



ФИЗИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ  
МГУ ИМЕНИ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

*teach-in*  
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

# ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ФИЗИКИ

НИКОЛАЕВ  
ПАВЕЛ НИКОЛАЕВИЧ

ФИЗФАК МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН  
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ  
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ  
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.  
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ  
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ  
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,  
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,  
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ  
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).



БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА  
СТУДЕНТКУ ФИЛОСОФСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ  
**ТУМАНОВУ ДАРЬЮ ПЕТРОВНУ**



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лекция 1. Эволюция физики как науки</b>	<b>5</b>
Возникновение науки и эволюция физики .....	5
Методы периодизации истории физики.....	6
Предмет, задачи и метод истории физики .....	9
Внешние и внутренние типы закономерностей развития физики.....	11
<b>Лекция 2. Закономерности развития и обзор периодов истории физики</b>	<b>14</b>
Типы закономерностей развития физики .....	14
Научоведческие проблемы физики .....	15
Обзор периодов в развитии физики.....	16
Главные, вечные и текущие проблемы физики.....	21
Эпохи коренных перемен в физике - сравнительный анализ .....	23
<b>Лекция 3. Периоды развития физики (III век до нашей эры - XIV век нашей эры)</b>	<b>25</b>
Развитие науки на Древнем Востоке .....	25
Возникновение древней натурфилософии.....	26
Период эллинизма .....	30
Греко-римский период.....	32
Упадок древней науки .....	33
Средние века .....	34
<b>Лекция 4. Наука в период Возрождения</b>	<b>37</b>
Представители науки новой эпохи: Леонардо да Винчи, Николай Коперник .....	37
Джордано Бруно, Уильям Гильберт, Иоганн Кеплер, Галилео Галилей.....	40
Френсис Бэкон, Рене Декарт .....	42
Наука в XVII веке до Ньютона .....	45
<b>Лекция 5. Формирование физики как науки. Исаак Ньютон</b>	<b>48</b>
Биография И. Ньютона .....	48
"Математические начала натуральной философии" .....	53
Оптика И. Ньютона .....	55
Математика Ньютона.....	56
<b>Лекция 6. Период невесомых. Физика в России</b>	<b>58</b>
Период невесомых .....	58
Особенности развития и основные открытия в физике XVIII века .....	60
Наука в России и М. В. Ломоносов .....	65
<b>Лекция 7. Открытие закона сохранения и превращения энергии</b>	<b>68</b>
Социально-исторический контекст XIX века, отразившийся на истории физики .....	68

---

Особенности развития и основные открытия в физике XIX века .....	70
Открытие закона сохранения и превращения энергии .....	73
<b>Лекция 8. Завершение формирования классической физики</b> .....	<b>79</b>
Социально-экономические события второй половины XIX века .....	79
Создание и становление термодинамики .....	81
Кинетическая теория газов .....	86
Статистическая физика .....	87
Электродинамика .....	89
<b>Лекция 9. Период неклассической физики</b> .....	<b>91</b>
Проблемы в физике на рубеже XIX и XX веков .....	91
Возникновение теории относительности .....	92
Теория Лоренца .....	94
Работы Пуанкаре .....	95
Теория Эйнштейна .....	96
Работа Минковского и Опыты Эйхенвальда .....	97
Споры вокруг понимания теории относительности .....	98
<b>Лекция 10 . Развитие квантовой механики</b> .....	<b>101</b>
Гипотеза Планка и её развитие .....	101
Опыты Резерфорда, развитие теории Бора и её трудности .....	103
Матричный вариант квантовой механики .....	105
Волновое уравнение Шредингера .....	107
Развитие квантовой механики .....	109
<b>Лекция 11. Теория тяготения. Физика микромира</b> .....	<b>112</b>
Создание общей теории относительности .....	112
Экспериментальная проверка постулатов и следствий специальной теории относительности. ....	114
Развитие теории относительности Эйнштейна .....	118
Периоды в развитии физики микромира .....	121
<b>Лекция 12. Физика в Московском университете</b> .....	<b>124</b>
Физика микромира. Продолжение .....	124
Новые тенденции в науке на рубеже тысячелетий .....	125
От основания Московского университета до А.Г. Столетова .....	127
От А.Г. Столетова до создания физического факультета .....	132
Физический факультет МГУ им. В.М. Ломоносова .....	134

## Лекция 1. Эволюция физики как науки

### Возникновение науки

Слово "методология" в названии курса "**История и методология физики**" появилось после 1992 года. Данный курс читается в Московском университете под разными названиями очень давно. Название "История физики" он получил в 40-х годах XX столетия, именно в это время число студентов физического факультета стало достаточно большим - сотни студентов, ранее их число составляло десятки. Курс необходим для того, чтобы знания в области физики и отношение к этой науке систематизировать хронологически. В Московском университете есть некая традиция чтения этого курса, которая восходит к **Николаю Алексеевичу Любимову**, заслуженному профессору и заведующему кафедрой физики и физической географии Московского университета, который преподавал в XIX веке. Он написал "Историю физики", когда работал уже в Петербурге, но на основе тех материалов, которые он собрал и систематизировал в Москве. Суть курса заключается в том, что история физики как науки излагается с точки зрения логики открытий.

Существует две древнейшие науки, до которых существовали только их зачатки, - это математика и астрономия, а не физика, не натурфилософия, не метафизика. Считается, что математика и астрономия возникли примерно в III - II веках до нашей эры, а физика как наука возникла в XVII веке, что не означает, что наше знакомство с историей физики начнется именно с XVII столетия. Мы познакомимся и с предшествующим периодом, но в том плане, в котором элементы, относящиеся к физике, присутствуют в настоящем моменте. В рамках курса будет рассмотрено, как происходил процесс сбора научных знаний и их систематизация, как эти знания привели к возникновению первых наук, как из этих первых наук возникали другие науки. Когда мы говорим "математика" и "астрономия", то употребляем эти термины в современном понимании этих слов, но в истории была ещё некая общая наука, которую принято называть натурфилософия. Она возникла раньше, чем математика и астрономия - примерно в VI - V веках до нашей эры. Сначала считалось, что натурфилософия появилась в Древней Греции, но после того, как Китай стал второй экономикой мира, уже нельзя делать вид, что на Востоке ничего не происходило, поэтому сейчас принято говорить об одновременном возникновении натурфилософии и в Древней Греции, и в Древнем Китае, и в Древней Индии. Натурфилософия содержала в себе зачатки всех наук. Некоторые философы любят ассоциировать натурфилософию с философией, но это разные науки. Люди, которые создавали натурфилософию, создавали не только философские концепции в современном понимании, но и должны были построить систему мира в целом, включая то, что теперь относят к астрономии и к физике. Они должны были определить, как устроен мир, включая местоположение звезд и Земли. Кроме того, определить жизнь человека и её социальное устройство.

### Эволюция физики как науки

Слово "физика" претерпело много метаморфоз, в разных контекстах оно обозначат разные вещи. Если открыть любую энциклопедию, то там можно прочесть, что физика - это наука о природе. Это довольно общее определение, мало что говорящее для большинства людей. Необходимо иметь в виду, что физика - это также название одного из естественнонаучных произведений Аристотеля. В современном понимании физика возникла во второй половине XVII века, когда мы говорим физике как науке, то в основном имеем в виду работы Ньютона в области механики, так как физика отсчитывается от того момента, когда вышло его первое и очень общее произведение "**Математические начала натуральной философии**". Некоторые исследователи имеют другую точку зрения, особенно те, кто проживает в Южной Европе, так как не менее значимой и великой фигурой для них является **Галилео Галилей**. Но мы будем отталкиваться от создания **Исааком Ньютоном** механики во второй половине XVII века. Затем физика развивается, а тот период, который был до Ньютона, мы будем называть предысторией физики или развитием физики в общей системе наук или в натурфилософии. Она существовала ещё в первой половине XVII века и именно в ней и возникла физика или элементы физического знания, последним натурфилософом считается **Декарт**. Физика начинается с механики Ньютона, а продолжается разделом, создание которого закончилось к концу XIX века - это классическая физика или период классической физики. В XX веке возникает раздел, который называется современная физика или период современной физики. Эволюция физики как науки делится на следующие этапы:

- **предыстория физики** - развитие физики в общей системе наук до Исаака Ньютона и его механики
- **период классической физики**
- **период современной физики**, который существует и в настоящее время

## Методы периодизации истории физики

Существует пять методов периодизации истории физики. Для разных этапов эволюции физики следует использовать разные методы. Методы периодизации необходимы в силу того, что нельзя систематизировать все подряд, так как не всё, что существовало в процессе эволюции науки, записывается в её историю, что-то уходит в небытие. Мы должны взять на себя ответственность и оценить некоторые научные события как главные, а некоторые - как несущественные. Что проверяется той помощью, которую они оказывают в реальной жизни. История зависит от ситуации, которая меняется в данный момент и влияет и на прошлое, но не в смысле его видоизменения, а в смысле изменения к нему отношения людей. Приведем простой пример: на рубеже нашей и до нашей эры жил Герон Александрийский, который изобрел первые автоматы, в частности он изобрел игрушку, которая называлась "**Эолопил Герона**". Это был полый металлический шар с двумя диаметрально противоположными трубками, который мог вращаться на вертикальной оси. В сосуд наливалась вода, которая подогревалась снизу, и шар начинал вращаться.



Рис. 1.1. Принцип работы Эолопила Герона

Эолопил Герона был обычной паровой турбиной, сделанной в самом начале нашей эры. Использовалось ли кем-нибудь это изобретение? Нет, и причиной этому явилось большое количество рабов в Греции. Если задать вопрос - когда изобрели паровую турбину, то ответ будет: во второй половине XIX века. То есть две тысячи лет люди знали о существовании данного прибора и мечтали о различных водоподъемных машинах, но не использовали его. В разные эпохи люди по-разному смотрят на одно и то же явление, и таких примеров огромное множество.

- Первый метод периодизации - **хронологический**, он является самым простым и делит историю на тысячелетия, которые, в свою очередь, делятся на столетия. Дальше степень точности деления определяется энтузиазмом исследователя, который собирает и систематизирует то, что находится внутри данных интервалов. Данный метод удобно использовать до создания физики, то есть в период преистории. Этот период длительный, но относительно физики в нем не так много информации, но и не так мало.
- Второй метод - **по персоналиям**, по "лицам". Это метод, который широко использовался при изложении как классической физики, так и периода, который был до неё, особенно, когда историю физики писали в XIX веке, когда возник интерес к истории науки. Обычно писали следующим образом: от Аристотеля и до, далее бралась фамилия человека, который в данном государстве считался самым известным ученым, например, до Галилея. Или от Галилея до Ньютона и прочее, и прочее. Этот метод имеет право быть, особенно он подходит для выше озвученных периодов, потому что число ученых, которые работали в то время, было ограничено, а известных ученых - ещё более ограничено. Например, **Лондонское королевское общество** - одна из первых Академий наук, которая возникла в Англии во времена Исаака Ньютона, насчитывала 50 человек, в состав которых входили и филологи, и физики, и математики. Поэтому о всех них мы практически все знаем, знаем, что было изобретено и написано. Но если мы возьмем XX век, то такая ситуация трудно представима, особенно ближе к

его концу. Коллективы, которые делают какое-то реальное дело - огромны, понять, кто в них самый известный и значимый ученый - трудно. Например, совсем недавно были открыты гравитационные волны, их усердно открывал коллектив исследователей из многих стран, состоящий минимум из тысячи официально признанных ученых, только из России в проекте участвовало 7 человек. На разные премии ученые номинируются по-разному, поэтому в данном случае трудно провести хронологию по лицам. Проект, посвященный гравитационным волнам, длился более 20 лет, а бозон Хиггса, который был открыт чуть раньше, стал открытием после почти 40 лет поисков и немислимых затрат. По этому признаку современная наука тоже отличается от той, которую мы называем классической физикой. Метод "по лицам" мы будем использовать не далее, чем в период классической физики.

- Третий метод - **по общественно-экономическим формациям**. И до нашей эры, и после разные люди писали историю науки согласно тем канонам, которые существовали в их время. Максимальное число выделяемых формаций составляет пять:
  - Первобытнообщинная формация
  - Рабовладельческая формация
  - Феодальная формация
  - Капиталистическая формация
  - Коммунистическая формация

В нашей стране некоторое время назад эта методология использовалась, считалось, что от формации зависит и развитие науки. Жизнь богаче любой теории, сейчас существуют и страны с развитым рынком, и настоящие феодальные монархии, и социалистический Китай. Но физика у всех стран одинаковая, абсолютно идентичная, следовательно, данный подход имеет место в том контексте, что в разных формациях на развитие науки тратятся разные средства. Для существенных открытий стране необходимо больше возможностей, производство и прочее. В целом такой подход не подходит к периодизации истории физики, и мы его использовать не будем.

- Четвертый метод - **периодизация, исходящая из внутренней логики развития науки**. Считается, что физика возникла и развивается сама по себе, исходя из своих внутренних закономерностей. Этот метод возможно использовать для периода классической физики, где есть точная, ясная, обнаруженная закономерность.
- Пятый метод - **периодизация, исходящая из внутренней логики развития науки, но с учетом внешних связей**. Этот метод необходим для периодизации истории физики XX века, потому что физика в этот период начинает "отпочковываться" от себя существенные разделы. Сейчас стоит следующая



проблема: необходимы ли людям, которые занимаются, например, радиофизикой или геофизикой, физикой твердого тела и т.д., некоторые единые подходы? Скажем твердо - необходимы, но делать вид, что все исследователи имеют совершенно идентичную специальность, тоже нельзя. В университетах существует множество факультетов, которые называются не физическим факультетом, а радиофизическим или геофизическим. Это реалии нашего времени, которые показывают, что физика начинает видоизменяться. Возможно, что от физики останется центральное ядро, стоит вспомнить, что произошло с натурфилософией, которая была очень значимой наукой, но прекратила своё существование. Вторым фактором является то, что физика забирает себе некоторые направления и развивает их в рамках именно своей парадигмы. Например, существует биофизика, которая много чего взяла от биологии, в составе физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова существует такая кафедра, которая занимается физикой в контексте биологии. Точно такая же кафедра есть и на Биологическом факультете, она тоже называется "Кафедра биофизики", но там изучается несколько иной предмет. Более того, издаются журналы "Физическая химия" и "Химическая физика" - это разные журналы, которые публикуют исследования разных ученых. Эти явления возникли достаточно давно, это необходимо учитывать при написании истории науки, которая должна писаться так, чтобы быть полезной людям, живущим в настоящее время. Поэтому при использовании данного метода периодизации так важно учитывать внешние связи.

## Предмет, задачи и метод истории физики

**Предмет истории физики** - это самый сложный вопрос, потому что в действительности определить предмет физики по большому счету невозможно. В математике тоже существуют подобные проблемы, например, вопрос "что такое точка?". Это понятие не определяется, как и многое другое. Следуя **Борису Ивановичу Спасскому**, определим предмет истории физики: "Предметом истории физики называется возникновение физической науки как единого целого общественного явления, возникшего на определенной стадии развития общества, играющего в нем определенную роль".

**Задачи истории физики.** История физики, как и любая наука, решает три задачи: сбор материала, систематизация материала, анализ и синтез материала (выдвижение гипотезы). Если гипотеза соответствует собранному материалу, то считается, что мы создали соответствующую науку.

**Метод истории физики** несколько отличается от других методов физики, потому что история физики - это гуманитарная наука, которая отличается от самой физики, являющейся наукой естественной. Главный метод физики - это эксперимент, так написал Александр Александрович Вавилов во втором издании Большой советской

энциклопедии, так любил говорить Василий Степанович Фурсов. Физика - наука экспериментальная, даже к компьютерным экспериментам всегда должен прилагаться настоящий эксперимент. Компьютерное моделирование тоже дает много информации, но в итоге всё равно придется реально проверять полученные данные. Например, при создании лекарств в рамках биофизики предусмотрены их клинические испытания. В большинстве случаев компьютерный эксперимент используется по причине того, что это существенная экономия средств, реальный эксперимент - дорогой.

**Главный метод в истории физики - это метод исторического исследования,** как и в любой другой гуманитарной науке. Применяя данный метод, мы исследуем историю общества и в рамках развития физики конкретного исторического периода оцениваем, что происходило до настоящего момента. Например, сколько выходило статей, сколько было ученых, какие совершались открытия. Далее, после исследования этих данных, по точкам строится график, который в дальнейшем анализируется. Например, мы выяснили, что за какой-то период число ученых в некотором обществе росло по экспоненциальному закону. Далее в этом методе начинается самое интересное, потому что мы должны сказать, что будет дальше, то есть функцию, заданную на интервале, необходимо не инкорпорировать, а экстраполировать. Но экстраполяция всегда некорректная операция: меланхолик проэкстраполирует одним образом, сангвиник - по-другому, то есть этот процесс зависит от многих факторов, включая личностные. Это зависит от философских, религиозных и других соображений ученого, существуют сторонники конца света и начала света - инфляционной модели Вселенной. Когда исследования космологии и гравитации только начинались, то инфляционной моделью Вселенной очень интересовался и даже спонсировал Ватикан, который организовывал на данную тему конференции в конце 70 - 80-х годов XX века. **Экстраполируя на будущее, исследователи используют культурные и личностные факторы в качестве регулирующих факторов** (того, что в математике называется функционал). В дальнейшем жизнь выставит оценки проделанной работе, правильность прогноза будет проверена временем, и в него будут вноситься какие-то коррективы. То есть метод исторического исследования означает следующее: изучение того, что существовало ранее, и экстраполяция, которая требует обязательной регуляризации. Если её нет, то самая простая экстраполяция - по прямой, если нам даны две точки, то со времен Древнего мира известно, что нет ничего умнее, чем провести между ними прямую. Но этот метод используется только в том случае, когда нам больше ничего не известно.

## Типы закономерностей развития физики

Мы будем выделять 4 типа закономерностей физики:

1. **Внешние** типы закономерностей
2. **Внутренние** типы закономерностей
3. **Закономерности индивидуального творчества ученого**, так как науку творят люди, от того, как они действуют, много чего зависит

4. **Научковедческие проблемы** - проблемы организации и планирования научных исследований, и т.д.

Не стоит думать, что наука сейчас точно такая же, как и в эпоху Исаака Ньютона и является сборником собраний трудов ученых. Современная наука - это и физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, то есть образовательный процесс, и учреждение, которое функционирует за счет правильной организации и финансирования; научные проекты, которые планируют свою работу на десятки лет вперед. То есть **современная наука - это сфера деятельности людей**. Также, как и любое другое производство, наука - это производство знаний, и человечество знает, насколько оно необходимо. Раньше было достаточно затруднительно объяснить, зачем необходима наука, в настоящее время большинство стран знает зачем и тратит на науку известный процент от своего валового национального продукта. При этом она становится всё более сложной, особенно с середины XX века.

