шаги древнегреческой науки / Пер. с фр. Н.И.Полыновой, С.И.Циратова и др. СПб., 1902.
7. Философия природы в античности и в средние века: В 2 т. / Под ред. П.П. Гайденко, В.В. Петрова. М.: ИФРАН, 1998–1999.
8. Фрагменты ранних греческих философов. Ч. 1: От математических творений до естествознания античности / Под ред. И.Д.Розановского. М.: Наука, 1969.

Общая теория относительности: формирование и развитие

Василий В.Л.

Введение

Создание общей теории относительности (ОТО) явилось важной составляющей квантово-реалистической революции. Она стала современной реалистической полевой теорией гравитации, не претерпевшей серьезных изменений до настоящего времени. До середины 1960-х гг. ОТО была слабо связана с магистральной линией развития физики и имела незначительный выход на эксперимент. К тому же было приято считать, что это теория и математически весьма сложна, и требует немалых усилий для ее физического осмысливания. Иногда утверждалось даже, что ОТО далека от своего завершения и что существует ряд других, нейтингианских, вариантов теории тяготения. Поэтому она редко включалась в курсы истории физики (так, Я.Г.Дорфман в своей замечательной «Всемирной истории физики» уделил ей не более одного абзаца [1, с.217]¹).

В настоящее время преобладает иная оценка ОТО. Во-первых, с серединой 1960-х гг. гравитационная физика получила мощный импульс от астрофизики и космологии, связанный с открытиями квазаров, радиотелескопического излучения, пульсаров, развитием рентгеновской и гамма-астрономии,нейтринной астрономии и т.п. Актуальными стали проблемы космологии, черных дыр, гравитационных волн. ОТО, во существу, оказалась на главной линии развития физики. Во-вторых, начиная с 1970-х гг. появилась немало кратких, ясных и математически простых наложений теории с четким анализом ее физического содержания и экспериментальной проблематики [3–6]. В одной из таких книг говорится: «Существует мнение, что в ОТО много неясного. Нам кажется, что это не так, поскольку, похоже, никогда не возникало сомнений в том, какой результат предсказывает ОТО для реально осуществимых наблюдений и опытов» [4, с.6]. В-третьих, ОТО выше признана наилучшей и простейшей реалистической теорией гравитации и «законченной» в том же смысле, что и классическая механика» [6, с.9]².

Настоящая глава посвящена, в основном, истории создания ОТО в течение десятилетия, последовавшего за разработкой СТО³. Конечно, этому предшествует небольшая предыстория, относящаяся к классической (нейтоновской) теории и ее трудностям на рубеже XIX и XX вв. Очень бегло (буквально

1) Отметим, впрочем, опубликованный в 1971 г. третий том «Истории физики» П.С.Кулешова, в котором история создания ОТО рассматривается относительно подробно [2, с.79–86].

2) Известна замечательность теории относительности только в слабых полях. вместе с тем, в сильных гравитационных полях ситуация иная: «Новых интересных результатов можно ожидать в двух областях: в анализе релятивистических законов сохранения, связанных с топологией, отличной от псевдогрупповой, типа черных дыр и космологических решений, и в изучении квантовых эффектов. В этих областях теория гравитации с конкурирующими [4, с.6].

3) В дальнейшем мы опираемся на более развернутое изложение истории создания ОТО, предложенное автором настоящей главы [7, 8].

на нескольких страницах) рассматривается история дальнейшего развития ОТО вплоть до первых проектов единых геометрических теорий поля и нестационарной космологии А.А.Фридмана. Еще более кратко говорится о событиях в гравитационной физике в последующие почти сорок лет. Развитию реалистической астрофизики и космологии во второй половине XX в. посвящена последняя глава планируемого курса.

Ньютонаевская теория тяготения на рубеже XIX и XX вв.

Ньютонаевская, или классическая, теория тяготения основана на законе всемирного тяготения Ньютона

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где F – сила, с которой два тела с массами m_1 и m_2 , находящихся друг от друга на расстоянии r , действуют друг на друга (k – гравитационная постоянная). В сочетании с классической механикой этот закон образует фундамент небесной механики, блестящее объяснение движение небесных тел в Солнечной системе. На рубеже XVIII и XIX вв. этот фундамент приобрел форму простых дифференциальных уравнений:

$$\Delta\Phi = 4\pi G r \text{ (уравнение Пуассона)}$$

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = -\nabla \Phi,$$

где Φ – гравитационный потенциал, $r(\vec{r})$ – радиус-вектор частицы; r – плотность массы.

К середине XIX в. ньютонаевская теория тяготения убедительно доказала свою силу, особенно после того, как У.Леверье и Дж.Адамс открыли «на кончике пера» планету Нептун. Спустя некоторое время Леверье обнаружил аномальное вековое смещение перицентра орбиты Меркурия, которое не объяснялось классической теорией. Были и некоторые другие небольшие расхождения наблюдаемого движения небесных тел с вычислениями, которые к началу XX в. либо были устранены, либо сведены к минимуму. Аномальное же смещение перицентра орбиты Меркурия ($\sim 41^\circ$ в столетие) оставалось необъяснимым. Многочисленные попытки устранить эту аномалию, предпринятые в последней трети XIX в., не увенчались успехом. В основном, эти попытки сводились к введению скрытых масс – источников аномального движения (излияние небольшой планеты или колца астероидов между Меркурием и Солнцем, спутника Меркурия или колца астероидов между Меркурием и Венерой и др.). Выдвигались также гипотезы о возмущающем действии зодиакального света и возможной несферичности Солнца.

Все-таки, по сравнению с другими физическими теориями, небесная механика имела наиболее надежное наблюдательно-эмпирическое подтверждение. Более серьезными могли считаться некоторые логико-теоретические трудности классической теории тяготения, которые стали особенно

заметными на фоне достижения теоретической физики во 2-й половине XIX в. и которые отмечали некоторые проницательные теоретики и критики классической механики (Дж.Максвелл, К.Нейман, Э.Мах, Г.Герц, Г.Зеэллигер, Х.А.Лоренц и др.).

Главные из этих трудностей отмечались впоследствии и Эйнштейном [7]. Двумя очевидными недостатками были: отсутствие удовлетворительной объяснительно-микроскопической концепции (модели) тяготения и линия изолированность гравитационной науки от остальной физики, энергично развивающейся в XIX в. Многочисленные эфирно-механистические гипотезы о природе тяготения и столь же многочисленные попытки связать гравитацию с электромагнитными, оптическими и прочими явлениями и теориями успеха не имели. Но это были трудности достаточно общего характера и с ними, как будто, еще можно было примириться, по крайней мере, временно. Более серьезными выглядели три других трудности: мгновенное дальнодействие гравитации, наличие абсолютных пространства и времени в классической механике, соприженной с классической теорией тяготения, и необъяснимость равенства инертной и гравитационной масс.

Наиболее серьезными на фоне триумфа фараадеево-максвелловской концепции близодействия выглядело мгновенное дальнодействие в швартовской теории, но попытки учета скорости распространения гравитации или построения квази-электромагнитной теории тяготения оказались неудачными. Абсолютный характер пространства и времени, присущий классической механике, был подвергнут убедительной критике (особенно Махом), ставшей одним из истоков эйнштейновского реализма. Равенство инертной и гравитационной масс, использованное в приведенных выше уравнениях и лежавшее в основе небесной механики, было многократно подтверждено экспериментально, но выглядело неубедительным. Эфирно-механистические или электромагнитные теории гравитации, которые претендовали на такое объяснение, например электромагнитная теория гравитации Лоренца, оказывались безуспешными.

Коснемся еще двух недостатков, которые также обсуждались в это время. Первый был связан с недостаточно обоснованным выбором евклидовой геометрии пространства (хотя К.Шварцшильд, П.Гардер и др. обсуждали возможность использования неевклидовой геометрии в астрономии и механике). Второй касался выражения гравитационного парадокса: при распространении швартовской теории тяготения на бесконечно большие расстояния возникали бесконечные или неопределенные значения гравитационных сил или потенциалов.

СТО и гравитация. Принцип эквивалентности

Перечисленные трудности были достаточно серьезными, поскольку для их преодоления нередко предлагалось модифицировать либо сам закон всемирного тяготения, либо даже представления о геометрии пространства. Но действительно глубоким и реальным поводом для пересмотра гравитационной проблемы стало создание специальной теории относительности (СТО) (1905).

Первые несколько лет, последовавшие за созданием СТО, были периодом «сплошной реалистизации». Коллективными усилиями, в которых ведущую роль играли Эйнштейн, М.Планк, Г.Менковский, А.Зоммерфельд, М.Лауц, М.Бори и др., были созданы реалистическая механика дискретных систем, реалистические гидродинамика и теория упругости и т.д. Фактически, СТО представляла собой сильную и универсальную программу, которая быстро прогрессировала. Естественно, возник вопрос о создании реалистической теории тяготения. Четырехмерное обобщение закона всемирного тяготения раньше других дал Пуанкаре (1905–1906), более наглядно и обстоятельно различные варианты этого обобщения были рассмотрены Минковским, Зоммерфельдом, Х.А.Лоренцем, В.де Ситтером (1907–1911).

Сам Эйнштейн столкнулся с проблемой гравитации в 1907 г., когда пишет большую обзорную статью по СТО, заказанную ему И.Штарком для «наглядного» последним журнала «Fortschritte für Radioaktivität und Elektronik». Эйнштейн с самого начала не устраивал «квантово-дальнодействующий» подход Пуанкаре и Минковского. Он считал, что следует искать реалистическое обобщение не элементарного закона для силы, а дифференциального уравнения Пуассона. При этом он натолкнулся на показавшийся ему в высшей степени примечательным факт равенства инерционной и гравитационной масс, который в классической теории выглядел случайным и эмпирическим. Вначале Эйнштейн пытался построить реалистическое (четырехмерное) обобщение уравнения Пуассона, которое бы включало в себя это соотношение и, кстати говоря, объясняло бы аномальное смещение перигелия Меркурия. Но это ему не удалось, более того он пришел к выводу о несовместимости лоренцево-координатного подхода с радиустичностью масс. Соединив этот факт с реалистической программой, Эйнштейн получил принцип эквивалентности, позволяющий чисто кинематически интерпретировать однородные гравитационные поля¹¹. Фактически, это означало и расширение исходной реалистической программы.

На основе принципа эквивалентности Эйнштейн предсказал два новых оптико-граммационных эффекта, которые поначалу казались лежащими за пределами возможностей экспериментального обнаружения: искривание световых лучей в гравитационном поле и зависимость хода часов от гравитационного потенциала («красное смещение»). Этот принцип и полученные на его основе новые эффекты означали, что реалистический анализ гравитационных полей (даже простейших – однородных) требует радикального расширения СТО и, тем самым, реалистической программы: во-первых, в рассмотрение вводились ускоренные системы отсчета и, во-вторых, скорость света оказывалась зависящей от гравитационного потенциала.

Это вело к принципиальным трудностям, возникшим на пути распространения принципа эквивалентности на неоднородные поля. Было ясно, что

¹¹ Эйнштейновская формулировка 1907 г. принципа была такова: «При современном состоянии науки никаких оснований полагать, что системы отсчета E_1 и E_2 (т.е. движущиеся равнотекущими и покоящиеся с однородным гравитационным полем – Л.Л.) в каком-либо отношении отличаются друг от друга, и в дальнейшем мы будем предполагать полную физическую равнотекучесть гравитационного поля и соответствующего ускорения системы отсчета» [9, с. 105–107].

релятивистская программа должна быть расширена, что на смену группе Альбрехта должна прийти более широкая группа преобразований (по-видимому нелинейных), но характер этого расширения при наличии произвольных полей тяготения оставался неясным. Кроме того, переход к ускоренным системам отсчета лишил координаты непосредственного метрического смысла, что подрывало операционально-измерительную основу релятивистской программы. Возникла несколько туманный образ расширенной релятивистской программы, и было не ясно, как от простейшего случая однородных полей перейти к произвольным гравитационным полям.

Столкнувшись с этими трудностями, Эйнштейн на время ушел в область квантовой теории (1908–1910). При этом его не оставляла мысль найти также обобщение максвелловской теории, которое бы позволяло получить и частицы, и квантовые аспекты излучения. В случае удачи могло оказаться, что обобщенные уравнения допускают более широкую, чем лоренцева, группу, а это могло подсказать необходимое расширение релятивистской программы и помочь с разрешением трудностей, возникших на пути распространения принципа эквивалентности на неоднородные поля. В 1911 г. Эйнштейн, не достигнув успеха на этом пути, вернулся к гравитации. Он снова, но более четко и корректно, рассмотрел принцип эквивалентности, заново вывел из его основе два упомянутых эффекта, на этот раз отметив возможность их астрономического наблюдения. К тому же, он подчеркнул существенно локальную природу принципа.

Скалярные теории гравитации

Идея зависимости скорости света от гравитационного потенциала была использована М. Абрагамом, который попытался соединить ее с четырехмерным обобщением уравнения Пуассона (1912). Эйнштейн же, понимая противоречивость такого соединения, занялся обобщением принципа эквивалентности только на статические неоднородные поля. Он отождествил гравитационный потенциал сначала со скоростью света c , а затем с корнем квадратным из веса ($\Delta c = k \rho r$ или $\Delta \sqrt{c} = \frac{k}{2} \sqrt{\rho r}$, где ρ – плотность массы, а k – гравитационная постоянная).

Вслед за этим Абрагам попытался улучшить свою теорию, приняв за основу эйнштейновское отождествление потенциала с \sqrt{g} . Но отказ от лоренц-ковариантности при скалярном подходе не позволял естественным образом распространять принцип эквивалентности на неоднородные поля и расширять при этом релятивистскую программу. Г. Нордстрём предложил вернуться к лоренц-ковариантности, оставив потенциал скалярным и учитывая при этом равенство инертной и гравитационных масс, но не переводя его в форму принципа эквивалентности (1912). Но для Эйнштейна, уже опровергнувшего этот подход в 1907–1908 гг. и уверовавшего в свой принцип эквивалентности, возврат к лоренц-ковариантному варианту теории был уже непреимуществен. Позже, когда Эйнштейн уже встал на путь тензорно-геометрической концепции гравитации, Нордстрём и Г. Ми продолжали разрабатывать скалярные специрелятивистские теории тяготения (1913–1914).

Теория Нордстрема представлялась вполне жизнеспособной и логически непротиворечивой. Источником тяготения в ней оказался не сам тензор энергии-импульса материи, а только его след ($\Phi\Omega\Phi = \kappa T$, где Φ – потенциал, а T – след тензора энергии-импульса), что изначально отсутствовало в этой теории отклонения света в гравитационном поле. Начавшаяся летом 1914 г. первая мировая война помешала немецкому астроному Э.Фрейндлиху, перенесшемуся с Эйнштейном, провести наблюдения солнечного затмения и решить вопрос об эффекте отклонения света. Результаты этих наблюдений могли сильно повлиять на дальнейшее развитие теории тяготения. Такие наблюдения были успешно проведены в 1919 г., когда упомянутый эффект был зарегистрирован вполне определенно.

Предпосылки тензорно-геометрической теории гравитации

Опыт построения скалярных теорий и их обсуждение (особенно попытка Эйнштейна с Абрагамом) не только способствовали осознанию и осмысливанию трудностей, вставших на пути распространения принципа эквивалентности на неоднородные поля, но и создали важные предпосылки для построения тензорно-геометрической теории:

1. Неудачи векторного и скалярного подходов подсказывали тензорный характер потенциала.
2. Локальная справедливость СТО говорила об инфинитесимальном характере геометрии пространства-времени.
3. К этому же вели идея использования неевклидовой геометрии в ускоренных системах отсчета, а значит, и при модели гравитации.
4. Расширение класса допустимых систем отсчета, подсказываемое принципом эквивалентности, в случае произвольных полей тяготения и в соответствии с малюсской критикой пространственно-временных абсолютов, означало радикальное обобщение относительности, связанное с произвольными непрерывными преобразованиями координат.
5. Идея нелинейности полевых уравнений.

Соединение пунктов 2, 3, 4 наводило на мысль о том, что на смену координатам, утрачивающим непосредственный метрический смысл, должна была прийти метрика. При этом, вместо характерной для СТО метрики:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2,$$

должна была в простейших случаях заинтегрировать метрика с переменной скоростью света:

$$ds^2 = c^2(x, y, z)dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2.$$

Понимание того, что это означало переход от «плоского» четырехмерного пространства-времени («мира Минковского») к искривленному пространству-времени, подсказывало обращение к римановой геометрии с метрикой:

$$ds^2 = g_{ab}dx_idx_i.$$

Это сразу открывало путь для естественного обобщения специалистического закона движения тела

$$\delta \int ds = 0$$

при включении гравитации: достаточно было перейти от «плоской» к римановой метрике. При этом сам метрический тензор g_{ab} получал двойное истолкование: как основная пространственно-временная характеристика и как гравитационный потенциал. Это и составляло суть тензорно-геометрической концепции гравитации. Одновременно получала реализацию идея радикального обобщения относительности: общая относительность трактовалась как общая ковариантность, характерная для произвольно искривленной римановой геометрии.

Перечисленные идеи, предпосыпавшие тензорно-геометрической концепции тяготения, созревали у Эйнштейна во время его двухлетнего пребывания в Праге (1911–1912) и затем в Цюрихе (1912–1913). И крайне важными при формировании этих идей были достаточно интенсивные (очень или заочны) контакты со многими физиками и математиками. Так, что касается П.Эренфеста (нарушение складовых геометрических соотношений на абсолютно твердом врачающемся диске и идея «карманных измерительных приборов» для проведения локальных геометрических и физических измерений), берлинского астронома Э.Фрайндлехса, с которым Эйнштейн обсуждал вопрос о наблюдательном подтверждении эффекта отклонения света в поле тяготения Солнца во время солнечного затмения, М.Абрагама и Г.Нордстрема, с которыми Эйнштейн полемизировал по поводу скалярных теорий тяготения и др.

Особого упоминания в этой связи заслуживают идеи Маха, относившиеся к критике пространственно-временных абсолютов и обусловленности инерции тел их взаимодействием со всеми остальными массами Вселенной. Об этом свидетельствуют не только непосредственные ссылки на Маха в работах Эйнштейна 1911–1913 гг., но и его письма к философу. Благодаря М.Планку, М.Лауз, М.Борну, Эйнштейн в этот период берет на вооружение четырехмерную концепцию Г.Минковского и под влиянием бесед с пражским математиком и учеником Маха Г.Пиком и с помощью своего друга студенческих времен М.Гроссмана (уже в Цюрихе) привлекает к делу риманову геометрию.

Тензорно-геометрическая теория гравитации Эйнштейна-Гроссмана и отказ от общековариантных уравнений поля

В середине 1913 г. появляется совместная статья Эйнштейна и Гроссмана [10], где первые была развита тензорно-геометрическая концепция гравитации, которую В.Паули считал ядром и «прекраснейшим достижением общей теории относительности».¹¹ Она состояла из двух частей – «Физической части»,

¹¹) «Это слияние двух разных совершенно различных областей – метрики и тяготения – должно рассматриваться как прекраснейшее достижение общей теории относительности» [11, с.215].

написанной Эйнштейном и «Математической части», написанной Гроссманом. В первой части показано, как принцип эквивалентности, имеющий прочный экспериментальный фундамент (опыты Эйтена), ведет к зависимости скорости света от гравитационного потенциала, и каким образом это при четырехмерном подходе приводят, по существу, к римановой метрике и закону движения для свободной точки в виде уравнения геодезической [5] $ds = 0$, где $ds^2 = g_{ab}dx^a dx^b$. Одновременно это означало и переход к обобщению относительности от инерциальных систем отсчета к равноускоренным (однородные поля тяготения) и, далее, к произвольным непрерывным преобразованиям координат (в случае произвольных полей).¹⁾

В «Математической части» Гроссман подчеркивает, что основополагающая роль римановой метрики ведет неизвестно к римановой геометрии и тензорному анализу как основной математической структуре теории.²⁾ Это позволяло дать общековариантные формулировки уравнений «материальных» (механических, электромагнитных и т.п.) процессов, автоматически учитывающие влияние на них гравитационного поля. Оставалось только найти уравнения, описывающие само гравитационное поле, своего рода гравитационный аналог уравнений Максвелла в электродинамике. Теоретико-инвариантные соображения в сочетании с принципом соответствия (т.е. требованием перехода новой теории в старую в ньютоновском приближении, или в пределе слабых полей) приводило к уравнениям вида

$$R_{ik} = -k T_{ik},$$

где $R_{ik} = g^{lm} R_{ijkl}$, т.е. смртка основной геометрической характеристики риманова пространства – тензора кривизны, или тензора Римана-Кристоффеля 4-го ранга R_{ijkl} с метрическим тензором g^{lm} , T_{ik} – тензор энергии-импульса «материи», который, как предположил Эйнштейн, является источником гравитационного поля; k – гравитационная постоянная. Это уравнение казалось подходящим кандидатом на роль relativистского обобщения уравнения Пуассона ($\Delta\Phi = 4\pi\rho$). Но авторы пришли к выводу, что эти общековариантные уравнения все-таки не сводятся к уравнению Пуассона в ньютоновском приближении, т.е. не согласуются с принципом соответствия.

Кроме того, вскоре Эйнштейн нашел дополнительные аргументы против общековариантных уравнений поля. Один из них был связан с нарушением принципа причинности (своевобразный мысленный эксперимент, известный

1) Вот как об этом сказали сами Эйнштейном: «Исходя из той роли, которую ds играет в законах движения материальной точки, мы можем заключить, что интервал ds должен быть абсолютным ковариантным [скаляром]; отсюда следует, что g_{ab} ковариантный тензор 2-го ранга. Последний определяет гравитационное поле». В результате «для описания воздействия гравитационного поля на материальные процессы можно составить уравнения, ковариантные относительно произвольных преобразований». [10, с.232].

2) Он оспаривается при этом из работы Э.Кристоффеля, а также Г.Риччи и Т.Леви-Чивиты и различий ими метод абсолютного, т.е. независимого от координатной системы, дифференциального исчисления, который позволяет дать ковариантную форму уравнениям математической физики. [10, с.348].

как, «рассуждение с полостью»). Второй – с законом сохранения измеримым оказалось, который, по мнению Эйнштейна, должен был формулироваться в дивергентной форме, имевшей место лишь в случае ограниченной (именно линейной) ковариантности, характерной для СТО.

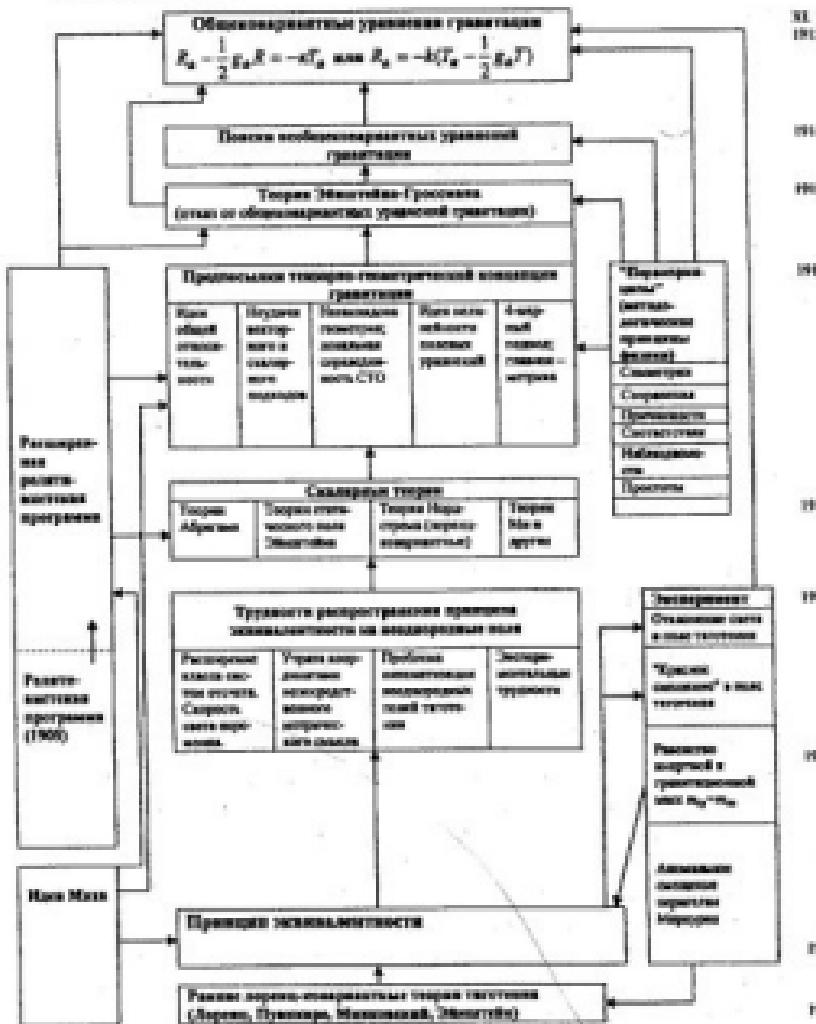
В результате, Эйнштейн отказывается от требования общей ковариантности по отношению к уравнениям гравитационного поля и пытается найти уравнения поля либо линейно-ковариантные, либо ковариантные относительно более широкого класса преобразований, но все-таки необщековариантные. Таким образом, тензорно-геометрическая теория Эйнштейна-Гроссмана, ставшая ядром ОТО, в отличие от последней, как мы видим, обладала двойной ковариантностью. Общековариантная по сути, она опиралась на ограниченно-ковариантные уравнения гравитационного поля. Это делало ее логически неоследовательной, тем более, что линейная ковариантность гравитационных уравнений находила на мысль о нарушении исходных принципов теории эквивалентности и общей относительности.

В течение последующих двух с половиной лет Эйнштейн искал решения проблемы уравнений гравитации на «невковариантных путях», хотя времена-ми был близок к тому, чтобы вернуться к общей ковариантности. Это продолжалось, фактически, до осени 1915 г., когда Эйнштейн понял бесперспективность нековариантного подхода к полевым уравнениям и, вернувшись к общей ковариантности, в четырех поэбрыских работах установил правильные общековариантные уравнения гравитации и тем самым завершил построение ОТО. Важный вклад в решение проблемы на этой стадии был такженесен выдающимся немецким математиком Д. Гильбертом. Прежде чем обратиться к несколько более подробному рассказу о драматичном соревновании Эйнштейна и Гильberta в ноябре 1915 г. разыщем весь процесс генезиса ОТО в нижеследующей схеме (таблица 1): от ранних попыток построения спекулятивистских теорий гравитации и принципа эквивалентности к теории Эйнштейна-Гроссмана и затем к ОТО с присущими ей правильными общековариантными уравнениями гравитационного поля.

По центру в этой схеме расположены блоки, соответствующие хронологически упорядоченной цепочки событий: ранние лоренци-ковариантные попытки решения проблемы гравитации → принцип эквивалентности → трудности, вставшие на пути его распространения на неоднородные поля → скандальные теории и дискуссии, связанные с ними → предпосылки тензорно-геометрической концепции гравитации → теория Эйнштейна-Гроссмана, в которой реализуется эта концепция, и отказ от общековариантных уравнений гравитационного поля → поиски необщековариантных уравнений поля → достижение полной общей ковариантности и открытие правильных общековариантных уравнений гравитационного поля.

Слева и справа расположены блоки, изображающие связи идей, которые влияли на этот процесс. Особняком выделены идеи Э. Маха, существенные для Эйнштейна на всех этапах формирования ОТО [12]. Важнейшими факторами также были реалистическая программа, связанная с СТО и при сочетании ее с принципом эквивалентности расширенная Эйнштейном,

Таблица 1. Генезис ОТО



включенным в нее требование более общей ковариантности, чем лоренцева; экспериментальные аспекты теории и система «первопричинов», или методологических принципов физики (симметрия, сохранения, прочности, соответства, изободемости и др.).

Три верхних центральных блока представляют заключительный этап формирования ОТО, наиболее драматичный в рассматриваемой истории: отказ от общей ковариантности уравнений гравитации и поиски необщековариантного решения, возврат к общей ковариантности полевых уравнений и установление общековариантных уравнений гравитационного поля.

Общековариантные уравнения гравитации и завершение основ ОТО [7, 8, 13]

Переход от теории Эйнштейна-Гроссмана и ее обобщений с необщековариантными уравнениями гравитационного поля к ОТО с правильными общековариантными полевыми уравнениями совершился в течение ноября 1915 г. И сделано это было в четырех работах Эйнштейна, доложенных на заседаниях Прусской академии наук в Берлине 4, 11, 18 и 25 ноября 1915 г., и в докладе Д. Гильберта, сделанного на заседании Геттингенского научного общества 20 ноября 1915 г.

В первой ноябрьской работе Эйнштейн, поняв ошибочность своих доводов против общековариантного подхода к полевым уравнениям, вернулся к их первоначальному варианту с использованием тензора Риччи $R_{\mu\nu}$:

$$R_{\mu\nu} = -kT_{\mu\nu},$$

ограниченному, впрочем, некоторым дополнительным условием.

В следующей работе Эйнштейн попытался достичь полной общей ковариантности, предположив, что материя имеет электромагнитную природу (это означало обращение в 0 следа тензора энергии-импульса материи $T_{\mu\nu}$ и то, что гравитация играет важную роль в структуре материи). Об этом он также написал Гильберту, который ответил письмом от 13 ноября, содержавшим достаточно туманный «словесный» набросок его единой теории: «Уравнения электродинамики на основе одной общей теоремы оказываются математическим следствием гравитационных уравнений. Таким образом, гравитация и электромагнетизм перестают быть совершенно различными существами» (цитир. по [8, с. 1353]).

По просьбе Эйнштейна Гильберт посыпает ему корректуру своего доклада «Основания физики», который он делает 20 ноября в Геттингене. Но за два дня до этого Эйнштейн докладывает свою третью работу, в которой он, на основе общековариантных уравнений гравитации для пустого пространства ($T_{\mu\nu}=0$) $R_{\mu\nu}=0$ объясняет аномальное смещение перигелия орбиты Меркурия, а

[1] Корректуру этой работы он послал Гильберту, который был увлечен проблемой построения единой теории электромагнетизма, гравитации и материи и сопроводил ее письмом: «Я посыпаю Вам корректуру одной своей работы, в которой я коммутирую свои гравитационные уравнения, исходя того как примерно 4 недели назад пошла вальдорфность моей прежней аргументации» (цитир. по [8, с. 1353]).

также вычисляет отклонение света в гравитационном поле Солнца. Соответствующие значения были таковы: для Меркурия $43''$ в столтие, что прекрасно согласовывалось с наблюдениями астрономов, и искривление световых лучей вблизи поверхности Солнца $1,7''$, достаточно хорошо подтвержденное во время солнечного затмения 29 мая 1919 г. английскими астрономами.

Тем временем, а именно в своем докладе, сделанном 20 ноября в Геттингене, Гильберт представил свою аксиоматически разработанную единую теорию, которая базировалась на общековариантном вариационном принципе

$$8 \int (R + L) \sqrt{g} d\omega = 0,$$

где R – скалярная кривизна, L – лагранжиан величиной электродинамики Г.Ми, в которой была сделана некорректная попытка свести заряженные частицы к электромагнитному полю. Вариационная процедура должна была привести Гильберта к общековариантным уравнениям гравитации в форме

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -k T_{\mu\nu},$$

где $R_{\mu\nu}$ – тензор Риччи, а $T_{\mu\nu}$ – тензор энергии-импульса теории Ми. Гильберт, однако, не сделал решающего шага, решив ограничить общую ковариантность условием, связанным с выполнением закона сохранения энергии-импульса. Позже, при подготовке своего доклада к публикации в марте 1916 г., он отказался от этого ограничения.

Эйнштейн же через пять дней после доклада Гильберта в своей последней ноябрьской работе отказался от предложения $T = 0$ и получил на основе эвристических соображений, связанных с законом сохранения энергии-импульса, общековариантные уравнения гравитационного поля в форме

$$R_{ik} = -k \left(T_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} T \right),$$

эквивалентной крестоматийной форме уравнений гравитации со скалярной кривизной

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = -k T_{ik}.$$

В марте 1916 г. Эйнштейн закончил большую статью «Основы общей теории относительности» [14], ставшую первым систематическим изложением теории, к которому «даже сейчас мало что можно добавить по существу» [4, с.5]. Именно в этой статье впервые были введены в обход названия специальная и общая теории относительности. Статья начиналась с изложения мотивов, ведущих к общему принципу относительности («Законы физики должны быть составлены так, чтобы они были справедливы для произвольно движущихся координатных систем» [14, с.456]), по существу совпадающему с принципом общей ковариантности («Общие законы природы должны быть выражены через уравнения, справедливые во всех координатных системах,

т.е. эти уравнения должны быть ковариантными относительно любых подстановок (общековариантными). [Там же, с.439] и заключалась вычислением искривления луча света B на расстоянии Δ от массы M ($B = \frac{4M}{2\pi\Delta}$) и формулой для аномального смещения перигелия орбиты Меркурия, равного $43''$ в столение [$\epsilon = 24\pi^2 \frac{a^3}{T^2 c^2 (1 - e^2)}$, где a – большая полуось эллиптической орбиты, c – ее эксцентриситет, T – период обращения планеты в секундах].

