

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Саровский физико-технический институт -  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

Дисциплина: «Введение в специальность»

Курс лекций (часть 1)

дополненный и переработанный

*Учебное текстовое электронное издание  
локального распространения*

Разработал: Заведующий кафедрой «Специальное приборостроение»,

д.т.н. В.Н. Морозов

Саров, 2025 г.

## ЛЕКЦИЯ 1

### Тема 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПЕЦИАЛЬНОСТИ, ИЗУЧАЕМЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Содержание дисциплины включает в себя следующие разделы:

- общая характеристика специальности, изучаемые дисциплины;
- **история приборостроения в России;**
- **история развития физики, как основы приборостроения;**
- **российская инженерная школа - гарант технологической независимости страны;**
- **история радиосвязи;**
- **история развития электроники;**
- **волоконно-оптическая связь;**
- **история развития специального приборостроения в КБ-2 РФЯЦ-ВНИИЭФ;**
- **компетенции и технологии КБ-2 РФЯЦ-ВНИИЭФ;**
- **основы научной и инновационной деятельности.**

#### Цели и задачи освоения учебной дисциплины

*Целью изучения дисциплины «Введение в специальность» является получение студентами представлений об особенностях профессиональной деятельности специалистов в областях электронного и электромеханического приборостроения, о необходимых компетенциях для успешного осуществления этой деятельности, об истории и тенденциях развития науки и техники в соответствующих отраслях, о выдающихся ученых, инженерах и изобретателях, а также приобретение начальных знаний в областях, связанных с созданием и производством электронных оптоэлектронных и электромеханических систем.*

В процессе изучения дисциплины, как и любой другой, вы будете приобретать навыки самостоятельной работы с источниками научно-технической информации. Усвоение дисциплины будет способствовать приобретению вами общепрофессиональных и профессиональных компетенций, умения выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе вашей будущей профессиональной деятельности.

*Задачи изучения дисциплины:*

- сформировать общее представление о приборостроении в целом;
- заложить основу для развития профессиональных навыков;
- сформировать и обосновать выбор дальнейшей индивидуальной образовательной траектории по конкретному профилю специальности и специализации;
- сформировать набор начальных базовых знаний, необходимых для решения задач инженерной деятельности в области приборостроения.

## **План лекционных занятий**

### **Лекция 1.**

Тема 1. Общая характеристика специальности, изучаемые дисциплины.

Тема 2. История приборостроения в России.

**Лекция 2.** Тема 3. История развития физики, как основы приборостроения.

1 Предыстория физики: Эпоха античности. Средние века. Эпоха Возрождения.

2 Период становления физики как науки.

**Лекция 3.** Тема 3. История развития физики, как основы приборостроения (продолжение).

Период классической физики:

1 Первый этап (часть 1).

2 Первый этап (часть 2).

3 Второй этап.

4 Третий этап.

**Лекция 4.** Тема 3. История развития физики, как основы приборостроения (продолжение).

Период современной физики:

1 Первый этап.

2 Второй этап.

3 Третий этап

4 Тема 10. Российская инженерная школа - гарант технологической независимости страны

**Лекция 5.** Тема 4. История радиосвязи.

**Лекция 6.** Тема 5. История развития электроники.

**Лекция 7.** Тема 6. Волоконно-оптическая связь.

**Лекция 8.**

Тема 7. История развития специального приборостроения в КБ-2 РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Тема 8. Компетенции и технологии КБ-2 РФЯЦ-ВНИИЭФ.

**Лекция 9.** Тема 9. Основы научной и инновационной деятельности.

1 Основы научных исследований.

2 Инновационная деятельность.

**Компетенции студента, формируемые в результате освоения учебной дисциплины (модуля) / ожидаемые результаты образования и компетенции студента по завершении освоения программы учебной дисциплины**

Таблица 1.1

Коды компетенции	Наименование компетенции	Структурные элементы компетенции (в результате освоения дисциплины обучающийся должен знать, уметь, владеть)
1	2	3
<b>ОПК-1</b>	Способен представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	<b>Знать:</b> основное содержание научной картины мира, основные законы естественных наук и используемые в них методы научных исследований
		<b>Уметь:</b> профессионально и эффективно использовать полученные базовые знания о научной картине мира, основных законах естественных наук и используемых в них методах научных исследований при освоении учебных дисциплин по профилю подготовки в ВУЗе и при решении инженерных задач в области приборостроения в будущей производственной деятельности
		<b>Владеть:</b> способностью оценивать тенденции развития естественных наук применительно к задачам приборостроения, а также навыками эффективного использования полученных знаний и умений при освоении учебных дисциплин по профилю подготовки в ВУЗе и при решении инженерных задач в области приборостроения в будущей производственной деятельности
<b>ОПК-4</b>	Способен учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности	<b>Знать:</b> современные тенденции развития техники и технологий в области приборостроения
		<b>Уметь:</b> учитывать и эффективно применять полученные знания о современных тенденциях развития техники и технологий в области приборостроения в своей профессиональной деятельности
		<b>Владеть:</b> способностью оценивать современные научные тенденции применительно к задачам приборостроения, а также навыками эффективного профессионального использования полученных оценок в своей профессиональной деятельности.
<b>ПК-1</b>	Способен к анализу поставленной задачи исследований в области приборостроения	<b>Знать:</b> основные задачи и направления исследований в области приборостроения
		<b>Уметь:</b> анализировать поставленные задачи исследований в области приборостроения
		<b>Владеть:</b> способностью и методами анализа поставленных задач исследований в области приборостроения.

К приборостроению относятся две области человеческой деятельности:

- 1) часть машиностроения, занятая производством средств измерения, анализа, обработки и представления информации, устройств регулирования, автоматических и автоматизированных систем управления;
- 2) область науки и техники, разрабатывающая средства измерений, автоматизации и системы управления.

### **Общая характеристика специальности**

Любая профессия осваивается наилучшим образом тогда, когда склонности и черты характера человека в наибольшей степени совпадают с требованиями, предъявляемыми к работнику избранной профессии.

Избирающий профессию инженера должен четко представлять себе ее особенности, характер труда, требования, предъявляемые к нему профессией, понимать специфику труда на избранном поприще.

Основные виды деятельности инженера - проектирование технических изделий, организация их производства, грамотной эксплуатации и ремонта. Технические изделия призваны вносить все более эффективный вклад в повышение производительности труда и увеличение национального продукта.

В решении этой задачи первостепенную роль играет приборостроение, так как приборы используются как в области материального производства и его подготовки, так и в таких областях, как транспорт, охрана труда, народное образование и др.

Исторически первой задачей, выдвинувшей новые требования к приборостроению и обусловившей широкие перспективы его развития, явилась необходимость управления физическими процессами и контроля за их выполнением, т. е. задача автоматизации.

Приборостроение - бурно развивающаяся отрасль техники. Можно смело утверждать, что специалисты в области приборостроения требуются во всех отраслях народного хозяйства. В настоящее время в мире набирает силу вторая волна научно-технической революции (первая была в 60-е годы 20-го века). И, если первая волна была связана с такими, поистине революционными открытиями, как создание первых лазеров, ЭВМ на полупроводниковой элементной базе, оптико-электронных приборов 1-го поколения, разработке алгоритмов управления такими сложными процессами как, например, расчет космических баллистических траекторий летательных аппаратов, то теперь основным двигателем НТР (научно-технической революции) является массовое внедрение во все отрасли информационных технологий.

В то же время вторая волна НТР характеризуется и внедрением в контрольно-измерительную технику так называемых высоких технологий.

Всеобщее распространение компьютеров и создание на основе всемирных компьютерных сетей огромной базы данных дает возможность разрабатывать новые быстродействующие автоматизированные контрольно-измерительные системы.

Производственные фирмы в настоящее время ориентируются на обеспечение быстрого и широкого освоения достижений научно-технического прогресса и создание на этой основе конкурентоспособной продукции.

Период разработки новых изделий во многих случаях чрезмерно затягивается, в силу чего такие изделия к моменту их появления на рынке нередко оказываются морально устаревшими. Не всякая новинка, выпущенная на рынок, обеспечивает успех в конкурентной борьбе. Его добиваются лишь те фирмы, которые оперативно находят область, где необходимо создавать новый продукт, определяют, каковы должны быть его технические и эксплуатационные характеристики с точки зрения изменяющихся потребностей покупателя. Анализ, произведенный фирмами, занимающимися инновационным маркетингом, показал, что, например, для промышленности США коммерчески успешными оказываются лишь около 15% проектируемых изделий, а среди выпущенных на рынок новых видов продукции только 60 % завоевывают признание. Учитывая быстрый рост затрат на создание новых видов продукции и возрастание рыночного риска, промышленные компании за последние годы уделяют заметное внимание вопросам экономической оценки проектов, перспективных с коммерческой точки зрения. Набор параметров, определяющих конкурентоспособность изделия, относительно стабилен. В то же время значимость каждого из них меняется в зависимости от условий. С повышением требований к качеству промышленной продукции, надежного контроля параметров работающих машин и оборудования, необходимости контроля качества окружающей среды, возрастает и значение средств контроля.

Инженер-приборостроитель должен знать основные тенденции и направления развития приборостроительной техники и технологии соответствующей отрасли промышленности, их взаимосвязь со смежными отраслями; базовые языки и основы программирования, типовые программные продукты, ориентированные на решение научных, проектных и технологических, включая информационно-измерительные, задач приборостроения; элементную базу приборов и систем; технологические процессы и оборудование; основы проектирования и расчета приборов и устройств, включая этапы функционального, конструкторского и технологического проектирования, требования стандартизации технической документации; методы технико-экономического обоснования проектов, организации производства, основы маркетинга; различные классы приборов и систем, особенности их конструкции, технологии производства, а также условия и методы их эксплуатации.

Дисциплины, преподаваемые на 3, 4 и 5 курсах приведены в таблицах 1.2, 1.3 и 1.4, соответственно.

Таблица 1.2

Курс 3												
№ п/п	Дисциплины	Каф.	Семестр 5					Семестр 6				
			Контр.	Часов				Контр.	Часов			
				Всего	Лекции	Лаб.	Практ.		Всего	Лекции	Лаб.	Практ.
1	Социология	ФИИ		32	16		16					
2	Экономика	ЭТ						Зачет	32	16		16
3	Электротехника	ОТДиЭ	Экз.	96	48	28	20					
4	Аналоговая схемотехника	ОТДиЭ						Зачет	64	32	32	
5	Физические основы электроники	ОТДиЭ	Зачет	48	16	16	16					
6	Цифровая схемотехника	ОТДиЭ						Зачет	64	32	32	
7	Проблемы ядерной энергетики*/Ядерное нераспространение*	ТФ	Зачет	48	32		16					
8	САПР конструирования приборов и устройств	ОТДиЭ	Зачет			32	16					
9	Теория автоматического управления	ОТДиЭ	Экз.	64	32	16	16	Экз.	64	32	16	16
10	Элементы автоматики	ОТДиЭ						Экз.	64	32	16	16
11	Метрология, стандартизация и сертификация поток с эп	ОТДиЭ						Экз.	64	32	16	16
12	Конструирование механических систем автоматики	СПР	Экз.	64	32	16	16					
13	Материаловедение и технология конструкционных материалов	ОТДиЭ	Экз.	48	16	16	16					
14	Компонентная база радиоэлектронной аппаратуры	ОТДиЭ	Зачет	32	16	16						
15	Элективные курсы по физической культуре и спорту	ФВ	Зачет	48			48					
16	Прикладная механика	ОТДиЭ	Экз.	48	32		16					
17	Физические основы получения информации	СПР	Экз.	56	32	8	16	Экз.	56	32	8	16

\*- Дисциплина по выбору

Таблица 1.3

Курс 4												
№ п/п	Дисциплины	Каф.	Семестр 7				Семестр 8					
			Контр.	Часов			Контр.	Часов				
				Всего	Лекции	Лаб.		Практ.	Всего	Лекции	Лаб.	Практ.
1	Экономика организаций атомной отрасли и научно-производственных комплексов*/Планирование и управление научными исследованиями и разработками*	ЭТ	Зачет	32	16		16					
2	Психология труда*/Психология общения*	П						Зачет	32	16		16
3	Безопасность жизнедеятельности	ОТДиЭ	Зачет	32	16		16					
4	Системы автоматического управления и регулирования	ОТДиЭ	Экз.	64	32	16	16					
5	Программирование микроконтроллеров	ОТДиЭ	Зачет	48		48						
6	Цифровая обработка сигналов	ОТДиЭ	Экз.	64	32	16	16					
7	Микропроцессоры и микроконтроллеры	ОТДиЭ						Экз.	64	16	48	
8	Радиационная стойкость аппаратуры	РФ	Экз.	48	32		16					
9	Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства	РФ	Зачет	64	32		32	Экз.	144		36	36
9	Источники и приемники излучения	РФ						Зачет	32	16		16
10	Элементы аналогово - дискретных и аналогово - цифровых устройств	Рф						Экз.	48	16	16	16
11	Элективные курсы по физической культуре и спорту	ФВ	Зачет	8			48					
12	Методы неразрушающего контроля	СПР						Зачет	32	16		16
13	Датчики и методы регистрации	СПР						Зачет	48	16	16	16
14	Проектирование приборов и систем автоматики	СПР	Зачет	48	16		32	Экз.	48	16		32
15	Основы аддитивных технологий	СПР	Зачет	48	32		16					
16	Математическое моделирование приборов и систем	СПР	Экз.	64	32	16	16					
17	Основы НИОКР	СПР						Зачет	32	16		18
18	Основы проектирования электронных устройств на микросхемах с программируемой структурой	РФ						Экз.	64	16	32	16

\*- Дисциплина по выбору

Таблица 1.4

Курс 5												
№ п/п	Дисциплины	Каф.	Семестр 9				Семестр А					
			Контр.	Часов			Контр.	Часов				
				Всего	Лекции	Лаб.		Практ.	Всего	Лекции	Лаб.	Практ.
1	Основы технологии электронной компонентной базы	ОТДиЭ	Экз.	64	16	32	16					
2	Основы конструирования радиоэлектронных средств	ОТДиЭ						Зачет	48	16	32	
3	Электромагнитная совместимость технических средств	СПР						Зачет	48	32		16
4	Патентование и защита интеллектуальной собственности	ОТДиЭ							32	16		16
5	Инновационная экономика и технологическое предпринимательство*/Бизнес-планирование научной деятельности*	ЭТ						Зачет	48	16		32
6	Технологии сборки и испытания приборов	СПР	Экз.	64	32		32					
7	Система обеспечения качества разработок продукции	СПР						Экз.	4	32		32
8	Основы аэродинамики и теории полета	СПР	Зачет	64	32		32					
9	Средства испытаний БП и систем автоматики БП	СПР	Экз.	64	32		32					
10	Теория электропривода	СПР	Экз.	64	32		32					
11	Термодинамика и теплопередача	СПР	Экз.	64	32		32					
12	Источники электрической энергии. Питание бортовой аппаратуры	СПР	Зачет	48	32		16					
13	САПР приборов и систем автоматики	СПР							64	16	48	
14	Эксплуатация специальных приборов и обеспечение их безопасности	СПР						Экз.	64	32		32

\*- Дисциплина по выбору

## **ЛЕКЦИЯ 1**

### **Тема 2. ИСТОРИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ В РОССИИ**

#### **Развитие приборостроительной отрасли**

В дореволюционной России отсутствовало приборостроение как отрасль промышленности. После Октябрьской революции для преобразования технически отсталой страны в передовую индустриальную державу необходимо было создавать мощную энергетическую базу. И эта база была создана в результате реализации плана электрификации России (ГОЭЛРО).

Сооружение электростанций и энергосистем, электрификация промышленности, транспорта и других отраслей народного хозяйства потребовали соответствующего развития не только энергетического машиностроения и электропромышленности, но также и приборостроения.

В первую очередь потребовались электроизмерительные приборы, без которых невозможна работа электрических установок. Даже простейших амперметров, вольтметров и счетчиков электроэнергии не хватало. Поэтому в 1920 году на Петроградских заводах слаботочной электроаппаратуры им. Козицкого и им. Кулакова было организовано производство электроизмерительных приборов.

Первое в СССР крупное предприятие, специализирующееся на производстве электроизмерительной аппаратуры, - завод «Электроприбор» (г. Ленинград) - вошел в строй в 1927 г. Здесь впервые в мире была организована конвейерная сборка приборов. Для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на заводе в 1930 г. была создана Отраслевая лаборатория измерений (ОЛИЗ).

За первое десятилетие заводом было освоено производство электросчетчиков различных типов, щитовых электроизмерительных приборов для измерения тока, напряжения, частоты, мощности и др.

В 1925-1927 гг. в ряде высших учебных заведений началось преподавание курса электрических измерений.

Значительный вклад в подготовку кадров для электроприборостроительной промышленности внес Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина. При электротехническом факультете этого института в 1929 г. была организована кафедра электроизмерительной техники, являвшаяся в свое время единственной школой, где готовились приборостроители - будущие конструкторы и исследователи. Сотрудники кафедры одновременно повели большую научно-исследовательскую работу в области электрических и магнитных измерений, определявшую фундаментальные основы теории электрических измерений.

В январе 1941 г. на базе коллектива ОЛИЗ был по решению Правительства СССР создан Всесоюзный институт приборостроения (ВИЭП). В конце тридцатых годов вступает в строй Киевский завод КЗЭТА (в последующем «Точэлектроприбор»). В 1939 г. в г. Львове начали работать заводы «Контакт» и «Теплоконтроль». Среди других предприятий, занимавшихся в предвоенные годы

производством электроизмерительных приборов, были «Электроизмеритель» (г. Москва), «Электросчетчик» (г. Мытищи), «Электроаппарат» и «Пирометр» (г. Ленинград), завод им. Фрунзе (г. Горький), Харьковский электротехнический завод (ХЭЛЗ), завод Института физического приборостроения (г. Ленинград), а также специализированные приборостроительные мастерские Электротехнического института (г. Ленинград), Харьковского электротехнического института (ХЭТИ), Ленинградского химико-технологического института, Ленинградского электротехнического техникума и другие. Всего до 1941 года в СССР производством электроизмерительных приборов занимались 25 предприятий.

Увеличение мощностей, а соответственно и объемов производства электроизмерительных приборов сопровождалось значительным расширением их номенклатуры и повышением технических характеристик. Была создана большая гамма приборов, позволяющих проводить измерение разнообразных неэлектрических величин путем их предварительного преобразования в электрические. Появилось целое научное направление по созданию первичных преобразователей (датчиков).

С развитием в стране энерговооруженности интенсивно возрастало и число теплосиловых установок, и их мощности в электроэнергетике, добывающей и обрабатывающей промышленности, коммунальном хозяйстве, на транспорте что, в свою очередь, требовало большого числа приборов для контроля давления, расходов, температуры и других теплоэнергетических параметров.

Теплообменные процессы в химической, нефтеперерабатывающей промышленности, металлургии, машиностроении и ряде других отраслей нуждались в автоматическом регулировании и специальных регуляторах. Все это вызвало необходимость создания специальных лабораторий, конструкторских бюро и опытных производств контрольно-измерительных приборов (КИП) и лабораторий автоматики в научно-исследовательских институтах и на крупных предприятиях. В начале 30-х годов лаборатории автоматики с экспериментально-производственными мастерскими уже работали во Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ), Всесоюзном теплотехническом институте (ВТИ), Центральном котлотурбинном институте (ЦКТИ), Всесоюзном институте гидравлических машин (ВИГМ). Они создали много важных и нужных приборов и регуляторов, которые изготавливались мелкими сериями, а их применение открывало широкие возможности и перспективы автоматизации производственных процессов.

В 1918 г. был создан Государственный оптический институт (ГОИ) и организовано производство оптического стекла и оптико-механических приборов. В 1927 году молодое советское государство смогло прекратить импорт оптического стекла из-за границы. В 1925 году был создан Государственный трест оптико-механической промышленности, преобразованный в 1930 году во Всесоюзное объединение оптико-механической промышленности (ВООМП). В

1932 году, через два года после создания ВООМП, объем производства приборов на его заводах увеличился более чем в 10 раз по сравнению с 1926 годом.

Для промышленных производств, связанных с процессом горения химических, термических и термохимических процессов, требовались в значительных количествах приборы измерения, контроля и регулирования. В ряде научно-исследовательских институтов, крупных предприятий были организованы специальные лаборатории, конструкторские бюро и опытные производства для создания приборной техники.

В связи с дефицитом приборов для контроля высоких температур в 1929 г. в г. Ленинграде был введен в строй завод «Теплоэлектроприбор», а в 1932 году на его базе созданы завод «Пирометр» и Ленинградский институт пирометрии.

В эти же годы организуются производства приборов для авиации, морского флота, связи. Строятся часовые заводы.

Не менее важной проблемой для успешного развития зарождающейся индустрии страны являлась задача обеспечения промышленных предприятий приборами промышленного контроля. В этих целях уже в 1919г. в Москве на базе мелких предприятий и мастерских был создан завод «Авиаприбор», специализировавшийся на выпуске данной группы приборов.

В 1933 году из завода «Авиаприбор» выделился завод точных измерительных приборов «Тизприбор», который начал производить дифманометры типа кольцевых весов и приборы для нефтяной промышленности. В 1936 г. этот завод освоил производство ртутных поплавковых дифманометров местного и дистанционного действия, манометрических термометров и пневматических регуляторов, а также ряд тепловых показывающих и самопишущих приборов.

В 1934 г. на базе мастерских института промэнергетики в г. Харькове был создан завод «Теплоавтомат» по производству гидравлических систем автоматического регулирования процессов горения в паровых котлах. «Теплоавтомат» стал первым в Советском Союзе заводом, который еще в 30-е годы оснастил крупные электростанции того времени автоматическими системами регулирования. Наряду с этими системами завод начал в те годы поставлять автоматику для мартеновских печей, прокатных станков, морского флота и т.д.

Уже в конце 30-х годов заводы «Тизприбор», «Манометр», «Пирометр», «Теплоэлектроприбор», «Теплоавтомат» и трест «Теплоконтроль» с его предприятиями в значительной мере обеспечивали потребность в приборах теплотехнического контроля и автоматического регулирования.

Если потребность энергетики к концу 30-х годов в электроизмерительных и теплоизмерительных приборах и регуляторах в основном удовлетворялась, то в металлургии, химической, пищевой и других отраслях дело обстояло несколько хуже. Отставание развития отечественного приборостроения от быстро растущей потребности народного хозяйства в приборах и средствах автоматизации вызвало необходимость создания и развития отраслевого приборостроения.

В химической промышленности при Институте азота в конце 30-х годов была организована самостоятельная лаборатория контрольно-измерительных приборов и автоматики, которая в послевоенные годы выросла в Особое конструкторское бюро автоматики (ОКБА) с многочисленными филиалами и развитым производством специальных физико-химических приборов.

Подобные организации и предприятия были созданы и в других отраслях, и в первую очередь - отраслях оборонного значения (Авиапром, Судпром и др.), что имело большое значение для этих отраслей.

Дальнейшее развитие технологических процессов в металлургии, химической, нефтеперерабатывающей, фармацевтической, пищевой и других отраслях народного хозяйства потребовало использования новых, более совершенных методов и средств контроля и регулирования, основанных на автоматическом определении состава и структуры производимых высококачественных материалов и продуктов. Началось создание потенциометрических, кондуктометрических, фотоэлектрических, рентгеновских и других приборов промышленного физико-химического контроля и анализа. Появились спектральные, полярографические, хроматографические многокомпонентные аналитические установки. Разработка и производство таких сложных устройств потребовали создания соответствующих исследовательских лабораторий, конструкторских бюро и специализированных приборостроительных заводов.

Прогресс советского машиностроения был бы невозможен без испытательной техники и специализированных приборов, обеспечивающих точное определение механических свойств материалов и надежности конструкции в процессе разработки, изготовления и эксплуатации новых машин, материалов и сооружений. Поэтому неотложной задачей стало создание испытательных приборов и устройств, воспроизводящих в искусственных условиях разнообразные режимы нагружения материалов и конструкций, измерения их деформации и прочностных характеристик.

В довоенный период разработкой весоизмерительных приборов и испытательных машин занималось Московское экспериментально-конструкторское бюро, которое в 1939 г. было реорганизовано в Центральную научно-исследовательскую лабораторию (ЦНИЛмервес), а их производством - Московский экспериментальный завод испытательных машин и весов (МЭЗИМиВ).

К началу Великой Отечественной войны предприятиями приборостроения был освоен выпуск сложных приборов, не уступающих по своим характеристикам заграничным аналогам. В годы 1-й пятилетки (1929-1932 гг.) в составе ВСНХ (Высшего совета народного хозяйства) были организованы четыре объединения по выпуску мер и весов, электроизмерительных оптико-механических и теплоизмерительных приборов. Большинство приборостроительных заводов располагалось в европейской части Советского Союза (в том числе 18 в Москве и Ленинграде). В конце 30-х годов заводы-дублиеры были построены на востоке страны. Однако объем выпуска приборов все еще не удовлетворял потребности народного хозяйства и обороны и как самостоятельная отрасль приборостроение до начала Второй мировой войны сформироваться не успело.

Мирный труд советских людей был нарушен 22 июня 1941 года нападением фашистской Германии. С июля по декабрь 1941 года в связи с угрозой вражеской оккупации из европейской части было эвакуировано 2593 предприятия. В 1942 году все они полностью вошли в строй действующих.

В годы войны все приборостроительные заводы переключились на производство изделий оборонного значения: взрывателей, специальных часовых механизмов, радиостанций, аппаратуры для нужд авиации, флота, танковой и артиллерийской промышленности.

Война окончилась, и в 1946 году было образовано Министерство машиностроения и приборостроения СССР, в которое и вошли приборостроительные предприятия.

Восстанавливалось производство, развивалась наука, и все это требовало, в свою очередь, развития отрасли приборостроения, определяющей в значительной мере научно-технический потенциал страны.

В 1956 году было создано Министерство приборостроения и средств автоматизации. В этом же году было принято постановление «О развитии промышленности приборостроения и средств автоматизации», которым предусматривалось в течение 1956-1960 гг. построить 28 новых и реконструировать 17 действующих приборостроительных предприятий.

Принятые решения позволили увеличить объем выпуска приборной продукции в 1960 г. 3,2 раза по сравнению с 1955 годом.

В 1965 году было создано министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР (Минприбор СССР). В его состав включен комплекс предприятий, научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, проектных и монтажных организаций, осуществляющих разработку, производство, монтаж и ввод в эксплуатацию как отдельных устройств, так и систем автоматизации.

К концу 80-х годов в приборостроительной области насчитывалось свыше 620 предприятий и организаций с общей численностью работающих около 1 млн. человек.

Работы в приборостроительной отрасли велись по многим направлениям.

Некоторые из этих направлений мы рассмотрим.

### **Научные и аналитические приборы**

В дореволюционной России и в первые десятилетия образования СССР простейшие газоаналитические приборы для научных и промышленных целей производились в основном в лабораториях институтов или на промышленных предприятиях для их нужд. В 40-50-е годы в Академии наук СССР и на крупных предприятиях газоаналитического профиля создаются группы и конструкторское бюро по разработке приборов этого направления. Как упоминалось выше, в 1949 году Минхимпромом СССР было организовано Опытно-конструкторское бюро автоматики (ОКБА), которое в 1979 год стало головной организацией созданного научно-производственного объединения «Химавтоматика», призванного выполнять основной объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ отрасли. В состав НПО в дальнейшем вошло 20 предприятий, расположенных в местах сосредоточения химических производств.

В СССР сложились в основном две крупные структуры, занимавшиеся разработкой и производством масс-спектрометров: КБ аналитического приборостроения Академии наук СССР (г. Ленинград) со своими заводами и

опытным производством и Сумской завод электронных микроскопов. В 70-е годы к производству статических масс-спектрометров был подключен Завод научных приборов, г. Орел. Курировала вопросы разработки, производства и исследовательских работ созданная в 1953 году Комиссия по масс-спектрометрии Академии наук СССР.

Самая заметная роль в оснащении отечественной промышленности и научно-исследовательских организаций рентгеновской аппаратурой различного назначения принадлежит КБ рентгеновской аппаратуры, г. Ленинград, с опытным заводом и заводом «Красный Октябрь», г. Одесса, позднее вошедшими в научно-производственное объединение «Буревестник». В 70-е годы серийным производством научной и промышленной рентгеновской техники начал заниматься вновь построенный для этих целей Завод научных приборов, г. Орел. Разработку и поставку рентгеновских трубок для приборов осуществляло объединение «Светлана», г. Ленинград.

Новым этапом в развитии отечественного рентгеновского приборостроения явилось создание СКБ рентгеновской аппаратуры (СКБ РА) при Совете народного хозяйства СССР.

Для регистрации углового положения образца в момент возникновения дифракции и направления дифрагированных рентгеновских лучей используется гониометрическое устройство (гониометр). Совокупность рентгеновского источника излучения и гониометра со счетчиком квантов называют рентгеновским дифрактометром. Отечественной промышленностью разработаны, освоены и поставлены на серийное производство (НПО «Буревестник», г. Ленинград) серии дифрактометров общего назначения ДРОН и ряд других, предназначенных для специализированного применения (изучение структуры поликристаллов, монокристаллов, биологических объектов и др.).

При создании Минприбора СССР в 1965 г. наряду с другими производственными профильными главными управлениями, было организовано самостоятельное главное управление по производству аналитических и вторичных электронных приборов - Главаналитприбор.

В состав Главаналитприбора вошли 25 предприятий расположенных РСФСР, Украине, Белорусии, Грузии, Армении, Эстонии.

На период образования министерства потребность народного хозяйства в аналитических приборах удовлетворялась слабо. Не хватало газоанализаторов, в том числе для контроля содержания компонентов в выбросах промышленных предприятий и транспорта, приборов для анализа составов жидких сред, для контроля содержания легирующих элементов в сплавах и сыпучих материалах, промышленных масс-спектрометров, агрохимических лабораторий и т.д.

Поэтому одной из первейших задач руководства министерства стала разработка и реализация мер, направленных на развитие мощностей и увеличение выпуска аналитических приборов.

Не менее важной была проблема развития научных организаций, работающих в области аналитического приборостроения, обновление номенклатуры выпускаемых изделий и поиск принципиально новых методов измерений параметров вещества в газообразном, жидком или твердом агрегатном

состоянии. Эту задачу Минприбор СССР начал решать совместно с научными организациями Академии наук СССР и институтами смежных отраслей.

С 1965 по 1985 год большая часть организаций и предприятий Главаналитприбора были реконструированы, и на их основе созданы научно-производственные или производственные объединения. Уточнена специализация научных организаций и предприятий.

Основная нагрузка по разработке и выпуску аналитических приборов, естественно, легла на ведущие научно-производственные и производственные объединения Главаналитприбора.

Для производства аналитических приборов на предприятиях были созданы уникальные технологические процессы, освоено и внедрено высокоточное оборудование.

### **Приборы неразрушающего контроля**

Фундаментальные исследования по созданию и практическому использованию технических средств и методов неразрушающего контроля в различных областях человеческой деятельности были начаты в нашей стране в начале прошлого столетия. Однако крупносерийное промышленное производство технических средств НК получило развитие у нас только во второй половине прошлого столетия.

### **Радиационный метод НК**

С.В. Румянцевым была разработана современная теория и практика радиационного контроля в области радиографии, радиометрии, интроскопии и др. Ученые ВИАМ А.К. Трапезников и С.В. Чернобровов первыми провели научные работы в области рентгеновского неразрушающего контроля. Ими были разработаны методы регистрации дефектов и теоретические основы автоматизации систем рентгеновского контроля.

Важный вклад в развитие отечественного радиационного контроля внесла томская школа физиков, основанная проф. А.А. Воробьевым, Институт электросварки им. Е.О. Патона, Центральный НИИ конструкционных материалов «Прометей», ВНИИТФА (радиационная дефектоскопия, радиометрия, радиография, радионуклидная вычислительная томография), Московское НПО «Спектр» (радиационная интроскопия, радиационная вычислительная томография).

Промышленный выпуск отечественной рентгеновской аппаратуры был начат во второй половине 20-х годов на Московском рентгеновском заводе и Ленинградском заводе «Буревестник».

С началом Великой Отечественной войны производство рентгеновской аппаратуры резко сократилось (блокада Ленинграда, эвакуация завода «Мосрентген» в г. Актюбинск и переориентировка производства на выпуск оборонной продукции). Однако уже в первую послевоенную пятилетку производство рентгеновской аппаратуры быстро восстанавливалось, создавались дополнительные новые производственные мощности.

### **Акустический метод НК**

Большой класс приборов неразрушающего контроля основан на использовании акустических методов, к которым относят обширную область испытания материалов и изделий с применением упругих колебаний и волн.

Низкочастотные колебания звукового диапазона для целей контроля применяли очень давно, например, при оценке стеклянной или керамической посуды по «чистоте звона» или для оперативного контроля железнодорожных колес путем простукивания.

Появление ультразвуковой дефектоскопии связано с именами Жака и Пьера Кюри, обнаруживших в 1880 г. пьезоэффект, лорда Релея, разработавшего в 1880-1910 гг. теорию распространения звука в твердых телах, П. Лонжевена, предложившего в 1915 г. и реализовавшего в последующем гидролокацию.

Начало практического применения для неразрушающего контроля твердых тел высокочастотных акустических волн ультразвукового диапазона имеет в нашей стране точно определенную дату — 2 февраля 1928 г. Именно в этот день преподаватель Ленинградского электротехнического института, впоследствии профессор, член-корр. АН СССР С.Я. Соколов подал заявку на способ и устройство испытания металлов, на которую получил патент СССР за № 11371.

В 1935 г. под руководством С.Я. Соколова были изготовлены промышленные образцы дефектоскопов, которые успешно применялись на Ижорском, Балтийском, Кировском и других заводах.

Для контроля качества изделий из неметаллических материалов, обладающих значительно большим затуханием упругих волн, чем металлы, используют метод прохождения упругих волн.

С целью увеличения производства приборов неразрушающего контроля в 1959 году был создан в г. Кишиневе специализированный завод «Электроточприбор», а в 1963 году там же создается Всесоюзный научно-исследовательский институт по разработке методов неразрушающего контроля и средств контроля качества материалов (ВНИИНК), вошедшие в 1965 году в состав Минприбора СССР. С 1978 года на базе завода «Электроточприбор» и ВНИИНК было создано научно-производственное объединение «Волна».

В конце 90-х годов это объединение преобразовалось в АО «Интроскоп».

По разработкам ВНИИНК освоено производством более 300 типов промышленных ультразвуковых дефектоскопов, толщиномеров и установок автоматизированного контроля, а количество приборов и различного рода преобразователей, выпущенных НПО «Волна», превышает десятки и сотни тысяч, соответственно.

На развитие отечественной науки и производства приборов и аппаратуры неразрушающего контроля определяющее влияние оказали сложившиеся в стране научные коллективы (школы) ведущих в этой области институтов и организаций. Прежде всего, это школа ЛЭТИ (г. Ленинград) под руководством уже ранее упоминавшегося профессора, чл.-кор. АН СССР С.Я. Соколова. Здесь были созданы первые образцы ультразвуковых дефектоскопов. Во время войны 1941-1945 гг. коллектив ЛЭТИ участвовал в решении актуальнейших задач оборонного значения. Созданная С.Я. Соколовым в ЛЭТИ научная школа внесла

значительный вклад в развитие ультразвуковой дефектоскопии, нашедшей широкое применение практически во всех отраслях народного хозяйства. Работы С.Я. Соколова дважды отмечались Государственными премиями СССР.

К такой же категории по значимости относится и школа ЦНИИТмаш (Центрального научно-исследовательского института технологии машиностроения), первым руководителем которой по ультразвуковому контролю был А.С. Матвеев. Учеными ЦНИИТмаша проведены теоретические разработки и на их основе созданы уникальные приборы и установки для контроля обечаек атомных реакторов в процессе их механообработки, основного металла и сварных соединений сосудов для атомных станций, трубных соединений и т.д. Институт одним из первых начал разработку метода акустической голографии.

В начале 40-х годов начались работы по неразрушающему контролю в ВИАМе. Основателем этого направления и научной школы ВИАМ Д.С. Шрайбер (ВИАМ), воспринявший идеи С.Я. Соколова. Он разработал в 1949-1950 гг. установку для контроля пропеллеров самолетов, имеющих достаточно сложную геометрическую конфигурацию.

В лаборатории Д.С. Шрайбера была разработана аппаратура для ультразвукового контроля и под ее руководством было организовано внедрение ультразвукового (УЗ) контроля в авиационную промышленность. В ВИАМе были разработаны и внедрены на заводах отрасли методики УЗ контроля наиболее ответственных полуфабрикатов и деталей самолетов, вертолетов и двигателей.

### **Магнитный метод НК**

Не менее широкое использование в аппаратуре неразрушающего контроля нашли магнитный и оптический методы. Первое применение магнитных методов контроля для оценки состояния материалов и прочностных характеристик изделий и, в первую очередь, таких, как корпуса разрывных боевых снарядов, ружейных затворов, ружейных и артиллерийских стволов относится к началу XX века.

В 1935 г. в Военно-воздушной академии им. Жуковского была разработана первая дефектоскопическая установка, работающая на переменном токе, которую впервые применили для контроля силовых шпилек моторов на заводе им. Фрунзе. Две магнитные лаборатории - ЦНИИТмаша и научно-исследовательского института физики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова обеспечили развитие этого метода и создание отечественной аппаратуры и средств магнитного контроля.

Большой вклад в развитие и использование магнитных методов НК внесли Томский государственный университет и Сибирский физико-технический институт. Их работы продолжили в МВТУ им. Баумана, в институтах АН БССР, в институте физики металлов Уральского отделения АН СССР, Всесоюзном научно-исследовательском институте строительства магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), ВИАМ, НИИЭРАТ и в ряде других научных организаций.

В период 1990-2000 гг. Московское НПО «Спектр» разработало десятки новых приборов, успешно используемых в различных отраслях народного хозяйства.

### **Оптический метод НК**

Научной базой отечественной оптической метрологии является ВНИИМ (г. Ленинград) и ВНИИ оптико-физических измерений, которые ведут работы по метрологическому и методическому обеспечению средств оптического контроля.

Долгое время оптический контроль оставался преимущественно органолептическим и, в меньшей мере, визуально-оптическим, причем основу его инструментального обеспечения составляли оптико-механические приборы - измерительные и стереоскопические микроскопы, различные проекторы, бинокли и телескопы для осмотра удаленных объектов, визуальные спектральные приборы и т.д.

Громадная заслуга в разработке и организации производства этих приборов принадлежит Государственному оптическому институту (ГОИ). Прикладные аспекты физиологической оптики, теорию визуального поиска и обнаружения дефектов разрабатывали в НИИ глазных болезней им. Гельмгольца.

С 30-х годов, в связи с разработкой фотоприемников, получают развитие оптоэлектронные приборы объективного контроля (фотоколориметры, спектрофотометры, рефлектометры и т.д.). Разработка этих приборов в 30-40-х гг. велась в ГОИ.

В Физико-техническом институте (г. Ленинград) под руководством акад. А.Ф. Иоффе (ныне институт носит его имя) в эти же годы были созданы полупроводниковые и другие твердотельные фотоэлектронные приборы (фотодиоды, фототранзисторы, болометры и др.), которые стали элементной базой для широкого класса фотометрических средств контроля.

В предвоенные годы появились стереоскопические методы дистанционного контроля размеров и формы объектов. Созданный при ГОИ Ленинградский оптико-механический завод (ЛОМО) в кратчайшие сроки освоил серийное производство стереомикроскопов, стереодальномеров, других приборов для контроля изделий в электронике, машиностроении и других областях.

В годы войны были созданы филиалы ГОИ в Казани (Государственный институт прикладной оптики), оптические заводы в Новосибирске, Уфе и Самаре, которые работали на нужды обороны страны. Основное внимание разработчиков оптических приборов в годы войны было направлено на создание военных приборов (прицелы, стереотрубы и т.п.).

Послевоенные годы были периодом качественной перестройки отечественной промышленности. В эти годы происходит становление атомной, авиакосмической промышленности, развитие микроэлектроники и вычислительной техники. Это требовало создания адекватных методов и средств контроля, в том числе основанных на новых физических принципах. Возросшие объемы применения средств контроля потребовали создания специализированных организаций и соответствующей инфраструктуры, охватывающей разработки и производства этого специфического оборудования.

В 1964 году Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР создается институт интроскопии (ныне НПО «Спектр»).

Стремительному развитию индустрии НК способствовали выдающиеся открытия советских ученых академиков А.М. Прохорова и Н.Г. Басова в области лазерной техники, за что они были удостоены Нобелевской премии. Разработка волоконно-оптических световодов позволила создать световодные пирометры для контроля температуры в труднодоступных узлах и блоках. Исследования в области голографии, позволили создать принципиально новые методы и средства трехмерного контроля геометрии и структуры объектов.

В 70-х годах в МНПО «Спектр» были разработаны специальные средства оптического неразрушающего контроля - полярископы для подводных наблюдений, голографические интерферометры для исследования плазмы, приборы для контроля бриллиантов, средства для контроля качества изображения и др. В 1976-1980 гг. по разработкам МНПО «Спектр» была освоена в серийном производстве Харьковским производственным объединением (ХПО) «Точприбор» гамма волоконно-оптических эндоскопов, широко применяемых в авиации, судостроении, ракетной технике и других областях.

С середины 80-х годов в приборах оптического НК стали применяться лазеры, микропроцессоры, ПЭВМ и другие современные технические средства. Это качественно изменило их уровень, позволило поднять надежность и качество контроля, осуществить переход к микропроцессорным системам комплексного контроля и диагностики. К такой технике можно отнести лазерные сканирующие дефектоскопы, которые были использованы для контроля теплозащиты космического корабля «Буран».

В 80-е годы МНПО «Спектр» в содружестве с ХПО «Точприбор» и КБ «Энергомаш» провели работы по созданию и освоению серийного производства гаммы волоконно-оптических техноэндоскопов. Наряду с МНПО «Спектр» велись значительные работы по созданию и производству средств оптического НК во многих других отраслевых институтах и предприятиях.

### **Вибрационные методы НК**

Приборы для электрических измерений механических величин позволили акад. А.Н. Крылову провести еще в конце XIX века первые измерения вибрации на кораблях российского флота.

К началу 40-х годов появляется много различных виброизмерительных приборов, преобразующих измеряемые механические колебания в электрические с последующим их усилением и измерением. В довоенные годы по совокупности всех данных, определяющих работоспособность виброизмерительных приборов, наиболее универсальными оказались индукционные (магнитоэлектрические) приборы.

Малогабаритные индукционные датчики с подвесом на плоских пружинах выпускали серийно различные предприятия, в частности московский завод «Энергоприбор», а также Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ).

Параллельно создавались электромагнитные (индуктивные) приборы, работающие на несущей частоте. Достоинством таких приборов является высокая мощность выходного сигнала.

Создание пьезокерамик цирконата-титаната свинца и др. стало толчком для использования наиболее применяемых в настоящее время пьезоэлектрических датчиков вибрации и удара.

Достижения микроэлектроники в конце 60-х годов позволили создать пьезоэлектрические датчики со встроенными предварительными усилителями. В настоящее время применяют датчики, в которых пьезоэлементы работают на сжатие-растяжение и сдвиг.

На смену механическим виброметрам пришли электромеханические, затем электроламповые приборы, которые, в свою очередь, заменили транзисторные, а затем микросхемные приборы.

Одним из первых заводов (1970 г.), начавшим серийное производство виброизмерительной аппаратуры общего применения, был Таганрогский завод «Виброприбор».

В начале 80-х годов МНПО «Спектр» совместно с ЦНИИТМАШ и ЦКБ «Энергоремонт» была разработана контрольно-сигнальная аппаратура, освоенная в серийном производстве на Киевском ПО «Веда». Более 55% турбоагрегатов России было оснащено этой аппаратурой.

### **Современное отечественное приборостроение**

Как и большинство секторов обрабатывающей промышленности, приборостроение в постсоветские годы переживало стремительное падение. Теоретики и практики сходятся во мнении о том, что тяжелые реформы 90-х годов фактически разрушили научную, технологическую и материальную базу приборостроительной отрасли.

Многие предприятия в тот период оказались брошенными на произвол судьбы. Нарушилась технологическая цепочка, в которой были задействованы разработчики, производители и потребители высокотехнологичной продукции.

подавляющее большинство отечественных предприятий, в том числе даже мировые лидеры в области приборостроения, было вынуждено заботиться лишь о сохранении производственной базы и квалифицированного коллектива. При этом ресурсов для финансирования передовых разработок вообще не осталось.

Однако некоторые приборостроительные предприятия не только выжили, но и остались на высоком технологическом уровне. Этому способствовал доступ к зарубежной элементной базе, программному обеспечению, а также технологиям и технологическим системам. Многие современные российские уникальные приборы сделаны на зарубежной элементной базе.

Состояние большинства российских предприятий, как свидетельствуют данные аудиторских проверок 2022–2023 гг., кардинально изменилось: из 63 предприятий, действовавших в 1985 г., лишь 32 сохранили вид деятельности, причем 13 из них сжались до размеров малых и даже микропредприятий. 21 предприятие ликвидировано, а 10 изменили вид деятельности.

Сохранение вида деятельности отнюдь не означает сохранения объемов производства. Из 32 таких предприятий в 2022 г. лишь 11 демонстрировали «огромные» и «большие» масштабы деятельности, еще 8 – «существенные» и «заметные», а 13 деградировали до уровня малых предприятий. И как правило, организации, сумевшие удержаться в группе значимых производств, достигли этого за счет переориентации на нужды крупных компаний.

Самые крупные приборостроительные предприятия расположены в Барнауле, Новосибирске, Саранске и Москве. Крупнейшие предприятия отрасли — Мытищинский приборостроительный завод, Омский приборостроительный завод имени Козицкого и Саранский приборостроительный завод.

В основном наши приборостроители выпускают «тяжеловесную» продукцию для нужд крупных предприятий: например, оборудование для АЭС, коллекторные электродвигатели, автокомпрессоры; приборы для регуляции и контроля технологических процессов, приборы для автоматизации процессов (клапаны, пирометры, дозировочные насосы, агрегаты и фильтры, приборы пневматики и т.д.).