**Внешние закономерности развития физики** определяются внешними факторами, в основном характером производства. Если оно не очень развитое, то можно, конечно, выписать из-за границы необходимых ученых, как это сделал Петр I. Для того, чтобы самые известные в те времена ученые приехали в холодную и нецивилизованную Россию, пришлось заплатить примерно в два раза больше, чем им платили в Европе. Но при этом от них требовали разнообразных видов деятельности в значительном объеме. Ученые писали статьи и публиковали их в необходимых рецензируемых журналах, причем процесс получения рецензии во времена Михаила Васильевича Ломоносова был достаточно сложным. **Развитие науки, в том числе и физики зависит от уровня развития производства, а также от социальных и иных институтов**, так как производство не является набором станков, а включает в себя организацию производственных процессов. Важным является и то, насколько общество воспринимает научные исследования, например, существуют страны, в которых религия может наложить на них некоторые ограничения. Учение о двойственности истины было создано в Средние века, чтобы разделить религию и науку, но есть законы де-юре и законы де-факто, есть эксперимент и есть теория. Это может выражаться в самых простых явлениях: **Эрнст Мах** и **Людвиг Больцман** работали в Венском университете, у Маха была своя философия, которая не принимала никаких частиц, а Больцман без частиц не мог создать свою статистическую физику. Полемика этих ученых исходила из философско-научного сочетания и печально закончилась для Больцмана, который покончил жизнь самоубийством. Возможно, это произошло не только в силу того, что идеи развиваемой им статистической физики в то время не находили понимания в физическом сообществе, но и это тоже повлияло на поступок ученого. Важно отметить, что **социальные проблемы и другие науки также влияют на развитие науки в целом** - это внешние факторы. К внешним факторам можно отнести и некие процессы, которые происходят именно на самом производстве - это так называемая **техническая эволюция**, которая вызывает изменения в обществе и влияет на развитие физики как науки.

**Внутренние закономерности развития физики.** Если рассматривать физику как отдельное явление, то можно отметить наличие некоторых законов, которые определяют развитие данной науки. Есть множество работ, написанных на данную тему, которые носят философский характер. **Борис Иванович Спасский** в своей работе выделяет небольшую часть закономерностей развития физики:

1. **Развитие физики носит эволюционно-революционный характер** (как и во многом общества). Есть исследователи, которым термин "революция" не нравится, они склонны называть это переворотом. Хорошо известно, что кроме непрерывной функции есть разрывность, даже если это явление назвать по-другому. В физике как науке есть периоды плавного развития, которые называются эволюционными, а есть периоды, когда всё резко меняется. Таких переломных периода можно назвать минимум два:
  - **период возникновения физики во второй половине XVII века**, связанный с Исааком Ньютоном
  - **период XIX - XX веков**, на рубеже этих веков всем стало понятно, что классическая физика не всё может объяснить. Это стало понятно даже тем ученым, которые надеялись на неизблемость её законов, а некоторые из них делали это очень долго, например, Макс Планк надеялся до конца своих дней. Он, с одной стороны, считается одним из отцов-основателей новой квантовой физики, с другой стороны, ученый всю жизнь сражался с постоянной Планка - основной константой квантовой теории, которая была названа в его честь. Планк пытался каким-то образом сделать так, чтобы постоянной Планка не существовало, чтобы все оставалось так, как было в классической физике, но ничего не получилось. Это не означает, что классическая физика пропадает, просто в этот период стало ясно, что существуют пределы её применимости, что существует другая область, где необходима другая физика - релятивистская и квантовая. С конца XX и в начале XXI века тоже есть проблемы, которые не решаются. Это касается Общей теории относительности. Откуда появилась темная материя? Она появилась не потому, что кто-то открыл материю, которую открыть нельзя. Было установлено, что если использовать стандартную модель, уравнение Эйнштейна для описания некоторых процессов, то они не дают объяснения, если только не внести туда лямбда-член, который сначала изгнали, а потом вернули после того, как **Закон Хаббла** (космологический закон, описывающий расширение Вселенной) оказался не таким точным, как казалось. Но и тогда, когда лямбда-член вернули в теорию, отмечалась недостаточность наблюдаемой материи, следовательно, была необходима та материя, которая не наблюдается. Просто извлечь её из головы - это не соответствует теории Декарта. **Декарт** - последний натурфилософ давал объяснения существу, которые всем нравились, так как не были схоластическими, как у **Фомы Аквинского**. Но он проиграл **Ньютону** и по причине отсутствия уравнений, и по общности

философских рассуждений. К частицам, которые сплошь и рядом были у Декарта, стали приделывать хвостики и крючки, чтобы объяснить различные явления. Стало понятно, что существует определенная разница между рассуждениями схоластов и диспутами на тему - каких черт может больше уместиться на кончике иглы - зеленых или синих? Это не шутка, а тема обычного средневекового спора. Когда пришел Ньютон, который сказал: "Гипотез не измышляю", то он это постулировал не потому, что он этого не мог, а по причине того, что гипотез возможно выдвинуть множество. Он считал, что существует гравитация, а природу обсуждать нет необходимости. Не сразу, а приблизительно в течении 100 лет его точку зрения приняли. Зато потом поменять парадигму Ньютона стало очень трудно, почти также трудно, как и парадигму, которая возникла после Аристотеля, который придумал систему мира, просуществовавшую без особых изменений 2 тысячи лет.

2. **Преемственность в развитии физики.** Если в физике что-то меняется, то часть предшествующего знания содержится в новом. Преемственность - это достаточно сложное понятие, необходимо знать её типы, которых существует множество.
  - Самый простой из них заключается в том, что старые теории содержатся в новой как некая составная часть, когда **новая теория переходит в старую в виде некоего предельного перехода**. Обычно упрощают и говорят: обычная механика получается из квантовой, если  $\hbar$  устремить к нулю (но дело в том, что  $\hbar$  - это константа). Более серьезным примером являются тонкости в квантовой механике, говорить о которых проще в релятивистской механике: когда скорость частицы намного меньше скорости света, тогда получается обычная ньютоновская механика. Берем релятивистскую механику и устремляем, но масса покоя  $E_0 = mc^2$  остается, потому что нельзя изъять то, чего нет в нерелятивистской механике.
  - **Преемственность как наличие эквивалентных теорий.** Есть теория, например, равновесная теория статистической физики, которую можно развивать, беря микроканоническое, каноническое или большое каноническое распределение. Считается, что они одинаковые, что в действительности неправильно, потому что всегда есть задачи, где существуют некие различия между этими подходами. Но это очень тонкие моменты, для большинства в статистическом предельном переходе эти подходы эквивалентны. Тоже самое относится к механике, где можно брать уравнение Гамильтона и Якоби, но когда мы используем уравнение Гамильтона, то должны помнить, что это возможно только для консервативных задач.

## Лекция 2. Обзор периодов в истории физики

### Типы закономерностей развития физики

История физики - наука гуманитарная, у неё есть свои задачи, они такого свойства, что при их решении необходимо получить результат, используя законы формальной логики. При рассмотрении темы "**физика и другие науки**" необходимо изучать вопросы:

- **физики и математики** - "Математика - это язык", В. Гиббс
- **физики и философии** – логика - методология
- **физики и астрономии** - создание механики, темная энергия и темная материя - новые проблемы физики
- **физики и химии** - теория теплоты, атомизм, квантовая физика - современная химия?
- **физики и медицины** - от термоскопа Галилея до современной медицинской аппаратуры
- **физики и биологии** - физические процессы в человеческом организме
- **физики и её отдельных областей** - рождение новых наук

Когда мы рассматриваем физику и математику, то важно учесть, что математика является более древней наукой, а их взаимодействие следует анализировать не ранее, чем со второй половины XVII века.

### Закономерности индивидуального творчества ученого

Закономерности индивидуального творчества ученого - это третий тип закономерностей, который изучают со следующими целями:

- **необходимость ориентиров** - Френсис Бэкон писал, что хромой, идущий по верному пути, обгонит сбившегося с дороги скорохода. Ориентиры необходимы потому, что иначе коэффициент полезного действия будет очень низкий, предлагается три вида ориентиров:
  1. **почему люди занимаются наукой?** - в разные эпохи разные люди по разным причинам занимались наукой, важно знать, что **Аристотель** в первом томе "**Метафизики**" пишет: "Все люди от природы стремятся к знаниям".
  2. **качества, которыми необходимо обладать для занятий наукой** - имеется ввиду наличие интеллекта, знаний и т.д.
  3. **что необходимо делать, чтобы сделать открытие?** - это самый важный вопрос, определенного ответа на который нет, так как каждый исследователь решает его по-своему. Чужой опыт обычно не сообщается, если он известен, то необходимо иметь ввиду, что жизнь меняется и имеющиеся рецепты могут уже не работать.

## Науковедческие проблемы физики

**Науковедение или наука о науке (Science of Science).** Науковедение - это четвертый тип закономерностей, который включает в себя проблематику некоей науки, которая называется наука о науке, она возникла в 60-е годы XX века по причине того, что они были самым эффективным и плодотворным периодом за всю историю науки, включая современность. Начиная с 50-х годов XX века, наука стала развиваться очень быстро, все государства понимали, что в неё необходимо вкладывать средства, что и делали достаточно быстро и рационально. В итоге появились научные области, которые стали анализировать этот процесс. Такая наука была и раньше, но она существовала в зачаточном состоянии. В 60-х годах по всему миру начинают проводить конференции, посвященные этому направлению, пишутся статьи, анализируется процесс развития науки, появляются "измерители" научной деятельности. Производился расчет затрат на науку, анализ количества публикаций в печатных журналах. В то время было ещё реально это сделать, так как библиотек, которые содержали в себе всё, что издавалось в мире, было всего две: Библиотека Конгресса США и Российская государственная библиотека им. В.И. Ленина. В остальных странах исследователи могли заниматься только некоей частью науки, в том числе и физики. Был произведен подсчет количества исследователей, занимающихся наукой, найдены корреляции, но закончилось все следующим: из анализа того, что происходило в науке, люди, которые занимались науковедением, сделали вывод, что примерно к 90-м годам XX века (если процессы будут развиваться далее) все люди на Земле должны будут заниматься наукой, а все средства будут уходить на её развитие. Следовательно, должно произойти нечто, потому что в действительности такой прогноз реализоваться не может, именно так и сложились обстоятельства: первое, что сделали американцы - это сократили финансирование науки, в частности в 70-е годы XX века в два раза были урезаны расходы на математику, несмотря поднятый большой шум по этому поводу. В России с финансированием науки всё решилось само собой в 90-е годы, это произошло по другим причинам, но финансирование сократилось не в два раза, а намного существеннее. Кроме того, за счет этих процессов пострадало само науковедение, в результате к нашему времени специалистов в области науковедения осталось чрезвычайно мало. Главным центром науковедения в России был Институт научной информации по общественным наукам РАН в Москве, библиотека которого пережила серьезный пожар.

Если мы анализируем проблемы, связанные с развитием науки, то они должны быть не абстрактного характера, а представлять собой цифры, говорящие о том - сколько, чего и когда происходит в данной области. Рассмотрим, например, какие зарубежные учреждения входили в пятерку лучших ВУЗов в мире - это Кембридж, Оксфорд и др. Их финансирование в 70-е годы составляло порядка миллиарда долларов, сейчас этот коэффициент за счет инфляции необходимо умножить на 10, то есть эти ВУЗы должны получать 10 млрд. в год соответственно. Но за счет исследований, которые спровоцировали секвестрование науки в два раза, даже

стабильно популярные ВУЗы имеют финансирование от 5 до 7 млрд. Все понимают, что наука - это очень эффективно и важно, но есть предел, нельзя всех людей сделать учеными. Таким образом, мы изучили раздел, который называется **проблемы науки, связанные с исследованиями, в том числе планирование и прогнозирование.**

## Обзор периодов в развитии физики

История физики делится на три больших периода, которые мы будем обозначать буквами русского алфавита: А, Б и В. Каждый период также делится на разделы. Первый период называется предистория физики, второй - период классической физики, третий – современная физика.

### **А) Предистория физики (от древности до Галилея): 7 век до нашей эры - первая половина XVII века.**

В этот период физики как науки не было, но элементы физического знания были, они существовали в рамках разных наук, но в основном в рамках натурфилософии, которая была некой единой нерасчлененной наукой.

- **Древняя натурфилософия: 7 век до нашей эры - конец 4 века до нашей эры**

В 7 веке до нашей эры Греция стала достаточно серьезным государством, происходящее в котором у нас есть возможность проследить. Что касается Древней Индии и Китая, то поскольку книги о существовании этих стран в данный период в основном написаны в Европе, мы будем ориентироваться на Древнюю Грецию, так как процессы, происходящие в этот период, были достаточно похожими, а связь Востока и Запада гораздо прочнее, чем считалось ранее. В конце 4 века до нашей эры произошло очень серьезное событие - крах империи Александра Македонского, после развала которой началась новая эпоха. В этот период формировалась древняя натурфилософия, о которой мы будем говорить далее более подробно. В конце этого периода **Аристотель**, по сути, всё подытожил и описал, в происходящем в то время мы ориентируемся, в основном опираясь на его произведения, тем более, что его труды сохранились лучше всего. Многие религиозные учения канонизировали Аристотеля, что обеспечило сохранность его идей, но при канонизации происходило видоизменение того, что он создал. В 2016 году отмечалось 2 400 лет со дня его рождения.

- **Период эллинизма: конец 4 века до нашей эры - середина I века до нашей эры**

В середине I века до нашей эры Рим захватил Египет и Александрию, после этого события начинается новая эпоха. Те государства, которые возникли после краха империи Александра Македонского, назывались эллинистическими, главными в них были греки. Эллин - это грек, но понятие "грек" в то время было



"темное" и очень сложное, потому что Александр Македонский был не греком, а македонцем. Когда он умер, то в Афинах началось антимакедонское движение, всех македонцев из Афин "попросили" уйти, а также всех, кто с ними сотрудничал, включая Аристотеля. Поэтому эти государства принято называть эллинистическими, но их образовали те люди, которые, грубо говоря, работали вместе с Александром Македонским. К этому времени данные государства потеряли статус главенствующих, и на первый план выходит Рим, который становится столицей мира. В эллинистический период древняя натурфилософия ещё худо-бедно развивается.

- **Греко-римский период: середина I века до нашей эры - II век нашей эры**

Начинается эпоха, которая связана с господством Рима - государства, которое было ориентировано на завоевания, сбор налогов и дани, на жесткую субординацию. Государства, которому были необходимы только инженерные науки, в крайнем случае астрономия, и то для того, чтобы ориентироваться на местности. Рим захватывает огромные территории, при этом в основном развиваются прикладные науки. То есть появляется другой тип науки, но близкий и к физике в том числе.

- **Упадок древней науки: III - VI века**

В этот период Рим дряхлеет, но этот процесс длится долгий период, который составляет три века. Те, кто ранее назывался варварами, потихоньку подтачивают Римскую империю, которая постепенно деградирует. Древняя наука упала, но не в том смысле, что она пропала, в данный период её развитие просто приостановилось. В это время люди в основном собирают и накапливают знания, чтобы не потерять то, что имелось, на основе этих знаний в том числе издаются и энциклопедии. Наука по сути носит компилятивный характер, происходит копирование того, что уже было известно. Эти процессы тоже были важны, так как в противном случае имеющиеся знания были бы потеряны. Подобные периоды повторялись в истории множества государств, например, и в нашей стране в 90-е годы прошлого века, когда издавалось множество энциклопедий, но практически не существовало реальных исследований.

- **Средние века: VII - XIV века**

Существует мнение, что в длительный интервал Средних веков науки не было, но эта точка зрения не верна. В данный непростой период в науке происходило многое, что далее будет рассмотрено отдельно. Этот сложный период по сути делится на две части:

- **VII - IX века** - на первом месте в развитии науки находится арабский Восток, наука которого явно превосходит европейскую науку того времени.

- **IX - XIV века** - постепенно Европа выходит на первый план, там развивается и наука, а главное - огнестрельная артиллерия, которая позволила ей эффективно решить многие проблемы, в том числе и научные. Достаточно вспомнить Крестовые походы и другие события. Научные споры решаются не только в аудиториях, они решаются разными путями. Зачастую история излагается, исходя из интересов тех или иных людей, как только это происходит, то она становится другой, отличной от реальной.

- **Период Возрождения: XIV - XVII века**

Период Возрождения происходил в разных странах по-разному, к этому времени то, что принято называть элитой общества - осознала, что она живет каким-то диким образом, практикуя совместное проживание с лошадьми в замках и пр. При этом был собран материал, который рассказывал, что существовал век, в котором люди имели ванны и другие излишества, включая искусство. Одним из самых известных представителей эпохи Возрождения является **Леонардо да Винчи**, год его рождения 1452. Он участвовал в очень многих проектах, был и художником, и архитектором, в том числе занимался медициной и прочим. По тем временам и его образу жизни Леонардо прожил долгую жизнь (до 1519 года), в 2019 году было 500 лет со дня его смерти. Период Возрождения ознаменовал то, что наука в виде всех остальных знания, которые тоже стали развиваться, достигает такого уровня, что наступает новый период. Во второй половине XVII века возникает ряд новых наук, в том числе и то, что мы называем физикой.

В период предистории физики деление на этапы происходит, **не исходя из внутренней логики науки, а исходя из реальной социальной истории**, то есть это деление через хронологию, исходя из развития общества как такового.

**Б) Период классической физики (от Ньютона до радиоволн): вторая половина XVII века - конец XIX века**

Это большой период, где сформировалось то, что называется классическая физика, которая считается основой всей физики. Всё, что возникало потом и ещё возникнет далее, происходило из её сердцевины. Этот период делится на следующие интервалы, уже **исходя из внутренней логики развития физики**:

- **Формирование физики как науки: вторая половина XVII века**

Данный период в основном связан с именем **Исаака Ньютона**, с выходом в 1687 году его книги "**Математические начала натуральной философии**", которая сильно повлияла на создание физической науки. Её первый экземпляр находится в библиотеке МГУ им. М.В. Ломоносова. С этой книги началась физика, а поскольку её название говорит о том, что это - механика, то физика

как наука стала формироваться, начиная с механики. Хотя не стоит думать, что Ньютон сразу стал заниматься механикой, он начал с оптики, которая тогда была более модным занятием, людям тогда были гораздо интереснее различные спектры и прочие явления. Прикладное значение играет очень важную роль в жизни и деятельности любого человека, и Ньютона тоже. Ему приходилось создавать иллюзию, что он - "червь науки", который занимается исключительно ею, но его основных трудов по физике насчитывается около 10 томов, а число томов работ по теологии составляет порядка 200, по алхимии – множество (Ньютона интересовали и вопросы получения драгметаллов из менее благородных металлов). Ещё одна легенда об Исааке Ньютоне заключается в том, что он активно занимался теологией, но плохо её понимал, поэтому его работы в данной области не имеют большого научного значения. Это не соответствует действительности, так как ученый занимался тем, что теперь называется неортодоксальным направлением теологии, грубо говоря, он был диссидентом, что не очень нравилось ортодоксальному направлению в теологии. Исаак Ньютон хотел совершать новшества во всех областях, что не всегда поощряется и не всегда получается. Кроме механики в этот период развивалась и оптика, помимо Ньютона с ней работал и Христиан Гюйгенс, и многие другие.