Развитие ОТО в первое десятилетие после ее создания

С установлением общековариантных уравнений гравитационного поля, получивших название уравнений Эйнштейна или Эйнштейна-Гильберта, основы ОТО были созданы. В марте 1916 г. Эйнштейн дал полное, систематическое изложение теории [14]. В течение последующего десятилетия был получен ряд важных новых результатов, касающихся, прежде всего, точных решений уравнений Эйнштейна, предсказания гравитационных волн и применимости ОТО к космологической проблеме. В это же время теория получила хорошее подтверждение посредством астрономических наблюдений. Начиная с 1918 г. был предпринят ряд многообещающих проектов построения единой теории поля на основе идеи геометризации не только гравитационного, но и электромагнитного поля, но это направление так и не привело к успеху, несмотря на то, что в его разработке участвовали, наряду с Эйнштейном, такие выдающиеся физики и математики, как Г.Вейль, А.Эддингтон, В.Паули, Э.Картан, О.Клейн, Э.Шредингер и др.

Логическая структура теории, начав ее оснований, вопросы ее физической интерпретации и ее математического формализма были систематически развиты в серии монографий и учебников по ОТО, написанных как самим Эйнштейном, так и другими авторами – Г.Вейлем, В.Паули, М.Лауз, А.Эддингтоном и др. Выявлялись также некоторые проблемы и трудности теории, ставшие предметом обсуждения в этот период: вопросы об энергии гравитационного поля и о законе сохранения энергии-импульса, интерпретация общей относительности, проблема гравитационных волн и др. Особенностью и трудностью ОТО была слабая экспериментально-эмпирическая база. Наблюдаемые эффекты относились к приближению слабого поля, были крайне малы и немногочисленны (отклонение света в гравитационном поле Солнца; красное смещение спектральных линий, получаемых атомами, находящимися в гравитационных полях; превышение перигелия планетных орбит), а точность измерений не превышала несколько десятков процентов.

Основные результаты развития ОТО в первое десятилетие, последовавшее после завершения ее основ представлена в ниже следующей краткой хронологии событий.

1915	А. Эйнштейн «Основы ОТО» – первое систематическое изложение основ теории. К. Шварцшильд – точное решение вакуумных уравнений Эйнштейна для статического центрально-симметрического гравитационного поля материальной точки (этот результат был также получен И. Дроте) и аналитическое решение для поля нескончаемого однородного спиря. А. Эйнштейн – теоретическое предсказание гравитационных волн. Х. Рейнгард – точное решение центрально-симметрического поля однородного спиря.
1917	А. Эйнштейн «Вопросы космологии в общих теориях относительности» – применение ОТО к космологической проблеме. Выявление космологических членов λ в обобщенных уравнениях $R_{\mu\nu} - \frac{1}{3}g_{\mu\nu}R - \lambda g_{\mu\nu} = -kT_{\mu\nu}$. Получены на их основе пространственно замкнутого «мира Эйнштейна» – первой релятивистской космологической модели. В. де Сitter предложил космологическую модель «однодифференциального мира» для пустого пространства.
1918	Дискуссии по проблемам энергии и сохранения энергии-излучалась ОТО (Э. Шредингер, Х. Барнер, Ф. Клейн, Эйнштейн, Э. Нетер и др.). Установление теорем Нетер о симметриях законов сохранения с принципами симметрии. Развитие Эйнштейном теории гравитационных волн, получение квадрупольной формулы для гравитационного излучения. Выход в свет одной из первых основополагающих монографий по ОТО: Г. Вейль «Пространство, время, материя» [2]. Первый проект единой теории гравитационного и электромагнитного полей, основанный на обобщении римановой геометрии до геометрии связности подобен (исследование Вейля).
1919	Подтверждение отклонения лучей света в гравитационном поле Солнца лучше наблюдениями последовательно под руководством А. Эддингтона [на острове Принце] и Э. Крупинского [на острове Кракатау], во время солнечного затмения 29 мая 1919 г.]
1920	А. Гребе и др. пришли к выводу о том, что наблюдения красного смещения световых линий Солнца благоприятствуют ОТО, но не дают ее окончательного подтверждения.
1921	Выход в свет блестящей книги И. Пузыча «Теория относительности» [в серии «Энциклопедия математического естествознания»] [11], в которой было дано систематическое изложение теории и подведены итоги ее развития. Приведены лекции Эйнштейна «Сущность теории относительности» – комплексное изложение ОТО, ее оснований и результатов, достигнутых к началу 1921 г. [12]. А. Эйнштейн вскочил в разработку единой теории поля. Проект единой теории гравитационного и электромагнитных полей, основанный на параллелизме обобщения ОТО (Г. Калуца).
1922	А. А. Фридман показал, что уравнения Эйнштейна для однородного однородного распределения вещества допускают нестационарные решения, соответствующие модели расширяющейся Вселенной. Эйнштейн, начавший считать результат Фридмана ошибочным, затем признал его правоту. Эйнштейну присуждается Нобелевская премия по физике за 1921 г. за «выслугу в области теоретической физики и в особенности за открытые закономерности фотомагнитического эффекта».

По существу, к началу 1920-х гг., несмотря на существование некоторых недостатков и трудностей, общая теория относительности была завершена. Она касалась основания основ теории (соответствие принципов общей относительности, эквивалентности, общей комаризантности, геометрической природы гравитации и т.д.), проблемы законов сохранения и поиска энергии, вопроса о гравитационных волнах и экспериментального подтверждения

теории (так, наблюдаемое смещение спектральных линий Солнца и некоторых звезд не вполне укладывалось в формулу гравитационного красного смещения, вытекающего из ОТО). В среднем точность успешных экспериментальных подтверждений теории не превышала 20%. Вероятно, все это в сочетании с трудностями восприятия теории не позволило Нобелевскому комитету присудить премию Эйнштейну за теорию относительности (добавим, что даже специальная теория относительности не была общепризнанной и не считалась экспериментально подтвержденной в достаточной степени).

К этому времени определялись два главных направления применения и развития ОТО: первое – это космология (Эйнштейн, де Ситтер, Фридман и др.) и второе – построение единой теории гравитационного и электромагнитного полей путем того или иного расширения четырехмерной римановой геометрии (Г.Вейль, Т.Калуца, Эйнштейн, Эддингтон и др.).

Решающий прогресс в космологии был достигнут в конце 1920-х–начале 1930-х гг., когда американский астроном Э.Хаббл уверенно показал наличие красного смещения линий в спектрах дальних галактик и установил прямую пропорциональную зависимость скоростей галактик от расстояния (закон Хаббла), что сначала расширение Вселенной в соответствии с нестационарным решением Фридмана. Заметим, выражаясь, что результат Фридмана в 1927 г. был воспроизведен Ж.Леметром, хотя в конце 1920-х гг. де Ситтер и Х.Робертсон полагали, что красное смещение подтверждает упомянутую выше модель де Ситтера. Однако, вскоре сам Хаббл, Эддингтон и Леметр пришли к выводу, что с наблюдениями Хаббла лучше согласуется решение Леметра, провозглашенного «отцом расширяющейся Вселенной». О Фридмане на время забыли, несмотря на то, что уже в 1931 г. Эйнштейн, признавший нестационарную космологию, подчеркнул, что «первым» на этот путь вступил Фридман. Впоследствии приоритет российского ученого был полностью восстановлен и признан.

Что же касается единых теорий поля, то надежды на построение такой теории, которые казались достаточно радужными в начале 1920-х гг., так и не оправдались. Проекты Вейля и Калуцы выглядели многообещающими и математически весьма глубокими, но физические трудности на пути их реализации (отсутствие физических оснований для геометризации электромагнитного поля, неоднозначность выбора лагранжиана, отсутствие доступных измерению новых эффектов, отсутствие статических сферически-симметричных решений и т.д.) оказывались слишком значительными. В разработку этого направления включаются такие выдающиеся физики и математики, как Эддингтон, О.Клейн, Э.Картан, Я.Схоутен, Т.Линн-Чиннит, О.Веблен, К.Ланген, А.Инфельд, а также российские (советские) теоретики Фридман, В.К.Фредерикс, В.А.Фок, Г.А.Мандель, И.Е.Тамм, М.А.Леонтович, Д.Д.Иваненко, Ю.Б.Румер и др. Сам Эйнштейн с начала 20-х гг. до начала 30-х гг. опубликовал множество статей, в которых он оперался то на погимерие (в духе Калузы), то на различные обобщения четырехмерной римановой геометрии (в духе Вейля).

Это не означает, что все это направление оказалось совершенно бесполезным. Наиболее важный вклад в физику на этом пути связан с разработкой идеи калибровочной симметрии и вообще концепции калибровочного поля (Г. Вейль, Ф. Лондон, В.А. Фок, О. Клейн и др.). Весьма важными оказались в современных теоретических исследованиях, в частности в работах по полевому объединению фундаментальных физических взаимодействий, идеи многомерности в духе штаплерной концепции Калуцы-Клейна. После создания квантовой механики (1925–27) и особенно после интенсивного развития квантовой теории поля и физики элементарных частиц, начиная с 1932 г., программа объединения гравитации и электромагнетизма на геометрической основе отходит с переднего края физики на периферию [15].

В области собственно общей теории относительности после «космологического всплеска» начала 1930-х гг. наблюдалось определенное затишье вплоть до начала 1960-х гг., когда развитие наблюдательной астрофизики и космологии превратило ОТО в бурно развивающуюся область науки, тесно связанную с физикой высоких энергий.

В заключение – об отечественном вкладе в гравитационную физику и космологию [17, 22]. У истоков неевклидовой геометрии, игравшей фундаментальную роль в ОТО и релятивистской космологии, стояли не только Гаусс и Риман, но и Н.И.Лобачевский. С его именем связана мондиальная геометрическая традиция, укоренившаяся в Казанском университете и оказавшаяся важной в восприятии и развитии ОТО в России и СССР. В русле этой традиции находятся работы А.З.Петрова по алгебраической классификации полей тяготения (1930-е–1960-е гг.). Наиболее значительным российским достижением стала нестационарная космология Фридмана (1922). Первые обстоятельные обзоры, учебники и курсы лекций по ОТО появились в СССР в начале 1930-х гг. Они принадлежали В.К.Фредериксу, А.А.Фридману (в соавторстве с Фредериксом) и Я.И.Френкелю. К концу 1930-х гг. относятся важные исследования В.А.Фока и Д.Д.Ильиненко по уравнению Дирака в римановом пространстве. В середине 1930-х гг. М.П.Броунштейн исследовал проблему квантования гравитационного поля, а в конце 1930-х гг. В.А.Фок параллельно с Эйнштейном, Л.Израфельдом и Б.Хоффманом решил принципиальную проблему ОТО, показав, что уравнения движения материи являются следствием уравнений гравитационного поля. В 1941 г. появилось компактное образцовое изложение ОТО в «Теории поля» А.Д.Ландау и Е.М.Лифшица, а в 1955 г. – фундаментальная монография В.А.Фока «Теория пространства, времени и тяготения», получившие мировую известность.

В период стремительного развития релятивистской астрофизики и космологии, начавшийся в середине 1960-х гг.¹⁾, самыми крупными были достижения научной школы Я.Б.Зельдовича, относящиеся к изучению гравитационного коллапса, черных дыр, крупномасштабной структуры Вселенной, космологии ранней Вселенной.

¹⁾ Развитие релятивистской астрофизики и космологии, особенно во 2-й половине XX в., согласно программе курса, должна быть посвящена отдельная глава.

Литература

1. Дарракс И.Г. Всемирная история физики [с начала XIX в.]. М.: Наука, 1979, 217 с.
2. Кудрявцев П.С. История физики. Т.3. М.: Просвещение, 1971, 434 с.
3. Дюрак П.А.М. Общая теория относительности. М.: Астрономия, 1978, 65 с.
4. Борис А.В., Кайдар И.Ю. Теория тяготения Эйнштейна. Общие принципы и экспериментальные следствия. М.: МИЭМ, 1969, 88 с.
5. Борис А.В., Кайдар И.Ю. Продолжение теории тяготения Эйнштейна к астрофизике и космологии. М.: МИЭМ, 1999, 60 с.
6. Красильщик И.Б. Общая теория относительности. Извест. НИЦ «Регуляция и качественная динамика», 2001, 119 с.
7. Визгин В.П. Релятивистская теория тяготения [истоки и формирование. 1900-1915 гг.]. М.: Наука, 1981, 332 с.
8. Визгин В.П. Об открытии уравнений гравитационного поля Эйнштейном и Гильбертом [текущий материал]. // Успехи физических наук, 2001, т.171, №12. С.1347-1364.
9. Эйнштейн А. О принципах относительности и его следствиях (1907) // А.Эйнштейн. Собрание научных трудов. М.: Наука, 1965. С.65-114.
10. Эйнштейн А., Гроссман М. Проект обобщенной теории относительности и теории тяготения (1913). // Там же. С.237-266.
11. Лоренц А. Теория относительности. Изд. 2-е, исправленное и дополненное по альг. изд.. М.: Наука, 1963, 226 с.
12. Визгин В.П. Роль идеи Э.Макса в генезисе общей теории относительности // Эйнштейновский сборник. 1990-1990. М.: Наука, 1990. С.49-57.
13. Лейб А. Научная деятельность и жизнь А. Эйнштейна. М.: Наука, 1969, 268 с.
14. Эйнштейн А. Основы общей теории относительности (1916). // А.Эйнштейн. Собрание научных трудов. Т.1. М.: Наука, 1965. С.453-504.
15. Визгин В.П. Единые теории поля в первой трети XX в. М.: Наука, 1985, 304 с.
16. Альберт Эйнштейн и теория гравитации. Сборник статей. М.: Мир, 1979, 292 с.
17. Петров А.З. Общая теория относительности // Границы физики в СССР. Кн.1. М.: Наука, 1967. С.58-71.
18. Вайль Г. Пространство, время, материя. Аксиомы по общей теории относительности. М.: Наука, 1966, 480 с.
19. Эйнштейн А. Сущность теории относительности (1921). // А.Эйнштейн. Собрание научных трудов. Т.2. М.: Наука, 1966. С.5-62.
20. Троян А.А., Фролова В.Я., Чирков А.Д. Александр Александрович Фридман. Жизнь и деятельность. М.: Наука, 1988, 204 с.
21. Шарф А.С., Никонов И.Д. Человек, открывший мирьё Вселенной: жизнь и труд Залмана Хаббла. М.: Наука, 1989, 265 с.
22. Визгин В.П., Григорян Г.Е. Восприятие теории относительности в России и СССР // Эйнштейновский сборник. 1994-1995. М.: Наука, 1998. С.7-70.

Физика конденсированного состояния и квантовая электроника

Киселев А.В.

Введение

Объединение в одной главе физики конденсированного состояния (ФКС) и квантовой электроники (КЭ) опирается на следующие соображения.

Во-первых, интенсивное развитие обоих направлений началось в середине XX в. [1, 2]. Решающую роль в их оформлении как самостоятельных областей сыграли достижения атомной и молекулярной спектроскопии и экспериментальной физики экстремальных условий и параметров (низких температур, высоких давлений, спектроскопия ультравысоток и инфракрасных частот, технологии получения высокочистых веществ). Без применения уникальной экспериментальной техники, которая еще в начале века была недоступной (например, получение жидкого гелия), не могли бы возникнуть и оформиться такие направления, как исследования сверхпроводимости и сверхтекучести. Теория этих и многих других конденсированных систем, как и теория молекулярных генераторов, возникла на теоретической базе квантовой механики и квантовой статистики в процессе развития их приложений к атомным и молекулярным системам, к кристаллическим решеткам, к системам многих частиц.

Во-вторых, ФКС и КЭ оказались взаимосвязанными в том смысле, что достижения физики конденсированного состояния сыграли ведущую роль в создании технической базы квантовой электроники (лазеры на β -переходах, гетеродиоды, промесные монокристаллы). С другой стороны, методы квантовой электроники позволили принципиально усовершенствовать исследования конденсированного состояния.

Заметим, что в ХХI в., один из ведущих центров физического образования Московский инженерно-физический институт выступил с объединенной кафедрой «Физика конденсированного состояния и квантовая радиофизика». Как и в нашем случае, это решение может быть и не оптимальным и вынужденным, но, по крайней мере, оно допустимо.

Глава состоит из нескольких разделов, в каждом из которых отражена история одного из крупных направлений физики конденсированных состояний или квантовой электроники. В конце главы приведен небольшой список дополнительной литературы и два приложения. О последних следует сказать несколько слов.

Приложение первое. Содержит список лауреатов Нобелевской премии в области ФКС и КЭ. Сотни с небольшим Нобелевских премий по физике, были вручены со дня их основания. Около 30% из них относятся к направлениям, рассматриваемым в данной главе. Это следствие не только того, что основные достижения в развитии и само формирование ФКС и КЭ прошло преимущественно в эти годы. Следует принять во внимание и значительный вклад

достижений ФКС и КЭ в научно-технический прогресс, их вклад в кардинальное изменение самого образа жизни человечества за истекший ХХ в.

Приложение второе. В этом приложении представлена весьма условная схема взаимосвязей между отдельными направлениями, представленными в данной главе и отчасти с предшествующими или сопутствующими им. На схеме мы изобразили теоретические истории и экспериментальные методы, которые привели к формированию отдельных направлений. Рассмотрение схемы, логика построения которой весьма близка к логике построения главы, но не во всём совпадает с ней, возможно, будет полезным перед прочтением главы и после знакомства с ней.

Замечания к предметории ФКС и КЭ

Здесь рассматривается история развития ФКС и КЭ в основном во второй половине ХХ в. с учётом необходимых для её понимания моментов истории предшествующих периодов развития физики.

Свойства жидкостей и твёрдых тел при нормальных (или близких к ним условиях), макроскопические проблемы движения жидкости и деформаций в твёрдом теле относятся к **механике сплошных сред**, история развития которой принадлежит к истории механики.

Макроскопические эффекты в жидкостях и твёрдых телах, связанные с взаимодействиями и превращениями молекул и других частиц, служат предметом **химической физики**, история которой ещё ждёт своих авторов.

Во главу угла собственно истории физики твёрдого тела сладко было положить **историю развития теории симметрии и кристаллографии**. Здесь были важны открытия и идеи многих поколений. Это – работы О. Браве (1848), согласно модели которого кристалл является пространственной решёткой в узлах которой, как было показано позже, расположены атомы или молекулы; установление Ф.Э. Нейманом принципа связи симметрии физических свойств кристалла с симметрией его формы; вывод 230 пространственных групп, охватывающих все возможные случаи структуры настоящих кристаллов, полученный Е.С. Федоровым и Л. Шенфлисом (1890–1891 гг.); результаты А.В. Шубникова и др. в области теории антисимметрии (58 групп антисимметрии, 1951 г.); недавнее открытие «**квантических кристаллов**», твёрдых тел, не обладающих собственно кристаллической решёткой, но обладающих повторяющимися элементами структуры (1990-е гг.) и др.

Существенной была и разработка экспериментальных методов исследования кристаллических тел, жидкостей и других конденсированных сред. Этим мы обязаны прежде всего М. фон Лауэ и др. (дифракция рентгеновских лучей на монокристаллах, 1912); П. Дебая и П. Шerrerу (дифракция рентгеновских лучей на поликристаллах, 1916); Г. и А. Бриттам и Г.В. Вульфу, разработавшим расчётные методы исследования монокристаллов рентгеновскими лучами (1913). Можно назвать и имена открывателей других физических методов: тот же П. Дебай (определение дипольных моментов), А. Мессбаум (резонансное поглощение ядрами в кристалле γ-излучения),

Е.К. Завойский и Б. Балли (ЭПР), Ф. Блох и Э. Перселл (ЯМР) и др.. Некоторые из них отмечены Нобелевскими премиями.

В нашей главе также не хватило места для истории исследованной «высотостоличной», промежуточных между твердым телом и жидкостью. Это, с одной стороны история исследований физики жидкокристаллов, (открытых ещё в 1868 г., но практически не признававшихся многими авторитетами), получившая во многих отношениях и многое давшая для развития электроники. Это, с другой стороны история физики стёкол и полимеров. В нашем тексте имеются лишь отдельные примеры из таких важных разделов истории ФКС как физика металлов, ферромагнетизм, исследования парамагнетизма и диамагнетизма, связанные в основном с фазовыми переходами, со спецификой зонной теории и моделями квантовости и резонансным поглощением электромагнитных волн.

Историю квантовой электроники логично было бы связать с краткой историей оптической спектроскопии, историей изучения электрических и магнитных свойств вещества, а также физических основ электротехники и ламповой электроники и рассмотреть квантовую электронику как естественное продолжение ранее исследований электричества и магнетизма. История физической электроники и физической оптики XIX–XX вв. составила бы отдельную главу истории физики. С помощью электронных и оптических приборов физики изучали спектры молекуларных и конденсированных систем, интерпретация которых легла в основу квантовой электроники. Несколькочисленные авторы, исследование истории квантовой электроники, справедливо отметили, что идея создания молекуларных и атомных генераторов была тесно связана с успехами и потребностями радиолокации [2] и базировалась на экспериментальном арсенале этой новой отрасли техники. Этот арсенал был активно использован в радиоспектроскопии. В радиоспектроскопии наиболее проявляется связь двух объединяемых в этой главе направлений. История открытия термоэлектрических, магнитоэлектрических, фотомагнитических эффектов, излучений импульса и индуцированной проводимости и т.д. в равной мере относится и к истории физики твёрдого тела и к истории квантовой электроники. Мы, однако, вынуждены ограничиться лишь указаниями на открытия и интерпретации наиболее важных для понимания логики развития науки эффектов. Эта история продолжается и ныне в развитии сильноточной физической электроники, которая развивается параллельно электронике наносистем (квантовых компьютеров и т. п.).

Квантовая механика – теоретическая основа физики конденсированного состояния и квантовой электроники

Квантовая механика и квантовая статистика лежат в основе всех достижений ФКС и КЭ. Недаром бурое развитие физики конденсированных состояний (в частности зонной теории и моделей квантовости) и развитие спектроскопических основ квантовой электроники началось с 1930-х гг. (см. выше). Постулат М. Планка о соответствии между частотой и энергией кванта $\hbar\nu = E$ (1900) служит исходным пунктом интерпретации всех квантовых

эффектов. На постулат Н. Бора о существовании дискретных стационарных энергетических уровней в атоме (1913), подтвержденный затем в квантовой механике В. Гейзенберга (1925) и Э. Шредингера (1926), первоначально оправдалась идея получения отрицательной температуры. На идеях Эйнштейна (1916–1917 гг.) об индуцированном излучении, обоснованных затем теоретическим анализом П. Дирака (1927–1928 гг.), базируются принципы действия квантовых генераторов (мазеров и лазеров). Представление частицы в виде волны с длиной волны λ , зависящей от энергии E , относится к 1923 г. А. де Броиль получила для частоты такой волны $v = E/h$, где h – постоянная Планка, а для длины $\lambda = h/v$, где v – импульс частицы. Волновая интерпретация позволила обосновать в 1930-х гг. волновую модель твёрдого тела (см. ниже). Указание, что энергия частицы и в конденсированной среде квадратично зависит от её импульса (квазимпульса), следует из основных уравнений квантовой механики (Э. Шредингер, 1926). Особую роль в распределении квантовых частиц по энергиям играет наличие спина. Существование у микрочастиц собственного момента количества движения – спина, характеризуемого спиновым числом S , было установлено для электрона Дж. Уленбеком, С. Гудсмитом, (1925); для адрон – сперва в виде гипотезы Пауля (1924) г., а затем и экспериментально в 1927. Число возможных ориентаций спина со спиновыми числами S равно $(2S+1)$. При наличии у частицы как спинового $S\hbar$, так и орбитального момента $L\hbar$ возникает сложная картина возможных ориентаций суммарного момента во внешнем поле (фактор Ланде, векторная модель 1919–1922 гг., в которой А. Ланде предполагал наличие полуцелых спиновых чисел и различные значения факторов спектроскопических расщеплений g для спиновых и орбитальных моментов). Учёт спиновых состояний в общей волновой функции системы и влияние наличия спина на симметрию пространственной волновой функции осуществили В. Пауль, Ф. Лондон, Ф. Гейтлер (1927 г.). Существование в системах с высокой плотностью частиц двух предельных статистик было установлено в 1924–1925 гг. – для статистики Бозе–Эйнштейна (для целых значений спина: первый пример применения такой статистики дал ещё в 1900 г. М. Планк для квантов электромагнитного излучения, которые впоследствии были названы фотонами) и в 1925 г. – статистики Ферми–Дирака (для полуцелых значений спина): первым и основным примером последней служат электроны в металлах и полупроводниках. Вместо распределения по значениям энергии с видом $A \exp[-E/kT]$ согласно Больцману, имеем $B \frac{1}{\exp(E/kT)-1}$ для бозонов и $F \frac{1}{\exp(E/kT)+1}$ для фермionов,

как соответственно, называются частицы подчиняющиеся статистикам Бозе–Эйнштейна и Ферми–Дирака. Теорема Пауля о связи спина со статистикой окончательно сформулирована в 1940. Нормальным колебаниям твёрдого тела соответствуето соответствующее число осцилляторов и дискретное квантование энергий осцилляторов в кристалле (А. Эйнштейн в 1907 г., П. Дебай в 1912 г. в своей теории теплопроводности при низких температурах, И.Е. Тамм, который в 1930 явил понятие фонона). В конце 1920-х гг. были открыты туннельные переходы (А.И.Мандельштам, М.А.Леонтьевич, Г.А.Гамов, Э. Конdon и

др.). Примерно в то же время открыты новые специфически квантовые взаимодействия между частицами, так называемые обменные. Соответствующий им оператор Гамильтони $\hat{H} = E_0 - 2J_{12}\hat{\delta}_1\hat{\delta}_2$. Здесь E_0 – энергия, не зависящая от ориентации спинов, $\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2$ – векторные операторы спинов взаимодействующих частиц, J_{12} – постоянная объемного взаимодействия (1927–1928, П. Дирак, В. Гейзенберг, А. И. Френкель). Такие и аналогичные им по форме квантовые обменные взаимодействия, приводят к расщеплению энергетических уровней, а при низких температурах к образованию устойчивых пар, кластеров и доменов из-за узородочных частиц. Самым Шредингером и другими была разработана теория возмущений, важнейший приближенный метод квантовой механики. Концепция вторичного квантования (П. Дирак и др., 1927), позволила рассматривать конденсированную среду как аналог квантово-электродинамического вакуума, в котором могут рождаться, гибнуть и взаимно аннилировать некие квантовые частицы и соответствующие им «дырки». К 1928–1932 гг. относятся разработки А. Зоммерфельда, Д. Стратта, Р. Пайерлса, Ф. Блоха, А. Бриллюанга и др., создавших понятие о разрешенных и запрещенных зонах энергии в кристаллической решетке ионов и молекул, колективное взаимодействие в которых определяет свойства вещества. К 1941–1952 гг. относятся наиболее выдающиеся результаты А. Д. Ландру и его школы в области модели квантовых частиц. В 1960-х гг. значительный вклад в развитие зонной квантовой теории твердого тела внесли И. М. Акфшин, Дж. Хаббард и др.

Создание и развитие зонной теории

Модель основана на представлении волновой функции электронов в твердом теле в виде стоячей волны с максимумами в узлах кристаллической решетки. Она основана на формулах для воли А. де Броиля и формулах для обратной решетки¹⁾ по Бриллюану в пространстве квантомехаников \vec{R} , выраженных через векторные векторы стоячих волн \vec{k} (кванзимпульс – аналог в периодической структуре обычного импульса в однородном пространстве). Зонная теория опирается на предположения: а) потенциал кристаллической решетки строго периодичен; б) взаимодействие между свободными электронами может быть сведено к одиночелостронному самоогласованному потенциальному²⁾, а оставшаяся часть рассматривается методом возмущений; в) взаимодействие с фононами (колебаниями решетки) слабое и может быть рассмотрено по теории возмущений. Сам факт существования энергетических зон, во-первых, с периодической структурой кристалла и отсюда со-

1) Расстояния между узлами обратной решетки обратно пропорциональны расстояниям между узлами решетки Брауна.

2) В методе самоогласованного поля (СП) взаимодействия между частицами заменяются действием на каждую из них суммарного поля. Поскольку значение этого поля зависит от состояния частиц, вычисление энергии проводится путем подбора эффективного поля, не меняющего заданной энергии электрона или другой квантовой частицы в системе (однокомпонентного самоогласования). В качестве возмущений рассматриваются первые взаимодействия (корреляции) между частицами. Идея СП выдвинута П. Вейссом (1927, минимизация поля для флуоресценции, что физико-химическое), Д. Хартри и В. А. Фоком (1927, для многоэлектронных молекул) и была распространена в зонной теории на многоэлектронные структуры твердого тела.

строгой ограниченностью и симметрией возможных в обратном пространстве значений векторов квазимпульса. Во-вторых, этот факт связан с ферми-статистикой, которой подчиняются электроны, требующей последовательного (по мере роста энергии) полного заполнения всех энергетических уровней системы. Каждый допустимый уровень заполняется лишь двумя электронами (с различными значениями проекции спина). Все допустимые энергетические уровни в некоторой полосе заполняются при наличии достаточно большого числа электронов, оставшее зависят от ширины разрешенной зоны и плотности уровней в этой зоне. Электроны в полностью заполненной зоне не дают вклада в проводимость, так как их энергия и квазимпульс не могут меняться. Однако в частично заполненной зоне электроны могут получать энергию из электрического поля, так как их импульс (квазимпульс) $\vec{p}(t)$ в поле с потенциалом $V(t)$ подчиняется уравнению $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{\nabla}V(t)$. Для рассматриваемого кристалла с объемом элементарной ячейки Ω и полным объемом кристалла V общее число энергетических уровней равно $V / \Omega \gg 1$. Состояние электрона в кристалле характеризуется, таким образом, практически непрерывным квантовым числом (волновым числом электрона проводимости) k .

Представления зонной теории складывались постепенно. На рубеже XIX и XX вв. была выдвинута классическая концепция электронного газа в металлах, первый предшественник зонной теории. Следующий шаг сделал А. Зоммерфельд (1928), разработавший квантовую теорию металлов. Годом раньше Д. Стратт выдвинул идею существования в металлах энергетических зон. Затем Ф. Блох и А. Бриллюз создали основы зонной теории твердых тел. Создание последовательных представлений об энергетическом спектре кристалла как совокупности разрешенных полос энергии, разделенных запрещенными промежутками, принадлежит Р. Пайерлсу, А. Бриллюзу, Р. Кронигу и др. (1930–1931 гг.). Ими были введены представления о валентной зоне (в ней электроны связаны с атомами решетки); зоне проводимости (в ней пребывают электроны, свободно перемещающиеся под действием электрического поля с энергиями $E = \vec{p}^2 / 2m$, где квазимпульс электрона $\vec{p} = \vec{M}$). Важным оказалось понятие о разделенной зоне проводимости и свободную зону запрещенной зоны или энергетической щели. В свободную зону могут переместиться электроны, например, при повышении температуры или при воздействии электрического поля, оставаясь в валентной зоне «дырку». В 1938 г. опубликована первая монография Х. Бете и А. Зоммерфельда, подытожившая основы зонной теории.

Зонная модель непосредственно связана с моделью квантовой, прежде всего электронов проводимости, которые, имея в различных решетках различные эффективные массы, различные зависимости энергии от квазимпульса и т. п., безусловно суть именно квантовые частицы. Лишь значения электрического заряда и спинового числа одинаковы у электронов проводимости и свободных электронов. Другие квантовые частицы (см. следующий раздел) могут соответствовать просто «дыркам» (Я.И. Френкель, 1926) или парам: «дырка» в заполненной зоне и электрон в пустой зоне (Боголюбов). Зонная теория

применима для описания некоторых эффектов в диэлектриках (электрической пробой, например, изучавшейся в работах школы А.Ф. Иоффе 1920-х-1930-х гг.). Основные достижения зонной теории в последующие десятилетия, однако, относятся к теории металлов, смеси проводников, полупроводников.

Различные модификации зонной теории позволяют рассматривать задачи о проводимости и магнитных свойствах металлов, поскольку можно показать, что для электронов в металлах можно пользоваться моделью ферми-газа. Они позволили также создать теорию полупроводников (А. Вильсон, 1931), объяснить явления дырочной проводимости, температурной зависимости проводимости полупроводников с примесями, контактные явления на границе различных полупроводников и полупроводника с металлом. Зонную теорию привлекают также к объяснению эффектов Холла (см. выше), эффектов сдвига полос поглощения в оптических спектрах и др. Н.Ф. Мотт и др. в 1960-х гг. разработали зонную теорию магнетизма в переходных металлах, учитывающую возникновение перекрывающихся зон (областей разрешенных энергий) для σ - и d -электронов. Разработанная в 1963–1965 гг. Дж. Хаббардом модель, учитывающая кулоновское отталкивание и вторичное взаимодействие электронов проводимости, объясняет многие, но пока еще далеко не все (особенно в области ферромагнетизма) экспериментальные факты.