В иных, более «тонких», сферах жизни активности пока не наблюдается. Даже в благополучные с экономической точки зрения нулевые годы никто не торопился возрождать приборостроение, поскольку нужды предприятий и граждан легко удовлетворялись с помощью импортной продукции.

Эксперты отмечают, что отставание России от других стран в сфере приборостроения очень заметно. Особенно это касается самой насыщенной, массовой продукции.

Например, в области массовой потребительской электроники (мобильные телефоны, фотоаппараты, телевизоры и интегральные микросхемы для них) отечественный производитель не в состоянии конкурировать с Китаем или Южной Кореей. Впрочем, то же можно сказать и про Германию, про Италию и другие ведущие экономики мира. Пожалуй, только США еще готовы что-то противопоставить производителям из Юго-Восточной Азии, и то не на всех фронтах.

Однако проблема в том, что Россия пока не может конкурировать ни с Азией, ни с Европой. Самое серьезное отставание наблюдается именно в сфере выпуска продукции.

В России нет производителей современного уровня - уровня, который демонстрируют зарубежные производители (субмикронные проектные нормы, развитые библиотеки и «дизайн-киты»), промышленные IP-блоки, «системы на кристалле», «системы в корпусе»).

Это отставание было заложено еще в советские годы, когда в разработку не принималось ни одно изделие, если у него нет зарубежного аналога. Мы заранее обрекали себя на отставание, делали устройства, которые были лишь повторением западных разработок. При этом с возрастанием сложности изделий, с возрастанием степени интеграции отставание постоянно увеличивалось.

Причины упадка в области научного приборостроения известны: кризис высокотехнологичных производств, низкая масштабируемость производства научных приборов, недофинансирование науки и т.п. Но существуют и более

глубокие причины технологического отставания – это причины исторического и идеологического характера. Меры, предпринимавшиеся после 1990 г. для сохранения научного потенциала, были малоэффективны, а предпосылки технологического подъема не были созданы. Научная общественность сознавала такую необходимость и выступала с предложениями о формировании стратегического эшелона развития, призванного в условиях кризиса создавать эталонные производства будущего. Но эти предложения не были услышаны.

Попытки изменить ситуацию начались лишь с 2015 г., когда в рамках ФАНО был возрожден Совет по научному приборостроению, проведены две научно-практические конференции (2016 и 2018 гг.) и даже разработана «Программа научного приборостроения в организациях, подведомственных ФАНО России, на 2018–2020 гг.». Хотя программа носила рекомендательный характер, а ее финансирование не предусматривалось, уже сам факт ее формирования, как и коллабораций разработчиков и изготовителей научных приборов, подготовили почву для последующих инициатив. В 2021 г. в полтора раза увеличены капитальные затраты на оборудование для исследований и разработок. В ноябре 2022 г. создан консорциум «Научное приборостроение» с участием ведущих национальных исследовательских университетов, «Сколтеха», «Агентства по технологическому развитию» и ВНИИ оптико-механических измерений при Росстандарте. В планах консорциума разработка к 2024–2025 гг. документации для серийного производства 15 наиболее дефицитных приборов, а к 2030-му – более 100 видов научного оборудования. Минобрнауки разработало соответствующую программу в формате Федерального проекта «Развитие отечественного приборостроения гражданского назначения для научных исследований». Предусмотрено финансирование программы объемом около 4 млрд руб. в год. В июне 2023 г. завершен прием анкет-предложений по разработке научных приборов для включения в этот проект.

Речь идет опять-таки о наиболее востребованных приборах, о планомерном снижении зависимости от импорта ключевых узлов и компонентов, расширении номенклатуры выпускаемых изделий.

Но за всем этим не просматривается намерения воссоздать систему производств научного приборостроения, обеспечивающую в условиях рынка удовлетворение специфического спроса научных организаций. Видимо, мы вновь сталкиваемся с ситуацией, когда тактические цели превалируют над стратегическими.

Для того чтобы произошли реальные изменения в приборостроительной отрасли, государство должно оказать сектору приборостроения и машиностроения в целом мощную поддержку, обеспечить госзаказ на инновации и на другую продукцию, в противном случае отрасль может быть окончательно потеряна как «нерыночная».

Однако в данном случае нельзя отдавать все во власть невидимой руки рынка, нужно брать пример с американцев, которые не дали умереть своим неконкурентоспособным автомобильным заводам», говорят эксперты.

Представители научного сообщества также полагают, что поднять приборостроение можно только с помощью государства, причем масштабными

и комплексными действиями. Они считают необходимым развивать отрасль научного приборостроения.

Для этого необходимо, чтобы поднялись образование, наука, и техника в стране.

Необходимо обратить внимание на опыт Китая. Они пошли правильным путем - постепенно пришли от отверточной массовой сборки компьютеров к массовой электронике и микроэлектронике. То есть выполнили масштабную задачу - создание массового производства аппаратуры. И сейчас весь мир делает электронику и микроэлектронику в Китае, на Тайване, в Гонконге.

В экономике США работает около ста многоотраслевых корпораций, представляющих собой высокоинтегрированные компании. В таких условиях приборостроение и смежные отрасли неизбежно развиваются, поскольку есть потребность в данной продукции в рамках каждой корпорации.

Однако в России в настоящее время подобных корпораций нет. Даже «Газпром», несмотря на свою огромную капитализацию, не работает во множестве отраслей. Соответственно, спрос на продукцию приборостроения остается низким, а в таких условиях оно не может развиваться: для достижения качественного производства необходимы «большие тиражи».

Впрочем, стоит надеяться, что в условиях ухудшения экономической ситуации и усиления политической нестабильности руководство страны будет вынуждено отходить от сырьевой модели и двигаться к постиндустриальной экономике, не обходя индустриальную, разумеется. Тогда у приборостроения и других секторов машиностроения появятся шансы возродиться.

Известно, что приборостроение занимает видное место в промышленности развитых стран. Разнообразные измерительные, аналитические, геофизические и другие приборы, вычислительные и испытательные машины, устройства передачи данных, средства телемеханики и оргтехники, комплексные системы контроля и регулирования выпускают большое количество компаний США, Европейского Союза, Китая, России, Южной Кореи и многих других стран.

Всё большее место в приборостроении занимает производство электронной техники с поточными автоматизированными гальваническими, электрофизическими, электрохимическими, фотохимическими, диффузионными и др. процессами обработки полупроводниковых и изоляционных материалов, процессами печатного монтажа элементов и схем на модульных платах, специализированным оборудованием для получения электронных функциональных блоков.

Достижения вычислительной техники позволяют приборостроению существенно расширить арсенал методов и средств автоматизированного управления технологическим оборудованием, энергетическими установками, промышленными предприятиями, транспортными средствами, научными исследованиями. Вычислительные устройства также входят в состав измерительных, аналитических, испытательных, разведочных установок и систем в качестве средств хранения и математической обработки информации для получения синтезированных результатов. Они применяются и как средства программного управления различными машинами, станками, манипуляторами и

поточными линиями. Приборостроением создаются разнообразные средства обработки данных, ручного и автоматического формирования текстовой и графической информации для непосредственного использования в и передачи для дальнейшей машинной обработки.

Развитие автоматизации управления связано с совершенствованием сбора, передачи, обработки и представления информации посредством совмещения анализа технологических и экономических параметров для своевременного получения синтезированных показателей производства и деятельности предприятия в целом. Это путь развития интегрированных систем. Создание и распространение интегрированных систем связаны с выпуском необходимых унифицированных экономически целесообразных комплексов технических средств, алгоритмов, программ и типовых проектных решений автоматизации управления, применимых в различных отраслях народного хозяйства.

Важное значение имеет повышение информативности систем при одновременном сокращении количества частных сведений, представляемых человеку, что достигается за счёт расширения аналитической функции измерительных и вычислительных устройств. Существенно повышение автоматичности управления. Исследование технологических процессов, различных режимов работы оборудования и машин даёт возможность шире использовать методы адаптации систем управления для получения наилучших технико-экономических показателей.

Научные достижения в изучении различных состояний твёрдого тела, динамики движения жидкостей и газов, плазменной формы материи, физико-химических свойств веществ, энергетических преобразований, нестационарных полей, колебаний и излучений позволяют не только находить новые принципы действия приборов, но и повышать точность, надёжность и экономичность важнейших изделий приборостроения и обновлять их номенклатуру.

Ведущее место в приборостроении по количеству и разнообразию выпускаемых приборов занимают средства измерительной техники.

Крупным, быстро развивающимся направлением является аналитическое приборостроение, создающее устройства для определения состава и концентрации веществ в различных средах, материалах и продуктах. К ним относятся электрохимические, ультразвуковые, оптические, ядерные и иные анализаторы, сложные многопараметровые аналитические системы. Современные средства физико-химического анализа используют разнообразные явления, вызываемые воздействием электрического тока, электромагнитных волн или проникающей радиации на исследуемую среду. Отбор и подготовка проб, преобразование, разделение, дозирование веществ, возбуждение их активности, селектирование сигналов и представление информации автоматизируются.

Значительное место в приборостроении занимают средства передачи информационных сигналов и управляющих импульсов на большие расстояния (телемеханика).

Автоматизация технологических процессов невозможна без исполнительных механизмов, преобразующих управляющие импульсы в перемещение регулирующих органов производственного оборудования.

Кроме основных средств извлечения, формирования, хранения, передачи, представления и использования информации широкого научного и промышленного назначения, приборостроение создаёт и выпускает много различных специальных приборов для геофизики, гидрометеорологии, медицины, сельского хозяйства, транспорта, лабораторное оборудование, специализированные комплектные лаборатории, часы и ювелирные изделия.

Развитие микроэлектроники, оптоэлектроники, нелинейной оптики, микромеханики обогащает приборостроения, способствует созданию компактных надёжных экономичных измерительных, аналитических, разведочных и др. приборов, средств управляющих ЭВМ, телемеханики и автоматики. Монокристаллы с особыми физическими свойствами, полупроводниковые, эпитаксиальные и др. плёнки, жидкие кристаллы, твёрдотельные интегральные схемы, магнитострикционные элементы в качестве чувствительных воспринимающих, преобразующих и индикаторных сред качественно меняют характер изделий и технологию приборостроения.

Ведущей тенденцией в современном приборостроении является унификация элементно-конструктивной базы приборов и их системное применение. Унификация обеспечивается нормализацией информационных сигналов, параметров источников питания, метрологических показателей, конструктивных форм и размеров, технических требований и технологий, а также условий эксплуатации. Этим существенно упрощается и удешевляется проектирование систем и повышается надёжность их функционирования.

Как видим, настоящий уровень развития отечественного производства, его возрождение и подъем, достижения технологической науки и практики требуют от инженеров-приборостроителей освоения современных методов проектирования и совершенствования технологических процессов изготовления приборов, использования вычислительной техники для автоматизации конструирования изделий и проектирования технологий их изготовления, а также готовности к системному анализу быстро и непредсказуемо изменяющейся производственной и рыночной ситуации, к поиску нетрадиционных решений.

## ЛЕКЦИЯ 2

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 1. ПРЕДЫСТОРИЯ ФИЗИКИ (от древнейших времен до XVII века)

##### Часть 1. Эпоха античности (VI в. до н.э. - V в. н.э.)

С головокружительной быстротой современная наука открывает все новые горизонты. Человечество перестает удивляться новому, легко ниспровергает то, что вчера вызывало восторг и трепет и предсказывает фантастическое будущее тому, что завтра отбросит, как несостоятельное.

Однако наблюдательный взгляд просматривает в этом потоке свободной человеческой мысли повторяющиеся и узнаваемые черты далеких достижений и открытий, совершенных нашими далекими предшественниками. Древние цивилизации неожиданно, и порой практически одновременно генерировали целые серии идей, которые кардинально меняли образ мыслей и уровень жизни общества. Историки, археологи и лингвисты не устают поражать мир новыми открытиями из жизни древних, давно забытых народов, получают и оспаривают новые аргументы в пользу того, кому именно принадлежит первенство тех или иных открытий.

История зарождения и развития приборостроения неразрывно связана с историей естественных наук и, прежде всего физики.

Физика — наука, изучающая фундаментальные (наиболее общие) свойства и законы движения объектов материального мира. Предметом нашего рассмотрения станет выявление и краткий обобщенный анализ основных событий и тенденций в развитии физических знаний.

### ОСНОВНЫЕ ПЕРИОДЫ И ЭТАПЫ В РАЗВИТИИ ФИЗИКИ

#### 1 ПРЕДЫСТОРИЯ ФИЗИКИ (от древнейших времен до XVII в.)

Эпоха античности (VI в. до н. э. – V в. н. э.).

Средние века (VI – XIV вв.).

Эпоха Возрождения (XV – XVI вв.).

#### 2 ПЕРИОД СТАНОВЛЕНИЯ ФИЗИКИ КАК НАУКИ

Начало XVII в. – 80-е гг. XVII в.

#### 3 ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (конец XVII в. – начало XX в.)

Первый этап (конец XVII в. – 60-е гг. XIX в.).

Второй этап (60-е гг. XIX в. – 1894 г.).

Третий этап (1895 – 1904).

#### 4 ПЕРИОД СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ (с 1905)

Первый этап (1905 – 1931).

Второй этап (1932-1954).

Третий этап (с 1955).

До XVII века механика, физика, науки о Земле, астрономия и даже физиология были частью «пакета знаний», называвшегося «натуральная философия» и соединявшего позитивные сведения о природных явлениях и гениальные догадки (понятия пространства, времени, движения, идея естественной закономерности, бесконечность мира, континуум пространства, дискретная структура вещества) с умозрительными фантазиями и ошибочными заключениями о причинах этих явлений.

История физики, как самостоятельной науки, начинается в XVII веке с опытов Галилея и его учеников. Теоретический фундамент классической физики создал Ньютон в конце XVII века. Сочетание быстрого технологического развития и его теоретического осмысления в XVIII—XIX веках привело к выявлению коренных физических понятий (масса, энергия, импульс, атомы и т.д.) и открытию фундаментальных законов их взаимосвязи, хорошо проверенных в экспериментах.

В начале XX века сразу в нескольких областях была обнаружена ограниченность сферы применения классической физики. Появились теория относительности, квантовая физика, теория микрочастиц. Но количество нерешённых физических проблем по-прежнему велико, и это стимулирует деятельность физиков по дальнейшему развитию данной науки.

### **Ранние физические воззрения**

В Древнем мире происходило становление астрономии, оптики и других наук, прогресс в которых не только стимулировал развитие математики, но и сам во многом от неё зависел. В то же время развивалась натурфилософия, которая пыталась (в основном качественно) объяснять причины явлений. Если создать практически полезную модель явления природы не удавалось, её заменяли религиозные мифы (например, «молния есть гнев богов», «затмение Солнца вызвано происками дракона»).

Средств для проверки теоретических моделей и выяснения вопроса, какая из них верна, в древности было крайне мало, даже если речь шла о земных каждодневных явлениях. Единственные физические величины, которые умели тогда достаточно точно измерять, - вес, длина и угол. Эталоном времени служили сутки, которые в Древнем Египте делили не на 24 часа, а на 12 дневных и 12 ночных, так что было два разных часа, и в разные сезоны продолжительность часа была разной. Но даже когда установили привычные нам единицы времени, из-за отсутствия точных часов большинство физических экспериментов было бы невозможно провести. Поэтому естественно, что вместо научных школ возникали умозрительные или мистические учения.

### **Месопотамия и древний Египет**

Несмотря на большое число дошедших до нас документов древнего Египта и Вавилона (III—I тысячелетия до н. э.), ни один из них не содержит каких-либо сведений по физике. Наиболее развитой теоретической наукой была, видимо, астрономия, тогда ещё не отделившаяся от астрологии. Для нужд астрономии в Вавилоне разработали методы довольно точного измерения

времени и углов; точность вавилонских астрономических таблиц была намного выше, чем египетских.

В области прикладной механики, судя по впечатляющим сооружениям, египтяне и вавилоняне далеко продвинулись — они умело использовали при строительстве блоки, наклонные плоскости, рычаги, клинья и другие механизмы. Однако нет признаков того, что у них существовала какая-либо развитая физическая теория.

### Древний Китай

Древнейшие дошедшие до нас публикации в области естественных наук появились в Китае и относятся к VII веку до н. э.; возможно, были и более ранние. Китай уже в древние времена достиг высокого уровня развития строительства и ремесла, и накопленный опыт был подвергнут научному анализу. Расцвет китайской физики относится примерно к V—II векам до н. э. Результаты размышлений древнекитайских учёных были включены в различные общепублицистические сочинения, из которых выделяются труды Мо-цзы (IV век до н. э.) и его учеников («моистов»).

В той части труда «Моистский канон», где затронуты физические вопросы, основное внимание уделяется механике. Там предпринята первая попытка сформулировать закон инерции: «Прекращение движения происходит из-за противодействующей силы... Если не будет никакой противостоящей силы, то движение никогда не закончится». Далее упоминается некий «переход по мосту», что можно трактовать как утверждение о прямолинейности свободного движения. В других китайских сочинениях просматриваются (в чисто качественной формулировке) закон действия и противодействия, закон рычага, расширение тел при нагревании и сжатие при охлаждении.

Китайцы далеко продвинулись в открытии законов геометрической оптики, в частности, им была известна **камера-обскура**, причём принцип её работы был описан совершенно правильно (в трактате «Мо-цзин»). Примерно с VI века до н. э. китайцы начали использовать компас («указатель юга»), действие которого они объясняли воздействием звёзд и использовали также для гадания. Привычный нам компас со стрелкой появился впервые тоже в Китае в XI веке. Китайские учёные много занимались теорией музыки (в том числе резонансом) и акустикой.

В целом древнекитайская физика имела прикладной характер. Отдельные попытки обобщения огромного накопленного эмпирического материала носили метафизический или даже религиозный характер; например, привлекались понятия **инь/ян** и других природных стихий или **конфуцианская мистика**.

### Древняя Индия

Индийские натурфилософы представляли мир состоящим из пяти основных элементов: земля, огонь, воздух, вода и эфир. Последний заполнял пространство, а также считался носителем звука. Остальные элементы часто связывали с разными органами чувств. Около VII века до н. э. индийские учёные, начиная с основателя школы **«вайшешика»** Канады, сформулировали и стали развивать концепцию атомов. Приверженцы теории полагали, что атом состоит из

элементов, в каждом атоме находится до 9 элементов и каждый элемент имеет до 24 свойств.

Физика и механика древней Индии имеют отчётливый метафизический и качественный характер. Особенно подробно рассматривался вопрос о движении. По учению вайшешики, каждое тело может принимать участие в данный момент только в одном движении, которое встречает сопротивление и само себя разрушает. Причиной движения могут быть напор (в средневековой Европе называвшийся «импетус»), волевое действие и упругость; никакое тело не может само себя привести в движение. Вечное движение невозможно.

### Античная физика

Античная наука в Древней Греции опиралась на построенную греческими философами содержательную и целостную систему математических знаний — алгебраических и геометрических. Пифагорейцы (рисунок 2.1) провозгласили, что все природные явления (механика, астрономия, оптика, музыка и другие) подчиняются математическим законам. Такой подход позволил получить ряд ценных результатов, однако демонстративное дистанцирование многих античных учёных от опытной проверки своих теорий привело и к многочисленным заблуждениям.



Рисунок 2.1

Важнейшими источниками по истории античной физики являются труды **Платона, Аристотеля (IV век до н. э.), Архимеда (III век до н. э.), Герона и Лукреция Кара (I век до н. э.)** (рисунок 2.2), а также уцелевшие в цитатах фрагменты текстов других мыслителей. В отличие от мыслителей Китая и Индии, древнегреческие натурфилософы разработали ряд внемифических систем физических взглядов широкого охвата, построенных на основе единых и явно сформулированных принципов. Большинство этих принципов - например,

механика Аристотеля - оказались ошибочными. Исключение составили работы Архимеда и Герона, которые соединяли в себе физика-теоретика и умелого инженера, поэтому их открытия, с некоторым уточнением терминологии, остались и в современной науке. В целом греческая натурфилософия оказала огромное влияние на развитие науки и не имела конкурентов вплоть до XVII века. Значение античной физики в том, что она ясно поставила коренные проблемы структуры и движения материи, а также обсудила возможные пути решения этих проблем.



Рисунок 2.2

Ранние античные физики выдвигали различные гипотезы о том, что следует считать основой Вселенной, первоэлементом, из которого строится всё многообразие наблюдаемых объектов (рисунок 2.3). **Фалес** считал таковым воду, **Анаксимен** - воздух, **Гераклит** - огонь. **Анаксимандр** полагал, что все эти стихии вторичны и порождаются особой субстанцией, «апейроном». В системе **Анаксагора** число элементов бесконечно. С появлением хорошо аргументированной пифагорейской доктрины с тезисом «Числа правят миром» её концепции включились в этот спор, математика рассматривалась как своего рода идеальный скелет мира и прямой путь к познанию законов Вселенной. Тем не менее, качественные, метафизические модели мира в античной физике преобладали.



Рисунок 2.3

**Платон**, знаменитый философ **IV века до н. э.**, коснулся физических проблем в своём диалоге «Тимей» (рисунок 2.4). Несмотря на откровенно мистический характер изложенных там идей, этот труд оставил заметный след в истории науки и философии. Платон постулировал существование, наряду с материальным, ещё и идеального мира «чистых идей», устроенного по законам красоты и математики; реальный же мир представляет собой его размытую копию.



Рисунок 2.4

Платон признаёт четыре классические стихии: землю, воду, воздух и огонь, но наряду с ними — ещё и первичный элемент, порождающий прочие четыре, когда укладывается в фигуры правильных многогранников (рисунок 2.5). Платон даже нарисовал схему, какие многогранники соответствуют разным стихиям; например, куб соответствует земле, а пирамида — огню. С этих позиций Платон анализирует и объясняет различные физические процессы — горение, растворение, смену фаз воды, коррозию и т. д.



Рисунок 2.5

Появление апорий **Зенона** поставило труднейшую и до сих пор не решённую проблему: делимы ли материя, время и пространство бесконечно или для деления существуют какие-то пределы (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6

Одним из вариантов ответа на этот вопрос стал атомизм (Демокрит, V век до н. э.), согласно которому разные тела отличаются друг от друга не составом, а строением, то есть структурой соединения в них неделимых атомов (впрочем, допускалось наличие атомов разных типов и формы). Атомисты считали, что в природе нет ничего, кроме атомов и пустоты. Атомы обладают способностью достаточно прочно соединяться между собой, образуя вещество и другие наблюдаемые физические проявления (свет, тепло, запахи, магнетизм, электрические эффекты). Эпикур даже полагал, что свобода воли человека вызвана тем, что движение атомов подвержено случайным смещениям.

Атомисты провозгласили закон сохранения материи, естественным путём вытекающий из неразрушимости атомов. Первую формулировку этого закона предложил Эмпедокл (предположительно пифагореец) в V веке до н. э.:

*Ничто не может произойти из ничего, и никак не может то, что есть, уничтожиться.*

Позже аналогичный тезис высказывали Демокрит, Эпикур, Аристотель и другие натурфилософы (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7

**Аристотель (IV век до н. э.)** (рисунок 2.8) осудил модели своих предшественников как догматические и не подтверждённые наблюдениями. Единственным источником сведений о природе он признал анализ реального опыта, а вводить в теорию заведомо ненаблюдаемые понятия (вроде атомов или корпускул) принципиально недопустимо. Сам Аристотель старался на место догм поставить логические рассуждения и ссылку на общеизвестные физические явления. Термин «Физика» возник как название одного из сочинений Аристотеля. Учёному одно время приписывался содержательный труд «Механические проблемы», но, скорее всего, у этой книги был более поздний автор из Александрии, по взглядам близкий к школе Аристотеля.

Предметом физики, по мнению Аристотеля, является выяснение первопричин природных явлений:

*Так как научное знание возникает при всех исследованиях, которые простираются на начала, причины или элементы путём их познания (ведь мы тогда уверены в познании всякой вещи, когда узнаём её первые причины, первые начала и разлагаем её впрёд до элементов), то ясно, что и в науке о природе надо определить прежде всего то, что относится к началам.*

Вопреки стремлению Аристотеля к опытному обоснованию физики, такой подход, из-за отсутствия экспериментальной физики и точных измерительных приборов, ещё долго (фактически до Ньютона) отдавал приоритет метафизическим фантазиям. В частности, Аристотель и его последователи утверждали, что движение тела поддерживается приложенной к нему силой. Понятия скорости у Аристотеля, как и у других античных мыслителей, не было, так как для него требуется отношение пути ко времени, а греки признавали только отношения однородных величин (по той же причине отсутствовало понятие плотности).

Аристотель резко критиковал атомистов, заявив: если атомов бесконечно много и они движутся, то у них должно быть бесконечно много «движущих причин», но тогда мир обратился бы в хаос. Большинство движений, по Аристотелю, происходят потому, что тела стремятся занять свои естественные места — например, для тяжёлых тел такое место находится в центре Земли, отсюда возникает эффект падения. Тяжёлые предметы, по мнению Аристотеля, падают быстрее, чем лёгкие той же формы, и время падения обратно пропорционально весу тел. Аристотель рассматривал также и «искусственное движение» под влиянием приложенной силы, но считал, что с прекращением воздействия тело остановится. Очевидное противоречие с опытом — например, летящая стрела движется вовсе не по вертикали - Аристотель объяснял тем, что стрелу поддерживает возмущение воздуха, созданное при выстреле. Он отрицал возможность пустоты, так как в ней невозможно определить «естественное движение».

Аристотель отверг и модель Платона. Он указал, что она не объясняет многие реальные явления, например, рост давления пара при закипании воды, а связь свойств стихий с многогранниками есть произвольный домысел. Взамен Аристотель предложил столь же надуманную «теорию качеств».

Всё же часть изложенных у Аристотеля физических знаний выдержала испытание временем и, с соответствующими уточнениями, укоренилась в науке. При описании принципа действия весов он дал (в несколько туманной формулировке) условие равновесия рычага. В акустике он правильно описал, что источником звука от звучащего тела является сжатие и разрежение воздуха, а эхо вызвано отражением звука от препятствий.

Система Аристотеля просуществовала почти два тысячелетия, за это время она подверглась многочисленным толкованиям и комментариям. Большой спор вызвал, например, вопрос о том, как меняется вес тела по мере его приближения к центру Земли — одни считали, что вес растёт, другие — что он падает до нуля.

**Предыстория физики**  
Эпоха античности  
**Физика Аристотеля**

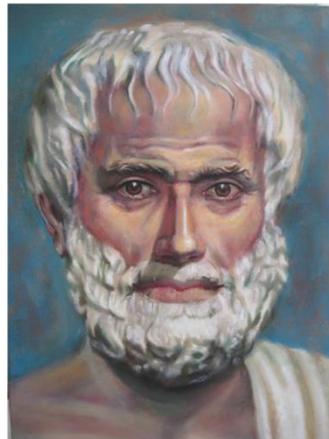


Рисунок 2.8

После **IV века до н. э.** идейные системы афинской научной школы, недостаточно связанные с опытом, обогащаются более практичным подходом александрийской школы. Александрийские греки разработали несколько количественных (изложенных математически) теорий и описали их практическое применение; среди учёных и изобретателей этого периода особенно прославились **Архимед, Ктесибий и Герон Александрийский** (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9

Архимед ясно изложил теорию рычага и механического равновесия, сделав вывод: «величины уравниваются на длинах, обратно пропорциональных тяжестям» (рисунок 2.10). Он дал определение центра тяжести и нашёл его положение для треугольника и других фигур. Архимед подсчитал величину выталкивающей силы жидкости (закон Архимеда).



Рисунок 2.10

В IV веке н. э. **Синезий Киренский**, ученик **Гипатии**, (рисунок 2.11) на основе открытий Архимеда изобрёл ареометр для определения удельного веса жидкостей.

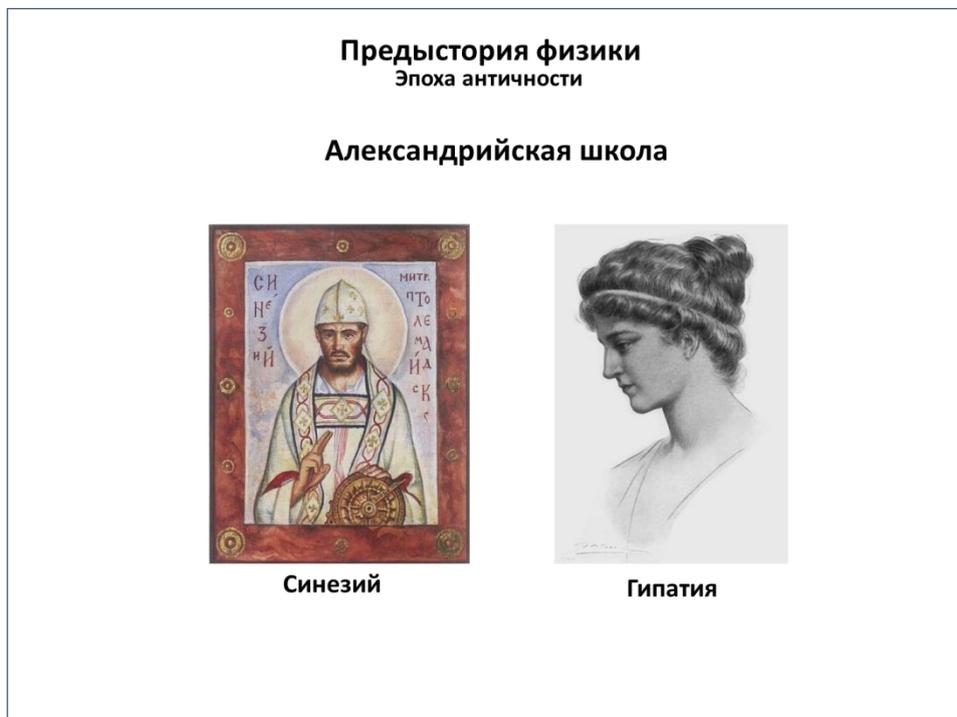


Рисунок 2.11

Ещё **Эмпедокл** и **Анаксагор** экспериментально доказали упругость воздуха. **Герон**, обобщая накопленный опыт по гидравлике, опубликовал двухтомное учебное пособие «Пневматика». Сжимаемость газа, писал Герон, доказывает, что он состоит из частиц, разделённых пустотой. В «Пневматике» описано множество

технических устройств, в том числе **первая паровая турбина (эолипил)** (рисунок 2.12). Большой вклад был внесен в теоретическую акустику и теорию музыки.



Рисунок 2.12

Эллины успешно развивали геометрическую оптику. **Евклид** в книгах «Оптика» и «Катоптрика» (рисунок 2.13) глубоко исследовал законы перспективы и теорию зеркал. Другой труд большого объема по оптике написал Архимед, но он не сохранился. Известно, что Архимед измерил угловой диаметр Солнца и получил довольно точный результат: между 27' и 33' (угловых минут). У Герона встречается первый **вариационный принцип** «наименьшего пути» для отражения света.



Рисунок 2.13

**Клавдий Птолемей** (рисунок 2.14) в своём трактате «Оптика» подробно описал **астрономическую рефракцию** и указал, что она поднимает видимые изображения светил. Тем не менее, в оптике древних греков были и грубые ошибки. Например, угол преломления считался пропорциональным углу падения (эту ошибку разделял даже Кеплер), изображение на сетчатке глаза ещё не было открыто, и поэтому зрение связывалось с особыми лучами, исходящими из глаз человека и животных. Гипотезы о природе света и цветности были многочисленны, но чисто умозрительны.



Рисунок 2.14

Римская империя поддерживала в первую очередь высокий уровень развития инженерного искусства (строительство, военная техника, водопроводы и др.). Из руководств по практической инженерии большой интерес представляют «Десять книг об архитектуре» **Витрувия** (I век до н. э.) (рисунок 2.15), содержащие ряд перспективных физических идей. Витрувий характеризует звук как волны в воздухе, пишет о круговороте воды в природе (многие его современники верили в самозарождение воды в пещерах из воздуха), утверждает, что ветры образуются от «напряжения водяных паров».

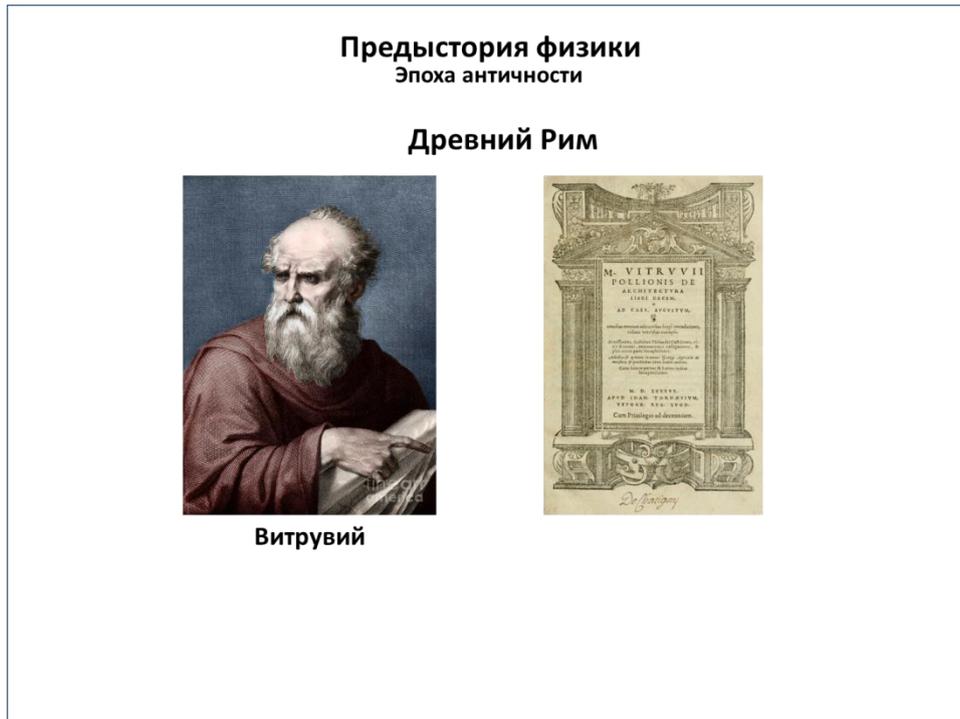
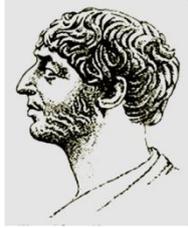


Рисунок 2.15

Несколько римских мыслителей (рисунок 2.16) оставили сочинения по теоретико-физическим проблемам — частью под греческим влиянием, частью оригинальных. **Тит Лукреций Кар** (I век до н. э.), по своим взглядам эпикуреец, написал поэму «*О природе вещей*». Поэма содержит попытки объяснения различных явлений (в том числе магнитного притяжения) с позиций атомизма Демокрита. Другой римский сторонник атомизма, **Сенека**, в своём семитомном труде «*Исследования о природе*» даёт объяснения электричеству, небесным явлениям, кометам, свойствам воды, воздуха и света. Объяснения Сенеки по большей части «легкомысленны» — например, цвета предметов, по его мнению, возникают при смешении солнечного света с тёмными облаками. Ещё больше фантазий в книге **Плиния Старшего** «*Естественная история*» — например, что алмаз экранирует магнит, что звёзды могут спускаться на мачты кораблей, образуя «огни святого Эльма» и др. Полководец **Секст Юлий Фронтин** (I век н. э.), которого на склоне лет назначили смотрителем городского водопровода, оставил сочинение «*О римских водопроводах*»; в нём он впервые, за полтора тысячелетия до Торричелли, отметил, что скорость вытекания воды из сосуда зависит не от ширины отверстия, но от уровня воды в сосуде.

**Предыстория физики**  
Эпоха античности

**Древний Рим**



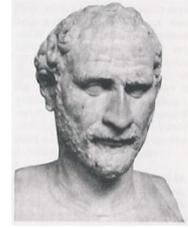
**Лукреций**



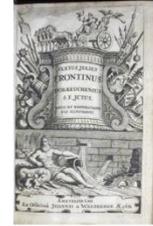
**Сенека**



**Плиний старший**



**Фронтин**



**Рисунок 2.16**

## ЛЕКЦИЯ 2

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Раздел 1. ПРЕДЫСТОРИЯ ФИЗИКИ (от древнейших времен до XVII века)

Часть 2. Средние века (VI - XIV вв.)

#### Страны ислама

Золотой век науки в исламских странах длился примерно с IX по XIV век (до монгольского завоевания). В этот период главные труды греческих и индийских учёных были переведены на арабский, после чего арабские, персидские и тюркские мыслители развили и прокомментировали эти труды, а в ряде случаев предложили новые физические модели. Основное внимание исламские учёные (рисунок 2.17) уделяли оптике и технической механике (в теоретической механике существенного продвижения не было).

**Абдуррахман аль-Хазини (XII век)**, автор трактата «**Книга весов мудрости**» (1121), продолжил исследования Архимеда по рычажным весам и центрам тяжести. В книге описаны многочисленные практические применения изложенных принципов, включая способы обнаружить ювелирные подделки, приводится таблица удельных весов разных материалов. Аль-Хазини пошёл дальше Архимеда и распространил его закон на тела в воздухе: при откачке воздуха из резервуара находящиеся там тела становятся тяжелее. Дополнительную ценность книге аль-Хазини придают включённые в неё результаты Омара Хайяма и Аль-Бируни, связанные с темой точного взвешивания и расчёта удельного веса.

В оптике крупнейший после Птолемея вклад сделал **Ибн аль-Хайсам (XI век)**, в Европе его называли «*Альхазен*»), автор монографии «**Книга оптики**». Альхазен отверг древнюю гипотезу о лучах зрения, исходящих из глаз, дал правильное описание строения глаза и свойств **бинокулярного зрения**. Он, однако, полагал, что изображение внешних предметов формируется внутри хрусталика. Альхазен высказал предположение о конечности скорости света и проводил опыты с **камерой-обскурой**, опыты по преломлению света и эксперименты с различными видами зеркал. Он установил, что отражённый от криволинейного зеркала луч находится в плоскости, содержащей падающий луч и нормаль к поверхности. Взгляды Альхазена (без упоминания его имени) были детально изложены в книге Эразма Витело (Вителлия), которая появилась в 1271 году и заслужила большую популярность; эта книга издавалась на протяжении 300 лет и существенно содействовала развитию оптики в Европе.

**Аль-Джазари (1136—1206)**, один из крупнейших арабских изобретателей, в своем сочинении «**Книга грёз**» описал коленчатый вал, клапанные насосы, водоподъёмные машины, водяные часы, музыкальные автоматы и другое. Аль-Джазари принадлежат такие технологические новшества, как: ламинирование древесины, кодовые замки, гибрид компаса с универсальными солнечными часами для любых широт и т. д.



Рисунок 2.17

## Средневековая Европа

В христианской Европе научные исследования фактически начались в **XIV** веке. До этого можно упомянуть только несколько достижений: изобретены очки, правильно объяснено явление радуги, освоен компас. Французский учёный **Пьер де Марикур** в **1269** году издал обширное исследование свойств магнитов (рисунок 2.18), где указал, помимо прочего, что намагниченный предмет можно перемагнитить, и что источником магнетизма являются небесные «полюса мира».

В **XI-XIV** веках появились латинские переводы арабских и уцелевших греческих текстов. Эти работы оказали значительное влияние на таких средневековых философов, как Фома Аквинский. Средневековые схоласты искали способ согласовать античную философию с христианской теологией, провозглашая Аристотеля самым выдающимся мыслителем античности. Физика Аристотеля, в тех случаях, когда она не противоречила учению церкви, стала основой физических объяснений.

В соответствии с учением Аристотеля, средневековые мыслители считали, что тела тяготеют к их естественному месту пребывания. Например, «тяжёлые» тела тяготеют вниз, «лёгкие» — вверх. Как указано выше, считалось, что для поддержания движения требуется некоторая сила, без силы движение прекращается. Эта модель подверглась аргументированной критике **Иоанном Филопоном** (рисунок 2.18) уже в **VI** веке н. э. Филопон выдвинул ряд вопросов, для которых механика Аристотеля не даёт правильного ответа, например: почему камень, брошенный рукой вертикально вверх, после отрыва от руки продолжает некоторое время двигаться вверх, хотя сила броска на него больше не действует? Если движение брошенного тела поддерживает, по мнению Аристотеля, возмущение воздуха, то что поддерживает движение колеса, приведенного толчком во вращение вокруг своей оси, ведь воздух тут явно ни при чём?

Филопон также отверг мнение Аристотеля, что тяжёлые тела падают быстрее лёгких.

Для ответа на эти вопросы средневековые учёные (Филопон, позднее - **Буридан**) разработали теорию импетуса (встроенной силы движения). Это понятие было шагом в сторону концепции инерции, хотя всё же существенно отличалось от него, так как предполагала, что на брошенные тела продолжает действовать некоторая унаследованная сила.



Рисунок 2.18

В **XIV** веке английская группа учёных (так называемые «Оксфордские калькуляторы») (рисунок 2.19) провела новое исследование нерешённых проблем механики. Они также критиковали механику Аристотеля, уточнили определение скорости и ввели понятие мгновенной скорости, детально изучили равноускоренное движение.



Рисунок 2.19

Эти работы продолжил парижский натурфилософ **Буридан** и его ученики **Никола Орем** и **Альберт Саксонский** (автор понятия угловой скорости вращения) (рисунок 2.20). Школа Буридана не только подвергла разносторонней критике архаичные выводы Аристотеля, но и продвинулась к новой механике, близко подойдя к механическому принципу относительности. Буридан писал, что импетус, соединяясь с тяжестью, ускоряет падение тела; он также, в осторожных выражениях, допустил суточное вращение Земли.



Рисунок 2.20

## ЛЕКЦИЯ 2

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Раздел 1. ПРЕДЫСТОРИЯ ФИЗИКИ (от древнейших времен до XVII века)

Часть 3. Эпоха возрождения (XV - XVI вв.)

#### Период первоначального накопления знаний

Эпоха возрождения. 15 век, **Николай Кузанский** (настоящее имя Николаус Кребс) – немецкий мыслитель (рисунок 2.21).

С именем Николая Кузанского связаны важные натурфилософские представления о движении Земли, которые не привлекли внимания его современников, но были оценены позже. Заметно опередив своё время, он высказал мнение, что Вселенная бесконечна, и у неё вообще нет центра: ни Земля, ни Солнце, ни что-либо иное не занимают особого положения. Все небесные тела состоят из той же материи, что и Земля, и, вполне возможно, обитаемы, хоть их жители могут быть несоизмеримыми с земными. Почти за два века до Галилея он утверждал: все светила, включая Землю, движутся в пространстве, и каждый наблюдатель вправе считать себя неподвижным. Видимое движение небосвода он объяснял осевым вращением Земли. У него встречается одно из первых упоминаний о солнечных пятнах. Николай Кузанский сомневался в астрономической точности юлианского календаря — и призывал к календарной реформе (эта реформа долго обсуждалась и была реализована только в **1582** году).

Астрономические труды Николая Кузанского, по мнению историков науки, оказали (прямое или косвенное) влияние на взгляды Коперника, Джордано Бруно и Галилея.

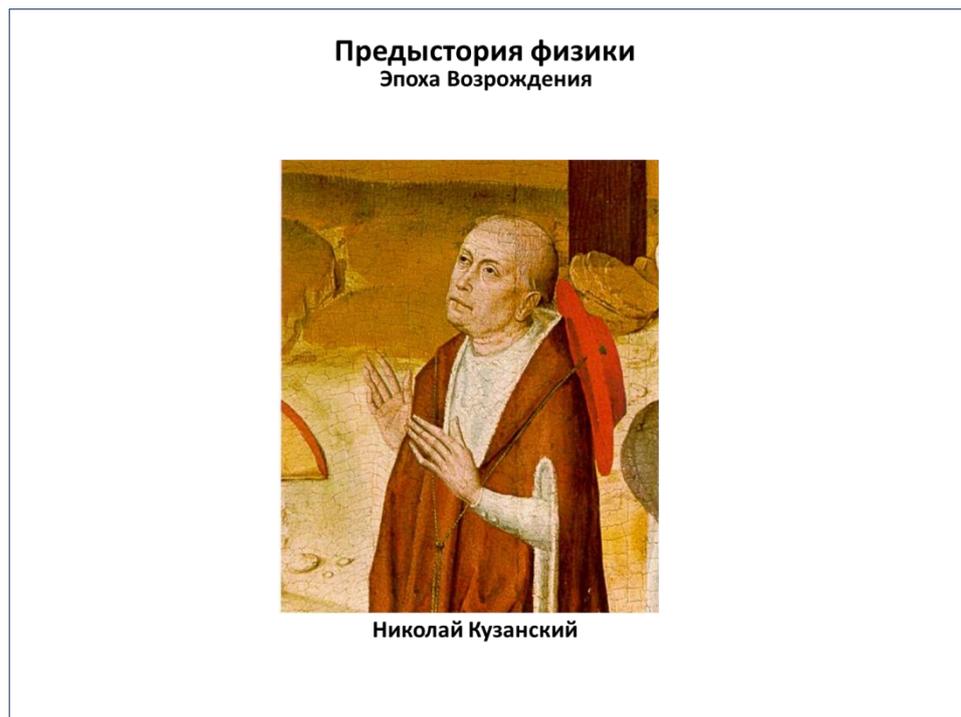


Рисунок 2.21

**15 век, 1440-й год** происходит важное событие для научной жизни. Немец **Иоганн Гутенберг** (рисунок 2.22) изобретает книгопечатание и конструирует свой первый станок, для того, чтобы печатать книги (рисунок 2.23).