- **Период невесомых: XVII век**

Когда в XVIII веке стало ясно, что Ньютон создал тот вариант физики, который будет в дальнейшем развиваться (в отличие от варианта Декарта, который ему проиграл), то стали пытаться создавать и все остальные области физики по образу и подобию механики. Но для этого было необходимо иметь массу и законы движения, таким образом, например, пытались развивать теплоту, но сколько не нагревали - вес тела от этого не менялся. Тела намагничивали, но вес тоже не менялся. Тогда была выдвинута гипотеза о существовании неких невесомых жидкостей, которые втекают и вытекают из тела, при этом меняя их свойства. Так появились невесомые, поэтому вначале такие области знания, как теория теплоты или электричество возникли с помощью понятий "теплоемкость" (определяющего, сколько тепла мы можем налить) и "электроемкость" (первые конденсаторы делались в виде лейденской банки, потому что считалось, что таким образом будет лучше сохраняться электрическая жидкость). Правда, теорий жидкостей было много: одножидкостные, двухжидкостные и т.д. В XVIII веке такое направление было прогрессивным, в том смысле, что собиралось и накапливались значительные массивы информации, что в дальнейшем привело к значительным изменениям в области физики.

- **Открытие закона сохранения и превращения энергии: первая половина XIX века**

В конце этого периода был открыт закон сохранения и превращения энергии - это было главным событием данного периода, кроме него многое происходило в области электричества, и магнетизма, и т.д. В это время Фарадей открыл свои законы. Закон сохранения и превращения энергии в дальнейшем превратился в Первый закон термодинамики.

- **Завершение формирования классической физики: вторая половина XIX века**

Во второй половине XIX века классическая физика формируется окончательно, для чего, естественно, было необходимо создать электродинамику и термодинамику в полном объеме. На этом классическая физика не завершается, она формируется и в настоящее время, но основной костяк физики был создан. Считается, что концу XIX века классическая физика уже была сформирована, но это не означает, что в это в ней не было проблем, которые всегда присутствуют в науке, но появилась господствующая парадигма, которая была чисто классической.

## **В) Период современной физики: с начала XX века**

Этот период отсчитывается с начала XX века и ещё не закончился. Он начался с того, что проблемы, которые возникли в физике в начале прошлого века, уже нельзя было решить в рамках классической парадигмы. Но не все ученые, которые занимались физикой, сразу перешли на сторону современной физики и стали интерпретировать свои данные с её помощью. Даже те, кто создавал современную физику, долго не верили в то, что есть области, где классическая физика в принципе неприменима. Ученые надеялись, что они не до конца исследовали и поняли механизмы решения физической проблем, что если это произойдет, то возникнет теория, которая всё объяснит в рамках классического подхода. До настоящего времени создать такую теорию никому не удалось. В итоге возникли те направления, которые называются **"Релятивистская теория"** и **"Квантовая теория"**. Эти два подхода видоизменили физику до неузнаваемости, но в основном ученые занимаются сугубо классической физикой, то есть решают задачи в рамках классического подхода. С другой стороны, даже в рамках классики исследователи занимались и квантовыми проблемами, не подозревая об этом. Подход современной физики позволяет посмотреть на многие проблемы с некой высоты. Даже если мы решаем задачу с помощью, например, паровоза, то при наличии общего взгляда мы понимаем, в чем существуют ограничения, в чем возможны варианты, которые необходимо учитывать. Это период подразделяется на два подпериода:

### **V1) Период неклассической физики (от X-лучей до кварков): первые 85 лет XX века:**

- создание релятивистской механики и нерелятивистской квантовой механики: до 1926 года
- открытие строения атомного ядра (лептоны и нуклоны): 1926 - 1935 год
- создание физики элементарных частиц: 1935 - 1964 год
- построение квантовой хромодинамики: 1964 - 1985 год

## **В2) Период постнеклассической физики: с 1985 года**

Физика в эпоху новых технологий и астрофизических открытий

### **Главные, вечные и текущие проблемы физики**

Краткий обзор главных проблем физики следует рассматривать по **Виталию Лазаревичу Гинзбургу**, отечественному физико-теоретику и лауреату Нобелевской премии по физике. Учитывая, что физические факультеты в массе своей возникли в университетах с 1933 года, из всех лауреатов Нобелевской премия в области физики Гинзбург является единственным, кто закончил именно физический факультет Московского университета в 1939 году (а не физико-математический факультет как Игорь Евгеньевич Тамм или Илья Михайлович Франк). Гинзбург был главным редактором журнала "**Успехи физических наук**", в котором были опубликованы его статьи, посвященные общим вопросам физики. Этот журнал возник в 1918 году, его создал Вавилов Сергей Иванович, это был очень популярный журнал, в том числе и среди студентов и аспирантов, который описывал современные проблемы физики доступным языком. Гинзбург предложил перечень основных проблем физики, которые имели место быть на рубеже XX - XXI веков, несмотря на то, что прошло время, эти проблемы сохранились.

### **Тремя главными проблемами физики являются:**

- **Проблемы механики**, которыми, например, занимается отделение механики механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Существует точка зрения, согласно которой вся физика закончилась на Аристотеле, который написал уравнение движения - закон трех букв, которые связаны неким соотношением. У Ньютона это  $A = F \cdot M$ , у Аристотеля вместо  $M$  -  $K$  (сопротивление среды), вместо ускорения - скорость, которая равна силе, деленной на сопротивление среды. То есть закон механики Аристотеля, по своей роли аналогичный второму закону механики Ньютона, сводится к утверждению, что скорость пропорциональна силе. Самая тяжелая часть проблемы механики - это постановка задачи создания аппарата, а также определение граничных условий - это самый сложный компонент проблемы, так как мы живем в реальном мире. Диспуты в 60-х годах прошлого века были посвящены тому, в какую дырочку пролетит электрон, если их две, вопросам нелинейности, интерференции и т.д. Когда эти явления стали исследовать с большой точностью, когда научились производить измерения корреляции частиц на

большом расстоянии, то было обнаружено, что она практически исчезает, и очень быстро. Реальные проблемы науки несколько отличаются от теоретических проблем, реальная физика именно экспериментальная и заключается в реальных исследованиях, поэтому ряд проблем и классической, и квантовой механики остаются актуальными до настоящего времени.

- Проблемы теории теплоты
- Проблемы электродинамики

#### Вечные проблемы физики:

- Откуда возникает необратимость?
- **Что такое пространство?** Пространство волновало многих ученых, которые предлагали разные варианты определений. К настоящему времени многое стало понятно, но появилось то, что называется темной материей. Некоторые ученые говорят, что её нет, а есть темная энергия. Много лет назад астрономы за счет астрономических наблюдений впервые открыли темную материю. Возникает вопрос: как можно открыть то, что нельзя наблюдать? Было доказано следующее: если брать стандартную модель, уравнение Эйнштейна в теории гравитации, то ничего не получится, даже при лямбда члене и подгоночном вариационном параметре. Если получается, то при постановке такой  $m$ , которая в 10 раз больше, чем считается в действительности. История астрономии возникла следующим образом: Эйнштейн создал уравнение и построил некое решение, из которого вытекала нестационарная модель Вселенной. Эйнштейн считал, что это нехорошо, поэтому добавил лямбда-член, сделав стационарную модель Вселенной в целом. **Александр Александрович Фридман** нашел нестационарные решения "мировых уравнений", в качестве примера таких решений он построил три возможные модели Вселенной. Начались дискуссии, далее нестационарность Вселенной доказал **Э. Хаббл** и Эйнштейн признал свой промах (исследователи пишут, что он считал это своей самой крупной ошибкой). Прошло некоторое время и стало ясно, что без подгоночного параметра расширение Вселенной происходит с ускорением. Остается проблема - это теория гравитации. Теория гравитации Ньютона - классическая теория, теория гравитации Эйнштейна - это релятивистская теория, также существует квантовая теория гравитации, которую пропагандирует Стивен Хокинг, она имеет множество параметров и очень сложные решения, которые не справляются с данной проблематикой.
- **Что такое движение?** Хорошо известны древние парадоксы - апории Зенона, их решали, решают и, видимо, будут решать вечно.
- **Что такое жизнь с точки зрения физики?**

## Эпохи коренных перемен в физике - сравнительный анализ

В физике как науке было несколько очень крупных перемен, среди которых выделяют три:

- Вторая половина XVII века - момент создания физики
- Конец XIX - начало XX века - кризис физики
- Последняя четверть XX века - эпоха коренных перемен

Коренные перемены заключаются в том, что физика становится другой: в XVII веке из набора некоторых, ранее разрозненных знаний возникает наука; в конце XIX века после кризиса классической физики появляется более общая наука - релятивистская и квантовая физика, в которой классика сохраняется как частный случай%; в конце XX века формально никаких новых областей физики не возникает, но ученые стали ею заниматься совершенно по-другому. Начиная с 1985 года, благодаря совершенствованию технических средств, в частности внедрению в жизнь персональных компьютеров появилась возможность делать то, что делалось и раньше, но гораздо быстрее. Поэтому с этого момента наука становится другой. Ньютону в создании физики помогла логарифмическая линейка, до 1975 года студент физического факультета в качестве главного рабочего устройства также использовали именно её. Студенты пользовались 3 шкалами линейки, а у Ньютона их было 10, что позволяло ему производить расчеты на порядки быстрее современников. После распространения компьютеров принципиально увеличилась скорость расчетов, поэтому те задачи, которые в принципе считались нерешаемыми из-за недостатка скорости счета, стали решаться.

В XVII веке возникли первые научные журналы, до этого момента общение ученых происходило с помощью почтовой переписки. Книги были рукописными и очень дорогими, их было мало. Печатных книг было побольше, но количество экземпляров книг составляло от 5 до 15. В последней четверти XX века появились электронные журналы, электронные публикации и прочее. Объем информации резко увеличился, изменились и средства связи, появились интернет и мобильные телефоны.

## Метод моделей и аналогий в физике

Это проблема, которая относится к внутренней логике развития науки, но она очень важная и заслуживает отдельного рассмотрения. Модели бывают двух типов:

- **Материальные модели:** например, модели самолетов, которые изучаются в технических ВУЗах
- **Идеальные модели:** макромодели, микромодел, математические модели, квантовые модели.

Важно отметить относительность классификации моделей, в современной жизни понятия "микромодели" и "макромодели" несколько видоизменилось, а внутри моделей появилось некое деление. Модели необходимы по причине того, что в физике все строится именно на них, любая теория по своей сути - это в каком-то смысле модель.

**Аналогия** - это сходство объектов в каких-либо признаках или отношениях. Аналогии могут идти со знаком плюс и со знаком минус, первые играют положительную роль в истории науки, но в дальнейшем могут приобрести знак минус. Основные примеры аналогий:

- **поток летящих частиц - световой луч** - эту аналогию человечество использовала с незапамятных времен;
- **световые волны - волны в сплошной упругой среде** – аналогия используется с XVII века;
- **водяной двигатель - тепловая машина** – аналогия используется с XIX века, великий французский физик и математик **Саади Карно**, который открыл второе начало термодинамики, использовал водяной двигатель и получил правильный результат, хотя должен был получить неправильный, так как теплород не должен сохраняться при тепловом процессе.
- **электростатика - теория потенциала гравитационного поля** - Джеймс Клерк Максвелл создавал свою электродинамику, опираясь на механику, то есть считал её некой динамической теорией, то есть механической, но использовал для этого разные аналогии из гидродинамики.



## Лекция 3. Периоды развития физики (III век до нашей эры - XIV век нашей эры)

Сегодня лекция будет посвящена самому большому отрезку времени примерно с III века до нашей эры до XIV века нашей эры, то есть 21 веку или примерно 2 тыс. лет. За это время произошло существенное количество событий, что касается относящегося к физике, то главной доминирующей фигурой с точки зрения европейской культуры здесь выступает фигура Аристотеля. 2 400 лет со дня его рождения отмечалось в 2016 году, из них примерно 2 000 он был самой значительной фигурой и в истории науки, и в том, что мы теперь называем физикой, и во многом другом. Из оставшихся 400 лет 300 лет это место занимал Исаак Ньютон, последние 100 длился переходный период.

### Развитие науки на Древнем Востоке

Древний Восток и современный Восток, который имеет место быть - это разные явления. Древний Восток включал в себя Вавилон, Ассирию, Египет, Индию и Китай. Основных источников информации, которые имеются и говорят о том, что происходило в то время на данной территории, достаточно много. Имеются письменные и материальные источники, главные из них:

- **Египетский папирус Ринда** - часть которого находится в Британском музее, датирован 1680 годом до нашей эры, папирус назван по имени своего первого владельца.
- **Московский папирус** - находится в Музее изобразительных искусств им. Пушкина, его объем меньше папируса Ринда.
- **Ниппурские тексты** - относятся к Вавилону, который соответствует современному Ираку, датированы XX веком до нашей эры, тексты выполнены клинописным письмом на глиняных табличках, их значительное количество.
- **Индийские веды** - собрание рукописных произведений, которые относятся к Индии, где они начали писаться очень давно, к сожалению, их постоянно переписывали. Кто, что и когда добавлял в них, часто доподлинно не известно, достоверность заключенной в веды информации необходимо исследовать более подробно.
- Материальные памятники: **храмы, пирамиды** и т.д.

Все этим занимается достаточно большая область науки, которая называется **источниковедение**. Есть специалисты, исследующие вопросы датировки источников, но даже при применении физических методов датировки остается проблема их сохранности. Многие источники к настоящему времени не сохранились, причиной этому послужили и войны, и разрушения целых государств. Кроме того, существуют и современные проблемы, например, Каирский музей, который обладал множеством

произведений Древности. В результате произошедших в Египте событий Каирский музей сильно пострадал. События, которые происходят в настоящее время в Сирии и Ираке, не способствуют сохранению исторических ценностей этих стран. Люди, которые приходят на завоеванную территорию, сплошь и рядом уничтожают то, что было создано до них, разрушают святилища и возводят свои храмы. Мракобесие есть, было и, похоже, будет, приводя к проблемам сохранности источников. Сейчас многое оцифровывается, но воспроизвести информацию в полном объеме это не позволяет. Манеж на Моховой улице в Москве пережил пожар, после чего была произведена его реставрация, которая привела к существенной перестройке и видоизменению обширного пространства в центре столицы.

Существует проблема политической ангажированности трактовок событий и объективных фактов. В век интернета становится многое понятно, в том числе и мотивы оценок исследователей. Понятие "истина" предполагает, что она одна, но есть мнение, что существует множество разных истин, и у каждого она своя. Обсуждаемая проблематика относится даже не к выводам, а к источникам информации. Манипуляция информацией происходит вследствие того, что разные люди и организации пытаются выбрать из информации именно то, что выгодно им. При осуществлении основных этапов работы по сбору данных необходимо собрать как можно больше информации, включая даже то, что уже по разным причинам "закопано". Это необходимо для получения результатов, которые будут соответствовать реально происходящим событиям, что является частью работы историков.

## Возникновение древней натурфилософии

Изначально наука возникает в виде натурфилософии - некоей общей науки. В период с VII века по конец IV века до нашей эры древняя натурфилософия практически одновременно возникает в Древнем Китае, Древней Индии и Древней Греции. В этих странах можно отметить много разных ученых, но для западной культуры ключевой фигурой, ассоциирующейся с этим периодом, является Аристотель, для восточной культуры - это Конфуций. В 2007 году в МГУ им М.В. Ломоносова был создан Институт Конфуция. За четыре века своего существования древняя натурфилософия сформировала основные направления. В их рассмотрении мы будем ориентироваться в основном на Европу, в которой первая натурфилософская школа возникла в городе Милете. Она называется Ионийская школа, в нее входили три известных мыслителя:

- **Фалес** - считается основателем Ионийской школы, основной элемент - **вода**
- **Анаксимандр**, ученик Фалеса, основной элемент - **апейрон**, некая беспредельная первопричина, которая не имеет никакого материального аналога.
- **Анаксимен**, ученик Фалеса - основной элемент - **воздух**

Ионийская школа просуществовала не очень долго, потому что город Милет потерял былое значение, после чего натурфилософы не смогли там полноценно

существовать. Натурфилософия является некой единой и нерасчлененной наукой, которая объясняет, как устроен мир всей его полноте, включая вопросы устройства общества. **Милетская школа относится к такому направлению, которое помещает в основу всего сущего один элемент.** Например, вода, которую провозгласил первоэлементом Фалес, для древних греков является очень важным элементом жизнедеятельности. Дальше приходит понимание, что от реалий повседневности необходимо абстрагироваться, и возникает первоэлемент апейрон. Для объяснения происходящего, например, почему из одной сущности возникают другие сущности (земля, воздух, эфир, огонь) - Анаксимен, ученик Фалеса предложил в качестве первоэлемента воздух. Он считал, что именно воздух позволяет многое объяснить, так как при его сжатии возникает вода, при увеличении усилия - камни, если сжать воздух ещё сильнее, то возникнет земля. Когда воздух расширяется, то может возникнуть огонь, а далее - эфир. Манипулируя этим понятием можно объяснить возникновение различных явлений. В основном мыслители Ионийской школы создавали свои учения в VI веке до нашей эры, в школе уже была сформирована своя система мира, где имели место и Луна, и Земля, и звезды.

К одноэлементному направлению относится и Гераклит, который в основу всего сущего помещает огонь. Огонь - это такое начало, которое позволяет быстро все менять. **Гераклит считается основателем того направления, которое в философии называется диалектика - учение о развитии,** так как огонь акцентирует внимание именно на изменениях. Кроме того, параллельно с Ионийской школой возникло другое направление, отцом-основателем которого является **Пифагор**. Пифагорейская школа в основу всего сущего (примерно в одно время в Ионийской) положила не некий аналог материального начала, а идеальное начало - **число**. Пифагорейцы формируют очень интересную систему мира, в которой Земля движется, у всех иных направлений Земля покоится в центре мира.