Характерные особенности поведения металлов в электрических и магнитных полях определяются формой так называемых ферми-поверхностей. Изобнергетическая ферми-поверхность в трёхмерном пространстве кваннипульсов отделяет при температуре $T=0$ занятые электронами проводимости состояния от свободных. Большинство термодинамических, акустических, магнитных и электрических свойств металла определяется электронами, энергии и импульсы которых лежат вблизи от границ поверхности Ферми и, тем самым, их формой. Основные черты конфигурации ферми-поверхности конкретного металла или полупроводника можно предсказать теоретически, исходя из симметрии решётки и физических свойств вещества. Так, поверхность Ферми кубических кристаллов меди, серебра, золота обладает в пространстве импульсов симметрией, близкой к сферической, а поверхность Ферми плоско-чешуйчатого графита обладает симметрией, близкой к цилиндрической. И.М. Альфиш с сотр. в 1954–1965 гг. обосновал и развил идею восстановления энергетического спектра конденсированных сред по экспериментальным данным. Строгое теоретическое вычисление функции формы поверхности Ферми в пространстве кваннипульсов $E = E(\vec{p})$ затруднительно. Поэтому форму поверхности Ферми определяют полумаргинальными методами, для чего привлекают данные по таким эффектам, как эффект Холла (электрическая поляризация, перпендикулярная магнитному полю и электрическому току; открыт в 1879 г.), осцилляции магнитной восприимчивости по де Гаазу-ван Альфену (открыты в 1931 г.), эффектам анизотропии магнетосопротивления с учетом симметрии решётки и др. Одно из первых определений ферми-поверхности осуществил А. Пинчард в 1967 г. для меди. В трёхмерном изображении поверхности Ферми для большинства проводников имеют сложную конфигурацию, однако в различном приближении известны эти поверхности для всех металлов.

Метод квазичастиц

Метод квазичастиц – это историческое и плодотворное развитие атомистической гипотезы, известной со времен античности. Одновременно идея квазичастиц служит прекрасной демонстрацией развития корпускулярно-волнового дуализма (или дуализма материя–вещество). Возбуждения в системе, – то есть квантты, суть волны и они же частицы (квазичастицы). Первую квазичастицу в привычном смысле этого слова, – положительную «дырку» в решётке кристалла предложил в 1926 г. Я.И. Френкель. Между тем развитие зонной теории и представления о квазичастицах постепенно привели к пониманию, что электрон проводимости также есть квазичастица (в отличие от свободного электрона). Главным отличием электронов проводимости от свободных электронов является наличие у первых спиногических для каждой решётки значений эффективной массы m^* и $m = 9 \cdot 10^{-30}$ г. Метод вторичного квантования, введённый П. Дираком и др. в 1927 г., открыл возможность теоретического описания локальных или подвижных возбуждений, перемещение и возникновение которых определяет те или иные эффекты переноса или конверсии энергии, заряда и т. п. Годичное методическое преобразование модели квазичастиц заключается в том, что описание взаимодействия между колоссальным (до 10^{28} на см^3) числом частиц заменяется описанием взаимодействий между самосогласованным полем и меньшим, а в случае «слабых возбуждений» и просто сравнительно небольшим числом квазичастиц. В 1924–1925 гг. была создана «статистика конденсации» – статистика Бозе–Эйнштейна, в 1931 г. «статистика заполнения» – статистика Ферми–Дирака (см. выше). После открытия спинов электрона в 1925 г. и атомных ядер в 1927 г. стало ясно, что свойства различных частиц различны в отношении их симметрии и, соответственно, поведения в сложных системах. После работы В.Пауля 1940 г. стало ясно, что статистика ансамбля квазичастиц определяется значениями их спинов (реальными или полуцелыми).

В 1926 г. Я.И. Френкель ввёл также понятие о подвижности «дырок» в решётках кристаллов. Их перемещение, аналогично перемещению электронов или ионов ведёт к явлению переноса заряда, то есть к электрическому току. Ток «дырок» должен отличаться от тока электронов знаком эффекта Холла и подвижностью носителей заряда. Состояние с «дыркой» и квазиволнистым электроном Френкель определил как экзитон. В 1930 г. Я.И. Френкель предсказал существование молекуларного экзитона – нелокального биполярного состояния, которое может перемещаться по решётке молекуларного кристалла. В 1930 г. И.Е. Тамм ввёл понятие фона, на основе развитых им представлений о колебаниях решётки, выдвинутых ранее Дебаем и Эйнштейном. Уже в 1931 г. Р. Пайерлс разработал теорию теплопроводности на основе представлений о движении газа фона.

В 1931 г. Ф.Блох создал теорию спиновых волн (слабых возбуждений ферромагнетизма), на основе которой А.И.Ахмезер в 1946 г. выдвинул идею маглонов. В 1937 г. Г.Ванье и Н.Мотт развили представление о связанных состояниях электрона из зоны проводимости и дырки из валентной зоны (локализованный экзитон). Л.Д.Ландau в 1941 предположил, что помимо

сверхтекучей жидкой фазы в Не II имеется смешанная с ней жидкай фаза, которую можно описать с помощью модели квазичастиц, так называемых квантованных вихрей («ротонов»). Начиная с работ школы Ландau, было установлено впоследствии наличие устойчивых токовых вихрей в сверхпроводниках II рода (1950–1959).

Модели фонозов [в особенности], магтонов, экзитонов [в дальнейшем поларонов, плазмонов, «примесонов» и др.] широко применялись и применяются для описания процессов переноса, эффектов взаимодействия конденсированного состояния с электрическим, и магнитным полями, возбуждения светом, сдвига спектральных линий за счёт изменения границы заполненных уровней при возрастании числа возбуждений [эффект Кельдыша–Франца, 1958]. Конденсацию экзитонов с образованием экзитонных калел предсказал А.В. Кельдыш [1968], что вскоре нашло экспериментальное подтверждение.

«Квазичастицы» могут иметь разную физическую природу. Например, бозе-конденсации могут подвергнуться в присущие любые частицы или квазичастицы с целым суммарным спином. Бозонами являются атомы гелия-4, у которых и ядерный и электронный спины равны нулю. Напротив, атомы рубидия (а подобно им атомы большинства изотопов элементов первой группы) также являются бозонами, но с целочисленным суммарным спином $J=5/2$ отличным от нуля. Действительно, у неспаренного электрона $S_z = \frac{1}{2}$, у ядра изотопа Rb⁸⁷ спиновое число $J_{\text{ядра}} = \frac{5}{2}$, поэтому в магнитном поле, равном нулю («нулевом поле») $F = 1$ или $F = 2$, – прекрасная модель для демонстрации эффекта бозе-конденсации (Э. Корнелл, В. Коттерль, К. Веймак; 1995).

В 1950-х–1970-х гг. установлены фундаментальные механизмы образования таких «квазичастиц», как куперовские пары электронов (1956) со спином 0 в сверхпроводниках (спин–фононное взаимодействие) и связанные косвенным обменным взаимодействием пары атомов Не' со спином $J=1$ (Д. Ошерофф и др., 1972). Каждая квазичастица может, таким образом, быть некоторой составной частицей: атомом, молекулой, парой электронов, биомолекулярным комплексом или двухголовой квазимолекулой. Квазичастица существует на фоне коллективных взаимодействий (как куперовские пары, экзитоны Ванье–Мотта и др.), и даже, если угодится обычной частице, существует в «облаке», или «шубе». Такое «облако» обусловлено также взаимодействием с окружением, например, электром проводимости лишь формально являются свободными (особенно наглядно это видно в полупроводниках по эффектам циклотронного резонанса, Холла и др.). Предсказанный в 1951 г. Я.Г. Дорфманом (исходя из известной работы А.Д. Ландau о динамагнитные металлов 1930 г.) и независимо в 1952 г. Р. Денглем циклотронный резонанс электронов проводимости (ЦРЭ) впервые наблюдался в 1953 г. Д. Дрессельгаузом, А.Ф. Кинком и Ч. Кигтлем в полупроводниках. Частота ЦРЭ для электрона (такой же эффект может наблюдаться и для «дырок») равна $\omega_c = eH/m^*$ Г. Как и другие магнетомагнитические эффекты ЦРЭ позволяет получить важные данные о строении металла и полуводника (полезные для определения знака носителей заряда, определения конфигурации поверхности Ферми и т. д.). См. для углубленного понимания последних двух разделов [1, 3].

История исследований фазовых переходов второго рода

Экспериментальные исследования обнаруживали ряд эффектов изменения свойств конденсированной среды, происходящих постепенно в некоторой достаточно узкой температурной области, без выделения или поглощения теплоты, но с резким возрастанием теплоёмкости в области перехода. Первым последовательным исследованием эффекта такого рода было исследование П. Кюри перехода парамагнетика в ферромагнетик (1895), более детально воспроизведенное П.Э. Вейссом в 1907 г.

Аналогичными эффектами были переходы диэлектрик-сигнитоэлектрик (ферроэлектрик), их открывали все в новых кристаллах после того, как аномальную поляризацию открыл в 1919 г. в сегнетовой соли Д. Андерсон. Теория сигнитоэлектричества, основанная на существовании спонтанной электрической поляризации, подобной спонтанной намагниченности в ферромагнетиках, была развита П.П. Кобеко и И.В. Курчатовым в 1930–1931 гг. Сигнитоэлектрик с максимальным значением спонтанной электрической поляризации – титанат бария открыт Б.М. Вулом (ФИАН) в 1944 г.

Значительным событием в исследованиях фазовых переходов второго рода было открытие в 1928 г. λ-точки жидкого гелия (см. ниже). Знак «λ», присвоенный этому переходу несколько позже (1932), символизирует узкую λ-образную кривую в функциональной зависимости теплоёмкости от температуры. Точки фазовых переходов второго рода обычно называют либо λ-точками, либо «точками Кюри».

Природу обменных сил, в частности обеспечивающих возникновение ферромагнетизма установили Я.Н. Френкель и В. Гейзенберг в 1926 г. В 1925 г. развернутый феноменологический анализ этой модели парных псевдоэлектрических взаимодействий привёл для одномерного случая Э. Илане, имя которого получила эта модель. Лишь в 1944 г. А. Оисагер выполнил ту же задачу для двумерной решётки. Для трёхмерного случая общего решения пока не найдено, хотя рассмотрено много частных случаев.

В 1931 г. эффект перехода некоторых парамагнетиков в антиферромагнитное состояние предсказал А. Нессель, в 1933 г., а появление антиферромагнетизма как особой фазы магнетика заслужил А.Д. Ландau.

Открытия и более последовательные исследования переходов второго рода следовали одно за другим. В 1935 г. был открыт экспериментально антиферромагнетизм. Идею о природе фазовых переходов второго рода выдвинул П. Эренфест, а в 1937 г. соответствующую теорию предложил Ландау. Изложение этой теории в томе «Статистическая физика» курсе Ландау-Лифшица до сих пор является наилучшим.

Наиболее исследуемыми типами фазовых переходов второго рода остаются переходы в сверхтекучее и сверхпроводящее состояния. Однако, сверхпроводящие и сверхтекучие системы обычно не являются одиночными (см. ниже).

Переходами второго рода являются также превращения обыкновенной жидкости в мезофазы (жидкохрусталические фазы); открыты и

исследованы несколько новых фазовых превращений, связанных с магнитными свойствами (открытый Л. Неелем в 1948 г. ферромагнетизм, исследованный А. С. Боровиковым слабый ферромагнетизм, спиновые стекла, открытые в 1972 г.).

Исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта

Первой уверенной регистрацией эффекта, характерного для полупроводника, а именно повышения заметной проводимости у плохо проводящего вещества при нагревании, было наблюдение М. Фардаля на сернистом серебре (1833). В этом же ряду стоит первое наблюдение внутреннего фотозаффекта в селеце, описанное У. Смитом (1873); открытие К. Ф. Брауна односторонней проводимости у контактов кристаллов сульфида цинка и др. с металлом (1874). В 1929 г. обнаружены полупроводниковые свойства у кристаллов герmania, а вскоре и у кристаллов кремния. В 1930 г. К. Вальдер установил наличие двух типов полупроводников: электронных (e-проводимость) и дырочных (h-проводимость). В. Шоттки в том же году указал на роль в проводимости полупроводников дефектов решётки.

В 1931 г. квантовую теорию полупроводников, в частности акцепторной и донорной проводимости полупроводников, включавшую сопоставление их с металлами и диэлектриками в терминах зонной теории, создал английский физик А. Х. Вильсон. Согласно его теории у полупроводника имеется свободная зона, отделенная от основной энергетической зоны небольшой энергетической щелью (см. выше). В 1939 г. В. Шоттки (Германия) исследовал потенциальный барьер в приконтактном слое металл — полупроводник (барьер Шоттки) и предложил конструкцию диода (диод Шоттки). В 1940-х гг. уже широко использовались такие диоды в качестве так называемых кристаллических детекторов.

Первая фиксация p-n -перехода¹¹ в образце Si_2O произошла в 1941 г. Экспонты Ванье-Мотта в этом же веществе обнаружены в 1951 г.

В 1948 г. У. Шокли и Дж. Пирсон открыли эффект поля на примере управления током в полупроводнике, путём наложения электрического поля, переносимого току в месте p-n перехода. В дальнейшем это привело к изобретению транзисторов.

В 1949 г. У. Шокли исследовал подвижность носителей заряда в кристалле герmania, разработал теорию p-n -перехода и предложил конструкцию p-n-p -транзистора. Важные исследования электронных явлений в полупроводниках выполнили в 1950 г. вместе с У. Шокли также Дж. Бардин и У. Брайтейн. Позже Н. Г. Басов, Б. М. Вул и Ю. М. Попков выдвинули идею о создании в полупроводнике отрицательной температуры в системе электронов путём создания избытка электронов в зоне проводимости (1959, см. ниже). В 1963 г.

¹¹ p-n — переход — контакт между областями дырочной (ройзите) и электронной (нейтрал) проводимости в полупроводниках, приготовленный искусственно. Различаются гомопереходы, возникающие за счёт избытком соответственно донорной и акцепторной примесей и гетеропереходы между полупроводниками различного состава.

был открыт эффект Дж. Ганна (генерация СВЧ полупроводниками типа А^{III}В^V). В 1963 г. Ж.И. Алфёровым выдвинута идея об инжекционе электронов из одной полупроводниковой структуры в другую («геттероструктуры»). Туннельные эффекты в полупроводниках открыл и исследовал в 1952 г. А. Эскен (создатель туннельного полупроводникового диода), теорию их разработала А. Келдыш в 1957 г. В физике полупроводников открытия новых физических эффектов и их применений в электронике и оптике продолжались в течение всего ХХ в. Так, начиная с 1970-х гг., благодаря открытию транзисторов с проницаемой базой (металл – диэлектрик – полупроводник покрытие в области базы – $p-n$ -перехода) началась создаваться индустрия изготовления транзисторов и интегральных схем на транзисторах методом микролитографии (нанесения покрытий по шаблону).

Исследования сверхпроводимости и сверхтекучести

В 1908 г. в Голландии в Лейдене зародилась и начала развиваться физика низких температур, которая послужила экспериментальной основой для двух замечательных направлений в физике конденсированных состояний: сверхпроводимости и сверхтекучести. Итак: в 1908 г. Г. Камерлинг-Оннес получил жидкий гелий; в 1911 г. он же открыл явление сверхпроводимости у ртути (вскоре также у олова, свинца, таллина), обнаружил многие другие свойства жидкого гелия и сверхпроводников. Важнейшими были разрушение сверхпроводимости электрическим током (1913 г.), существование незатухающего тока в сверхпроводящем кольце (1922 г.). В 1933 г. В. Майснер с соавторами обнаружили, что сверхпроводник выталкивает магнитное поле. В 1930–1931 гг. в Лейдене были установлены особые свойства сверхпроводящих сплавов. В отличие от чистых сверхпроводящих металлов (сверхпроводники I рода) были открыты сверхпроводники II рода, в которых существуют сверхпроводящая и нормальная фазы (А.В. Шубников, 1934–1937 гг.). Свойства сверхпроводников (СП) разного рода отличаются по влиянию на сверхпроводящий ток магнитного поля. В СП I рода при некотором критическом значении напряженности магнитного поля H_c ток падает практически до нуля. В СП II рода при некотором значении H_{c1} ток начинает падать и при некотором значении H_{c2} резко падает до нуля. Ниже мы рассмотрим историю исследований, показавших, что специфическое различие в свойствах СП разного рода вызывается существованием в СП II рода фиксированных когревых токов, что связано с возможностью проникновения магнитного поля в отдельные области СП II рода.

В 1928 г. В. Кеемом с сотрудниками открыли в жидким гелии при 2,19К флюктуационный переход второго рода и установили существование двух разновидностей жидкого гелия: гелий I и гелий II (ниже точки перехода). В 1935 г. он же с соавтором установил скачок теплопроводности при этой температуре (в λ -точке). В 1938 г. П.Л. Капица открыл сверхтекучесть гелия II, что явилось убедительной демонстрацией эффекта бозе-конденсации (вырождения ансамбля частиц по энергиям). За это и другие достижения Капица присуждена Нобелевская премия 1978 г. В 1940–1941 гг. Аандру создал теорию

сверхтекучести гелия II (за эти и последующие работы в 1952 г. ему также была присуждена Нобелевская премия). Согласно его теории в гелии II существует в концентрации, зависящей от температуры, примесь нормальной фазы, которая описывалась введением новых квазичастич «ротонов», представляющих собой элементарные вихри. В 1944 г. В.С. Пешков открыл в жидком гелии II так называемый «второй звук», связанный с локальным переходом фаз гелия II друг в друга. В 1948 г. получен жидкий He^3 , являвшийся квантовой фермий-жидкостью. В 1958 г. А.П. Питалевский предсказал образование связанных пар атомов He^3 и сверхтекучесть (бозе-конденсацию образовавшихся пар) этой изотопной модификации гелия. Сверхтекучесть He^3 обнаружили Д. Ошерофф и др. в 1972 г. Таким образом, была еще раз показана принципиальная общность явлений сверхпроводимости и сверхтекучести, основанных на бозе-конденсации.

Первую феноменологическую теорию сверхпроводимости предложили Ф. Лондон и Г. Лондон в 1928 г. Следующий шаг был сделан А.-Д. Аланду в 1937 г. Теорию неидеального бозе-газа развили в 1947 г. И.Н. Боголюбов. Современную феноменологическую теорию сверхпроводимости разработали в 1960 гг. В.А. Гinzбург и А.-Д. Аланду. В дальнейшем она была признана феноменологической основой для создания последовательной теории сверхпроводимости. В 1952–1957 гг. теорию сверхпроводников II рода (в основном сплавов) как сочетание замкнутых токовых вихрей с участками истинно сверхпроводящей фазы разработал А.А. Абрикосов. Стала очевидной аналогия между сверхпроводником II рода и сверхтекучим гелием II: существование с бозе-конденсатом устойчивых вихревых образований (соответственно замкнутых электронных токов и квазичастич, так называемых ротонов). В 1968 г. были завершены А.П. Гораковым работы школы Аланду по теории сверхпроводников II рода. Соответствующая теория получила название «теории ГЛАГ». В 1950 году Дж. Бардин и Г. Фрэйлих предсказали притяжение между электронами металла за счёт обмена виртуальными фононами. В 1966 г. А. Купер ввёл понятие связанных пар, образующихся в системе ферми-частич и превращающихся тем самым ферми-газ электронов в газ бозонов, а затем и в бозе-конденсат. Полная теория, известная как теория БКШ (Дж. Бардин, А. Купер, Дж. Шраффлер). Она была сформулирована в 1957 г. и позже отмечена Нобелевской премией.

В 1962 г. туннелирование носителей заряда из одного сверхпроводящего слоя в другой через тонкий слой вакуума, изолятора или другого несверхпроводящего материала предсказал английский физик Б. Джонсона. Тем самым тонкий разрыв в полупроводниковом кольце не служит препятствием к циркуляции позитувающего стационарного электрического тока в сверхпроводниковом кольце с разрезом (до $10\text{--}20\text{\AA}$). Когда ток, проходящий через джонсоновский контакт, достигает некоторого критического значения I_c , наблюдаются нестационарные эффекты, сопровождающиеся генерацией переменного напряжения частоты ω и возникновением на контакте постоянного падения напряжения порядка V , связанных между собой соотношением Джонсона $\Delta V = 2eV$. В 1963 г. предсказанный эффект (стационарный вариант)

обнаружили Ф. Андерсон и Дж. Роуэлл. Другие его модификации избирались в последующие два года. Туннельные эффекты в сверхпроводниках изучал также А. Джеймс, создавший в 1960 г. туннельный сверхпроводящий диод.

В 1966 г. И. Беджорном и К.А. Мюллером были открыты высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) с температурой перехода около 40 К и выше (несколько позже до 10³К). Исследование этих сложных двойных оксидов редкоземельных элементов и меди (рутти и др. металлов) позволяет раскрыть новые детали в физическом механизме сверхпроводимости. Возможно, что это открытие окажет заметное влияние на развитие электротехники.

Спектроскопические предпосылки квантовой электроники

Первые шаги в развитии спектроскопии относятся к концу XIX в. В 1866 г. был открыт П. Зееманом эффект расщепления линий оптических спектров в магнитном поле (эффект Зеемана, объясненный Х.Лоренцем). В 1906 г. Лоренц же рассмотрел проблему ширин спектральных линий, и создал теорию контура спектральной линии при дисипативном механизме уширения, зависящем от частоты столкновений между молекулами. В 1913 г. И. Штарк открыл расщепление спектральных линий в электрическом поле. Этот эффект был в дальнейшем широко применен для модуляции и сдвига частот в оптической и микроволновой спектроскопии. В 1915–1916 гг. теорию атомных спектров, в частности квантовую теорию эффекта Зеемана, совместно с П. Дебаем создал А. Зоммерфельд. В 1925 г., выдвинув гипотезу наличия спина у электрона, С. Гаудсмит и Дж. Уленбек открыли путь к объяснению всех атомных спектров и их тонкой магнитной структуры. В 1927 г. была установлена связь между спинами атомных ядер и кристаллической структурой атомных спектров. В 1929 г. Х. Бете создал основы теории кристаллического поля (действия поля кристалла на энергетические уровни атома), что важно для спектроскопии сольей и оксидов, особенно примесных кристаллов.

В 1932–1934 гг. Д.М. Денисон, Дж. Е. Уленбек, К. Е. Клитон, Н. Х. Вильямс выполнили серию исследований микроволнового спектра аммиака NH₃, в частности знаменитой инверсионной линии с длиной волны 1,1 см, на которой через двадцать лет был осуществлен первый квантовый генератор. Спектроскопия аммиака дает уникальный пример расщепления вращательных линий за счет туннельных переходов. Расположенный в центре тетраэдра атомы водорода атом азота «выворачивается» таким образом, что ориентация перпендикулярна, параллельного оси *z* и опущенного из атома азота на центр плоскости треугольника (рис.1) меняется на противоположную.

Энергия системы (молекулы) как функция *x* (координаты, перпендикулярной плоскости, изображенной на рис.1) описывается кривой с двумя различными минимумами и максимумом с барьером в середине (рис.2). Д.М. Денисон и Дж.Е. Уленбек решали задачу о расщеплении энергетических уровней молекулы аммиака с учетом туннельных переходов в этой системе. (Расщепление порядка 25 Гигагерц между уровнями (состояниями) с соответствующими симметричным и антисимметричным распределениями атома

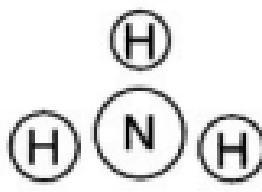


Рис. 1. Проекция атома N на плоскость H_2

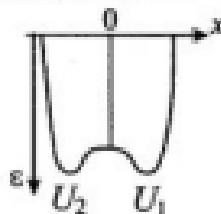


Рис. 2. Потенциальная функция NH_3 в зависимости от расстояния атома N от плоскости H_2

азота между двумя равноценными минимумами.) Переход между этими состояниями из языка волновых функций есть переход между состояниями $\Psi_U = [\Psi(U_1) + \Psi(U_2)]$ и $\Psi_{\bar{U}} = [\Psi(U_1) - \Psi(U_2)]$. Именно он служит рабочим для микроволнового квантового генератора на аммиаке. Частота перехода зависит от колебательного состояния, изотопного состава молекулы и т. д.

История исследования магнитного резонанса

В 1895 г. прецессию вращающихся в магнитном поле электронов предсказал Дж. Лармор (известная теорема Ларморса). Взаимодействие движущегося электрона с магнитным полем исследовал Х.А. Лоренц в том же 1895 г. В 1896 г. был открыт непосредственно вытекающий из результатов Ларморса и Лоренца эффект П. Зеемана, – расщепление линий в магнитном поле, пропорциональное напряженности магнитного поля (в разной ларморовой частоте). В 1898 г. был обнаружен так называемый «аномальный эффект Зеемана»: расщепление спектральных линий с высокой неоднородностью. Это была колебательная задача исследований в последующие 30 лет (она была решена только на основе квантовой теории атома и понятия спина электрона). В 1912 г. Ф. Паули и Э. Бак открыли эффект «упрощения» картины зеемановского расщепления в сильных магнитных полях. В 1922 г. пространственное квантование пучка атомов в магнитном поле было получено О. Штернен и Г. Герлахом, А. Эйткеном, П. Эренфестом (1922), а затем Я.Г. Дорфманом (1925) высказали уверенность, что переход между квантованными ориентациями должен происходить под действием резонансного излучения. Но тогда еще не было известно, что квантуются ориентации именно спина электрона, а не его орбитального момента, и не была разработана теория возмущений, необходимая для одновременного предсказания условий возникновения эффекта резонанса. В то же время Паули в 1924 г., трактуя сверхтонкую структуру атомных спектров, высказал предположение о наличии спина у атомного ядра.

В 1933 г. опыты с молекуллярными пучками О. Фриша, О. Штерна и др. обнаружили пространственное квантование суммарного ядерного спина молекул разных изотопомеров водорода (H_2 , HD , D_2). В 1937 г. А.В. Шубников и Б.Л. Аллажев измеряли стационарную намагниченность протонов в тяжелом водороде при сверхнизких температурах. В 1938–1940 гг. И. Раби и др. в Колумбийском университете (США) выполнили серию наблюдений магнитного резонанса (сначала ядерного, а затем и электронного) в молекуллярных

лучках. В этих опытах были установлены значения гиromагнитных отношений (см. ниже) протона, deutрона и других ядер. Согласно теореме Лармора электрон, обладающий собственным механическим моментом количества движения M и коллинеарным ему магнитным моментом μ , в постоянном магнитном поле с индукцией B вращается вокруг направления последней по часовой стрелке с частотой ω_D , где гиromагнитное отношение $\gamma = \frac{\mu}{M}$. Вращение с частотой ω_D в нужном направлении эквивалентно по Лармору включению магнитного поля с индукцией, направленной противоположно полю, заданному в лабораторной системе. Введение тогда Ф. Блохом понятие вращающейся системы координат широко использовалось в дальнейшем для объяснения эффектов магнитного резонанса и разработки аппаратуры для его исследований.

Для спиновых систем понятие спиновой температуры ввело в 1938 г. Х.Б.Г. Калингер и Ф.К. Да Пре. Исследование высокочастотных спектров параметрических систем занимались К. Горттер с соавторами в 1936 – 1944 гг. Наконец, в 1944 г. электронный параметрический резонанс (ЭПР) открыл в Казани Е.К. Звойский, который приступал к поискам магнитного резонанса в конденсированных средах еще в 1940 г. и был близок к открытию также и ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Однако, лишь в 1945 г. две группы исследователей под руководством Ф.Блоха (Оксфорд, США) и Э.Пирселя (Гарвард, США) открыли ядерный магнитный резонанс на протонах. Исследования магнитного спинового резонанса, частота которого задается формулой Лармора с поправкой на внутренние взаимодействия спинов, в интересах химии получили большой размах с конца 1940-х – 1950-х гг. В ЯМР в эти годы были открыты магнитное экранирование или химический сдвиг, электрические квадрупольные взаимодействия, косвенные спин-спиновые взаимодействия.

В то же время исследования ЯМР и ЭПР сыграли важную роль в утверждении основ квантовой электроники. В 1947 – 1951 гг. в Оксфорде (Англия) в лаборатории Б. Блэни и затем также в Казани в лаборатории С.А. Альтшулера были сформулированы закономерности формирования спектров ЭПР в моноокристаллах на основе развития теории кристаллического поля. Исследованные в этих лабораториях, а также в лаборатории А.М. Прокорова в ФИАН, Н. Бломбергена в США и др. кристаллы с примесями переходных, в основном 3d- (группы железа) и 4f- (редкоземельных), элементов послужили рабочими средами для создания мазеров и лазеров на трехуровневых системах.

В 1945 г. Дж. Ван Флем и В.Ф. Вайскопф уточнили квантовую модификацию теории лоренцевой ширины линий для разреженных газов и разработали теорию зависимости ширины и формы линий от давления газа.

В 1950–1951 гг. были уже продемонстрированы на примере спиновых систем эффекты инверсии заселенностей уровней и индуцированного излучения (Пирсель и Паунд). В оптических спектрах со сверхтонкой структурой эффекты типа пинакели (неравновесного перераспределения заселенностей уровней при возбуждении одного из переходов во многоуровневой системе) или двойного магнитно-оптического резонанса в 1950–1952 гг. исследовал

французский учёный А. Кастлер с соавторами. Двойной ядерно-ядерный резонанс открыл в 1956 г. Дж. Феер. Работы А. Оверхаузера, Р. Карнера и Ч. Смактера [1953] и А. Абрагама совместно с У. Проектором (1956) установили возможность методами накачки в многоуровневых спиновых системах (системах с двумя сортами спинов) менять спиновые температуры и следовательно намагниченности (поларизации) одного из сортов спинов. Системы с повышенной поларизацией ядер с относительно невысокими магнитными моментами (и очень медленной релаксацией к тепловым значениям) немедленно по их получении были приспособлены для экспериментов с поляризованными ядерными (в основном протонными) магнитами по зависимости от спина ядерно-ядерных взаимодействий (ядерно-ядерных взаимодействий). Развитие идей спиновой температуры получено в работах школы А. Абрагама в 1956–1963 г. Важный вклад в эту проблему внесли исследования советских теоретиков Б.Н. Прогорелова, М.И. Родак и др. (1961–1964 гг.), и экспериментаторов В.А. Ашаркина, А.Е. Меффла и др.

На «счету» магнитного резонанса имеется несколько уникальных по принципиальному значению для развития физики достижений. Для ядерных спиновых систем продемонстрирована, например, обратимость во времени процессов затухания когерентной прецессии спинов вокруг магнитного поля («магнитное эхо» У.К. Рима, Р. Пайка и Дж. Уо, 1971). Результаты Абрагама и его школы (1970-е гг.) по получению ядерного спинового ферромагнетизма и антиферромагнетизма в искусственно упорядоченных методами магнитного резонанса системах служат своего рода «рекордным» достижением в области аппаратурных методов воздействия на внутренние взаимодействия в веществе¹⁰. В различных лабораториях разработаны методы управления эффективными параметрами спин-гамильтонианов в твёрдых телах, приводящие к ограничению эффективных диполь-дипольных и некоторых других антитропных спиновых взаимодействий и резкому сужению спектральных линий магнитного резонанса. Эти результаты, полученные в 1970-х гг., позволили повысить разрешающую способность спектроскопии магнитного резонанса в твёрдом теле путём аппаратурного воздействия на взаимодействия между магнитными моментами в веществе.

Создание мазеров и лазеров

Выявление идей квантовой генерации и квантовых усилителей началось задолго до создания самих квантовых генераторов. Фактически начало им было положено работами А. Эйнштейна 1916–1917 гг., в которых было предсказано индуцированное излучение с вероятностью, пропорциональной мощности облучающего поля. Если, таким образом, создать в объеме резонатора высокую плотность излучения, и, одновременно каким-то образом поддерживать в помещённом в резонатор рабочем веществе отрицательную

¹⁰ Большинство экспериментов по управлению намагниченностью ядерных спинов в твёрдом теле проводились на монокристаллах CaF_2 , что обусловлено высокой концентрацией в них ядерных спинов единственного стабильного изотопа фтора ^{19}F со спином 1/2 и гравитационной простотой расчётов для кристалла кубической сингонии.

температуру некоей резонансной подсистемы, очевидно, что система (резонатор + рабочее вещество) будет работать как генератор резонансной частоты. Разумеется, этому пониманию предшествовали десятилетия исследований. Постепенно накапливались данные о возможности создания метастабильных состояний квантовых систем с дискретными энергетическими уровнями и инверсий населенностей в системе [с отрицательной температурой]. Такими системами могли быть системы поллярных молекул или спинов. Пространственная селекция различных состояний в атомных и молекулярных пучках диктуется одной из таких возможностей. Именно пространственная селекция была первым методом получения инверсной населенности уровней или (что то же самое, отрицательной температуры подсистемы) для квантового генератора.

В 1939 г. идею создания отрицательной температуры в разреженном газе высказал советский учёный В.А. Фабрикант. Его работы опирались на идею Х. Крамера (Голландия, 1923) и результаты исследования «отрицательной дисперсии» в лаборатории Д.С. Рождественского (СССР, 1928) и Р. Аденибурга с соавторами (Германия, 1928). Уже в 1951 г. В.А. Фабрикант вместе со своими учениками подал заявку в органы патентной экспертизы СССР на способ усиления электромагнитных излучений: «Предлагается способ усиления электромагнитного излучения, основанный на использовании явления индуцированного испускания, теоретически разработанного А. Эйнштейном в 1917 г. При данном способе усиления не происходит превращения энергии усиливаемого излучения в другие виды энергии. Способ пригоден для усиления ультрафиолетового, видимого, инфракрасного и радио-диапазона волн. Для осуществления описанного способа усиления создают среду, имеющую отрицательный коэффициент поглощения для излучения» (цитируется по [2]). Данный текст приведен не столько для того, чтобы подчеркнуть приоритет советского учёного, сколько в силу того, насколько полно и скрупулезно излагает саму идею квантового усилителя. Фабриканту с соавторами было необоснованно отказано в приоритете на изобретение (заявление было исправлено только в 1959 г.). Между тем к 1951 г. инверсия населенностей в спиновой системе с различными временами релаксации (устранения равновесия с веществом) уже была получена (1950–1951 гг.) Пёрселлом и Паундом на ядерной спиновой системе кристалла.