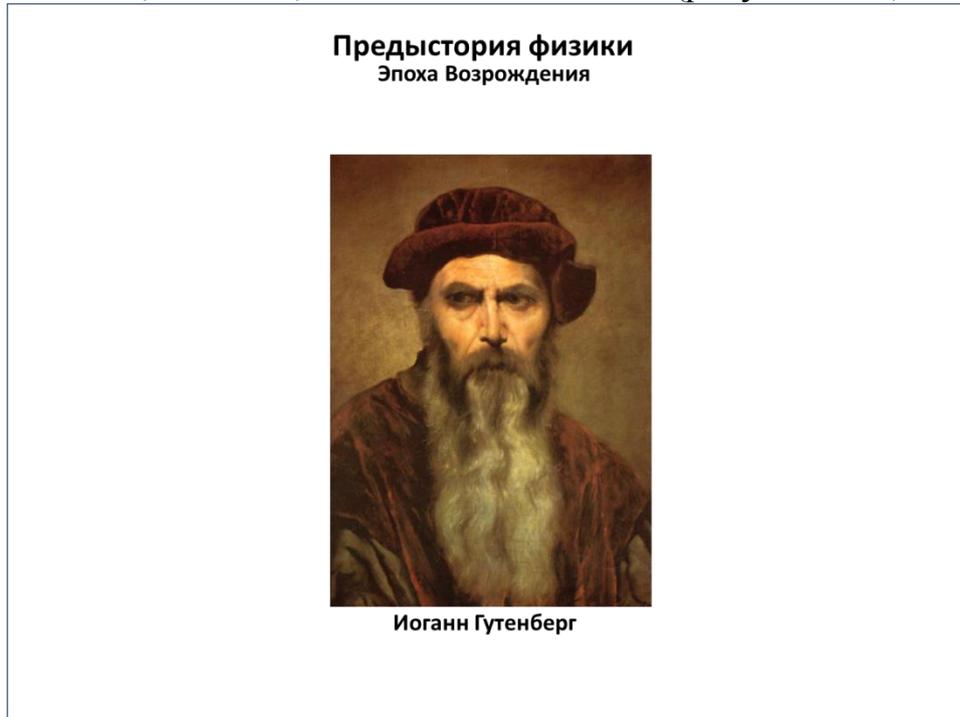


Рисунок 2.22

(деревянной печатной машины, аналогичной сельскохозяйственным винтовым прессам того периода). И впоследствии все ученые свои рукописные трактаты могли издавать в печатном виде и распространять. Это оказало огромное влияние на европейскую культуру и экономику. В основе этого было распространение знаний и обучения в массах. Таким образом, началась новая эра в научном прогрессе.



Рисунок 2.23

**15-й век.** Время жизни, творчества и появления знаменитых трудов великого итальянского художника и ученого **Леонардо да Винчи** (рисунок 2.24) , который исследовал движение, который исследовал тело, брошенное вертикально и горизонтально, который создал таблицу коэффициентов трения различных материалов,



Рисунок 2.24

который, кроме этого, исследовал анатомию человека, (рисунок 2.25)



Рисунок 2.25

который создал целый ряд изобретений для передачи механических движений – это шарикоподшипник, зубчатая и цепная и передача, и двойное соединение, которое в настоящее время называется карданным (рисунок 2.26),



Рисунок 2.26

Леонардо да Винчи изобрел ножницы, парашют (рисунок 2.27),



Рисунок 2.27

Велосипед (рисунок 2.28),

**Предыстория физики**  
**Эпоха Возрождения**

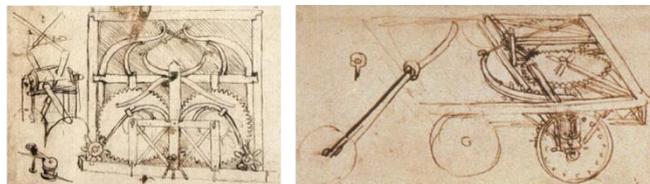


Велосипед

Рисунок 2.28

прообраз автомобиля – самодвижущуюся тележку (рисунок 2.29).

**Предыстория физики**  
**Эпоха Возрождения**



Самодвижущаяся тележка

Рисунок 2.29

Кроме этого Леонардо да Винчи знаменит тем, что создал, так называемый колесцовый замок для пистолета (рисунок 2.30), это единственное его изобретение, которое получило признание и распространение при его жизни. Это устройство для того, чтобы поджигать порох внутри огнестрельного оружия, механизм, в котором необходимая для воспламенения порохового заряда искра высекается с помощью вращающегося колёсика с насечкой.

Большинство изобретений Леонардо да Винчи, к сожалению, слишком опережали свое время и не нашли практического применения во время его жизни, хотя огромное количество военных машин, которые он создал, находили применение в то время, когда он жил и работал.



Рисунок 2.30

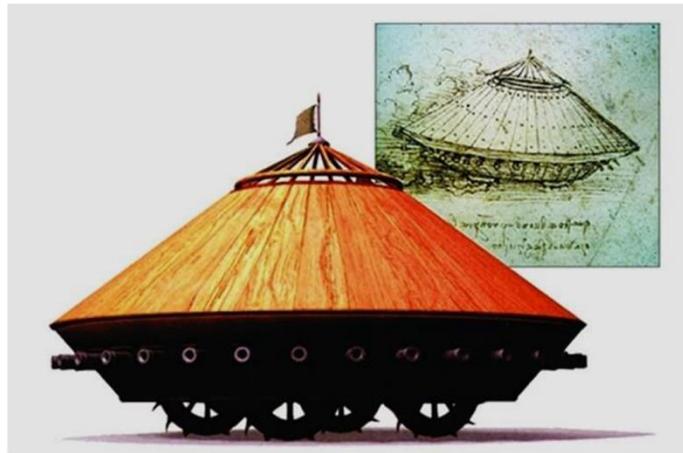
В том числе и гигантский арбалет (рисунок 2.31)



Рисунок 2.31

И есть его иллюстрация военной машины, которая является прообразом танка (рисунок 2.32).

**Предыстория физики**  
Эпоха Возрождения

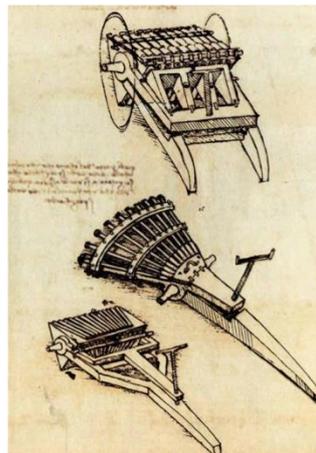


Прообраз танка

Рисунок 2.32

Известны его работы по созданию автоматических устройств наподобие современного пулемета (рисунок 2.33) и т.д., и т.д. Ну, конечно, военные машины были очень востребованы в те времена, и поэтому Леонардо да Винчи значительную часть своего времени посвящал именно проектированию вот этих военных машин.

**Предыстория физики**  
Эпоха Возрождения

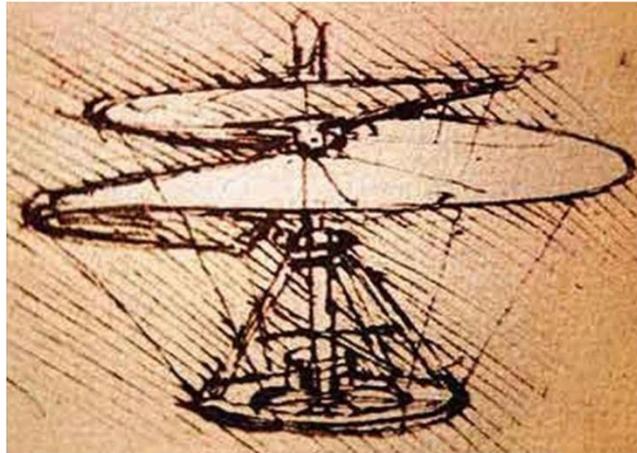


Прообраз пулемета

Рисунок 2.33

То, что касается летательных аппаратов, ну, конечно, изобретение геликоптера-вертолета всем известно (рисунок 2.34).

**Предыстория физики**  
Эпоха Возрождения

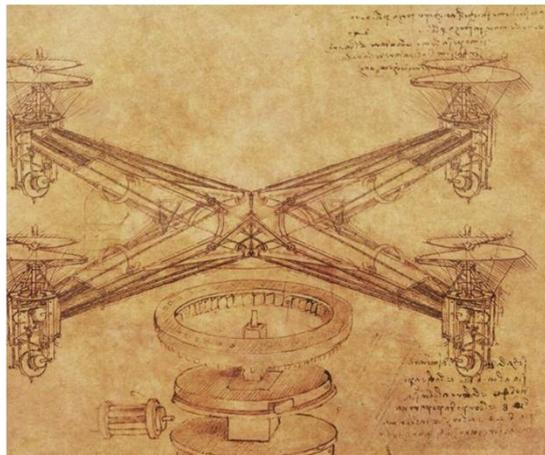


Геликоптер

Рисунок 2.34

Кроме того есть иллюстрации проекта квадрокоптера (рисунок 2.35)

**Предыстория физики**  
Эпоха Возрождения



Проект квадрокоптера

Рисунок 2.35

Леонардо да Винчи много сил и времени посвятил исследованию полета птиц (рисунок 2.36). Он считал, что если он досконально изучит, как устроена анатомия птицы, т.е. как она набирает высоту, как происходит ее полет. Он считал, что на основе этих знаний он сможет построить летательный аппарат.

Когда он занимался этими исследованиями, он говорил так: «Кто знает все, тот может все», т.е. он старался получить как можно больше знаний, чтобы с помощью этих знаний реализовывать практические конструкции.

Леонардо да Винчи также в своих работах исследует природу инерции, он устанавливает правило о том, что действие равно противодействию и противоположное ему.

Также Леонардо да Винчи исследует растяжение и сжатие стержней. Кроме того, Леонардо да Винчи был знаком с законом сообщающихся сосудов для жидкостей различной плотности. Он также установил закон, который со временем был переоткрыт Паскалем о том, что давление, приложенное к жидкости, распространяется одинаково во всех направлениях. Кроме этого, он установил закон независимости распространения звука от различных источников.

Здесь, наверное, стоит рассказать об одном из его экспериментов, которые он проводил в связи с этим исследованием. Он бросал камешки в воду и наблюдал, как волны распространяются от этих различных источников. На основе этих наблюдений он как раз сделал вывод о том, что источники звука также являются независимыми – волны от двух источников распространяются независимо. Этот эксперимент важен еще и потому, что это уже одно из первых наблюдений по теории волн, т.е. попытка исследовать волновые процессы в таких вот экспериментах.

Кроме того, Леонардо да Винчи исследовал законы **бинокулярного зрения**, он описывает **камеру-обскуру** и он известен также как знаменитый великий художник, однако на его художественных работах мы не будем останавливаться.



Рисунок 2.36

**16-й век 1543** год. Появляется труд **Николая Коперника «О вращении небесных сфер»** (рисунок 2.37). Труд, который привел к революционным изменениям в представлениях людей о том, как устроен наш мир.

**Коперник** также является одним из первых ученых, который предположил существование всемирного тяготения.



Рисунок 2.37

Кроме этого к трудам **16-го века** следует также отнести труд **Джиrolамо Кардано «О тонких материях»** и второй его труд **«О разнообразии вещей»** (рисунок 2.38), которые стали общим собранием физических законов и вообще описание всех физических наук, известных к тому времени. В этой работе, в последней работе «О разнообразии вещей» Джиrolамо Кардано также утверждает о невозможности создания вечного двигателя.



Рисунок 2.38

Вспомним **Пьера Пелерена де Марикура** (свои латинские труды он подписывал Пётр Перегрин), который пытался сконструировать при помощи магнитов вечный двигатель (рисунок 2.39).



Рисунок 2.39

**Франческо Мавролико** (рисунок 2.40) в своем трактате по оптике описывает распространение и преломление света, тот факт, что при прохождении света через пластинку с плоскопараллельными гранями лучи не преломляются, а только смещаются параллельно сами себе. Кроме того он объяснил дефекты зрения – дальзоркость и близорукость, объяснил механизм действия очков.



Рисунок 2.40

Вслед за ним **Джованни Баттиста делла Порта** в своем трактате «**Натуральная (естественная) магия**» (издана в **1553** году) (рисунок 2.41) также предлагает исследования по оптике. Он исследует возможность получения прямых изображений при помощи вогнутых зеркал. Он также исследует возможность использования камеры-обскуры для получения изображений, т.е. является автором идеи проекционного фонаря. Кроме того он является одним из возможных первых авторов идеи телескопа, т.е. применения линз в идее зрительной трубы, для того, чтобы можно было наблюдать за астрономическими объектами.

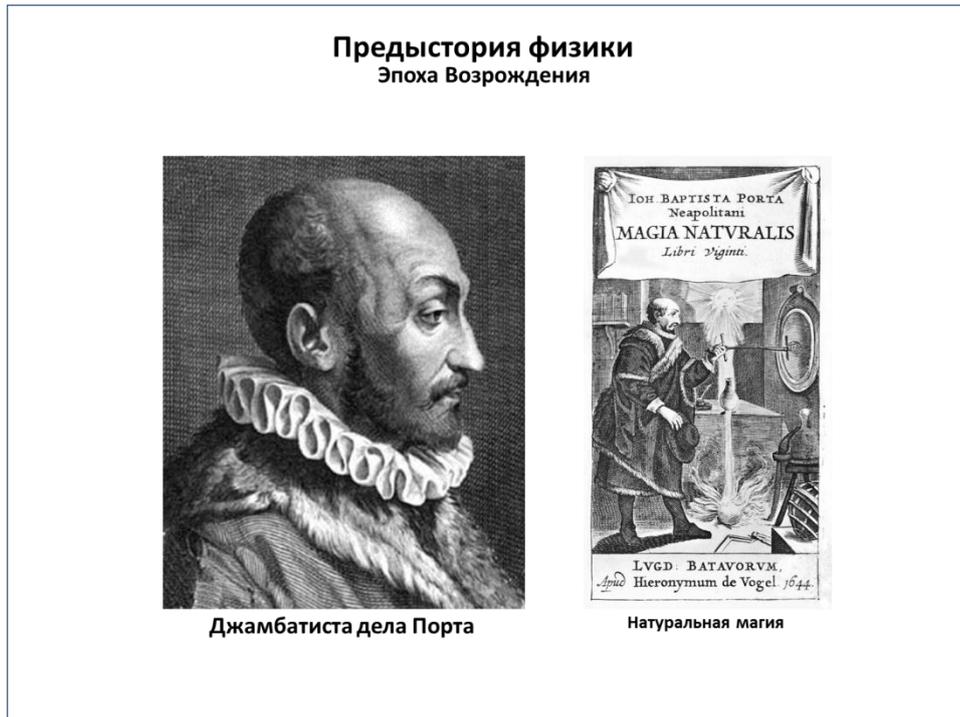


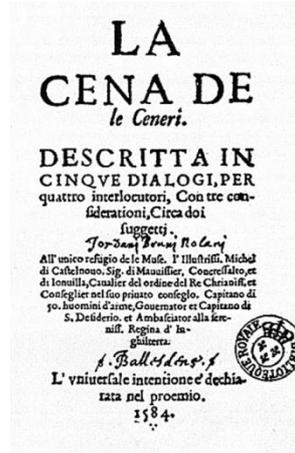
Рисунок 2.41

**1584** год. Выходит знаменитый трактат **Джордано Бруно** «**О бесконечности Вселенной и Мирах**» (рисунок 2.42), в котором он рассуждает о бесконечности Вселенной, в котором он рассуждает о том, что Солнце является лишь одной из звезд во Вселенной, в котором он полностью поддерживает работы Коперника, считая, что, конечно же, Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот. С грустью можно заметить, что приверженность этим идеям и убежденность Джордано Бруно в этих фактах стоили ему жизни. В **1600**-м году, к сожалению, по решению Римской католической церкви, по решению светского суда 17 февраля **1600** года Джордано Бруно предали сожжению в Риме на площади Цветов Кампо деи Фьори.

Предыстория физики  
Эпоха Возрождения



Джордано Бруно



О бесконечности  
Вселенной и Мирах

Рисунок 2.42

В 1889 году на этом месте был установлен памятник, надпись на постаменте которого гласит: «Джордано Бруно - от столетия, которое он предвидел, на месте, где был зажжен костер» (рисунок 2.43).

Конечно, в те времена борьба Римской католической церкви с научными исследованиями была очень ожесточенной и можно добавить только, что Джордано Бруно не единственный ученый, конечно же, кто пострадал от действий Римской католической церкви. И можно только удивляться его стойкости, стойкости его духа, что он все это выдержал и несмотря ни на что от своих идей не отказался. И, конечно же, он стал тем человеком, благодаря которому, в том числе, в последствии, эти идеи получили распространение.

Предыстория физики  
Эпоха Возрождения



Памятник Джордано Бруно в Риме

Рисунок 2.43

Кроме того, что Джордано Бруно на площади Цветов в Риме установили памятник, также именем Джордано Бруно назван один из кратеров на поверхности Луны (рисунок 2.44).



Рисунок 2.44

**Конец 16-го века.** Итальянский ученый **Джамбатиста Бенедетти** (Джованни Баттиста Бенедетти) установил, что в пустоте все тела падают с одинаковой скоростью. Кроме того, он предположил, что распространение звука связано с вибрациями воздуха (рисунок 2.45).



Рисунок 2.45

**1587 год. Галилео Галилей** устанавливает закон свободного падения. Все эксперименты Галилео Галилей проводил взобравшись на Пизанскую башню и сбрасывая с нее дробинку и большое тяжелое пушечное ядро (рисунок 2.46). Наблюдая затем, как происходит падение маленькой дробинки и пушечного ядра, он сделал вывод о том, что ускорение свободного падения не зависит от массы тела и, кроме того получил, как уже было сказано, закон свободного падения. Установил, что расстояние пройденное телом пропорционально квадрату времени.

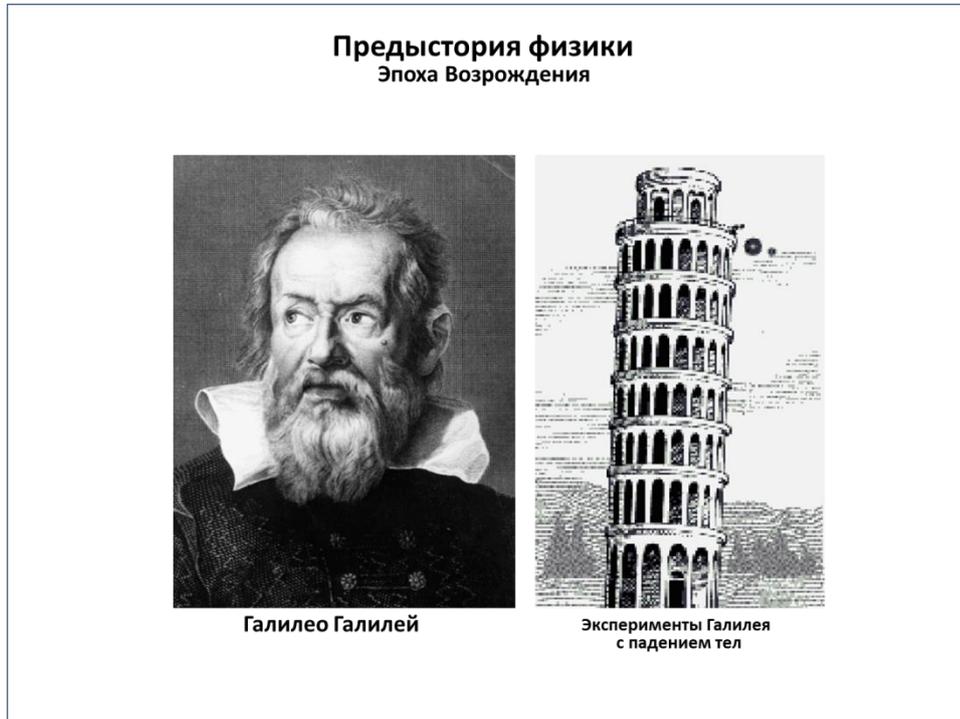


Рисунок 2.46

В **1590** году **Захарий Янсен** и его отец **Ханс**, потомственные оптики, изобретают микроскоп (рисунок 2.47). И впоследствии мы будем говорить о знаменитом труде **Гука «Микрография»**, который первые микроскопические наблюдения провел с использованием усовершенствованного им микроскопа.



Рисунок 2.47

**1597-й год.** Галилео Галилей конструирует термобароскоп (рисунок 2.48). Это устройство, которое одновременно реагирует на изменение внешней температуры и внешнего давления. Оно представляет собой сосуд, внутри которого находится жидкость и эта жидкость отделена от атмосферы столбиком воды. Ну и, как было уже сказано, такой прибор будет реагировать, как на изменение температуры, так и на изменение давления. Здесь следует добавить, что Галилео Галилей был знаком с похожими работами Герона и можно сказать, что в данном случае продолжал соответствующие работы Герона в этом направлении.



Рисунок 2.48

## Электричество и магнетизм - первые исследования

Экспериментальная основа знаний об электричестве и магнетизме к началу XVI века включала только электризацию трением, свойство магнетита притягивать железо и способность намагниченной стрелки компаса указывать направление север - юг. **Около XV** века (возможно, и раньше) европейские мореплаватели выяснили, что стрелка компаса указывает не точно на север, а направлена к нему под некоторым углом («магнитным склонением»). **Христофор Колумб** обнаружил, что величина магнитного склонения зависит от географических координат (рисунок 2.49), а картографы показали, что причиной этого эффекта является существование у Земли магнитных полюсов, не совпадающих с географическими. Некоторое время эффект пытались использовать для решения важнейшей задачи определения долготы в открытом море, но безуспешно. В **1558** году итальянский алхимик **Джамбаттиста делла Порта** в труде «*Натуральная магия*» (рисунок 2.49) отметил несколько новых свойств магнита: магнитное воздействие не проникает за железную пластину достаточной величины, а при нагревании магнита до некоторой высокой температуры его магнитные свойства пропадают и при остывании не восстанавливаются.



Рисунок 2.49

В **1600** году врач английской королевы **Уильям Гильберт** опубликовал результаты своих 17-летних экспериментальных исследований электрических и магнитных явлений (рисунок 2.50). Он подтвердил, что Земля является магнитом. Гильберт продемонстрировал, что при любом разрезании магнита у полученных фрагментов всегда два полюса. Для изучения электрических явлений Гильберт изобрёл электроскоп, с помощью которого разделил все вещества на «электрики» (то есть электризуемые, в современной терминологии - диэлектрики) и «не-электрики» (например, проводники, заряды на которых через руки

экспериментатора уходили в землю). Именно У. Гильберт придумал термин «электричество».



Рисунок 2.50

## ЛЕКЦИЯ 2

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 2. ПЕРИОД СТАНОВЛЕНИЯ ФИЗИКИ КАК НАУКИ (начало XVII века – 80-е годы XVII века)

В XVII веке интерес к науке в основных странах Европы резко возрос. Возникают первые Академии наук и первые научные журналы. Возрождаются, несмотря на противодействие католической церкви, идеи атомизма (по мнению Ватикана, эти идеи противоречили смыслу таинства причащения). Появляются совершенно новые научные идеи, и усовершенствование измерительных приборов уже позволяет проверить многие из них.

Особенно большую роль в истории оптики, физики и науки вообще сыграло изобретение в начале XVII века зрительной трубы, родоначальника всех последующих оптических инструментов исследования.

Первые зрительные трубы появились в Европе в 1608 г., в Голландии, где благодаря наличию хорошего дюнного песка было развито производство оптических стёкол для очков. Изобретение зрительной трубы приписывается Липперсгею (рисунок 2.51), хотя, по многим данным, можно думать, что одновременно она была изобретена и другими. Точно узнать, кто изобрел зрительную трубу так и не получилось. Труба была двойная - для смотрения сразу двумя глазами; в таком виде зрительная труба продавалась под именем «голландской трубы». «Голландские трубы» стоили недёшево, их устройство не было опубликовано, они имели ограниченное распространение и в странах, отдалённых от Голландии, об их существовании знали лишь по слухам.



Рисунок 2.51

Ну, конечно же, нельзя не отдать дань в этом вопросе Галилею, он был одним из первых, кто конструировал зрительные трубы, кто применял зрительные трубы (рисунок 2.52).

**В 1610 г. Галилей** в своём сочинении «Звёздный Вестник» писал: «Около десяти месяцев назад дошёл до нас слух, что каким-то голландцем устроен инструмент, благодаря которому предметы, находящиеся на далёком расстоянии, кажутся как бы близ нас помещёнными».

В другом из своих произведений, вышедшем в **1623 г.**, Галилей, вспоминая изобретение трубы и слухи о ней, пишет: «Узнав об этом, я вернулся в Падую, где тогда проживал, и начал размышлять над этой задачей. В первую же ночь после моего возвращения я её решил, а на следующий день изготовил инструмент». В дальнейшем повествовании Галилей рассказывает, как, зная свойства оптических стёкол, он пришёл к выводу, что труба должна состоять из двух стёкол: выпуклого и вогнутого. Первые трубы Галилея имели трёхкратное увеличение; впоследствии он строил трубы с увеличением в 33 раза. При этом стёкла были не двояковыпуклые и двояковогнутые, а одно плосковыпуклое, другое плосковогнутое, и труба была одинарная - для смотрения одним глазом.

Таким образом, **Галилей** совершенно самостоятельно изобрёл зрительную трубу.



Рисунок 2.52

**Иоганн Кеплер** в **1609** году издал книгу «Новая астрономия», где изложил открытые им **два закона движения планет**; **третий закон** он сформулировал в более поздней книге «Мировая гармония» (**1619**) (рисунок 2.53). Вопреки Птолемию, Кеплер установил, что планеты движутся не по окружностям, а по эллипсам, причём неравномерно — чем дальше от Солнца, тем медленнее. Заодно Кеплер сформулировал (более чётко, чем Галилей) закон инерции: всякое тело, на которое не действуют иные тела, находится в покое или совершает

прямолинейное движение. Менее ясно формулируется закон всеобщего притяжения: сила, действующая на планеты, проистекает от Солнца и убывает по мере удаления от него, и то же верно для всех прочих небесных тел. Источником этой силы, по его мнению, является магнетизм в сочетании с вращением Солнца и планет вокруг своей оси. Кеплер также значительно продвинул оптику, в том числе физиологическую - выяснил роль хрусталика, верно описал причины близорукости и дальнозоркости. Он существенно доработал теорию линз, ввёл понятия фокуса и оптической оси, открыл приближённую формулу связи расстояний объекта и его изображения с фокусным расстоянием линзы.



Рисунок 2.53

В **1637** году **Рене Декарт** издал «Рассуждение о методе» с приложениями «Геометрия», «Диоптрика», «Метеоры» (рисунок 2.54). Декарт считал пространство материальным, а причиной движения — вихри материи, возникающие, чтобы заполнить пустоту (которую считал невозможной и поэтому не признавал атомов), или от вращения тел. В «Диоптрике» Декарт впервые дал правильный **закон преломления света**. Он создал аналитическую геометрию и ввёл современную математическую символику. Декарт заявил о единстве земной и небесной физики: «все тела, составляющие Вселенную, состоят из одной и той же материи, бесконечно делимой и в действительности разделённой на множество частей».

В **1644** году вышла книга Декарта «Начала философии» (рисунок 2.54). В ней провозглашается, что изменение состояния материи возможно только при воздействии на неё другой материи. Это сразу исключает возможность дальнего действия без ясного материального посредника. В книге приводятся закон инерции и закон сохранения количества движения. Количество

движения Декарт правильно определил как пропорциональное «количеству вещества» и его скорости, хотя в своих рассуждениях он не учитывал его векторную направленность.



Рисунок 2.54

Декарт уже понимал, что движение планеты - это ускоренное движение. Вслед за Кеплером Декарт считал: планеты ведут себя так, как будто существует притяжение Солнца. Для того чтобы объяснить притяжение, он сконструировал механизм Вселенной, в которой все тела приводятся в движение толчками вездесущей, но невидимой, «тонкой материи». Лишённые возможности двигаться прямолинейно из-за отсутствия пустоты, прозрачные потоки этой среды образуют в пространстве системы больших и малых вихрей. Вихри, подхватывая более крупные, видимые частицы обычного вещества, формируют круговороты небесных тел, вращают их и несут по орбитам. Внутри малого вихря находится и Земля. Круговращение стремится растащить прозрачный вихрь вовне, при этом частицы вихря прижимают видимые тела к Земле. По Декарту, это и есть тяготение.

Физика Декарта была первой попыткой описать в единой системе все типы природных явлений как механическое движение, представить Вселенную как единый механизм. Многие в этой системе (например, принцип близкодействия) актуально и сейчас, однако Декарт сделал методологическую ошибку, требуя при исследовании явления сначала непременно выяснить его «главные причины», а уже потом строить математическую модель. Это был шаг назад, из-за такого подхода в трудах Декарта и его последователей («картезианцев») содержится не меньше ошибок и умозрительных фантазий, чем у Аристотеля. Галилей и Ньютон поступили наоборот — сначала на основе наблюдений строили математическую модель, а затем, если данных достаточно, выдвигали предположения о «первопричинах» («сначала анализ, потом синтез»). Этот подход оказался более

продуктивным, например, для тяготения - от создания Ньютоном математической модели до выяснения Эйнштейном физической сущности тяготения прошло более двух столетий.

### Создание классической механики: Гюйгенс

В **1673** году вышла книга **Христиана Гюйгенса** «Часы с маятником» (рисунок 2.55). В ней Гюйгенс приводит (словесно) несколько важнейших формул: для периода колебаний маятника и для центростремительного ускорения; неявно используется даже момент инерции. Гюйгенс довольно точно измерил величину ускорения силы тяжести и объяснил, почему это ускорение (как обнаружил **Жан Рише** (рисунок 2.55) в **1676** году) уменьшается при смещении наблюдателя к югу. В другой работе (**1669** год) Гюйгенс впервые сформулировал, для частного случая ударного столкновения, закон сохранения энергии: «*При соударении тел сумма произведений из их величин [весов] на квадраты их скоростей остается неизменной до и после удара*». Общий закон сохранения кинетической энергии (которую тогда называли «живой силой») опубликовал **Лейбниц** (рисунок 2.55) в 1686 году.



Рисунок 2.55

### Создание классической механики: Ньютон

Завершающим шагом в создании классической механики стало появление в **1687** году книги **Ньютона** «Математические начала натуральной философии» (рисунок 2.56). В ней введено понятие массы, изложены три закона механики и закон всемирного тяготения, на их основе решается большое число прикладных задач. В частности, Ньютон строго доказал, что все три закона Кеплера вытекают из ньютоновского закона тяготения; он также показал, что модель Декарта, которая объясняла движение планет эфирными вихрями, не согласуется с третьим законом Кеплера и неприменима к движению комет.

Наука динамика, созданная Ньютоном, позволяла принципиально определить движение любого тела, если известны свойства среды и начальные условия. Для решения возникающих при этом уравнений возникла и стала быстро развиваться математическая физика.

Свои рассуждения Ньютон сопровождает описанием опытов и наблюдений, убедительно подтверждающих его выводы. Кроме механики, Ньютон заложил основы оптики, небесной механики, гидродинамики, открыл и далеко продвинул математический анализ. Изложенные Ньютоном законы имеют всеобщий характер, так что исчезли основания для разделения физики на земную и «небесную», а система Коперника-Кеплера получила прочную динамическую основу. Этот успех подтверждал распространённое среди физиков мнение, что все процессы во Вселенной имеют в конечном счёте механический характер.

Физические концепции Ньютона находились в резком противоречии с декартовскими. Ньютон верил в атомы, считал «поиск первопричин» вторичным методом, которому должны предшествовать эксперимент и конструирование математических моделей. По этой причине ньютоновская теория тяготения, в которой притяжение существовало без материального носителя и без механического объяснения, долгое время отвергалась учёными (особенно картезианцами) континентальной Европы; дальнедействующее тяготение отвергали, среди прочих, такие крупные учёные как Гюйгенс и Эйлер. Только во второй половине XVIII века, после работ Клеро (рисунок 2.56) по теории движения Луны и кометы Галлея, критика утихла.



Рисунок 2.56

Хотя метафизические фантазии кое-где встречались и в последующем, всё же, начиная с XVIII века, основным методом познания в физике становится метод Галилея и Ньютона — проведение опытов, выявление по их результатам объективных узловых физических понятий («сил природы», как выражался

Ньютон), математическое описание взаимосвязи этих понятий (чаще всего в форме дифференциальных уравнений), теоретический анализ и опытная проверка полученной модели.

### Оптика: новые эффекты

В области древней науки оптики в XVII веке был совершён целый ряд фундаментальных открытий (рисунок 2.57). Был, наконец, сформулирован правильный закон преломления света (Снеллиус, 1621 год), а Ферма открыл основополагающий для геометрической оптики вариационный принцип. В 1676 году Оле Рёмер получил первую оценку скорости света. Итальянский физик Гримальди обнаружил явления интерференции и дифракции света (опубликовано посмертно, в 1665 году), в 1668 году было открыто двойное лучепреломление, а в 1678 году — поляризация света (Гюйгенс).



Рисунок 2.57

Важным этапом в развитии оптики и астрономии стало создание **Ньютоном** первого зеркального телескопа (рефлектора) с вогнутым сферическим зеркалом (1668 первый, 1671 второй): в нём, в отличие от чисто линзовых телескопов, отсутствовала хроматическая aberrация (рисунок 2.58). Ньютон также опубликовал теорию цветности, хорошо проверенную на опытах, и доказал, что белый солнечный свет есть наложение разноцветных составляющих.

**Период становления физики как науки**  
**Оптика: новые эффекты**



**Ньютон**

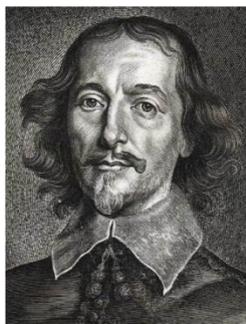


Первый зеркальный телескоп Ньютона

Рисунок 2.58

**Отто фон Герике** в 1672 году опубликовал собственные результаты экспериментов. Он изобрёл довольно мощную электростатическую машину (вращающийся шар из серы, электризуемый прижатой рукой) и впервые отметил явление бесконтактного переноса электризации от заряженного тела другому, расположенному неподалёку (или соединённому с первым телом льняной ниткой). Герике первым обнаружил, что наэлектризованные тела могут не только притягиваться, но и отталкиваться (рисунок 2.59).

**Период становления физики как науки**  
**Электричество и магнетизм — первые исследования**



**Герике**



Эксперименты с шаром из серы  
 Генрике опубликовал в 1672г.



Первая электрическая машина

Рисунок 2.59

**Декарт** построил первую теорию магнетизма: вокруг магнита циркулируют потоки винтообразных эфирных частиц двух типов, с противоположной резьбой. Эти потоки вытесняют воздух между двумя магнитами, в результате чего они притягиваются; аналогично Декарт объяснил притяжение железа к магниту. За электростатические явления аналогично ответственны частицы лентообразной формы. Модель Декарта, за неимением лучшей, просуществовала почти до конца XVIII века (рисунок 2.60).



Рисунок 2.60

### Рождение теории газов и другие достижения

В **1647** году **Блез Паскаль** испытал первый барометр (изобретённый Торричелли) и предположил, что давление воздуха падает с высотой; эта гипотеза была доказана его зятем **Флореном Перье** (*Florin Périer*) в следующем году. Точную формулировку связи давления с высотой открыл **Эдмунд Галлей** в **1686** году, причём из-за отсутствия понятия экспоненциальной функции он изложил эту зависимость следующим образом: когда высота увеличивается в арифметической прогрессии, атмосферное давление падает в геометрической. В **1663** году Паскаль опубликовал закон распространения давления в жидкости или газе (рисунок 2.61).

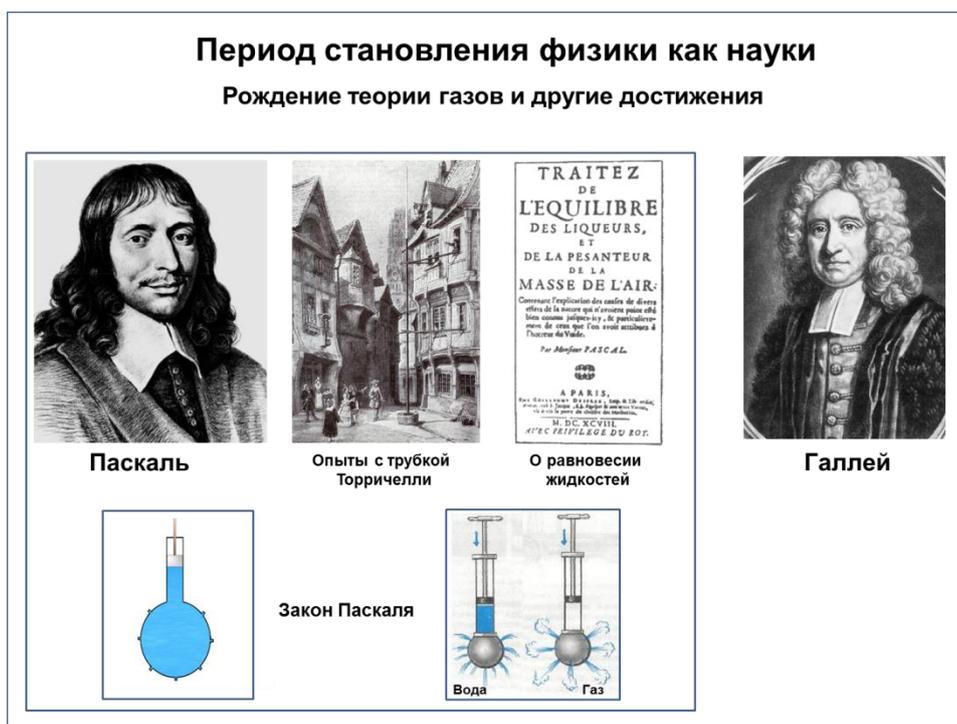


Рисунок 2.61

**Отто фон Герике** в **1669** году изобрёл воздушный насос, провёл серию эффектных опытов («**магдебургские полушария**») и окончательно опроверг мнение Аристотеля, что «природа боится пустоты» (рисунок 2.62). Существование атмосферного давления, открытого Торричелли в **1644** году, с этого момента наглядно доказано. Опыты Герике заинтересовали английских физиков **Роберта Бойля** и **Роберта Гука**, которые значительно усовершенствовали насос Герике и сумели сделать с его помощью множество новых открытий, включая связь между объёмом и давлением газа (закон Бойля — Мариотта).

В других трудах Бойль утверждает, что материя состоит из мелких частиц (*корпускул*, в современной терминологии — молекул), определяющих химические свойства вещества, и химические реакции сводятся к перестановке таких частиц. Он также обосновал кинетический характер теплоты, то есть её глубокую связь с хаотическим движением частиц тела: при нагревании скорость этих частиц увеличивается.



Рисунок 2.62

Книга **Бойля «Новые физико-механические эксперименты касательно упругости воздуха»** (рисунок 2.63) получила широкую известность, исследованием свойств газов и их практическим применением занялись крупнейшие физики Европы. **Дени Папен** построил первый набросок парового двигателя («котёл Папена») и «паровую повозку» (рисунок 2.63). Папен также обнаружил, что температура кипения воды зависит от атмосферного давления (**1674** год).



Рисунок 2.63

Из других важных открытий XVII века следует назвать закон Гука (1678), связывающий растяжение упругого тела с приложенной силой. В этом году вышла его работа «О восстановительной способности или об упругости». Она содержала описание опытов с упругими телами – первая книга по теории упругости (рисунок 2.64).



Рисунок 2.64

## ЛЕКЦИЯ 3

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 3. ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (конец XVII в. – начало XX в.)

##### Первый этап (конец XVII в. – 60-е гг. XIX в.)

##### Часть 1 (конец XVII – 1800 г.)

#### Общая характеристика физики XVIII века

Главным достижением техники XVIII века стало изобретение **Джеймсом Уаттом**, на базе парового насоса **Томаса Ньюкомена**, паровой машины (1784 год), вызвавшее перестройку многих промышленных технологий и появление новых средств производства (рисунок 3.1).

В 1699 году, английский инженер **Томас Севери**, получил патент на изобретение «огневого двигателя» (рисунок 3.1), предназначенного для откачивания воды из рудников. Машина Севери — это паровой насос, а не двигатель, в нем не было цилиндра с поршнем. Главной изюминкой в машине Севери было то, что пар образовывался в **отдельном котле**.

В 1705 году **Томас Ньюкомен** совместив идеи Севери (отдельно стоящий котёл) и Папена (цилиндр с поршнем) построил **поршневой паровой насос** для работы на рудниках. Опыты по совершенствованию машины продолжались около десяти лет, пока она не начала исправно работать.

**Паровая машина Ньюкомена** существовала уже пятьдесят лет, находя применения большей частью для откачки воды из шахт, однако за всё это время она ни разу не была усовершенствована. Первым значительным усовершенствованием, которое Уатт запатентовал в 1769 году, была изолированная камера для конденсации. *В машине Уатта конденсатор был отделён от рабочего цилиндра, его не нужно было постоянно нагревать и охлаждать, благодаря этому удалось немного увеличить КПД.*

В связи с быстрым развитием металлургии, машинной и военной промышленности интерес к физике растёт. Начинается выпуск не только сводных, но и специализированных научных журналов, количество и тиражи научных изданий показывают постоянный рост. Повысился престиж науки, лекции видных учёных привлекают толпы любознательного народа.

Физики-экспериментаторы в этот период уже располагали множеством измерительных инструментов приемлемой точности и средствами изготовления недостающих приборов. Смысл термина «физика» сузился, из сферы этой науки были выделены астрономия, геология, минералогия, техническая механика, физиология. Картезианство, не подтверждаемое опытом, быстро теряет сторонников; **Даламбер** в 1743 году иронически назвал картезианцев «почти не существующей сектой». Ускоренными темпами развивались механика и учение о теплоте. Во второй половине века начинается интенсивное изучение электричества и магнетизма. В рамках ньютоновской системы мира с большим успехом формируется новая небесная механика. Характерной особенностью

физики XVIII века является тот факт, что все разделы физики, а также химии и астрономии, развивались независимо, попытка Декарта создать единую целостную систему знаний была признана неудачной и на время оставлена. Однако носителями природных сил по-прежнему считались декартовские «тонкие материи» — невидимые, невесомые и всепроникающие (теплород, электрическая и магнитная жидкости).

Первоначально теоретическая и прикладная физика развивались в значительной степени независимо - например, в изобретении очков не участвовали теоретики-оптики. С XVIII века взаимодействие теории с практикой начинает становиться более интенсивным, хотя в разных разделах физики ситуация разная - в более развитых разделах взаимодействие более заметно. Например, термодинамика делала только первые шаги, и паровая машина была построена без помощи теоретиков, а вот развитие оптического приборостроения в XVIII веке уже существенно опирается на хорошо развитую теорию.



Рисунок 3.1

### Оптика: новые эффекты

Продолжались споры сторонников корпускулярной и волновой природы света. Гюйгенс в «Трактате о свете» (1690) построил первую качественную и отчасти математическую модель световых волн — ещё несовершенную, так как она не могла объяснить ни дифракции, ни прямолинейного распространения света. Главным достижением Гюйгенса стал **«принцип Гюйгенса»**, лежащий в основе волновой оптики — он наглядно объясняет ход распространения волны (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2

Свои представления о свойствах света (не отвлекаясь на гипотезы о его природе) **Ньютон** изложил в капитальной монографии «**Оптика**» (1704), на столетие определившей развитие этой науки (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3

## Механика

Создание аналитической механики начал **Эйлер** в 1736 году; позднее (1760) он исследовал не только движение материальной точки, но и произвольного твёрдого тела. **Д'Аламбер** в монографии «**Динамика**» (1742) и **Лагранж** в

«Аналитической механике» (1788) объединили статику и динамику единым подходом (основанным на «принципе д'Аламбера») и завершили превращение теоретической механики в раздел математического анализа (рисунок 3.4). Дальнейшее развитие теоретической механики происходит в основном в русле математики.



Рисунок 3.4

Вопрос о том, какая величина (импульс или «живая сила») сохраняется при движении, вызвал горячие споры, продолжавшиеся до **середины XVIII** века, когда **де Меран и д'Аламбер** обосновали (для механических столкновений) как закон сохранения импульса, так и закон сохранения энергии. В **1746** году **Эйлер и Даниил Бернулли** (независимо) обнаружили новый фундаментальный закон механики: закон сохранения момента импульса. **Мопертюи и Эйлер** ввели в научный обиход понятие действия и основанный на нём исключительно плодотворный **вариационный принцип** (рисунок 3.5). С **конца XIX** века становится ясно, что вариационный принцип наименьшего действия выходит далеко за рамки механики, он фундаментален и пронизывает всю физику.



Рисунок 3.5

Вторую после Декарта попытку охватить единой механической теорией все законы природы предпринял рагузский учёный **Руджер Бошкович** в монографии «Теория натуральной философии, сведенная к единому закону сил, существующих в природе» (1759) (рисунок 3.6). Первоэлементами материи, согласно Бошковичу, являются неделимые и непротяжённые материальные точки, которые могут, в зависимости от расстояния, притягиваться друг к другу или отталкиваться (вблизи они всегда отталкиваются, а в значительном удалении — притягиваются). С помощью этой гипотезы Бошкович качественно объяснил множество физических явлений. Несмотря на общую метафизичность, работы Бошковича, отличавшиеся идейным богатством, в XIX веке оказали большое влияние на развитие физики, в частности, на формирование у **Фарадея** концепции физического поля.