Существовали направления, которые помещали несколько элементов в основу всего сущего. Самыми известными представителями этих направлений были:

- **Эмпедокл**, который выделял 4 начала: **огонь, воздух, воду и землю** и 2 движущих силы: **любовь и вражда**. Такие направления были более популярны в Древней Индии и Древнем Китае. Пятого элемента у Эмпедокла нет, он появляется несколько позднее у других авторов.
- **Элеаты** провозгласили истоками **вечность и нетленность сущего**, в рамках этого подхода возникают апории Зенона и прочее.

Далее события развиваются следующим образом: в Афинах Анаксагор создает свою натурфилософскую школу и провозглашает, что все сущее состоит неких семян - некоторых частиц. **Семена** - это не совсем атомистические частицы, а некоторое более сложное понятие. Учение Анаксагора по сути является предтечей древнего атомизма, основателем которого был **Левкипп**, который утверждал, что все окружающее состоит

из **атомов и пустоты**. Его учеником был очень известный мыслитель **Демокрит**, считается, что именно он создал учение атомизм, дополнив утверждение, что все состоит из атомов и пустоты, и приписав атомам форму и положение в пространстве. Его рассуждения о системе мира очень похожи на то, что нам сейчас предлагает современная космология. **У пифагорейцев было пять первоэлементов, которые соответствовали пяти правильным многогранникам**. В этот же период **Платон** предлагает некое развитие теории Пифагора, которое заключается в том, что многогранники необходимо свести к двум плоским фигурам, потому что все правильные многоугольники, которые образуют многогранники, можно свести к двум треугольникам (теория Таэтета) - равностороннему и равнобедренному. Платон видел большой смысл в таком сведении к более простому. Когда **Карл Гейзенберг** создал квантовую механику, то отметил, что Платон был прав, и никаких атомов нет, а существует некий каркас формул, которые заполняют нашу Вселенную, его и необходимо изучать, в том числе и с помощью квантовой механики. Правда, тогда Гейзенбергу было чуть больше 20 лет, когда он стал старше, его точка зрения несколько видоизменилась. **Предложения Платона свести теорию Пифагора к двум более простым первоэлементам** оценивалось рядом ученых как предвидение, что кроме молекул существуют атомы. Данные теории не предполагают какого-то строгого доказательства - это желание людей увидеть то, что существует или отсутствует в данном вопросе.

**Аристотель** (384 - 322 гг. до нашей эры) имел систему мира, которая была близка к эвдоксовской. Эвдокс первым предложил такую систему, которая позволила объяснить, почему планеты, которых тогда насчитывали пять (видимых глазу), не все движутся правильно. Она состояла в следующем: существует некая система сфер, которая имеет единое начало, ось одной сферы крепится на поверхности другой сферы, и т.д. За счет разного вращения сфер получается ложное движение, то есть он предложил первоначальный вариант разложения сложного движения на простые круговые движения, некий кинематический принцип. Число сфер у Эвдокса составляло 27, у Аристотеля их было 56, поэтому движение он описывал более точно. Поскольку сферы имели единый радиус, то у Аристотеля тоже была не очень точная теория, так как оставалось непонятным, почему меняется яркость планет, поскольку расстояние до Земли должно остается постоянным, хотя они и движутся по разным траекториям.

**Учение Аристотеля о движении** понимало его как движение вообще, то есть это было не только движение в механическом понимании этого слова. Движение по Аристотелю - это **соединение материи и формы**, он предлагает выделить 6 видов движения:

1. Возникновение
2. Уничтожение
3. Рост
4. Уменьшение

5. Качественное изменение
6. Смена положения в пространстве

Аристотель также предлагает **4 причины движения**:

- материальная
- формальная
- источниковая
- целевая

Более подробно Аристотель предлагает рассмотреть **локальное движение**, под которым он подразумевает то, что мы называем механическим движением. Вначале он делит его на два типа:

- **движения небесных тел**, которые не требуют никакой причины, поскольку они происходят по круговым траекториям, а для движения по кругу никакой причины не нужно, так как у окружности нет ни начала, ни конца. Это аналог того, что мы никогда не думаем о движении по инерции. Когда более 300 лет назад возникла механика Ньютона, то она была очень непонятна большинству людей, мыслящих инерционно.
- **движения всех остальных тел**, которые находятся на Земле:
  - **движения естественные** - это движение тела к своему естественному месту. Если тело тяжелое, то его место внизу, а если тело легкое, то наверху, поэтому пар поднимается вверх, а камень падает вниз, и никакая сила для этого не нужна.
  - **движения насильственные** - например, ослы возят телеги, рабы носят камни, для этого движения существует закон:  $v = F/k$ , скорость равна силе, деленной на сопротивление среды. Чем больше сила, тем больше скорость.

Аристотель сочетал естественные и насильственные движения, потому что понимал, что все не так просто, в итоге эти сочетания приводили к глубоким размышлениям, с которыми важно ознакомиться.

Основные понятия статики и динамики у Аристотеля: траектория тела, брошенного под углом к горизонту, состоит из трех участков - прямолинейного наклонного, прямолинейного вертикального и кругового, соединяющего эти два участка. Эта задача была очень актуальной со времен создания метательных машин и орудий. Данная схема просуществовала примерно 2 тыс. лет, вплоть до XVI века, пока не было получено решение для полета снаряда в виде параболы. Было определено, что наибольшая дальность полета объекта соответствует углу в  $45^\circ$ . Эту задачу решил **Никколо Тарталья**, автор книги "**Новая наука**"/"Nova Scientia", которая вышла в 1537 году. Если рассматривать движение снаряда в плотной среде, либо достаточно легкого тела в воздухе, то вопрос о преимуществе той или иной кривой для описания

движения требует дополнительного анализа, потому что парабола предполагает идеальный случай, когда сопротивление отсутствует. Аристотель описывал не идеальную задачу, а реальную жизнь, в которой люди стреляют из орудий.

Из своей динамики Аристотель делает вывод о том, что скорость падения тела пропорциональна его весу, что соответствовало повседневным наблюдениям: лист падает медленнее, чем яблоко, и т.п. Эта точка зрения была широко распространена вплоть до **Галилея**, который в результате опытов установил, что необходимо учитывать воздействие воздуха, так как в безвоздушном пространстве скорость не должна зависеть от веса. Но он не различал вес и массу тела, для него это было единое понятие, их стал различать только Исаак Ньютон. Вплоть до Галилея введение новых понятий так или иначе сводилось к видоизменению некоторых понятий механики Аристотеля. Примером могут послужить и гипотезы **Николая Коперника**, который видоизменил механику Аристотеля и описал свою теорию. Аристотель по сути подытожил период, когда возникла древняя натурфилософия. С его смертью, которая практически совпала с концом правления Александра Македонского, данный период заканчивается и начинается новый.

## Период эллинизма

Период эллинизма длился с конца IV и до середины I века до нашей эры. Он возник на основе появления множества эллинистических государств, на которые развалилась империя Александра Македонского. В этот период многое в науке изменилось, натурфилософия претерпела ряд изменений, она несколько потеряла свое особое влияние, течений стало меньше. Например, последнее натурфилософское учение в Афинах - это **учение Эпикура, который развивал этику - учение о поведении, приводящему к счастью**. Эпикур считал, что для того, чтобы создать этику, необходимо этого познать природу, из всех учений о природе ближе всего ему был атомизм. До Эпикура атомизм был устроен следующим образом: кто-то (боги) создал этот мир, в котором всё определено и предрешено. Эпикур решил конкретизировать атомизм и найти в рамках необходимости путь свободы для человека, для чего ввел две гипотезы:

- **движение обусловлено не внешней необходимостью, а внутренней - тяжестью тела**, то есть все атомы по Эпикуру падают сверху вниз
- **при падении атомы могут самопроизвольно отклоняться от направленного прямолинейного движения**

Таким образом источник, который всё определял в атомизме, теряет эту возможность. При создании квантовой механики некоторые ученые интерпретировали эту часть учения Эпикура как предвидение флуктуаций, нулевых колебаний и прочего, но его интересовала свобода воли человека. Также, как атомизм был необходим древним атомистам по причине того, что иначе апории Зенона не находили решения (так как они не умели складывать бесконечно малое, то Ахиллес не мог обогнать

черепахи). Атомизм утверждал, что делить до бесконечности нельзя, и решал таким образом апории Зенона. Истоком введения понятий в физике могут быть совершенно разные причины, это и есть то, что в истории физики называется внутренней логикой открытий. Это то, чему нас учит **Николай Алексеевич Любимов**, русский физик, который жил в позапрошлом веке и преподавал в Московском университете. Также он был заведующим кафедры физики, преподаватели которой читали физику всем студентам Московского университета, включая юристов и медиков. Во второй половине прошлого века "Основы современной физики" ещё читались для студентов философского факультета Московского университета.

В дальнейшем учение Эпикура было развито **Лукрецием Каром**, нам известно о нем из его поэмы, которая дошла до современности и называется "**О природе вещей**". О самом Каре сохранилось очень мало информации. Учение Эпикура очень не понравилось клерикалам, которые в дальнейшем создали целую систему религий. Они распускали слухи о нем, которые заключались в перечислении пороков и излишеств, которые себе позволял Эпикур. Хотя доподлинно известно, что в свое время среди натурфилософов он считался человеком, который кроме создания этики был привержен движению стоиков и считал важным использовать только то, что действительно необходимо для жизни. Но когда сегодня употребляют термин "эпикурейство", то подразумевают полный набор пороков. Это понятие вошло в обиход именно в таком смысловом контексте, необходимо признать, что такого рода феноменов в истории достаточное количество. Лукреций Кар жил в первой половине I века до нашей эры, его новаторскими идеями явились:

- **первая модель молекулярно-кинетического движения частиц** в виде пылинок, которые движутся в луче света, если в темной комнате из некоего источника падает свет, то в его луче можно увидеть некое хаотическое движение частиц пыли;
- **предположение о множественности миров;**
- **предположение о том, что Земля плоская.**

В учении Кара было достаточно идей, которые в дальнейшем не подтвердились.

В тот же период очень знаменательным местом был **Александрийский музей**, который правильнее называть мусейон, так как это святилище муз, а не музей в современном понимании. Александрийский музей был местом, где эллины поклонялись музам, на фасаде здания Большого театра в Москве расположены фигуры двух из них. Мусейон был создан царями Птолемеи в Александрии, говоря современным языком, он представлял из себя научно-исследовательский центр, где ученые жили на полном пансионе. Самым известным ученым, который там жил, был **Евклид** (III век до нашей эры), он создал следующие труды: "**Начала**" - геометрия Евклида, "**Оптика**" и "**Катоптрика**" - учение об отражении света и теорию

зрительных лучей, которые существовали сами по себе. Его теория зрительных лучей для науки в тот момент актуальной не оказалась.

В Александрийском музее успешно развивалась астрономия:

- **Эратосфен** - вычислил радиус Земли.
- **Гиппарх** - составил каталог из **1000** звезд, который использовали вплоть до нашей эры.
- **Апполоний и Гиппарх** - предложили теорию эпициклов и кинематический принцип относительности. Метод эпициклов состоит в следующем: мы считаем движение планет круговым, центр этой окружности движется по другой окружности, центр которой находится на Земле. Движение по этим двум окружностям позволяет нам более сложным образом описать движение планет, которое уже ближе к действительности (таким образом можно описать и эллипс). Если его развивать, то в дальнейшем становится возможно достаточно точно описывать движения планет кинематическим образом. Этот метод в впоследствии использовал Птолемей.
- Рядом с Александрией находился город Сиракузы, который был построен на острове Сицилия. В Сиракузах жил **Архимед**, который создал статику и гидростатику, открыл закон Архимеда и развивал теорию рычага (по образцу "Начал" Евклида), которая в то время была актуальной проблемой, а также занимался оптикой - исследовал закон преломления.
- **Герон Александрийский** - на границе до нашей эры и нашей эры первым предложил поставить закон отражения в форме некой вариационной задачи, то есть варьировать тот путь, который проходит луч, минимум соответствует его движению ( $\min L$ ). Это была первая задача такого типа, которая была решена. Он же создал **эолопил Герона**, который по сути был прототипом первой паровой машины, устройство эолопила было рассмотрено на первой лекции.

## Греко-римский период

Греко-римский период начинается с середины I века до нашей эры и заканчивается примерно во II веке нашей эры. В это время Рим становится центром мира, а древняя натурфилософия приходит в упадок, потому что римлянам были не очень интересные теоретические рассуждения, им были необходимы реальные знания для реальных военных походов. Самые значительные открытия в этот период были сделаны **Клавдием Птолемеем** (годы жизни: 70 - 147 гг.), включая **гелиоцентрическую систему мира**, которая без особых изменений просуществовала 1500 лет. Она была очень точная и хорошо разработанная, для этого использовались математические методы, кинематический принцип относительности и метод



эпициклов. Кроме того, Птолемей использовал метод эксцентриков, который позволял считать, что планеты движутся по окружности, но её центр не обязан совпадать с центром Земли. Эти методы позволили Птолемею хорошо описать движения многих планет и предсказать некие астрономические события. Всё это было им описано в книге "**Общий обзор**", арабское название труда Птолемея - "**Альмагест**", он состоит из 13 книг, которые по сути являются 13 частями. Почему-то исследователи очень заинтересовались этой проблематикой в конце XX века, труды Птолемея очень тщательно изучили и объявили о том, что он подтасовывал данные, но факт остается фактом - теория Птолемея просуществовала полтора тысячелетия. Когда возникла теория Коперника, то ей долго ещё пришлось доказывать, что она является важной и правильной теорией, потому что ей было необходимо создать аппарат, а теория Птолемея уже работала. Формально теория Коперника была проще, потому что была хорошо выбрана точка отсчета.

### Упадок древней науки

В III - VI веках нашей эры происходит упадок древней науки, которая начинает деградировать. Во-первых, Римская империя разваливается на западную и восточную, создавая массу больших проблем. Во-вторых, возникают новые государства, а древняя наука теряет свой статус и интерес к себе. Но то, что знания необходимы, люди понимают, поэтому главным направлением деятельности исследователей становится **создание энциклопедий**. Информация тщательно собиралась, классифицировалась и складывалась. Самыми известными событиями в физике в данный период была **теория импетуса Иоанна Грамматика** по прозвищу Трудолоб, созданная им в 517 году. Этот человек по сути ввел новое представление - некое общее понятие "импетус", которое потом превратилось в понятия механики. Иоанн Трудолоб рассматривал известную теорию Аристотеля о причинах движения стрелы. Аристотель рассматривал движение выпущенной из лука стрелы как насильственное, так как у неё нет своего естественного места, она летит туда, куда её направят. Но почему она летит, кто её толкает? Аристотель считал, что стрелой рассекается воздух, но "природа не терпит пустоты", поэтому вытесненный воздух как бы догоняет стрелу и подталкивает её. Иоанн Грамматик не соглашался с таким объяснением и предлагал следующую теорию: когда мы пускаем стрелу из лука, то в ней запечатлевается некая мощь или импетус, то есть запечатлется нечто, которое потом хранится в ней. Когда стрела летит, то это нечто (импетус) понемногу расходуется. Из этой гипотезы потом возникли понятия "**импульс**", "**энергия**" и прочие. Все эти понятия возникали очень постепенно, ещё во времена Исаака Ньютона никакой потенциальной кинетической энергии не было, в то время в ходу были понятия "мертвая сила" и "живая сила". Современные обозначения в физике возникли только во второй половине XIX столетия. Говоря об открытии Иоанна Грамматика, мы рассматриваем ситуацию в науке, сложившуюся к этому периоду в Европе, в Китае это открытие было сделано гораздо раньше V века. Важно отметить, что **многие понятия в физике возникали параллельно и на Западе, и на Востоке.**

## Средние века

Период Средних веков продлился с VII по XIV века, при его анализе мы сначала рассмотрим средневековый арабский Восток, где в начале наука развивалась лучше, а потом Европу, которая в конце этого периода обогнала его.

1. **Средневековый арабский Восток:** к VII веку арабы захватили огромную территорию, единым языком на которой стал арабский язык, включая язык науки. Здесь, а отнюдь не в Европе возникают **первые университеты:**

- в 755 году - возникает первый университет в городе Кордова на территории современной Испании, которая в этот период являлась частью арабского Востока.
- 759 год - создается университет в Багдаде.
- 972 год - создается университет в Каире.

В тоже время, что и университет в Кордове создается **Учение о двойственности истины**, суть которого заключается в том, что существуют некая религиозная истина и научная истина. Первая - более важная, вторая менее важная, но они действуют независим друг от друга. Это было очень полезно, потому что, присягнув на верность религии, далее в рамках науки можно было делать всё, что пожелает воображение исследователя. В этом смысле заниматься наукой на арабском Востоке было намного легче, потому что то, что возникло в Европе в рамках христианства, способствовало тому, что наука находилась под очень серьезным религиозным прессом, особенно на начальных этапах. Теория двойственности там тоже возникла, но существенно позже.

**Главными направления науки**, которые возникли на арабском Востоке, были:

- **Астрономия** - которая активно развивалась в этот период, самые известные открытия в астрономии принадлежат **Улукбеку** (1394 - 1449 гг.), который жил в Самарканде на территории современного Узбекистана. Он создал каталог звезд, которым ученые пользовались вплоть до новейших времен. Улукбек по сути создал первую обсерваторию, которая была самой известной и качественной обсерваторией того времени. Но это происходило тогда, когда телескопы и подзорные трубы ещё не были созданы, а использовались другие астрономические приборы, которые измеряли видимые угловые расстояния между объектами на небесной сфере.
- **Теория весов и определение плотности** - которые были очень развиты по простой причине - при сборе дани было необходимо предотвратить возможный обман и замену золотого слитка чем-то иным, для чего было важно уметь очень хорошо и точно измерять, в том числе и плотность.

- **Математика** - главное, что дошло до нас из арабского Востока - это **арабские цифры**, которые пришли туда из Индии, а арабы их модифицировали. В России арабские цифры были введены при Петре I, до которого цифры писались буквами. "Математика", которую усердно изучал Михаил Ломоносов, была изданием, созданным при помощи букв.

В результате нашествия монголов и турок развитие многих государств на арабском Востоке прекратилось или замедлилось, в это время начинает понемногу "просыпаться" Европа, в которой тогда жили варвары.