Между тем в лабораториях Колумбийского университета, Массачусетского технологического института и Белл-телефон компании Ч.Х. Таусе с соавторами независимо в Физическом институте АН СССР А.М. Прохоров и Н.Г. Басов также выдвинули аналогичные идеи в 1951–1952 гг. Указанные авторы разрабатывали подходы к теоретическому расчёту и практической реализации систем с отрицательной температурой. В истории, как первые такие рабочие системы для квантового генератора вошли, газообразный аммиак NH_3 . Разделение осуществляли методом селекции молекул в пучке NH_3 в неоднородном электрическом поле по значениям полного электрического квадрупольного момента молекул.

В 1956 г. Н. Бломберген предложил идею квантового параметрического усилителя (мазера) на многоуровневой системе, реализованного в 1957 г.

Такие системы возникают в кристаллах для спинов $S > \frac{1}{2}$ благодаря расщеплению спиновых уровней в кристаллическом поле. Несколько ранее работы по инверсии уровней параметрической системы вели во Франции Ж. Комбрессон с сотрудниками. Ч. Таунс и А. Шашлов в 1958 г. предложили квантовый генератор на оптических частотах (лазер). Идея показалась столь мало перспективной, что Белл Телефон Компани отказалась оформлять патент на лазер. Однако идею ждали блестящее будущее. Те же авторы и подхвативший их идею А.М. Прохоров в том же году независимо друг от друга предложили конструкцию открытого оптического резонатора для реализации лазера. Началась эра открытия и реализации новых рабочих тела для лазеров и мазеров (вначале преобладали квантовые генераторы микроволнового диапазона). В 1960 г. Н.Ф. Рамза создал водородный мазер на уровнях сверхтонкой структуры атома водорода с $\lambda=21$ см, обусловленных скалярным взаимодействием протонного и электронного спинов. Рабочим оказался переход между триплетным [суммарный спин $F=1$, проекция на внешнее поле $m_F=0$] и синглетным ($F=0$) состояниями пары связанных спинов в слабом магнитном поле. «Водородный мазер» в лабораторных условиях работал с помощью эффекта пространственного разделения синглетных и триплетных (но полному спину) атомов водорода. В 1965 г. было установлены природные [космической] источники мазерного излучения в галактических туманностях на инверсной за- селенности аналогичных уровняй свободного радикала ОН⁺.

В 1960 г. Т. Мейман создал первый получивший промышленное значение лазер с $\lambda=0,69$ мкм на кристалле рубина (ионах Cr³⁺ в решётке Al₂O₃). В том же году первый газовый лазер (тогда гелий – неоновый) создали А. Джакин, У.Р. Беншет, Д. Эрриот. 1960-ый годом датируется и начало широкого применения лазеров для спектроскопии (Н. Бломберген и А. Шашлов). В 1961 г. П. Франкен реализовала удвоение частоты рубинового лазера при прохождении через кристалл кварца. Высокие мощности полученного излучения позволили, таким образом, использовать нелинейные эффекты в оптике. Над теорией квантовых усилителей и генераторов, а также нелинейных эффектов оптики, ставших доступными для применения и исследования благодаря лазерам, трудились Н. Бломберген в США и Р.В. Хоклов, С.А. Ахманов с сотрудниками в МГУ им. Ломоносова.

В 1962 г. идею сравнительно компактного полупроводникового лазера высказали сотрудники ФИАН Н.Г. Басов, Б.М. Вул, Ю.М. Попов. Она была реализована впервые в США Б. Аксом и др. [в СССР были трудности с получением полупроводниковых кристаллов достаточно высокого качества, преодолённые лишь двумя годами позже]. В 1963 г. А.П. Джонсон предложил один из эффективных твердотельных лазеров на ионах Nd³⁺ в CaF₂ (переход между уровнями $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$, с длиной волны $\lambda = 1,055$ мкм). В течении ближайших двух лет на тех же ионах были предложены еще более эффективные рабочие тела для лазеров. В 1964 г. П.П. Феофилов с соавторами предложили неодимовые лазеры на базе примесей в стекле, что оказалось технологически весьма удобным, поскольку удавалось получать образцы

стекла с однородным и весьма высоким содержанием рабочей примеси. В результате неодимовые лазеры стали наиболее употребительными для исследования и применения нелинейных эффектов в оптике. К 1964 г. был создан газовый лазер на утлекислом газе. В 1966 г. – лазер на растворе красителей (США). Впоследствии стало ясно, что любая оптически однородная среда подходящим способом накачки может быть переведена хотя бы на короткое время в неравновесное состояние с инверсией населенностей какой-либо пары уровней энергии [6, с.196].

К числу интересных, но практически не реализованных, идей квантовой электроники принадлежит знаменитая идея гамма-резонансного лазера («граизера») на частотах порядка 10^{19} Гц. В 1958 г. немецкий учёный Р. Мюльбauer (Нобелевская премия 1961 г.) открыл узкие резонансные линии поглощения-излучения радиоактивных ядер кристаллов, обладающих центром симметрии. Принципиальную возможность реализовать в таких системах отрицательную температуру и получить монохроматическое индуцированное излучение обосновал А.А. Ривлин в 1961 г. Однако результат не был достигнут.

Квантовая электроника (КЭ) и достижения физики конденсированных состояний (ФКС) – важный источник технических приложений физики второй половины XX в.

В этом разделе мы лишь кратко перечислим основанные на КЭ и ФКС современные технические приложения. Разделим их на несколько групп.

Достижения физики полупроводников. На этих работах основано конструирование многофункциональных однокристальных и комбинированных блоков из $p-n$ -переходов и других управляемых током элементов, то есть, построение элементной базы современной информатики (миниатюризация и совершенствование электронных вычислительных машин), значительный вклад вносит эти достижения в энергетику (соларные батареи, светодиоды и т.д.). В 1969 г. в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе разработаны компактные фотоэлектрические преобразователи с КПД до 25%. Нобелевская премия 2000 г. Ж. Амфрову и др. была присуждена за достижения физики полупроводников, используемые в современной информационной и энергетической отраслях. В 2003 г. новая российская премия «Глобальная энергия» была в частности присуждена американскому учёному Н. Халоньку за создание полупроводниковых светодиодов (работы 1960-х гг.).

Достижения физики сверхпроводников. В 1961 г. В. Козцлер создал первый монолитный сверхпроводящий соленоид. В настоящее время созданы на базе сверхпроводников II рода магниты (соленоиды) с очень высокими магнитными потоками (либо с очень высокой индукцией в зазоре до 14 килоТесла либо с очень большим диаметром зазора до 500 мм). Такие соленоиды стали неотъемлемыми элементами в конструкции аналитических спектрометров ЯМР для химии и магнитных томографов для медицины, допускающих обследование всего человеческого тела). Идея о применении ядерного магнитного резонанса для исследования концентрации и динамики ядерных спинов в живых

тиках для выявления патологий и исследования функций человеческих органов принадлежит П. Лаутербуру (США, 1972).

Туннельные эффекты на поверхности сверхпроводников применяются для сверхточного измерения магнитных полей и других технических и исследовательских целей (эффект Джозефсона). Туннельные эффекты через микроразрезы между двумя поверхностями твердых тел позволили Г. Биннигу, А. Руска и Г. Рореру создать в 1981 г. высокоразрешающий сканирующий туннельный микроскоп.

В высокочувствительных радиоприемных устройствах применяются не шумящие сверхпроводящие элементы. Сверхпроводящие соленоиды могут использоваться как аккумуляторы энергии в установках типа магнитогидродинамических генераторов и других энергетических установках.

Лазерные технологии. Это наиболее известные достижения современной технической физики. Можно упомянуть применение лазеров для получения голограммических изображений (первые в 1962–1964), в аналитических целях, особенно вынужденное и резонансное комбинационное рассеяние; в обрабатывающей промышленности (прожигание вместо сверления и штамповки и т. п.); в медицине (в стоматологии, вэндоскопии и эндокирургии, в микрокирургии глаза и т. д.); в зондировании атмосферы. Лазерные излучения, судя по сообщениям печати, могут применяться и в военном деле для уничтожения или выхода из строя космических и наземных объектов, а также для наведения ракет.

Применения ядерного резонанса и других физических методов. Достижения КЭ и ФКС широко используются в исследовательской технике, без которой немыслимо представить себе современную химию, биологию, медицину. На передний план в физической химии и биофизике вышли мощные и изощренные методы рентгеноструктурного, массспектрометрического и магниторезонансного анализа, атомной туннельной и скановой микроскопии. Швейцарец Р. Эрнст получил в 1992 г. за развитие методов ядерного магнитного резонанса для анализа сложных молекул Нобелевскую премию по химии. В 2002 г. его коллега по Федеральному Высшему Политехническому Институту в Цюрихе К. Вютрюх также получил Нобелевскую премию по химии за дальнейшее усовершенствование методов ЯМР в области приложения к строению белковых молекул с большими молекулярными массами.

Возможности применений ЯМР в химии расширены были в 1970-х–1980-х гг. с помощью управления параметрами спиновых систем, включая резонансную частоту («спиновая алхимия» по Дж. Уо, 1975). Мы уже упоминали достижения спиновой физики (см. выше), позволившие получить хорошо разрешаемые спектры твердых тел (в интересах физики и химии твердого тела и кристаллохимии), поляризованные ядерные мишени (в интересах физики квантования и ядер), усиленные сигналы ЭПР (в интересах исследования систем типа ИГСП и др.).

Заключение

Предлагаемый вариант главы предполагает пользование дополнительными источниками: биографическим словарем Ю. Храмова [5] (для уточнения биографических данных упомянутых в главе учебных), физическим энциклопедическим словарем [6] (для уточнения современных представлений о проблемах физики конденсированных состояний и квантовой электроники). При внимательном изучении аксиома краткого учебного пособия В.А. Ильина [7] можно вычеркнуть необходимые сведения о формировании отдельных представлений и биографиях некоторых учёных. Набросок истории физики твердого тела до 1960 г. представлен в книге М.И. Каганова и В.Я. Френкеля [1], а также М.И. Каганова и И.М. Аифшица [3].

История зарождения квантовой электроники содержится в книге И.М. Дунской [2]. Серьёзным подспорьем могут стать раздел «Макрофизика» статьи В.А. Гинзбурга «О перспективах развития физики и астрофизики в конце XX в.» [4, с.287–296] и статья В.С. Аетохова «Квантовая электроника» [6, с.188–218]. Мы можем также порекомендовать для предварительной подготовки некоторые статьи из «Энциклопедии современного естествознания» [8] (Том 5 «Физика конденсированных сред»: Сверхпроводимость, Сверхтекущесть, Гетеропереходы в полупроводниках и др. статьи; Том 7 «Физика волновых сред» и др.).

Литература

1. Каганов М.И., Френкель В.Я. Веки истории твёрдого тела. М.: Знание, 1981, 62 с.
2. Дунская И.М. Возникновение квантовой электроники. М.: Наука, 1974, 160 с.
3. Каганов М.И., Аифшиц И.М. Квантовая электроника. М.: Наука, 1989.
4. Физика XX века. Развитие и перспективы/Под. ред. Е.П. Балашова. М.: Наука, 1994, 280 с.
5. Храмов Ю.А. Физика. Биографический справочник. М.: Наука. Физматлит, 1993, 400 с.
6. Физическая энциклопедия. М.: «Советская энциклопедия». Т.1 (1988); Т.2 (1990); Т.3 (1992); Т.4 (1994); Т.5 (1998).
7. Ильин В.А. История физики. М.: ACADEMIA, 2003, 270 с.
8. Брандт И.Б. Сверхпроводимость / Энциклопедия современного естествознания, Т. 5 [Физика конденсированного состояния]. М.: Магистр-Пресс, 2000; Мишин В.Д. Сверхтекущесть / Там же; см. и другие статьи в этом и других томах: Т.7, 2001 (Физика волновых процессов); Т.10, 2001 (Современные технологии).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Лауреаты Нобелевских премий по физике за работы по физике конденсированного состояния и квантовой электроники

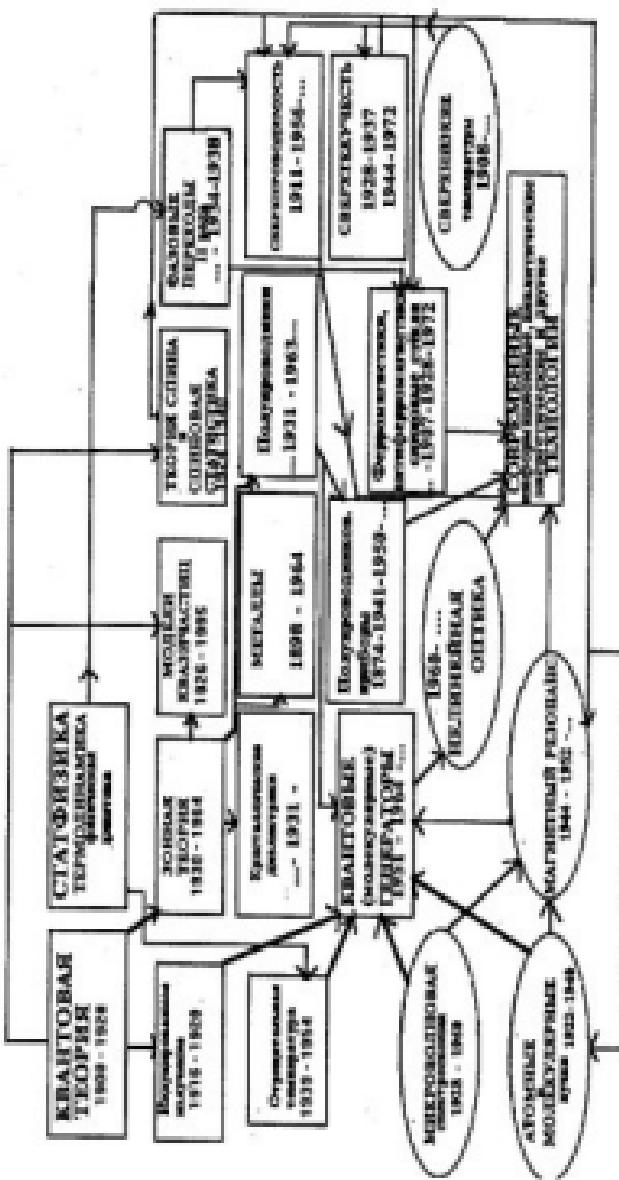
Имя учёных (страны)	Одличительные научные достижения	Период выполнения исследования	Год присуждения премии
Зееман П., Лоренц Х.А. (Нидерланды)	Расщепление спектральных линий атомов в магнитном поле	1896–1897	1902
Камерлинг-Оннес Х. (Нидерланды)	Исследование свойств вещества при низких температурах и получение жидкого гелия	1905–1911	1913
Лаур М. фон (Германия)	Открытие дифракции рентгеновских лучей на кристаллах	1912	1914
Брэйт У.Г., Брэйт У.А. (Великобритания)	Исследование структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей	1912	1915
Ричардсон О.У. (Великобритания)	Исследование термоэлектронной эмиссии (зависимость максимального тока от температуры – формула Ричардсона)	1901	1938
Джонсон К. Да. (США), Томсон Дж.Л. (Великобритания)	Экспериментальное открытие дифракции электронов в кристаллах	1927	1937
Раби И.А. (США)	Радиационный метод измерения магнитных свойств ядерных адронов	1938	1944
Паули В. (Швейцария)	Открытие принципа запрета (правило Паули).	1924–1925	1945
Бриджмен П.Л. (США)	Открытия в области физики высоких давлений	1930–1930	1946
Баум Ф., Пирсона Э.М. (США)	Развитие новых методов точного измерения магнитных моментов ядерных адронов и связанные с этим открытия. (БМФ – Адр.).	1945–1946	1952
Шернак Ф. (Нидерланды)	Создание фазово-контрастного метода, изобретение фазово-контрастного микроскопа.	1934–1935	1953
Бардин Дж., Брагин В., Шокен У.Б. (США)	Исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта	Около 1948	1956

Имя и фамилия учёных (страна)	Отмеченные научные достижения	Период выполнения исследований	Год присуждения премии
Мёсбахер Р.А. (Германия)	Исследование и открытие резонансного поглощения гамма-излучения в твёрдых телах (эффект Мёсбахера)	1958	1961
Ландау А.Д. (СССР)	Теория коленкорированной материи (в особенности жидкого гелия)	1945–1947	1962
Басов Н.Г., Прокофьев А.М. (СССР), Таус Ч.Х. (США)	Работы в области квантовой электроники, приведшие к созданию генераторов и усилителей, основанных на принципах макара – лазера.	1952–1958	1964
Кастлер А. (Франция)	Создание оптических методов изучения разновидностей Герца в атомах (двойной магнитно-оптический резонанс Ленга)	1951–1956	1966
Ногаль А.Э.Ф. (Франция)	Фундаментальные работы и открытия в области антиферромагнетизма и его применения в физике твёрдого тела.	1933–1967	1970
Габор Д. (Великобритания)	Изобретение и развитие голографии	1948	1971
Бардин Дж., Купер А., Шраффер Дж.Р. (США)	Создание микроскопической теории сверхпроводимости	1956–1957	1972
Джайлор А. (США), Джонстон Б. (Великобритания), Зеэки А. (США)	Исследование и применение туннельного эффекта в полупроводниковых и спирокротальных системах	1957–1966	1973
Андерсон Ф., Ван Флек Дж. (США), Н.Мотт (Великобритания)	Фундаментальные исследования в области электронной структуры магнитных и неупорядоченных систем	1930-е–1950-е	1977
Капишев П.А. (СССР)	Фундаментальные открытия в области физики жидкого гелия	1937–1941	1978
Баломберген Н., Шульц А.Л. (США)	Развитие лазерной спектроскопии	1961 и позже	1981
Вудсон К. (США)	Разработка теории кратических явления в связи с фазовыми переходами	1972	1982

Имя и фамилия ученых (страна)	Отмеченные научными достижениями	Период выполнения исследования	Год присуждения премии
Клайтенс К. (Германия)	Открытие «квантового эффекта Холла» (в двухмерном электротоном гале полупроводникового транзистора - Ант.)	1980	1985
Беннигс Дж. (Германия), Рорер Г. (Швейцария), Русса Э. (Германия)	Создание сканирующего туннельного микроскопа	1981	1986
Бандори И.Г. (Германия), Мюллер К.А. (Швейцария)	Открытие новых (высокотемпературных) сверхпроводящих материалов	1986	1987
Дю Жан П.Ж. (Франция)	Достижения в понимании макромолекулярного упаковочения в сложных конденсированных системах, особенно в жидкости кристаллах и полимерах	1990-е - 1993-е	1991
Браукхауз В. (Канада), Шалл К. (США)	Технология исследования материалов путем бомбардировки нейтральными пучками. (Нейтронография. Ант.)	1945-1965	1994
Ли Л., Овербрук Д., Ричардсон Р. (США)	Открытие поверхности изотопа гелия ($\text{He} - \text{Ant}$)	1972	1996
Лаффлин Р., Штеттер Х., Цук Д. (США)	Открытие новой формы квантовой жидкости с частично заряженными возбуждениями. (Дробный квантовый эффект Холла. Ант.)	1981-1983	1998
Амфирев Ж.И. (Россия), Крайнер Г., Кэлфи Дж. (США)	Основополагающие работы в области информационных и коммуникационных технологий (в частности за гиперструктурную в полупроводниках - Ант.)	1963-1968	2000
Корнелл Э.А. (США), Кеттерль В. (Германия), Вейман К.Е. (США)	Достижение бозе-Эйнштейновской конденсации в разнозарядном гале атомов цинковых металлов и первые исследования свойств этих конденсаторов	1995	2001

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Схема формирования направлений ФКС и КЭ



Библиографический указатель литературы по истории физики на русском языке¹⁾

Источники по истории физики

Библиографический указатель более 850 основных русскоязычных источников по истории физики разделен на четыре раздела.

Раздел 1 содержит список более 350 книг – монографий и сборников избранных работ крупнейших ученых, внесших вклад в развитие физики. Значительная часть переводов была издана в серии «Классики науки», основанной в 1945 г. С.И.Вавиловым (И.Ньютона, М.Фарадея, Дж.К.Максвелла, М.Планка, А.Эйнштейна, А.А.Фридмана и др.). Такого рода издания помимо оригинальных работ также, как правило, содержали расширенные комментарии и историко-научные статьи по данной теме (Я.Г.Дорфмана, А.С.Полака и др.). Также были выпущены сборники работ различных ученых, объединенные одной тематикой («Вариационные принципы физики», «Принцип относительности» и др.). Воспоминания этих же ученых (П.А.М.Дирака, В.Гейзенберга и др.) отнесены ко второму разделу.

Раздел 2 включает списки основных источников по истории физики, опубликованных на русском языке: обширные курсы по истории физики и естествознания (М.Льюиса, Ф.Розенбергера, Я.Г.Дорфмана, Б.И.Спасского и др.), более 250 монографий по различным аспектам истории физики (А.С.Полака, Б.Г.Кузнецова, И.Б.Погребысского, И.С.Алексеева, В.П.Виггина, В.С.Кирсанова, Н.В.Вдовиченко, Е.И.Погребысской и др.), в этот список также добавлено несколько книг по методологии и философии физики, построенных на историко-физическом материале (Г.Кутя, И.Лакатос и др.). Указаны также периодические издания, в которых был опубликован ряд важных статей по истории физики: «Эйнштейновский сборник», «Исследования по истории физики и механики», «Вопросы истории естествознания и техники», «Успехи физических наук» и др. (список приводится).

Раздел 3 включает более 230 научно-биографических изданий, изданных в основном в серии «Научно-биографическая литература», написанных С.И.Вавиловым, О.А.Лежневой, А.С.Полаком, Г.Е.Гореликом, А.С.Соловьевым и др. и упорядоченных для удобства по фамилиям ученых, которым посвящены эти книги, а также воспоминания об ученых и воспоминания самих ученых.

Раздел 4 содержит краткие аннотации примерно 30 книг наиболее важных курсов по истории физики в целом, а также некоторых монографий.

Для развития историко-научных исследований большое значение имела институционализация этого направления – создание в 1932 г. Института истории науки и техники (г.Ленинград, дир. акад. Н.И.Бухарин) и воссоздание его в 1944/45 гг. в Москве (Институт истории естествознания, с 1953 – Институт

1) Составитель К.А.Томилин

истории естествознания и техники АН СССР, ныне – Институт истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН). Отметим, что основополагающую роль в институционализации историко-научных исследований сыграли В.И.Вернадский и С.И.Вавилов. Фактически наиболее значимая часть историко-научных исследований в СССР и России во второй половине XX в. была проведена непосредственно сотрудниками ИИЭТ АН СССР (ИИЭТ РАН) или при их активном участии. В институте, в частности, была организована серия «Научное наследство» (изд. с 1948 г. по инициативе С.И.Вавилова). В институте также в 1959 г. была создана серия «Научно-биографическая литература», в рамках которой было выпущено более 550 научных биографий крупнейших ученых [1]. С 1960 г. осуществляется выпуск ежеквартального журнала «Вопросы истории естествознания и техники». Отметим, что некоторые отечественные монографии и тематические сборники по истории науки до сих пор не имеют зарубежных аналогов. В 1958 г. был издан подробный библиографический указатель литературы по истории физики [2]. Данный библиографический указатель фактически подводит итог советскому периоду развития истории физики, оказавшемуся, несмотря на некоторые идеологические деформации, исключительно плодотворным для развития этой области знания.

С начала 1990-х годов, в связи с резким сокращением расходов на науку, количество переводов оригинальных работ и публикаций по истории физики резко сократилось, наступили перебои в издании периодических сборников, а «Энциклопедический сборник» прекратил свое существование. После 1991 г. были изданы лишь три книги в серии «Классики науки» (У.Гаммалтон, Б.Понтеорво, М.А.Марков), причем две последних из них – латыни при финансовой поддержке РФФИ. Помимо уменьшения в 5–10 раз общего ассортимента научных изданий, произошло одновременное уменьшение в 10–100 раз тиражей научной литературы. Так, книги в серии «Научно-биографическая литература» начали выходить тиражами 300–400 экз. и расходиться, в основном, только по библиотекам, причем книги о пионерах отечественной реактивной техники в этой серии были изданы еще меньшими тиражами в 200–250 экз., а «рекордный» уровень был достигнут в 1996 г. – одна из книг этой серии была издана тиражом 150 экз. В связи с падением количества изданий научной литературы по точным наукам во многих книжных магазинах были ликвидированы специальные отделы физико-математической литературы, закрыт ряд букинистических и специализированных магазинов «Академзинга», разрушена система распространения книг, а также система перевода лучших зарубежных изданий на русской языке. В результате сформировался дефицит физико-математической литературы, а прилавки магазинов начали заполняться псевдонаучными изданиями.

В то же время именно в 1990-е гг. окончательно отпало идеологическое давление на историю науки, возникли новые издательства и новые формы финансирования изданий научной литературы – через специализированные фонды РФФИ и РГНФ на конкурсной основе. Это позволило сократить сроки публикации научной литературы (при условии положительного решения фонда и без авторского гонорара, т.е. без оплаты интеллектуального труда).

С конца 1980-х гг. были сняты идеологические запреты на упоминание уже ранее изданных книг, авторы которых эмигрировали за рубеж (М.С.Сомнинский и др.), также открылись возможности для исследования научной деятельности ученых-эмигрантов (И.И.Сокорского и др.) и ученых, активно не признавших советскую власть (А.В.Колчак и др.). С 1997 г. после шестнадцатилетнего перерыва вновь возобновлен выпуск ежегодников «Исследования по истории физики и механики». В ближайшем будущем, как ожидается, возобновится издание «Эйнштейновского сборника». В последние пять лет сотрудниками ИИЕТ РАН (включая фильм в С.-Петербурге) выпускается более 1000 атт. л. уникальной историко-научной литературы в год, а в минувшем 2002 году достигнут уровень почти 1500 атт. л. (см. [3]).

Данный библиографический указатель ориентирован на аспирантов, которые стремятся более углубленно изучить историю науки. Однако настоящее понимание истории науки невозможно без анализа первоисточников в их оригинальном виде, а также историко-научной литературы, изданной за рубежом. В связи с этим следует отметить некоторые важнейшие библиографические источники: аннотированная библиография 1200 книг и статей по истории классической физики [4], библиографии по истории современной физики [5, 6], многотомные библиографии отечественных публикаций, охватывающие период с 1917 по 1980 гг. [7] (издание продолжается), ежегодная библиография журнала *ISIS* [8 и др.]. С развитием новых информационных технологий в 1990-е гг. библиография научных источников стала более оперативной и широко доступной. Среди библиографических интернет-сайтов следует отметить сайт библиотеки Конгресса США (только монографии) [9], сайт библиографии *ISIS* (журнальные статьи и монографии) [10]; эти сайты снабжены поисковыми системами. Необходимо создание в отечественном интернет-сайте по истории науки, представляющего, в частности, наиболее полную библиографию источников по истории науки.

Литература

- Сокольская З.К. 550 научных биографий. М.: Наука, 1988. 539 с.
- Выдающиеся физики мира. Рекомендованный указатель. / Сост. Башмаков М.М., Николаев Д.С., Рыбакова М.А. М.: Б-ка им. В.И.Алехина, 1988. 436 с.
- <http://www.iast.ru>
- Howe R.W. *The history of classical physics. A selected, annotated bibliography*. N.Y.; L: Garland publ., 1994. 234 р.
- Mullins J.L., Wilesco S.R. *Literature on the history of physics in the 20th century*. Berkeley, Univ. of California, 1991. 485 р.
- Fraud St., Brillouin L. *The history of modern physics. An international bibliography*. N.Y.; L: Garland publ., 1980. 334 р.
- История естествознания. Библиографический указатель. 1917–1967. М. А., 1969; 219 с.; 1948–1950, 1955, 206 с.; 1951–1955, 1963, 430 с.; 1957–1961, ч.1, 1972, 222 с.; 1962–1966, 1977, 700 с.; 1967–1971, 1981, 708 с.; 1971–1975, 1984, 484 с.; 1976–1980, 1985, 280 с.
- ISIIS. Current Bibliography. 2002. 237 р.
- <http://www.istc.gov>.
- <http://dept.washington.edu/fasweb/index2.html>

1. Оригинальные работы классиков физики

Хрестоматии, антологии оригинальных текстов ученых:

Голь Г.М., Фрименет С.Р. Классика физической науки (с древнейших времен до начала XX в.). М.: Высшая школа, 1989, 576 с. (Аристотель, Аукренид, Архимед, Альвардо да Винчи, Н.Коперник, Г.Галилей, Р.Декарт, Э.Торричелли, Б.Паскаль, О.Герене, Р.Бойль, Ф.Гравицели, Р.Гук, О.Фрименет, Х.Лейбнис, И.Ньютона, Д.Бернулли, А.Эйнштейн, М.В.Ломоносов, Е.Франклин, П.Бутлер, И.Ламберт, Дж.Боли, Ж.-Л.Лагранж, Ш.Кювье, Г.Канториц, В.Герцель, А.Полтье, Т.Юнг, О.Френкель, Г.Х.Эрстед, А.-М.Ампер, С.Карно, Г.Ом, М.Фарадей, Э.Х.Ленг, Р.Майер, Дж.Джоуль, Г.Геммальтади, У.Томсон [Кельвинг], А.Фуко, И.Франко, Р.Клаузус, Р.Бунея, Г.Кирхгоф, Дж.К.Максвелл, Н.А.Уткин, А.Болтышев, А.А.Макаров, З.Мордко, Г.Герц, А.Г.Столетов, П.Н.Лебедев, Дж.Б.Робб).

Хрестоматия по истории физики: Классическая физика. Сост. Г.М.Гольян. Минск, Вышэйшая шк., 1979, 272 с. (Аристотель, Аукренид, Архимед, Н.Коперник, Г.Галилей, Х.Лейбнис, И.Ньютона, М.В.Ломоносов, Е.Франклин, А.Бойль, О.Фрименет, Г.Х.Эрстед, А.-М.Ампер, М.Фарадей, Э.Х.Ленг, Р.Майер, Дж.К.Максвелл, А.Болтышев, А.Г.Столетов, А.С.Попов, П.Н.Лебедев).

Хрестоматия по истории физики: Современная физика. Сост. Г.М.Гольян. Минск, Вышэйшая шк., 1979, 304 с. (В.Рентген, П.Кори, М.Содардская-Кори, М.Планк, А.Эйнштейн, Э.Резерфорда, Н.Бор, Е.Гейзенберг, А. де Бройль, Э.Шредингер, В.Паулин, Э.Ферми, П.Дирак, Д.С.Рэндистенский, А.Ф.Иоффе, Я.И.Френкель, С.И.Вавилов, П.А.Черенков, И.Е.Тамм, И.В.Курчатов, П.Л.Капица, А.Д.Ландау).

Мир физики. Книга I. Механика. Хрестоматия. Сост. Гольян В.В., Гольян Н.В., Фистулак М.В. М.: Изд-во Российской открытой печати, 1992, 328 с. (Архимед, Г.Галилей, Х.Лейбнис, И.Ньютона, И.Бернулли, Д.Ламберт, А.Эйнштейн, Ж.-Л.Лагранж, У.Геммальтади, А.Эйнштейн, И.В.Мещерский, А.М.Литунов, А.А.Андронов, М.В.Келдыш, Р.Фейнман).

Философия науки. Естественнонаучные основы материализма. Ч. I. Физика. Вып. I. М.-Пг.: Госиздат, 1923. (Г.Геммальтади, А.Болтышев и др.) Вып. 2. 1924. (М.Планк, Г.Герц, Г.Геммальтади, Ж.Перрье, Р.Маклаков, Дж.Дж.Томсон, Э.Резерфорд, Ч.Дж.Дарси).

Начала гидростатики. М.-Л.: Гостехлитиздат, 1923, 260 с.; 2-е изд. 1933, 403 с. (Архимед, Стевин, Галилей, Паскаль) (серия «Классики естествознания»).

Теории физической оптики. Сб. статей. Сост. У.И.Францбург, пер. ред. В.И.Родичев. М.: Наука, 1973, 312 с. (Р.Декарт, Х.Лейбнис, И.Ньюнг, Т.Юнг, О.Фрименет, И.Фукс, А.А.Макаров, Дж.Б.Стретт [Рэлей], П.Н.Лебедев, А.И.Макдональд, Д.С.Рэндистенский, С.И.Вавилов).

Избранные труды классиков физической оптики. Полидиамонд света, Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1992, 159 с. (Э.Бартоломе, Х.Лейбнис, И.Ньюнг, Э.А.Макаров, Д.Брауэр).

Избранные труды классиков физической оптики. Взаимодействие поляризованных света с веществом. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1994. (О.Фрименет, П.Дирак, Дж.Стретт [Рэлей]).

Основы ядерной теории материи. Пер. В.С.Гомзана под ред. А.К.Тимирязева, М.-Л.: ОНТИ, 1937, 220 с. (Аукренид Карл, Д.Бернулли, М.В.Ломоносов, Дж.П.Джоуль, Р.Клаузус, Дж.К.Максвелл).

Второе начало термодинамики. М.-Л., 1934. (С.Карно, Клаузус, У.Томсон, А.Болтышев, М.Смолуховский).