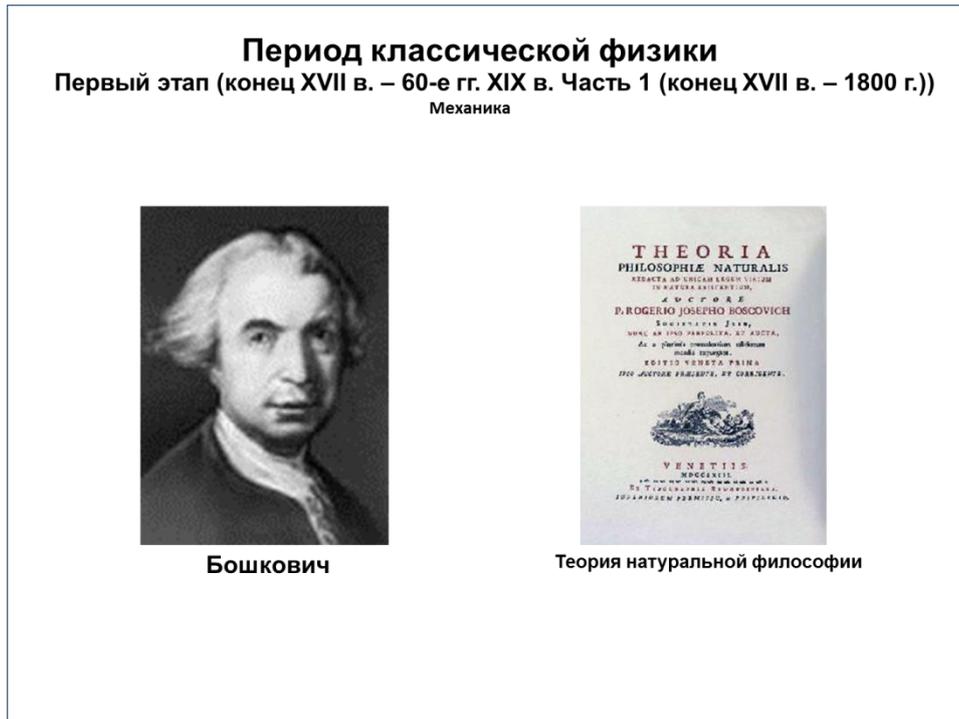


Рисунок 3.6

Создание динамики жидкостей и газов связано с пионерской работой **Даниила Бернулли «Гидродинамика» (1738)** (рисунок 3.7). В этой работе Бернулли с механических позиций исследовал разнообразные виды движения жидкостей и газов, дал фундаментальный закон Бернулли, впервые ввёл понятие механической работы. Многие рассуждения Бернулли опираются на закон сохранения энергии («живой силы»). Работы Бернулли продолжили **Эйлер**, который в **1755** году опубликовал **основы аналитической механики жидкостей**, **д'Аламбер** и **Клеро**. **Эйлер** разработал общую теорию турбин, мельничных колёс и иных механизмов, приводимых в движение текущей водой; важные практические усовершенствования по этой теме выполнил английский инженер **Джон Смитон (1759)** (рисунок 3.7). В этот период всё больше утверждается общее мнение, что все физические процессы — в конечном счёте, проявления механического движения вещества.



Рисунок 3.7

### Электричество и магнетизм

В первой половине XVIII века единственным источником электричества служила электризация трением. Первый существенный вклад в электростатику сделал **Стивен Грей**, исследовавший передачу электричества от одного тела к другому. Проведя серию опытов, он открыл электростатическую индукцию и заодно доказал, что электрические заряды располагаются на поверхности электризуемого тела (рисунок 3.8). В 1734 году французский учёный **Шарль Франсуа Дюфе** показал, что существуют два вида электричества: положительное и отрицательное (сам он использовал термины «стеклянное» и «смоляное») (рисунок 3.8). Дюфе также впервые высказал предположение об электрической природе грома и молнии и о том, что электричество играет скрытую, но значительную роль в физических процессах. Из-за скудной опытной базы никаких серьёзных теорий о сущности электричества в этот период не появилось.



Рисунок 3.8

Перелом наступил в **1745** году, когда был изобретён более мощный источник электричества - **лейденская банка**. Параллельное соединение этих конденсаторов давало кратковременный, но достаточно сильный электрический ток. Сразу во многих странах началось изучение свойств электротока. Наиболее глубокие исследования выполнил американский политик и физик-любитель **Бенджамин Франклин**; его книга «**Опыты и наблюдения над электричеством**» (рисунок 3.9) произвела сенсацию и была переведена на многие европейские языки. Франклин убедительно доказал гипотезу **Дюфе** об электрической природе молнии и объяснил, как защититься от неё с помощью **изобретённого им громоотвода**. Он стал первым, кто сумел превратить электричество в механическое движение, правда, весьма кратковременное (**на период разряда лейденской банки**). Франклин предположил (**1749** год), что существует какая-то связь электричества с магнетизмом, так как **был зарегистрирован случай, когда молния поменяла полюса магнита**.

Франклин предложил и первую теорию: электричество, по его мнению, есть особая субстанция из мельчайших частиц, подобная жидкости («*флюид*»). Она притягивается к обычному веществу и может входить внутрь его, но отталкивается сама от себя. Разные материалы могут вместить в себе разное количество электричества, при этом они становятся окружены некой «электрической атмосферой». Положительный и отрицательный заряды, по этой теории, вызваны избытком или недостатком электрической субстанции соответственно. Теория Франклина не объясняла, однако, почему отрицательно заряженные тела, лишённые электричества, отталкиваются так же, как и положительно заряженные, поэтому многие физики склонялись к мнению, что «электрических жидкостей» всё-таки две.



Рисунок 3.9

Мнения учёных о модели Франклина разделились: была резкая критика, но были и сторонники, среди которых - видный немецкий физик **Эпинус** (рисунок 3.10). Эпинус был известен тем, что открыл пироэлектричество и предсказал закон Кулона за 20 лет до Кулона. Эпинус также предположил, что разряд лейденской банки имеет колебательный характер. Эйлер в особую электрическую жидкость не верил и приписывал электрические явления процессам сгущения/разрежения в эфире.



Рисунок 3.10

Конец века ознаменовался двумя этапными событиями в истории электричества. В **1785** году появился **первый из мемуаров Кулона**, в них был описан и обоснован точными опытами закон Кулона, и его сходство с законом всемирного тяготения позволило в короткий срок (к **1828** году) завершить математические основы электростатики, применив в ней ранее разработанные аналитические методы (рисунок 3.11). В **1791** году итальянский врач **Луиджи Гальвани опубликовал трактат об открытом им «животном электричестве»**: лапка лягушки, подвешенная латунным крючком к железной решётке, самопроизвольно подёргивалась (рисунок 3.11). Итальянский физик **Алессандро Вольт** вскоре обнаружил, что лягушка в этом опыте служит только индикатором тока, а фактическим источником является контакт двух разнородных металлов в электролите. Проведя ряд опытов, Вольт сконструировал в **1800** году мощный источник постоянного тока - **«вольтов столб»**, первую электрическую батарею (рисунок 3.11). С его помощью были сделаны решающие открытия электромагнитных свойств в следующем, XIX веке.



Рисунок 3.11

В деле изучения магнетизма прогресс был менее заметен. Появились несколько феноменологических теорий, претендовавших на объяснение свойств магнитов. **Эйлер в 1744 году опубликовал свою теорию магнетизма**, предположив, что он вызван некой «магнитной жидкостью», струящейся в магните и железе через особые «магнитные поры». Аналогичная жидкость фигурировала в альтернативной теории **Франклина и Эпинуса**. Последний, однако, считал эту жидкость общим носителем электричества и магнетизма. **Кулон** присоединился к Эпинусу и отверг теории, в которых участвует «поток магнитной жидкости», поскольку он не может объяснить стабильность направления стрелки компаса. Он предположил (**1784** год), что притяжение и

отталкивание магнитов вызвано силой, подобной ньютоновскому тяготению (рисунок 3.12).

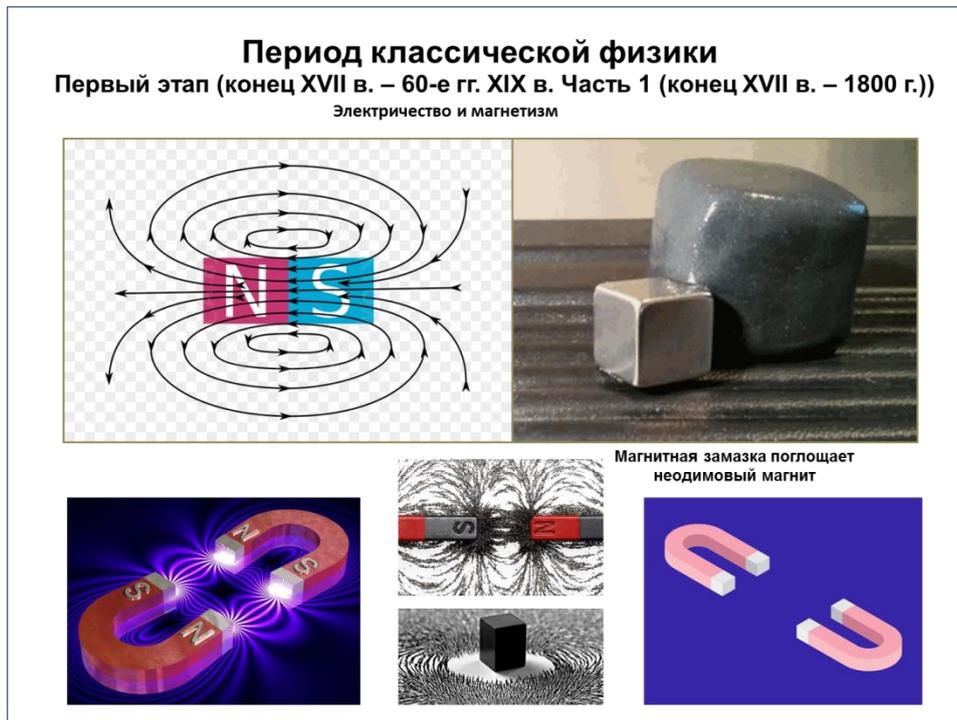


Рисунок 3.12

### Теплота

Представление о «тонкой материи огня», переносящей тепло, в XVIII веке сохранилось и даже расширилось. В существование теплорода, носителя теплоты, верили многие физики, начиная с Галилея; однако другой лагерь (рисунок 3.13), в который входили Роберт Бойль, Роберт Гук, Даниил Бернулли, Леонард Эйлер и М. В. Ломоносов, придерживался молекулярно-кинетической гипотезы: тепло есть движение внутренних микрочастиц. Обе гипотезы носили качественный характер, и это не позволяло осуществить их сравнение и проверку (понятие о механическом эквиваленте теплоты, решившее спор, возникло только в следующем веке). Некоторые учёные считали, что тепло, электричество и магнетизм представляют собой видоизменения одной и той же эфирной материи. Истинную природу процесса горения как реакции окисления раскрыл только Лавуазье (рисунок 3.13) в 1780-е годы.



Рисунок 3.13

В начале века немецкий физик **Габриель Фаренгейт** изобрёл термометр (на ртутной или спиртовой основе) и предложил шкалу Фаренгейта (точнее, первый её вариант, позднее им же скорректированный). До конца века появились и другие варианты температурной шкалы: **Реомюра** (1730 год), **Цельсия** (1742 год) и другие (рисунок 3.14). С этого момента открывается возможность точного измерения количества тепла. **Бенджамин Томпсон** (граф Румфорд) (рисунок 3.14) в ряде тонких опытов показал, что нагрев или охлаждение тел не влияет на их вес. Он также обратил внимание на значительный нагрев при сверлении металла; сторонники теплорода объясняли этот эффект повышением плотности теплорода в детали при отделении от неё стружек, однако Румфорд показал, что теплоёмкость стружек такая же, как у заготовки. Тем не менее гипотеза теплорода сохранила многочисленных сторонников даже **в начале XIX** века.

Фаренгейт исследовал проблему: какая температура установится в результате смешения двух порций неодинаково нагретой воды. Он предполагал, что температура смеси будет средним арифметическим из температур компонентов, но опыты опровергли это предположение. Хотя этим вопросом занимались многие физики, проблема оставалась нерешённой до создания в конце века теории теплоёмкости и ясного осознания, что температура и теплота — не одно и то же. Окончательным аргументом в пользу такого заключения стали опыты **Джозефа Блэка** (рисунок 3.14), обнаружившего (1757), что плавление и парообразование, не изменяя температуры, требуют значительной дополнительной теплоты. В 1772 году **Йохан Вильке** (рисунок 3.14) ввёл единицу измерения тепла — **калорию**.



Рисунок 3.14

В **1703** году французский физик **Гийом Амонтон**, исследовав зависимость упругости воздуха от температуры, сделал вывод, что существует абсолютный нуль температуры, значение которого он оценил как  $-239,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . **Ламберт** в **1779** году подтвердил результат Амонтона, получив более точное значение  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Итогом накопленных за XVIII век знаний о свойствах тепла можно считать «Мемуар о теплоте» **Лавуазье** и **Лапласа**, в нём, помимо прочего, есть теория теплоёмкости и её зависимости от температуры, исследуется расширение тел при нагревании (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15

## Акустика

Создание математического анализа дало возможность исчерпывающим образом изучить колебания струны, поэтому в XVIII веке акустика, подобно механике, становится точной наукой. Уже в начале века **Жозеф Совёр** установил длину волны всех музыкальных тонов и объяснил происхождение **обертонов** (открытых в 1674 году), а **Эйлер** в труде «Опыт новой теории музыки» (1739) дал полную аналитическую теорию колебаний струны. Немецкий физик-экспериментатор **Эрнст Хладни** в конце века детально исследовал колебания стержней и пластин («**фигуры Хладни**»); теоретическое объяснение его наблюдений дали в XIX веке **Лаплас**, **Пуассон** и другие математики (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16

## Оптика

В оптике, под влиянием ньютоновской критики, волновая теория света в течение XVIII века почти потеряла сторонников, несмотря на решительную поддержку Эйлера и некоторых других авторитетов. Из новых достижений можно упомянуть важное для астрономов **изобретение фотометра** (1740, Бугер, усовершенствован Румфордом в 1795 году) (рисунок 3.17). **Ламберт** разработал метрологию оптики - дал строгие определения понятий яркости и освещённости, сформулировал зависимость освещённости поверхности от её площади и угла наклона, выяснил закон падения интенсивности света в поглощающей среде.

**Джон Доллонд** в 1757 году создал **первый ахроматический объектив**, оказавшийся особенно полезным для создания телескопов-рефракторов и микроскопов. В конце века (1800г.) **Уильям Гершель** в опытах по дисперсии открыл тепловые лучи в части спектра за красными световыми лучами (инфракрасное излучение. Расположенное с другого конца видимого спектра ультрафиолетовое излучение вскоре открыл **Иоганн Вильгельм Риттер** (1801

год). Сын У. Гершеля Джон (рисунок 3.17) открыл тепловые лучи в спектре за красными световыми лучами.

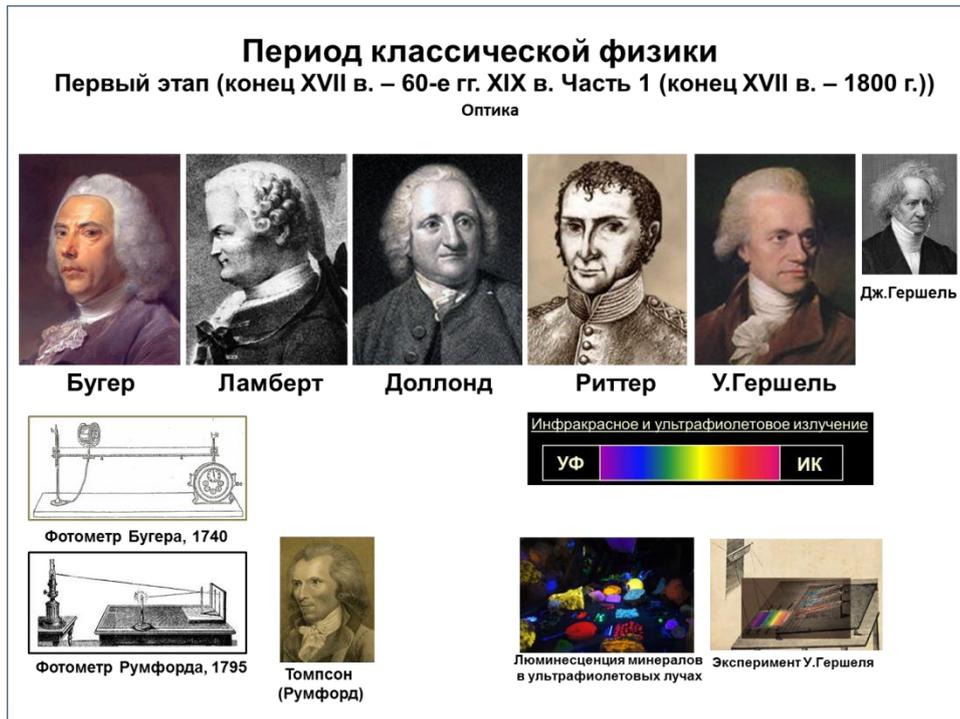


Рисунок 3.17

## ЛЕКЦИЯ 3

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 3. ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (конец XVII в. – начало XX в.)

##### Первый этап (конец XVII в. – 60-е гг. XIX в.)

##### Часть 2 (1800 – 1869 гг.)

#### Общая характеристика физики XIX века

Промышленная революция и потребности военной техники стимулировали приоритетное развитие как экспериментальной, так и теоретической физики. Задачей физики всё более становится не объяснение природных сил, а управление ими. Точные измерительные приборы появились практически во всех областях, и результаты физических опытов **в XIX веке** носят преимущественно количественный характер. Разработана математическая теория погрешностей измерения, позволяющая оценить достоверность наблюдаемых физических величин. Тем не менее, для истолкования огромного экспериментального материала **в первой половине XIX века** всё ещё часто привлекаются качественные метафизические понятия и надуманные гипотезы: теплород, электрическая и магнитная жидкости, «звуковая материя» и т. д. В течение века на их месте появляются новые понятия и физические модели: волновая теория света, кинетическая теория тепла, закон сохранения энергии, электромагнитная теория Максвелла, периодическая система элементов, основанная на атомизме. К концу века все эти теории, совместно называемые «классической физикой», получают общее признание и широкое практическое применение. Возникает также прикладная физика, ориентированная на эффективное решение конкретных технологических задач; влияние практики на теоретические исследования становится особенно активным после появления электротехники и двигателя внутреннего сгорания **во второй половине XIX века**.

Важной особенностью периода стало постепенное укрепление мнения, что не все явления природы основаны на механическом движении. Уже второе начало термодинамики не допускало механического обоснования, поскольку из него вытекала необратимость ряда процессов, а попытки объяснить электромагнетизм как колебания эфирной среды натолкнулись на непреодолимые трудности, разрешившиеся только **в XX веке** с появлением теории относительности и упразднением эфира как среды-носителя.

**В XIX веке** появилось много новых разделов физики, прежде всего - связанные с электромагнетизмом, а также термодинамика, статистическая физика, статистическая механика, теория упругости, радиофизика, метеорология, сейсмология.

#### Волновая теория света

Через сто лет после появления «Начал» ньютоновская критика волновой теории света была признана большинством учёных не только в Англии, но и на

континенте. Частично это объяснялось тем, что полная математическая теория волновых колебаний была создана только **в начале XIX века (Фурье)** (рисунок 3.18). Свет считался потоком каких-то мелких корпускул.

Первый удар по корпускулярной (эмиссионной) теории света нанёс **Томас Юнг**, врач, специалист по физиологической оптике. В **1800** году он, выступая перед Королевским обществом, перечислил непреодолимые затруднения эмиссионной теории: почему все источники света испускают корпускулы с одинаковой скоростью и как получается, что часть света, падающего на тело, обычно отражается, а другая часть проходит внутрь тела? Юнг также указал, что убедительного объяснения явлениям преломления света, **дифракции и интерференции** Ньютон не дал. Взамен Юнг **разработал волновую теорию интерференции** (и ввёл сам этот термин) на основе сформулированного им принципа суперпозиции (наложения) волн, аналогично объяснялась дифракция. «**Опыт Юнга**» впоследствии вошёл в учебники. По результатам своих опытов Юнг довольно точно оценил длину волны света в различных цветовых диапазонах. Он также построил правильную теорию цветового зрения и аккомодации (рисунок 3.18).

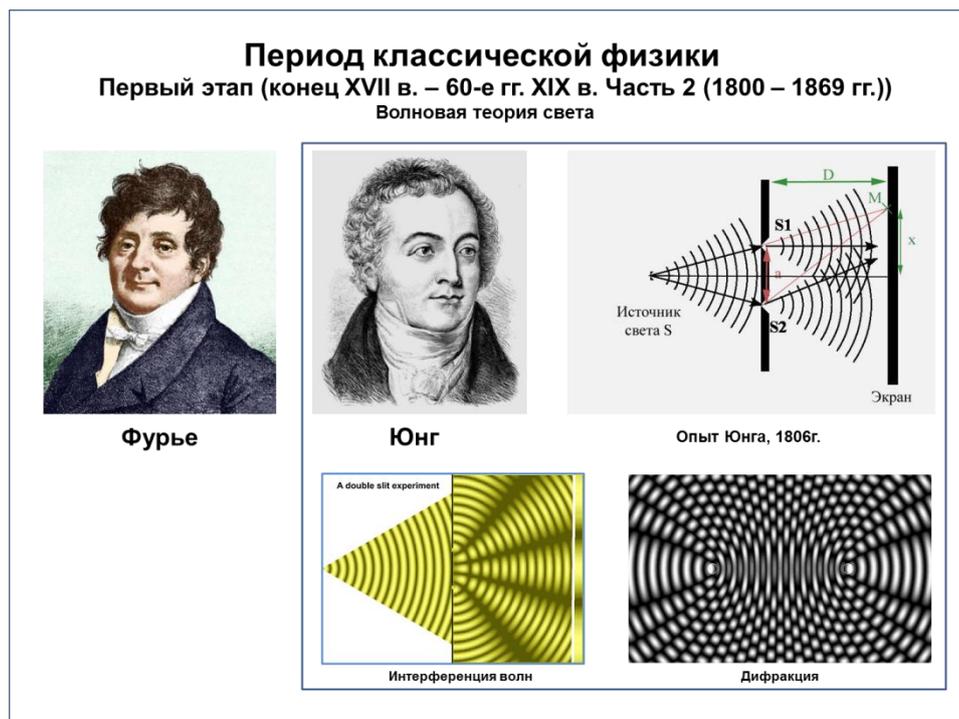


Рисунок 3.18

Волновая теория Юнга была встречена враждебно. Как раз в это время (**1808** год, **Малюс, Лаплас** и другие) было глубоко изучено явление двойного лучепреломления и **поляризации света**, воспринятое как решающее доказательство в пользу эмиссионной теории. Но тут в поддержку волновой теории выступил **Огюстен Жан Френель**, в то время дорожный инженер-строитель (рисунок 3.19). Рядом остроумных опытов он продемонстрировал чисто волновые эффекты, совершенно необъяснимые с позиций корпускулярной теории, а его **мемуар**, содержащий всестороннее исследование с волновых позиций, точные количественные измерения и детальную математическую модель всех

известных тогда свойств света (кроме поляризации), победил на конкурсе Парижской академии наук **1818** года. Френель обобщил принцип Гюйгенса и сумел строго объяснить прямолинейность распространения световой волны.

Курьёзный случай описывает **Араго**: на заседании комиссии академиков **Пуассон** выступил против теории **Френеля**, так как из неё следовал нелепый вывод: при определённых условиях в центре тени от непрозрачного кружка мог появиться ярко освещённый участок. На одном из следующих заседаний Френель и Араго продемонстрировали членам комиссии этот эффект, получивший название «**пятно Пуассона**» (рисунок 3.19). С этих пор формулы Френеля для дифракции, преломления и интерференции вошли во все учебники физики. И Юнг, и Френель рассматривали свет как упругие продольные колебания эфира, плотность которого в веществе выше, чем в вакууме.

Оставалось понять механизм поляризации. Ещё в **1816** году **Френель** обсуждал возможность того, что световые колебания эфира не продольны, а поперечны. Это легко объяснило бы явление поляризации. Однако поперечные колебания ранее встречались только в несжимаемых твёрдых телах, в то время как эфир считали близким по свойствам к газу или жидкости. Исследование отражения поляризованного света убедило Френеля, что гипотеза о поперечности световых волн справедлива, после чего он представил **мемуар** с описанием новых опытов и полную теорию поляризации, сохраняющую значение и в наши дни.

Следующие почти сто лет обозначены триумфальным успехом волновой теории во всех областях. Классическая волновая оптика была завершена, поставив в то же время труднейший вопрос: что же такое эфир и каковы его свойства?

Сильнейшее влияние на развитие физики имел опыт **Физо (1849-1851)**, (рисунок 3.19) который показал, что скорость света в воде на четверть меньше, чем в воздухе (согласно эмиссионной теории, она должна быть больше, иначе не объяснить преломление света).



Рисунок 3.19

### Возникновение электродинамики и электротехники

К концу XVIII века в активе физики электромагнитных явлений были уже теория атмосферного электричества **Франклина** и закон **Кулона**. Стараниями **Пуассона**, и **Грина** в первой четверти XIX века электростатика была в основном разработана, см. уравнение **Пуассона (1821)** (рисунок 3.20). Пуассон ввёл также, кроме электрического, магнитный потенциал, позволяющий рассчитать статическое магнитное поле. Теоретической основой этих результатов считалось существование двух типов «электрической жидкости», положительной и отрицательной; каждая из них притягивает частицы другого типа и отталкивает - своего собственного. Тело заряжено, если один из типов этой жидкости преобладает; проводниками являются те материалы, которые не оказывают электрическим жидкостям сопротивления. Сила притяжения или отталкивания подчиняется закону обратных квадратов.



Рисунок 3.20

Как уже сказано выше, в **1800** году **Вольта** собрал первый «**вольтов столб**» (рисунок 3.21), при помощи которого исследовал ток в замкнутых цепях. Благодаря этим батареям постоянного тока вскоре были сделаны два выдающихся открытия:

- электролиз: в том же **1800** году **Уильям Николсон** и **Энтони Карлайл** (*William Nicholson, Anthony Carlisle*) разложили воду на водород и кислород, а **Дэви** в **1807** году открыл калий и натрий (рисунок 3.21).
- электрическая дуга: **В.В. Петров (1802)** и **Хемфри Дэви** (рисунок 3.21).



Рисунок 3.21

Главные сенсационные события начались в **1820** году, когда **Эрстед** обнаружил на опыте отклоняющее действие тока на магнитную стрелку (рисунок 3.22). Сообщение Эрстеда вызвало всеобщий взрыв интереса. Уже через два месяца **Ампер** сообщил об открытом им явлении взаимодействия двух проводников с током; он также предложил термины «электродинамика» и «электрический ток» (рисунок 3.22). Ампер высказал предположение, что все магнитные явления вызваны внутренними токами внутри материи, протекающими в плоскостях, перпендикулярных оси магнита. Первые теории, связывающие электричество и магнетизм (ещё в старых терминах), построили в том же году **Био, Савар** и позже **Лаплас** (см. **Закон Био - Савара - Лапласа**) (рисунок 3.22).



Рисунок 3.22

Незамедлительно последовал новый каскад открытий (рисунки 3.23, 3.24):

- первый электродвигатель (1821 год, **Фарадей**)
- термоэлемент (1821 год, **Зеебек**)



Рисунок 3.23

- первый чувствительный гальванометр для измерения величины тока (1825 год, **Л. Нобили**)
- закон **Ома** (1827)

В 1826 году Ампер (рисунок 3.24) издал монографию «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта». Он

открыл электромагнит (соленоид), высказал идею электрического телеграфа. **Формула Ампера** для взаимодействия двух элементов тока вошла в учебники. Максвелл назвал Ампера «Ньютоном электричества».



Рисунок 3.24

Первые метрологические стандарты, установившие единицы измерения электричества и магнетизма, разработали в **1830-е** годы **Гаусс и Вебер** (рисунок 3.25). Начинается практическое применение электричества. В этот же период, благодаря **Джону Федерику Даниэлю и Б.С. Якоби**, появилась **гальванопластика**, преобразившая типографское дело, ювелирные технологии, впоследствии - выпуск аудиозаписей на пластинках. В **1830-е** годы были разработаны первые образцы **электротелеграфа** (**Павел Львович Шиллинг** в 1830-1832 гг. первым создал электромагнитный телеграф), в **1844** году в США введена в действие **первая в мире коммерческая телеграфная линия**, а несколько лет спустя их число в США и Европе измерялось десятками (рисунок 3.25).



Рисунок 3.25

**Майкл Фарадей** в **1831** году открыл электромагнитную индукцию, тем самым доказав, что связь электричества и магнетизма взаимна. В результате серии опытов Фарадей сформулировал (словесно) свойства электромагнитного поля, позже математически оформленные Максвеллом: электрический ток оказывает магнитное действие перпендикулярно своему направлению, а изменение магнитного потока генерирует электродвижущую силу и вихревое электрическое поле (рисунок 3.26).

Фарадей построил **первый электродвигатель и первый электрогенератор**, открыв путь к промышленному применению электричества. Фарадей открыл **законы электролиза**, ввёл термины: **ион, катод, анод**, электролит, **диамагнетизм, парамагнетизм** и другие. В **1845** году Фарадей обнаружил **поворот плоскости поляризации света в веществе, помещённом в магнитное поле**. Это означало, что свет и электромагнетизм тесно связаны. Позже Фарадей исследовал самоиндукцию, открытую в **1832** году американским учёным **Генри**, свойства диэлектриков, разряды в газах.

**Период классической физики**  
**Первый этап (конец XVII в. – 60-е гг. XIX в. Часть 2 (1800 – 1869 гг.))**  
 Возникновение электродинамики и электротехники

**Фарадей**      Электромагнитная индукция.      Схема электролиза Фарадея

Магнитоэлектрический генератор Фарадея      Генератор переменного тока      Faradays Law of Induction      Закон электролиза Фарадея

Рисунок 3.26

Развитие теории и применений электротехники продолжалось. В 1845 году **Кирхгоф** установил законы распределения токов в сложных электрических цепях (рисунок 3.27).

**Период классической физики**  
**Первый этап (конец XVII в. – 60-е гг. XIX в. Часть 2 (1800 – 1869 гг.))**  
 Возникновение электродинамики и электротехники

**Кирхгоф**      Законы Кирхгофа

1. для узла  $I$ :  $I_1 - I_2 + I_3 = 0$   
 2. для контура  $K_1$  (левого):  
 $E_1 = U_0 + U_1 + U_2 = I_1 R_0 + I_1 R_1 + I_2 R_2$

Рисунок 3.27

В 1866 году был запущен **трансатлантический электротелеграф** (рисунок 3.28).



Рисунок 3.28

### Теория электромагнитного поля

Важным обстоятельством стала и глубокая разработка к **середине XIX века** теории дифференциальных уравнений в частных производных для сплошных сред - по существу был готов математический аппарат теории поля.

В этих условиях и появилась теория **Максвелла**, которую её автор скромно называл математическим пересказом идей **Фарадея**.

В первой работе (**1855-1856**) Максвелл дал ряд уравнений в интегральной форме для постоянного электромагнитного поля на основе гидродинамической модели (силовые линии соответствовали трубкам тока жидкости). Эти уравнения вобрали всю электростатику, электропроводность и даже поляризацию. Магнитные явления моделируются аналогично. Во второй части работы Максвелл, уже не приводя никаких аналогий, строит модель электромагнитной индукции. В последующих работах Максвелл формулирует свои уравнения в дифференциальной форме и вводит **ток смещения**. Он доказывает существование электромагнитных волн, скорость которых равна скорости света, предсказывает давление света (рисунок 3.29).



Рисунок 3.29

### Термодинамика, газы, строение вещества

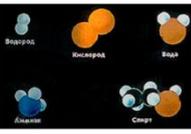
Успехи химии и невозможность взаимопревращения химических элементов стали весомым аргументом в пользу идеи **Роберта Бойля** о существовании молекул как дискретных первоносителей химических свойств (рисунок 3.30). Было отмечено, что для участников химических реакций соблюдаются некоторые весовые и объёмные соотношения; это не только косвенно свидетельствовало в пользу существования молекул, но и позволяло сделать предположения об их свойствах и структуре. **Джон Дальтон** ещё в начале XIX века объяснил с помощью молекулярной теории закон **парциальных давлений** и составил первую таблицу атомных весов химических элементов - как позже выяснилось, ошибочную, так как он исходил из формулы для воды *HO* вместо  $H_2O$ , а некоторые соединения посчитал элементами (рисунок 3.30).

В 1802 году **Гей-Люссак открыл закон** связи объёма и температуры газа (рисунок 3.30). В 1808 году Гей-Люссак обнаружил парадокс: газы соединялись всегда в кратных объёмных отношениях, например:  $C + O_2$  (по одному объёму) =  $CO_2$  (два объёма). Для объяснения этого противоречия с теорией Дальтона Авогадро в 1811 году предложил разграничить понятие атома и молекулы. Он также предположил, что в равных объёмах газов содержится равное число молекул (а не атомов, как считал Дальтон). Тем не менее, вопрос о существовании атомов был спорным ещё долгое время.

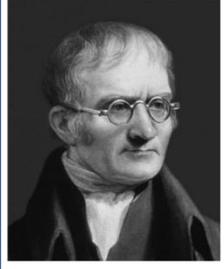
**Период классической физики**  
**Первый этап (конец XVII в. – 60-е гг. XIX в. Часть 2 (1800 – 1869 гг.))**  
 Термодинамика, газы, строение вещества



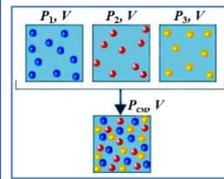
**Бойль**



Модели молекул различных веществ



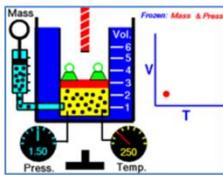
**Дальтон**



Закон Дальтона, 1803г.



**Первая таблица Дальтона атомных весов 20-ти химических элементов**



**Закон Гей-Люссака**

$V/T = \text{const}$  при  $p = \text{const}$

Рисунок 3.30

В теории тепла в **первой половине XIX века** по-прежнему господствовал теплород, хотя уже начали появляться количественные модели теплопередачи. Обсуждался также компромиссный вариант: теплота есть движение частиц вещества, но передаётся это движение через теплород (иногда отождествляемый с эфиром). В **1822** году **Фурье** публикует «**Аналитическую теорию тепла**», где появляется уравнение теплопроводности и показывается, что поток тепла ( $u$  Фурье - теплорода) пропорционален градиенту температуры (рисунок 3.31). В рамках теории теплорода была написана и **книга Сади Карно «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» (1824** год), фактически содержащая два начала термодинамики; первоначально не замеченная, эта работа в **1830-е** годы была должным образом оценена и оказала огромное влияние на развитие физики (рисунок 3.31).



Рисунок 3.31

В это же время начинают формироваться современные понятия работы и энергии (термин предложен **Юнгом** в **1807** году, первоначально только для кинетической энергии, и поддержан **Кельвином** в **1849-м**) (рисунок 3.32). В **1829** году **Кориолис**, проанализировав связь работы с «живой силой», добавил в выражение для последней множитель  $1/2$ , после чего кинетическая энергия  $mv^2/2$  приобрела современный вид.

**Джеймс Джоуль** (рисунок 3.32), проведя серию опытов с электричеством (**1843** год), пришёл к выводу: «во всех случаях, когда затрачивается механическая сила, всегда получается точно эквивалентное количество тепла». Он подсчитал величину этого эквивалента: около  $460 \text{ кГм/ккал}$ . Для электротока, как выяснил Джоуль, выделяемое тепло пропорционально сопротивлению и квадрату силы тока. Позднее Джоуль подтвердил свои выводы экспериментами со сжатием газов и объявил, что теплота есть механическое движение, а теплопередача есть переход этого движения в иные формы. Во всех опытах оценка механического эквивалента теплоты давала близкие значения. Обобщая, **Майер** и Джоуль формулируют **закон сохранения энергии**, а **Гельмгольц** в своей монографии (**1847** год) кладёт этот закон в основу всей физики (рисунок 3.32).



Рисунок 3.32

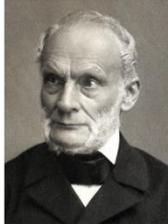
Работы по кинетике газов, почти заброшенной в **первой половине XIX века**, начали **Крёниг (1856 год)** и **Рудольф Клаузиус** (рисунок 3.33), независимо обосновавшие «уравнение состояния идеального газа». Клаузиус предложил правильную модель идеального газа, ввёл понятие внутренней энергии системы и объяснил фазовые переходы. **В середине XIX века Уильям Томсон (лорд Кельвин) и Клаузиус** (рисунок 3.33) сформулировали в ясном виде **два закона (начала) термодинамики**. Понятие теплорода было окончательно похоронено, **Рэнкин и Томсон** (рисунок 3.33) ввели взамен общее понятие энергии (**1852 год**), уже не только кинетической. Название «термодинамика» для раздела физики, занимающегося превращением энергии в макроскопических телах, было предложено Томсоном. После **1862** года Клаузиус исследовал необратимые процессы, не укладывающиеся в механическую модель, и предложил понятие энтропии. Началось широкое обсуждение проблемы «тепловой смерти Вселенной», вызванное тем, что принцип возрастания **энтропии** несовместим с вечностью Вселенной.

### Период классической физики

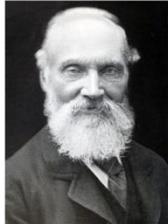
Первый этап (конец XVII в. – 60-е гг. XIX в. Часть 2 (1800 – 1869 гг.))  
Термодинамика, газы, строение вещества



Крёнинг



Клаузиус



Кельвин



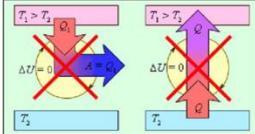
Ранкин



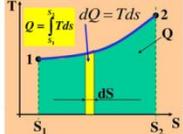
Вселенная

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$$

Основной закон молекулярно-кинетической теории идеального газа



Второе начало термодинамики



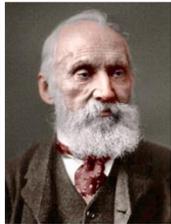
Энтропия

Рисунок 3.33

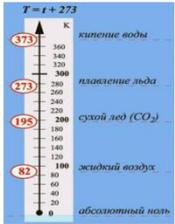
**Кельвин** в 1848 году предложил «абсолютную температурную шкалу» (шкалу Кельвина), начинающуюся в точке «абсолютного нуля» (-273 градуса Цельсия). **Максвелл** в 1860 году вывел статистический закон распределения скоростей молекул газа, получил формулы для внутреннего трения и диффузии, создал набросок кинетической теории теплопроводности (рисунок 3.34).

### Период классической физики

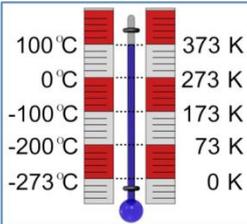
Первый этап (конец XVII в. – 60-е гг. XIX в. Часть 2 (1800 – 1869 гг.))  
Термодинамика, газы, строение вещества



Кельвин



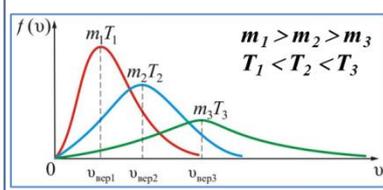
Термодинамическая шкала Кельвина



Шкала Кельвина и шкала Цельсия



Максвелл



Закон распределения скоростей молекул

$$\frac{dn}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left( \frac{m}{2kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv,$$

$\frac{dn}{n}$  - Доля всех частиц единичного объема, скорости которых лежат в интервале от  $v$  до  $v + dv$

Рисунок 3.34

### Механика, оптика, теория упругости

**Уильям Гамильтон** (рисунок 3.35) в **1834-1835** годах опубликовал вариационный принцип, который имел универсальный характер и был успешно использован в самых разных разделах физики. Гамильтон положил этот принцип в основу своей «**гамильтоновой механики**». Эти работы легли в основу всего развития аналитической механики в XIX веке.



Рисунок 3.35

В оптике главным событием стало открытие **Бузенем и Кирхгофом** спектрального анализа (**1859** год). В **1842** году австрийский физик **Доплер** обнаружил изменение частоты и длины волны, испускаемых движущимся источником. Оба эффекта стали важнейшими инструментами науки, особенно в астрофизике. В середине века появилось ещё одно важное **изобретение - фотография** (рисунок 3.36).



Рисунок 3.36

В **1821** году **Анри Навье** (рисунок 3.37) вывел основную систему уравнений теории упругости, заменив одномерный **закон Гука** на универсальный закон трёхмерных деформаций изотропных упругих тел. Модель Навье была сразу же (**1823** год) обобщена в работах **Коши** (рисунок 3.37), который снял ограничение изотропности. На основе уравнений Коши **Пуассон** (рисунок 3.37) решил множество практически важных задач.



Рисунок 3.37

Предпосылкой к созданию теории относительности явилось развитие в XIX веке электродинамики. Результатом обобщения и теоретического осмысления экспериментальных фактов и закономерностей в областях электричества и магнетизма стали **уравнения Максвелла**, описывающие эволюцию электромагнитного поля и его взаимодействие с зарядами и токами. В электродинамике Максвелла скорость распространения электромагнитных волн в вакууме не зависит от скоростей движения как источника этих волн, так и наблюдателя, и равна скорости света. Таким образом, уравнения Максвелла оказались неинвариантными относительно **преобразований Галилея**, что противоречило классической механике.

В **1728** году английский астроном **Брэдли** открыл **аберрацию света**: все звёзды описывают на небосводе малые круги с периодом в один год (рисунок 3.38). С точки зрения эфирной теории света это означало, что эфир неподвижен, и его кажущееся смещение (при движении Земли вокруг Солнца) по принципу суперпозиции отклоняет изображения звёзд.

**Френель** (рисунок 3.38), однако, допускал, что внутри вещества эфир частично увлекается движущейся материей. Эта точка зрения, казалось, нашла подтверждение в упоминавшихся выше **в опытах Физо** (рисунок 3.38), который обнаружил, что скорость света в воде меньше, чем в пустоте. **Максвелл** (рисунок 3.38) в **1868** году предложил схему решающего опыта.



Рисунок 3.38

## ЛЕКЦИЯ 3

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 3. ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (конец XVII в. – начало XX в.)

##### Второй этап (60-е гг. XIX в. – 1894 г.)

#### Возникновение электродинамики и электротехники

В **1874** году **Николай Алексеевич Умов** исследовал понятие потока энергии в произвольной среде, а в **1880-е** годы **Пойнтинг** и **Хевисайд** развили эту теорию применительно к электромагнитному полю (рисунок 3.39).



Рисунок 3.39

Промышленные модели электродвигателей и электрогенераторов со временем становились всё более мощными и технологичными; постоянный ток был заменён на переменный. К концу века неисчерпаемые возможности электричества, благодаря совместным усилиям физиков-теоретиков и инженеров, нашли самое широкое применение. В **1870-е** годы изобретён телефон, в **1880-е** годы начинается широкое применение ламп накаливания (рисунок 3.40).



### Теория электромагнитного поля

Завершающий труд Максвелла - «Трактат об электричестве и магнетизме» (1873 год) содержит полную систему уравнений поля в символике **Хевисайда**, который предложил наиболее удобный для этого аппарат - векторный анализ. Современный вид уравнениям Максвелла позже придали **Герц** и **Хевисайд** (рисунок 3.41).

Единство природных сил, которое не сумел доказать **Декарт**, было восстановлено. Гипотезы об электрической и магнитной жидкостях ушли в прошлое, вместо них появился новый физический объект - электромагнитное поле, объединяющее электричество, магнетизм и свет. Первоначально это поле трактовали как механические процессы в упругом эфире.

Часть физиков выступила против теории **Максвелла** (особенно много возражений вызвала концепция тока смещения). **Гельмгольц** предложил свою теорию, компромиссную по отношению к моделям **Вебера** и **Максвелла**, и поручил своему ученику **Генриху Герцу** провести её проверку. Однако опыты Герца, проведенные в **1885-1889** годы, однозначно подтвердили правоту Максвелла.

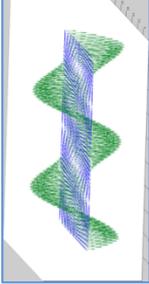
### Период классической физики (Второй этап (60-е гг. XIX в. – 1894г.) Теория электромагнитного поля



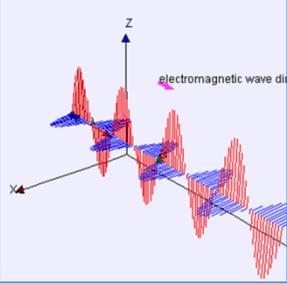
**Максвелл**



Трактат об электричестве и магнетизме



Электромагнитная волна



Картина распространения свободной электромагнитной волны в пространстве

Закон Гаусса	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	Электрический заряд порождает электрическое поле
Закон Гаусса для магнитного поля	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	Магнитных зарядов не существует
Закон индукции Фарадея	$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	Изменяющееся магнитное поле порождает вихревое электрическое поле
Теорема о циркуляции магнитного поля	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	Электрический ток и изменение электрической индукции порождают вихревое магнитное поле

Полная система уравнений электромагнитного поля Максвелла в векторной форме

Рисунок 3.41

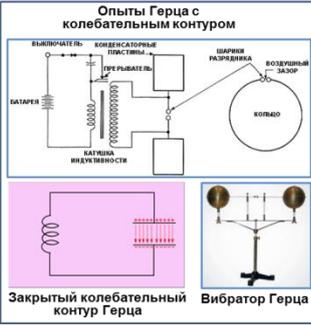
Уже в **1887** году **Герц** построил первый в мире радиопередатчик (**вибратор Герца**); приёмником служил резонатор (разомкнутый проводник). В том же году Герц обнаружил ток смещения в диэлектрике (заодно открыв фотоэффект). В следующем году Герц открыл стоячие электромагнитные волны, позже с хорошей точностью измерил скорость распространения волн, обнаружил для них те же явления, что и для света — отражение, преломление, интерференция, поляризация и др. (рисунок 3.42).

### Период классической физики (Второй этап (60-е гг. XIX в. – 1894г.) Теория электромагнитного поля



**Герц**

#### Опыты Герца с колебательным контуром

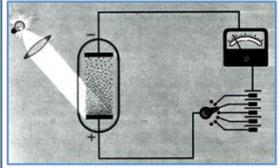


Закрытый колебательный контур Герца



Вибратор Герца

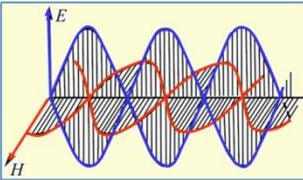
#### Опыты Герца с наблюдением фотоэффекта

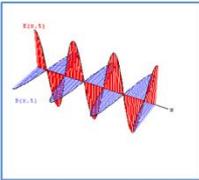
Смещение тока в диэлектрике

$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}$

Вектор смещения тока в диэлектрике



Стоячая электромагнитная волна состоит из двух волн – электрической и магнитной. Фазовый сдвиг -  $\pi/2$



Отражение и преломление света

Рисунок 3.42

В **1890** году **Бранли** изобрёл чувствительный приёмник радиоволн - **когерер** и ввёл в обиход термин «радио». Когерер ловил радиоволны на расстоянии до 40 метров (**Оливер Лодж, 1894**), а с антенной - намного дальше. Спустя ещё несколько лет **Попов** и **Маркони** предложили соединить когерер с электровозонком, создав первый аппарат для радиосвязи. В XX веке началась эра радио и электроники (рисунок 3.43).