2. **Средневековая Европа**: начало развития науки в Европе происходит с X века, в это время очень сильно влияние церкви, тем не менее, возникают следующие открытия:

- **Производство бумаги** - XI - XII века.
- **Часы без маятника** - XII век, часы с маятником возникли гораздо позже, в эпоху Исаака Ньютона (XVII век), они связаны с именем **Христиана Гюйгенса**.
- **Очки** - XIII век.
- **Компас** - на рубеже XII - XIII веков. На тему компаса написано значительное число всевозможных работ, где обсуждается первенство его открытия. Это непростой вопрос, который необходимо исследовать. В Китае были стрелки, которые возможно истолковывать как компас, но они использовались в качестве прибора для гадания, как и эолопил Герона, являющийся паровой машиной, использовался в качестве игрушки. На Физическом факультете с 30-х годов прошлого века, когда исследователи усердно занимались наукой, сохранилась масса очень сложных приборов, сейчас они находятся на выставке. Принцип работы и предназначение этих приборов зачастую является абсолютной загадкой. В Петербурге исследователь занимался изучением того, как возникает время, он создал прибор, который показывает влияние луны на ход времени, особенности его функционирования этого изобретения не очень ясны.
- **Огнестрельная артиллерия** - XIV век, изобретение которой явилось, вероятно, главным, что вывело Европу вперед. После этого события начались серьезные завоевательные походы, которые привели к развитию других направлений науки. Именно тогда теория Аристотеля о движении под углом к горизонту была оценена, как требующая корректировки, а ученые стали интересоваться более точными расчетами.
- **Книгопечатание** - XIV век, небольшими тиражами стали печатать книги, но на фоне того, что до этого момента все книги были рукописными, это был огромный прогресс.

Единым научным языком в этот период была латынь, сохранившаяся в этом качестве в Европе до XIX века. Все научные работы писались на латыни, все работы

---

М.В. Ломоносова были написаны на латыни, на русский язык они были переведены, тогда, когда в районе 1950 года издавалось полное собрание его сочинений. Русский химик Н.А. Меншуткин только в конце XIX - начале XX века перевел ряд ключевых работ Ломоносова на русский язык и написал его биографию. Но на латыни к XIV веку даже в Европе почти никто не говорил, это был мертвый язык. В данный период в средневековой Европе как религиозно-философское учение господствовала **схоластика**, которая во многом определяла жизнь людей, в том числе и научную.

## Лекция 4. Наука в период Возрождения

### Начало новой эпохи

Данная лекция посвящена науке в период Возрождения, когда в том, что по сути потом стало физикой, главным действующим лицом был Галилео Галилей. Период, который мы рассматриваем - это XV век - 70-е годы XVII века, то есть период развития физики до Исаака Ньютона. Эпоха Возрождения началась с того, что в мае 1435 года после длительной осады турецкие войска заняли Константинополь, то есть Византия пала окончательно. Началась новая эпоха, путь из Европы в Индию, Китай и иные страны был закрыт, византийская интеллигенция частично адаптировалась, но большая её часть бежала в Европу. Возникла такая ситуация, когда стало необходимо искать другой путь на Восток, а потребность всегда рождает предложение:

- **Колумб** (1451 - 1506) убеждает элиту европейского общества, что совершенно необходимо снарядить экспедицию, которая будет искать новый путь в Индию. 12 октября 1492 года (эта дата считается официальной датой открытия Америки) экспедиция Колумба достигает острова Сан-Сальвадор в Багамском архипелаге. В итоге Америки экспедиция по существу не достигает, но начало подобно было положено. Путешествие Колумба привело не только к географическим открытиям, в процессе своих странствий по океану он обнаружил то, что называется **магнитное склонение**, которое связано с тем, что географический полюс не совпадает с магнитным полюсом Земли. Это личное открытие Колумба в той ситуации привело к очень непростым выводам.
- Несколько позже - в 1519 - 1522 годах снаряжается экспедиция **Магеллана**, которая совершает кругосветное путешествие. Это плавание завершает только один корабль "Виктория" под командованием Х.С. Элькано. **Шарообразность Земли становится экспериментальным фактом**, на котором уже нельзя спекулировать.
- Примерно через 300 лет такая же экспедиция была осуществлена в России. В 1603 - 1806 годах состоялась **первая русская кругосветная экспедиция** под руководством И.Ф. **Крузенштерна** и **Ю.М. Лисянского**. Таким образом, дело Петра I не пропало даром, до великого правителя такое событие было немислимо.

### Леонардо да Винчи

В этот период начинает развиваться техника, инженерное дело и многое другое, о чём мы будем говорить далее. Первая значительной фигурой этого времени, которую мы рассмотрим, - это **Леонардо да Винчи** (1452 - 1519), который на начальном этапе по сути явился знаменем эпохи Возрождения. Леонардо да Винчи настолько известный человек в разных сферах, что очень трудно отделить то, что реально о нём известно, от того, что было сфабриковано не только со времени его смерти, но при жизни мастера.

Доподлинно известно, что он был архитектором, инженером, врачом, художником и много кем ещё. Леонардо да Винчи резко выступал против схоластики - учения, которое господствовало в этот период. Людей, которые могли себе такое позволить, обычно очень мало, так как в любой науке, включая физику, есть господствующие парадигмы. Важно уметь отделять тех ученых, которые выступают против неё по существу, от тех, кто это делает с целью заполнить вакантную оппозиционную нишу. **Леонардо да Винчи не просто отрицал схоластику, а предлагал взамен идею о том, что необходимо опираться на опыт, а не на умозрительные заключения, которые ничем не подтверждены.** Опыт да Винчи был ещё не тем, который мы называем экспериментом, такое понимание возникло несколько позже, он имел ввиду опыт повседневной практики. Но это уже не было умозрительным опытом Аристотеля, так как Леонардо да Винчи строил храмы и вскрывал трупы, изучая анатомию. В результате своей деятельности он сделал ряд открытий, касающихся физики:

- **Открытия в статике:**

1. **Теория равновесия тел, в том числе на наклонной плоскости,** то есть Леонардо да Винчи решил статическую часть задачи, это было следствием его деятельности как архитектора.

2. **Закон трения в частном виде:  $F = 0.25P$**  (сила трения равна четверти от веса тела), он считал, что у всех тел коэффициент трения составляет 0.25, что неверно в общем случае, но для тех тел, которые используются в строительстве, это очень близко к истине. Общий вид этого закона появился только в XVIII веке с помощью **Шарля Огюстена де Кулона.**

- **Развитие теории импетуса** - Леонардо да Винчи считал, что тело движется по некоторой причине и в нем сохраняется нечто, что тогда называлось импетусом (импульс, энергия).

- **Открытия в оптике:**

1. **Закон перспективы,** который связан с работой Леонардо да Винчи как художника.

2. Использование серии методов, самым известным из которых является метод **"золотого сечения"**. Он известен и в геометрии - это некое соотношение, которое Леонардо да Винчи использовал в живописи для создания гармоничных, "божественных" пропорций. Этот метод пытались использовать в конце прошлого века для нахождения корня, который вычисляется делением отрезка пополам. Было написано множество работ, посвященных гипотезам о более эффективном нахождении корня при использовании золотого сечения в делении отрезка.

## Николай Коперник

От Николая Коперника (1473-1543) отсчитывается новая эра, которая связана с тем, что возникла новая гелиоцентрическая система мира. Это произошло не сразу, с момента открытия Коперника прошло достаточно много времени, тем более, что книга, которую он опубликовал, вышла тогда, когда её автор уже находился на смертном одре. Коперник родился в Польше в городе Краков, там же получил образование, которое продолжил в Италии (в Болонье и Падуе), далее он вернулся на родину, где работал каноником кафедрального собора в городе Фромборк. В начале XVI века в рукописи появляется книга Коперника, которая называется "**Малый комментарий**", где он описал гелиоцентрическую систему мира. В формировании этой теории мира Коперник исходит из принципа простоты. Книга стала широко известной в Европе, многим ученым она очень понравилась, они считали необходимым её опубликовать, что не хотел делать сам Коперник, поскольку он был священнослужителем (как практически все ученые того времени) и хорошо понимал, что может последовать в результате публикации его работы. Вместе с тем, он развивал свое учение и создал работу "**О вращении небесных сфер**", которая была издана в 1543 году. В этой книге есть обращение к папе Павлу III, где Коперник поясняет, что его целью было создание более простого описания системы мира. Также в ней содержится предисловие, которое никем не подписано, но известно, что его написал богослов Осиандер. В предисловии он пишет, что движение Земли в книге Коперника является остроумным вычислительным приёмом. "О вращении небесных сфер" состоит из шести книг (частей):

- 1 часть - описывает **гелиоцентрическую систему мира**;
- 2 часть - приведена **сферическая астрономия**, то есть дан каталог звезд, который на то время является самым лучшим и известным;
- 3-6 части - дано **описание движения Земли, Луны и пяти других планет**.

Любая теория основывается на том объеме информации, который накоплен к моменту её создания. Коперник строил свою книгу, основываясь на принципе простоты, также он применяет кинематический принцип относительности, то есть использует метод эпициклов и эксцентриков. Копернику было необходимо ввести **две гипотезы**:

- **о бесконечности Вселенной** - для объяснения отсутствия параллакса неподвижных звезд, так как без телескопа в то время наблюдать движение звезд было невозможно;
- **движение вместе с Землей - естественное**, то есть для движения, согласно механике Аристотеля, не нужно никакой силы. Тогда все объясняется, и никто не слетает с поверхности Земли, как предрекал Птолемей. При этом Коперник модифицирует механику Аристотеля.

## Джордано Бруно

Учение Коперника находит поддержку и развивается, самым известным продолжателем дела Коперника был Джордано Бруно (1548 - 1600). Он был очень острым на язык, что в любую эпоху приводит к большим сложностям при общении с сильными мира сего, при этом Джордано Бруно говорил о множественности миров. Это закончилось для него печально, он попадает в тюрьму инквизиции, где его пытаются, а потом казнят, предав сожжению на площади Цветов в Риме. На этой площади теперь стоит памятник Джордано Бруно.

## Уильям Гильберт

В том же 1600 году Уильям Гильберт пишет книгу "**О магните, магнитных силах и большом магните - Земле**", где описывает свой опыт с неким магнитом в виде шара, который он изготовил из железа. Диаметр шара составлял 1 метр, он был им намагничен, и с помощью ориентации магнитной стрелки Гильбертом было показано, что у него определяются два полюса. В своей книге Гильберт описал, что это явление аналогично происходящему на Земле, сделав вывод, что Земля - это магнит. Кроме этого им был сделан ряд других выводов:

- Именно **магнитные силы определяют движение Земли**. Сейчас мы знаем, что эти силы недостаточны для такого определения её движения, но идея о том, что силы (не важно какие) определяют движение Земли - была высказана впервые.
- При этом Гильбертом было **потеряно представление о магнитном склонении**, которое было открыто Колумбом. Это произошло по причине того, что он считал, что магнитные полюса и географические полюса совпадают.
- В ходе описания движений наэлектризованных тел Гильбертом было введено понятие "**электрические свойства**".

## Иоганн Кеплер

Обработывая экспериментальный материал, доставшийся ему от Тихо Браге, Иоганн Кеплер (1571 - 1630) открыл три закона, которые были названы **законами Кеплера**. Первые два были открыты им в 1609 году, третий - в 1618. Используя идею Гильберта о том, что движение Земли определяется некими силами, и используя свои законы, он устанавливает, что  $F \sim 1/R$ , если сила определяет движение Земли. Но он считал, что все планеты движутся в одной плоскости, поэтому решал плоскую задачу, что была его глубочайшей ошибкой. Если бы Кеплер взял трехмерный случай с плоскостью, то тогда получил бы, что  $F = 1/R^2$

## Галилео Галилей

Галилео Галилей (1564 - 1642) - по сути предшественник Исаака Ньютона, часто (особенно в Италии) можно услышать мнение, что именно с него началась новая



физика и физика вообще. Год смерти Галилея и год рождения Ньютона (по старому английскому стилю) совпадают, в этом многие видели глубочайший смысл. Галилей родился в городе Пиза, работал в университете Падуи, где занимался исследованиями в области механики. Мы не будем подробно рассматривать открытия Галилео Галилея в области механики по той причине, что об этом очень подробно рассказывается в курсе общей физики, а рассмотрим его **открытия в области оптики**. В 1609 году Галилей создает телескоп, это произошло после получения информации о том, что такой прибор уже есть в Голландии. Он был военной тайной, но Галилею хватило наличия самого факта его существования. Сделав свои открытия в области механики и оптики, поддерживая теорию Коперника, учение которого он рассматривал не как частный случай, а как поддержку некоего нового подхода, как механику, которая работала на новой основе, а не аристотелевской, в 1615 году Галилей пишет об этом в письме своему ученику Кастелли. Это письмо было перехвачено и направлено инквизиции, которая заинтересовалась его содержанием, но у Галилея были информаторы, сообщившие ему о появившейся угрозе. Он решает работать на опережение и направляется в Рим, в итоге на этот раз для него все заканчивается достаточно благополучно, и он избегает наказания. Но, чтобы остальным не было поводом сослаться на книгу Коперника, её в 1616 году запрещают.

В 1630 году выходит основная книга Галилея "**Диалоги о двух системах мира - птолемеевой и коперниковой**", в отличие от научных книг того времени она написана на итальянском языке, то есть её могли прочитать не только ученые и священнослужители, но и обычные люди. Эта книга написана в виде дискуссии трех лиц:

- Симпличио ("простак" - итал.) - венецианец, **сторонник системы Птолемея**
- Сальвиати - флорентиец, **сторонник системы Коперника**.
- Сагрето - венецианец, **рефери**, который необъективно выступал в качестве судьи спора, подсуживая Сальвиати.

"Диалоги" состоят из четырех дней бесед персонажей:

- 1 день – рассматриваются **общие философские вопросы**.
- 2 день - обсуждаются **вопросы механики**, то есть те проблемы, которые решил Галилей, они рассматриваются в ключе выяснения того, чья механика является правильной - Аристотеля или Галилео Галилея. В этой части "Диалогов" впервые появляется **принцип относительности Галилея**. Именно там описывается ситуация нахождения в каюте корабля, который движется равномерно, но так как шторы иллюминаторов занавешены, то определить - движется ли корабль - невозможно. Также в этой части книги описан опыт по бросанию камня с мачты корабля и отсутствие влияния на место его падения его равномерного движения.

- 3 день - **астрономические открытия**, совершенные Галилеем, который с помощью подзорной трубы установил, что Луна имеет особенности поверхности, а Солнце - пятна, а также спутники у многих планет. То есть на небе все не так красиво, как считал Аристотель, который противопоставлял гармонию космоса с движением по окружности с неупорядоченностью Земли.
- 4 день - предлагается к рассмотрению **теория приливов и отливов** Галилея, которую он считал главным подтверждением своего нового подхода. Но она была неправильной, так как Галилей вводил аналогию, в соответствии с которой движение вместе с Землей - это движение некой баржи, которая везет воду. Земля как баржа, с одной стороны, движется вокруг Солнца, а с другой - вращается вокруг своей оси. И совокупность этих движений приводит к тому, что в некоторые моменты времени вода приливает к носу корабля, а в другие - к корме. Это и есть приливы и отливы.

После издания "Диалогов" инквизиция вызвала Галилея на серьезный разговор, который действительно состоялся, но что там происходило остается загадкой, так как католическая церковь так и не опубликовала его протокол до настоящего времени. В ходе судебного процесса в 1633 году Галилей публично отрекся от своего учения, но слов "а все-таки она вертится" ученый не произносил. Дальше Галилей до своей смерти жил дома под неотлучным присмотром двух представителей инквизиции. До 1822 года его книга находится в списке запрещенных. Во второй половине XX века, в 1981 году Ватикан начал процесс длительный реабилитации Галилея, который был помилован только в 90-х годах. Это произошло в соответствии с толкованием той стороны, которая наказывала, а впоследствии реабилитировала учёного, оно состояло в том, что он, поступив на работу в учебное заведение, должен был соблюдать существующие правила, за нарушение которых и был в свое время осужден.

**Теория познания Галилея:** по существу, с Галилея началась новая эпоха в рамках науки вообще, если со времен Аристотеля были только наблюдение и теория, то новый алгоритм выглядит следующим образом: **наблюдения → теория → наблюдения в виде эксперимента (проверка теории) → новая теория.**

### Развитие теории индукции и дедукции

**Индуктивный метод познания** связан с именем **Френсиса Бэкона** (1561 - 1626), **Рене Декарт** (1596 - 1650) создал **рационально-дедуктивный метод познания**. Любая наука при своем построении основывается на двух общих положениях индукции и дедукции.

- **Метод индукции** проистекает из следующего: необходимо собрать факты и обобщить их, на основе обобщения фактов и создается теория. Так создавал свои теории, например, Исаак Ньютон. Если теория что-то описывает плохо, то её необходимо заменить.

- **Метод дедукции**, к которому тяготел Кант и другие ученые, имеет другой подход: сначала находятся самые общие положения, которые ниоткуда больше не следуют и не могут впоследствии быть неправильными. Исходя из этих положений, дедуктивным методом далее выводятся различные следствия, которые сравниваются с реальностью посредством эксперимента. Но при сравнении могут быть несовпадения, следовательно, так как основные положения менять нельзя, то необходимо менять толкование.

В реальности применяется сочетание методов индукции и дедукции, в чистом виде они не применяются. Френсис Бэкон и Рене Декарт не только развили данные методы, но и в философском смысле **определили новую эпоху науки**, внутри которой существуют оба метода. Важно отметить, что Декарт был последним общепризнанным натурфилософом, то есть человеком, который описал все устройство мира - от строения Вселенной, до того, как необходимо вести себя в семейном кругу. В настоящее время тоже существуют натурфилософы, но они являются самопровозглашенными.

## Рене Декарт

Рене Декарт является самым известным после Ньютона ученым в истории физики, которая рождалась как борьба сторонников Исаака Ньютона - ньютонианцев или сторонников дальнего действия и сторонников Декарта - сторонников ближнего действия, картезианцев (имя Декарта на латыни – Картезий). Эта борьба очень напоминает события романа Джонатана Свифта о вражде между остроконечниками и тупоконечниками, войну Белой и Алой розы и т.д. Декарт создал **космогоническую теорию**, являющуюся теорией Вселенной, которая описывает не только её функционирование, но и вопросы возникновения. Теория Декарта была основана двух факторах:

- **закон сохранения материи**, которая заполняет все пространство без промежутков, то есть Декарт воспроизводит идею Аристотеля о том, что пустоты быть не может.
- **закон сохранения величины количества движения**, под которым Декарт подразумевал то, что в нашем понимании является импульсом, только брал его по модулю.