Неканоничные принципы механики. Сост. А.С.Попов. М.: Физматлит, 1999, 802 с. (П.Ферма, И.Бернулли, П.Монжордан, А.Эйнштейн, Ж.Д'Амберт, Ж.Лагранж, О.Родригес, К.Гук, С.Пуассон, У.Геммальтади, К.Лебеб, М.В.Остроградский, Ф.А.Сулавский, О.И.Савин, С.Ли, Н.Е.Жуковский, Г.Геммальтади, А.Болтышев, А.Пушкин, Ф.Клейн, Г.Герц, О.Гильберт, А.Фок, П.Ландау, М.Планк, Д.Геммальтади, А.Эйнштейн, Э.Нестер, А.де Бройль, Э.Шредингер, П.Дирак, Ф.Болтцман, А.Зоммерфельд).

Популярная физика радио. Вып. 1. Из предисловий радио. Сб. ориг. статей и материалов / Сост. С.М.Рытов, под ред. канд. А.И.Макдональдом. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948, 471 с. (М.

- Фардэй, Дж. К. Максвелл, Г.Р. Герц, В. Вебер, Р. Колмартин, В. Томсон, А. Пуанкаре, Дж. Пойнтинг, Н.А. Ульян, Г. Гельмгольц, П.Н. Лебедев, А.С. Попов и др.)
- Принцип относительности: Сб. работ классиков relativизма / Под ред. В.К. Фредерикса и Д.Д. Ильиника. М.-Л.: ОНТИ, 1925, 286 с. (Г.А. Аорен, А.Пуанкаре, А.Энштейн, Г. Максвелл) (серия «Классики естествознания»)
- Принцип относительности: Сб. работ по специальной теории относительности. Сост. А.А. Титков. М.: Атомиздат, 1973, 322 с. (А.Пуанкаре, Г.А. Аорен, Дж. Лоренг, А.Энштейн, М. Планк, Г. Максвелл, В. Пуанкаре, В.К. Фредерикс, Д.Д. Ильиник, Дж. Уитниэр, М. Бори, Дж. Колтвуд, Дж. Келвин, А.А. Титков)
- Альберт Энштейн и теория гравитации. Сб. статей. М.: Мир, 1979, 500 с. (Н.И. Аббачевский, В.Ренкин, В.Клиффорд, Э.Мак, А.Пуанкаре, А.Энштейн, М.Гроссман, Д.Гильберт, К.Шварцшильд, Р.Керр, А.Э.Петров, В.А.Фок, В. де Ситтер, А.А.Фридман, Ю.Оппенгеймер, Г.Волков, Г.Смидлер, Е.М.Лифшиц, В.Л.Гинзбург, Р.Петроуз, А.Г.Дорожников, И.Е.Зельдович, И.Д.Ильиник, М.П.Бронштейн, Д.Д.Ильиник, А.А.Соколов, Т.Редж, М.А.Марков, С.Хохлов, Г.Вейль, Т.Калуза, Э.Картас, П.А.М.Дирак, Ч.Милнер, Дж.Уилер, В.Б.Бриггс, В.И.Панов, Дж.Уильямс, И.Шапиро, Ч.Корнеллманн, Р.Кинг, Ф.Дайтон, А.Эдингтон, К.Джонсон, Ф.Фомент, Р.Сраскин, Р.Пуанкаре, Дж.Сандлер, Ч.Аллай и др.)
- Нобелевские лекции по физике (в 4 ч.). 1901–1921 гг. т. 1 — М.: Издательство АН СССР, 2002, 416 с.
- Успехи физических наук. 1967, т. 93(2), с. 197–203. Избранные труды советских физиков (Д.А. Фридман, А.Н. Терентьев, А.Ф. Иоффе, С.И. Вавилов, Г.С. Аандерберг, А.И. Мандельштам, А.А. Аверин, Д.В. Скобелев, А.В. Шубников, В.А. Фок, И.Д. Папанин, С.И. Вавилов, П.А. Черепанов, И.Е. Титов, И.М. Трауб и др.)
- Успехи физических наук. 1967, т. 93(3), с. 359–388. Избранные труды советских физиков (Б.В. Курчатов, И.В. Курчатов, А.В. Максимов, А.Н. Румянцев, В.И. Даудов, Я.И. Френкель, И.Е. Титов, Ю.Б. Харитон, А.А. Валентин, К.А. Петров, Г.Н. Флеров, А.Н. Колмогоров, П.Л. Капитон, А.Д. Ланде, В.И. Векслер, Е.К. Земсков, А.Д. Аланов, Е.М. Вуль, И.И. Боголюбов, А.Д. Сахаров, И.Г. Басов, А.М. Прокофьев, И.И. Полянгардуков).
- Успехи физических наук. 1977, т. 122(4). К 50-летию открытия квантовой механики (Э.Шредингер, В.Гейзенберг, А. де Бройль, М.Бори и др.)
- Серийные издания:**
- «Классики естествознания», М.-Л.: Госиздат (Госиздат).
- Лайбнitz И.Н. Движение света. М.: Госиздат, 1922, 94 с. (ил.4)
- Гильоманд Г. О сохранении силы. 1922, 72 с. 2-е изд., 1934, 143 с. (ил.5)
- Карло С. Равнодействие с движущей силой отталкивания и притяжения, способных разрывать эту силу. М.-Л.: Госиздат, 1922, 80 с. (ил.7)
- Альбонет М.Л. Физико-математические работы. М.-Л.: Госиздат, 1922, 117 с. (ил.8)
- Монте, Дальмайф. Основы математической динамической системы или измерение дуги меридиана, находившейся между параллелями Дондорфа и Барролона. М.-Л.: Госиздат, 1926, 138 с. (ил.14)
- Ньютона И. Оптика или трактат об отражении, преломлении, изгибании и цветах света. М.-Л.: Госиздат, 1927, 373 с. 2-е изд. М.: Госиздат, 1934, 368 с. (ил.17)
- Францис Б. О свете. Мемур. М.-Л.: Госиздат, 1928, 160 с. (ил.18)
- Архимед. Исчисление паччинов (исчисление). 1922, 104 с.
- Резник В.К. О новых родах лучей. 1923, 115 с.
- Майер Р. Закон сохранения и превращения энергии. Четыре исследования. 1841–1851. 1923, 309 с.
- Джон Г. О некоторых кинематических действиях электричества. 1923. 2-е изд., 1928, 160 с.
- Гильоманд Г. Сочинения. Т.1. Бесседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению. 1924, 656 с.
- Лоренц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлению света и теплового излучения. 1924, 422 с. 2-е изд., 1952, 3-е изд., 1953, 4-е изд. 1956, 472 с.
- Джонс Р. Космология. Два трактата. 1924, 235 с.

- Гейльс Х. Трактат о свете. 1835, 172 с.
- Бернум И. Избранные сочинения по механике. 1837, 207 с.
- Фаэр А. Основы динамики точки. 1838, 500 с.
- 50 лет науки Герца. М.-Л.: АН СССР, 1938, 156 с.
- Фардэл М. Избранные работы по электричеству. 1939, 304 с.
- Максвелл Дж. К. Речи и статьи. 1940, 228 с.
- Лайбен П.Н. Избранные сочинения. 1940, 243 с.
- Джонсбер Ж. Динамика. 1950, 2-е изд. 2000, 326 с.
- Лафранж Ж. Аналитическая механика. 2-е изд., 1950, т.1, 594 с., т.2, 440 с.
- Коно Н.А. Избранные сочинения. 1950, 554 с.
- Смирнов А.Г. Избранные сочинения. 1950, 659 с.
- Гебб Дж. Термодинамические работы. 1950, 492 с.
- Максвелл Дж.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. 1952, 698 с.
- Френч О. Избранные труды по оптике. 1955, 603 с.
- Петров В.В., Гринев Г., Рой Ф.Ф. и др. Избранные труды по электричеству. 1956.
- Баланджи А. Лекции по теории газов. 1956, 554 с.
- Эйткен А.А. Избранные работы. 1956, 258 с.
- «Классики науки». М.: Наука (до 1964 Издво АН СССР), изд. с 1945.
- Макен И. Лекции по оптике. М.-Л.: Издво АН СССР, 1946, 256 с.
- Лаурер Г. О природе света. Ч.1. [М.] Издво АН СССР, 1946, 451 с.
- Клер А. Теория фигуры Земли, основанная на начальных гидростатике. М.-Л.: Издво АН СССР, 1947, 358 с.
- Фардэл М. Экспериментальные исследования по электричеству. М.-Л.: Издво АН СССР, т.1, 1947, 548 с.; т.2, 1951, 528 с.; т.3, 1959, 618 с.
- Леон Б.Х. Избранные труды. А.: Издво АН СССР, 1956, 521 с.
- Бунт П. Оптический трактат о природе света. М.: Издво АН СССР, 1950, 478 с.
- Гейльс Х. Три монографии по механике. А.: Издво АН СССР, 1951, 379 с.
- Бенуа Ф. Теория электричества и магнетизма. М.: Издво АН СССР, 1951, 564 с.
- Реджансонд А.С. Работы по аномальной диэлектрике в парах металлов. М.-Л.: Издво АН СССР, 1951, 394 с.
- Горю К.Ф. Избранные труды по земному магнетизму. М.-Л.: Издво АН СССР, 1952, 341 с.
- Дюма Р. Рассуждение о магнете. С прокл. Диоптрика. Метеоры. Геометрия. М.: Издво АН СССР, 1952, 626 с.
- Гейльс А.В. Выход всех кристаллографических систем из подразделений из одного единого начала. М.: Издво АН СССР, 1954, 157 с.
- Лаэр А. Электродинамика. А.: Издво АН СССР, 1954, 492 с. (с прил. работ Г.Х.Эрстеда, Ф.Араго, А.Дюлля Рена)
- Ванчи А. Избранные естественнонаучные произведения. М.: Издво АН СССР, 1955, 1027 с.
- Фардэл А.Е. Кристаллография алмаза. Сб. работ. М.: Издво АН СССР, 1955, 566 с.
- Гильдрих В. О магнете, магнитных телах и обобщенном магнете - Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов. М.: Издво АН СССР, 1956, 411 с.
- Фриздейл А. Опыты и наблюдения над электричеством. М.: Издво АН СССР, 1956, 271 с.
- Рильман Г.В. Труды по физике. М.: Издво АН СССР, 1956, 711 с.
- Смирнов И. Отвезды, естественно-следственные в твердом. М.: Издво АН СССР, 1957, 151 с.
- Крамер А.Н. Избранные труды. А.: Издво АН СССР, 1958, 803 с.
- Бернум Д. Гидродинамика, или механика о плавких и движущихся жидкостях. А.: Издво АН СССР, 1958, 551 с.
- Горю Г. Практика механики, малоизвестные в новой связи. М.: Издво АН СССР, 1959, 386 с.
- Лаудинов П. Избранные труды. М.: Издво АН СССР, 1960, 755 с.

- Ландау Л.В. Избранные труды по кванте и физике. М.: Наука АН СССР, 1961, 569 с.
- Лейбен П.Н. Собрание сочинений. М.: Наука АН СССР, 1963, 435 с.
- Люз Р.Ж. Структура кристаллов. Избранные труды. А.: Наука АН СССР, 1962, 176 с.
- Рэндольфский Д.С. Избранные труды. М.: Наука, 1964, 349 с.
- Клеркен Н. О вращениях небесных сфер. 1964, 633 с.
- Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М.: Наука, т. 1, 1955, 700 с.; т. 2, 1956, 679 с.; т. 3, 1967, 599 с.
- Фридман А. Избранные труды. М.: Наука, 1955, 462 с.
- Кирк Л. Избранные труды. М.: А.: Наука, 1966, 259 с.
- Бор Н. Избранные научные труды. М.: Наука, т. 1, 1970, 560 с.; т. 2, 1971, 673 с.
- Рэдфорд Э. Избранные научные труды. М.: Наука, т. 1, 1971, 471 с.; т. 2, 1972, 532 с.
- Форст В. Научные труды. М.: Наука, т. 1, 1971, 818 с.; т. 2, 1972, 712 с.
- Лундхагт А. Избранные труды. М.: Наука, т. 1, 1971, 771 с.; т. 2, 1972, 809 с.; т. 3, 1974, 771 с.
- Жаки: науки. Автографы выступлений к классиков естествознания. М.: Наука, 1973, 599 с.
- Браун О. Избранные научные труды. Кристаллографические открытия. М.: Наука, 1974, 419 с.
- Лонг М. Избранные труды. М.: Наука, 1975, 789 с.
- Пуриш В. Труды по квантовой теории. М.: Наука, т. 1, 1975, 687 с.; т. 2, 1977, 699 с.
- Франкл И.И. Квантовая теория жидкостей. А.: Наука, 1975, 592 с.
- Шрайер Э. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976, 424 с.
- Альфес П.С. Иерархии системы мира. А.: Наука, 1982, 274 с.
- Гейз Д.В. Термодинамика. Статистическая механика. М.: Наука, 1982, 584 с.
- Баландж А. Избранные труды. М.: Наука, 1984, 589 с.
- Буда Г. Математика. Теоретическая физика. М.: Наука, 1984, 511 с.
- Дебай П. Избранные труды. А.: Наука, 1987, 559 с.
- Карлсон Г. Избранные труды. М.: Наука, 1988, 429 с.
- Ньютона И. Математические начала натуральной философии. 2-е изд. М.: Наука, 1989, 689 с. (2-е изд. в изд. Крамера А.Н. Собрание трудов. Т.7. М.-Л.: Наука АН СССР, 1938, 686 с.)
- Максвелл Дж.К. Трактат об электричестве и магнетизме. М.: Наука, 1989, т. 1, 416 с.; т. 2, 437 с.
- Гильзенберг И. Избранные труды. М.: Наука, 1994, 560 с.
- Джонсона Е. Избранные труды. М.: Наука. Физматлит, 1997, т.1, 416 с.; т.2, 352 с.
- Марков М.А. Избранные труды. М.: Наука, т.1, 2000, 360 с.; т.2, 2001, 640 с.
- «Понятийные произведения классиков естествознания». М.: Наука, изд. с 1972 по 1987 гг.
- Фройд Л. Относительность. Кванты. Статистика. 1972, 259 с.
- Зееманнфельд А. Пути познания в физике. 1973, 318 с.
- Пуриш В. Физическая спекуляция. 1975, 256 с.
- Бор М. Равновесие и восстановление физики. 1977, 280 с.
- Клеркен Н. О неструктуральных связях. 1982, 192 с.
- Гильзенберг Г. Пробирные для мастер. 1987, 271 с.
- «Библиотека теоретической физики», М.: Наука, изд. с 1979 по 1992 гг.
- Фейнман Р. Теория фундаментальных процессов. 1978, 200 с.
- Дарах П.А.М. Принципы квантовой механики. 2-е изд. 1979, 460 с.
- Пуриш В. Теория относительности. 1-е изд. М.-Л.: Гостехиздат, 1947. 3-е изд. 1991. 324 с.
- Шрайер Э. Пространственно-временная структура Вселенной. 1990, 224 с.
- Буда Г. Теория групп и квантовая механика. 1986, 426 с.
- Найдорф Р. Симметрии в теоретической физике. 1988, 176 с.
- Дарах П.А.М. К созданию квантовой теории поля. 1990, 368 с.
- Шенкер Ю. Квантовая кинематика и динамика. 1992, 217 с.

Книги, выпущенные в других сериях или име серии:

- Андроник А.Д. Сахаров. Научные труды. Сб. М.: АОЭТ «Издво Центризма», 1995, 528 с.
- Альфред Ж.Н. Физика и жизнь. СПб.: Наука, 2000, 255 с.
- Альфред А.А. Собрание трудов. М.: Издво АН СССР, 1956, 538 с.
- Артёмов Семёнов. М.: Физматлит, 1992, 629 с.
- Артёмов А.А. Избранные труды. М.: Наука, 1978.
- Баум Г. Теория ядерной материи. М.: Мир, 1974, 238 с.
- Баум Г. Аксиомы по теории ядра. М.: ИИА, 1949, 154 с.
- Баллок Дж., Гейзенберг В. Теоретическая ядерная физика. М.: ИИА, 1954, 638 с.
- Баум Д. Специальная теория относительности. М.: Мир, 1967, 265 с.
- Баум Д. Прочность и склонность в современной физике. М.: ИИА, 1959, 248 с.
- Баум Д. Квантовая теория. 2-е изд. М.: Наука, 1965, 727 с.
- Бар Н. Присоединение атомных частиц через вселенную. М.: ИИА, 1950, 149 с.
- Бар Н. Атомы физики и человеческие понятия. М.: ИИА, 1961, 151 с.
- Бар Н. Строение материи. Пг.: Научное коммунико, 1922, 55 с.
- Бар Н. Современная физика. А.М.: ОНТИ, 1935, 263 с.
- Бар Н. Курс Куль. Динамическая теория кристаллических решеток. М.: ИИА, 1958, 489 с.
- Бар Н. Атомы физики. 2-е изд. М.: Мир, 1967, 493 с.
- Бар Н. Элементарная теория относительности. М.: Мир, 1964, 452 с.
- Браунинг А. Атом Бора. А.-М.: ОНТИ, 1935, 275 с.
- Браунинг А. Квантовая статистика. Харрисон-Кинг: ОНТИ ГПНТБУ, 1936, 511 с.
- Браунинг А. Новый взгляд на теорию относительности. М.: Мир, 1972, 142 с.
- de Бройль А. Революция в физике. М.: Атомиздат, 1963. 2-е изд. 1965, 232 с.
- de Бройль А. По тропам науки. М.: ИИА, 1962, 468 с.
- de Бройль А. Соотношения неопределенностей Гейзенберга и вероятностная интерпретация волновой механики. М.: Мир, 1966, 244 с.
- Брэндспейл М.Л. Строение вещества. А.-М.: ОНТИ, 1935, 244 с.
- Броуновское движение. А.Эйнштейн - М.Смолуховский. Сб. статей. М.-Л.: ОНТИ, 1936, 607 с.
- Вавилов С.И. Собрание сочинений. Т.1-4. М.: Издво АН СССР, 1954-56. Т.1. Работы по физике, 1914-1926. М., 1954, 451 с. Т.2. Работы по физике, 1927-1931. М., 1956, 548 с. Т.3. Работы по философии и истории естествознания. М., 1956, 871 с. Т.4. Экспериментальные основания теории относительности. О «вещном» и «спиритуальном» свете. Глаз в Солнце. Научно-популярные и обзорные статьи. М., 1956, 471 с.
- Вавилов С.И. Миниоструктура света. (Исследования и открытия). М.: Издво АН СССР, 1950, 198 с.
- Вайльбр С. Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. М.: Энергоподат, 1981, 209 с. (см. также *Вайльбр*)
- Вайльбр Г. Симметрия. М.: Наука, 1968, 192 с.
- Вайльбр Г. Пространство, время, материя. М.: «Наука», 1996, 480 с.
- Вайльбр Г. Математическое мышление. М.: Наука, 1990, 400 с.
- Вайльбр Г. Классические группы, их инварианты и представления. М.: Издатель, 1947, 408 с.
- Вайльбр С. Гравитация и космология. Принципы и приложения общей теории относительности. М.: Мир, 1975. (см. также *Вайльбр*)
- Вайльбр Е. Отходы о симметрии. М.: Мир, 1971, 220 с. 2-е изд.; Вайльбр Е. Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии. М.: Здиторство УРСС, 2002, 220 с.
- Гейзенберг А. Волны материи и квантовая механика. 2-е изд. М.-Л.: Гос. науч.-техн. изд., 1931, 247 с.
- Гейзенберг В. Элементарная квантовая механика. М.: ИИА, 1948, 136 с.
- Гейзенберг В. Квантовая теория излучения. М.: ИИА, 1956.

- Гейзинг Г.** «Светский наставник», «Рассуждения о двух величинах мировых системах», «Рассуждения о двух новых учениях в механике». (Избр. соч.). Сост. Я.И.Перельман. Л.: Альбомздат, 1931, 63 с. (Классики мировой науки)
- Гейзинг Г.** Доказы о двух главнейших системах мира, атомистской и коперниковской. М.-Л.: Гостехиздат, 1948, 379 с.
- Гейзинг Г.** Избранные труды. М.: Наука, 1964, т.1, 640 с.; т.2, 571 с.
- Гельманс А., Вильям А.** Избранные работы о животном электричестве. М.-Л.: ОГИЗ, 1937, 430 с. (серия «Классики биологии и медицины»)
- Гельманс Г.А.** Строение атомного ядра и радиоактивность. М.-Л.: Гостехиздат, 1932, 146 с.
- Гейнс К.Ф.** Теоретическая астрономия [журнал, чит. в Гётtingене в 1820-31, записанные Кунфиром] // Собрание трудов акад. А.Н.Крылова. Т.4. Астрономия. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936, с.289-452.
- Гейнсберг В.** Физические принципы квантовой теории. А.-М.: Гостехиздат, 1932, 146 с.
- Гейнсберг В.** Философские проблемы атомной физики. Сб. статей. М.: ИИА, 1933, 136 с.
- Гейнсберг В.** Введение в единую полевую теорию элементарных частиц. М.: Мир, 1968, 239 с.
- Гейнсберг В.** Шаги на горизонте. М.: Прогресс, 1987, 368 с.
- Гейнсберг В.** Избранные труды. М.: Издательство УРСС, 2001, 616 с.
- Гельманис Г.** Популярные речи. Ч.1-2. СПб.: Рингр, 1896. Ч.1, 145 с. Ч.2, 167 с.
- Гельманис Г.** Фарадеевская речь. Современное развитие фарадеевских вопросов на электричестве. СПб., 1898, 30 с.
- Гельманис Г.** Два исследования о гидродинамике: 1. О изокроме движения. 2. О прерывном движении жидкости. М., 1902, 103 с.
- Геббс Дж. У.** Основные принципы статистической механики. М.-Л.: Гостехиздат, 1946, 203 с.
- Гельфанд Д.** Избранные труды, т. 1-2. М.: «Физторгиз», 1968, т.1, 575 с.; т.2, 638 с.
- Гельманис ученик / Под ред. А.Н.Несмеянова. М.: Изд-во АН СССР, 1962, 739 с. (В.А.Фок, В.Г.Феофилакт, Н.Н.Богомолов, Н.Е.Тимин, И.М.Франк, И.В.Образцов и др.)**
- Гельманис Б.Б.** Избранные труды. Т. 1-2. М.: Изд-во АН СССР, 1969. Т.1. Физика, 242 с. Т.2. Семиотология, 490 с.
- Дальтон Дж.** Сборник избранных работ по атомистике. А.: Госиздат, 1940, 244 с.
- Джорд Г.** Избранные промывления. М.: Госполитехиздат, 1930, 712 с.
- Джорд Р.** Гравитация и Вселенная. М.: Мир, 1972, 103 с.
- Джорд П.А.М.** Основы квантовой механики. 2-е изд. М.-Л., 1937, 350 с.
- Джорд П.А.М.** Аксиомы по квантовой теории поля. М.: Мир, 1971, 243 с.
- Джорд П.А.М.** Общая теория относительности. М.: Атомиздат, 1978, 64 с.
- Джорд П.А.М.** Пути физики. М.: Энерготехиздат, 1980, 68 с.
- Джорд П.А.М.** Собрание научных трудов. Т.1. Квантовая теория (монография, лекции). М.: Физматлит, 2006, 704 с.
- Дорффман Я.Г.** Магнитные свойства атомного ядра. А.-М.: Гостехиздат, 1948, 254 с.
- Дюйт Л.** Оттока. М.-Л., 1935.
- Жакин-Коре Ф. и д.** Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1957, 562.
- Жуковский Н.Е.** Полное собрание сочинений. Т.1-9. М.-Л.: ОНТИ, 1935-37.
- Жуковский Н.Е.** Собрание сочинений. Т.1-7. М.-Л.: Гостехиздат, 1949-50.
- Жуковский Н.Е.** Избранные сочинения. Т.1-2. М.-Л.: Гостехиздат, 1948. Т.1, 391 с. Т.2, 422 с.
- Зильден Л.** Появление цветов спектра. Одесса: Матеш, 20 с. С прил. ст. В.Ретча.
- Зильденов Я.Б.** Избранные труды. Химическая физика и гидродинамика. М.: Наука, 1984, 274 с.
- Зильденов Я.Б.** Избранные труды. Частицы, ядра, Вселенная. М.: Наука, 1985, 463 с.
- Зильдерфельд А.** Строение атома и спектры. М.: Гостехиздат, 1936, т.1, 591 с.; т.2, 694 с.
- Норфф А.Ф.** Избранные труды. А.: Наука, т.1. Механические и электромагнитные свойства кристаллов. 1974, 226 с.; т.2. Излучение, магнетрон, полупроводники. 1975, 470 с.
- Норфф Л.** Статистическая механика на основе квантовой теории. Харьков: СНТИ, 1935, 92 с.

- Кальдеро Б.Б. Динамика и информация.* М.: Редакция журнала «УФН», 1997, 400 с.
- Каптерев П.А. Научные труды. Соколы математики пола.* М.: Наука, 1988, 459 с.
- Каптерев П.А. Научные труды. Физика и техника новых температур.* М.: Наука, 1989, 382 с.
- Каптерев П.А. Научные труды. Наука и современное общество.* М.: Наука, 1998.
- Карлофф Г.Р. Механика. Лекции по мат. физике.* М.: Изд-во АН СССР, 1962, 402 с.
- Клаузер Р. О квантовой энергии в природе и пользовании ею для нашего блага.* СПб.: А.Ф.Ланетт-левин, 1887, 29 с.
- Крамерс Г.А., Гильз Х. Строение атома и теория Бора.* М.-Л.: Гостехиздат, 1956 с.
- Крылов А.Н. Собрание трудов. Т.1-12.* М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956-58.
- Кубар А. Физика для всех. В 2-х т.* М.: Мир, т.1. Классическая физика. 1973, 479 с.; т.2. Современная физика. 1974, 383 с.
- Курчевский И.В. Избранные труды. В 3-х т.* М.: Наука, т.1. Статистико-механическое. 1982, 392 с.; т.2. Нейтронная физика. 1986, 367 с.; т.3. Ядерная энергия. 1984, 277 с.
- Курпин М. Открытие радио.* СПб., 1912, 40 с.
- Курпин М. Радиантность и строение вещества.* М.-Л.: «Семинар и фабрика», 1925, 143 с.
- Курпин М. Радиантность.* М.-Л.: Гостехиздат, 1947, 320 с. (см. Соколинская Курпин)
- Ландо А.Д. Собрание трудов.* М.: Наука, 1969, т.1, 512 с.; т.2, 450 с.
- Ландо А.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: т.1. Механика (1940, стерео с А.Петровским, 1958, 1965); т.2. Теория поля (1941, 1948, 1960, 1962, 1967); т.3. Квантовая механика (1948, 1962); т.5. Статистическая физика (1958, 1940, 1951, 1964); Механика сплошных сред (1944, 1964); т.7. Теория упругости (1965). Электромеханика сплошных сред (1969). Выступали оба диска, включавший все издания.*
- Ландебори Г.С. Очики. З-е изд.* М.: Гостехиздат, 1964, 727 с.; 4-е изд., 1987, 760 с.
- Ландебори Г.С. Избранные труды.* М.: Изд-во АН СССР, 1958, 406 с.
- Ланжков П. Избранные произведения. Статьи и речи по общим вопросам науки.* М.: НИА, 1949, 458 с.
- Ланжков П. Статьи и речи.* М.: Наука, 1969, 367 с.
- Лебедев П.Л. Собрание сочинений.* М.: Моск. физ. обн-ва им. П.Н.Лебедева, 1913, 415 с. 1. Научные работы. 2. Полулярные статьи и речи.
- Лебедев А.И. Избранные труды. Волновозниками. Книга: Науковая публика, 1990, 280 с.*
- Лебедев М.А. Избранные труды. Теоретическая физика.* М.: Наука, 1965, 432 с.
- Ляпунов А.А. Теория гравитационного поля.* М.: Наука, 2000, 225 с.
- Ляпунов М.В. Сочинения / Под ред. С.И.Вавилова.* М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948.
- Ляпунов М.В. Полное собрание сочинений. Т.1-4.* М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950-55. Т.1. Труды по физике и химии. 1738-1765. 1950, 620 с. Т.2. Труды по физике и химии. 1747-1752. 1951, 726 с. Т.3. Труды по физике. 1713-1765. 1952, 605 с. Т.4. Труды по физике, астрономии и гравиостроению. 1744-1765. 1955, 821 с.
- Ляпунов М.В. Избранные произведения в 2-х т.* М.: Наука, 1988, т.1, 534 с., т.2, 494 с.
- Лифшиц Г.А. Водородные и нейтронные движение.* М., 1955, 214 с.
- Лифшиц Г.А. Курс физики.* Одесса: Матем., 1910, т.1, 348 с.; т.2, 466 с. 2-е изд. Т.1-2, 1912-1913.
- Лифшиц Г.А. Теория электромагнитного поля.* М.-Л.: Гостехиздат, 1933, 172 с.
- Лифшиц Г.А. Статистическая теория в термодинамике.* А.-М.: СНТИ, 1935, 155 с.
- Лифшиц Г.А. Лекции по теоретической физике. I. Теория излучения.* М.-Л.: СНТИ, 1935, 80 с.
- Лифшиц Г.А. Лекции по термодинамике.* М.-Л.: Гостехиздат, 1946, 156 с.
- Лифшиц Г.А. Старые и новые проблемы физики.* М.: Наука, 1970, 370 с.
- Майбахов А. Исследования по оптике.* М.-Л.: ГИЗ, 1938, 200 с.
- Майбахов А. Световые волны и их применения.* Одесса: Матем., 1912, 189 с. 2-е изд. М.-Л.: Гостехиздат, 1934, 143 с.
- Мактаун Дж.К. Материя и движение.* М.: Гостехиздат, [1924], 148 с. С прям. и доп. Дж.Ларсона (Природа и культура. №7). 2-е изд. Извест. РХД, 1932, 178 с.

- Макаров Д.К., Вышеселовский И.А., Смайлов А.** Теория автоматического регулирования. М.: АН СССР, 1949.
- Макаров Дж.К.** Статьи и речи. 3-е изд. М.: Наука, 1968, 424 с.
- Макдональд А.И.** Полное собрание трудов. Т.1-5. М.: Изд-во АН СССР, 1947-55. Т.1. 1948, 332 с.; Т.2. 1947, 396 с.; Т.3. 1950, 423 с.; Т.4. 1955, 511 с.; Т.5. 1959, 658 с.
- Макдональд А.И.** Лекции по колебаниям. (1930-32) М.: Изд-во АН СССР, 1955, 304 с.
- Макдональд А.И.** Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1972, 349 с.
- Макдональд А.И.** Лекции по теории колебаний. М.: Наука, 1972, 470 с.
- Марков М.А.** Нейтрон. М.: Наука, 1964, 163 с.
- Ми Г.** Ионы и электроны. СПб., 1909, 69 с.
- Мюнхф У., Три К., Уолф Дж.** Гравитация. Т.1-3. М.: Мир, 1977.
- Мэлларен Р.** Электроны (+ и -), протоны, фотоны, нейтроны и космические лучи. М.-Л.: ГОНТИ, 1959, 310 с.
- Махаматов Г.** Пространство и время. СПб.: «Физика», 1911, 94 с.
- Макальян В.А.** Собрание сочинений. М.: Новый астроном, 1930, т.1, 329 с..
- Научное наследство. т.1. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1948 (в том числе: Альбес П.И. Из спиритизма. С.549-616; Гук Р. Общая схема или идея настоящего состояния естественной философии. С.687-707)
- Научные переписки П.Н.Лебедева /Сост. Е.Н.Погребышская. М.: Наука, 1990, 500 с. (Научное наследство, т.12).
- Нелинейная квазиточная теория поля. Сб. статей. М.: ИЛ, 1959, 464 с. (В.Гейнзберг и др.)
- Нельсон Дж.** физ. Математические основы квантовой механики. М.: Наука, 1964, 367 с.
- Обручев И.В.** Избранные труды: Молекулярная физика. Оптические методы. М.: Наука, 1957, 316 с.
- Остенин-Карр Р.** Атомистическая физика. Три кризиса в физике. М.: Атомиздат, 1967, 79 с.
- Пейнфорт Р.** Электронная теория металлов. М.: ИИА, 1947.
- Пейнфорт Р.** Квантовая теория твердых тел. М.: ИИА, 1958, 259 с.
- Пейнфорт Р.** Законы природы. М.: Физматлит, 1958, 340 с.
- Павлович И.Д.** Собрание трудов. М.: Изд-во АН СССР, 1948, 428 с.
- Паран В.** Мезонная теория ядерных сил. М.: ИИА, 1947, 79 с.
- Паран В.** Релятивистическая теория элементарных частиц. М.: ИИА, 1947, 84 с.
- Парсон Ж.** Атомы. М.: Госиздат, 1954, 240 с.
- Попов В.В.** Новые электрические спектры профессора физики Василия Петрова. СПб., 1924, 322 с.
- Планк М.** Физические очерки. М.: Госиздат, 1925, 126 с. (Прозрач и культура, кн.12).
- Планк М.** Термодинамика. А.-М.: Госиздат, 1925, 311 с.
- Планк М.** Теория теплового излучения. А.-М.: ОНТИ, 1935, 204 с.
- Планк М.** Введение в теоретическую физику. 2-е изд. Ч.1-3. М.-Л.: Гостехиздат, 1932-35. Ч.1. Общая механика. 2-е изд. 1932, 189 с. Ч.2. Механика деформируемых тел. 2-е изд. 1932, 184 с. Ч.3. Теория электричества и магнетизма. 2-е изд., 1934, 183 с. Ч.4. Оптика. 1934, 164 с. Ч.5. Теория теплоты. 1933, 228 с.
- Планк М.** Единство физической картины мира. М.: Наука, 1966, 287 с.
- Планктун И.Я.** Собрание научных трудов. Т.1-3. М.: Наука, 1972. Т.1, 360 с.; т.2, 296 с.; т.3, 419 с.
- Попов А.С.** О беспроволочной телеграфии. М.: Физматлит, 1959.
- Примаков И.** Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флукутаций. М.: Мир, 1973.
- Примаков И.** Самоорганизация в нелинейных системах. М.: Мир, 1973.
- Примаков И.** От существующего к возможному. Время и сложность в физических науках. М.: Наука, 1985, 230 с.
- Примаков И., Смирнов М.** Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986, 226 с..