### Термодинамика, газы, строение вещества

Дальнейшие успехи кинетической теории газов и термодинамики во многом связаны с **Людвигом Больцманом** и **Ван дер Ваальсом** (рисунок 3.44). Помимо прочего, они пытались вывести законы термодинамики на базе механики, и неудача этих попыток для необратимых процессов вынудила Больцмана предположить (**1872** год), что второе начало термодинамики имеет не директивно-точный, а статистический характер: тепло может перетекать и от холодного тела к горячему, просто обратный процесс гораздо более вероятен.

С **1871** года **Больцман** и **Максвелл** развивают **статистическую физику**. В **1872** году выведено основное кинетическое уравнение газов. Уравнение, названное по имени Людвигу Больцмана, который его впервые рассмотрел, и описывающее статистическое распределение частиц в газе или жидкости. Является одним из самых важных уравнений физической кинетики (области статистической физики, которая описывает системы, далёкие от термодинамического равновесия, например, в присутствии градиентов температур и электрического поля). Уравнение описывает изменение функции распределения  $F(t, \mathbf{v}, \mathbf{x})$  молекул газа по скоростям  $\mathbf{v}$  и координатам  $\mathbf{x}$  в момент времени  $t$ . Уравнение Больцмана используется для изучения переноса тепла и электрического заряда в жидкостях и газах, и из него выводятся транспортные

свойства, такие как транспортные свойства, электропроводность, эффект Холла, вязкость и теплопроводность. Уравнение применимо для разреженных систем, где время взаимодействия между частицами мало (гипотеза молекулярного хаоса).

Теория Больцмана опирается на очень простую и сейчас совершенно наглядную для всех молекулярно-кинетическую модель. Но 150 лет назад она выглядела чрезвычайно смелой для ряда физиков. Важнейшее её утверждение – что все можно описать через рассмотрение взаимодействий элементарных (по тогдашним представлениям) частиц – атомов или молекул. Исходя из движения этих частиц, можно построить достаточно общую теорию, которая совмещала бы в себе первое и второе начало термодинамики. В кинетической теории элементы мира просто существуют, их не надо вылавливать из каких-то гипотетических уравнений. Рассматривая же их взаимодействия, мы можем получить очень многое.



Рисунок 3.44

В 1874 году Д. И. Менделеевым обобщено уравнение Клапейрона и получено основное уравнение состояния идеального газа, которой названо уравнением **Менделеева-Клапейрона** (рисунок 3.45).

$$pV = (m/M) \cdot RT \text{ или } pV = n \cdot RT ,$$

где  $p$  – давление;

$V$  – объём газа;

$m$  – масса газа;

$M$  – молярная масса газа;

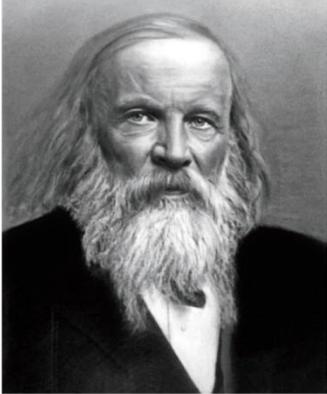
$T$  – температура газа;

$n$  – количество вещества газа, моль;

$R$  – универсальная газовая постоянная, значение которой зависит от единиц, в которых измеряют давление и объём.

**Период классической физики**  
(Второй этап (60-е гг. XIX в. – 1894г.)  
Термодинамика, газы, строение вещества

## Закон Менделеева-Клапейрона



$$pV = (m/M) \cdot RT \quad \text{или} \quad pV = n \cdot RT$$

где  $p$  – давление;  
 $V$  – объём газа;  
 $m$  – масса газа;  
 $M$  – молярная масса газа;  
 $T$  – температура газа;  
 $n$  – количество вещества газа, моль;  
 $R$  – универсальная газовая постоянная, значение которой зависит от единиц, в которых измеряют давление и объём.

**Менделеев**

Рисунок 3.45

В конце века начались глубокие исследования фазовых переходов и поведения вещества при сверхнизких температурах. В **1888** году шотландец **Джеймс Дьюар** (рисунок 3.46) впервые получил жидкий водород, он же изобрёл «сосуд Дьюара» (термос). **Гиббс** (рисунок 3.46) в **1870-е** годы сформулировал **правило фаз**.

**Период классической физики**  
(Второй этап (60-е гг. XIX в. – 1894г.)  
Термодинамика, газы, строение вещества



**Дьюар**

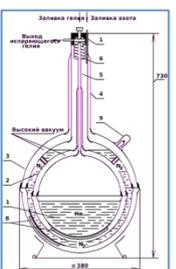
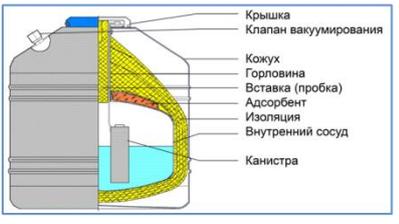
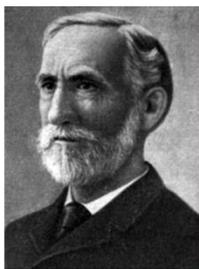


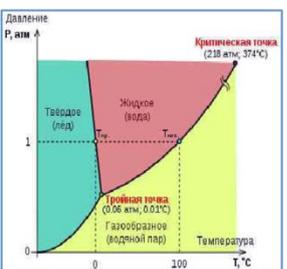
Схема сосуда Дьюара



Конструктивная схема современного сосуда Дьюара



**Гиббс**



$$f = n + 2 - k$$

Число степеней свободы      Число компонентов      Число фаз

**Правило фаз Гиббса**



Правило фаз Гиббса на примере воды

Рисунок 3.46

## Открытие электрона, радиоактивность

В **1878** году **Гендрик Лоренц** обобщил теорию **Максвелла** для подвижных сред, содержащих ионы. Электронная теория Лоренца хорошо объясняла диамагнетизм, процессы в электролите, движение электронов в металле (рисунок 3.47).

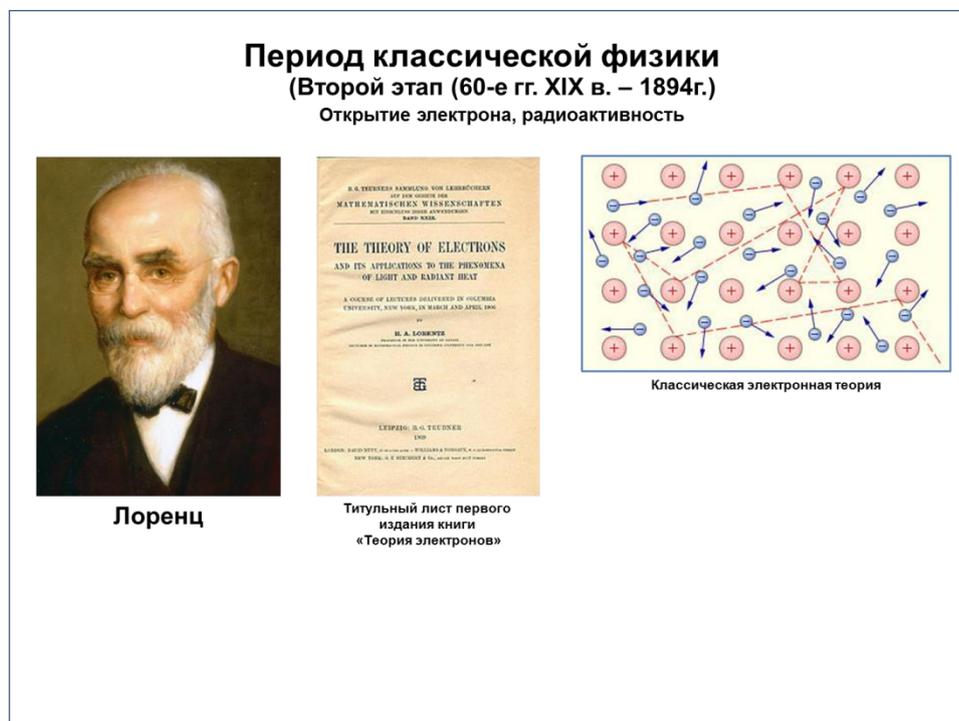


Рисунок 3.47

## Механика, оптика, теория упругости

После изобретения интерферометра американский физик **Майкельсон** смог осуществить в **1881** году предложенную **Максвеллом** в **1868** году схему решающего опыта (рисунок 3.48). Позже **Майкельсон** и **Морли** повторили опыт несколько раз с возрастающей точностью; другие физики провели десятки опытов, основанных на иных принципах (например, **Троутон** и **Нобль** измеряли поворот подвешенного конденсатора), но результат был неизменно отрицательным - «эфирного ветра» не существовало.



Рисунок 3.48

В 1892 году Гендрик Лоренц и (независимо от него) Джордж Фицджеральд предположили, что эфир неподвижен, а длина любого тела сокращается в направлении его движения (рисунок 3.49). Такое «лоренцево сокращение» неизбежно должно было привести к эффекту двойного лучепреломления во всех движущихся прозрачных телах; однако опыты опровергли существование подобного эффекта. Тогда Лоренц изменил свою гипотезу: сокращаются не сами тела, а входящие в них электроны, причём во всех направлениях, но в направлении движения сокращение больше. Лоренц не смог объяснить, отчего величина сокращения в точности такая, чтобы скомпенсировать «эфирный ветер».



Рисунок 3.49

## Квантовая теория

В 1880-е годы был экспериментально получен спектр излучения абсолютно чёрного тела; распределение энергии по частотам оказалось несогласованным со всеми имевшимися теориями, особенно для длинных (инфракрасных) волн (рисунок 3.50).

Абсолютно черное тело — физическое тело, поглощающее полностью весь падающий на него поток излучения независимо от спектрального состава и температуры. Поглощательная способность абсолютно чёрного тела (отношение поглощенной энергии к энергии падающего излучения) равна единице при любой температуре и любой частоте излучения. Абсолютно чёрное тело само может испускать электромагнитное излучение любой частоты и визуально иметь цвет. Спектр излучения абсолютно чёрного тела определяется только его температурой.

Излучение, проникая сквозь небольшое отверстие в стенке большой замкнутой сферической полости, после многократного отражения от внутренней поверхности сферы полностью поглощается. При обычной температуре абсолютно чёрное тело оказывается чернее любой чёрной поверхности. Если же стенка замкнутой полости имеет высокую температуру (как, например, внутренняя стенка доменной печи), то отверстие в ней излучает свет подобно другим источникам. По своим свойствам к абсолютно чёрному телу близки: сажа, черный бархат, платиновая чернь. Спектр излучения Солнца близок к излучению абсолютно черного тела при  $T = 6000^\circ\text{K}$ .

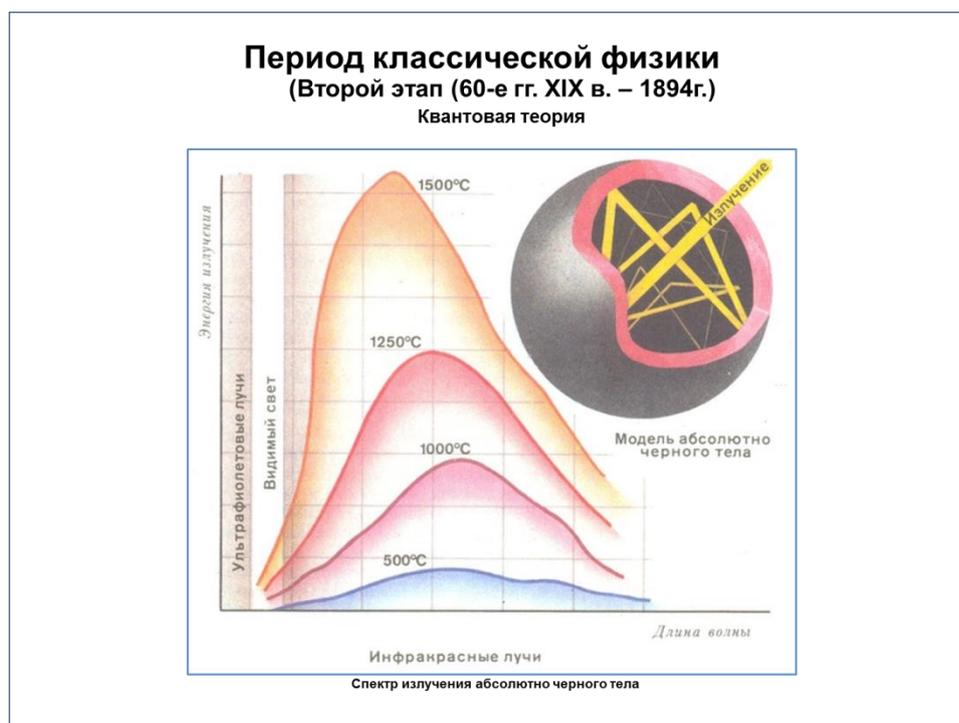


Рисунок 3.50

## Магнетизм

Ферромагнетики – твердые вещества, обладающие при не слишком высоких температурах самопроизвольной намагниченностью, которая сильно изменяется под влиянием внешних воздействий – магнитного поля, деформации, изменения температуры. К ним относятся: сталь, железо, никель, кобальт, их сплавы. Они имеют магнитную проницаемость, превышающую проницаемость вакуума в несколько тысяч раз.

Магнитные свойства веществ зависят от магнитных свойств элементарных носителей магнетизма движущихся внутри атомов электронов, а также от совместного действия их групп. Электроны в атомах, двигаясь по орбитам вокруг ядра атома, образуют элементарные токи или магнитные диполи, которые характеризуются магнитным моментом  $\mathbf{m}$ . Величина его равна произведению элементарного тока  $\mathbf{i}$  и элементарной площадки  $\mathbf{s}$ , ограниченной элементарным контуром  $\mathbf{m} = \mathbf{i}\mathbf{s}$ . Вектор  $\mathbf{m}$  направлен перпендикулярно к площадке  $\mathbf{s}$  по правилу буравчика. Магнитный момент тела представляет собой геометрическую сумму магнитных моментов всех диполей. Кроме орбитальных моментов, электроны, вращаясь вокруг своих осей, создают еще **спиновые** моменты, которые играют важнейшую роль в намагничивании ферромагнетиков.

Как изменяется намагничивание в зависимости от силы тока, до А.Г. Столетова (рисунок 3.51) не было известно. Он решил исследовать этот вопрос экспериментально. Опыты А.Г. Столетов проводил в лаборатории своего учителя Кирхгофа в Гейдельберге.

Раньше током намагничивали только железные стержни. Чтобы создать совершенно однородное магнитное поле внутри железа, А.Г. Столетов взял для своих опытов не стержень, а железное кольцо. Схема его установки сводилась к следующему. От батареи элементов ток поступал через реостат и переключатель в обмотку железного кольца. На этом же кольце находилась другая обмотка, ток от которой подводился к чувствительному гальванометру. В момент включения тока в первую обмотку железное кольцо намагничивалось. Его магнитные силовые линии пронизывали вторичную обмотку, и в ней появлялся кратковременный индукционный ток, который замыкался через зеркальный гальванометр. Перемещение зайчика от зеркала гальванометра было тем больше, чем интенсивнее намагничивалось кольцо током. Таким образом, изменяя намагничивающий ток, можно было определить намагничивание железа. В ходе экспериментов А.Г. Столетов определил, что намагничивание не пропорционально силе тока – оно сначала очень быстро растет, а при более значительных токах изменяется все меньше и меньше и, наконец, при некоторых значениях тока становится постоянным. Дальнейшее увеличение тока не вызывает возрастания намагничивания.

Проведя эксперименты **А.Г. Столетов**, на основе полученного экспериментального материала, подготовил работу **«Исследование о функции намагничения мягкого железа»**.

Кроме огромной теоретической важности, эта работа А.Г. Столетова имеет неопределимое практическое значение для электротехники. Разработанный им метод положен в настоящее время в основу технических приемов исследования

магнитных свойств железа, чугуна и сталей, используемых для построения двигателей, генераторов и трансформаторов. В заключительных строках диссертации ученый писал: «...изучение функции намагничения железа может иметь практическую важность при устройстве и употреблении, как электромагнитных двигателей, так и тех магнитоэлектрических машин нового рода, в которых намагничение играет главную роль».

Все электротехнические устройства, использующие магнитные поля для преобразования энергии, обязательно имеют конструктивные элементы, изготовленные из ферромагнитного материала и предназначенные для проведения магнитного потока. Такие элементы называются магнитопроводы.

Изучая намагничивание ферромагнетика в переменном магнитном поле, А.Г. Столетов обнаружил важное его **свойство** сохранять намагниченность после выключения внешнего поля. Существование остаточной намагниченности делает возможным изготовление постоянных **магнитов**.

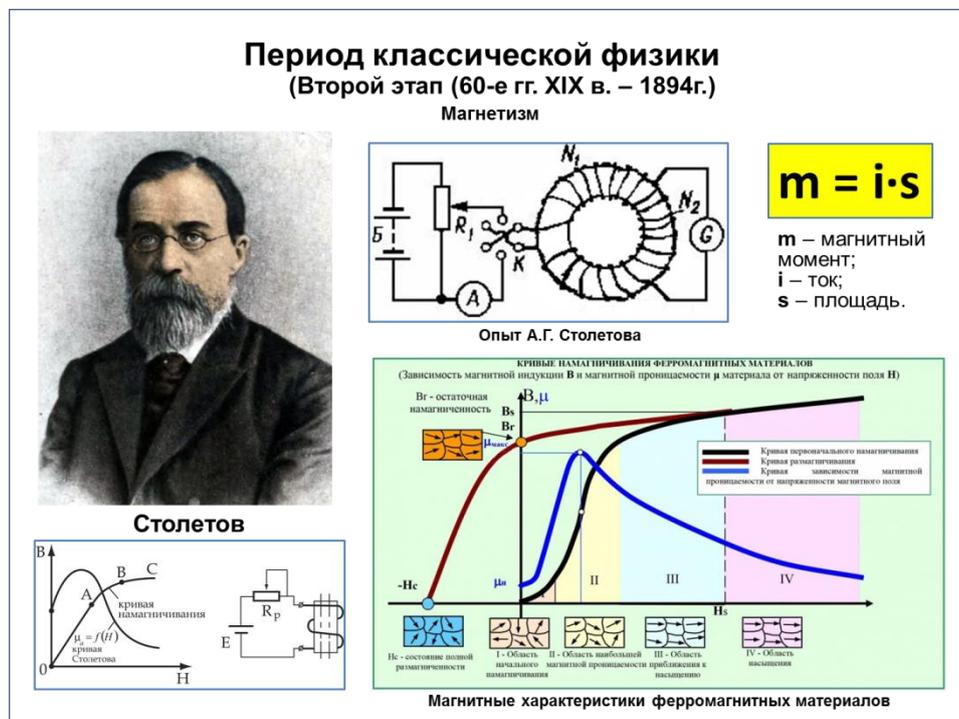


Рисунок 3.51

### Открытие явления термоэлектронной эмиссии

**Термоэлектронная эмиссия** - явление выхода электронов из твёрдого тела, металла и полупроводников в свободное пространство, обычно в вакуум или разреженный газ при нагреве его до высокой температуры. Эмиссия электронов наблюдается при нагреве твердых тел для температур свыше 900 К.

Впервые об этом явлении сообщил **Эдмонд Беккерель** в 1853 году.

Явление было вновь открыто в 1873 году **Фредериком Гатри** в Великобритании. Во время работы с заряженными телами Гатри обнаружил, что раскаленный железный шар теряет свой заряд, если он заряжен отрицательно, но положительно заряженный шар заряда не теряет.

Также это явление изучали **Иоганн Гитторф (1869-1883)**, **Ойген Гольдштейн (1885)**, **Юлиус Эльстер** и **Ганс Гейтель (1882-1889)** (рисунок 3.52).



Рисунок 3.52

Эффект был вновь открыт **Томасом Эдисоном** (рисунок 3.53) 13 февраля 1880 года. В своих опытах Эдисон пытался выяснить причину преждевременного перегорания нитей накала и образования темного налёта на стекле колбы с её внутренней стороны вблизи положительного электрода нити в создаваемой им лампе накаливания. Эдисон производил опыты с несколькими экспериментальными вакууммированными лампами накаливания с дополнительной металлической пластиной или листочком фольги внутри колбы, электрически изолированной от нити накаливания и имеющей дополнительный электрический вывод сквозь стекло колбы. В этих опытах Эдисон обнаружил, что если эта пластина имела положительный потенциал относительно нити накала, то через вакуум протекал заметный ток и ток отсутствовал, если потенциал пластины был отрицательный относительно нити накала, причем ток наблюдался только в том случае, если нить накала была достаточно сильно разогрета.

Это явление теперь объясняется испусканием электронов, которые являются отрицательно заряженными частицами, нагретыми телами. В описываемое время электрон ещё не был открыт, его открыл Джозеф Томсон в 1897 году и термин «электрон» не использовался при обсуждении экспериментов до открытия электрона.

Эдисон также обнаружил, что ток от нагретой нити быстро увеличивался с ростом напряжения накала и подал заявку на патент 15 ноября 1883 года на устройство для регулирования напряжения с использованием эффекта (патент США 307 031), считается, что это первый патент США на электронное устройство.

Несколько экземпляров ламп накаливания с демонстрацией эффекта Эдисон представил на Международной электрической выставке в Филадельфии в сентябре 1884 года. Британский ученый **Уильям Прис** (рисунок 3.53), посетивший выставку, забрал с собой несколько таких ламп для изучения явления. После их изучения он подготовил в 1885 году доклад, в котором назвал термоэлектронную эмиссию «эффектом Эдисона».

Затем британский физик **Джон Амброс Флеминг** (рисунок 3.53), работавший в британской компании «*Wireless Telegraphy*», обнаружил, что эффект Эдисона может использоваться для детектирования радиоволн. Флеминг продолжил разработку двухэлектродной вакуумной лампы, теперь известной как электривакуумный диод, на которую получил патент 16 ноября 1904 года.

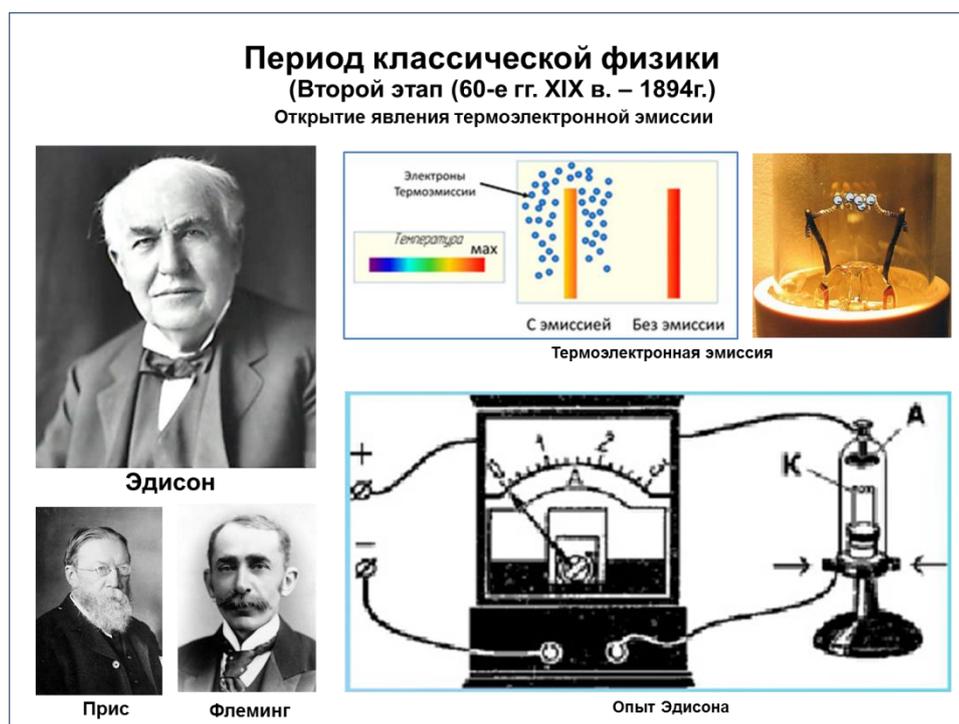


Рисунок 3.53

## ЛЕКЦИЯ 3

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 3. ПЕРИОД КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (конец XVII в. – начало XX в.)

##### Третий этап (1895 – 1904 гг.)

##### Термодинамика, газы, строение вещества

Более 20 лет догадка Больцмана о том, что тепло может перетекать и от холодного тела к горячему не вызывала интереса среди физиков, но затем развернулась оживлённая дискуссия. Примерно с **1900** года, особенно после работ **Планка, Гиббса и Эренфеста** (рисунок 3.54), идеи Больцмана получили признание.



Рисунок 3.54

##### Открытие электрона, радиоактивность

В **1858** году, при исследовании электрического разряда в газе были открыты **катодные лучи**. После долгих дискуссий учёные пришли к выводу, что это и есть поток электронов. В **1897** году **Дж. Дж. Томсон** (рисунок 3.55) измерил отношение заряд/масса для катодных лучей и доказал, что оно не зависит от материала катода и других условий опыта. Предположив, что заряд электрона совпадает с (уже известным) зарядом иона водорода, Томсон получил оценку массы электрона. Ко всеобщему удивлению, она оказалась во много раз меньше массы атома водорода. **Гипотезу Берцелиуса-Фарадея** пришлось отвергнуть. **Томсон** показал также, что частицы, излучаемые при фотоэффекте, имеют такое же отношение заряд/масса и, очевидно, тоже являются электронами.



Рисунок 3.55

Электронная теория Лоренца хорошо объясняла открытый в **1896** году **эффект Зеемана** - расщепление спектральных линий, излучаемых веществом, находящимся в магнитном поле (рисунок 3.56).

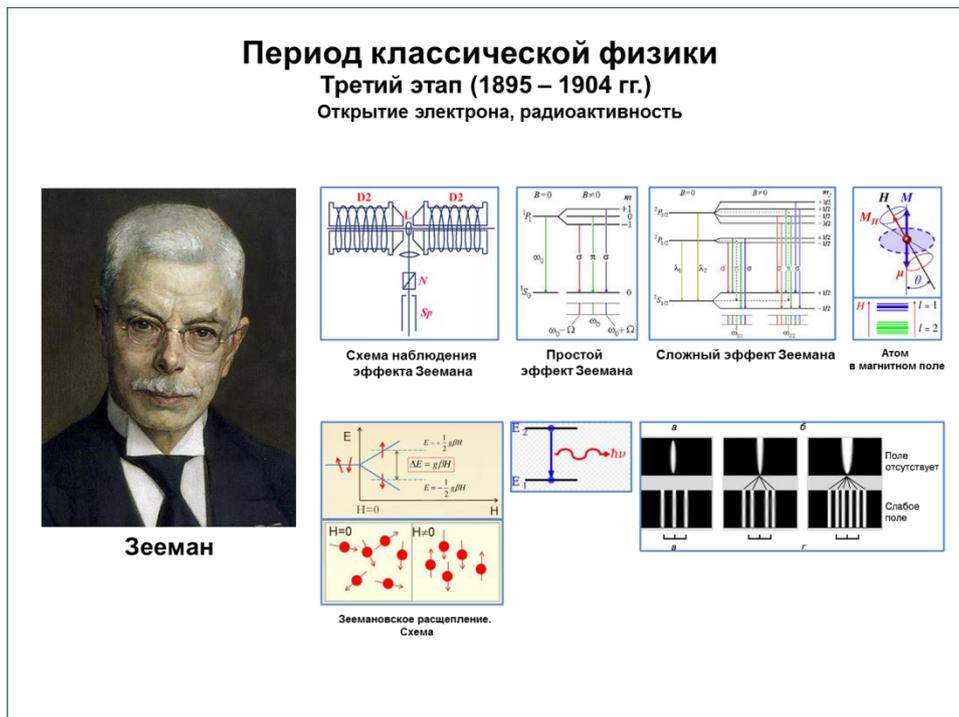


Рисунок 3.56

Решающие открытия были совершены в **1895-м** (рентгеновские лучи, **Вильгельм Конрад Рентген**) и **1896-м** годах (радиоактивность урана, **Анри Беккерель**) (рисунок 3.57).



Рисунок 3.57

Вскоре были открыты радий, торий и др. активные элементы, а также неоднородность излучения (альфа- и бета-лучи открыл **Резерфорд** в **1899-м**, а гамма-лучи - **Виллар** в **1900-м**) (рисунок 3.58). Природа бета-лучей стала ясна сразу, когда **Беккерель** измерил их отношение заряд/масса - оно совпало с таковым для электрона.

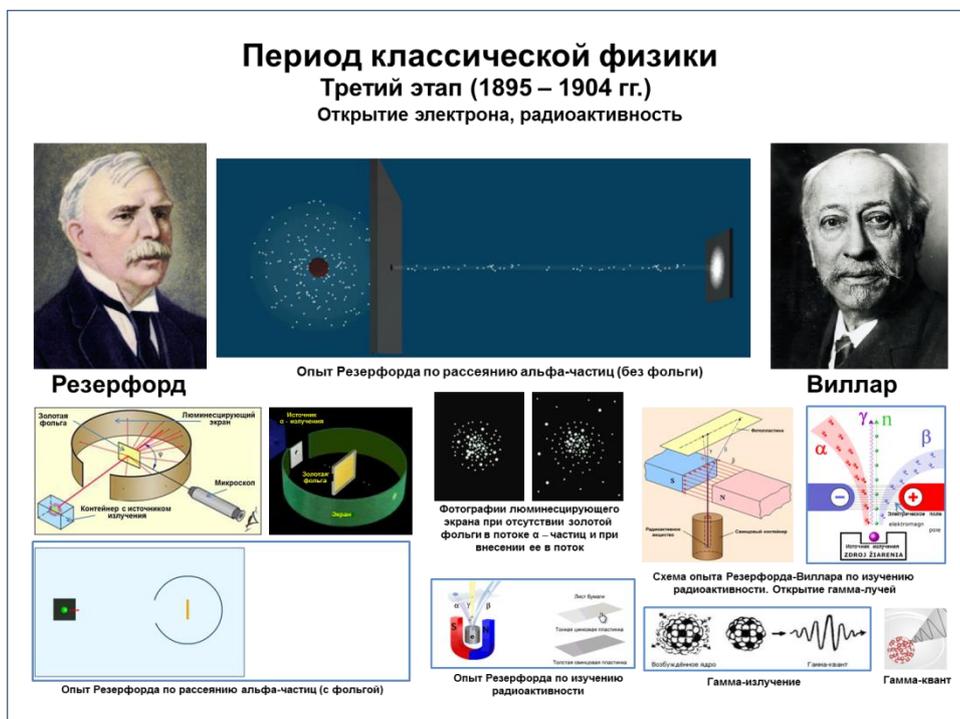


Рисунок 3.58

В **1901** году **Вальтер Кауфман** (рисунок 3.59) сообщил, что он обнаружил предсказанное **Хевисайдом** и **Дж. Дж. Томсоном** возрастание инертной

массы электрона при увеличении его скорости. **Лоренцеву теорию движения электрона** пришлось пересматривать; полемика на эту тему продолжалась даже после создания теории относительности.

Большие споры вызывал вопрос о том, что является источником энергии радиоактивного излучения. В **1902** году **Резерфорд и Содди** (рисунок 3.59) сделали вывод, что «радиоактивность есть атомное явление, сопровождаемое химическими изменениями». В **1903** году они открыли **экспоненциальный закон распада радиоактивного атома**, оценили внутриатомную энергию как неизмеримо превышающую любую химическую, и выдвинули гипотезу, что именно она является источником энергии Солнца. Одновременно **Резерфорд, Уильям Рамзай и Содди** (рисунок 3.59) обнаружили первые превращения элементов (радона в гелий), а **Дж. Дж. Томсон** дал первое обоснование периодической системе элементов с позиций электронной теории.

**Период классической физики**  
Третий этап (1895 – 1904 гг.)  
Открытие электрона, радиоактивность



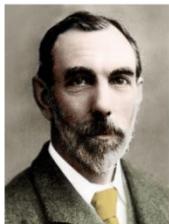
Кауфман



Резерфорд



Содди

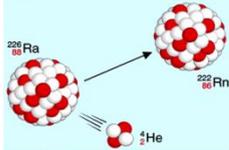


Рамзай

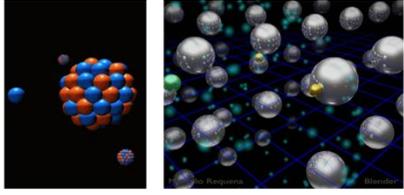
$$m = m_0 + W_k/c^2$$

$$m_0 = 0,911 \times 10^{-30} \text{ кг}$$

Зависимость массы электрона от скорости



Распад радия



Цепная реакция деления ядер

Рисунок 3.59

### Общая характеристика физики XX века

В начале XX века физика столкнулась с серьёзными проблемами — начали возникать противоречия между старыми моделями и опытными данными. Так, например, наблюдались противоречия между классической механикой и электродинамикой при попытках измерить скорость света — выяснилось, что она не зависит от системы отсчёта. Физика того времени также была неспособна описать некоторые эффекты микромира, такие как атомные спектры излучений, фотоэффект, энергетическое равновесие электромагнитного излучения и вещества, спектр излучения абсолютно чёрного тела. Движение Меркурия не соответствовало ньютоновской теории тяготения; не было найдено решения и для **«гравитационного парадокса»**. Наконец, новые явления, обнаруженные на рубеже

веков — радиоактивность, электрон, рентгеновские лучи — не были теоретически объяснены. «Это целый мир, о существовании которого никто не подозревал», заявил Пуанкаре в **1900** году, и для понимания нового мира понадобился существенный пересмотр старой физики.

Ещё одной важной особенностью физики XX века стало расширение понимания единства природных сил. Уже в XIX веке появилось универсальное понятие энергии, а Максвелл объединил оптику, электричество и магнетизм. В XX веке обнаружили глубокие связи пространства и времени, вещества и излучения (частицы и волны), гравитации и геометрии, массы и энергии и многие другие взаимоотношения. Появилось немало новых разделов физики - теория относительности, квантовая механика, атомная физика, электроника, аэродинамика, радиофизика, физика плазмы, астрофизика, космология и другие.

Серьёзным затруднением был тот факт, что **уравнения Максвелла** не соответствовали **принципу относительности Галилея**, несмотря на то, что электромагнитные эффекты зависят только от *относительного* движения. Был исследован вопрос, при каких преобразованиях координат уравнения Максвелла инвариантны. Правильные формулы впервые выписал **Лармор (1900 год)** (рисунок 3.60).

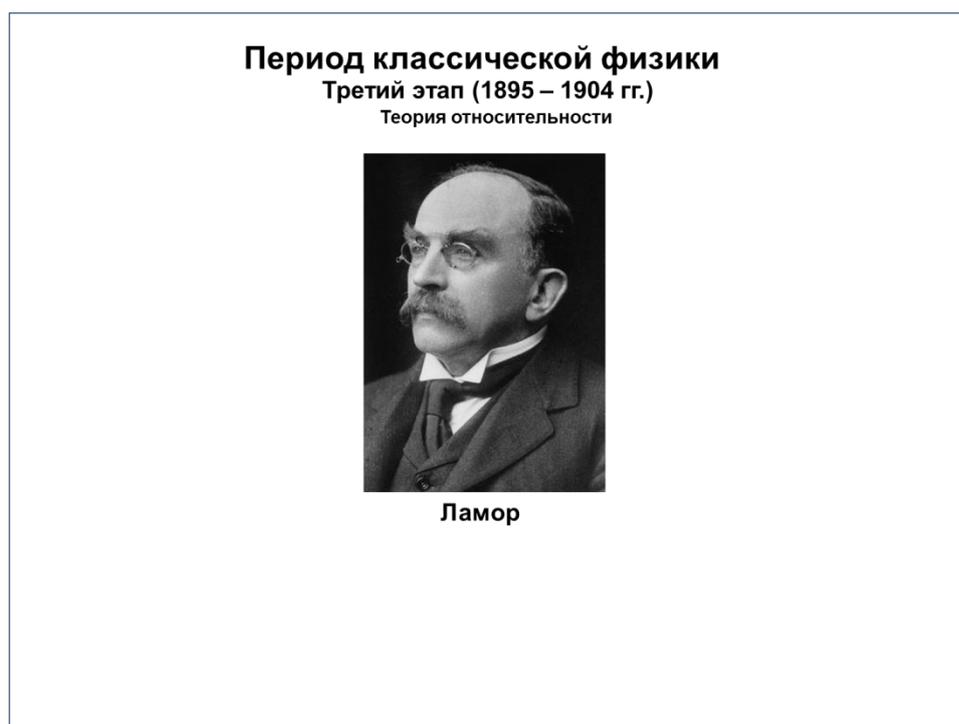


Рисунок 3.60

### Строение атома

После открытия электрона стало ясно, что атом имеет сложную структуру, и встал вопрос, какое место в ней занимает электрон, и какие есть ещё субатомные частицы. **В 1904 году появилась первая модель атома, известная как модель «пудинга с изюминками»**; в ней атом представлял собой положительно заряженное тело, с равномерно перемешанными в нём электронами. Двигаются они там или нет — этот вопрос был оставлен открытым. **Томсон** первым выдвинул перспективную гипотезу, что свойства химических элементов

определяются распределением электронов в атоме (рисунок 3.61). Одновременно японский физик Нагаока предложил планетарную модель, но Вин (рисунок 3.61) сразу указал, что круговые орбиты электронов несовместимы с классической электродинамикой: при всяком отклонении от прямой электрон должен терять энергию.

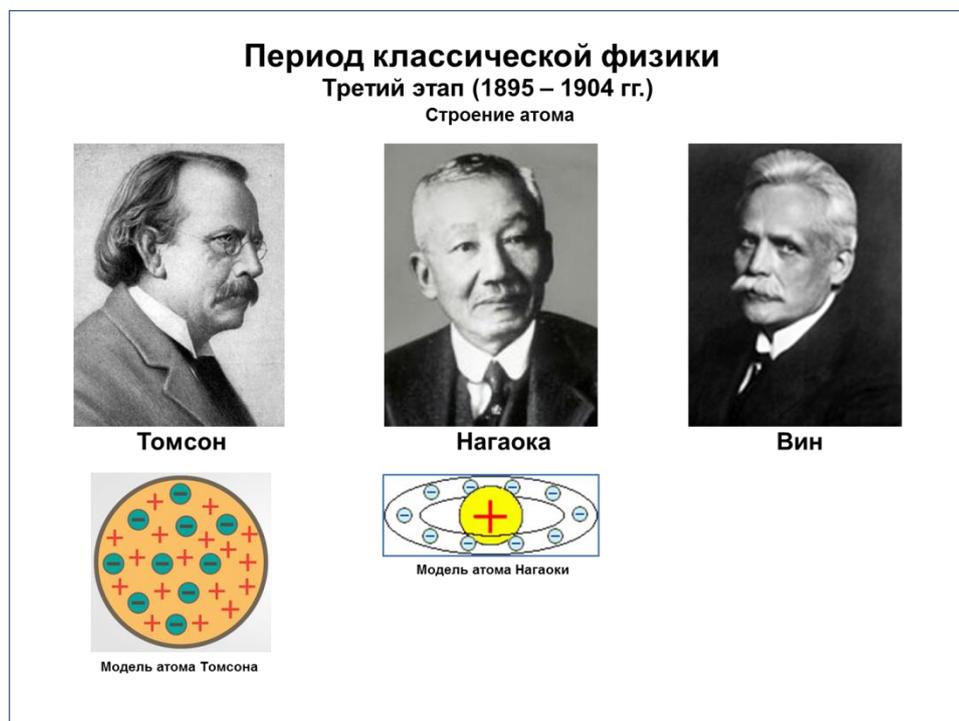


Рисунок 3.61

### Квантовая теория

Правильную формулу распределение энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела подобрал в 1900 году Макс Планк (рисунок 3.62). Несколькоми неделями позже он выяснил, что эта формула может быть строго доказана, если сделать допущение, что излучение и поглощение энергии происходит порциями не меньше некоторого порога (кванта), пропорционального частоте волны.



Рисунок 3.62

**Другие достижения**

Одним из главных направлений развития физики стала прикладная электроника, к концу века полностью перестроившая практически все области человеческой деятельности. **В начале века была изобретена первая электронная лампа - диод (Флеминг, 1904 год) (рисунок 3.63).**



Рисунок 3.63

## ЛЕКЦИЯ 4

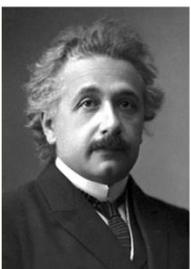
### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 4. ПЕРИОД СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ (с 1905 г.) Первый этап (1905 – 1931 гг.)

##### Термодинамика, газы, строение вещества

Кроме открытия электрона (обсудим ниже), решительным аргументом в пользу атомистики стала теория броуновского движения (**Эйнштейн, 1905**). После работ **Смолуховского и Перрена**, подтвердивших эту теорию, даже убеждённые позитивисты уже не оспаривали существование атомов. Начались первые попытки согласовать с атомной теорией периодическую систему элементов, разработанную в **1869** году **Д.И. Менделеевым**, но реальные успехи в этом направлении были достигнуты уже в XX веке (рисунок 4.1).

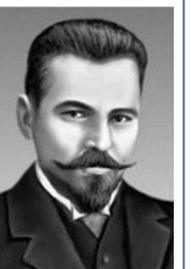
**Период современной физики**  
(Первый этап (1905 – 1931 гг.)  
Термодинамика, газы, строение вещества)



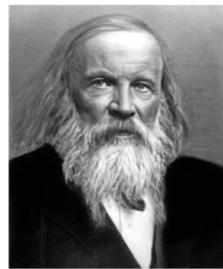
**Эйнштейн**



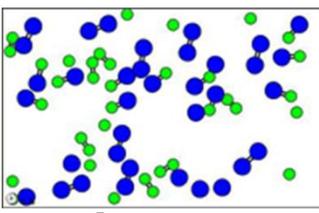
**Перрен**



**Смолуховский**



**Менделеев**



Броуновское движение

$$\Delta^2 = \frac{RT}{3\pi \cdot \eta \cdot r \cdot N_A} \cdot t$$

Уравнение Эйнштейна-Смолуховского для среднего квадратичного смещения частицы за время  $t$  при броуновском движении  
 $R$  – универсальная газовая постоянная;  
 $T$  – абсолютная температура;  
 $t$  – время;  
 $r$  – радиус взвешенных частиц;  
 $\eta$  – вязкость среды;  
 $N_A$  – число Авогадро.



Первый вариант таблицы Менделеева



Рукописный вариант таблицы, 1 марта 1869г.

Рисунок 4.1

##### Открытие электрона, радиоактивность

В **1910** году **Роберту Милликену** в ходе остроумного опыта удалось экспериментально определить заряд и затем вычислить массу электрона.

Свой первый знаменитый опыт с каплями масла Милликен провёл в 1909 г. вместе со своим помощником **Харви Флетчером** (рисунок 4.2). Говорят, что вначале опыт планировали делать с помощью капель воды, но они испарились за несколько секунд, чего оказалось явно мало, чтобы получить результат. Тогда Милликен отправил Флетчера в аптеку, где тот приобрёл пульверизатор и пузырёк масла для часов. Этого оказалось достаточно, чтобы опыт удался. Впоследствии Милликен получил за него Нобелевскую премию, а Флетчер докторскую степень.

В чём же заключался эксперимент Милликена?

Наэлектризованная капелька масла под воздействием силы тяжести падает вниз между двумя металлическими пластинами. Но если между ними создать электрическое поле, то оно удержит капельку от падения. Измерив силу электрического поля, можно определить заряд капли.

Две металлические пластины конденсатора экспериментаторы расположили внутри сосуда. Туда же с помощью пульверизатора вводились мельчайшие капельки масла, которые заряжались отрицательно во время разбрызгивания в результате их трения о воздух.

В 1911 г. Милликен установил, что величина заряда электрона равна  $1,5924(17) \times 10^{-19}$  Кл. Учёный ошибся всего на 1%. Современное его значение составляет  $1,602176487(10) \times 10^{-19}$  Кл.



Рисунок 4.2

### Инерция электрона

Эксперименты с целью поиска ответа на вопрос, обладают ли электроны инертной массой, проводились учеными в самом начале 20 века. Данные опыты помогли научному сообществу того времени утвердиться в принятии факта, что электрический ток в металлах формируется именно отрицательно заряженными частицами - электронами, а не положительно заряженными ионами, как можно было бы предполагать.

Первый качественный эксперимент, проиллюстрировавший, что, формирующие электрический ток в металлах, заряженные частицы массой точно обладают, провели ученые (тогда еще Российской империи) **Леонид Исаакович Мандельштам** и **Николай Дмитриевич Папалекси** (рисунок 4.3), это состоялось в 1913 году.

Мандельштам с Папалекси взяли катушку из проволоки, оснастили скользящими контактами ее изолированные от корпуса выводы, а к скользящим контактам подключили динамик (наушник). Раскрутили катушку вправо — резко остановили — в динамике раздался щелчок. Раскрутили влево — резко затормозили — в динамике снова щелчок. Вывод: в момент остановки катушки - по ее проводу проходит импульс тока, появляющийся из-за того, что электроны в момент торможения катушки оказываются отброшены к краю провода.

А сила инерции здесь играет роль сторонней силы, которая и создает то, что может быть измерено как ЭДС. Это заключение, конечно, не дало исследователям возможности узнать знак носителей заряда и как-то однозначно идентифицировать их, однако эксперимент Мандельштама и Папалекси отчетливо показал, что ток в металлах держит свой путь через кристаллическую решетку, а значит он связан с реально существующими внутри него свободными носителями заряда.

Три года спустя, в 1916 году, более точный эксперимент провели американские физики **Ричард Толмен и Томас Стюарт** (рисунок 4.3), которые в своей работе не только показали, что масса у электрона в металле есть, но и достаточно точно измерили ее косвенным методом при помощи гальванометра.