Хотя Декарт отнюдь не был неграмотным в математике, но его теория была очень непростой и очень непоследовательной. Исходя из вышерассмотренных факторов, Декарт создал систему возникновения и функционирования Вселенной и ответил на вопрос, почему планеты движутся с помощью вихрей, которые втягивают их в орбиты, то есть создавал некую гидродинамику Вселенной. Картезианцами являются и современные исследователи, которые занимаются изучением слияния черных дыр, а некая дама-астроном заявила, что достаточно давно открыла темную материю, исследовав движения галактик. Получив некорректный результат, она

пришла к выводу, что для получения корректного результата необходимо добавить фактор темной материи. Проблема темной материи действительно существует, половина ученых считает, что её возможно решить, а вторая половина, что открытие гравитационных волн компенсирует наличие темной материи. Созданную Декартом теорию и построенную на ней систему мира в дальнейшем удалось переделать только Исааку Ньютону, который заочно дискутировал с Декартом, не называя его имя. С этой целью он построил свою гидродинамику, чтобы доказать, что вихри не могут действовать так, чтобы описать действия реальных тел. Теория Декарта также включала в себя множество других элементов, например, частицы первого, второго и третьего элемента и многое другое, но самыми известными его открытиями являются:

- **закон преломления света**, который был открыт Снеллиусом, но впервые опубликован именно Декартом.
- **картезианство и близкодействие** – которые являются близко связанными. Декарт считал, что дальнодействия в принципе не может быть, так как любое взаимодействие должно передаваться за конечный интервал времени и контактно, то есть толчком, давлением. Ньютон также понимал, что для передачи необходимо время, он отвечал, что в его теории сила определяется мгновенно, а природу сего явления он не знает и "гипотез не измышляет", но не потому, что не может их измыслить, а потому что они не подлежат проверке.
- **переменные величины в математике** - в том числе понятие  $f(x)$ , которого до этого времени не было.
- **основы аналитической геометрии**, в результате которой появилась Декартова система координат.

В результате у Декарта появилось множество последователей, так как до него наука классического типа была очень непрозрачной. Открытия Декарта предоставили широкое поле деятельности для ученых, и его последователи начали активно его осваивать. Но оказалось, что общих идей Декарта недостаточно для создания дееспособной теории, аппарат которой и начали создавать его последователи. Результата они не добились, что послужило причиной всплеска их фантазии, так же, как и у их предшественников-схоластов. Для объяснения явлений последователями Декарта были определены некие частицы, у которых в дальнейшем появились хвостики. Ученому необходимо ставить перед собой не просто правильные задачи, а те, которые возможно решить. Таким образом, Декарт и его последователи не смогли реализовать тот грандиозный план, который они построили. Идеи Декарта реанимировались только в электродинамике Максвелла, где без них было не обойтись, так как механики Ньютона было недостаточно. Во всех теориях существуют элементы, которые с течением временем меняют свою значимость, выводя то одну, то другую теорию на первое место. Поэтому для обеспечения универсальности необходимо знать на определенном уровне все подходы. Существуют десятки подходов в механике, но

невозможно решить задачи, используя методы Ньютона, которые не решаются и методом Лагранжа, но в некоторых случаях решаются методом Гамильтона.

## Наука в XVII веке до Ньютона

Именно в этот период возникли все области, которые затем в развитой форме реализовались в физике, сначала в классической, а потом в неклассической. Всё началось с проблемы механического движения. Галилео Галилей, который жил в XVII веке до Ньютона, занимался механикой, где решил ряд задач, например, движение тел по наклонной плоскости, то есть **задачу равноускоренного движения**. Он ввел множество понятий, включая понятие "**центробежная сила**" и ряда других сил. Необходимо отметить, что в тот момент все задачи механики решались не как общее решение, а как решение конкретных задач, которое не предполагало применение имеющихся методов к другим задачам, потому что не было общего подхода. В этот период произошло два важных события:

- 1660 год - **образование Лондонского королевского общества**, которое функционирует и в настоящее время, являясь аналогом Российской Академии наук.
- 1665 год - начало издания трудов Лондонского королевского общества, то есть **появление первого научного журнала**. До этого момента основным способом общения ученых являлась переписка, сведения о деятельности ученых дошли до нас именно из их писем друг другу.

Эти события явились причинами радикальных изменений в науке в этот период, как и появление электронных научных журналов в конце XX века. Правда, сейчас возникла проблема оценки приоритета, качества и достоверности информации, содержащейся в колоссальном объеме существующих изданий. В XVII веке процедура рецензирования была очень серьезной, на первом этапе было необходимо в обязательном порядке доложить свою концепцию и получить одобрение на публикацию.

## Открытия, которые в этот период сильно повлияли на состояние науки:

- 1643 год - **открытие атмосферного давления**, сделанное Эванджелиста Торричелли. Это было открытие того, что мы называем вакуум, тогда это называлось "торричеллиева пустота" - пустота, в отсутствии которой был убежден Аристотель.
- 1653 год - открытие **закона Паскаля**, который был известен и до него, но вошел в обиход именно после открытия **Блеза Паскаля**, кроме того, французский ученый изобрел в 1642 - 1643 году **механическую счетную машину**. Она была очень дорогая и не всякое государство могло себе её позволить, эти машины, как и крупные соборы, являлись в то время элементами престижа. В

действительности механические счетные машины по назначению практически не использовались.

- построены **первые электростатические машины**. Машины, которые испускали искры, использовались для развлечений европейских дворов, их авторство, как и **опытов с магдебургскими полушариями**, принадлежит Отто фон Герике. В опытах с полушариями он доказал наличие давления воздуха, установил упругость и весомость воздуха, способность поддерживать горение, проводить звук.
- 1661 год - открытие **закона Бойля-Мариотта**, автором которого является **Роберт Бойль**, ему принадлежит и **открытие цветных колец в тонких пленках** в 1663 году, в дальнейшем их стали называть кольца Ньютона. Лаборантом Бойля в то время был **Роберт Гук**, многие работы которого были приписаны в разные эпохи различным ученым. Гук был непростым человеком, в эпоху Ньютона он стал секретарем Лондонского королевского общества, его портретных изображений не сохранилось, существует только собирательный образ, который создал брат академика Н.Н. Боголюбова. Злые языки утверждают, что все портреты Гука изничтожил Исаак Ньютон, когда был президентом Лондонского королевского общества. В истории науки существует множество подобных легенд.
- **описан спектр, полученный с помощью призмы** - кроме спектра **Франческо Гримальди** открыл **явления интерференции и дифракции**, он описал, но не создал теорию. Ньютон активно развивал идеи Гримальди.

Более прагматичными открытиями этого периода, которые сильно повлияли на жизнь людей, являются:

- 1657 году - **часы с маятником, которые были изобретены Христианом Гюйгенсом**, это означает, что с этого часы могли быть сколь угодно точными, так как их можно было улучшать. До этого времени Галилей не мог достаточно точно определить движение тела по наклонной плоскости, так как не имел точных часов.
- Гюйгенс решил задачу **о соударении тел**, причем сделал это оригинальным способом, когда это было еще очень непросто - используя принцип относительности Галилея. То есть он определил: когда сталкиваются два шарика произвольной массы, а их начальная скорость известна, то, когда они разлетаются, их скорость можно найти. В этот же период была решена **задача о "сохранении направления" и о сохранении живых и мертвых сил**. То есть задача о законе сохранения импульса, Декарт считал, что сохраняется модуль, в данном случае констатируется необходимость учитывать направление импульса. Живые силы - это кинетическая энергия, правда, не деленная пополам. Мертвые

---

силы - это потенциальная энергия. Эти названия просуществовали до второй половины XIX века, их использовали все ученые, включая и Ньютона, и Максвелла. **Готфрид Вильгельм Лейбниц** является не только известным математиком, но и приложил руку к физике в области вышеописанных явлений, а по поводу закона сохранения его авторству принадлежит серьезная работа.

- **открыты телескоп и микроскоп и определена скорость света** - скорость света была определена по затмениям спутников Юпитера, это открытие в 1676 году совершил **Олаф Ремер**.

## Лекция 5. Формирование физики как науки. Исаак Ньютон

### Биография Исаака Ньютона

Период, который называется предыстория физики, мы рассмотрели на прошлой лекции, поэтому сегодня начинаем изучать историю физики. Сначала мы рассмотрим классическую физику, которая начинается в первой половине XVII века и в основном считается завершенной к концу XIX века. Сегодня мы будем изучать вопрос о том, как формировалась физика как наука. Мимо фигуры Исаака Ньютона в этом вопросе пройти невозможно, его основополагающая работа называется "**Математические начала натуральной философии**". Считается, что именно с неё началась вся классическая современная физика. Современной физикой является не та наука, которой занимаются последние 50 - 150 лет, - это физика, которая современна в данный момент, таковой может быть и та физика, которой люди занимались и в эпоху Аристотеля. Эпоха, которая связана с именем Исаака Ньютона, предоставила нам совершенно современные элементы физики, например, теорию гравитации, которая оказалась незавершенной теорией с массой проблем, связанных с темной материей. Ректор МГУ им. М. В. Ломоносова, советский физик **Анатолий Алексеевич Логунов** был инициатором научных семинаров, посвященных данным проблемам. Традиция Московского университета заключается в том, что при изучении истории физики рассматривается история всего периода развития всех элементов физических знаний. Это важно и по причине того, что никто не может предсказать, что будет являться современным в науке в некий определенный момент.

В научном контексте человечество развивалось под влиянием идей Аристотеля 2 тысячи лет, а под основополагающим влиянием Исаака Ньютона - 300 лет. Годы жизни Ньютона - 1643 - 1727 гг., в старых изданиях Британской энциклопедии год рождения ученого указан как 1642 в соответствии со старым стилем. Ньютон получил образование в Кембриджском университете в 1661 - 1665 гг. и стал по его окончанию бакалавром. Время окончания им бакалавриата было для Англии непростым, бушевала чума, происходили прочие неприятности. Ньютон в этот период в основном жил в деревне, где сделал много важных открытий. Далее он поступил в Кембриджский университет, где усердно трудился и в 1668 году защитил магистерскую диссертацию. Далее Ньютон в основном занимался оптикой, благодаря своим исследованиям в 1672 году он стал членом Лондонского королевского общества (в частности за конструирование телескопа-рефлектора), что соответствует современному статусу академика. В тот период насчитывалось всего 50 членов Лондонского королевского общества, через 4 года из-за дискуссий с некоторыми из них Ньютон намеревался выйти из состава общества, его с трудом уговорили в нем остаться. В музее Кембриджа находится копия телескопа Ньютона, его оригинал не сохранился.

В 70-е годы XVII века у Ньютона возникает множество споров с **Робертом Гуком** относительно первенства открытий. Гук требовал, чтобы Ньютон на него



ссылался, а поскольку Гук в конце 70-х годов стал ученым секретарем Лондонского королевского общества, то опубликовать работы без его участия было крайне трудно. Во избежание дальнейших споров Ньютон дал слово, что не будет публиковать ничего, что касается оптики. В основном он сдержал свое обещание, опубликовав только две небольшие статьи, его первая серьезная книга "**Оптика**" вышла только в 1704 году. С одноименным названием существуют и лекции, который Ньютон читал в университете. Как отмечали современники ученого, читал он их плохо и непонятно, студентов на эти лекции приходило очень немного.

В 1687 году вышли в свет "Математические начала натуральной философии" Исаака Ньютона - основной труд ученого, который явился основополагающим для всей классической физики. В библиотеке МГУ им. М.В. Ломоносова находится оригинал этой книги. **Эдмунд Галлей**, в честь которого названа комета Галлея, первооткрывателем которой он был, также был инициатором публикации работы Ньютона. Он очень увлекался вопросами, связанными с описанием движения планет, и хотел, чтобы такое описание существовало на достойном уровне. Поскольку по большому счету серьезной работы по данному вопросу никто так и не сделал, он начал описывать движения планет сам, но у него не очень хорошо получалось. Он обратился к Ньютону за помощью, так как ему был необходим закон всемирного тяготения. Оказалось, что Ньютон уже все сделал, но опубликовать сделанное было непросто, потому что Роберт Гук считал, что относительно закона всемирного тяготения также актуальны вопросы касательно авторства. Ньютон не хотел ссылаться на Гука при публикации своей работы, а у Галлея были значительные высокопоставленные связи, с помощью которых он убедил Ньютона опубликовать "Математические начала натуральной философии".

**Основными областями деятельности Исаака Ньютона были:**

- **оптика** - основная профессия Ньютона
- **механика**
- **математика**, Ньютон считается, в том числе основателем **дифференциального и интегрального исчисления**
- **теплофизика**- закон теплопроводности Ньютона
- **теология**
- **хронология**
- **история**
- **алхимия**

Ранее Ньютон считался не очень глубоким теологом, потому что его многочисленные труды по теологии были малоизвестны, сейчас его работы находятся в

открытом доступе. В России давно поняли, что Исаак Ньютон не такой простой теолог, это выяснилось следующим образом: когда более 100 лет назад надвигалась революция, то многим здравым людям эта перспектива совсем не нравилась, для предотвращения подобного развития событий был необходим некий авторитет, чтобы поднять роль церкви. Было принято решение опубликовать одну из работ Ньютона по теологии, так как в то время он уже был непререкаемым авторитетом. Прежде чем опубликовать работу, было необходимо её изучить и перевести с латыни на русский язык, в результате издатель пришел к выводу, что ничего хорошего из этой идеи не выйдет, потому что если разбираться глубоко, то Ньютон не является сторонником ортодоксальных религиозных течений, а наоборот - стоит в оппозиции у церкви, формируя собственное неортодоксальное направление. Но книга все-таки была опубликована, с ней также можно ознакомиться. В алхимии Ньютон проявлял большую активность, но с результатами его работ ознакомиться сложно, потому что в те времена алхимия была определенным бизнесом и результаты подобной деятельности тщательно охранялись.

К 90-м годам XVII столетия Ньютон стал очень известной фигурой в науке, кроме того он имел множество влиятельных сторонников, которые его поддерживали. В 1696 году он становится хранителем Монетного двора, эта должность носила номинальный характер, но её оклад был несопоставим с окладом профессора Кембриджского университета. В 1699 году Ньютона назначают директором Монетного двора, но для того, чтобы занять эту должность, ему было необходимо переехать в Лондон. Работа в этом учреждении была очень непростой, Ньютону пришлось провести денежную реформу, в которой он преуспел, потом он пытался заниматься бизнесом и много потерял при этом. Работа в качестве директора Монетного двора предполагала, например, участие в судах над фальшивомонетчиками, включая отправку их на казнь. В 1703 году Ньютон избирается президентом Лондонского королевского общества, в 1705 году ему было присвоено дворянское звание не очень большого ранга, но на фоне того, что его происхождение было крестьянским, это был большой личный успех для ученого. В 1727 году овеванный славой Исаак Ньютон скончался и был похоронен в Вестминстерском аббатстве. Роль Ньютона, которую он приобрел спустя 100 лет, и его роль при жизни были оценены по-разному. При жизни ученого было невозможно предугадать, что он станет фигурой, которая сопоставима с фигурой Аристотеля, поэтому труды и книги Ньютона не сильно охранялись, а многие моменты, которые были связаны с его именем, скорее были легендами. Когда роль Ньютона была оценена, то в 1872 году Кембриджскому университету родственниками ученого была подарена научная часть Портсмудской коллекции его работ, частично они были опубликованы. Но тот документальный факт, что Исаак Ньютон действительно в 1667 году открыл **закон всемирного тяготения** (что очень важно, так как на эту роль была масса претендентов), стал известен только в 70-х годах XX столетия, когда была опубликована последняя порция документов. Основатель научной школы физической оптики и президент Академии наук СССР **Сергей Иванович**

**Вавилов** писал: "На языке Ньютона мы думали и говорили, и только теперь делаются попытки изобрести новый язык. Вот почему можно утверждать, что на всей физике лежал индивидуальный отпечаток его мысли; без Ньютона наука развивалась бы иначе". Вавилов имел ввиду 20-е годы XX века и релятивистскую теорию с квантовой механикой.

## "Математические начала натуральной философии"

Книга Исаака Ньютона "Математические начала натуральной философии" вышла в 1687 году, в её первом издании нет утверждения "гипотез не измышляю" и прочих философских вещей, которые обычно приписывают Ньютону. Все это появляется во втором и третьем издании, когда он становится известным человеком, а около него находится множество сподвижников, каждый из которых считал целесообразным вложить в уста ученого слова, поддерживающие некую философскую доктрину или теологическое учение. Первое издание книги Ньютона находится в свободном доступе и на латыни, и в переводах, с ним можно ознакомиться, сравнить и сопоставить её содержание. Первое издание "Математических начал" с пометками учеников Ньютона появилось в России при создании Петром I Академии наук, тогда были приобретены самые значительные труды и выписаны самые известные ученые. В 1812 году Наполеон захватывает Москву, которая была сожжена вместе с Московским университетом. От него осталось только одно здание - дом Волконских на Моховой улице, он же ректорский дом, где была создана первая физическая лаборатория. В настоящее время он перестроен и имеет мало общего с исходным вариантом. После пожара часть оборудования была возвращена из "эвакуации", но очень много не хватало, тогда Московский университет обратился с просьбой о помощи к Академии наук, которая предоставила много книг, в том числе и первое издание книги Ньютона. В гимназиях Российской империи изучали только первый закон Ньютона, изучалась работа клавиесина и фортепьяно, как функционирует звук, но вопросы ускорения не рассматривались, и это происходило уже во второй половине XIX века. Первое издание "Математических начал" пылилось в библиотеках достаточно долго, пока во время Великой отечественной войны (в 1943 году) в Академии наук СССР не решили отметить юбилей Исаака Ньютона, которому тогда должно было исполниться 300 лет. Тогда было обнаружено, что книга по каталогам есть, а в реальности - нет, она была признана утерянной, а англичане - союзники СССР во Второй мировой войне подарили Академии наук ещё один экземпляр "Математических начал". Экземпляр Московского университета был обнаружен В.С. Кирсановым, специалистом по Исааку Ньютону, историком Института естествознания и техники на выставке Московского университета. Данный экземпляр обладает оригинальными замечаниями очень известных исторических фигур, вероятно, по нему готовилось второе издание.