- Пренгель И., Нильсен Г.** Познание сложного. М.: Мир, 1990, 344 с.
- Поповский К.** Алмазный Математическое сочинение в трехцветных книгах. М.: Наука, Физматлит, 1998, 672 с.
- Пренгель А.** О науке. М.: Наука, 1983, 560 с.; 2-е изд. 1990, 740 с.
- Рэдфорд Э.** Строение атома и искусственные разложения элементов. Работы 1919–1922 гг. М.-Л.: Госиздат, 1923, 177 с. (Современные проблемы естествознания)
- Рэдфорд Альф.** Атомы, электроны, эфир. А.: Науч. хим.-техн. изд., 1924, 98 с. (Учебы по науки и технике)
- Рэдфорд Э.** В поисках за атомом. Электрическое строение вещества. Биография альфа-частицы. Искусственное разложение элементов. Электричество и материя. М.-Л.: А.Д.Франкл, 1924, 120 с.
- Рэдфорд Э.** Атомные спиралы и их свойства. Пг.: Ств.-зап. промздро ВСНХ, 1923, 69 с.
- Рэйли Дж.** Волновая теория света. М.-Л.: Гостехиздат, 1940, 208 с.
- Рэйли Дж.** Теория звука. 2-е изд. М.: Гостехиздат, 1955, т.1, 500 с., т.2, 473 с.
- Соловьевская-Корея М.** Радий и радиоактивные вещества. Исследование радиоактивных веществ. Диссерт. СПб., 1904, 127 с.
- Соловьевская-Корея М.** Исследование над радиоактивными веществами. СПб.: К.А.Риккер, 1904, 112 с.
- Соловьевская-Корея М.** Радий и радиоактивность. М.: «Творческая мысль», 1905, 106 с.
- Соловьевская-Корея М.** Открытия радио и изомерии в области радиоактивности. СПб.: «Физика», 1913, 63 с.
- Софроньевский Я.А.** Иллюстрированные частички. М.: Знание, 1902.
- Софроньевский Я.А.** Избранные труды. М.: Эдиториал УРСС, 2001, 568 с.
- Сокальский А.Г.** Собрание сочинений. Т.1–3. М.-Л.: Гостехиздат, 1939–47. Т.1. Оригинальные исследования. Научно-критические статьи. Письма и заметки. 1939, 464 с. Т.2. Общедидактические лекции и речи, критические и биографические заметки. 1941, 436 с. Т.3. Введение в акустику и оптику. Теория теплоты. 1947, 624 с.
- Тамм И.Е.** Собрание научных трудов. Т.1–2. М.: Наука, 1975, т.1, 439 с.; т.2, 458 с.
- Тамм Р.** Относительность, термодинамика и космология. М.: Наука, 1974.
- Тамм Л.** Строение материи. Популярные лекции и речи сэра Бальтимора Томсона (lorda Келвина). СПб.: А.Ф.Пантелеев, 1895, 391 с.
- Томсон Дж.Дж.** Начала математической теории электричества и магнетизма. СПб.: Риккер, 1901, 398 с.
- Томсон Дж.Дж.** Корпускулярная теория вещества. Одесса: Метакс, 1910, 152 с.
- Томсон Дж.Дж.** Взаимодействие между материя и эфиром по новейшим исследованиям в области электричества. СПб.: Т-во «Большевик-издатель», 1910, 23 с.
- Томсон Дж.Дж.** Материя, энергия и эфир. СПб.: «Физика», 1911, 56 с.
- Томсон Дж.Дж.** Электрон в химии. М.-Л.: Госиздат, 1927, 156 с. (Соврем. проблемы естествознания, изд.36).
- Томсон Дж.Дж.** Электричество и материя. М.-Л.: Госиздат, 1928, 263 с. (Вып. статью В.Томсона «О изверженных атомах», с.184–186).
- Томсон Дж.Дж.** По ту сторону электрона. М., 1930, 34 с.
- Уайер Дж.А.** Гравитация, нейтрино и Вселенная. М.: ИИА, 1962.
- Ханс И.А.** Курс физики. Т.1–2. М., 1901–1902. Т.1. Молекулярная физика. Том I, 410 с. Т.2. Звук. Свет. Электричество. Магнетизм. 1902, 441 с.
- Ханс И.А.** Собрание сочинений. Т.3. Речи и статьи общего содержания. М.: Куттерев, 658 с.
- Фейнман Р., Альберт Ф., Стивен М.** Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1965–67. 9 изд.
- Фейнман Р.** Квантовая электродинамика. М.: Мир, 1964, 319 с. 2-е изд. Новокузнецк: ИО НУМН, 1998, 216 с.
- Фейнман Р., Хуб А.** Квантовая механика и интегралы по траекториям. М.: Мир, 1968, 382 с.

- Фейнман Р. Статистическая механика. М.: Мир, 1975, 407 с. 2-е изд. 1978, 407 с.
- Фейнман Р. Взаимодействие фотонов с адронами. М.: Мир, 1975, 329 с.
- Фейнман Р., Файнберг С. Элементарные частицы в науках физики. М.: Мир, 2000, 128 с.
- Франк Б. Молекулы и кристаллы. М.: ИЛ, 1947, 266 с.
- Франк Б. Лекции по атомной физике. М.: ИИА, 1951, 340 с.
- Франк Б. Акция по атомной физике. М.: ИИА, 1952, 124 с.
- Франк Б. Элементарные частицы. М.: ИИА, 1952, 103 с. 2-е изд. 1953, 103 с.
- Франк Б. Акция по наукам и культура. М.: ИИА, 1956, 109 с.
- Франк Б. Квантовая механика (коэволюция лекций). М.: Мир, 1965, 358 с.
- Франк Б. Термодинамика. Харьков: Издво Хар. ун-та, 1968, 129 с.
- Фок Б.А. Работы по квантовой теории поля. А.: Издво АГУ, 1957, 150 с.
- Фок Б.А. Теория пространства, времени и тяготения. М.: Гостехиздат, 1955, 504 с. 2-е изд. 1961, 563 с.
- Фок Б.А. Начала квантовой механики. М.: Наука, 1976, 376 с.
- Фок Б.А. Теория Эйнштейна и физическая реальность. М.: Знание, 1967, 47 с.
- Фок Б.А. Квантовая физика и философские проблемы. М.: ИФ РАН, 1970, 26 с.
- Франклин Б. Избранные произведения. М.: Госиздат, 1956, 631 с.
- Фридман Б.К., Фридман А.А. Основы теории относительности. Вып.1. Тензориальное исчисление. А.: «Academia», 1924, 107 с.
- Фридман Б.И. Волновая механика. А.М.: Гостехиздат, 1933, 388 с. Ч.2, 1934, 716 с.
- Фридман Б.И. Статистическая физика. М.А.: Издво АН СССР, 1948, 760 с.
- Фридман Б.И. Введение в теорию металлов. 2-е изд. М.-Л.: Гостехиздат, 1930, 383 с.
- Фридман Б.И. Принципы теории атомных ядер. 2-е изд. М.-Л.: Издво АН СССР, 1955, 248 с.
- Фридман Б.И. Собрание избранных трудов. Т.1. Электродинамика. М.-Л.: Издво АН СССР, 1956, 370 с.
- Фридман А.А. Ответ гидромеханики склонимой жидкости. А.-М.: Гостехиздат, 1934, 370 с.
- Фридман А.А. Мир как пространство и время. Пг.: «Academia», 1923, 131 с. (Соврем. культура).
- Шенкер Ю. Теория квантованных полей. М.: ИИА, 1956, 252 с.
- Шенкер Ю. Частицы, источники, поля. М.: Мир, т.1, 1973, 302 с.; т.2, 1976, 475 с.
- Шенкер Ю. Статистическая термодинамика. М.: ИИА, 1949, 88 с.
- Шенкер Ю. Новые пути в физике. М.: Наука, 1971, 427 с.
- Шенкер Ю. «Что такое жизнь?» Физический аспект живой материи. Ижевск: РХД, 1999, 56 с.
- Шенкер Ю. Лекции по физике. Ижевск: РХД, 2001, 160 с.
- Шубников А.В. Избранные труды по кристаллографии. М.: Наука, 1975, 551 с.
- Шубников А.В. Избранные труды. Воспоминания. Крат-Наукова думка, 1990, 353 с.
- Шубников А. Теория относительности. А.-М.: ГТТИ, 1934. 2-е изд. Ижевск: РХД, 2003, 508 с. М.: Эдиториал УРСС, 2003, 504 с. (в печати)
- Шубников А. Пространство, время и тяготение. 2-е изд. М.: Эдиториал УРСС, 2003, 224 с.
- Шлор А. Новая теория движения Луны // Собрание трудов акад. А.Н.Краузе. Дополнение к тт.3 и 6. М.-Л.: Издво АН СССР, 1957, 248 с.
- Шубников А. Сущность теории относительности. М.: ИИА, 1955, 160 с.
- Эренфест-Ноффе. Научные переписки (1907–1933 гг.). 2-е изд. А.: Наука, 1990, 318 с.

2. Литература по истории физики

Курсы по истории физики, техники и естествознания в целом

- Балакин А.Д., Конфедоров И.Я., Шнейдер Л.А. История техники. М.-Л.: Госиздат, 1956, 401 с.
- Джонсон Ф. История естествознания. Естественные науки в их развитии и взаимодействии. М.-Л.: ОНТИ, 1939, т.1, пер. А.Г.Горячева, 422 с.; т.2, пер. П.С.Юнкевича, 1935, 408 с.; т.3, пер. П.С.Юнкевича, 1938, 357 с.
- Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. М.: Наука, 1974, 352 с.

- Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX вв. М.: Наука, 1979, 317 с.
- Дитрих Ф.М. Из истории физики и жизни ее творцов. М.: Просвещение, 1986, 255 с.
- Кубланов И.С. История физики. 2-е изд. М.: Учпедгиз, 1958, т.1. От древности до Менделеева. 363 с.; т.2. От Менделеева до открытия кванта (1860-1900 гг.). 487 с.; т.3, 1971, 433 с.
- Кубланов И.С. Курс истории физики. 2-е изд. М.: Просвещение, 1962, 447 с.
- Кубланов И.С., Конфедоров И.Я. История физики и техники. 2-е изд. М.: Просвещение, 1963, 371 с.

- Лакур П., Альаль Л. Историческая физика. Пер. с исп. Одесса: «Матис», 1968, т.1, 426 с.; т.2, 434 с. 3-е изд. Под ред. О.Д.Хмельницкого, М.-Л.: ГИЗ, 1939, т.1, 470 с.

- Лауди М. История физики. Пер. с нем. Т.Н.Горшеников. М.: ГИТТА, 1956, 239 с.

- Лауди М. История физики. М.: Мир, 1975, 464 с.

- Лебедев Н.А. История физики. Опыт изучения логики открытий в их истории. СПб. Ч.1, 1892, 264 с. Ч.2, 1894, 266 с. Ч.3, 1896, 694 с.

- Ольмин А. История научной литературы на новых языках. Пер. с нем. А.Ф.Коган-Бернштейн и П.С.Юнкевича. М.-Л.: ГИТТА, 1933-34. Т.1, 303 с., т.2, 1934, 211 с., т.3, 234 с.

- Риккер Ф. История физики. Пер. с нем. под ред. Н.Сочинова. СПб.: Риккер, ч.1, 1893, 178 с.; ч.2, 1896, 422 с.; ч.3(1), 1893, 226 с.; ч.3(2), 1892. 3-е изд. Пер. под ред. В.С.Гомзана. М.-Л.: ОНТИ, Ч.1, 1937, 127 с.; Ч.2, 1937, 312 с.; Ч.3(1), 1935, 303 с.; Ч.3(2), 1936, 448 с.

- Савельев Б.И. История физики. Учебное пособие для вузов. М.: Изд. МГУ, Ч.1. От древности до начала ХIX века. 1956, 329 с. Ч.2, 1964. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1977, Ч.1, 320 с. Ч.2, 212 с.

- Савельев Б.И. Физика в ее развитии. М.: Просвещение, 1979, 208 с.

- Тимирязев П. Исторический очерк развития естествознания в Европе [с 1300 по 1900 гг.]. М.-Л.: ГИТТА, 1934, 310 с.

- Уильям Б. История естественных наук от древнейшего до настоящего времени. СПб., 1867, т.1, 386 с.; т.2, 613 с.; т.3, 612 с.

- Эйнштейн А., Нерцлер А. Эволюция физики. Развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности и кванта. Пер. С.Г.Суворова. М.-Л.: Гостехиздат, 1948, 267 с.; 3-е изд. 1956, 279 с.; 3-е изд.: 1963, 327 с.; 4-е изд. 1966, 327 с.

Монографии и сборники статей

- Академик В.В.Петров. 1761-1834. К истории физики и химии в России в начале XIX в. Сб. статей и материалов. Под ред. С.И.Васильева. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940, 250 с.

- Джонсон И.С. Различие представлений о структуре атома. Философский очерк. Новосибирск, 1968, 130 с.

- Джонсон И.С. Концепция доказательности. Историко-методологический анализ. М.: Наука, 1978, 276 с.

- Джонсон И.С., Пичникова А.А., Ольминская И.Ф. Методология обоснования квантовой теории (история и современность). М.: Наука, 1984, 332 с.

- Джонсон И.С. Доказательность концепции познания и реальности. Избранные труды по методологии физики. М.: Руссъ, 1995, 528 с.

- Лайтон Д. Открытие электрона [Развитие атомных концепций электричества]. М.: Атомиздат, 1968, 158 с.
- Лайтон А.В. Физика не шутят. Страницы социальной истории НИИ физики при МГУ (1922–1954 гг.). М.: Прогресс-Традиция, 2000, 319 с.
- Ландау А.И. Очерки развития физической теории в первой трети XX века. М.: Наука, 1988, 249 с.
- Ландау Б.Л. Экспериментальные принципы в естествознании и их философском содержании. Л.: Издательство АГУ, 1997, 231 с.
- Ларин А.Б. История признаков физического эксперимента. От античности до XVIII в. М.: Наука, 1976, 222 с.
- Ларин А.Б. Понятие «природа» в античности и в наше время («физик» и «натура»). М.: Наука, 1988, 207 с.
- А.С.Попов. Сборник документов. К 50-летию изобретения радио. А.: Атомиздат, 1945, 255 с.
- Барык Дж. Наука и история общества. М.: ИД, 1956, 725 с.
- Большаков В. Очерки истории развития физико-математических знаний в России XVII в., 1896.
- Бори М. Физика в жизни моего поколения. Сб. статей. М.: ИИА, 1963, 535 с.
- Бронштейн М.Л. Атомы и электроны. М.: Наука, 1960, 152 с. (Б-ка «Квант», №1)
- Бронштейн М.Л. Солнечное вещества. Аучнике. Изобретение радиотелеграфа. М.: Наука, 1990, 176 с. (Б-ка «Квант», №6)
- Брин Г.Л. История электромагнетизма. М.-Л.: ГИТТА, 1947, 26 с.
- Бурзинский В.А., Ефимов В.А., Шмак Г.М. Биография электрона и его родословия. М.: Астр, 1997, 239 с.
- Вавилов С.И. Собрание сочинений. Т.3. Работы по философии и истории естествознания. М.: Наука АН СССР, 1956, 871 с.
- Вавилов С.И. Собрание сочинений. Т.4. М.: Наука АН СССР, 1956, 471 с.
- Вавилов С.И. Экспериментальные основания теории относительности. М.-Л.: Госиздат, 1928, 168 с. 2-е изд.: Вавилов С.И. Собрание сочинений. Т.4, с.9–110.
- Вавилов С.И. Глаз и Солнце: [О свете, Солнце и звездах]. М.-Л.: Госиздат, 1927, 79 с. 7-е изд. М.: Наука АН СССР, 1956, 128 с. 10-е изд. М.: Наука, 1981, 128 с.
- Вавилов С.И. О «гравитации» и «поларизации» света. [Гравитовое излучение и лазерные спектры]. М.: Знание, 1956, 48 с.
- Вейнбаум С. Открытие субатомных частиц. М.: Мир, 1986, 285 с.
- Вейнбаум Б. Физика в двадцатом столетии. М.: Атомиздат, 1977, 272 с.
- Вейнбаум Б. Наука и удивительное. Как человек понимает природу. М.: Наука, 1965, 228 с.
- Вейнбаум А.В. Пространство, время, движение. Исторические концепции теории относительности. Т.1. «Образование», 1952, 125 с.
- Вернер А. Опыт Фуко. Научно-популярный очерк. А.-М.: Гостехлитиздат, 1934, 110 с.
- Вильямс Н.В. Развитие фундаментальных принципов статистической физики в первой половине XX века. М.: Наука, 1986, 159 с.
- Вийльбр. Б.Л. Вероятностное значение скорости распространения возмущений в аэре. Одесса, 1903. Ч.1. 716 с. Ч.2. 640 с.
- Воронцов В.Н. Труды по когнитивной истории науки. 2-е изд. М.: Наука, 1988, 326 с.
- Воронцов В.Н. Труды по истории науки в России. М.: Наука, 1966, 464 с.
- Воронцов В.Н. О науке. Т.1. Дубна: Наука, интернет-журнал «Физика», 1997, 376 с. (<http://www.sibkarty.ru/booksfy/veronov/000.htm>); т.2. Научная деятельность. Научное образование. СПб.: РХДИМ, 600 с.
- Воронцов В.Н. Труды по истории науки. М.: Наука, 2002, 501 с.
- Вильямс Н.Н. Очерки по истории теоретической механики. М.: Высшая школа, 1974, 207 с.
- Вильямс В.Н. «Франклиновская программа» в физике. М.: Наука, 1975, 112 с.
- Вильямс В.Н. Развитие фундаментальных принципов измеримости с законами сохранения в классической физике. М.: Наука, 1972, 240 с.

- Лавин В.П.** Реалистическая теория языкования. Истоки и формирование. 1900–1915. М.: Наука, 1980, 332 с.
- Лавин В.П.** Единые теории языка в первой трети XX века. М.: Наука, 1985, 303 с.
- Лавин В.П., Печник А.А., Шкляев А.В., Сидор З.А.** Научные традиции в истории и современности. М.: Смыслы, 1997, 144 с.
- Лебедев Ю.С. Метафизика. М.: ЕННОМ. Лаборатория знаний, 2002, 550 с.**
- Вопросы истории отечественной науки. Общие сбражане АН СССР, посв. истории отечественной науки 5–11 января 1949. М.-Л.: Издво АН СССР, 1949, 912 с.**
- Вопросы истории физико-математических наук. М.: Высшая школа, 1960, 323 с.**
- Лаванд А.Н. Открытие элементарных частиц. Электрон. Фотоны. М.: Наука, 1981, 241 с.**
- Лаванд А.Н. Открытие элементарных частиц. Нуклоны Р, Н, и антинуклоны Р, Н. М.: Наука, 1984, 271 с.**
- Лаванд А.Н. Дискретное пространство времени. М.: Наука, 209 с.**
- Гейльман Б.Л. Сириус Г.А. Западноевропейская наука в средние века. Общие принципы и учения о движении. М.: Наука, 1969, 352 с.**
- Гейльман Б.Л. Эволюция понятия науки. Становление и развитие первых научных программ. М.: Наука, 1980, 327 с.**
- Гейльман Б.Л. Эволюция понятия науки [XVII–XVIII вв.]. Формирование научных программ нового времени. М.: Наука, 1987, 447 с.**
- Галилео Галилей. 1564–1642. Сборник статей, посв. 400-летней годовщине со дня смерти Галилея Галилея. М.-Л.: АН СССР, 1943, 191 с.**
- Гейльман И. Новое сочинение Аристотеля. Одесск. «Математ.», 1909, 42 с. (Был в классном точечном сочинительстве) [исл. текст Аристотеля «Послание к Эратосфену»]**
- Гейльман В. Физика и философия. Часть 1–2. М.: Наука, 1989, 400 с. («Физика и философия». <http://www.philosophy.ru/literatury/gelv1.htm>)**
- Гейльман Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1981, 236 с.**
- Первые годы Гельмгольца. (1821–1891). [К 70-летию Гельмгольца.] Публ. лекции, читанные в Моск. учен. в пользу Гельмгольцского фонда. М.: Моск. ун-т, 1892, 157 с. (А.Г.Столетов, Р.А.Калла, Н.Е.Жуковский, А.Н.Маклаков, Ф.П.Шернштейн)**
- Гензбург В.А. О физике и астрофизике. 3-е изд. М.: Биро Книгтум, 1995, 512 с.**
- Гензбург В.А. О науках, о себе и о других. М.: Феникс-лит., 2001, 496 с.**
- Гантеле С. Атом. Атомное ядро. Атомная энергия. Развитие представлений об атоме и атомной энергии. М.: ИИА, 1961, 648 с.**
- Григорьев Г.Е. Размерность пространства: историко-методологический анализ. М.: Изд. МГУ, 1983, 216 с.**
- Григорьев А.Г., Зубов В.П. Открытия развития основных понятий механики. М.: Изд. АН СССР, 1962.**
- Григорьев А.Г. История от античности до наших дней. 2-е изд. М.: Наука, 1974, 478 с.**
- Григорьев А.Г., Фрайден Е.И. История механики твердого тела. М.: Наука, 1982, 290 с.**
- Гуревич В.А. История прикладной оптики. М.: Наука, 1980, 176 с.**
- Джонсон Ф. Как создавалась наше картины мира. 3-е изд. Пр.: Образование, 1990, 64 с.**
- Двухсотлетие науки Ньютона. (1687–1887). Речи на засед. 20 дек. 1887 г. М., 1888, 51 с. (Н.Е.Жуковский, А.Г.Столетов, В.К.Церасков, В.Я.Циммер)**
- Джонсон М. Понятие массы в классической и современной физике. М.: Прогресс, 1967, 245 с.**
- Джонсон М. Эволюция понятий квантовой механики. М.: Наука, 1983, 384 с.**
- Джордж Б. Майклсон и скорость света. М.: ИИА, 1963, 159 с.**
- Дорон Г.А.М. Восточнокитайская необлагодарная книга. Сб. статей. М.: Наука, 1990, 208 с.**
- Доронин Н.С. Известнейший Ньютон. Сокруг на фоне эпохи. СПб.: Алетейя, 1999, 794 с.**
- Доронин Н.В. Космические луны. Исторический очерк. М.: Наука, 1981, 192 с.**

- Дорфман И.В. Космические лучи, ускорители и новые частицы. М.: Наука, 1999, 239 с.
- Дубин В.М. Электрон. История открытия и изучения свойств. М.: Просвещение, 1966, 225 с.
- Дубровин И.М. Возникновение квантовой электроники. М.: Наука, 1974, 160 с.
- Дюма Л. Физическая теория: ее цель и строение. СПб.: Образование, 1910, 326 с.
- Жижудль А.Л. Зарождение истории науки в античности. СПб.: РХДН, 2002, 424 с.
- Завьяловский Ф.С. Масса и ее измерение. 2-е изд. М.: Атомиздат, 1974, 238 с.
- Зельдович Я.Б., Ельцов М.Ю. Драма надежд в поисках природы [частицы, поля, заряды]. М.: Наука, 1988, 240 с. (Б-ка «Квант», вып. 67).
- Зубов В.Л. Историография естественных наук в России (XVIII в. – первая половина XIX в.). М.: Изд-во АН СССР, 1956, 576 с.
- Зубов В.Л. Родоначальники естественных представлений до начала XIX века. М.: Наука, 1965, 271 с.
- Макаров И.И. Учебы по истории небесной механики. М.: Наука, 1975, 494 с.
- Миллер Г.М. Революции в астрономии, физике и космологии. М.: Наука, 1985, 232 с.
- На истории физики. М.: Всесоюз. Кн. изд-во, 1966, 129 с.
- На истории физики XIX столетия. Сочинения трудов ее выдающихся деятелей. Михаил Фардэй. (Фардэй Ж.-Б.-А. Памяти Фардэя). М., 1897.
- На истории французской науки. Сб. статей. М.: Наука АН СССР, 1960, 162 с.
- Наобретение радио А.С.Попова. Сб. документов и материалов. /Под ред. А.Н.Берга. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945, 309 с. (50 лет радио. 1885-1945. Вып.3)
- Морфф А.Ф. Основные представления современной физики. А.-М.: Гостехиздат, 1949.
- Морфф А.Ф. О физике и физиках. А.: Наука, 1977, 2-е изд. 1985, 544 с.
- Новая Ньютона. 1643-1727. Сб. статей к трехсотлетию со дня рождения. /Под ред. С.Н.Виноградова. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1963, 440 с.
- История естествознания в России. /Под ред. Н.А.Фигуринского, В.П.Лубчана, С.Р.Макуловского. Т.1, ч.1-2. М.: Изд-во АН СССР, 1957. Ч.1, 405 с. Ч.2, 380 с.
- История механики. Т.1. С древнейших времен до конца XVIII в. /Под ред. А.Т.Григорьева и И.Б.Петребильского. М.: Наука, 1971, 298 с.
- История механики. Т.2. С конца XVIII в. до середины XX в. /Под ред. А.Т.Григорьева и И.Б.Петребильского. М.: Наука, 1972, 414 с.
- История советского ядерного проекта. Вып. 1. Документы, материалы и исследования. /Под ред. В.П.Богдана. М.: «Янус-К», 1998, 202 с.
- История советского ядерного проекта. Вып. 2. Документы, воспоминания, исследования. /Под ред. В.П.Богдана. СПб.: РХДН, 2002, 656 с.
- Капитон М.И., Фролова В.А. Века истории физики твердого тела. М.: Знание, 1981.
- Капитон Н.А. Эксперимент. Теория. Практика. М.: Наука, 1974, 207 с. 4-е изд. 1987, 435 с.
- Капитон Тимо. Семенов. В очерках и письмах. М.: Вагриус-Пресс, 1998, 575 с.
- Карла Фридрих Гаусс. Сб. статей. Под ред. И.М.Виноградова. М.: Изд-во АН СССР, 1956, 311 с.
- Карна Р. Философские основания физики. Выздания в философии науки. 2-е изд. 2003, 260 с.
- Кайро Е.М. Атомистика Дальтона. М.-Л., 1949, 312 с.
- Карпинский В.С., Арутюнян И.В. Введение в общую историю науки. М.: ИИИСТ, 1969, 57 с.
- Карпинский В.С. Научные революции XVII в. М.: Наука, 1967, 342 с.
- Клейн Л. В поисках. Физики и атомные теории. М.: Атомиздат, 1971, 200 с.
- Клеркера Р. Самая между величайшими деятелями природы. Книга, 1885, 15 с.
- Коэль Ф. Акция о развитии математики в XIX в. Ч.1. М.-Л., 1937, 412 с. 2-е изд. Т.1. М.: Наука, 1989, 458 с. 3-е изд. Ч.1-2. Новосибирск, 2003.
- Кобиарчук И.Ю. Ньютона и его время. М.: Знание, 1978 (Новое в истории науки и техники. Сер. «Физика», №5).
- Кобиарчук И.Ю., Максим Ю.И. Элементарные частицы. Диалоги физики и математики. 2-е изд. М.: Физика, 2000, 244 с.

- Кайр А.** Очерки истории философской мысли. Опытники философских концепций на раннем этапе научных теорий. Перевод с французского. 2-е изд. М.: Эдиториал УРСС, 2003, 272 с.
- Краун Г.Г.** От Ньютона до Банделла. Очерки и воспоминания. А.: Наука, 1967, 447 с.
- Куликов Б.Г.** Беседы о теории относительности. 3-е изд. М., 1963, 222 с.
- Куликов Б.Г.** Джордж Бруно и гении классической науки. М.: Наука, 1976, 212 с.
- Куликов Б.Г.** Идеи и образы Возрождения [наука XIV-XVI вв. в свете современной науки]. М.: Наука, 1979, 280 с.
- Куликов Б.Г.** История инерциальной теории. М.-Л.: ОНТИ, 1937, 312 с.
- Куликов Б.Г.** Очерки по истории русской науки. М.-Л., 1940, 171 с.
- Куликов Б.Г.** Очерки физической атомистики XX века. М.: Наука, 1966, 192 с.
- Куликов Б.Г.** Основы теории относительности и квантовой механики в их историческом развитии. М.: Изд. АН СССР, 1957, 328 с.
- Куликов Б.Г.** Относительность. Эволюция принципа относительности от древности до наших дней. М.: Знание, 1969, 157 с.
- Куликов Б.Г.** Принцип относительности в математической, классической и квантовой физике. М.: Изд. АН СССР, 1959, 222 с.
- Куликов Б.Г.** Правила классической физики. М.: Издво АН СССР, 1958, 322 с.
- Куликов Б.Г.** Пути физической мысли. М.: Наука, 1968, 249 с.
- Куликов Б.Г.** Развитие научной картины мира в физике XVII - XVIII вв. М., 1955, 244 с.
- Куликов Б.Г.** Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки. М.: Изд. АН СССР, 1963, 511 с. 2-е изд. М.: Наука, 1966.
- Куликов Б.Г.** Эволюция электродинамики. М.: Издво АН СССР, 1963, 294 с.
- Куликов Б.Г.** Эпохи в математике. М.: Наука, 1962, 126 с.
- Куликов И.В.** Принцип соответствия в современной физике и его философское значение. М.-Л.: ГИТТА, 1948, 116 с. 2-е изд. в кн. Принцип соответствия, с. 5-65.
- Куликов И.В.** Избранные труды по методологии физики. М.: Наука, 1975, 296 с.
- Куликов И.И.** Наука в ее истории. М.: Наука, 1962, 127 с.
- Куликов О.В.** История обоснования статистической механики. М.: Наука, 1968, 172 с.
- Куликов О.Я.** Атомистические концепции строения вещества в XIX веке. М.: Наука, 1963, 160 с.
- Кур Г.** Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975, 288 с. 2-е изд. 1977, 300 с.; 3-е изд., 2001. [<http://www.philosophy.ru/BookIndex/01/01.html>]
- Лакатес Л.П.** Очерки истории русской науки. М.-Л.: Издво АН СССР, 1958, 248 с.
- Лакатес М.** Формализация и методология научно-исследовательских программ. М.: Медиум, 1995, 235 с. [<http://www.philosophy.ru/BookIndex/01/01.html>]
- Лакатес Л.** Физика за последние двадцать лет. А.: Науч. ком.-техн. изд., 1928, 261 с.
- Ла-Рош Эфир.** История одной гипотезы. СПб.: Естествознательник, 1914, 91 с.
- Лебедев В.И.** Очерки по истории точных наук. Вып. 5. Как постепенно образовался первый круг сведений о магнетизме и электричестве. М.: 1910, 144 с.
- Лебедев В.И.** Исторические сюжеты по физике. М.-Л.: ОНТИ, 1937, 311 с.
- Лебедев В.И.** Электричество, магнетизм и электротехника в их историческом развитии. Десятилетний период. М.-Л.: ОНТИ, 1937.
- Леклерк Эйлер.** Сб. статей в честь 250-летия со дня рождения. М., 1958, 610 с.
- Лекон Г.** Великие эксперименты в физике. М.: Мир, 1972, 215 с.
- Литвинов Ю.И.** Атомная вена и возникновение ядерной физики. М.: Наука, 1984, 253 с.
- Люзин А.А.** К работам Аарса Пушкина о динике электрона. М.: Издво МГУ, 1954, 96 с. 2-е изд., 1968, 103 с.
- Люзинов, Сборник статей и материалов. / Отв. ред. С.И.Башмаков. Т.1-2.** М.-Л.: АН СССР, 1940-1951. Т.1, 1940, 411 с. Т.2, 1946, 365 с. Т.3, 1951, 632 с.
- Лоренц Г.А.** Теория и модель эфира. М.-Л.: ОНТИ, 1936, 68 с.