Толмен и Стюарт решили пойти немного дальше. Они тоже намотали катушку, только длину провода отмерили точно равной 500 метров, и стали ее раскручивать. Раскручивали до достижения линейной скорости точно 500 м/с, чтобы знать соотношение между полученной ЭДС и ускорением.

К скользящим выводам катушки был присоединен уже не динамик, а более информативный прибор - гальванометр. По завершении эксперимента исследователи проинтегрировали стороннюю силу по всей длине проводника катушки, и получили выражение для ЭДС, создаваемой сторонней силой инерции при изменении скорости до нуля.

Величину полного заряда, который пробежал по проводнику, можно было вычислить по закону Ома, приняв в расчет сопротивление провода катушки. Итак, зная скорость движения провода до торможения, длину провода, его сопротивление, направление вращения, время торможения, величину и знак ЭДС, можно найти знак и величину удельного заряда, что и сделали Стюарт и Толмен.

Сегодня уже никому не покажется странным, что измеренное Стюартом и Толменом отношение заряда электрона к его массе совпало с полученным почти 20 лет назад, в 1897 году Дж.Дж. Томсоном, удельным зарядом частиц, из которых состояли катодные лучи. Мы то теперь наверняка знаем, что и катодные лучи, и ток в металлах, образованы из одних и тех же отрицательно заряженных элементарных частиц — электронов.

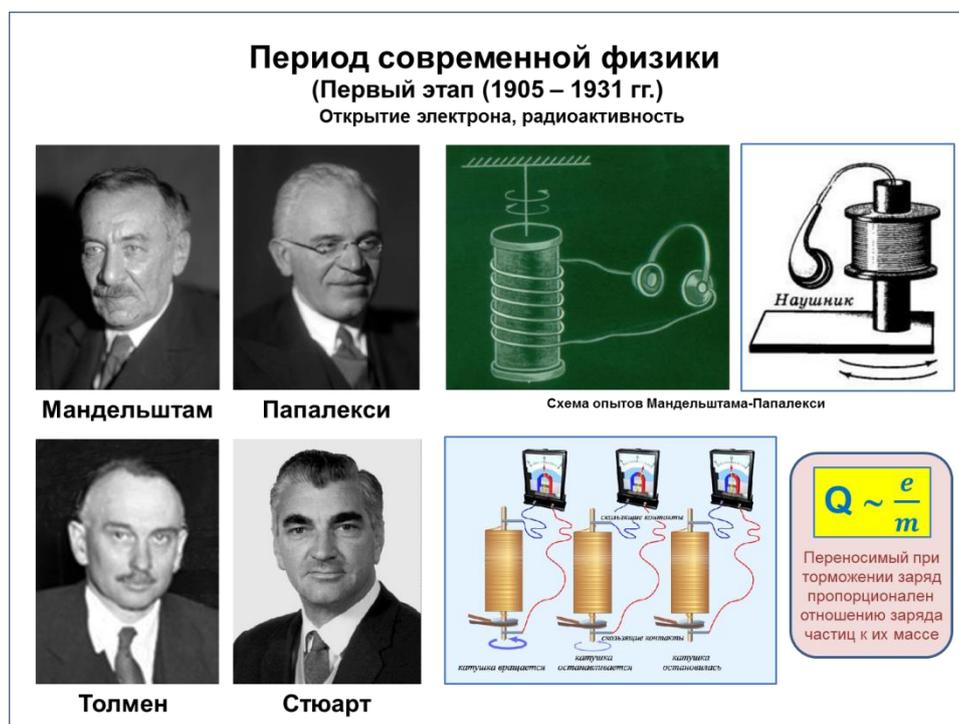


Рисунок 4.3

Волновая природа рентгеновских лучей была окончательно доказана только в **1925** году (Лауэ, дифракция в кристаллах), но предполагалась многими и ранее.

Вскоре после открытия Рентгена физики начали склоняться к мысли, что **рентгеновские лучи** очень похожи по своим свойствам на обычные оптические лучи, только у них длина волны меньше. Если длина волны зеленого света составляет 0,55 микрона, то длина волны **рентгеновских лучей**, видимо, в несколько тысяч раз меньше!

Чтобы доказать эти теоретические прогнозы, необходимо подтвердить, что **лучи Рентгена** могут преломляться, огибать препятствия, взаимодействовать друг с другом, как это делают обычные оптические лучи. Вот если бы удалось с помощью каких-либо удивительных крошечных призм или дифракционных решеток получить спектр **рентгеновских лучей**!

В 1912 году ученика Рентгена **Макса Лауэ** (рисунок 4.4) озарила идея: дифракционной решеткой для **рентгеновских лучей** могла бы стать пластина кристаллов. Промежутки между атомами, образующими кристалл, сравнимы с предполагаемой длиной волны **рентгеновских лучей**. Атомы в кристалле расположены упорядоченно, образуя стройные шеренги и колонны. Ряды атомов чередуются с той же регулярностью, что и штрихи на стекле в дифракционной решетке. Сама Природа создала оптические приборы для **рентгеновских лучей**!

В экспериментальной проверке этой удачной идеи Макс Лауэ помогли **Вальтер Фридрих и Пауль Книппинг** (рисунок 4.4). Используя разрядную трубку и несколько свинцовых экранов с маленькими отверстиями, ученые получили узкий пучок **рентгеновских лучей** и направили его по очереди на кристаллы различных материалов: сульфида цинка, поваренной соли, сульфата никеля. Фотопластинку сначала расположили перед кристаллами, но отраженного потока **рентгеновских лучей** не обнаружили. Затем поставили фотопластинку за

кристаллами, проявили ее и увидели симметричный узор из мелких темных пятен, расположенных вокруг сравнительно большого центрального пятна. По расчетам, сделанным Лауэ, именно такой должна быть картина дифракции, огибания **рентгеновскими лучами** сложной пространственной решетки, состоящей из многих атомов!

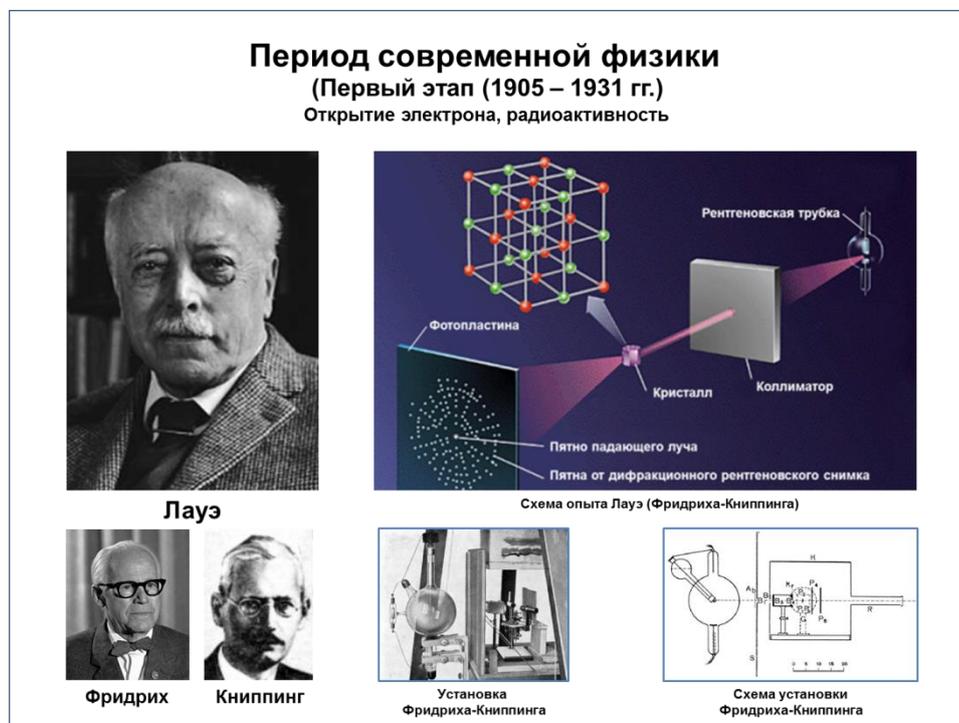


Рисунок 4.4

### Теория относительности

В 1905 году Пуанкаре доказал групповые свойства уравнений Максвелла и предложил назвать преобразованиями Лоренца. В работе «О динамике электрона» (1905 год) Пуанкаре (рисунок 4.5) также дал обобщённую формулировку **принципа относительности**, охватывающего и электродинамику. В этой работе есть даже **четырёхмерный интервал Минковского** (рисунок 4.5). Тем не менее, Пуанкаре продолжал верить в реальность эфира, а разработанной им математической модели не придавал объективного физического содержания, рассматривая её, в соответствии со своей философией, как удобное соглашение («конвенцию»).

Физическая, объективная сущность модели Пуанкаре раскрылась после работ Эйнштейна. В статье 1905 года Эйнштейн рассмотрел два постулата: всеобщий **принцип относительности** и постоянство скорости света. Из этих постулатов автоматически следовали формулы преобразования Лоренца, лоренцево сокращение, относительность одновременности и ненужность эфира. Были выведены также новый закон суммирования скоростей, возрастания инерции со скоростью и т. д. Эйнштейн указал, что все законы физики должны быть инвариантны относительно преобразований Лоренца. Позже эта теория получила название **специальной теории относительности (СТО)**. После изгнания из физики эфира электромагнитное поле приобрело новый статус самостоятельного

физического объекта, не нуждающегося в дополнительном механическом носителе. В том же году появилась и формула  $E = mc^2$  - инерция определяется энергией.

Часть учёных сразу приняли **СТО**: **Планк (1906 год)** и **сам Эйнштейн (1907 год)** (рисунок 4.5) построили релятивистскую динамику и термодинамику, а **Минковский в 1907** году представил математическую модель кинематики **СТО** в виде **геометрии четырёхмерного неевклидова мира** и разработал теорию инвариантов этого мира.

С **1911 года Эйнштейн** разрабатывал **общую теорию относительности (ОТО)**, заменившую теорию тяготения Ньютона, и завершил её в **1915 году**. В теории тяготения Эйнштейна, в отличие от ньютоновской, нет дальнего действия и ясно указан физический носитель тяготения – модификация геометрии пространства-времени. Опытная проверка предсказанных этой теорией новых эффектов, предпринятая в десятках экспериментов, показала полное согласие **ОТО** с наблюдениями. Попытки Эйнштейна и других учёных расширить **ОТО**, объединив гравитацию, электромагнетизм и теорию микромира, успехом не увенчались.



Рисунок 4.5

### Строение атома

В **1908** году **Хансом Гейгером** предложен принцип действия газоразрядного прибора для автоматического подсчёта числа попавших в него ионизирующих частиц. В **1928** году **Вальтер Мюллер**, работая под руководством Гейгера, реализовал на практике несколько версий прибора, конструктивно отличавшихся в зависимости от типа излучения, которое регистрировал счётчик (рисунок 4.6).

Цилиндрический **счётчик Гейгера-Мюллера** состоит из металлической трубки или металлизированной изнутри стеклянной трубки и тонкой

металлической нити, натянутой по оси цилиндра. Нить служит анодом, трубка - катодом. Трубка заполняется разреженным газом, в большинстве случаев используют благородные газы - аргон и неон. Между катодом и анодом создаётся напряжение от сотен до тысяч вольт в зависимости от геометрических размеров, материала электродов и газовой среды внутри счётчика. В большинстве случаев широко распространённые отечественные счётчики Гейгера, требуют напряжения 400 В.

Работа счётчика основана на ударной ионизации. Гамма-кванты, испускаемые радиоактивным изотопом, попадая на стенки счётчика, выбивают из него электроны. Электроны, двигаясь в газе и сталкиваясь с атомами газа, выбивают из атомов электроны и создают положительные ионы и свободные электроны. Электрическое поле между катодом и анодом ускоряет электроны до энергий, при которых начинается ударная ионизация. Возникает лавина ионов, приводящая к размножению первичных носителей. При достаточно большой напряжённости поля энергии этих ионов становится достаточной, чтобы породить вторичные лавины, способные поддерживать самостоятельный разряд, в результате чего ток через счётчик резко возрастает.

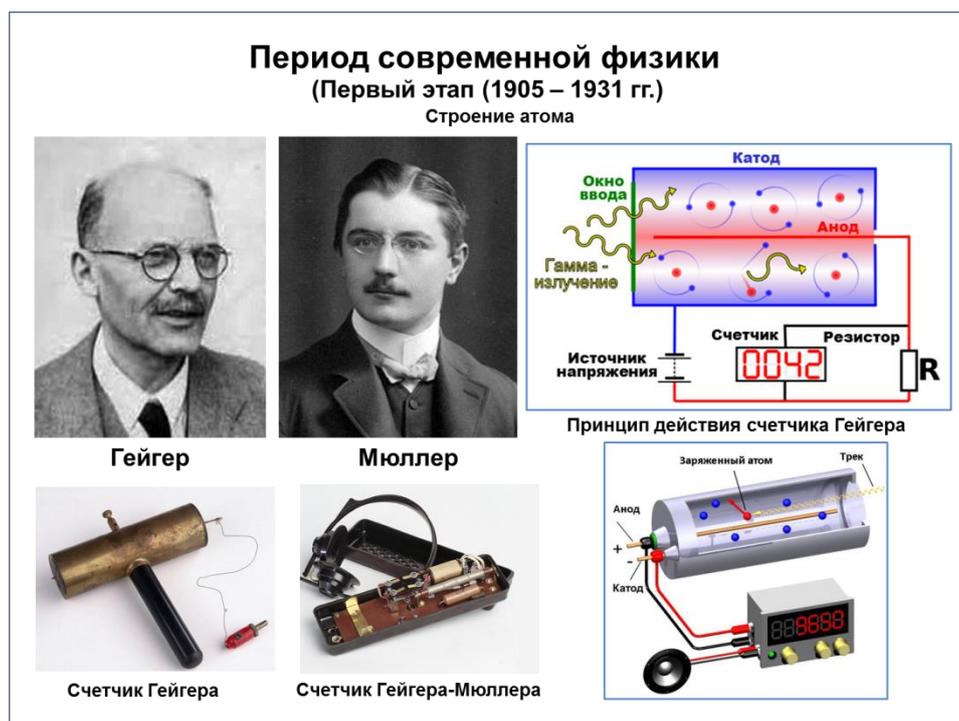


Рисунок 4.6

В 1909-1910 годах эксперименты Резерфорда и Гейгера по рассеянию альфа-частиц в тонких пластинках обнаружили, что внутри атома существует небольшая компактная структура - **атомное ядро** (рисунок 4.7). От «модели пудинга» пришлось отказаться. Резерфорд предложил **уточнённую планетарную модель**: положительное ядро, заряд которого (в единицах заряда электрона) точно соответствует номеру элемента в таблице Менделеева. Первым успехом новой теории было объяснение существования **изотопов**. Но были и другие модели. Дж. Дж. Томсон предположил, что взаимодействие электронов и ядра отличается от

кулоновского; делались попытки привлечь теорию относительности и даже неевклидовы геометрии.

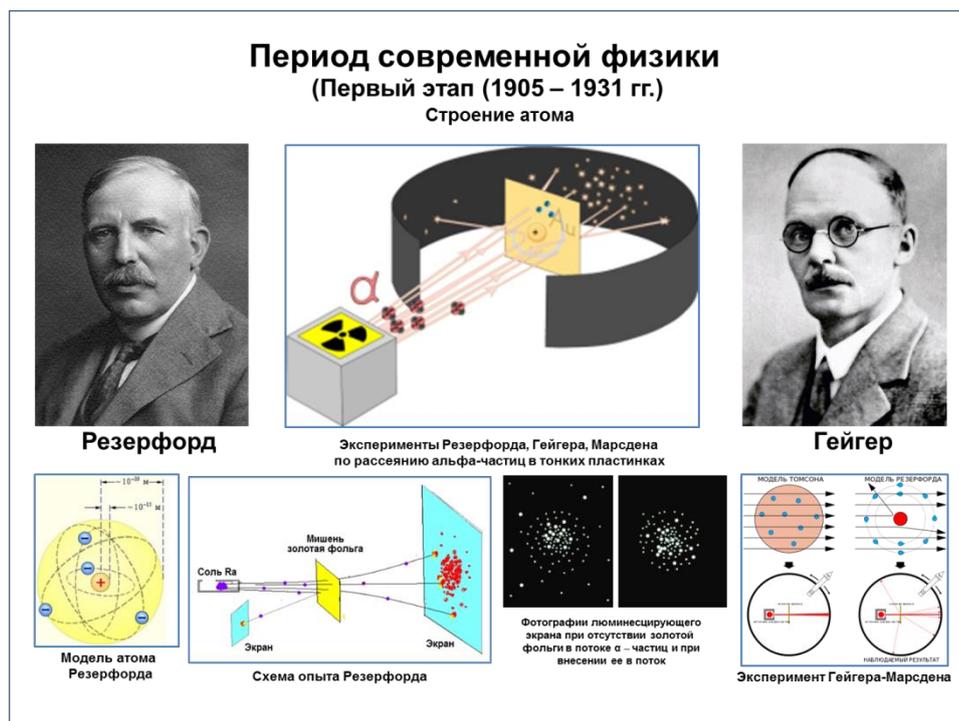


Рисунок 4.7

Первую успешную теорию, объяснившую спектр атома водорода, построил **Нильс Бор** (рисунок 4.8) в 1913 году. Бор дополнил модель Резерфорда постулатами неклассического характера:

1. Существуют орбиты, на которых электрон будет стабилен (не будет терять энергию).
2. При перескоке с одной дозволенной орбиты на другую электрон излучает или поглощает энергию, соответствующую разнице энергий орбит. Спектр атома водорода теория Бора предсказывала точно, но для других элементов согласия не было.

В 1915 году теория Бора была дополнена Зоммерфельдом и Вильсоном (рисунок 4.8); были объяснены **эффект Зеемана** и тонкая структура спектра водорода. Бор добавил к своим постулатам принцип соответствия, который позволил определить интенсивность спектральных линий. В 1925 году **Паули** (рисунок 4.8) высказал гипотезу о наличии у электрона **спина** (собственный момент импульса), а позже - **принцип запрета**, по которому никакие два электрона не могут иметь одинаковые квантовые числа (с учётом спина). После этого стало понятно, как и почему распределяются электроны по слоям (орбитам) в атоме. В 1920-е годы была в основном сформирована электронная теория металлов, объясняющая их хорошую электропроводность.



Рисунок 4.8

**Протон был открыт в 1919** году, когда **Резерфорд** обнаружил **расщепление атома азота при обстреле альфа-частицами** (рисунок 4.9); название «протон» Резерфорд придумал позднее.

В 1919 году Э. Резерфорд обнаружил ядра атома водорода в продуктах расщепления ядер атомов многих элементов. Резерфорд назвал эту частицу **протоном**. Он высказал предположение, что протоны входят в состав всех атомных ядер.

В вакуумной камере (рисунок 4.9) был расположен контейнер **К** с источником  $\alpha$ -частиц. Окно камеры было закрыто металлической фольгой **Ф**, толщина которой была подобрана так, чтобы  $\alpha$ -частицы не могли через нее проникнуть. За окном располагался экран **Э**, покрытый сернистым цинком.

С помощью микроскопа **М** можно было наблюдать сцинтилляции в точках попадания на экран тяжелых заряженных частиц. При заполнении камеры азотом при низком давлении на экране возникали световые вспышки, указывающие на появление потока каких-то частиц, способных проникать через фольгу **Ф**, практически полностью задерживающую поток  $\alpha$ -частиц.

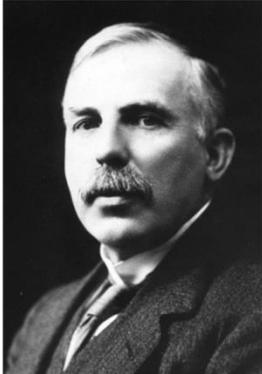
Исследования показали, что эти частицы обладают положительным элементарным зарядом и их масса равна массе ядра атома водорода.

Впоследствии опыт был выполнен с целым рядом других газообразных веществ. Во всех случаях было обнаружено, что из ядер этих веществ  $\alpha$ -частицы выбивают протоны.

Первая ядерная, выполненная Резерфордом на данной установке, была реакцией превращения азота в кислород.

В 1930 году **В. Паули** была выдвинута гипотеза о существовании **нейтрино**. И в том же году **П. Дирак** теоретически предсказал существование **позитрона**.

**Период современной физики**  
(Первый этап (1905 – 1931 гг.)  
Строение атома



**Резерфорд**

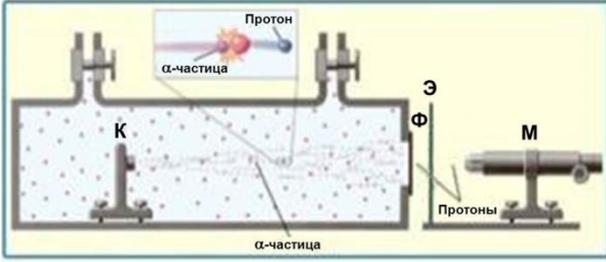


Схема опытов Резерфорда



Протон  
в камере Вильсона

$$\alpha + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow p + {}^{17}_8\text{O}$$

$${}^4_2\text{He} + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^{17}_8\text{O}$$

Открытие протона  
(ядерная реакция превращения азота в кислород)

Рисунок 4.9

### Квантовая теория

Вначале Планк рассматривал свою модель абсолютно черного тела, в которой излучение и поглощение энергии происходит порциями не меньше некоторого порога (кванта), пропорционального частоте волны как чисто математический трюк; даже много позже, в **1914** году, он пытался опровергнуть собственное открытие, но безуспешно.

**Эйнштейн** сразу принял гипотезу квантов света, причём считал, что квантование относится не только ко взаимодействию света с веществом, но является свойством самого света. **В 1905** году он построил на этой основе теорию **фотоэффекта**, в **1907** году – теорию теплоёмкости, которая до Эйнштейна при низких температурах расходилась с экспериментом. **В 1912** году **Дебай** и **Борн** (рисунок 4.10) уточнили теорию теплоёмкости Эйнштейна, и согласие с опытом было достигнуто. Эйнштейновская теория **фотоэффекта** была полностью подтверждена опытами **Милликена** в **1914-1916** годах.



Рисунок 4.10

Наконец, в 1920-х годах были обнаружены сразу несколько существенно квантовых явлений, необъяснимых с классических позиций. Наиболее показателен был **эффект Комптона** - вторичное излучение при рассеянии рентгеновских лучей в лёгких газах (рисунок 4.11). В 1923 году **Комптон** разработал теорию этого явления (основанную на работе Эйнштейна 1917 года) и предложил термин «**фотон**». В 1911 году была открыта **Х. Камерлинг-Оннесом** (рисунок 4.11) **сверхпроводимость** - ещё одно специфически квантовое явление, но оно получило теоретическое объяснение только в 1950-е годы (теория Гинзбурга - Ландау, а затем теория Бардина - Купера - Шриффера).

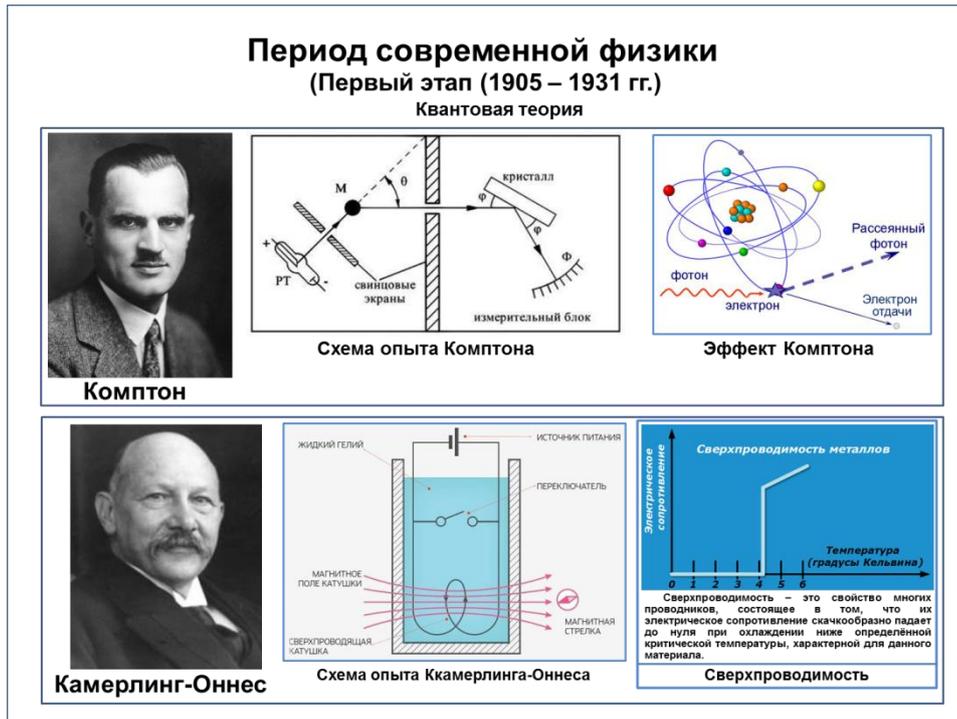


Рисунок 4.11

Электромагнитному полю, таким образом, оказался присущ «корпускулярно-волновой дуализм». Французский физик **Луи де Бройль** (рисунок 4.12) **предположил (1923)**, что подобный дуализм свойственен не только свету, но и веществу. Каждой материальной частице он сопоставил волну определённой частоты. Это объясняет, почему **принцип Ферма** в оптике похож на **принцип Мопертюи** (рисунок 4.12), а также - почему **устойчивые орбиты Бора** именно таковы: только у них длина волны де Бройля укладывается на орбите целое число раз. По удачному совпадению, как раз в этом году американские физики **Дэвиссон** и **Джермер** (рисунок 4.12) изучали отражение электронов от твёрдых тел и обнаружили предсказанную де **Бройлем дифракцию электронов**. Ещё раньше (1921 год) **волновые свойства электронов** обнаружились **в эффекте Рамзауэра** (рисунок 12), но в тот момент не были должным образом истолкованы. В 1930 году **Отто Штерн** (рисунок 4.12) тонкими опытами показал волновые эффекты для атомов и молекул.



В 1925 году Вернер Гейзенберг (рисунок 4.13) предложил использовать в теории субатомных явлений только наблюдаемые величины, исключив координаты, орбиты и т. п. Для определения наблюдаемых величин он разработал так называемую **«матричную механику»**. Гейзенберг, Макс Борн и Йордан (рисунок 4.13) сформулировали правила, по которым классическим величинам сопоставлялись **эрмитовы матрицы**, так что каждое дифференциальное уравнение классической механики переходило в квантовое.

Синтез идей де Бройля и Гейзенберга осуществил Эрвин Шрёдингер (рисунок 4.13), который в 1926 году создал **«волновую механику»** на базе выведенного им уравнения Шрёдингера для нового объекта - волновой функции. Новая механика, как показал сам Шрёдингер, эквивалентна матричной: элементы матрицы Гейзенберга, с точностью до множителя – собственные функции **оператора Гамильтона**, а собственными значениями оказалась квантованная энергия. В таком виде волновая механика была удобнее матричной, и вскоре стала общепризнанной. Первоначально Шрёдингер считал, что амплитуда волновой функции описывает плотность заряда, но этот подход был быстро отвергнут, и было принято предложение Борна (1926 год) истолковывать её как **плотность вероятности обнаружения частицы («копенгагенская интерпретация»)**.

В 1927 году Гейзенберг сформулировал принцип неопределённости: координаты и импульс микрообъекта невозможно точно определить одновременно — уточняя координаты, мы неизбежно «размываем» точность определения скорости. Бор обобщил этот тезис до **«принципа дополнительности»**: корпускулярное и волновое описание явлений дополняют друг друга; если нас интересует причинная связь, удобно корпускулярное описание, а если пространственно-временная картина, то волновое. Фактически

же микрообъект не является ни частицей, ни волной; эти классические понятия возникают только потому, что наши приборы измеряют классические величины. Школа Бора вообще считала, что все атрибуты атома не существуют объективно, а появляются только при взаимодействии с наблюдателем. «Нет реальности, не зависящей от способа её наблюдения» (Бор). Многие физики (Эйнштейн, Планк, де Бройль, Бом и др.) пытались заменить копенгагенскую интерпретацию иной, но успеха не добились.

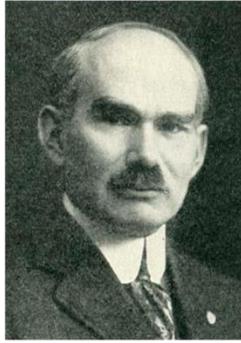


Рисунок 4.13

### Другие достижения

Одним из главных направлений развития физики стала прикладная электроника, к концу века полностью перестроившая практически все области человеческой деятельности. В 1907 году Ли де Форест изобрел одну из первых электронных ламп - триод (рисунок 4.14). Триод оказался незаменим для создания незатухающих колебаний и усиления тока. На ламповой основе вскоре появились звуковое радио, первые наброски телевидения, а после войны - первые ЭВМ.

**Период современной физики**  
(Первый этап (1905 – 1931 гг.)  
Другие достижения



**Форест**



Триод Фореста

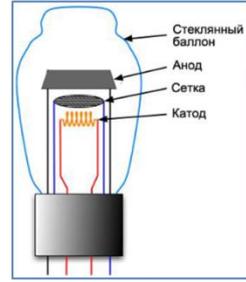


Схема триода

Рисунок 4.14

## ЛЕКЦИЯ 4

### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 4. ПЕРИОД СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ (с 1905 г.) Второй этап (1932 – 1954 гг.)

##### Строение атома

При создании моделей атома нерешённой оставалась проблема - что, вопреки кулоновским силам отталкивания, удерживает протоны в ядре атома? **Гамов** (рисунок 4.15) предположил, что там существуют силы, аналогичные силам поверхностного натяжения в капле жидкости; так возникла «**капельная модель ядра**», оказавшаяся плодотворной. **Японский физик Юкава** (рисунок 4.15) **разработал (1935 год) модель ядерных сил**, квантами которых являются частицы особого рода; эти частицы были обнаружены в космических лучах (**1947 год**) и названы **пи-мезонами**.



Рисунок 4.15

В 1932 году **Чедвик** (рисунок 4.16) открыл **нейтрон**, предсказанный Резерфордом ещё в 1920-м. Структура ядра стала теперь ясна. **Протон** фактически был открыт в 1919 году, когда Резерфорд обнаружил **расщепление атома азота при обстреле альфа-частицами**; название «протон» Резерфорд придумал позднее. В том же 1932 году в космических лучах американским физиком **К. Андерсоном** (рисунок 4.16) был открыт **позитрон**, подтверждающий идеи **Дирака о существовании антивещества**. В 1934 году **Ферми** (рисунок 4.16) опубликовал **теорию бета-распада** - нейтрон ядра превращается в протон,

испускающая электрон и (тогда ещё не обнаруженную) лёгкую частицу, названную им нейтрино.



Рисунок 4.16

После открытия деления ядра урана (1938 год, Отто Ган и Фриц Штрассман) (рисунок 4.17) и успеха работ по созданию ядерной бомбы ядерная физика превратилась в один из инструментов, формирующих мировую историю.

Деление тяжелых ядер может быть, как самопроизвольным, так и вынужденным. Например, в 1940 г. советские физики Г.Н. Флеров и К.А. Петржак (рисунок 4.17) обнаружили процесс самопроизвольного деления ядер урана на две приблизительно равные части. Затем это наблюдалось и для многих других ядер. Но по своей физической основе спонтанное деление близко к вынужденному делению.

Деление ядра урана-235 после захвата им одного нейтрона может реализовываться в разных вариантах. Ядра делятся на две части таким образом, что среди продуктов распада обнаруживается около 80 различных осколков, но наиболее вероятным является деление на такие осколки, массы которых относятся как 2:3. Кроме двух осколков при делении ядра урана выделяется, в среднем, 2,5 свободных нейтрона. Эти нейтроны обладают высокой энергией порядка 2 МэВ и называются быстрыми, поскольку такой энергии соответствуют скорости порядка  $2 \cdot 10^7$  м/с. В среднем каждый акт деления приводит к выделению около 200 МэВ ядерной энергии, которая преобразуется в основном в кинетическую энергию осколков деления.

Отмеченные особенности процесса деления урана дают возможность двойного использования ядерной энергии: осуществления управляемой реакции деления в ядерном реакторе и цепной реакции в атомной бомбе.



Рисунок 4.17

В **1939** году **Ферми** (рисунок 4.18) высказал идею, за которую тут же ухватились американские военные, он предположил возможность создания атомного оружия на основе цепной реакции, дающей колоссальное выделение энергии. Для продолжения исследований, способных дать Америке оружие небывалой мощности, ученому выделили федеральное финансирование. Не стоит забывать, что официально **Ферми** имел в это время статус «иностранца — подданного враждебной державы». Но в созданном в 1942 году Манхэттенском проекте ему поручили возглавить исследование цепной реакции и получение плутония. Под его руководством в Чикагском университете приступили к созданию первого в мире ядерного реактора. Строили его, кстати, под трибунами университетского стадиона. Удивляют сроки, уже **2 декабря 1942 года** на реакторе была запущена первая в мире самоподдерживающаяся цепная реакция. Об этом событии нобелевский лауреат физик **Джон Кокрофт** (рисунок 4.18) впоследствии сказал: «Было ясно, что **Ферми** открыл дверь в атомный век». И он её не просто открыл, он эту дверь широко распахнул, ведь уже через 2,5 года (16 июля 1945 г.) в США был произведен атомный взрыв, а в августе американские атомные бомбы испепелили японские города Хиросима и Нагасаки.



Рисунок 4.18

В Советском Союзе задача создания ядерного реактора возникла в связи с поставленной задачей создания ядерного оружия, для которого было необходимо подходящее делящееся вещество. Созданием реактора руководил **И.В. Курчатов** (рисунок 4.19).

В результате исследований по простоте, скорости и стоимости был выбран плутоний-239 (т. н. оружейный плутоний). В природе плутоний не встречается, его нужно получать искусственно - например, облучая нейтронами уран-238. Для получения плутония в оружейных количествах необходимо было длительно облучать мощными потоками нейтронов значительные количества урана. Проще всего этот процесс можно было осуществить в рамках управляемой цепной реакции, для осуществления которой нужно специальное устройство - **ядерный реактор**.

Реактор Ф-1 создавался как опытная площадка для отработки технологий и процессов получения плутония, топливо для реактора поставлялось лабораторией радия Гиредмета. Он был спроектирован и построен в Лаборатории № 2 АН СССР (ныне — НИЦ «Курчатовский институт»), которая находилась в Москве.

15 ноября 1946 г. в новом здании «К» началось сооружение реактора. Уран-графитовая активная зона реактора вместе с графитовым отражателем набиралась послойно. Для этого послойно укладывали графитовые брикеты размером 100×100×600 мм с тремя цилиндрическими отверстиями, в которые вставляли урановые стержни. 25 декабря 1946 года в 14 часов реактор был собран (рисунок 4.19). Саморазвивающаяся цепная ядерная реакция с растущей плотностью потока нейтронов была получена в 18 часов **25 декабря 1946 года**. Таким образом, от момента организации Лаборатории № 2 АН СССР до пуска Ф-1 прошло менее четырех лет.

Первый Советский реактор дал мощный толчок в развитии атомной энергетики, ну и наработки плутония для создание бомб. Сталин после войны сказал: «Если мы в ближайшие время не испытаем бомбу, то союзники испытают эту бомбу на нас». По рассекреченным архивам США, у американцев были планы по бомбардировке СССР.



Рисунок 4.19

В **1952** году **Дональдом Глазером** (США) была изобретена пузырьковая камера (рисунок 4.20). За своё изобретение Глазер получил Нобелевскую премию по физике в **1960** году. **Луис Альварес** усовершенствовал пузырьковую камеру Глазера, используя в качестве перегретой жидкости водород (рисунок 4.20). Кроме того, для анализа сотен тысяч фотографий, получаемых при исследованиях с помощью пузырьковой камеры, Альварес впервые применил компьютерную программу, позволяющую анализировать данные с очень большой скоростью.

Пузырьковая камера позволила зафиксировать поведение многих ионизирующих частиц, не поддававшихся ранее наблюдению, и получить о них в тысячи раз большую информацию. До этого около 40 лет использовалась камера Вильсона, где треки проявляются благодаря конденсации капель жидкости в переохлаждённом паре.

Принцип действия пузырьковой камеры напоминает принцип действия камеры Вильсона. Камеру Вильсона заполняют парами воды или спирта, а затем создают условия, в которых пар становится пересыщенным. Для этого резко опускают поршень, вызывая адиабатическое расширение пара. Элементарная частица, пролетая сквозь такую камеру, образует вдоль своей траектории ионы, которые затем выступают как центры конденсации: в них образуются капельки воды. Таким образом, частица оставляет за собой след. Снимки этих капель и дают информацию о траектории частиц. Действие пузырьковых камер основано

на том, что они заполнены перегретой жидкостью, в которой появляются маленькие пузырьки пара на ионах, возникающих при движении быстрых частиц. *Перегретая жидкость – это жидкость, нагретая до температуры большей температуры кипения для данных условий.* Если фотоэмульсия содержит мельчайшие кристаллы бромистого серебра, то его атомы ионизируются при пролёте элементарной частицы. Затем, когда фотопластинку проявляют, происходит химическая реакция восстановления серебра, и треки частиц становятся видимыми. Таким образом, если в камере Вильсона заряженная частица инициирует на своём пути превращение пара в жидкость, то в пузырьковой камере, наоборот, заряженная частица вызывает превращение жидкости в пар.



Рисунок 4.20

### Квантовая теория

В 1939 году указана возможность использования явления вынужденного излучения для усиления электромагнитных волн. Открытие явления усиления электромагнитных волн и затем изобретённый способ их усиления (**В.А. Фабрикант, М.М. Вудынский, Ф.А. Бутаева; 1951**) (рисунок 4.21) легли в основу квантовой электроники, положения которой позволили впоследствии создать квантовые усилители и квантовые генераторы света.

Квантовый генератор основан на принципе вынужденного излучения, предложенного **А. Эйнштейном**: когда квантовая система возбуждена и одновременно присутствует излучение соответствующей квантовому переходу частоты, вероятность скачка системы на более низкий энергетический уровень повышается пропорционально плотности уже присутствующих фотонов излучения. На возможность создания квантового генератора на этой основе указал советский физик **В.А. Фабрикант** в конце 1940-х годов.

**Квантовый генератор** – общее название источников электромагнитного излучения, работающих на основе вынужденного излучения атомов и молекул. В зависимости от того, какую длину волны излучает квантовый генератор, он может называться по-разному:

- **мазер** (сантиметровый диапазон – микроволны);
- **лазер** (оптический диапазон –  $(10^{-9} - 10^{-3})$  м);
- **разер** (рентгеновский диапазон ( $\sim 10 - \sim 10^{-3}$ ) нм);
- **газер** (**гамма-диапазон**).

**Принцип работы квантового генератора** заключается в следующем. В стандартных условиях атомы и молекулы вещества находятся в термодинамическом равновесии друг с другом и с окружающей средой. При этом, чем выше энергия возбужденного состояния атома или молекулы, тем меньше количество атомов и молекул, находящихся в возбужденном состоянии. Для создания вынужденного излучения атомов и молекул вещества, его необходимо поместить в неравновесную среду, в которой количество возбужденных атомов или молекул больше, чем невозбужденных. Возбужденные атомы или молекулы имеют электроны на более высоких энергетических уровнях. При переходе с возбужденного состояния (уровня), т.е. с более высокого энергетического уровня, на более низкий уровень, т.е. в нормальное, стабильное, невозбужденное состояние атом или молекула испускают фотон – квант электромагнитного излучения. Однако в одних случаях имеет место спонтанное излучение, а в других – вынужденное. При вынужденном излучении возникшая электромагнитная волна распространяется в том же направлении, что и первоначальная индуцирующая волна, частоты и поляризация вынужденного и первоначального излучений также равны, вынужденный поток когерентен возбуждающему.

В **1952** году **А.М. Прохоров** и **Н.Г. Басов** сформулировали основные положения теории молекулярного усилителя и генератора, основанные на использовании вынужденного излучения. Ключевая идея состояла в том, что для создания **инверсии населённостей** они предложили отделять возбуждённые молекулы от молекул, находящихся в основном состоянии. Для этого как нельзя лучше подходили молекулы аммиака, так как из-за своей асимметрии они в основном состоянии обладают некоторым дипольным моментом, а в возбуждённом состоянии среднее значение этого момента равно нулю. Пропуская молекулярный пучок через неоднородное магнитное поле, можно разделить возбуждённые и невозбуждённые молекулы: первые будут отклоняться под действием поля, вторые – нет. В не отклонённом пучке (активной среде) имеется необходимая **инверсия населённостей**. Если возбуждённый молекулярный пучок облучить пучком фотонов, энергия которых в точности равна разности энергий  $E_2 - E_1$ , то падающее излучение усилится. Пропуская часть излучения вновь и вновь через активную среду, можно получить молекулярный генератор – мазер, - способный излучать в самоподдерживающемся режиме.

Первый мазер на молекулах аммиака был сделан в **1954** году одновременно и независимо в Физическом институте Академии наук СССР **Н.Г. Басовым** и **А.М. Прохоровым** и в Колумбийском университете **Ч. Таунсом** (рисунок 4.21) с

сотрудниками. В **1964** году за эту работу им была присуждена Нобелевская премия по физике.

Первый квантовый генератор, работающий в оптическом диапазоне длин волн – лазер, был создан в **1960** году американским физиком **Т. Мейманом** (рисунок 4.21) на рубине. Рубин – это твёрдый кристалл, основой которого является корунд, т.е. кристалл окиси алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), в котором небольшая часть атомов алюминия (около 0,05%) замещена ионами хрома  $\text{Cr}^{3+}$ . Рубин имеет цилиндрическую форму, его торцы тщательно отполированы, посеребрены и служат зеркалами для лазера. Для освещения рубинового стержня (накачки) применена импульсная ксеноновая газоразрядная лампа-вспышка, через которую разряжается батарея высоковольтных конденсаторов. Лампа-вспышка имеет форму спиральной трубки, обвивающейся вокруг рубинового стержня.

Лазер преобразует энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

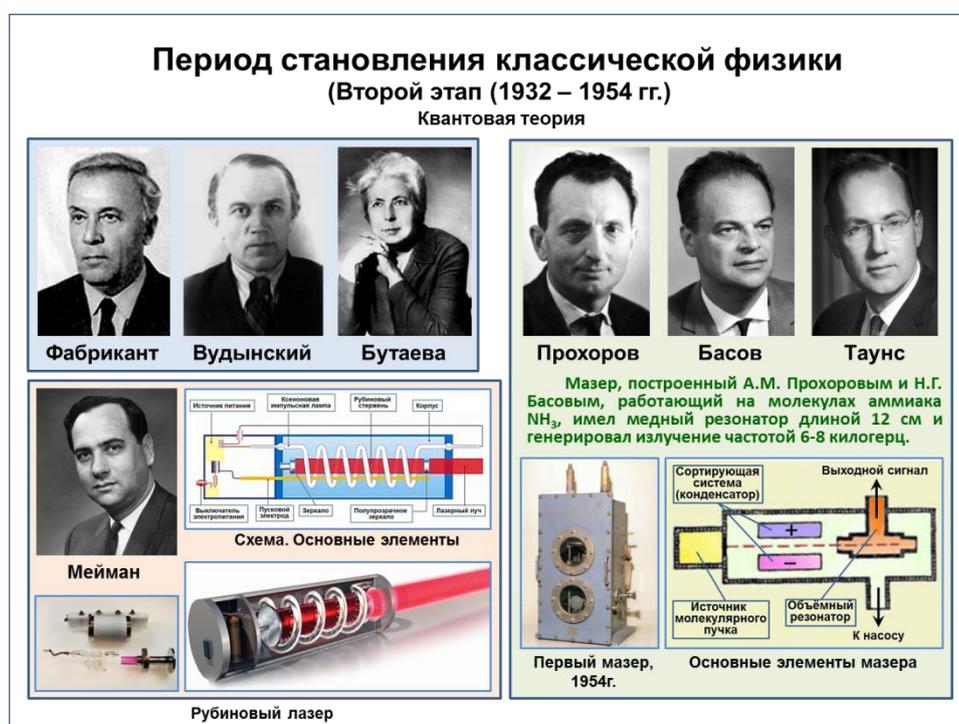


Рисунок 4.21

## ЛЕКЦИЯ 4

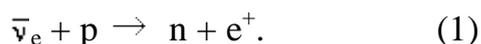
### Тема 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, КАК ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

#### Раздел 4. ПЕРИОД СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ (с 1905 г.)

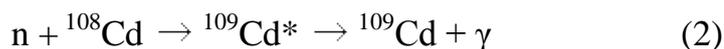
##### Третий этап (с 1955 г. по н.в.)

При изучении  $\beta$ -распада еще в 30-х годах прошлого столетия стало очевидно, что должна присутствовать третья частица. Но по причине того, что частица, названная нейтрино, не имела заряда, её было очень трудно обнаружить детектором. В середине 1950-х годов **Фредерик Райнес** и **Клайд Коуэн** предложили эксперимент проверки существования нейтрино (рисунок 4.22). Источниками нейтрино являются ядерные реакторы, которые должны вырабатывать потоки нейтрино порядка  $10^{12}$ - $10^{13}$  нейтрино/сек·см<sup>2</sup>.

В результате распада нейтронов и других видов  $\beta$ -распада образуются электронные антинейтрино. При их взаимодействии с протонами должны появляться нейтроны и позитроны.