Третье издание книги появилось в год смерти Исаака Ньютона, оно использовалось академиком А.Н. Крыловым для перевода на русский язык. Издание на русском языке вышло в начале XX века. "Математические начала натуральной

философии" состоят из нескольких частей, но основное содержание находится в так называемой вводной части:

- **Вводная часть** - 84 страницы которой содержат определения:
  - **"количество материи"** (масса), то есть, чтобы найти массу вещества, необходимо плотность вещества умножить на объём:  $M = \rho \times V$ . Для Ньютона объём и плотность были первичными понятиями, а масса или количество материи - вторичным. Существует мнение, что Ньютон не до конца определил свой второй закон, потому что считал, что ускорение, приобретаемое материальной точкой, прямо пропорционально, а не равно вызывающей его силе. Дело в том, что в то время слово "пропорционально" обозначало равно.
  - в отличие от Галилея Ньютон стал **различать понятия "масса" и "вес тела"**.
  - Ньютон определил и **"количество движения"**:  $P = m \cdot V$
  - **"сила"** Ньютоном была определена как то, что изменяет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения.
- **Поучения**, в которых Ньютон вводит понятия **"пространство и время"**, а также "абсолютное пространство и время" и "относительное пространство и время". Во время ученого не существовало понятия "инерциальная система отсчета", но неподвижная (желательно) система отсчета была необходима Ньютону, тогда он вводит абсолютное пространство как движение относительно неподвижной системы отсчета. Теперь мы считаем, что это та система отсчета, которая в действительности инерциальная. Когда Эйнштейн стал писать свои работы, он инерциальные системы, где действует второй закон Ньютона, стал считать ньютоновской системой отсчета. В этой неподвижной системе время называется абсолютным, относительным временем является то, которое находится в пространстве, которое движется относительно системы отсчета.
- **Аксиомы или законы движения:**
  - **формулировка трех законов Ньютона**
    1. Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.
    2. Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует. (Ньютон понимал, что существуют релятивистские процессы, когда тело движется, а его масса меняется).
    3. Взаимодействия двух тел друг на друга равны между собой и направлены в противоположные стороны.

- **следствия из законов**
- **форма второго закона Ньютона**
- **Книга 1, 2 и 3**

Изначально "Математические начала" задумывались Ньютоном как книга для философов без математики, но после требования Роберта Гука о ссылке, он решил написать книгу для философов с математикой. В те времена книги издавались следующим образом: производился поиск потенциальных покупателей и формировалась подписка на издание.

"До сих пор я излагал начала, принятые математиками и подтвержденные многочисленными опытами. Пользуясь первыми двумя законами и первыми двумя следствиями, Галилей нашел, что падение тел пропорционально квадрату времени..." - пишет Ньютон, то есть у него нет никаких претензий на эти законы, он знал, что они существовали до него и не претендовал на их открытие. "Из этих же двух законов и из третьего кавалер Христофор Врен, Иоганн Уиллис S.T.D. и Христиан Гюйгенс ... вывели законы удара и отражения тел...". Законы Ньютона именуются в его честь по причине того, что он собрал их в одном месте, дал им новые определения и они стали восприниматься совершенно по-другому, а главное - он стал отличать вес от массы тела. Но Ньютон не дал аппарат для решения задач, который появился гораздо позже. Таким образом, механика постепенно создавалась усилиями разных ученых. Ньютон боролся за закон всемирного тяготения, который он считал своим личным открытием, тем более, что он открыл его в 1667 году в возрасте 23 лет.

- **Книга 1 - о движении тел под действием центральных сил**, при этом Ньютон не использовал свои законы для описания движения, он решал задачи другими способами, которые были известны еще до нашей эры по **Аполлонию** и **Евдоксу**, то есть решал их геометрическими методами. Когда, например, изучается интегральное или дифференциальное исчисление, то геометрическими методами нам предлагаются варианты аналогий, например, производных от предельных значений касательной.
- **Книга 2 - описывает явление гидродинамики**, Ньютон изучает некоторые гидродинамические процессы и показывает, что нельзя описать то движение планет, которое предлагают картезианцы - сторонники Декарта, хотя его фамилия нигде не упоминается, всем было ясно, что эта книга направлена против картезианства.
- **Книга 3 - о системе мира, она излагает теорию тяготения и небесную механику**, включая теорию Ньютона о приливах и отливах.

## **Закон всемирного тяготения**

Рассмотрим предысторию вопроса того, как Исаак Ньютон открыл закон всемирного тяготения. Датский астроном **Тихо Браге** (1541 - 1601) провел очень точные экспериментальные исследования, осуществив их в то время, когда телескоп ещё не был известен. **Иоганн Кеплер** рассмотрел результаты исследования Браге и открыл три закона Кеплера. Они, естественно, были известны Исааку Ньютону, в эпоху которого уже появляются дополнительные возможности, например, используется микрометр в фокусе телескопа, который очень точно позволяет измерять положение точки. В результате этого открытия число правдоподобных теорий, которые позволяют описать положение планет, сильно сокращается. В 1667 году на основе целого ряда своих исследований Исаак Ньютон открывает закон всемирного тяготения. Он вводит две гипотезы:

- $F \sim 1/R^2$  - следует из величины ускорения Луны и ускорения свободного падения. Из законов Кеплера Ньютон находит ускорение Луны вокруг Земли, взяв отношение ускорения свободного падения он получает число, так как радиус Земли и её орбиты в это время уже были известны.
- $F \sim M$  - следует из изохронности колебаний математического маятника. Исаак Ньютон был экспериментатором, в том числе он строил маятники. Например, на веревке подвешивался ящик с песком, в который помещалось какое-нибудь тело, далее изучались его колебания. Ньютон понимал, что воздух оказывает сопротивление, чтобы оно было стандартным, с помощью ящика с песком для сравнения результатов соблюдались условия стандартизированной процедуры. Его опыты показали, что математический маятник колеблется изохронно, то есть не зависит от массы, значит сила должна быть пропорциональна массе.

Исходя из этих двух гипотез, появляется известный закон Ньютона, но гравитационную постоянную он, естественно, найти не мог, так как для определения коэффициента было необходимо проводить очень точные и немного другие эксперименты. Свой закон Ньютон обобщил на все известные небесные тела, то есть он посчитал, что всё, что действует на Земле или, по крайней мере, в рамках Солнечной системы, будет действовать везде. Сейчас проблематика заключается в том, что в действительности то, что происходит за пределами Солнечной системы, не поддается описанию. Некоторые исследователи считают, что неверна теория Эйнштейна, то есть классическая релятивистская теория, другие говорят, что не учитывается квантовая механика, третьи считают, что неправильными являются основы, то есть Исаак Ньютон не предоставил правильной теории. Во времена, когда, например, создавалась электродинамика, параллельно теории Максвелла возникло множество очень похожих теорий. Бывает, что создаются практически эквивалентные теории, например, это явление очень распространено в механике. Теория Максвелла победила остальные теории в силу поставленного в её рамках эксперимента. Сейчас дело обстоит несколько хуже, потому что исследуемые процессы зачастую происходят в недостижимых для эксперимента условиях, например, исследования о том, какие процессы происходят

внутри нейтронной звезды. Такие ситуации у человечества были и раньше, оно выходило из них следующим образом - ждало, пока некая теория не опишет происходящее удовлетворительным на данный момент образом.

**Теория приливов**, влияние Луны и Солнца описываются Исааком Ньютоном в 3 книге "Математических начал". Галилей был недалек от истины в своей аналогии, в соответствии с которой движение вместе с Землей - это движение некой баржи, которая везет воду. Земля как баржа, с одной стороны, движется вокруг Солнца, а с другой - вращается вокруг своей оси. Ньютон учитывал оба движения и в итоге хорошо описал это явление в рамках возможной для того времени точности эксперимента. Кроме того, Ньютон разрабатывает теорию движения планет, но он не занимается решением задачи двух тел в теоретической механике, а просто постулирует, что все планеты Солнечной системы движутся по коническим сечениям, у которого известная описывается одним параметром, который Ньютон подгонял таким образом, чтобы хорошо описать движение коническим сечением.

### Оптика Исаака Ньютона

Ещё будучи бакалавром, в 1665 году Ньютон приобретает на рынке призму, которая в тот период была модным аксессуаром. Направляя на нее пучок света, исследователи получали спектр, который описал **Франческо Гримальди**. В отличие от своих предшественников Ньютон придумал как анализировать спектр, не только разлагать, но соединять его. Он создал некую теорию, которая по современным меркам является не очень точной, так как с учетом квантовой механики в ней не все хорошо, но для своего времени она была очень актуальной.

В 1668 году уже магистр Исаак Ньютон изготавливает **первую модель рефлектора** - телескопа, который использует в своей работе зеркало, рефрактор - линзу. Причем Ньютон изготавливал зеркало для рефлектора самолично, то есть шлифовал его тальком руками. Первый рефлектор ученого был не очень точным, в 1671 году появляется его усовершенствованная модель. Эту модель Ньютон демонстрировал сильному миру сего, что привело к тому, что в следующем году он был избран членом Лондонского королевского общества, где начинаются его споры с Робертом Гуком, которые касались самых разных вопросов.

**Теория света** у Ньютона была достаточно компромиссной, так как он не был до конца сторонником ни корпускулярной, ни волновой теории, можно сказать, что он практически предвидел квантовую механику, в каком-то смысле, конечно. Как считали многие исследователи, особенно ученики ученого, он был сторонником корпускулярной теории. Хотя Ньютон говорил, что принципы природы особо света не знают, но для того, чтобы объяснить, например, закон преломления, который был уже известен и опубликован, было необходимо предположить, что внутри оптически более плотного тела скорость должна быть больше, чем в воздухе. Этот факт он использовал и считал отношение скоростей и прочее, на что ему пенял **Пьер де Ферма**, говоря, что

так быть не может. С чем Ньютон не соглашался и описывал, что свет подлетает к телу, которое его затягивает и ускоряет, после чего летит ещё быстрее. Гук был сторонником волновой теории света и у него не могло не быть споров на эту тему с Ньютоном. После смерти Гука, который умер в 1696 году, Ньютон выждал ещё 8 лет и только тогда опубликовал свою книгу "**Оптика**".

Приблизительно до 1678 года у Ньютона не было особых проблем, так как в Академии наук находился его серьезный покровитель и ещё была жива его мать. Исследователи жизни великого ученого отмечают его сложные отношения с матерью, которая от второго брака родила много детей, что привело к сильным переживаниям молодого Ньютона, который в своих дневниках, сохранившихся до сих пор, грозился спалить дом матери. После 1678 года умирает и покровитель, и мать ученого, а Роберт Гук становится его начальником, что привело к большим проблемам. В переписке Гука с Ньютоном нельзя отметить большой озлобленности ученого, которую Ньютону приписывают, как и уничтожение всех изображений Гука. Ньютон был крайне целеустремленным человеком, близкие отмечали, что во время работы он забывал о необходимости есть. После того, как в 1687 году он опубликовал книгу, он сильно заболел, нервное расстройство Ньютона было настолько сильным, что его лечили до 1689 года. Причиной длительных споров Гука с Ньютоном явились разные факторы, а не только то, что у них были разные взгляды, в том числе и на природу света. Так или иначе, именно отсюда появляются два течения: волновая теория света и корпускулярная, которая с переменным успехом видоизменяется до настоящего времени. Но весь XVIII век под влиянием авторитета Исаака Ньютона доминировала именно корпускулярная теория, а волновая теория света в этот период была подвергнута забвению и возродилась только в XIX столетии.

## **Математика Исаака Ньютона**

Для нас Ньютон важен как физик, но, как известно, ни одна наука, которая серьезно претендует на статус естественнонаучной, не может возникнуть без серьезного участия математики. Физике повезло, поскольку Ньютон был очень серьезным математиком. В своей книге (и не только там), он решал задачи геометрическим методом по Аполлонию и Евклиду. Это было связано не только с тем, что был не очень развит математический аппарат внутри механики, который он впоследствии по сути создал, а с тем, что Ньютон хотел, чтобы его исследования носили строгий характер. На том этапе, когда Ньютон создавал физику как науку на основе механики, строгость была доступна только в геометрии. Задачи от этого проще не становились, поскольку это была планиметрия - раздел евклидовой геометрии, изучающий двумерные фигуры.

**Предельные переходы** Ньютон интерпретировал геометрическим образом как доказательство. Когда Ньютон решал задачи, например, определял движение планет, то использовал результаты экспериментальных наблюдений, включая расчеты и предсказания движения планет. Это была общепринятая и очень тяжелая практическая



деятельность, а для того, чтобы хорошо предсказывать, было необходимо обладать аппаратом теории возмущений. Ньютон создал значительное количество вариантов **теории возмущений**, кроме того, было необходимо инкорпорировать, **интерполяционная формула Ньютона** общеизвестна.

У Исаака Ньютона всё-таки был компьютер, который назывался **логарифмическая линейка**, которую он создал самолично. Другие претенденты на эту роль неизвестны, счетные машины создавали многие ученые, но они не отличались эффективностью. Логарифмическая линейка Ньютона использовалась вплоть до 70-х годов XX века, она обладала 10 шкалами, считается, что он придумал и бегунок линейки, но эта информация, вероятно, является легендой. Таким образом, на фоне других исследователей, которые использовали разные методы расчетов (умножали в столбик, пользовались счетами и абаками), у Ньютона был персональный компьютер, который считал в 20 раз быстрее. В эпоху ученого существовали и суммирующие машины, в 1642 году появилась машина Паскаля, но Паскаль жил не в Англии, а его машина была очень дорогая. В Англии тоже существовал аналог машины Паскаля, но подобные устройства быстро ломались и были малоприменимы для целого ряда потребностей. До нашего времени эти приборы с весьма ограниченными возможностями дошли в нерабочем состоянии, логарифмическая линейка пережила своего создателя более, чем на 300 лет.

Исаак Ньютон является одним из основателей **дифференциального и интегрального исчисления** вместе с **Вильгельмом Лейбницем**. Хотя Ньютон является основоположником механики, написал три закона и следствия из них, но сам он их не использовал. Он создал дифференциальные и интегральные исчисления, которые тоже не использовал. Во второй половине XVII века была создана классическая физика, но не вся, а как механика. Оптика как таковая, в современном понимании была создана позже, несмотря на то, что ей занимался Ньютон, а механика во второй половине XVII века развивается в современном смысле этого слова.

## Лекция 6. Период невесомых. Физика в России

### Период невесомых

На прошлой лекции мы изучили период, когда физика была создана, в XVIII веке она начинает развиваться, причем в довольно специфическом контексте. При рассмотрении данной темы нам необходимо познакомиться с основными особенностями **развития производства** в XVIII веке, потому что физика очень зависит именно от его развития. В разные эпохи соотношение физики и производства было разным: вначале производство определяло то, что может физика, а потом сложилась ситуация, когда уже производство не могло обойтись без науки. То, что сейчас называется новыми технологиями, невозможно представить без науки как таковой, как невозможно создать нечто новое и эффективное без использования научного аппарата. XVIII век известен тем, что **широко внедряется машинная техника**, которой до этого периода было очень мало, поэтому труд был сугубо ручным. В 1784 году **Джеймс Уатт** изобретает **паровую машину**, этот вопрос достаточно тонкий, так как существуют пароатмосферные машины, машины полного цикла и др. С этого момента появляются пароходы, паровозы, паровые автомобили и другие механизмы.

**Политические события** этого периода также оказывают на науку существенное влияние. В это время образовались Соединенные Штаты Америки, став независимыми от Англии, в конце XVIII века произошла Великая французская революция, а в самом начале этого столетия осуществлялся завершающий этап реформ Петра I в России. Петр I умер в 1725 году, но те реформы, которые он заложил, оказали очень серьезное влияние на развитие страны. Из государства, находящегося на окраине Европы, Россия стала очень серьезным игроком на европейской арене.

**Философия** в этот период оказывает влияние на развитие физики скорее по традиции. Ещё незадолго до этого момента она считалась главной наукой, но был поставлен вопрос: а наука ли философия вообще? Долгое время по этому поводу происходили споры, но влияние философии на физику остается фактом, как и то, что физика оказывает влияние на философию. Ещё в начале XX века выдающиеся физики отмечали это явление, например, **Альберт Эйнштейн** писал, что на него при создании специальной и общей теории относительности оказал очень серьезное влияние **Эрнст Мах**, и объяснял почему. Постепенно ученые об этом перестали говорить, что не значит, что это влияние исчезло, а философское кредо стало чем-то вроде веры, потому что любой человек во что-нибудь верит и придерживается неких философских взглядов. При выдвижении гипотезы в науке членом необходимо опираться на мировоззренческий базис.

На развитие философии в Европе существенное влияние оказали:

- Англия: **Джон Толанд, Джозеф Пристли, Джордж Беркли, Дэвид Юм**

- Франция: философы-просветители, которые усердно готовили Великую французскую революцию - **Вольтер** и **Жан-Жак Руссо**; материалисты - **Ламетри**, **Дидро**, **Гольбах** и др.
- Германия: **Вольф**, **Иммануил Кант**

### Картезианство и ньютонианство

Весь XVIII век был ознаменован тем, что две главенствующие идеологии сражались между собой. В этом процессе активное участие принимали сторонники Декарта, которые назывались картезианцами, поскольку имя Декарта по латыни звучит как Картезий, и ньютонианцы. Причем это было не только научное сражение, но и общефилософское, и в известном смысле политическое. Декарт жил во Франции, а Ньютон во Англии, конкуренция которых в тот период носила очень серьезный характер. Если Франция и Англия в этот период были странами развитыми, то Германия была раздробленным государством с плачевным состоянием экономики. Из принципов, на которых картезианцы строили науку, в том числе и физику, обычно выделяют ту часть, которая называется **близкодействие**. По сути - это утверждение, что далекодействия быть не может, так как весь мир заполнен материей. Ньютонианство провозглашало пустое пространство, в котором движутся тела, и работают, например, **далекодействующие гравитационные силы**. Таким образом ими описывался весь мир, причем из этих принципов и на основе механики Ньютона и механики Декарта следовали совершенно конкретные вещи, включая форму Земли. Сравнивая подходы, Вольтер писал о дыне и арбузе, проводя аналогии с вытянутой на полюсах Землей, имеющей меньший радиус на экваторе, чем тот, который проходит по её полюсам у картезианцев, и сплюснутой на полюсах с большим радиусом по экватору у ньютонианцев. В то время, когда эти споры происходили, на своем начальном этапе они носили умозрительный характер. В итоге столкновения точек зрения победу одержали ньютонианцы.