- Мейндрис А.Е., Левицкий О.А.** Приборы и инструменты исторического значения. Вып. 1-2. М.: Наука, 1981, 197 с.
- Макс Планк.** Сб. статей к 100-летию со дня рождения М.Планка. / Под ред. А.Ф.Ноффе и А.Т.Григоряна. М.: Изд-во АН СССР, 1988, 279 с.
- Максвелл и развитие физики XIX-XX веков.** Сб. статей. /Сост. О.В.Кузнецова. Отв. ред. А.С.Платов. М.: Наука, 1993, 239 с.
- Макин Ю.Н.** Математика и физика. М.: Знание, 1979, 63 с. [пер. «Математика, кибернетика», 1979, №12]
- Макмилан К., Томлинсон В.** Биографии ятнов. Атом - от Кембриджа до Харвэйса. 1994, 246 с.
- Математическое естествознание: фрагменты истории.** Сб. науч. тр. Краснодар: Наук. думка, 1992, 220 с.
- Марков М.А.** О трех интерпретациях квантовой механики: Об образовании понятия объективной реальности в химической практике. М.: Наука, 1991, 112 с.
- Мартынов В.** Механика. Историко-критический очерк ее развития, СПб.: «Общ. науки», 1999, 448 с. Издатель: «РХД». 2000, 456 с.
- Мартынов Д.Р.** Критика истории классической механики Галлье-Ньютона. М.: Физматлит, 1994, 160 с.
- Мартынов Г.** Новая эра в физике. М.: Гостехиздат, 1963, 326 с.
- Методологические принципы физики** / Под ред. Е.М.Кедрова и Н.Ф.Огурцовской. М.: Наука, 1975, 513 с.
- Методологические проблемы историко-научных исследований** /Отв. ред. И.С.Тимофеев. М.: Наука, 1982.
- Методологические проблемы физики.** Сб. статей. М.: Знание, 1981, 64 с. [пер. «Физика», №1, 1981, 360 с.]
- Механика и физика XVIII в.** Сб. статей. М.: Наука, 1976, 311 с.
- Механика и физика второй половины XVIII в.** Сб. статей. М.: Наука, 1978, 200 с.
- Михаиловский С.Р.** Очерки развития историко-научной мысли. М.: Наука, 1988, 384 с.
- Михайлович В.Ф.** Работы Фарадея и современное развитие приложенной электрической энергии. М.: Гостехиздат, 1953, 19 с. (доклад на II Межд. конкурсе по истории науки и техники в Лондоне, 1951)
- Михайлова В.Ф.** Основные физические концепции. Сб. лекций и статей. 3-е изд. М.-Л.: АН СССР, 1959.
- Монистол Дарвина.** Сб. статей. М.: Мир, 1970.
- Москвица науки** /Ред. В.М.Орл. М.: «Излус-К», 1997, 520 с.
- Московский университет - памяти Николая Ньютона, 1643-1943.** Сб. статей. М.: Изд-во МГУ, 1946, 107 с.
- Нейльбюрг О.** Точные науки в древности. 2-е изд. 2000, 240 с.
- Нейтров. Предыстория, открытия, последствия.** М.: Наука, 1975, 174 с.
- Нейтров. К пятидесятилетию открытия.** М.: Наука, 1985, 200 с.
- Нильс Бор и наука XX века.** Сб. науч. трудов. Краснодар: Наукова думка, 1988, 239 с.
- Нильс Бор и развитие физики.** Сб. поз. Нильсу Бору в связи с его семидесятилетием /Под ред. В.П.Плауда. М.: ИИР, 1988, 259 с.
- Ньютоны 1727-1927.** Сб. статей. А.: АН СССР, 1927. (А.Н.Крылов, П.П.Лавров и др.)
- Ньютоны и философские проблемы физики XX века.** М.: Наука, 1991, 207 с.
- Огурцовская Н.Ф.** Понятия мысли и энергии в их историческом развитии и философском значении. М., 1957, 184 с.
- Огурцовская Н.Ф.** Принципы сохранения. М.: Наука, 1966, 331 с.
- Огурцовская Н.Ф.** Принципы теоретизации знания. М., 1986, 215 с.
- Огурцовская Н.Ф.** Методологические принципы в истории научной мысли. М.: Издательство УРСС, 1997, 286 с.

- Окуч А.Б. Ванденк в каллиброномии теории. М.: МИИИ, 1984, 94 с.
- Окуч А.Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1989.
- Очерки истории естественно-научных знаний в древности. М.: Наука, 1962, 277 с.
- Очерки истории и теории развития науки. М.: Наука, 1969, 423 с.
- Очерки по истории развития ядерной физики в СССР. Кн.1: Нач. эпохи. М.: Наука, 1969, 332 с.
- Очерки по истории физики в России. М.: Учпедгиз, 1949, 342 с.
- Очерки развития основных физических наук / Ред. А.Т.Григорьев, А.С.Полак. М.: Изд. АН СССР, 1969, 512 с.
- Пейк А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. / Ред. А.А.Логунов. М.: Наука, 1969, 567 с.
- Развитие идеи Леонардо да Винчи в современной науке. Сб. статей. М.: Наука, 1966, 550 с.
- Писарский П.П. История императорской Академии наук в Петербурге. Т.1-2. СПб., 1870.
- Планк М. Принцип сохранения энергии. М.-Л.: СФИИ, 1938, 235 с.
- Пирфильская Е.И. Опыты Ньютона. М.: Наука, 1981, 135 с.
- Пирфильская Е.И. Дисперсия света. М.: Наука, 1986, 165 с.
- Пирфильский И.Б. От Аристотеля к Эйнштейну. Классическая механика XIX века. М.: Наука, 1966, 328 с.
- Пирфильский И.Б. От Аристотеля к Эйнштейну. М.: «Логос», 1996, 400 с.
- Пильк А.С. Вариационные принципы механики, их развитие и применение в физике. М.: Физматгиз, 1960, 390 с.
- Пильк А.С. Гамильтон и принцип стационарного действия. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1966, 292 с.
- Поль Дарси в физике XX века. М.: Наука, 1990, 222 с.
- Планкт А.И. Под знаком квадра. М.: Сов. Россия, 1984, 352 с.
- Принцип симметрии. М.: Наука, 1978, 337 с.
- Принцип соответствия. М.: Наука, 1979, 317 с.
- Принципы историографии естествознания: теория и практика. М.: Наука, 1993, 369 с.
- Принципы историографии естествознания: XX век / Отв. ред. И.С.Тимофеев. СПб.: Алетейя, 2001, 477 с.
- Проблемы развития науки в трудах истматматиков XIX века. М.: Наука, 1971, 310 с.
- Проблемы теоретической физики. Сб., посв. Н.Н.Боголюбову в связи с его юбилеем. М.: Наука, 1969, 428 с.
- Противоречия в развитии естествознания / Пол. ред. Б.М.Кадрова. М., 1965, 332 с.
- Принцип А. Вильямса физики. СПб., 1910, 185 с.
- 50 лет квантовой механики. М.: Наука, 1979, 125 с.
- 50 лет современной ядерной физики. Сб. статей. М.: Энерготехиздат, 1982, 256 с.
- Пирфорд Б. Мечты Эйнштейна. В поисках единой теории строения Вселенной. М.: Наука, 1991, 222 с.
- Развитие современной физики / Отв. ред. Б.Г.Кузнецова. М.: Наука, 1964, 330 с.
- Развитие физики в России / Пол. ред. А.С.Предсентимена и Е.И.Смирнова. М.: Просвещение, 1970, т.1, 415 с., т.2, 447 с.
- Развитие физики в СССР / Пол. ред. А.А.Архиповича, Я.Г.Дорфмана, О.А.Лебедевой и др. М.: Наука, 1967, т.1, 421 с., т.2, 362 с.
- Родион Т. Наука в России XI-XVII веков. Очерки по истории до научных и естественно-научных изысканий на природу. Ч. I-3. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1949, 207 с.
- Родзинская Г. Философия пространства и времени. 2-е изд. 2003, 250 с.
- Роджерсон И.Д. Античная наука. М.: Наука, 1980, 159 с.
- Роджерсон И.Д. Развитие естествознания в эпоху античности. Ранняя греческая наука и природа. М.: Наука, 1979, 463 с.
- Роджерсон И.Д. История естествознания и эпохи поздней античности и Римской империи. М.: Наука, 1988, 448 с.

- Рыжиковская Т.Б. История квантово-математической интерпретации периодичности. М.: Наука, 1986, 134 с.
- Российская Академия наук: 275 лет служения России. М.: «Либус-К», 1999, 600 с.
- Руцкой Л.Т. Перигей Меркурия. От Аверья до Эйнштейна. М.: Мир, 1995, 265 с.
- Савинов М.У. Постоянныя тяготения и массы Земли. М.: Наука, 1969, 188 с.
- Сейферт Г. Математика, ее исследование в прошлом и настоящем. М.: Госиздат, 1934.
- Соболь С.А. История микроскопии и микроскопических исследований в России в XVIII веке. М.-Л.: АН СССР, 1949, 600 с. (серия «Итоги и проблемы современной науки»)
- Соболь С. История японской науки. М.: Атомиздат, 1979, 288 с.
- Соловьев М.С. Очерки по истории японской науки от Древности до света. М.-Л.: Издательство АН СССР, 1959.
- Сокин А.С. Беседы о кристаллофизике. М.: Атомиздат, 1976, 240 с.
- Сокин А.С. «Физический идеализм». История одной идеологической кампании. М.: Физматлит, 1994, 234 с.
- Сокровицкий О.П. Фундаментальные физические постоянные. М.: Высшая школа, 1991, 258 с.
- Смирнова-Некрасова О.А. История радиоактивности и возникновение ядерной физики. М.: Издательство АН СССР, 1963, 428 с.
- Смирнов В.С. Становление научной теории. (Структурные аспекты становления и генезиса научных теорий японской физики). Минск: Наука БГУ, 1996, 319 с.
- Структура и развитие науки. М.: Прогресс, 1978, 487 с.
- Теоретическая физика XX века. Сб. статей, посвященных памяти В.Паруза. М.: ИИА, 1962, 444 с.
- Терентьев М.В. История эфира. М.: Физик, 1999, 174 с.
- Тихонников С.Л. История науки о квантованиях материалов с краткими сведениемми из истории теории упругости и теории сооружений. М.: Физматлит, 1957, 536 с.
- Томас Д. Телепорт, рассматриваемый как роль движущего. Публ. лекции. 3-е изд. М., 1888.
- Томас Дж. Атомы о света. СПб.: Сойкин, 1993, 155 с.
- Томаскин И. История математических теорий претендентки и фигуры Земли от Ньютона до Альбисса. М.: Видоторг, УРСС, 2002, 672 с.
- Традиции и революции в истории науки. М.: Наука, 1991, 264 с.
- Трудер Г.Ю. Теория гравитации и природы закономерности. Группа Альянса, группа Эйнштейна и структура пространства. М.: Атомиздат, 1973.
- Трудер Г.Ю. Относительность измерения. М.: Атомиздат, 1975.
- Труни Дж. Революции эксперименты в современной физике. М.: Мир, 1974, 160 с.
- Труни Дж. Физика XX века: ключевые эксперименты. М.: Мир, 1998, 296 с.
- Трудовик К. Очерки по истории механики. 2002, 316 с.
- У истоков классической науки. М.: Наука, 1968, 251 с.
- Чайков А.И. Аналогия в практике научного исследования. Из истории физико-математических наук. М.: Наука, 1970, 264 с.
- Чандraseкар Д.А. Предвидение Эйнштейна. М.: Мир, 1970, 112 с.
- Чижевский В.Г. История теории эфира и электростатики. [Т.1] Иланы: НИЦ «Регуларная и хаотическая динамика», 2001, 512 с.
- Фейнманов И.А. К истории открытия комбинированного рассеяния. М.: Знание, 1982, 64 с. (сер. «Физика», 1982, №1)
- Фейнман А. Галилей в защиту учения Коперника и достижения Святой Церкви. М.: Наука: «МИК», 1999, 424 с.
- Фейнман М. История света. М.: Деттии, 1996, 111 с. 3-е изд. М.: Наука, 1980, 127 с. (Б-ка «Книга», вып. 2)
- Фейнман Р. Характер физических законов. М.: Мир, 1969, 222 с.
- Фейнман А. Атомы у нас дома. М.: ИИА, 1958, 528 с. 3-е изд. Новосибирск, 1963, 342 с.
- Физика в системе культуры. М.: ИФ РАН, 1996, 231 с.
- Физика на рубеже XVII–XVIII вв. Сб. статей. М.: Наука, 1974, 248 с.

- Физика XIX–XX вв. в общеинуюмом и специфкультурном контекстах. Физика XIX в. / Отв. ред. В.П.Басов, А.С.Полак. М.: Наука, 1985, 280 с.
- Физика XIX–XX вв. в общеинуюмом и специфкультурном контекстах. Физика XX в. и ее связь с другими разделами естествознания. /Отв. ред. Г.М.Нидик. М.: «Либт-К», 1989, 204 с.
- Физика: проблемы, история, люди. Об. научных трудах. Сост. В.Л.Фриман. Л.: Наука, 1986, 248 с.
- Физика сегодня и завтра. М.: Наука, 1973, 329 с.
- Физическая теория (философско-математический анализ). М.: Наука, 1980, 463 с.
- Фильников С.Р. Лучи. Волны. Кванты. М.: Наука, 1978, 208 с.
- Фильников С.Р. Самая большая скорость. М.: Наука, 1982, 176 с.
- Фильников С.Р. Судьба классического мышления. М.: Наука, 1990, 240 с. (Биб. «Книги», вып.79)
- Франкфурт У.И. Закон сохранения и превращения энергии. М.: Наука, 1978, 191 с.
- Франкфурт У.И. Очерки по истории специальной теории относительности. М.: Изд. АН СССР, 1961, 125 с.
- Франкфурт У.И. Специальная и общая теория относительности. Исторические очерки. М.: Наука, 1968, 220 с.
- Франкфурт У.И., Фриз А.М. Спираль движущихся тел. М.: Наука, 1972, 212 с.
- Франкфурт У.И., Фриз А.М. У истоков квантовой теории. М.: Наука, 1975, 169 с.
- Франкфурт У.И., Фриз А.М. Физика наших дней. М.: Наука, 1971, 240 с.
- Франклес Б.И., Ильин Б.Е. Эйнштейн: изобретение и эксперимент. 2-е изд. М.: Наука, 1990, 229 с.
- Франклес Б.И. На заре новой физики. Л.: Наука, 1970, 284 с.
- Фрум К., Эдди А. Скорость света и радиоволны. М.: Мир, 1973, 196 с.
- Фундаментальная структура материи /Под ред. Дж.Макен. М.: Мир, 1984, 212 с. (Д.Уильямсон, Р.Пайерлс, К.Льюислин-Смит, Д.Перкин, А.Салливан, Дж.Эллис, Дж.Адамс, М.Гелл-Манн)
- Хейнрих С.Д. История парадокса Геббса. М.: Наука, 1986, 164 с.
- Хейнрих С.Д. Механика и изобретательство. М.: Альфа, 1990, 448 с.
- Хейнрих О.Д. Физика и ее значение для человечества. Берлин: Госиздат, 1923, 220 с.
- Хейнрих О.Д. Физика наших дней. 2-е изд. М.; А.: ГИЗ, 1929, 381 с.; 4-е изд. М.-А., 1932.
- Хейнрих О.Д. Характеристика развития физики за последние 50 лет. А.: Госиздат, 1924, 218 с.
- Хейнрих О.Д. Человек и учение о теплоизменности. Пр.: Сабашников, 1926, 52 с.
- Хейнрих О.Д. Опыты Герца и их значение. Популярное изложение. СПб.: К.А.Риккер, 1890, 82 с. (так. отрывок из журнала «Физикогерман»)
- Хейнрих Д. Столы и бомбы: Советский Союз и атомная энергия, 1929–1954. Новосибирск, 1997, 687 с.
- Хейнрих Ди. Тематический анализ науки. М.: Прогресс, 1981, 383 с.
- Храмцов Ю.А. Научные школы в физике. Кнк: Науковая думка, 1987, 400 с.
- Хуот Ф. История квантовой теории. Кнк: Науковая думка, 1980, 244 с.
- Шабабиль Л. Ранните и приложения понятия матрицы. М.: Наука, 1967, 278 с.
- Штетц Е.-Г. От Картофеля до Планка. М.: Мир, 1990, 190 с.
- 80 лет радио. Научно-технический сборник. М.: Связьиздат, 1955.
- Шульников В.В. Очерки по истории развития советской физики. 1917–1967. М.: Наука, 1969.
- Шульников В.В. Сорок лет советской физики. М.: Физматлит, 1998, 87 с.
- Шубников А.В. У истоков кристаллографии. М.: Наука, 1972, 51 с.
- Шумэр А. Прогресс физики. П., 1915, 167 с.
- Эйнштейн и современная физика. Сборник памяти А.Эйнштейна. М.: Гостехиздат, 1956, 260 с.
- Эйнштейн и развитие физики математической мысли. Сб. статей /Отв. Ред. А.Т.Григорьев. М.: Изд-во АН СССР, 1962, 220 с.
- Юбилейный сборник, посвященный Юбилею Высшей Октябрьской спортивно-технической школы. Т.1–2. М.-А.: Изд-во АН СССР, 1947. (В.А.Фок, Н.Д.Пантелеймон и др.)
- Ю Д. История мезонина. М.: Атомиздат, 1964, 120 с.

- Некрасов Б.Е. Случайное и закономерное в истории физических открытий. М.: Знание, 1989, 64 с.
(Новые в науках, науке, технике. Сер. Физика, 2, 1982).
- Некрасов Б.Е., Кафтык В.И. Очерк истории классической механики. Пермь: Издательство Пермского университета, 1996, 123 с.
- Нильс Ч. Элементарные частицы: Кратк. история некоторых открытий в атомной физике. М.: Гос. томонадзор, 1963, 68 с.
- Неструевский А.С. Термодинамика и история ее развития. М.-Л.: Энергия, 1966, 667 с.

Периодические издания

- Вопросы истории естествознания и техники. Журнал. Изд. с 1980. 4 выпуска в год.
- Архив истории науки и техники. Изд. с 1993 по 1996 гг. Вышло 9 выпусков.
- Труды Института истории естествознания. М., 1947-1952. Т. 1-5.
- Труды Института истории естествознания и техники. М., 1954-1962. Т. 1-45. История физико-математических наук: т.1, 1954; т.2, 1955; т.10, 1956; т.15, 1956; т.17, 1958; т.19, 1957; т.22, 1959; т.28, 1959; т.34, 1960; т.43, 1961. (Вып. 17, 1957, 311 с. под ред. С.И.Вавилова; Вып. 19, 1957 под ред. П.Карса).
- Труды по истории техники. М., 1952-54. Вып. I-XI.
- Вопросы истории естествознания и техники. Сб. статей. Изд. с 1956. С 1960 - семинарский сборник. 60 выпусков (1956-1980). (Вып. 5 (1957) под ред. Г.Р.Гаргу). Преобразован в журнал.
- Научное наследство. М., 1948-1961 и с 1980 по 1995. Т. 1-34.
- ИИНЕТ РАН. Годовая научная конференция. Ежегодник. Изд. с 1995.
- Исследования по истории механики. Изд. с 1981-84.
- Исследования по истории физики и механики. Изд. с 1965. Ежегодник. М.: Наука, 1965; 1966; 1967, 245 с.; 1968, 261 с.; 1969, 268 с.; 1970, 244 с.; 1971-72, 1973-74, 233 с.; 1975-77, 286 с.; 1978-79, 261 с.; 2000, 252 с.; 2001; 2002, 233 с.
- Историко-математические исследования. Ежегодник. Изд. с 1948. 35 выпусков (1 серия), 4 выпуска (2 серия). М.: «Янус-К».
- Историко-астрономические исследования. Ежегодник. Изд. с 1955. Вышло 28 выпусков.
- История и методология естественных наук. Изд. МГУ с 1960. Физика: выпуски 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 13, 17, 18, 21, 22, 26, 27, 30, 31, 34. Астрономия, математика, физика: вып. 4. Астрономия, радиофизика: вып.7. Математика, механика: выпуски 9, 11, 14, 16, 20, 22, 23, 25, 26.
- Природа. Естественный журнал. Изд. с 1912. (Отдельные выпуски посвящены ученым: 1930, №8 (А.Д.Сахарову); 1933, №7 (Н.И.Лобачевскому); 1934, №4 (Д.А.Кантури); 1935, №7 (И.Е.Титову)).
- Успехи физических наук. Журнал. Изд. с 1938. 12 вып. в год. (Разделы «История физики», «Методические заметки») [<http://www.ufn.ru>]
- Землетрясений сборник. Изд. с 1966 по 1990. Вышло 15 сборников.

3. Научно-биографическая литература

Справочники и сборники научных биографий

- Храмов Ю.А. Физики. Биографический справочник. 3-е изд. М.: Наука, 1963, 459 с. (ок. 1200 биографий, кратк.)
- Ариан Д.Ф. Биографии выдающихся астрономов, физиков и геометров. СПБ., т.1-3, 1859-1961. 2-е изд., Издательство РГД, 2000, т.1, 456 с.; т.2-3, 454 с. (29 биографий математиков от Гиппократа до Альберта Балла, Кондорса, Карно, Г.Моисея, Ж.Фурье), т.2. [Маклак, Т.Юрг, Франкли, Гей-Люссак, А.Вильямс, Ампер], т.3 (С.-Д.Пумпелен, Дж.Уотт, Ф.Араго)
- Степанов В. Великие люди. СПб., 1993. (М.Фардоль, Ю.Р.Майер, Г.Гелламталь и др.)
- Райхштадт М.И. Галаван и Болты. К 150-летию открытия тока. М.-Л.: Госэнергопиздат, 1961, 92 с.
- Мак-Дональд Д. Фарадей, Маковелл и Кельвин. М.: Атомиздат, 1967.
- Каптерев П.А. Жизнь для науки. Ломоносов, Франклун, Рэлефорд, Акакиев. М.: Знание, 1963, 63 с.
- Горький Ф. Пионеры японского языка. М.: Прогресс, 1974, 271 с. (Макимадз, Горо, Рикити, М. и П.Кюре, М.Панк, А.Эннокита, М.Акуи, Н.Нор, В.Геймандлер, Э.Шредингер, М.Бори, О.Гас, А.Мейтнер)
- Люди русской науки. очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники. М.-Л.: Гостехиздат, 1948, т.1, 641 с.; т.2, с.542-1196.
- Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники. М.: Физматлит, 1961, 600 с.
- Шашкин М.Д. Русские электротехники XIX века. 2-е изд. М.-Л., 1955 (В.В.Петров, Э.Х.Левин, А.С.Попов и др.)
- Лазарев П.П. А.Г.Столетов, Н.А.Умов, П.Н.Лебедев, Б.Б.Гомберг. А.Наука: хим.-техн. изд. ИТУ ВСНХ, 1927.
- Основатели советской физики. М.: Прогрессивне, 1970, 224 с. (П.П.Лазарев, А.Ф.Иоффе, Д.С.Рожdestvenskii, А.И.Мандельштам, С.И.Вавилов, И.В.Курчатов)
- Кобрик Ф. Очерки о советских физиках. М.: Знание, 1977.
- Галиц Г.М. Классики физической науки. Краткие биографические портреты. 1981, 150 с.
- Судьбы творцов российской науки. М.: Знания, УРСС, 2002, 352 с.
- Бейт А. Гении науки. 2002, 448 с. (Н.Нор, М.Бори, П.А.М.Дарси, А.Эннокита, М.Д.Фейнман, Р.Йоун, О.Клейн, Х.Крамер, Т.Ле, Ч.Ли, Дж. фон Нейман, В.Паулин, И.Раби, Р.Сорбер, Дж.Уильямс, В.Вайсманн, Ю.Вильдер)

Монографии в серии «Научно-биографическая литература», М.: Наука (до 1964 «Изд-во АН СССР»), изд. с 1961:

- Оббэ Э. Гринвич. Эрист Оббэ. М., 1965, 157 с.
- Амогадро А. Биография Амогадро: Очерк жизни и деятельности. М., 1970, 184 с.
- Ампер А.-М. Балакин И.Д. Андре Мария Ампер. М., 1968, 278 с.
- Андреев Н.Н. Галиц Г.В. Николай Николаевич Андреев. М., 1960, 87 с.
- Андронов А.А. Бейт Е.С. Александр Александрович Андронов. М., 1961, 254 с.
- Аристотель Бубнов В.Л. Аристотель. М.: Изд-во АН СССР, 1963, 366 с. 2-е изд. М.: Знания, УРСС, 2000, 368 с.
- Бернулли Д. Граффман А.Т., Кильман Е.Д. Даниил Бернулли. М., 1981, 218 с.
- Болтырев А. Балакин А.С. Антоний Болтырев. М., 1967, 207 с.
- Бор Н. Калугин Е.М., Франкфурт У.И., Франк А.М. Нильс Бор. М., 1977, 354 с.

- Бончески Р.Н.
Браун О.
Бронштейн М.П.

Ваналь С.Н.
Ванден Брук А.
Вандер Валльс Н.

Вульф Г.В.
Гальперин А.В.
Гольдберг Г.
Гомберг У.Р.
Гюн Р.Ж.

Гольдман Г.Г.
Гольдштадт Г.

Гори Дж.
Гори Г.
Горгуц А.Л.
Гиббс Дж.
Голицын Е.Е.
Гротус Т.
Гуи Р.
Гойткин Х.
Джаррет Р.
Джонс Дж.
Жуковский Н.Е.
Ноффе А.Ф.
Карло С.
Каплер И.
Каренский А.В.

Коперник Н.
Крамп Т.П.

Купфер А.Я.
Лагранж Ж.Л.
Лаплас П.
Лебедев П.Н.
Лебедевский В.К.

Лавинин В.А.
Лейбниц Г.В.
Лиссакро да Венту
- Цирфельд Г.К. Рудольф Иоганн Бензенберг. СПб., 1997, 203 с.
Шефферманский И.И. Дуба П.А. Отто Генрих Браун. СПб., 1997, 143 с.
Грэйт Г.Е., Фриман В.И. Матвей Петрович Бронштейн. М., 1990, 291 с.

Абакумов А.В. С.И.Ванальс. М., 1977, 421 с.
Лакомский Ю.И. Альбертус Ванден-Брук. М., 1991, 158 с.
Китинг А.Н., Китинг Б.Е. Иоганнес Дирикса Вандер-Валльс. А., 1985, 200 с.

Сокин А.С. Георгий Викторович Вульф. М., 2001, 272 с.
Альбрехт В.К. Аксель Вильгельмович Гальперин. М., 1969, 80 с.
Куттеров Б.Г. Гольдман. М., 1964, 226 с.
Давид А.С. Уильям Рутен Гомберг. М., 1993, 270 с.
Штольцман М.П., Шефферманский И.И. Рене Жюст Гюн. М., 1991, 153 с.

Каплер М.Д. Ганс Густавович Гольдман. М., 2002, 136 с.
Лебедевский А.В., Франкфурт У.И., Фриман А.М. Гольдштадт. М., 1996, 239 с.

Цирфельд Г.К. Дирикса Герра. А., 1963, 184 с.
Гравицкий А.Т., Балдин А.Н. Генрих Герра. М., 1968, 309 с.
Ваналь С.Н. Александр Львович Гершуни. А., 1976, 125 с.
Франкфурт У.И., Фриман А.М. Джонатан Воллард Гиббс. М., 1964, 279 с.
Соколовская В.И. Борис Егорович Голицын. М., 2002, 335 с.
Сорайтис Л.П. Томас Граттус. М., 1965, 184 с.
Бензенберг А.Н. Роберт Гуи. М., 1984, 239 с.
Франкфурт У.И., Фриман А.М. Христофор Гойткин. М., 1992, 327 с.
Макаровская Г.П. Рене Джаррет. М., 1976, 271 с.
Китинг А.В. Джонатан Джонс. М., 1965, 145 с.
Каландаевский А.А. Николай Егорович Жуковский. М., 1994, 192 с.
Семёновский М.С. Абрахам Федорович Ноффе. М.-Л., 1964, 644 с.
Брайанский В.М. Сидни Карло. М., 1993, 160 с.
Баум Ю.А. Николай Каплер. М., 1971, 225 с.
Чичагова Н.С., Савицкая Р.П. Александра Васильевича Каренского. М., 1991, 160 с.

Борисовский И.И., Баум Ю.А. Николай Коперник. М., 1974, 455 с.
Симоновская М.В., Рогинский В.Ю. Торстен Планшетт Крамп. А., 1979, 112 с.

Лагранж В.М. Адольф Яковлевич Купфер. М., 1964, 207 с.
Давид Н.А. Жозеф Луи Лагранж. М., 1977, 223 с.
Гиббс Т.Е. Пол Гиббс. М., 1991, 287 с.
Сорайтис А.Р. Пётр Николаевич Лебедев. М., 1978, 327 с.
Рабинов В.М. Владимиру Константиновичу Лебедевскому. М., 1970, 174 с.

Абакумов А.В., Тимофеев Ю.П. Вадим Александрович Абакумов. М., 1991, 159 с.
Парфеньевский И.Б. Готфрид Вильгельм Лейбница. М., 1971, 319 с.
Дуба В.П. Альбертус да Венту. М.-Л., 1961, 272 с.

- Лобачевский Н.И.
Ломоносов М.В.
Лоренц Г.А.
Ляпунов А.М.
Нейман Ф.
Ньютона И.

Остроградский М.В.
Паскаль Б.
Петров В.В.
Планк М.
Попов Ж.В.
Попов А.С.
Птичников Е.
Рамфорд Э.
Рихтер Г.В.
Рожанский Д.А.

Родионовский Д.С.

Солин Ф.
Стеклов Н.

Столетов А.Г.
Тарасов А.Н.
Тесла Н.
Уотт Дж.

Умов Н.А.
Федоров Е.С.
Франк Г.М.
Франклин Б.
Фредрикс В.К.

Фрэнсис Л.Н.
ал-Халили

Хокинг О.
Холмс В.Г.
Циолковский К.Э.
- Батырев А.В. Николай Иванович Лобачевский. М., 1992, 229 с.
Базилев Г.Е., Федоров А.С. Михаил Васильевич Ломоносов. М., 1996, 463 с.
Кларк Е.М., Франкфурт У.Н., Франк А.М. Генрих Август Лоренц. М., 1974, 260 с.
Цыбуль А.А. Александр Михайлович Ляпунов. М., 1993, 247 с.
Соловьев А.С. Франц Нейман. М., 1996, 221 с.
Башмаков С.И. Иоаким Ньютона. 4 изд., М., 1999, 271 с. (1 изд. М.: Научно-Ан. СССР, 1940; 2е изд.; М.-Л.: Научно-Ан СССР, 1945, 230 с. [Научно-историческая серия]; То же: Башмаков С.И. Собрание сочинений. Т.3. М.: Научно-Ан СССР, 1956, с.288-407; 3е изд., М., 1961, 294 с.).
[http://lib.RU/istoriya/nauchnaya/biografii.html](http://lib.ru/istoriya/nauchnaya/biografii.html)
Гайдуков Е.В., Пиребишский И.Е. Михаил Васильевич Остроградский: жизнь и работа. Научные и педагогические наследия. М., 1993, 271 с.
Кларк Е.М., Пиребишский И.Е., Франкфурт У.Н. Паскаль. М., 1971, 432 с.
Шнейдер Я.А. Василий Владимиорович Петров. М., 1995, 223 с.
Кларк Е.М., Франкфурт У.Н. Макс Планк. М., 1996, 291 с.
Башмаков А.Н. Жан Виктор Паскаль. М., 1998, 225 с.
Радищев М.И. Александр Степанович Попов. М.-Л., 1962, 388 с.
Бронштейн В.А. Клавдий Прельмани. М., 1993, 241 с.
Смирновская-Неструева О.А. Эрнест Рамфорд. М., 1997, 316 с.
Церфас Г.К. Георг Вильгельм Рихтер. А., 1977, 129 с.
Рожанский И.Д., Рожанская М.М., Филиппов С.Р. Дмитрий Антонович Рожанский. М., 2003 159 с.
Гуль Д.Д. Отто фон Гельд. Сергеевич Родионовский. М., 1990, 283 с.
Краильский А.Н. Фредерик Солда. М., 1978, 207 с.
Шефферманов И.И. Николай Степан (Павел Степанов). А., 1971, 179 с.
Савельев М.С. Александр Григорьевич Столетов. А., 1970, 251 с.
Абрамов А.В. Александр Николаевич Тарасов. М., 1995, 234 с.
Церфас Г.К. Никола Тесла. А., 1974, 212 с.
Конфидерации И.И. Джонс Уотт – изобретатель паровой машины. М., 1969, 223 с.
Гуль Д.Д. Николай Александрович Умов. М., 1971, 250 с.
Шефферманов И.И. Барон Степанович Федоров. М.-Л., 1962, 284 с.
Грибко В.И. Георгий Михайлович Франк. М., 1997, 317 с.
Радищев М.И. Василий Франклайн. М.-Л., 1962, 306 с.
Соловьев А.С., Фрэнсис Л.Н. Константин Фредрикс. М., 1996, 175 с.
Фрэнсис Л.Н. Жюль Ильи Фрэнсис. М.-Л., 1996, 473 с.
Рожанская М.М. Абу-л-Фатех Абд ар-Рахман ал-Халили. М., 1991, 150 с.
Балашовский Е.М. Оливье Хенрик. М., 1995, 256 с.
Уильям Г.Н. Вильям Григорьевич Холмогоров. М., 1990, 222 с.
Кольцовский А.А. Константин Захардович Циолковский. М., 1976, 225 с. 2-е изд. М., 1997, 204 с.

- Чижевский А.А.
Шубинков А.В.
- Шадиков А.
Шаров Т.
Шишкин А.
- Яблочкин П.Н.
Якоби Е.С.
- Линдеман В.Н. Александр Александрович Чижевский. М., 1967, 316 с.
Бауденхорн Х.С., Баланс А.М. и др. Александр Васильевич Шубинков. Л., 1964, 221 с.
Кинник А.В. Артур Симон Эддинсон. М., 1957, 145 с.
Балакин А.Д. Томас Аллан Эдисон. М., 1964, 227 с.
Кулигер Е.Г. Эйнштейн. М., 1962, 407 с. 2-е изд., 1962, 414 с. З-е изд., 1967, 431 с.
Кулигер Е.Г. Эйнштейн. Жизнь, смерть, бессмертие. М., 1972, 607 с.
Д-е изд. М., 1979, 680 с.
Балакин А.Д. Павел Николаевич Яблочкин. М., 1962, 229 с.
Бородай А.В. Борис Симонович Якоби. М., 1966, 239 с.