Позитроны и электроны быстро аннигилируют, в результате чего высвечиваются 2  $\gamma$ -кванта. Можно зафиксировать эту вспышку ( $E_\gamma = 0.5$  МэВ) в расположенных друг напротив друга детекторах. Но Райнес и Коуэн понимали, что простая фиксация  $\gamma$ -лучей еще не дает 100-процентной уверенности в правильности интерпретации опыта. В своем эксперименте они дополнительно детектировали нейтроны, продукт реакции (1). Детектирование гамма квантов происходило путем помещения водородсодержащего сцинтиллятора в большой резервуар с водой (*сцинтиллятор - вещество, используемое для регистрации заряженных частиц. При прохождении заряженных частиц через сцинтиллятор часть энергии, теряемой частицей на ионизацию, достаточно эффективно преобразуется в свет*). В ответ на взаимодействие вещества сцинтиллятора с гамма-лучами появлялись вспышки видимого света, которые попадали на фотоумножители. Нейтроны регистрировались при добавлении хлорида кадмия в резервуар детектора. Кадмий является сильным нейтронным поглотителем и используется в управляющих стержнях ядерных реакторов. Поглотив нейтрон, <sup>108</sup>Cd образует возбужденное состояние <sup>109</sup>Cd, который затем испускает  $\gamma$ -квант с энергией 3-10 МэВ.



Эксперимент строился таким образом, что дополнительный гамма квант реакции (2) регистрировался через  $5 \cdot 10^{-6}$  секунды (время торможения нейтрона при рассеянии на водороде) после двух фотонов аннигиляции электрон-позитронной пары. Это увеличило достоверность опыта.

После первых экспериментов в Хэндфорде, Райнес и Коуэн собрали установку поблизости от реактора в городе Августа, штат Джорджия, где были лучшие условия для экранирования космических лучей. Экспериментальное помещение находилось в

11 м от реактора и под землей на глубине 12 м. В эксперименте 1956 года ученые использовали 2 резервуара с 200 литрами воды и 40 килограммов растворенного в ней  $\text{CdCl}_2$ . Резервуары были помещены между 3 слоями сцинтиллятора, которые содержали в себе 110 фотоумножителей диаметром 12 см каждый. После месяца сбора данных оказалось, что частота нейтринных событий в детекторе составляет 3 в час. В качестве дополнительного подтверждения, Райнес и Коуэн предложили заглушить реактор и посмотреть, будет ли изменение числа событий. Теоретически предсказанное ими сечение реакции (1) около  $6 \cdot 10^{-44} \text{ см}^2$ , а измеренное в эксперименте  $6,3 \cdot 10^{-44} \text{ см}^2$ , что соответствует тому, что нейтрино с энергией в несколько МэВ, чтобы испытать хотя бы одно взаимодействие, должно пройти расстояние в 100 св. лет в веществе с плотностью воды. Их результаты были опубликованы в 1956 году. Фредерик Райнес был удостоен нобелевской премии в 1995 году за работы в области физики нейтрино.

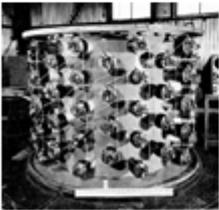
**Период становления классической физики**  
(Третий этап (с 1955 г. по н.в.)  
Строение атома



Райнес



Коуэн



Детектор нейтрино

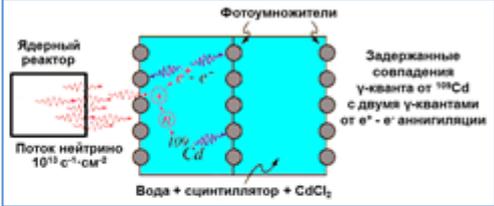


Схема опыта Райнеса-Коуэна по регистрации нейтрино

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+ \quad (1)$$

$$n + {}^{108}\text{Cd} \rightarrow {}^{109}\text{Cd}^* \rightarrow {}^{109}\text{Cd} + \gamma \quad (2)$$

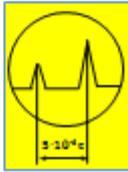


Рисунок 4.22

Природа построена по принципу матрешки. Каждый раз открывая каждую последующую матрешку, мы обнаруживаем что-то новое.

Имеются молекулы. Молекулы состоят из атомов. Атомы состоят из электронов и атомного ядра. Ядро состоит из протонов и нейтронов.

Примерно 100 лет назад считалось, что протоны и нейтроны являются элементарными частицами. Потом оказалось, что таких частиц как протоны и нейтроны намного больше. Сначала в космических лучах, а потом и на ускорителях стали открывать все новые и новые частицы. В итоге таких частиц образовалось несколько десятков.

Такое большое количество новых частиц необходимо было проклассифицировать. Чтобы провести правильную классификацию, ученые предположили, что эти частицы состоят из неких других составляющих. То есть

было предположено, что протоны, нейтроны и прочие частицы состоят из еще каких-то более мелких частиц.

Этими более мелкими частицами и оказались **кварки**.

Гипотеза о том, что адроны построены из специфических субъединиц, была впервые выдвинута **М. Гелл-Манном** и, независимо от него, **Дж. Цвейгом** в 1964 году (рисунок 4.23).

**Кварк** - фундаментальная частица в Стандартной модели, обладающая электрическим зарядом кратным  $e/3$ , и не наблюдаемая в свободном состоянии, но входящая в состав адронов (сильно взаимодействующих частиц, таких как протоны и нейтроны). Кварки являются бесструктурными, точечными частицами; это проверено вплоть до масштаба примерно  $10^{-16}$  см, что примерно в тысячу раз меньше размера протона.

Чтобы описать все новые частицы, ученые ввели понятия о **верхних, нижних и странных** кварках или по-другому **u-кварк, d-кварк и s-кварк**.

Протон и нейтрон состоят из трех кварков. Например протон состоит из двух u-кварков и одного d-кварка. Нейтрон состоит из одного u-кварка и двух d-кварков (рисунок 4.23).

При помощи комбинации трех кварков, будь то uus, dds, uuu и так далее, мы можем получить ту или иную частицу. То есть все то разнообразие частиц, которое было открыто в середине XX века на ускорителях и в космических лучах, можно описать при помощи трех кварков.

### Новые кварки

Безусловно за этой идеей стояла мощная математическая конструкция под названием **теория групп**. Эта теория говорит о том, что все частицы должны образовывать некие семейства. И все те открытые элементарные частицы отлично укладывались в эти семейства при помощи кварков. Также при помощи этой теории получились некоторые незанятые места в семействах, которые впоследствии были заняты в ходе открытия новых частиц.

В 1974 году была открыта частица джей-пси-мезон, которая не вписывалась ни в какое семейство. Поэтому для этой частицы был введен новый **очарованный кварк** или **c-кварк**.

Об этом четвертом кварке говорили и раньше в 1970 году, поскольку теория трех кварков предсказывала распады, которые не происходят в природе, а четное количество кварков как раз исключает эти ненаблюдаемые распады.

В 1977 году в лаборатории Фермилаб был обнаружен пятый **b-кварк**. Наличие пяти известных кварков означало, что должен быть и шестой.

Поиски шестого кварка продолжались почти 20 лет, пока в 1995 году не были обнародованы результаты об обнаружении нового и на данный момент последнего **t-кварка**.

### Классификация кварков

Когда было выяснено, что всего существует 6 кварков, то возникла необходимость проклассифицировать их. Оказалось, что кварки группируются

парами. Первую пару составляют u- и d-кварки, вторую c- и s-кварк и третью соответственно t- и b-кварк.

Также оказалось, что каждая пара кварков обладает идентичными свойствами относительно друг друга. Единственное отличие пар заключалось в том, что каждая следующая пара тяжелее предыдущей. Таким образом, эти пары кварков были распределены в три семейства или в три поколения частиц.

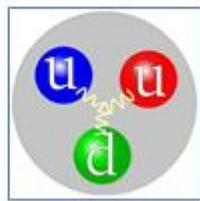
**Период становления классической физики**  
(Третий этап (с 1955 г. по н.в.)  
Строение атома



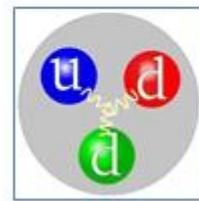
**Гелл-Манн**



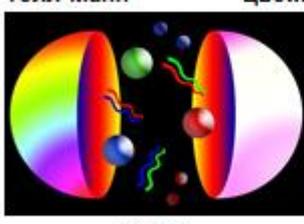
**Цвейг**



Протон



Нейтрон



Кварки

Символ	Полуживая		Заряд	Масса
	рус.	англ.		
<b>Первое поколение</b>				
d	нижний	down	$-\frac{1}{3}$	$4,8 \pm 0,2 \pm 0,3 \text{ МэВ}/c^2$
u	верхний	up	$+\frac{2}{3}$	$2,2 \pm 0,1 \pm 0,2 \text{ МэВ}/c^2$
<b>Второе поколение</b>				
s	странный	strange	$-\frac{1}{3}$	$92,2 \text{ МэВ}/c^2$
c	очарованный	charm (charmed)	$+\frac{2}{3}$	$1372 \pm 25 \text{ МэВ}/c^2$
<b>Третье поколение</b>				
b	прелесть	beauty (bottom)	$-\frac{1}{3}$	$4180 \pm 30 \text{ МэВ}/c^2$
t	истинный	truth (top)	$+\frac{2}{3}$	$174\ 340 \pm 650 \text{ МэВ}/c^2$

$4,8 \pm 0,2 \pm 0,3$  — спонлайный и систематический погрешность измерения

**Свойства кварков**

Рисунок 4.23

В 1967 году Стивен Вайнберг и Абдус Салам, используя ранее опубликованную «электрослабую» модель Шелдона Ли Глэшоу, разработали так называемую «стандартную модель», объединяющую три из четырёх фундаментальных взаимодействий (гравитация в неё не вошла) (рисунок 4.24). После открытия предсказанного стандартной моделью бозона Хиггса (рисунок 4.24) она считается основой современных представлений о микромире (хотя эксперименты по её проверке и поиску границ применимости продолжаются).

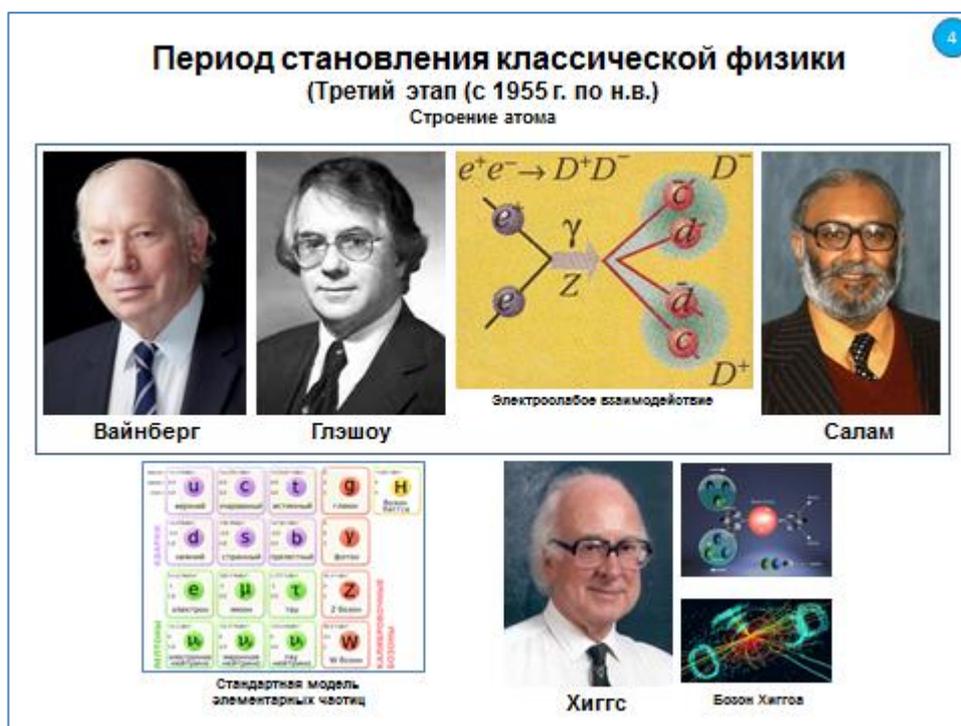


Рисунок 4.24

### Другие достижения

Из других достижений физики конца XX — начала XXI века следует упомянуть открытие высокотемпературной сверхпроводимости (Карл Мюллер и Георг Беднорц, 1986 год) и технологии получения графена (Константин Новосёлов и Андрей Гейм, 2004 год) (рисунок 4.25) и других двумерных кристаллов; оба эти направления исследований расцениваются как перспективные.

Явление сверхпроводимости заключается в полной утрате материалом электрического сопротивления при охлаждении ниже характерной для данного материала критической температуры. Особое значение высокотемпературной сверхпроводимости заключается в возможности практического использования без сильного охлаждения или с более дешевыми и удобными охладителями (жидким водородом, азотом, метаном), чем необходимый для классических сверхпроводников жидкий гелий под давлением.

В 1986 г. швейцарский физик Карл Александр Мюллер и немецкий физик Йоханес Георг Беднорц, работавшие в Цюрихской исследовательской лаборатории IBM, получили металлооксидные сверхпроводники. Полученные ими соединения – барий-стронциевые купраты (**Ba-Sr-Cu-O**) - переходят в сверхпроводящее состояние при температуре ( $T_c \approx 90 \text{ K}$ ) выше нормальной температуры кипения жидкого азота (**77,36 K**). В 1987 г. за свое открытие Мюллер и Беднорц были удостоены Нобелевской премии. Новые материалы получили название высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), поскольку температуры их перехода в сверхпроводящее состояние существенно выше, чем у предшествующих им типов сверхпроводящих материалов. Революционный характер открытия высокотемпературной сверхпроводимости в том, что оно показало путь к созданию сверхпроводящих проводов, работающих при таких

температурах, которые можно получить с помощью жидкого азота — безопасной и относительно дешевой криогенной жидкости.

Современные ВТСП представляют собой сложные керамические структуры. Такой тип сверхпроводников состоит из металлических оксидов (например, оксидов бария **BaO**, иттрия **Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** и меди **CuO**). Как и керамика из глины (*Глина состоит из мельчайших кристаллов горных пород, преобладают: каолинит  $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ , оксид кремния  $SiO_2$  и оксид алюминия  $Al_2O_3$* ), высокотемпературная керамика получается в результате смешения кристаллов металлических оксидов. Для закрепления соединения полученную смесь прессуют и обжигают на воздухе или в кислородной атмосфере. В результате получается керамический образец — поликристалл, который состоит из отдельных монокристаллических сверхпроводящих гранул — кристаллитов (*кристаллит — это минимальный объем кристалла, окруженный высокодефектными высокоугловыми границами, в поликристаллическом материале*) с характерными размерами от 1 до 10 мкм, ориентированных случайным образом относительно друг друга.

В настоящее время при создании ВТСП-проводов совмещают термическую и механическую обработку керамики при нанесении ее на подложку из проводящего материала. Такая обработка приводит к тому, что ориентация и форма монокристаллических сверхпроводящих гранул, из которых состоит материал, уже не случайны — большая их часть представляет собой тонкие пластинки размером примерно 10×10 м, расположенные практически параллельно плоскости получаемой сверхпроводящей ленты. Такой материал называют текстурированным.

Графен представляет собой одиночный слой атомов углерода, соединенных между собой структурой химических связей, напоминающих по своей геометрии структуру пчелиных сот.

Главный из существующих в настоящее время способов получения графена основан на механическом отщеплении или отшелушивании слоев графита. Он позволяет получать наиболее качественные образцы с высокой подвижностью носителей.

Графен обладает высокой прочностью, он прозрачен в силу своей чрезвычайно малой толщины. Кроме того, графен является прекрасным проводником электрического тока, что делает его очень привлекательными для использования в качестве прозрачных электродов солнечных батарей или сенсорных дисплеев.

Будучи открытым всего несколько лет назад (в **2004** г.) учеными Константином Новосёловым и Андреем Геймом, работающими ныне в Манчестерском университете, графен быстро завоевал право называться материалом - преемником кремния, так как вскоре после начала его интенсивного изучения стало понятно, что по многим параметрам он превосходит наиболее широко используемый полупроводник.

Благодаря своим свойствам, графен считается следующим поколением материалов, которые найдут свое применение в наноэлектронике. Он позволит существенно повысить скорость работы вычислительных машин, снизить их

энергопотребление и нагревание в ходе работы, сделать их легкими. Графен также может быть использован в качестве замены тяжелых медных проводов в авиационной и космической промышленности, а также в широком наборе гибких электронных устройств, прототипы которых разрабатываются в наши дни.



Рисунок 4.25





Рисунок 4.27

Первое подобие инженерного сообщества на Руси появилось во времена Ивана Грозного (1530-1584) (рисунок 4.28). В результате развития военных потребностей Иван Грозный учредил Пушкарский приказ – орган военного управления для которого были определены первые инженерные задачи.



Рисунок 4.28

## Начало русской инженерии

В период царствования Василия Шуйского (1606-1610 гг.) было положено начало теоретическому образованию русских инженеров. В 1607 г. был переведен на русский язык «Устав дел ратных», в котором, кроме правил формирования войска, рассматривались и правила сооружения крепостей, их осады и обороны (рисунок 4.29).



Рисунок 4.29

Коренные преобразования в инженерном деле связаны с именем Петра I. Многочисленные войны, сопровождавшие его царствование, сделали необходимым развитие, как инженерного искусства вообще, так и, военного в частности.

В это время в российской империи образовались школы по инженерному делу. Первым инженерно-техническим учебным заведением России, начавшим давать систематическое образование, становится основанная в 1701 году Петром I «Школа математических и навигацонных наук», где подготавливали военных инженеров для армии и флота. (рисунок 4.30)

### Времена правления Петра I



Петр I



Школа математических  
и навигационных наук

Рисунок 4.30

В 1712 г. открывается в Москве первая инженерная школа, а в 1719 г. вторая инженерная школа в Петербурге (рисунок 4.31).

В 1715 году в Петербурге создается Морская академия, а в 1725 году открывается Петербургская академия наук (рисунок 4.31).

### Времена правления Петра I



Первая инженерная школа,  
Москва 1712 год



Вторая инженерная школа,  
Петербург 1719 год



В 1715 году в Петербурге создается  
Морская академия



В 1725 году открывается  
Петербургская академия наук

Рисунок 4.31

Важнейшей заслугой Петра I в этот период является учреждение типографии и начало издания книг для обучения грамоте. Одной из первых книг петровского

периода является труд Леонтия Филипповича Магницкого «Арифметика, сиречь наука числительная», напечатанная кириллицей в 1703 г. (рисунок 4.32)

Во время царствования Петра I было переведено 203 книги по технике и естественным наукам.



Рисунок 4.32

Другая важная технологическая отрасль петровских времен - **кораблестроение**.

История регулярного русского военно-морского флота начинается с постройки в Воронеже гребной флотилии - галесов, галер, брандеров. Флот оказал огромное влияние на всю хозяйственную и культурную жизнь страны (рисунок 4.33).



Рисунок 4.33

Из инженеров, получивших известность благодаря своей профессии, в петровский период можно отметить Андрея Константиновича Нартова (1693–1756), выпускника Навигацкой школы, создавшего несколько модификаций токарного станка (рисунок 4.34).

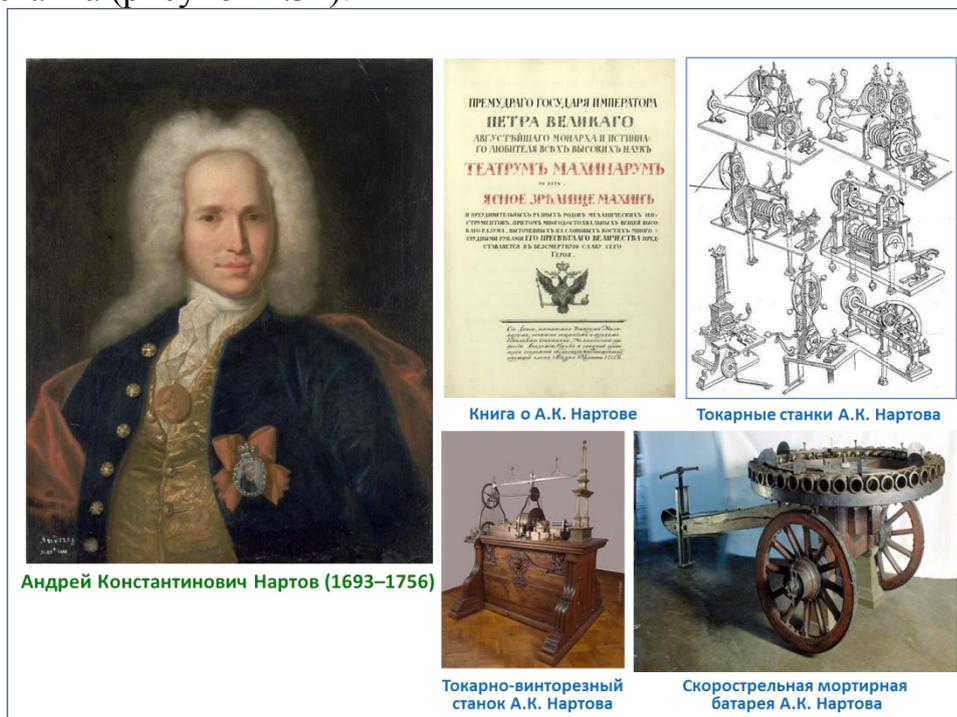


Рисунок 4.34

Первое время после смерти Петра I внутренняя политика Российского государства шла по той же колее.

Росту промышленного производства способствовал изданный в 1775 году «Манифест о свободе предпринимательства», по которому Екатерина II

разрешила всем желающим заниматься промышленной деятельностью (рисунок 4.35).



Рисунок 4.35

В этот период русскими учеными и исследователями были решены важные вопросы машиностроения. В своем классическом сочинении «Механика» Леонард Эйлер успешно решил вопросы механики методом математического анализа.

В 1760 году Эйлер выпустил в свет труд «О движении твердого тела», в котором вопрос о составлении дифференциальных уравнений получил полное и окончательное решение.

К числу его работ принадлежит знаменитый труд «О морской науке», вышедший в Петербурге в 1749 году в двух больших томах. Это первый в мире труд по теории кораблестроения и кораблевождения (рисунок 4.36).

## Времена правления Екатерины II



Леонард Эйлер

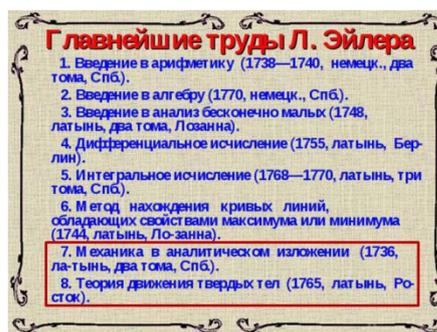
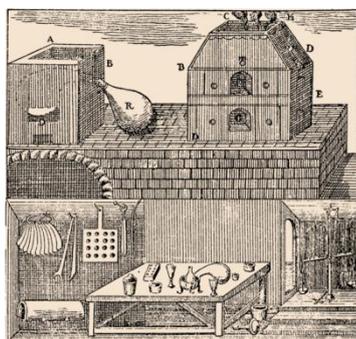


Рисунок 4.36

Говоря о вкладе отечественных ученых в развитие и становление механики и инженерного дела нельзя не упомянуть Михаила Васильевича Ломоносова. Он изобрел ряд специальных устройств и приборов, с помощью которых исследовал прочность различных материалов. В лаборатории Ломоносова родился первый прибор для определения вязкости жидкостей.

Ломоносов оставил ряд интереснейших исследований часовых механизмов, высказал мысль об использовании в часах хрусталя и стекла для уменьшения трения. Он был не только теоретиком, но и конструктором. Им были построены токарный и лобовые станки, созданы проекты коленчатых валов, водяных помп, лесопильных мельниц (рисунок 4.37).



Михаил Васильевич  
Ломоносов (1711—1765)



Машина для выкачивания воды из шахт. Из сочинения М.В. Ломоносова «Первые основания металлургии», 1763 год

## Рисунок 4.37

После смерти Ломоносова мастерские Академии Наук, которыми он руководил пришли в упадок и только после того как в 1769 г. во главе мастерских стал Иван Петрович Кулибин, они стали занимать то место, которое занимали при Ломоносове.

Многочисленные изобретения Кулибина свидетельствуют, что он был инженером в современном смысле слова. Он строил свои творческие замыслы на прочной основе строгих расчетов и тщательных исследований. В частности, задумав мост через Неву, Кулибин разработал точные и подробные чертежи. К 1776 г. изобретатель закончил проект, донныне удивляющий нас замечательной глубиной инженерного решения, красотой и изяществом конструкций.

Кулибин является также создателем водоходного судна, самодвижущегося экипажа, оптического телеграфа, зеркальных прожекторов, механических ног и множества других конструкций, из которых каждая могла бы доставить историческую известность своему автору! (рисунок 4.38)

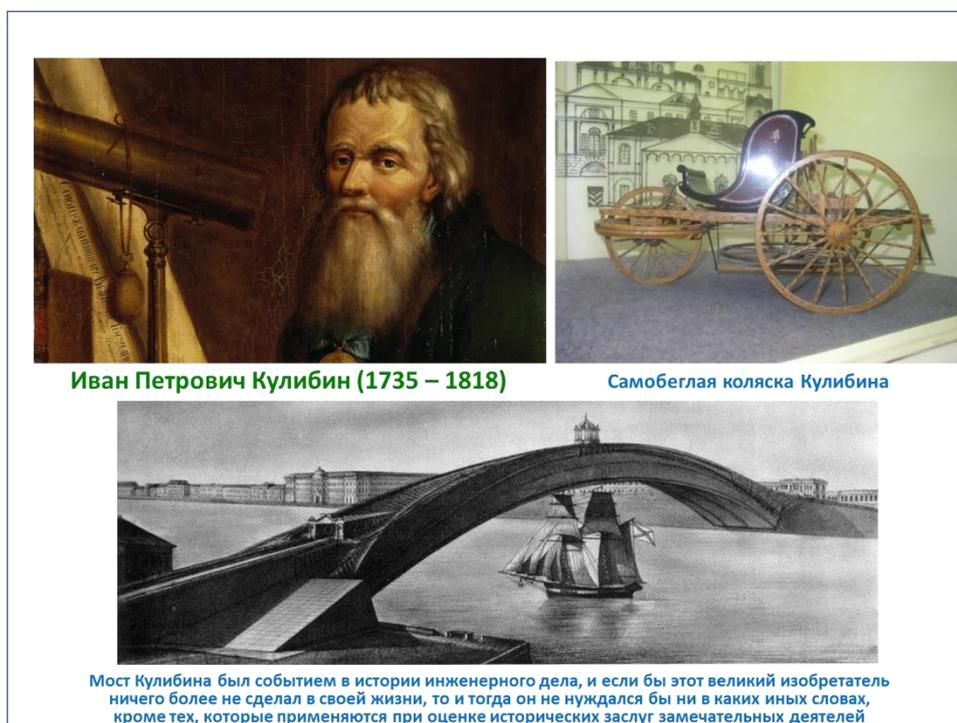


Рисунок 4.38

## Инженерная наука в России

Неустанно работала отечественная мысль над развитием теории механики. В начале XIX века академик Семен Емельянович Гурьев опубликовал несколько работ по теории машин и механизмов, в том числе «Основы механики» и «Главные основания динамики» (рисунок 4.39).



Труды академика Семена Емельяновича Гурьева

Рисунок 4.39

Известно, что первая в мире паровая машина - «огнем действующая машина» была создана талантливым русским механиком Иваном Ивановичем Ползуновым почти на 20 лет раньше знаменитой паровой машины Джеймса Уатта (рисунок 4.40).



Иван Иванович Ползунов (1728 – 1766)

Модель машины И.И. Ползунова, находящаяся в Барнаульском горном музее

Чертеж «огнем действующей» машины И.И. Ползунова, приложенный к его проекту

Здание пароатмосферной установки И.И. Ползунова, построенное по его чертежу

Известно, что первая в мире универсальная паровая машина двойного действия «огнем действующая машина» была создана талантливым русским механиком И.И.Ползуновым почти на 20 лет раньше знаменитой паровой машины Дж. Уайта.

Рисунок 4.40

Подъем промышленного производства во второй четверти XIX в. вызвал необходимость расширения технического образования. В этот период в России были открыты новые технические учебные заведения - Технологический Институт в Петербурге (рисунок 4.41), Московское техническое училище,

расширена деятельность Института Инженеров корпуса путей сообщений и Горного Института.



Рисунок 4.41

XIX в. в истории цивилизации часто именуется «веком пара, электричества и железных дорог». Именно это время в истории России расцвечено великими именами людей нового типа - инженеров.

Замечательное открытие русского ученого, профессора медико-хирургической академии Петербурга Василия Владимировича Петрова - получение белого пламени между двумя кусками древесного угля, изложено в изданном им в 1803 г. обширном труде под названием «Известие о гальвани-вольтовых опытах...» (рисунок 4.42).



Рисунок 4.42

Дальнейшее развитие инженерно-технической мысли связано с именами русских инженеров, выступавших пионерами практического применения многих новых открытий в электротехнике.

В 1832 г. - русский офицер, герой отечественной войны 1812 г., Павел Львович Шиллинг продемонстрировал в Петербурге работу изобретенного им устройства связи - электромагнитного телеграфа (рисунок 4.43).

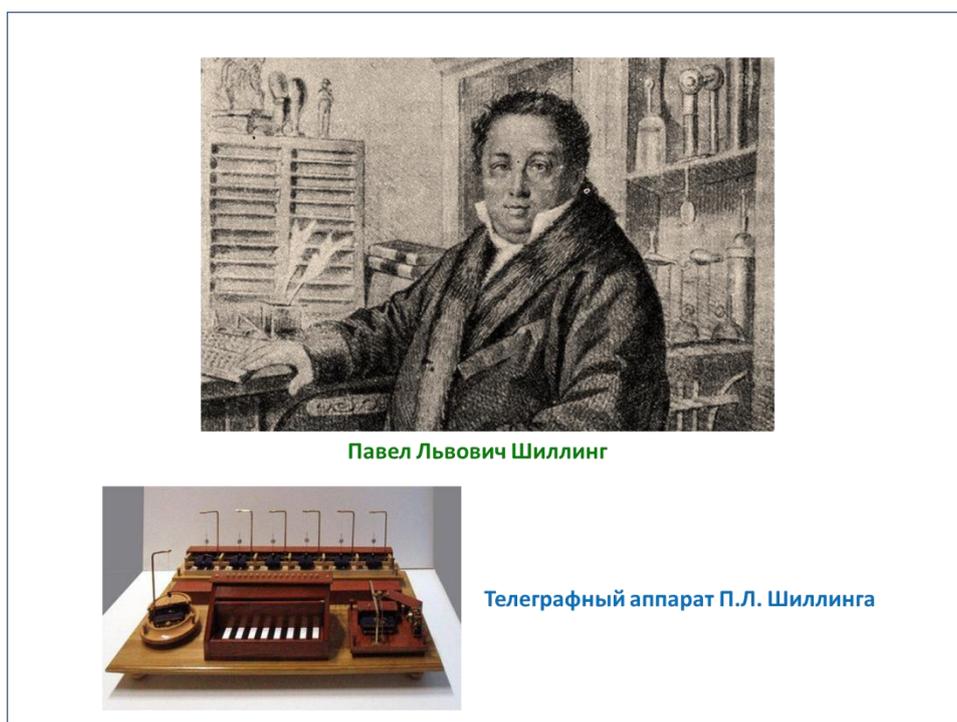


Рисунок 4.43

Одно из самых важных открытий сделали два наших академика: Борис Семенович Якоби и Эмилий Христианович Ленц. Исследуя электромагнитные явления, они установили обратимость электромагнитного цикла.

Это открытие имело колоссальное значение для дальнейшего развития электротехники и чрезвычайно расширило область применения электрического тока для практических нужд человечества.

В 1834 г. Якоби изобрел электродвигатель, а в 1838 г. опробовал его для привода судна. В 1839 г. он изобрел самопишущий телеграф, способный передавать на расстояния графические изображения. В 1850 г. им же сконструирован буквопечатающий телеграфный аппарат (рисунок 4.44).

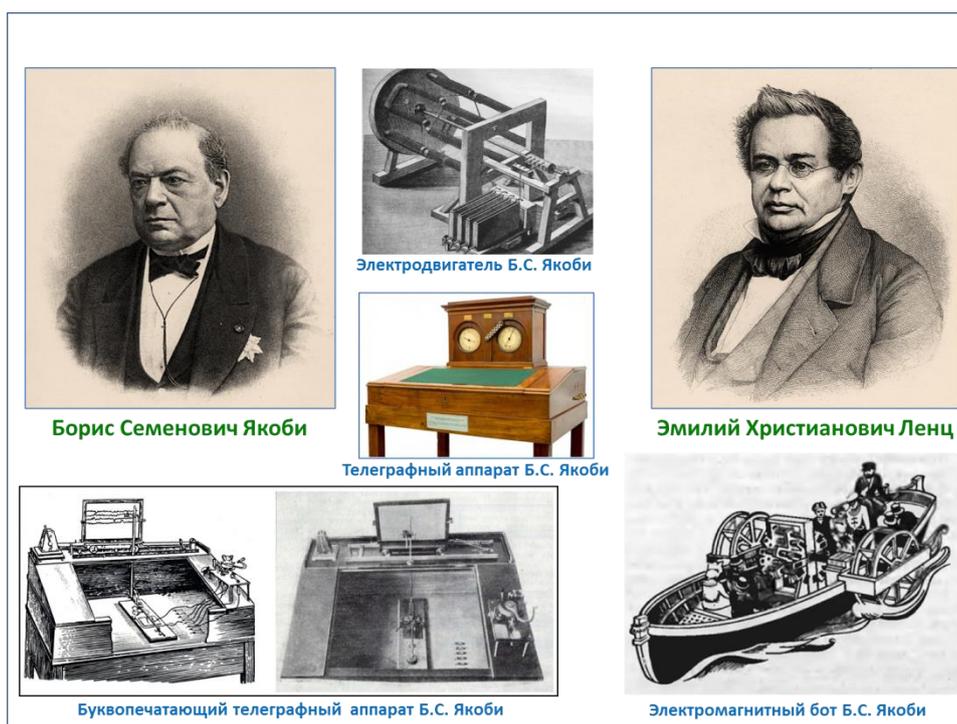
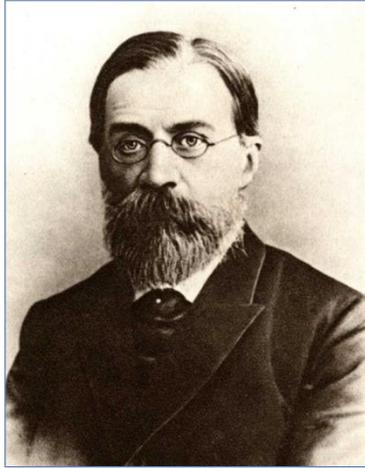


Рисунок 4.44

Особенное значение для инженеров-электротехников имела докторская диссертация знаменитого русского физика Александра Григорьевича Столетова «О функции намагничения железа», в которой он установил закон намагничения железа, чем положил основу для расчета и проектирования любых электрических машин (рисунок 4.45). Открытием Столетова и по сей день пользуются конструкторы генераторов и электродвигателей.



Александр Григорьевич Столетов

А.Г. Столетов установил закон намагничения железа, чем положил основу для расчета и проектирования любых электрических машин. Открытием Столетова пользуются конструкторы генераторов и моторов.

Рисунок 4.45

В связи с задачами строительства железных дорог в 30-х годах XIX в. активизируется работа над созданием строительной механики и теории сооружений. Важную работу в этом направлении выполнил Станислав Валерианович Кербедз (1810–1893), профессор прикладной механики. Он спроектировал и построил первый в России металлический мост через Неву. Его ученик Герман Егорович Паукер (1822–1889), применяя кинематические методы к расчёту сводов, выяснил условия их устойчивости, разработал метод графического расчёта арок.

Многим обогатил механику замечательный мостостроитель Дмитрий Иванович Журавский (1821–1891). Именно он спроектировал и построил большинство мостов железной дороги между Петербургом и Москвой, прокладка которой началась в 1843 г.

Последователь Журавского Николай Аполлонович Белелюбский (1845–1922) вошел в историю техники как создатель большого числа замечательных металлических мостов, пришедших на смену деревянным (рисунок 4.46).

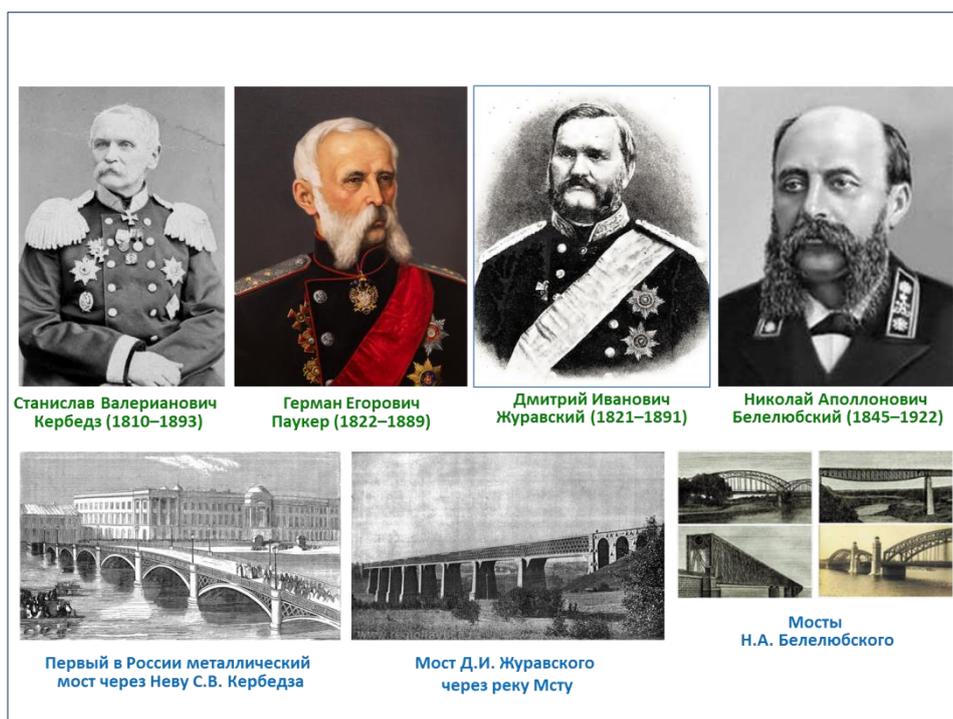


Рисунок 4.46

Богатейшее наследство оставил в механике Пафнутий Львович Чебышев. Великий теоретик, прославивший себя блестящими открытиями в математике, с увлечением решал насущные задачи промышленной практики и нередко предлагал оригинальные решения инженерных задач.

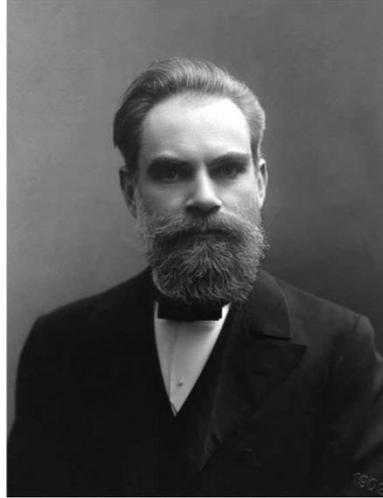
Проявляя незаурядные инженерные способности, Чебышев создает и разнообразные механизмы. Он строит свою знаменитую переступающую машину, точно воспроизводящую движение идущего животного, создает гребной механизм, повторяющий движение весел, самокатное кресло, модель новой сортировочной машины (рисунок 4.47).



Рисунок 4.47

Идеи Чебышева получили развитие в работах его учеников. Перу его ученика Александра Михайловича Ляпунова (рисунок 4.48), гениального математика и механика, принадлежит изложение теории устойчивости движения.

Теория Ляпунова, рассматривающая условия устойчивости движения, стала основой научного проектирования самых разнообразных машин и устройств.



Александр Михайлович Ляпунов (1857-1918)

Рисунок 4.48

К плеяде выдающихся ученых-механиков принадлежит Иван Алексеевич Вышнеградский (1831–1895) (рисунок 4.49). Именно он положил начало теории автоматического регулирования. И сегодня теория, созданная Вышнеградским, является руководящим материалом для инженеров, создающих различные автоматические устройства.

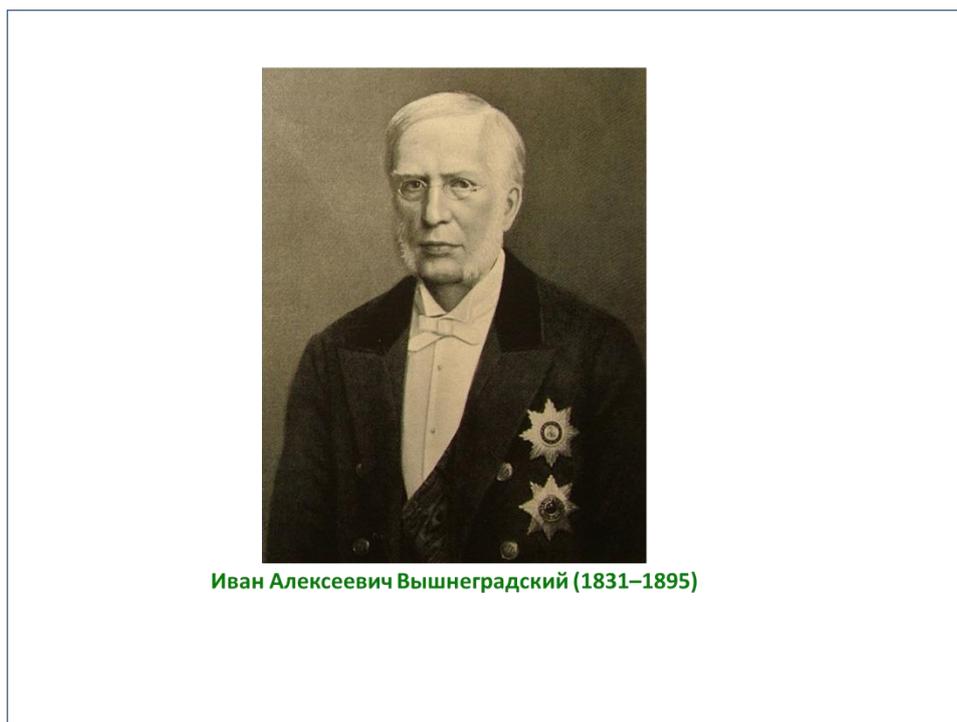


Рисунок 4.49

В конце XIX в., когда промышленность развивалась особенно бурно, от правильного решения проблем трения зависел дальнейший прогресс техники, успех борьбы за высокие скорости и большие мощности. Русский ученый Николай Павлович Петров (1836–1920) опубликовал в 1883 г. в «Инженерном журнале» работу о трении в машинах. Большое внимание ученый уделил проблеме смазывания трущихся поверхностей.

Труд Петрова «Трение в машинах» положил начало классической гидродинамической теории трения (рисунок 4.50).

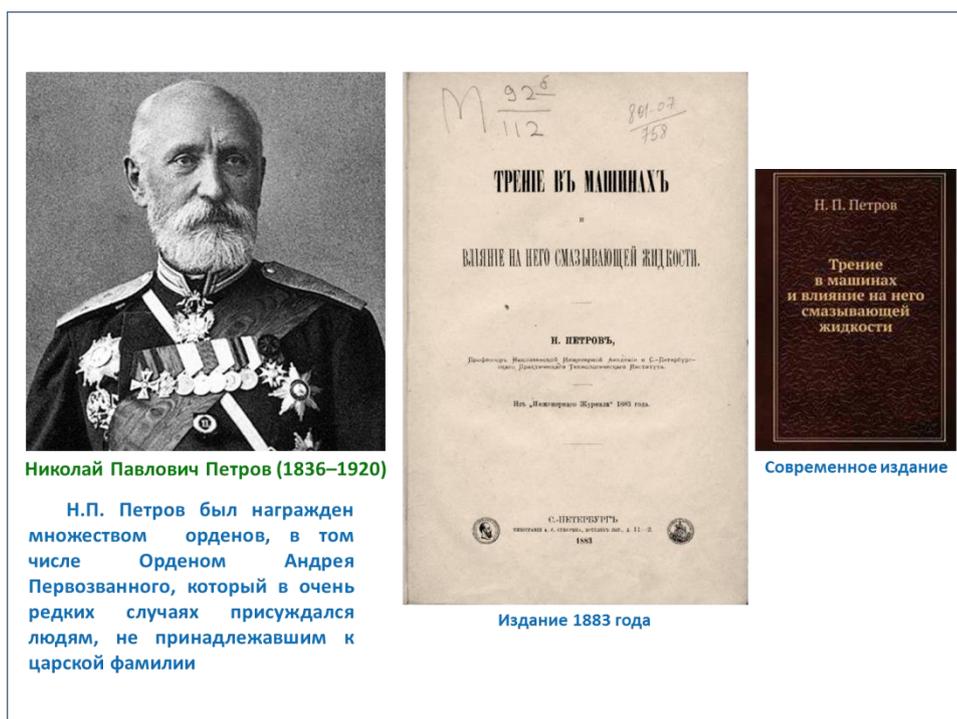


Рисунок 4.50

О великом даре научного предвидения Дмитрия Ивановича Менделеева мы судим по его работам в химии. Он открыл периодическую систему элементов (рисунок 4.51), впервые определил значение нефти как химического сырья, предсказал, что со временем «угля из земли вынимать не будут, а там, в земле, его сумеют превращать в горючие газы и их по трубам будут распределять на далекие расстояния».

Этот великий ученый предвидел развитие техники на много лет вперед и в таком направлении, о каком еще никто не смел думать. Совершенно ясно видел он возможность и необходимость покорения воздуха.

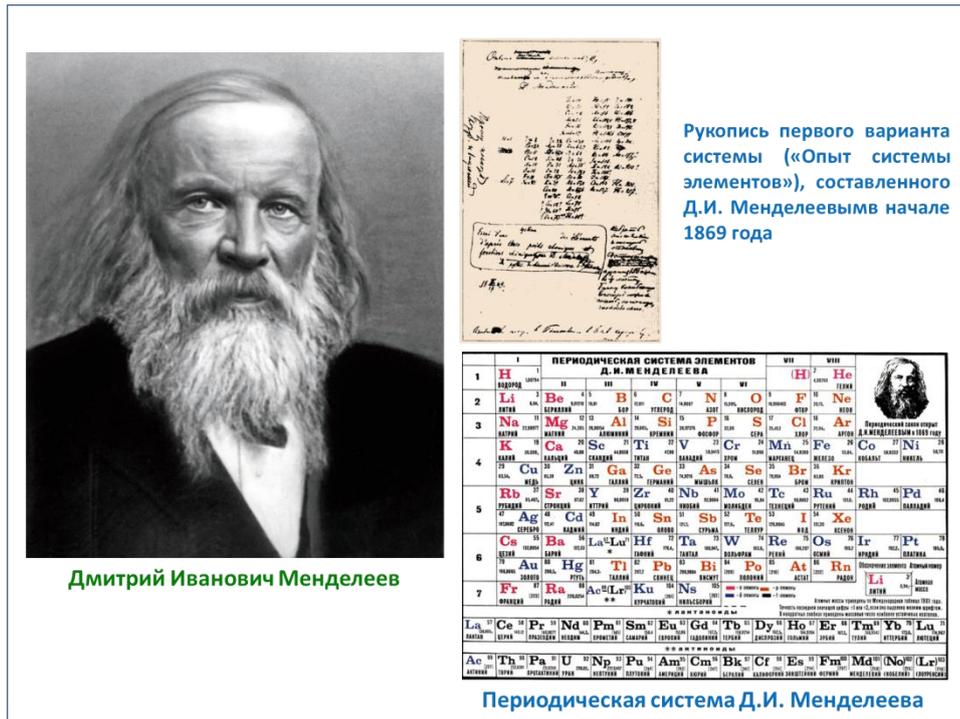




Рисунок 4.52

Создание аэродинамики в значительной степени связано с именем Николая Егоровича Жуковского (1847–1921). Его деятельность широка и многогранна. Он вел исследования турбин, ткацких машин, велосипедных колес, речных судов, мукомолен и т.д. Он составил уравнения динамики для центра тяжести птицы и определил ее траекторию при различных условиях движения воздуха (рисунок 4.53).

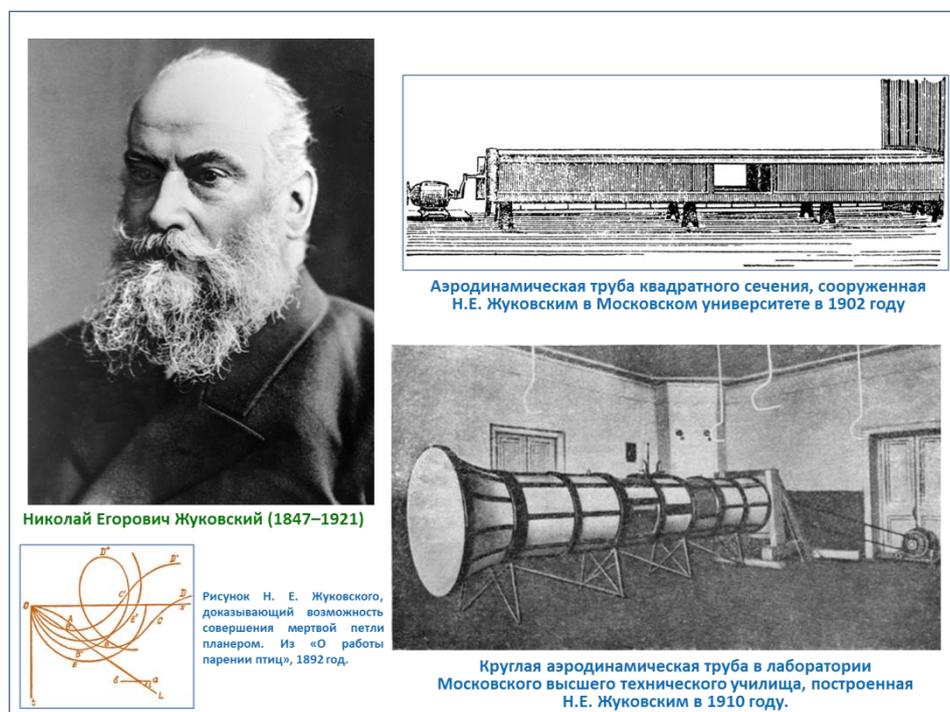


Рисунок 4.53

Выдающийся русский инженер Владимир Григорьевич Шухов (1853-1939) создал установки по добыче, транспортировке, хранению и переработке нефти.

Сконструировал паровой котел. Руководил строительством многочисленных мостов, элеваторов, доменных печей, магистральных трубопроводов. По его проектам построены остекленные перекрытия ГУМа и Киевского вокзала в Москве, построена вращающаяся сцена МХАТа. Интересным памятником деятельности Шухова является башня на Шаболовке для радиостанции имени Коминтерна в Москве (рисунок 4.54).



Рисунок 4.54

Существенный вклад в науку в XIX в. внесла первая русская женщина-математик Софья Васильевна Ковалевская (1850–1891) (рисунок 4.55).

В области механики особенно велик ее вклад в теорию гироскопов: в 1888 г. она опубликовала «Задачу о вращении твердого тела вокруг неподвижной точки».



Рисунок 4.55

Тончайшие вопросы теоретической механики нашли свое разрешение в трудах русского ученого Ивана Всеволодовича Мещерского (1859–1935) – автора классического учебника и задачника по теоретической механике. Мещерский основал новый раздел науки – механику тела с переменной массой. Это, как казалось тогда, далекое от практики исследование с развитием авиационной и ракетной техники приобрело исключительное значение (рисунок 4.56).

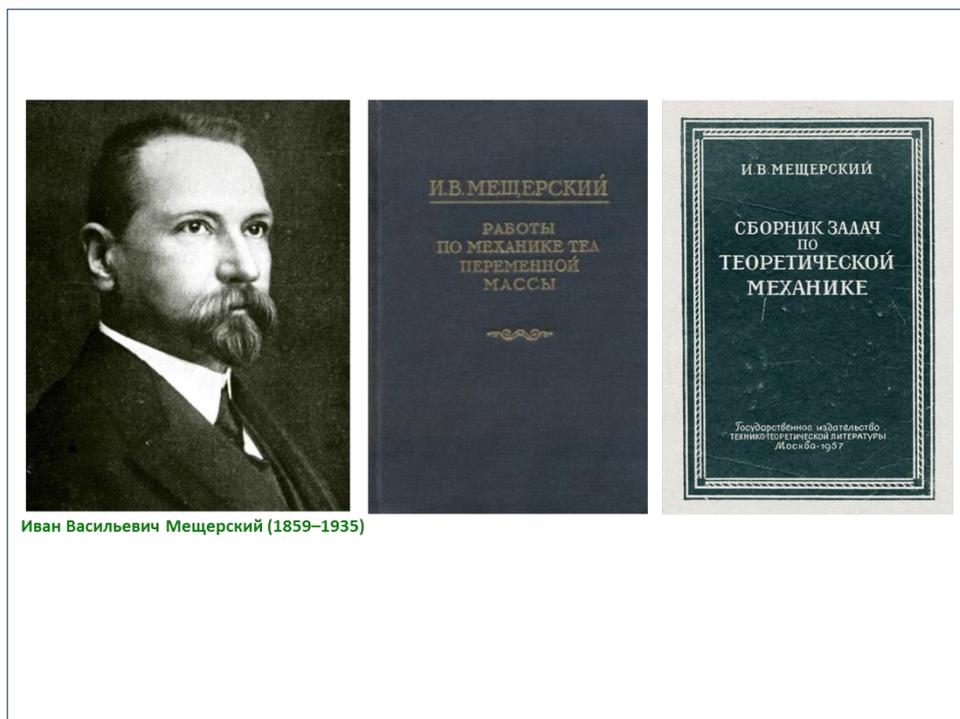


Рисунок 4.56

Многим обогатил механику и «создатель кораблестроительной науки» Алексей Николаевич Крылов (1863–1945). Он разработал теорию моделирования кораблей, оставил глубокие исследования в сложнейшей отрасли механики, изучающей гироскопы. Его труды по теории гироскопа, стали настольными книгами конструкторов навигационных приборов (рисунок 4.57).



Рисунок 4.57

Особенную славу русскому инженерному делу доставило практическое решение проблемы электрического освещения. Благодаря трудам двух замечательных русских инженеров - Павла Николаевича Яблочкова и Александра Николаевича Лодыгина, создателей двух главных видов электрического освещения - лампы с вольтовой дугой и лампочки накаливания, электрическое освещение иначе и не называлось в те времена за рубежом, как «русское солнце», «русский свет» (рисунок 4.58).



разработаны теоретически и проверены на практике фазовые состояния и структуры стали при ее нагреве и охлаждении (рисунок 4.60).

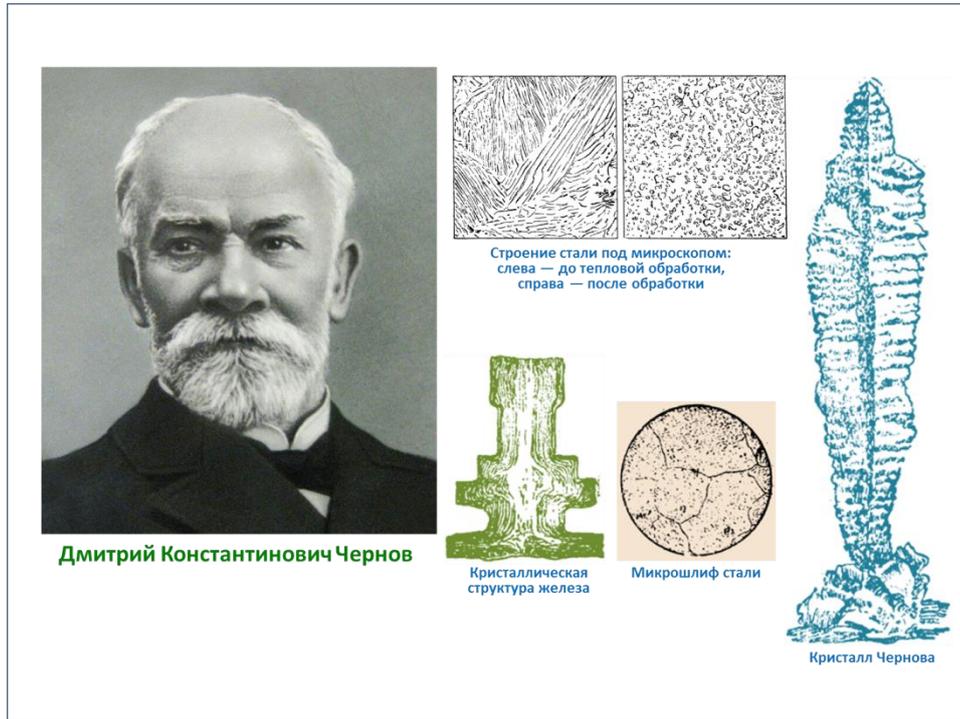


Рисунок 4.60

Заслугой талантливого русского инженера Александра Степановича Попова является изобретение радио. Первая публичная демонстрация изобретения устройства Попова для приема электромагнитных волн состоялась в Петербурге на заседании Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г. Этот день и вошел в историю как день изобретения радио (рисунок 4.61).

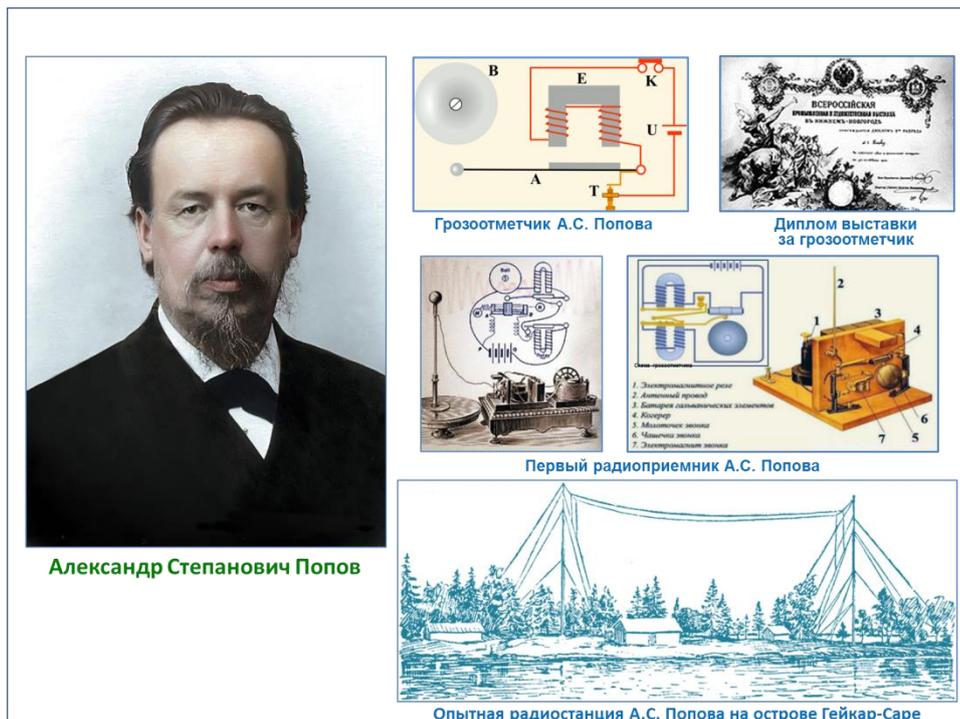


Рисунок 4.61

Развитие экономики России в XIX в. требовало постоянного притока инженерных кадров.

Подготовкой инженерных кадров в конце XIX в. в России занимались семь вузов: Николаевское Главное инженерное училище, Михайловское артиллерийское училище, Морской кадетский корпус, Институт Корпуса инженеров путей сообщений (рисунок 4.62).



Рисунок 4.62

Институт Корпуса горных инженеров, Строительное училище главного управления путей сообщений и публичных зданий, Практический Технологический Институт (рисунок 4.63).

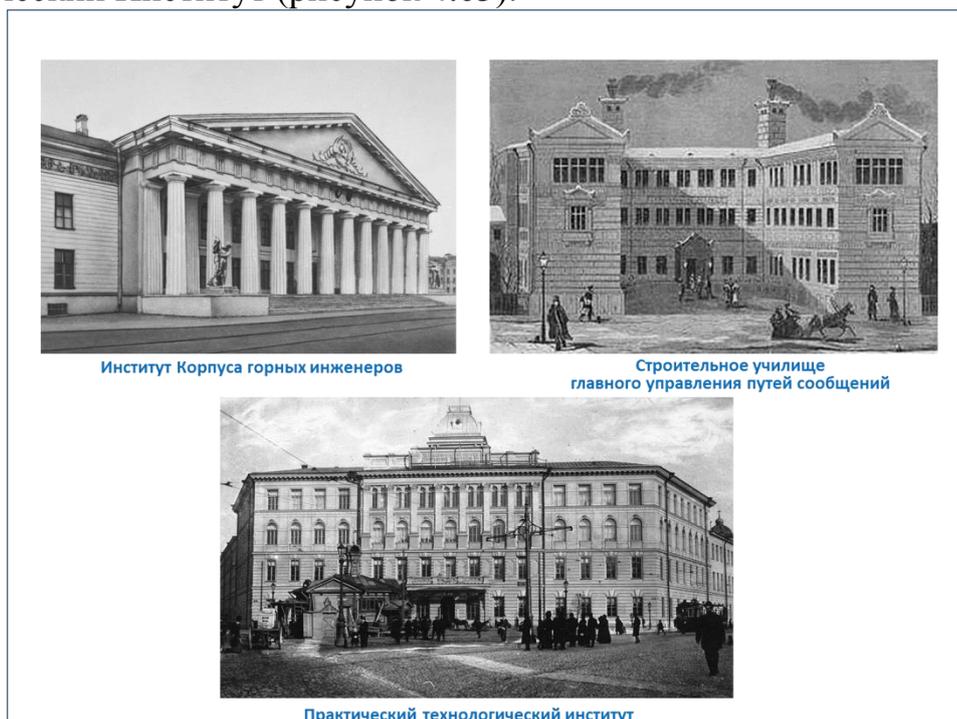


Рисунок 4.63

В конце XIX - начале XX вв. промышленность России предъявила спрос на новую технику. Для подготовки технических специалистов наряду с традиционными институтами стали создаваться политехнические институты, специально предназначенные готовить инженеров для различных промышленных предприятий.

Старейшим политехническим институтом России был Львовский, основанный в 1844 г. (рисунок 4.64)

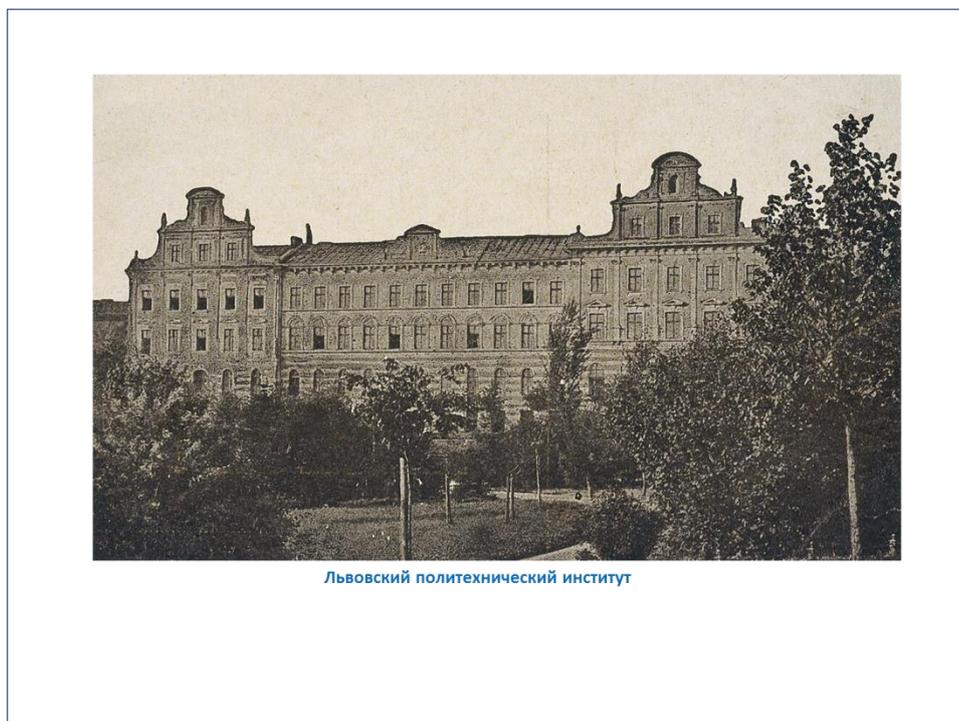


Рисунок 4.64

В период правления Николая II началась вторая эпоха массового создания инженерных вузов в России. Между 1894 и 1917 гг. были учреждены: Санкт-Петербургский политехнический институт, Киевский политехнический институт, Технологический институт в Томске, Варшавский политехнический институт (рисунок 4.65).



Рисунок 4.65

Донской политехнический институт, Московский институт инженеров путей сообщения, Екатеринославский горный институт, Уральский горный институт (рисунок 4.66).

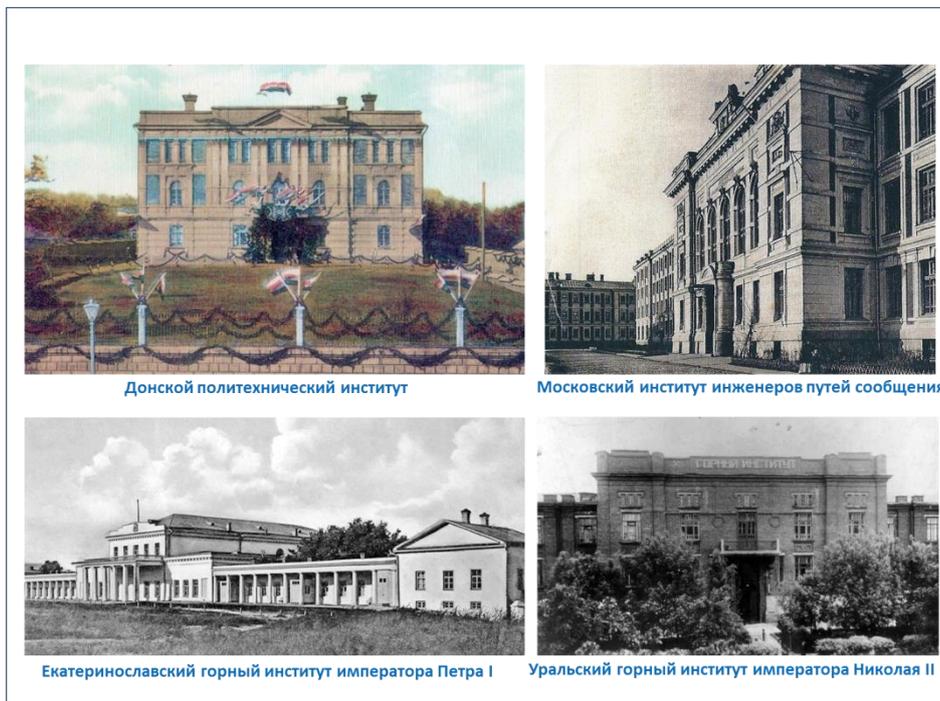


Рисунок 4.66

Важную роль в политехническом образовании России сыграл выдающийся инженер Виктор Львович Кирпичев. Крупнейшие в стране технические школы – Харьковский технологический институт, Киевский политехнический институт и

механическое отделение Петербургского политехнического института обязаны своим возникновением Кирпичеву (рисунок 4.67).

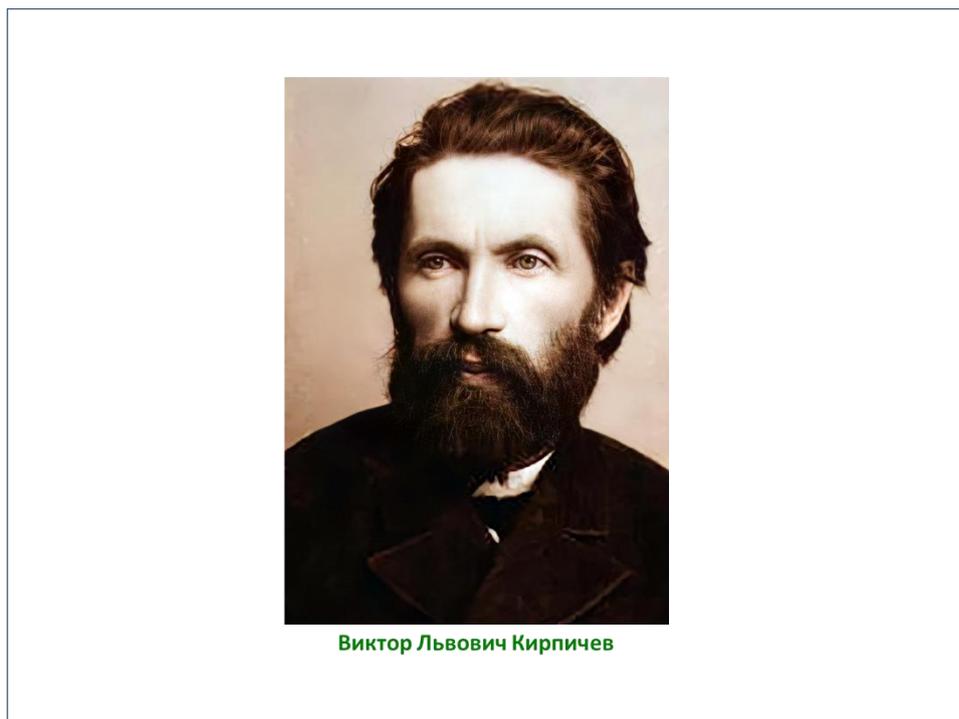
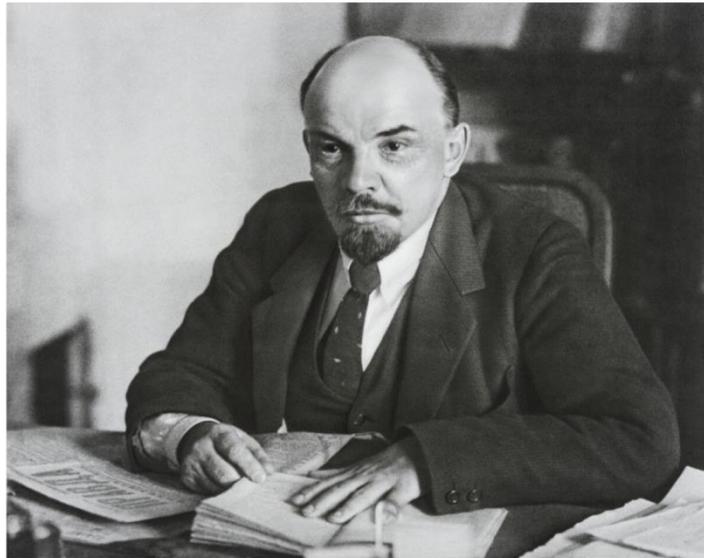


Рисунок 4.67

Высшее техническое образование в России заложило хорошие традиции. Ее ведущие вузы давали широкую и глубокую теоретическую подготовку, тесно увязанную с задачами практики.

Октябрьская революция 1917 г. сломала хозяйственный уклад старой России. Наиболее обеспеченная часть инженеров покинула страну; многие примкнули к буржуазии.

Отдавая себе отчет, что без специалистов социализма не построишь, новое государственное руководство принимает меры по привлечению инженеров на свою сторону. Уже в декабре 1917 г. В.И. Ленин (рисунок 4.68) отмечал, что лучшие представители интеллигенции, образованные люди отходят от буржуазии и саботажников и переходят на сторону трудящихся. В 1918 г. были национализированы крупнейшие промышленные предприятия, а весь технический и административный аппарат поставлен на службу молодой республике.



Владимир Ильич Ленин (1870-1924)

Рисунок 4.68

Первым искушением для инженерно-технической интеллигенции стала программа новой власти по электрификации страны. Электрификация России - мечта целых поколений русских инженеров и ученых.

План ГОЭЛРО стал программой электрификации всей страны. Однако впоследствии роль его далеко вышла из этих рамок, так как он послужил основой коренной реконструкции всех отраслей народного хозяйства на базе электрификации (рисунок 4.69).

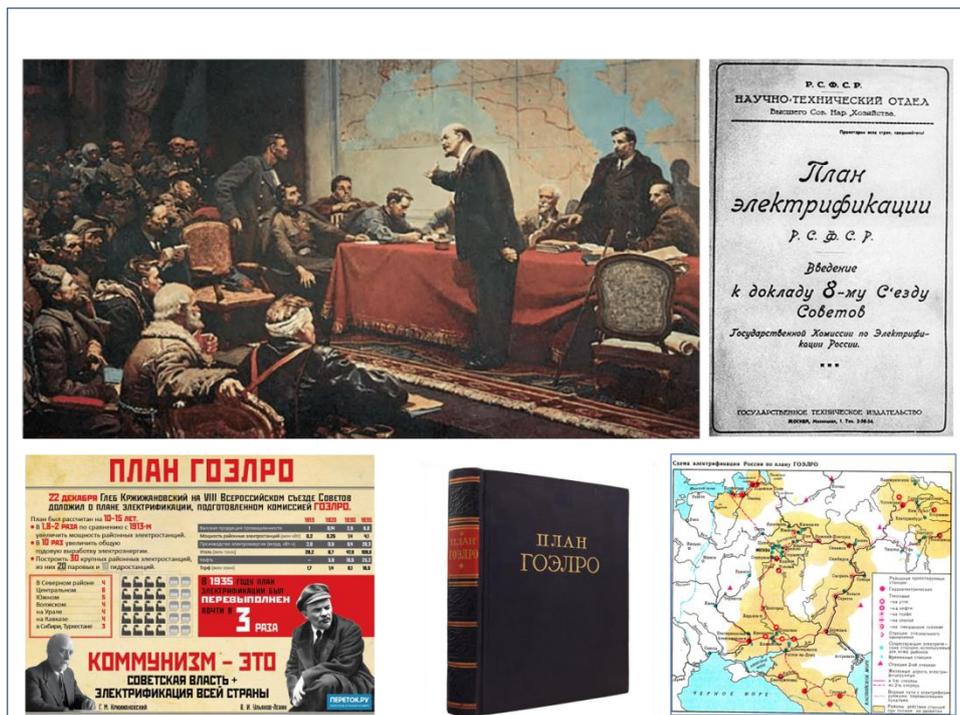


Рисунок 4.69

Резкое повышение востребованности инженерной профессии приходится на военное время. Именно в те тяжелые годы, как никогда, страна нуждалась в способных инженерах.

Оценивая в целом заслуги инженеров в годы Великой Отечественной войны, можно подчеркнуть, что к концу войны отечественная промышленность производила самолетов, танков, артиллерийского и автоматического оружия больше, чем все другие страны, участвовавшие во второй мировой войне, уступив лишь США по производству самолетов.

Большие заслуги инженеров в деле оснащения вооруженных сил страны отмечены высокими правительственными наградами, присвоением почетных званий. К числу таких инженеров относятся (рисунки 4.70, 4.71): Архангельский А.А., Гуревич М.М., Микоян А.И. (авиаконструкторы), Благонравов А.А. (механик, баллистик), Дягтерев В.А., Токарев Ф.В. (конструкторы стрелкового оружия), Шавырин Б.И. (конструктор реактивного и минометного оружия), Вологдин В.П. (радиоинженер),

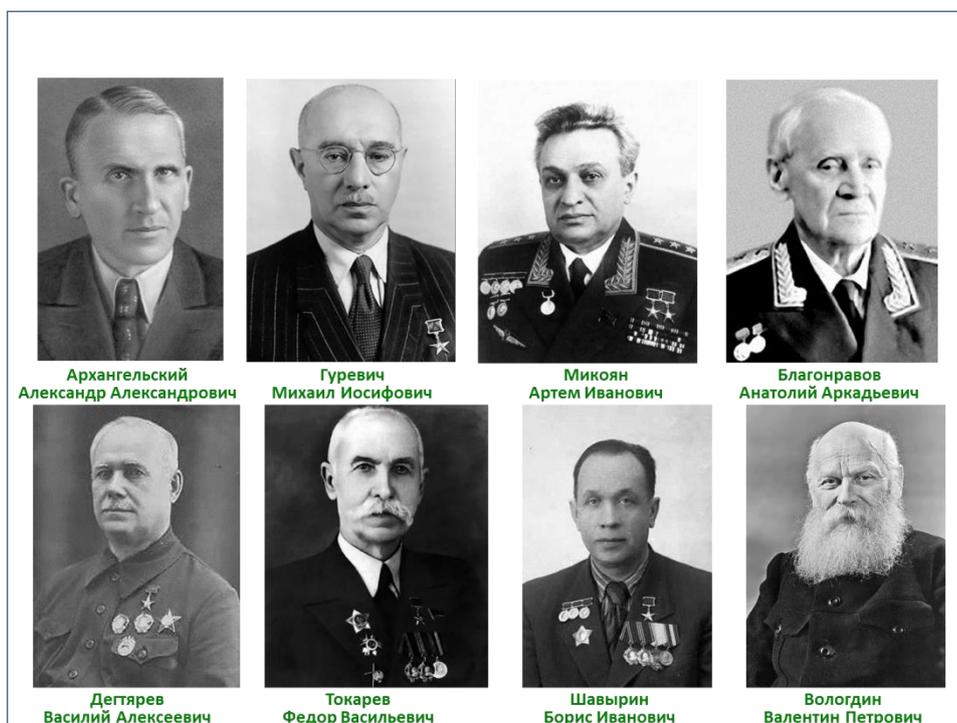


Рисунок 4.70

Ильюшин С.В., Климов В.Я., Лавочкин С.А. Микулин А.А., Петляков В.М., Сухой П.О., Туполев А.Н., Яковлев А.С. (авиаконструкторы), и многие другие инженеры различных направлений.

Учёные и инженеры Советского Союза внесли огромный вклад в победу нашей Родины во Второй мировой войне, наглядно показав превосходство отечественной науки и техники.

Экономический подъем страны, вызванный столь трагичными обстоятельствами, продолжался и после окончания войны.

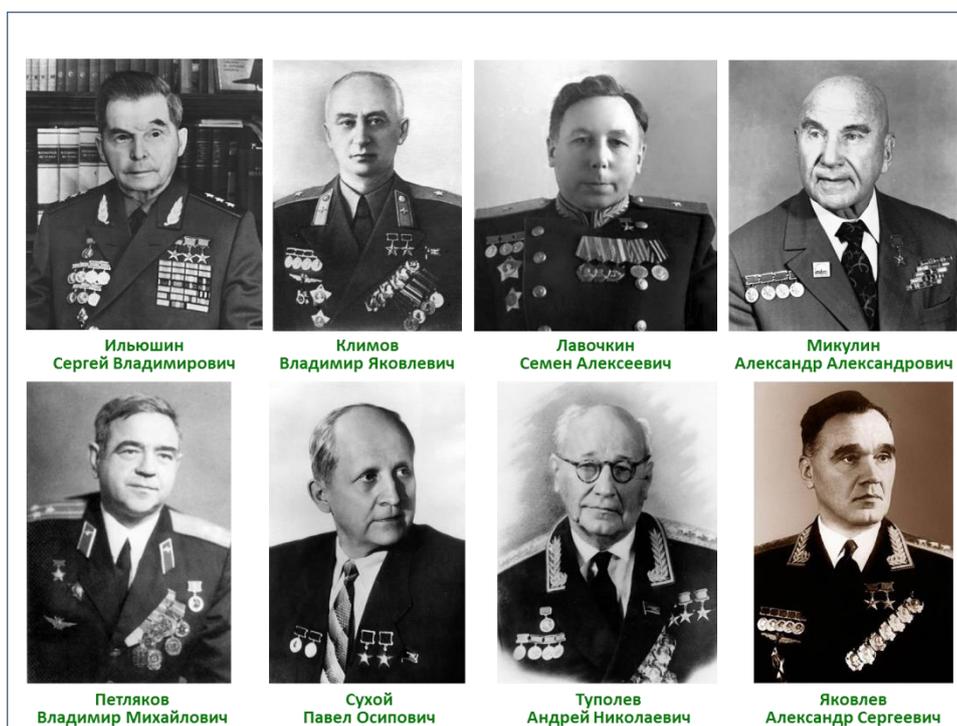


Рисунок 4.71

Тем более, что перед страной встала важнейшая задача, от решения которой зависело само существование нашего государства и народа. И.В. Сталин после войны сказал: «Если мы в ближайшие время не испытаем бомбу, то союзники испытают эту бомбу на нас». И талантливые русские инженеры, ученые, среди которых были Ю.Б. Харитон, Я.Б. Зельдович, А.Д. Сахаров, И.Е. Тамм (рисунок 4.72), и многие другие, под руководством И.В. Курчатова решили эту задачу – они реализовали проект по созданию атомного оружия.

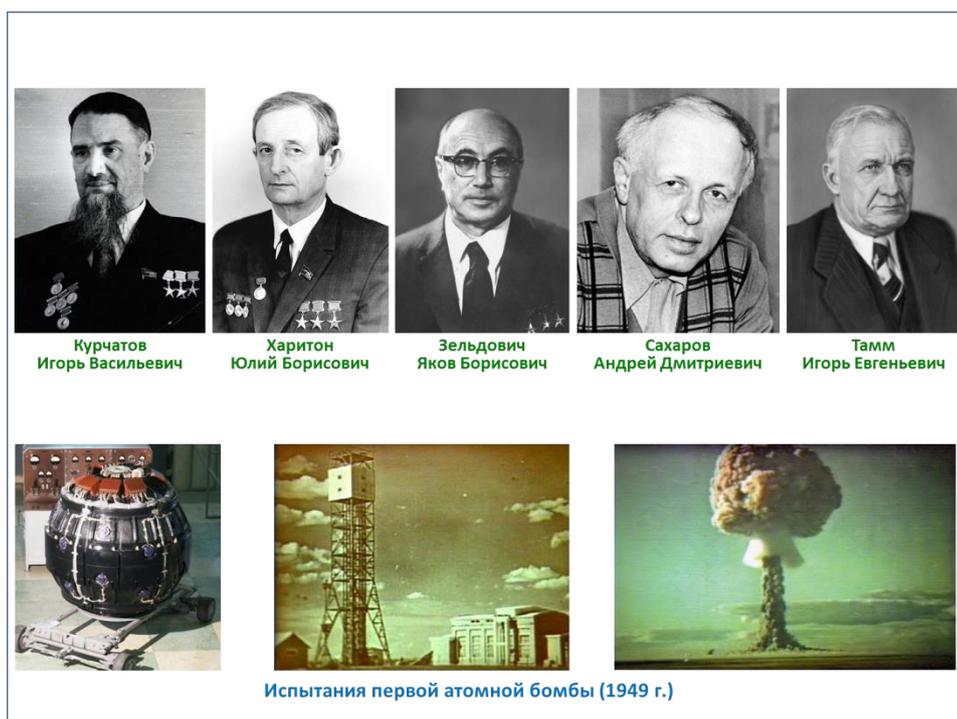


Рисунок 4.72

Под руководством С.П. Королева была создана первая баллистическая ракета (1947 г.). В последующем ракетная техника стала бурно развиваться (рисунок 4.73).

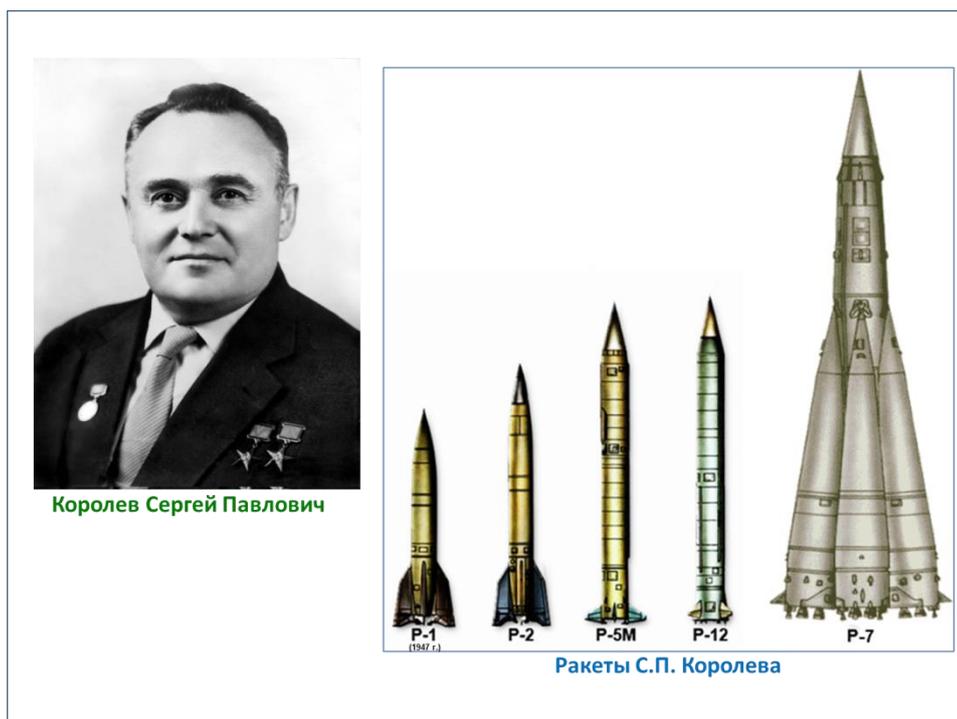


Рисунок 4.73

Большое значение в развитии инженерного дела сыграло решение задачи мирного использования атомной энергии. Построенные в 1954 г., в г. Обнинске первая атомная электростанция, а затем первый в мире атомный ледокол «Ленин» (1959 г.) способствовали росту престижа нашей страны и инженерной деятельности в ней (рисунок 4.74).

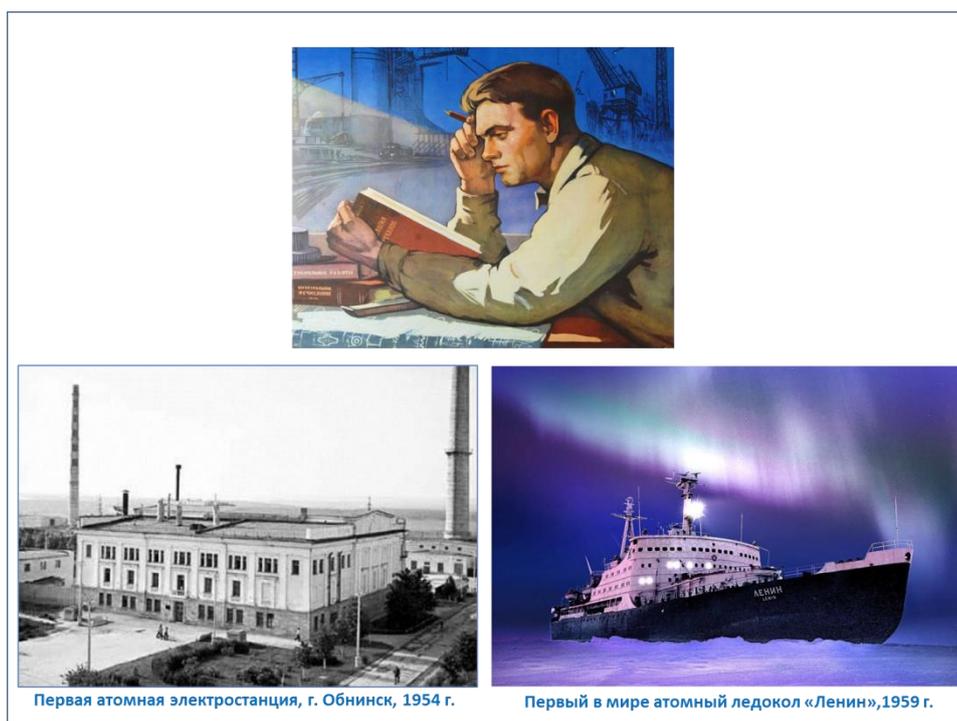


Рисунок 4.74

В СССР технический прогресс стал делом миллионов людей - не только инженеров, но и всех трудящихся. Советскую инженерию отличала независимость, смелость и новаторство инженерно-технической мысли. И она решала поставленные перед нею задачи, исходя из нужд народного хозяйства всей страны, заботясь об интересах всего народа.

Яркие достижения нашей науки, инженерии и промышленности вызывают сегодня удивление и восхищение (рисунок 4.75):

1949 год – создание атомной бомбы, лишение США монополии на обладание «ядерной дубинкой».

В 1955 году (через 10 лет после страшной войны, принесшей громадные разрушения и неисчислимы человеческие потери!) советская авиационная промышленность начала выпускать новые самолеты типа ТУ–104 с двигателями турбореактивного типа.

1957 год – запуск первого в мире искусственного спутника Земли, а на пассажирские линии был выпущен самолет ТУ-114.

1961 год (16 лет после войны) – впервые в мире на орбиту Земли выведен космический корабль с человеком на борту и создана водородная бомба.

В 1965 году в СССР был построен самый большой в мире транспортный самолет «Антей» с четырьмя турбовинтовыми двигателями по 15 тыс. л.с. каждый.

В 1968 году начал летать на пассажирской линии серийно изготавливаемый самолет ТУ-154 с тремя реактивными двигателями, рассчитанный на перевозку 164 человек со скоростью до 1000 км/час на расстояние до 6000 км, а также в этом году создан первый в мире сверхзвуковой пассажирский самолет ТУ-144.

Советский Союз производил более 200 самолетов в год на 15 заводах и продавал свои самолеты в 70 стран мира!

Можно еще долго перечислять достижения Советского Союза в различных областях науки и техники, которые обеспечивали возможность находиться нашей стране в авангарде великих, технически развитых Держав мира.

Период после развала Советского Союза, период развала экономики России, ее научных и инженерных школ еще ждет своего изучения историками.

В настоящее время на государственном уровне приходит понимание, что без инженерных кадров невозможно решить ни одной из сложных научно-технических задач, что инженерная деятельность должна стать, как, собственно, было в Советском Союзе, ключевым звеном в системе «наука-техника-производство».

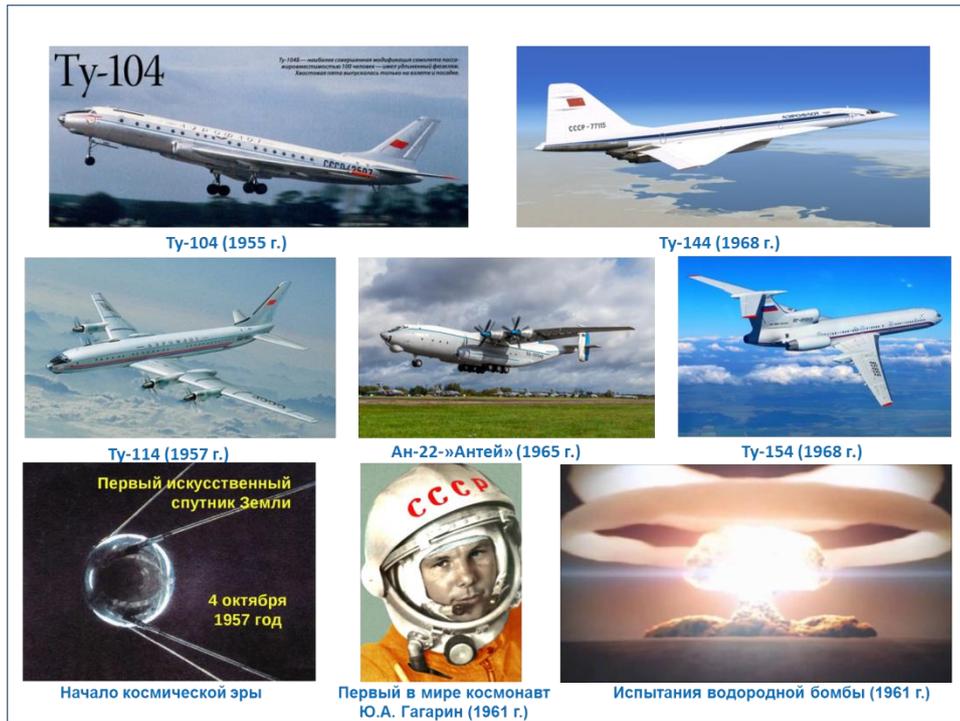


Рисунок 4.75