Научно-биографическая литература, вышедшая в других сериях или вине серий

- Аронина
Бахтерса А.
Бор А.Н.
Бор Н.
Бавилов С.Н.
- Балакин А.А.
Галляев Г.
- Горюх К.Ф.
Гельмгольц Г.
- Горюх Г.Р.
Гейтман Х.
Гельферт Г.
Заславский Е.К.
- Чалкин А. Артемьев. М.-Л.: Гостехиздат, 1934, 68 с.
Арцы С.А. Аронина, М.-Л.: Издво АН СССР, 1945, 271 с. [Научно-попул. серия. Биографии]
Капин В.Ф. Аронина. Краткая очерк о жизни и творчестве. 2-е изд. М.-Л.: Гостехиздат, 1951, 56 с.
Боголюбский И.И. Аронина, М.: Учпедлит, 1957, 112 с. [Классики физики]
Капустина К.А. Ария Бахтерса. М.: Астрономия, 1965, 84 с.
Рудников И. Алекс. Бор. М.: Молодая гвардия, 1971, 496 с.
Мир Р. Нильс Бор – человек и ученик. М.: Мир, 1969, 472 с.
Шальников В.Я. Выдающийся советский ученый С.И.Вавилов. (1891-1951). М.: Эксмо-пресс, 40 с.
Армандович И.Н. Выдающийся советский ученый в общественной деятельности Сергей Иванович Вавилов. М.: «Правда», 1951, 48 с.
Балакин И.П., Николаев П.И. Анатолий Александрович Балакин. М.: Физика МГУ, 1999, 62 с.
Азимов Б. Галляев перед судом инквизиции. Очерк его жизни и труда. М., 1970, 139 с.
Преображенский Е.А. Галляев, его жизнь и научная деятельность. СПб., 1991, 95 с. (РКЗА, №нр. б-ка Пилюгиной)
Преображенский Е.А. Галляев Галилей, его жизнь и научная деятельность. М.: Троянка и Книбель, 1997, 70 с.
Мартиросян И.Н. Галляев, его жизнь и учебные труды. З-е изд. М., 1967, 129 с.
Соловьев И.А. Галилео Галляев. Борисов Госиздат РСФСР, 1953, 80 с.
Боголюбский М.Л. Галляев и инквизиция. Ч.1. Запрет Петербургского ученого. М.: Гостехиздат, 1934, 216 с.
Боголюбский М.Л. Галляев. М.: Жургентъздат, 1935, 304 с. (РКЗА)
Ардзинба Е.С. Галилео Галляев. [Биографии физики]. М.: Учпедлит, 1960, 100 с. [Классики физики]
Штурцер Б., Шенц В. Галилео Галляев. М.: Мир, 1967, 143 с.
Богдан В. Гусев. Биографическое исследование. М.: Наука, 1969, 208 с.
Основанин В. Герман Гельмгольц. Пр.: «Сотрудничество», 1919, 62 с. (Биогр. б-ка)
Лазарев И.Н. Гельмгольц А.: Науч. хим.-техн. изд., 1925, 113 с.
Зорин В.Д. Герман Гельмгольц. М.-Л.: Госиздат, 1925, 100 с. (Биогр. б-ка)
Гриммель А.А. Справка о Германе Гельмгольце. (Про жизнь и работу). М.: «Мос. рабочий», 1930, 163 с.
Ардзинба А.Г. Герман Герц (1857-1904). М.: Эксмо, 1957, 22 с.
Боголюбский И.Н. Христофор Гейтман. М.: Учпедлит, 1959, 112 с.
Азимов В.Ф. Декарт. М.: Госиздат, 1958, 171 с.
Заславский В.К. Е.К. Заславский. Канзас. Издво Канзасского ун-та, 1960.

- Нидер А.Ф. Франкен А.И. А.Ф.Нидер. А.: Наука, 1968.
- Карло С. Чигорин Г.М. А.Ф.Нидер. М.: Просвещение, 1963, 112 с.
- Карлсф Г.Р. Фрайдем А.З. Сади Карлс. Его жизнь и творчество. К 100-летию со дня смерти (1822-1922). М.-Л.: Энергиздат, 1982, 56 с.
- Курчатов И.В. Баландин А. Густав Роберт Карлсф. М.: Н.Н.Маркус, 1897, 34 с. (Из истории физики XIX столетия. Очерки трудах ее выдающихся деятелей. Кн.2)
- Курчатов И.В. Гильден И.И. И.В.Курчатов. М.: Атомиздат, 1967.
- Кори М. и П. Кори Е. Жана. Мария Кори. М.-Л.: Деттия, 1944, 128 с.
- Ланду А.Д. Кори Е. Мария Кори. 4-е изд. М.: Атомиздат, 1979.
- Ланду А.Д. Кори М. Пьер Кори. А.: Науч. хим.-техн. изд. ВСНХ, 1924, 78 с.
- Ланду А.Д. Кори М. Пьер Кори. (Жизнь и деятельность). М.: «Отчизна», 1955, 64 с.
- Ланду А.Д. Альбадзе А.Д.Ланду. М.: Наука, 1965.
- Ланду А.Д. Бонгард М. Ланду. М.: Мир, рабочий, 1978.
- Ланду А.Д. Бонгард А. А.Ланду. М.: Знание, 1977.
- Ланжинин П. Аланчин А.М. А.Д.Ланду. М.: Знание, 1977.
- Лебедев П.Н. Смирнова-Некрасова О.А. Поль Аланчин. М.: ГИФМА, 1962, 316 с.
- Ландау Л.Д. Петр Николаевич Лебедев. 1866-1912. Биографический очерк. М.: Изд-во МГУ, 1950, 26 с. [Замеч. ученые Мира, уч-та]
- Ландау Л.Д. П.Н.Лебедев. 2-е изд. М.: Учпедгиз, 1956, 120 с. [Классики физики]
- Ландау Л.Д. Выдающийся физик-математик П.Н.Лебедев. Кратк. АИ УССР, 1957, 176 с.
- Ландау О.А. Романовский Б.Н. Эммануил Христофорович Ландау. М.-Л.: Гостехиздат, 1959, 190 с.
- Ландауская Е.Н. Жизнеописание Михаила Васильевича Ломоносова. 2-е изд. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947, 295 с.
- Ландауский П.Г. М.В.Ломоносов - астроном и астрофизик М.-Л.: Гостехиздат, 1950, 87 с.
- Ландауский И.Б. М.В.Ломоносов - основоположник отечественного приборостроения. М.-Л.: Гостехиздат, 1952, 159 с.
- Лоренц А.А. Михаил Васильевич Ломоносов. 1711-1765. 2-е изд. А.: Атакадет, 1952, 856 с.
- Лукомский Е.Г. Творческий путь Ломоносова. М.: Гостехиздат, 1956, 380 с. 3-е изд., 1961.
- Лысенко А.Ф., Соколов Е.Н. М.В.Ломоносов как физик. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961.
- Майер Р. Маркус И.Н. Роберт Майер. М.: Н.Н.Маркус, 1897, 103 с. (Из истории физики XIX столетия. Очерки трудах ее выдающихся деятелей. Кн.2)
- Максвелл Дж.К. Кларк Е.М. Дж.К.Максвелл. М.: Наука, 1968.
- Макальян В.А. Кубарев Л.С. Макальян. М.: Просвещение, 1966. По др. д. 1976.
- Ньютона И. Толстой Г.М. Владимир Александрович Макальян. М.: Просвещение, 1971.
- Ньютона И. Бюз Ж.-Б. Биография Ньютона. М.: Издательство АСТ, 1999, 111 с.
- Ньютона И.М. Ньютона, его жизнь и научная деятельность. СПб., 1890, 90 с. [КЭЗА, биогр. библ. Ф.Пантелеймон]
- Ньютона И.Н. Ньютона, его жизнь и труды. 3-е изд. с прил. переводами фрагм. из «Грандье»: «О законах движений» и «О методе философии». М.: ИДИ, 249 с.
- Ньютона И.С. Иоахим Ньютона. 3-е изд. М.: Учпедгиз, 1955, 127 с. [Классики физики]
- Ньютона И.С. Кубарев Е.Г. Ньютона. М.: Мир, 1982, 175 с.
- Ньютона И.С. Роберт Оппенгеймер и атомная бомба. 2-е изд. М.-Л.: Атомиздат, 1962.
- Ньютона И.С. Паскаль. Его жизнь и научно-философская деятельность. Биографический очерк. СПб., 1891, 76 с. [КЭЗА, биогр. библ. Ф.Пантелеймон]
- Ньютона А.А. Василий Владимирович Петров. М.-Л.: Гостехиздат, 1949, 180 с.

- Попов А.С.** *Биография Е.А. А.С.Попов - изобретатель радио. М.-Л.: Издво АН СССР, 1948, 30 с.*
Гаврилов Г.И. А.С.Попов - изобретатель радио. Жизнь и деятельность. К. Шестидесяти изобретения радио. М.: Спартакидат, 1945, 240 с.
Борис А.И., Радиотехник М.И. Изобретатель радио А.С.Попов. Зе изд. М.-Л.: Госиздатполиграф, 1950, 100 с.
Радиотехник М.И. Александр Степанович Попов. Биографический очерк. М.-Л., 1956, 207 с. (Науч.-литер. серия)
Курлерес-Скифф С. Радио - детство русского флота. М.: Воениздат, 1951, 95 с.
- Ренеффорд Э.** *Коллекция Ф.Б. Ренеффорда. М.: Атомиздат, 1965.*
- Рождественский Д.С.** *Франц С.Э. Дмитрий Сергеевич Рождественский. Жизнь и деятельность. Л.: АГУ, 1954, 27 с.*
- Сахаров А.Д.** *Горбунов Г.Е. Андрей Сахаров: наука и свобода. М.: Инициат. РХД, 2000, 512 с.*
- Столетов А.Г.** *Ландыш П.П. А.Г.Столетова, Н.А.Умова, П.Н.Лебедева, Б.Б.Годунов. А.-Нарг. хим.-техн. изд. ИТУ ВСНХ, 1927.*
Гальперин А.К. Александр Григорьевич Столетов. 1839-1896. М.: МГУ, 1948, 40 с. (Замеч. ученых Моск. ун-та. Вып. 2)
Калашников А.К. Мироискусство А.Г.Столетова. М.: Издво АН СССР, 1956, 288 с.
- Томсон В.** *Лейбенштейн В.К. Вильям Томсон, лорд Кельвин. 1824-1907. Л.: [Аван. наук], 1924, 27 с.*
- Торренталль Э.** *Курлерес-С.С. Энциклопедия Торренталля. М.: Знание, 1958.*
- Умов Н.А.** *Богомолов А.И. Николай Александрович Умов. Биографический очерк. М., 1915, 40 с.*
Богомолов А.И. Очерк жизни и трудов Николая Александровича Умова. М., 1915, 84 с.
Преображенская А.С. Николай Александрович Умов. 1846-1915. Биографический очерк. М.: Издво МГУ, 1959, 55 с. (Замеч. ученых Моск. ун-та, вып. 9)
Калашников А.К. Борис Н.А.Умова на материалах в физике. М.: Издво АН СССР, 1954, 128 с.
Гуд Д.Д. Н.А.Умов. М.: Просвещение, 1977, 128 с (серия «Люди науки»).
Гайдуков Д.А. Фарадей и его открытия. Воспоминания Д.А.Гайдука. СПб., 1971, 200 с.
- Фарадей М.** *Лейбенштейн А.В. М.Фарадей, его жизнь и научная деятельность. Биографический очерк. М., 1962, 60 с. (ЖЗЛ, биогр. б-ка Ф.Лычникова)*
Овчинникова Е. Михаил Фарадей. Пр.: «Сотрудничество», 1919, 64 с. (Биогр. б-ка)
Богомолов В.И. Михаил Фарадей. М.-Л.: Гос. науч.-техн. изд., 1951, 54 с.
Радиотехник М.И. Михаил Фарадей. Биографический очерк. М.-Л.: Госиздатполиграф, 1946, 72 с.
Курлерес-С.С. Фарадей. М.: Просвещение, 1960, 167 с.
Грайбл Дэйл М. Ричард Фейнман: жизнь в науке. 2002, 288 с.
- Фейнман Р.** *Аллен Л. Эндрю Фейнман. М.: Атомиздат, 1962, 148 с.*
- Ферми Э.** *Полонский Б. Энрико Ферми. М.: Знание, 1971.*
Серго Б. Энрико Ферми - физик. М.: Мир, 1973.
- Франклайн Б.** *Радиотехник М.И. Биография Франклайна. Краткий биографический очерк. М.-Л.: Госиздатполиграф, 1941, 80 с.*
- Фридман А.А.** *Джон Б.А., Франклайн Б.Л., Чарльз А.Д. Александр Александрович Фридман. М.: Наука, 1968, 204 с.*
Преображенская В.Н. Выдающийся советский ученый А.А.Фридман. М.: Знание, 1963.
- Хаббл Э.** *Ширле А.С., Никитин И.Д. Человек, открывший вселенную: жизнь и труда Эдварда Хаббла. М.: Наука, 1989, 208 с.*
- Хоуперманн Ф.** *Франклис Ф.М. Профессор Франклис Хоуперманн: работы, жизнь, судьба. СПб.: Изд-во ПИИР РАН, 1997, 200 с.*

- Эйнштейн А.** Гейнс Ф. Альберт Эйнштейн. Жизнь, наука, этические и моральные ценности. М.: Прогресс, 1966, 246 с.
 Гейнс Ф. Альберт Эйнштейн. М.: Мир, 1979. По др. д. 1994.
 Зали К. Альберт Эйнштейн. 2-е изд. М.: Атомиздат, 1966.
 Ефимов Е.Г. Виды об Эйнштейне. М.: Наука, 1970.
 Пейз А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М.: Наука, 1969, 367 с.
 Каупер Р., Хейфельд Р. Эйнштейн. Частные жизни. М.: Захаров, 1998, 268 с.
Браунфельс П. Франкель Б.Л. Пауль Браунфельс. М.: Атомиздат, 1979. 2-е изд. (перераб. и доп.), 1977, 192 с.
Яблочкин П.Н. Болотов А.Д. Павел Николаевич Яблочкин. Жизнь и труда. М.-Л.: Госиздатиздат, 1950, 279 с.
Любка Е.С. Радченко М.И. Верон Семенович Любка. Л.-М.: Госиздатиздат, 1953.

Воспоминания ученых и воспоминания об ученых

- Афремов А.** Время жить, или физики, физики, где ты был. М.: Наука, 1991, 392 с.
Академик А.И.Александров: Воспоминания, письма, документы. А.: Наука, 1980, 248 с.
Академик А.Н.Крылов. Моя воспоминания. [М.] Изд-во АН СССР, 1945, 555 с.
Академик Б.П.Константинов: Воспоминания. Статьи. Документы. А.: Наука, 1985, 296 с.
Академик В.Г.Хлопин: Очерки, воспоминания современников. А.: Наука, 1997, 231 с.
Академик А.И.Мандельштам: [Обзоры] к 100-летию со дня рождения. М.: Наука, 1979, 312 с.
Академик Александр Андреевич Арцимович. Сб. статей. М.: Знание, 1973, 64 с. («Физики», 1973, №10).
Академик М.А.Лебедев: Ученый. Учителя. Гражданин. М.: Наука, 2003, 511 с.
Академик Петр Леонидович Капица. Сб. статей. М.: Знание, 1973, 64 с. («Физики», 1973, №7).
Александр Иссаакович Шашлыков: Воспоминания, письма, документы. СПб.: Наука, 1992, 248 с.
Андрей Дмитриевич. Воспоминания о Соколове. М.: ТЕРРА. «Книжное обозрение», 1991, 369 с.
А.П.Александров. Документы и воспоминания. К 100-летию со дня рожд. М.: ИздАТ, 2002, 456 с.
Бондар Е. Постскриптум. Книга о горьковской симфонии. М.: Издательство «Интербук», 1990, 203 с.
Бори М. Моя жизнь в когнитиве. М.: Прогресс, 1973, 176 с.
Воспоминания о А.Ф.Иоффе. А.: Наука, 1974, 252 с.
Воспоминания о В.И.Векселе. М.: Наука, 1987, 204 с.
Воспоминания о Н.Е.Тимирязеве. М.: Наука, 1981. 2-е изд., 1986. 3-е изд. М.: ИздАТ, 1995, 422 с.
Воспоминания о И.Л.Померанцеве. М.: Наука, 1988, 220 с.
Воспоминания о А.Д.Ланцу. М.: Наука, 1988, 252 с.
Воспоминания о Ю.И.Франкл. А.: Наука, 1976, 280 с.
Воспоминания об академике Е.А.Владимирове. М.: ИРФ РАН, 1993, 42 с.
Воспоминания об академике Д.С.Романтикове. А.: Наука, 1976, 168 с.
Воспоминания об Игоре Васильевиче Курчатове. М.: Наука, 1988, 496 с.
Воспоминания об академике А.А.Арцимовиче. 2-е изд. М.: Наука, 1988, 254 с.
Воспоминания об академике М.А.Лебедеве. М.: Наука, 1990, 280 с. 2-е изд. М.: Наука. Физматлит, 1996, 448 с.
Галкин Г.А. Моя мировая линия: неформальная автобиография. М.: Наука, 1994, 204 с.
Григорий Самуилович Альберт: Очерки и воспоминания. К 100-летию со дня рождения. М.: Наука, 1993, 223 с.
Заслуженный изобретатель Зальцман. (В воспоминаниях друзей, коллег и учеников). М.: Наука, 1994, 352 с.
Игорь Васильевич Курчатов и воспоминания и документы. М.: ИздАТ, 2003, 656 с.
Курчатов в жизни. Письма, документы, воспоминания (из личного архива). М.: Ильинско-Бородинское, 2002, 624 с.
Марков М.Д. Рассказы о физиках, о физике, о мире. М.: Наука, 1993, 256 с.

- Он между нами жив: Воспоминания о Сахарове. М.: Практика, 1996, 940 с. (<http://www.ulibrary.ru/bookshelves/obj.htm>)
- Павел Алексеевич Черенков. М.: Наука, 1990, 215 с.
- Памяти Александра Александровича Андронова. 1901–1952. Сб. статей. М., 1953.
- Памяти Сергея Ивановича Вавилова. М.: Изд-во АН СССР, 1952, 376 с.
- Петр Александрович Капица: Воспоминания. Письма. Документы. М.: Наука, 1994, 343 с.
- Проблемы кристаллографии: К 100-летию со дня рождения акад. А.В.Шубинова. М.: Наука, 1987, 368 с.
- Проблемы физической оптики и другие вопросы физики. Сборник статей, посвященных памяти С.И.Вавилова. М.-Л.: Гостехиздат, 1951, 380 с.
- Протокол Чрезвычайного съездования московских ученых обсерватории и учреждений в память Н.А.Умова. М., 1916, 76 с. (М.А.Мензбир, Н.Е.Жуковский, А.А.Эйхенвальд и др.)
- Путь к большому науку: академик Альберт Берг. М.: Наука, 1998, 400 с.
- Райкин Л.Н. Десять лет с изобретением радио. Страницы воспоминаний. М.: Символидат, 1946, 63 с.
- Реморфора – ученик и учитель. К 100-летию со дня рождения. М.: Наука, 1973, 215 с.
- Сборник к столетию со дня смерти первого русского электротехника академика Василия Владимира Петрова. М.-Л.: ОНТИ, 1935, 186 с.
- Сергей Иванович Вавилов. Открытия и воспоминания. М.: Наука, 1979. 2-е изд., 1981, 251 с. 3-е изд. 1991, 375 с.
- Страницы воспоминаний. М.: АН СССР, 1946 (об Умнове и др.)
- Труды окончи, посвященной памяти академика Сергея Ивановича Вавилова. М.: Оборониздат, 1953, 360 с.
- Фунд С.Я. Слово приamu времени. М.: Политехнодат, 1992, 430 с.
- Чародей эксперимента: Сборник статей об академике Е.К.Завойской. М.: Наука, 1993, 235 с.

4. Аннотированный указатель некоторых источников по истории физики

Розенбергер Ф. История физики. Пер. с нем. М.-Л.: ОНТИ, 1933-37. Ч.1, 2, 3(1), 3(2). Книга Розенбергера детально описывает развитие физики до 1890. Часть 1 посвящена истории физических представлений древности и средних веков, часть 2 – истории физики в эпоху времени (XVII – первая половина XVIII вв.), часть 3 (вып. 1 и 2) – истории физики с 1780 до 1890 г. Каждую часть автор разделяет на отдельные периоды в 60-40-20 лет и анализирует развитие различных физических теорий в эти периоды.

Любимов Н.А. История физики. Опыт изучения логики открытий в их истории. СПб. Ч.1, 1893, 268 с. Ч.2, 1894, 268 с. Ч.3, 1894, 494 с. Обстоятельное рассмотрение научных трудов и возвретий крупнейших ученых с древнейших времен вплоть до конца XVII в. Ч.1 (период греческой науки), ч.2 (период средневековой науки), ч.3 (физика в XVII в. – Ньютона, Галилея, Лейбница), выполненные крупным физиком, учителем Соловьевым, зав. кафедрой опытной физики Московского ун-та.

Лакур П., Амелья Я. Историческая физика. Пер. с нем. «Матемис», 1908, т.1-2; 2-е изд., под ред. О.Д.Хвальсона, М.-Л.: ГИЗ, 1929. Историческое выделение в круг физических идей, известных до конца XIX в. (доминансовая физика): свет, звуки, теплота, магнетизм, электричество, электрический ток, климат. Отдельный раздел посвящен развитию механики (статики, гидростатики, законам падения тел). Такие в книге представлены различные приборы, соединенные человечеством на основе использования природных явлений (часы, маятники и др.). Книга иллюстрирована гравюрами, фотографиями и рисунками.

Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. Развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности и квантов. М.-Л.: Гостехиздат, 1948, 267 с.; 2-е изд. 1954, 280 с.; 3-е изд.: 1965, 337 с.; 4-е изд. 1966, 267 с. Книга А.Эйнштейна и полного физика Л.Инфельда, посвященная возникновению и развитию фундаментальных физических идей от периода зарождения классической физики до создания теории относительности и квантовой механики.

Лауэ М. История физики. Пер. Т.Н.Горянской. М.: ГИТТЛ, 1934, 230 с. Наиболее компактное и сконцентрированное изложение истории восприятия и эволюции идей, важных для современной физики, написанное выдающимся немецким физиком М.Лауэ. Построена по принципу описания эволюции основных физических теорий: механики, теории тяготения, оптики, теории электричества и магнетизма, термодинамики, ядерной физики, кристаллофизики, теории теплового излучения, квантовой физики. Также отдельные главы посвящены закону сохранения энергии, измерению времени и системам отсчета в физике, в них он затрагивает историю специальной и общей теории относительности.

Кудрявцев П.С. История физики. 2-е изд. М.: Учпедгиз, т.1, 1958, 543 с., т.2, 1958, 487 с., т.3, 1971, 423 с. 1 том посвящен история от античности до сер. XVIII в. Построен как анализ возвратов крупнейших ученых – Галилея, Ньютона, Ломоносова, Фарadays и др. 2 том посвящает последнюю треть XIX в. (в основном, посвящен развитию электродинамики). Третий том посвящен открытиям первой четверти XX в. – созданию специальной и общей теории относительности, возникновению квантовой физики, развитию ядерной физики. Отдельные главы посвящены физике в России в конце XIX в. и начале XX в. Содержат большое количество цитат из оригинальных работ ученых.

Очерки развития основных физических идей / Ред. А.Т.Григорьев, Л.С.Полак. М.: Изд. АН СССР, 1959, 513 с. Коллективная монография, отдельные главы которой написаны крупными отечественными физиками и историками науки В.П.Зубовым, Б.Г.Куницким, П.С.Кудрявцевым, Л.С.Полаком и Д.Д.Изаников. Посвящена развитию физических представлений от древности до середины ХХ в., включая специальную и общую теории относительности, квантовую механику и открытие элементарных частиц.

Сынинский В. История физики. Учебное пособие для курсов. 1-е изд. М.: Изд. МГУ. Ч.1, 1963. Ч.2, 1964. 2-е изд., М.: Высшая школа, 1977. Ч.1, 328 с. Ч.2, 312 с.

История физики разделена на шесть основных периодов, внутри каждого рассматривается развитие основных физических теорий. Развитие физики представлено как обусловленное потребностями общественно-исторической практики. Каждый раздел предваряется специальной главой, посвященной общей характеристике данного периода развития физики, включая особенности исторического периода, развития техники и философских идей. Кроме этого, включены две «кругово-биографические» главы, посвященные И. Ньютона и М. В. Ломоносову. Основной университетский курс 1960–80-х гг.

Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. М.: Наука, 1974, 352 с. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX вв. М.: Наука, 1979, 317 с. История физики, написанная крупным отечественным физиком, специалистом в области математики. Выделено шесть основных периодов развития физики. Процесс развития физических знаний рассматривается в связи с историей человечества. В основе рассмотрения – анализ структурной эволюции физики.

Львицци М. История физики. М.: Мир, 1978, 464 с. Пер. с ит. Э.Л. Бурнайса. Львицци применяет разнообразные принципы историографии: отдельные главы он посвящает отдельным историческим периодам (Античность, Средние века, Возрождение, XVIII в.), наиболее крупным личностям (Галилей, Ньютоны), важным физическим явлениям (электрический ток, искусственная радиоактивность), физическим теориям (атомика Френеля, учение о теплоте, теория относительности, волочная общая, волновая механика). Исследование строения материи и открытию ее структурных элементов (электрон).

Кирсанов В.С. Научная революция XVII в. М.: Наука, 1987, 342 с. Монография посвящена формированию основных представлений классической науки, в основном механики, астрономии и физики, в XVII в. Подробно рассматривается научная деятельность Галилея, Кеплера, Декарта, Гюйгенса и Ньютона.

Мах З. Механика. Историко-критический очерк ее развития (1883, 4-е изд. 1891). СПб.: «Общ. полигл.», 1989, 448 с. Известен: «РХД» 2400, 456 с. В книге, написанной выдающимся физиком и философом З. Махом, представлена история развития основных принципов механики – статики и динамики. Автором обосновывается принцип «экономии мышления» как основной принцип развития науки. По идеологическим причинам в советское время книга не переподавалась. Книга оказала сильное стимулирующее воздействие на Эйнштейна при создании им специальной и общей теорий относительности.

Полак А.С. Вариационные принципы механики, их развитие и применение в физике. М.: Физматлит, 1969, 299 с. Фундаментальная монография по истории возникновения и утверждения в физике вариационных принципов. В книге подробно анализируются труды различных ученых от XVII до XX вв., связанные с установлением и применением этих важнейших принципов.

Вдовиченко И.В. Развитие фундаментальных принципов статистической физики в первой половине XX века. М.: Наука, 1986, 128 с. Монография посвящена истории возникновения, восприятия и развития статистической концепции и превращения ее в развитую теорию. Подробно рассматриваются проблемы обоснования статистической механики, броуновское движение, теория теплового излучения, включая появление в физике постулатов Планка и Больцмана.

Гельфэр Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1981, 536 с. В монографии представлена история возникновения и эволюция термодинамики и статистической физики и вплоть до возникновения квантовой гипотезы и создания квантовой статистики.

Уиттескер Э. Т. История теории азира и электричества. [Т. 1.] Известия: НИЦ «Регулярия в хаотической динамике». 2001, 513 с. Фундаментальное исследование крупного английского математика и механика истории развития представлений об электричестве и магнетизме от начала XVII в. до конца XIX в. (т.1) и первой четверти XX в. (т.2) вплоть до теории относительности и квантовой теории. В центре внимания развитие представлений об азире.

Пайе А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М.: Наука, 1989, 567 с. Наиболее полная научная биография А.Эйнштейна, внесшего существенный вклад

в развитие всех основных физических теорий первой трети ХХ в. Может рассматриваться как история теоретической физики в I-й половине ХХ в. в общеинженерном контексте.

Хунд Ф. История квантовой теории. Киев: Наукова думка, 1989, 344 с. Монография, написанная известным немецким физиком-теоретиком Ф.Хундом, посвященная возникновению и развитию квантовых представлений от появления постоянной Планка до создания квантовой электродинамики. Приводится концептуальная схема развития квантовой теории. Представлены вклад различных научных центров в развитие квантовой теории.

Джоннер М. Эволюция понятий квантовой механики. М.: Наука, 1983, 384 с. Фундаментальная монография по истории квантовой физики от появления зарождения квантовых идей в конце XIX в. до создания в 1925-27 гг. квантовой механики как целой теории. Содержит обширную библиографию оригинальных источников.

Абесель А.И. Очерки развития физической теории в первой трети XX века. М.: Наука, 1986, 248 с. В монографии анализируется логика возникновения квантовых и релятивистских идей, логика в основании специальной теории относительности и квантовой механики. Подробно разбираются структура и идеи основополагающей статьи А.Эйнштейна 1905 г. по теории относительности. Общая теория относительности в книге не рассматривается.

Вальцов А.Н. Открытие элементарных частиц. Электрон. Фотоны. М.: Наука, 1981, 241 с. Вальцов А.Н. Открытие элементарных частиц. Нуклоны Р, Н, и антинуноны Р, Н. М.: Наука, 1984, 271 с. В монографии изображено полное реконструирована история открытия электрона, протона, нейтрона и соответствующих им античастиц. Имеется обширная библиография оригинальных источников.

Вавилов С.И. Собрание сочинений, т.3. Работы по философии и истории естествознания. М.: Изд-во АН СССР, 1956, 871 с. Третий том собрания сочинений крупного отечественного оптика и историка науки С.И.Вавилова включает историко-научные статьи о развитии оптики в трудах Галилея, Ньютона, Эйнштейна, Ломоносова и др., статьи по философии физики, по истории физики в России и СССР, а также монографию «Избр. Ньютона» ([онл.](http://ibaf.euro.ru/history.htm) <http://ibaf.euro.ru/history.htm>).

Вавилов С.И. Собрание сочинений, т.4. М.: Изд-во АН СССР, 1956, 471 с. Четвертый том включает монографии С.И.Вавилова «Экспериментальные основания теории относительности», «О «цеплом» и «холодном» свете», «Газ и Солнце», а также обзорные, научно-популярные и широкодидактические статьи.

Методологические принципы физики / Под ред. В.М.Кедрова и И.Ф.Очинникова. М.: Наука, 1973, 512 с. Представлен историко-критический анализ основных методологических принципов современной физики: объяснения, простоты, единства физической картины мира, математизации физических теорий, сохранения, симметрии, соответствия, дополнительности, наблюдаемости, элементарности, а также анализируется их взаимосвязь и практическая роль в создании и развитии физических теорий.

Развитие физики в СССР / Под ред. Л.А.Ароновича, Я.Г.Дорфмана, О.А.Лежневой и др. М.: Наука, 1987, т.1, 451 с.; т.2, 363 с. Книга, выписанная крупными советскими физиками при участии видущих историков физики 1950-х-1960-х гг. 1 том включает историю исследований в СССР по теоретическим основам физики (квантовой электродинамики, общей теории относительности и др.), электромагнитных процессов и физической электроники, физики атомных и молекуларных систем. 2 том включает историю исследований в области оптики, акустики, физики высоких энергий и атомного ядра, а также истории физики. Содержат ценный материал по развитию физики в СССР в 1950-е-1960-е гг.

Физика XIX-XX вв. в общенаучном и социокультурном контексте. Физика XIX в. / Отв. ред. В.П.Влагин, Л.С.Полак. М.: Наука, 1985, 280 с. В книге представлена история становления и развития классической физики от «фрэнклейской революции» в физике до термодинамики, статистической физики и квантовой электродинамики. Одна из глав посвящена истории экспериментальной физики XIX в.

Физика XIX-XX вв. в общенаучном и социокультурном контексте. Физика XX в. и ее связь с другими разделами естествознания. / Отв. ред. Г.М.Надик. М.:

«Миро-К», 1987, 384 с. В сборнике статей анализируется динамика глобальных исследовательских программ в физике первой трети XX в., представлена история специальной (частной) теории относительности, квантовой теории, квантовой механики и ее интерпретаций, а также развитие учения о радиактивности, физики космических лучей и некоторые социокультурные особенности развития физики в СССР.

Кузнецов Б.Г. Развитие научной картины мира в физике XVII–XVIII вв. М., 1955, 344 с. (гелиоцентризм, физика Декарта, Ньютона, элемнстика) Кузнецов Б.Г. Принципы классической физики. М.: Изд-во АН СССР, 1958, 323 с. (историко-логический анализ развития принципов относительности, изомерного действия, сохранения энергии, изобретности, близводействия) Кузнецов Б.Г. Основы теории относительности и квантовой механики в их историческом развитии. М.: Изд. АН СССР, 1957, 328 с. (история теории относительности и квантовой механики). В совокупности эти три монографии охватывают развитие основных физических идей от XVII в. до теории относительности и квантовой механики.

**Методические материалы для подготовки к кандидатскому экзамену
по истории и философии науки (истории физики)**

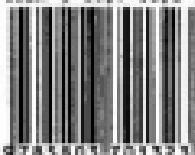
Сост. В.П.Бызан

Инфо-К. Лицензия ИД №65875 от 21.09.2001
109316, Москва, ул. Серебряковская, д.12, корп.2.

Отпечатано в ФГУП «Производственно-издательский комбинат ВНИИТИ»
160010, Люберцы, Октябрьский пр-кт, 403, т.554-21-86

Подписано в печать 18.07.2003. Формат 60×90 1/16
Печать офсетная. Бумага глянцевая.
Печ. л. 7,75. Тираж 1000 экз. Заказ № 2748

ISBN 5-8937-0132-7



9 785893 701323