### Период невесомых

Весь XVIII век называется периодом невесомых по причине того, что в XVII веке была создана механика Ньютона, которая имела серьезный характер и была весьма эффективной теорией. Ньютон стал авторитетом для специалистов, которые занимались деятельностью в различных областях науки: теплотой, электричеством, магнетизмом, световыми явлениями и прочим. Они пожелали создать аналогичные теории, ввести понятия неких сил и аналоги массы, которые определили бы магнитные, электрические, тепловые и прочие свойства, и построить уравнение движения. Учеными проводились эксперименты по изменению массы тела при его нагревании, согласно релятивистской теории она должна измениться на такую величину, что на весах её было чрезвычайно трудно измерить. При намагничивании вес тела также не менялся, как и при световом воздействии на него. Тогда была выдвинута гипотеза о невесомой материи, которая не обладает весом, но вливается в тела и выливается из

них. Так появились термины "теплород" и "теплоемкость", то есть существовало представление, что у тела есть некая емкость для теплорода, в которую он наливается. Электрические явление приобрели понятие "электрическая жидкость", которая также вливалась и выливалась, поэтому в обиход входит понятие "емкость конденсатора". Первые конденсаторы создавались в виде лейденской банки для электрической жидкости, возникли и световая, и магнитные жидкости. На том этапе развития науки это не повлекло за собой негативных последствий, потому что исследования в основном были экспериментальными, их результаты только накапливались, а те процессы, которые были связаны с переходом, например, связь между электричеством и магнетизмом или между теплотой и другими явлениями практически не исследовались. В таком контексте вполне возможным было использовать понятие "жидкость" без плачевных последствий. Это привело к тому, что экспериментальная теория в XVIII веке развивалась, приводя к накоплению материалов исследований.

## Особенности развития и основные открытия в физике XVIII века

### Принципы и математический аппарат механики

Когда мы говорим о том, что Исаак Ньютон создал механику, которая завоевала в науке полный авторитет, то это не означает, что это произошло одновременно. Дело в том, что созданная Ньютоном механика была ещё "сырой" для использования. Только в результате работы ряда ученых механика стала общепризнанной. Недостаточно просто создать теорию, необходимо эффективное подтверждение её достоверности, приводящее к очевидным следствиям. Удивить человека XVIII века было сложно, как и впечатлить его новым наказанием после XVII столетия, проведенного в Европе под знаменем инквизиции. В этот период всех волновала форма Земли, так как люди только узнали, что экспериментально подтверждено, что она круглая, но тут возник спор теорий Ньютона и Декарта. Тогда начали изучать некоторые части меридианов в разных частях света, для подсчета с целью определение верности одной из теорий. Такие работы были приведены, после чего произошло подтверждение теории Ньютона. Клод Клеро объяснил, почему комета Галлея должна появиться в 1759 году. До этого были осуществлены подсчеты по теории Ньютона, но не учтено влияния Юпитера и Сатурна. По этим расчетам комета Галлея должна была появиться несколько раньше, но она не появилась. Клеро решил задачу, которая является очень непростой даже для нашего времени, то есть использовал теорию возмущения и учел при этом ещё две планеты. Он ошибся на неделю, но это произвело на пресвященную общественность очень большое впечатление, гораздо большее, чем влияние многих философов. Постепенно в этом контексте теория Ньютона становится более предпочтительной.

Леонард Эйлер (1707 - 1783) был академиком Российской академии наук, он приехал в Россию, где долго жил, потом уехал, но опять вернулся, в итоге большую часть своей жизни он прожил в России. Эйлер из всей механики Ньютона на первый план выдвинул второй закон Ньютона и развил принцип ускоряющих сил, то есть

свел решение второго закона для системы многих тел к решению системы дифференциальных уравнений. Таким образом, для тел, которые не подвержены связям, задачи в механике более-менее решались. Для систем со связями методы Эйлера впрямую применить было не так просто. Для решения этой задачи было предложено свести задачу динамики к задаче статики, когда это было осуществлено (**принцип Даламбера**) при использовании вариационных принципов (**Ферма, Бернулли, Мопертюи, Эйлер**), то была построена механика тел, которые движутся, при учете связей. Здесь необходимо четко понимать, что как только появляются связи, для их нахождения необходимо ввести некие гипотезы о том, каким образом они должны себя вести, иначе никакие задачи решить будет невозможно. Эти задачи связаны с гипотезами, поэтому механика до настоящего времени является наукой, так как заданных Ньютоном сил и уравнений недостаточно при наличии задач, где нельзя задать все силы.

Главные события этого периода развивались несколько позже: **Жозеф Луи Лагранж** создал **аппарат механики**, его метод изложен в "**Аналитической механике**", в основу которой положен метод возможных перемещений. Им же введен **метод множителей** и **два типа уравнений Лагранжа**, которые не эквивалентны: первого и второго рода. В многотомнике Льва Давыдовича Ландау есть книга "**Механика**", в которой наличествуют уравнения Лагранжа только второго рода. Какие из уравнений Лагранжа являются более общими или они одинаковы - это загадка, которая не имеет прямого отношения к истории физики, но каждый исследователь должен иметь на нее ответ. Начиная с уравнений движений Лагранжа, механика стала наукой со своим аппаратом, в которой был поставлен ряд задач. Остальные уравнения, например, уравнение Гамильтона-Якоби и другие, были вариантами на тему, то есть тем, что называется эквивалентные теории, так как там не было ничего принципиально нового. Таким образом, по сути **Лагранж завершил создание механики**.

## Теплота

Перейдем к рассмотрению теории теплоты, которая существовала ещё при Аристотеле. События, которые произошли в данной области в XVIII веке, обусловлены **изобретением термометра**, до этого момента теория теплоты была описательной: холодное - более холодное, менее холодное. Термометр изобретали многие ученые, например, Галилей измерял температуру тем, что называется термоскоп. Это был прибор, который измерял температуру, но у него не было шкалы. У каждого исследователя была своя шкала для измерения этого параметра, что вызывало большие неудобства. В изобретении термометра приняли участие **Фаренгейт, Реомюр и Цельсий**. В результате появления термометра проводились исследования, которые накапливали важные экспериментальные данные, используемые в дальнейшем. Приборы, которые уже можно было использовать в практике, появились к 30-м годам XVIII века, но в самом начале века (1703 год) был изобретен **газовый термометр Амонтонна**. Это очень точный, но очень непрактичный прибор, который быстро вышел

из обихода, он возродился только тогда, когда появилась необходимость использовать очень точные измерения. Градусники Фаренгейта, Реомюра и Цельсия использовались и развивались в разных странах.

### Теории теплоты, которые существовали в XVIII веке

- **Вещественная теория теплоты** - была господствующей, в её рамках существовало понятие "теплород", на основе которого происходило развитие данной теории. **Джозеф Блэк** был её главным действующим лицом. Примерно в середине XVIII столетия он совершил **открытие скрытой теплоты плавления и парообразование**, кроме того, Блэк очень долго и упорно занимался **измерением теплоемкости разных веществ**, за единицу измерения им была взята теплоемкость воды.
- Замечательное открытие сделал **Георг Вильгельм Рихман**, друг М.В. Ломоносова со времен обучения в Академии, открыв **формулу для температуры смеси одной и той же жидкости**. По тем временам это было существенное открытие для исследований в данной области.
- В 1783 году, примерно за 10 лет до событий Великой французской революции два академика Французской академии наук **Антуан Лоран Лавуазье** и **Пьер-Симон Лаплас** написали книгу "**Мемуар о теплоте**", в которой было собрано всё, что было известно о теплоте. Также в ней были описаны понятия "температура", "количество теплоты", "теплоемкость" и т.д., после чего их перестали путать (ранее многие исследователи считали количество теплоты и температуру одним и тем же явлением). Эта книга в тот период считалась образцом, но судьба Лавуазье была печальной - он был сторонником монархии и закончил жизнь на гильотине.

### Электричество и магнетизм

Что касается общих вопросов, то XVIII век характеризуется тем, что появляются очень мощные **электростатические машины**, которые создавали значительный заряд. Это привело к возможности проводить те опыты, которые ранее были невозможными. В этот период появляются и **электроизмерительные приборы**, например, электроскоп, но не электрометр, который обладает железной и заземленной оболочкой для измерения разности потенциалов по отношению к Земле. XVIII век был весьма плодотворен в области электричества и магнетизма, несмотря на то, что тогда господствовала вещественная теория этих явлений:

- В 1729 году - **открытие электропроводности Стефаном Греем**. Если взять веревку и смочить её соленой водой, то по ней электричество проходит с одного шарика на другой (источника постоянного тока в тот период не было). Грей ввел разделение веществ на **проводники** и **непроводники** (изоляторы или диэлектрики).

- В 1734 году - **открытие двух родов электричества ("+" и "-") Шарлем Франсуа Дюфе.**
- Весь XVIII век проходил под влиянием **исследования физиологического действия электричества.** Сначала было обнаружено, что электричество сильно влияет на человека в виде удара, при королевских дворах проводились эксперименты, в которых электричество проводили через строй солдат. Патентная библиотека находится на Бережковской набережной в Москве и содержит патенты, которые относятся и к XVIII веку, среди них находится значительное число тех, которые посвящены вопросам того, как с помощью электричества лечить самые разные болезни.
- Политический деятель **Бенджамин Франклин** начал заниматься научными исследованиями в 40 лет, это занятие увлекло его на три года, за это время он провел исследования молний и способов борьбы с ними. Он проводил известные опыты с воздушным змеем во время грозы. Он открыл **электрическую природу молний** и **изобрел громоотвод.** В те времена Америка считалась захолустьем, чтобы продвинуть свое изобретение Франклин отправился в Европу, где активно пропагандировал громоотвод. Сначала эта идея вызывала недоверие, но понемногу она стала применяться и в Европе, и в России, так как самыми высокими зданиями в стране в то время были храмы, которые чаще всего возгорались. В 70-е годы прошлого века проводилось восстановление архитектурного наследия Соловков, при проведении работ были разрушены громоотводы, что привело к возгоранию древнейшего храма.
- В 80-е годы XVIII века **Шарль Огюстен Кулон** выпустил ряд работ, в которых описал свои экспериментальные исследования, приведшие к открытию **закона Кулона.** Ученый действовал по аналогии с Исааком Ньютоном и изобрел крутильные весы - это прибор, который гораздо точнее, чем обычные весы (пружинные и др.) измеряет величину силы. С их помощью Кулон смог измерить очень маленькие величины - силы взаимодействия заряженных частиц. Исходя из этого, он экспериментально обнаружил зависимость:  $F \sim 1/r^2$ . Вероятно, он взял закон всемирного тяготения и проверил, но вместо  $m_1 m_2$  ему было необходимо взять  $q_1 q_2$ , а измерять величину заряда  $q$  и сейчас является нетривиальной задачей, а в те времена она была и вовсе непосильной. Тогда Кулон использует метод деления заряда на разные части (обычно пополам), вводя гипотезу о том, что если взять два одинаковых шарика, один из них зарядить, а далее привести их в соприкосновение, то заряд поделится пополам. Используя этот метод, он начал измерять, что произойдет, если заряд изменится в два раза, и получил  $q_1 q_2$ . Закон Кулона является очень серьезным и важным законом, который можно поставить в один ряд с законом всемирного тяготения. Поскольку теория электричества была вещественной, то появляется целая серия различных теорий:

- **Теория двух магнитных и электрических жидкостей** - была самой модной, она постулировала, что поскольку существует электричество двух родов, то существует жидкость одного и другого свойства. Когда их сливают и разливают, то возникают либо нейтральные тела, либо заряженные в одну или другую сторону. Таким же образом - при помощи магнитных жидкостей описываются и магнитные теории.
- Появляются **одножидкостные теории электричества** - электричество представляет собой одну жидкость, которая может присутствовать в избытке или отсутствовать в теле, что объясняет его электрический заряд.
- Открытие гальванического элемента - сделано физиологом **Луиджи Гальвани** и физиком **Алессандро Вольта** в конце XVIII века. Гальвани производил опыты с лягушками, на которых он изучал строение нервной системы, ученый вывесил несколько отпрепарированных лягушачьих лапок на медных проволоках на железную садовую решетку во время грозы, но молнии никак не повлияли на поведение лягушек, что сделал ветер, при порывах которого лягушки раскачивались и касались железной решетки. Когда это происходило, то их лапки сокращались. Физиолог решил, что он открыл **"животное электричество"**. Вольта шел другим путем и заменил в эксперименте лапки лягушек на электроскоп, таким образом он измерял то, что потом стало называться контактная разность потенциалов. Делая эти наблюдения, он открыл **гальванический элемент** или **"Вольтов столб"**, поместив пластины из цинка и меди в кислоту и создав первый в мире химический источник тока. Оба ученых дали объяснения своим открытиям: гальвания была объяснена как "живое электричество", а Вольта дал неправильное объяснение контактной разнице потенциалов. Но **источник постоянного тока был открыт**, с этого момента стали строить большие батареи, которые использовались в ходе дальнейших элементов. Гальвани исключил из своих экспериментов железные элементы и нашел токи в живых организмах - показав, что электричество там действительно присутствует.

Порядок в данной области был наведен к 30-м годам XIII века, что было связано с тем, что теория электричества развилась на более высоком уровне.

## Оптика

- В 1704 году - вышла **книга Исаака Ньютона "Оптика"**.
- В 1728 году - произошло **открытие абберации света**, которое сделал **Джеймс Брайлей (Брэдли)**. Оно заключается в том, что при длительном наблюдении (в течении года) за звездой можно заметить её движение либо по окружности, либо по прямой, либо по эллипсу. Исходя из корпускулярной теории света, Брайлей дает объяснение и получает выражение для скорости света, которое оказалось



близким к тому, что до него получил Ремер при наблюдениях за затмениями спутников Юпитера. Таким образом **то, что скорость света конечна, стало экспериментальным фактом**, который вошел в обиход.

- **Развитие фотометрии** - стало главным, что было сделано в XVIII веке в оптике. **Пьер Бугер** и **Иоганн Генрих Ламберт** были двумя учеными, которые внесли в это большой вклад. Люмены и люксы и в настоящее время очень важны для деятельности людей.
- В 1775 году - **Джон Гопкинсон** наблюдал за свечой через носовой платок, который был сделан из грубого полотна, он обнаружил, что при этом возникает спектр. Его этот вопрос сильно заинтересовал, и он написал о своих наблюдениях астроному **Дэвиду Риттенхаусу**, который изобрёл первую **дифракционную решётку**. Это изобретение не использовалось, оптик **Йозеф Фраунгофер** переизобрел её уже в начале XIX века для получения спектральных закономерностей в спектре Солнца.

## Наука в России

Наука в России, по большому счету, связана именно с XVIII веком, когда реформы Петра I привели к следующим важным результатам:

- В 1725 году - была **открыта Петербургская академия наук**, до этого момента академии наук в России не было, как и в подавляющем большинстве стран Европы. Первая академия возникла в Англии, вторая во Франции. Петр I приложил много сил и средств для создания первой русской академии, куда привлек самых известных ученых того периода из разных стран. В Академии публиковались работы ученых и издавались научные журналы, предполагалось, что при ней также будет существовать университет и гимназия, так как для получения высшего образования необходимо иметь среднее, а с ним в России того периода было не очень хорошо. Состоятельные люди получали образование в Европе, поэтому была создана схема, которая предполагала создание новой системы образования в России. Мысль Петра I состояла в том, что привлеченные ученые подготовят кадры, которые в дальнейшем займутся образованием россиян. Планы царя не были реализованы, университет в России долго прозябал, находясь в очень плохом состоянии, как и гимназия, но наука в России в это время очень бурно и быстро стартовала практически с нуля.
- В 1745 году - химик М.В. Ломоносов и гуманитарий В.К. Третьяковский становятся **первыми русскими академиками**. Важно отметить, что сначала все сотрудники Российской академии наук были иностранцами.
- В 1755 году - состоялось открытие Московского университета.

События 1725 - 1755 годов сильно изменили процесс развития науки в России.

## Михаил Васильевич Ломоносов

- 1711 – 1765 - годы жизни М.В. Ломоносова.
- 1731 – 1735 годы - М.В. Ломоносов получает образование в Славяно-греко-латинской академии, некоторое время он проходил обучение в Академии Киева, но прервал непонравившийся ему процесс.
- 1735 – 1736 годы - М.В. Ломоносов попадает в состав лучших учеников, которые продолжают обучение в университете при Петербургской академии наук. Обучение длилось чуть меньше двух лет.
- 1736 – 1741 годы - в результате ещё одного отбора М.В. Ломоносов направляется для продолжения учебы за границу, там он учится у Вольфа в Марбурге и у Генкеля во Фрейбурге.
- 1742 год - после возвращения из заграницы М.В. Ломоносов становится адъюнктом, это означает, что он может заниматься научной деятельностью самостоятельно.
- 1745 год - М.В. Ломоносов становится профессором химии, это было аналогично присуждению статуса академика, у ученого появляются кафедра и лаборатория.

### Работы М.В. Ломоносова в области физики:

- М.В. Ломоносов создает **корпускулярную философию** - это молекулярно-кинетическая теория. В то время она не была господствующей, но были ученые, которые придерживались этой теории, например, **Леонард Эйлер**. М.В. Ломоносов создал более развитую теорию, он назвал её философией, потому что находился под влиянием теории Бойля, которая создавала некий аналог, но причиной всего Бойль считал идеальные начала, которые М.В. Ломоносов заменил на материальные. Тонкость корпускулярной философии заключалась в том, что в ней тепло сводилось к вращательному движению микрочастиц, так как поступательное движение было крайне сложно для определения в ситуации отсутствия аппарата механики и вероятного отсутствия у М.В. Ломоносова информации о том, что сделал Гюйгенс в теории о соударении шаров. Такой точки зрения придерживался и **Джеймс Джоуль**, который жил и работал в XIX веке и был одним из отцов-основателей статистической физики.
- **Закон сохранения вещества** был открыт Ломоносовым ранее Антуана Лавуазье, что документально подтверждено. Он повторил опыт Бойля с обжигом свинца в запаянном сосуде, в результате которого его вес не изменился. Тогда Ломоносов дал объяснения, почему теория флогистона не работает и что с этим делать. Возникает вопрос - почему Ломоносов не опубликовал свое открытие?

---

Причина заключалась в том, что у него был свой взгляд на то, что такое вес и масса тела.

- Ломоносов открыл устройство, которое называется "**ночезрительная труба**" - это прибор с большой апертурой.
- Во время солнечного затмения М.В. Ломоносов **открыл атмосферу Венеры**.
- Ломоносов был сторонником волновой теории света, он объяснял это на основе того, что, например, в алмазе лучи пересекаются, при этом они не мешают друг другу. Поэтому он считал, что волновая теория более естественная, чем корпускулярная, где обязательно должно было происходить какое-то рассеяние.



## Лекция 7. Открытие закона сохранения и превращения энергии

### Социально-исторические контекст XIX века, отразившийся на истории физики

Сегодня лекция посвящена периоду открытия закона сохранения и превращения энергии - это первая половина XIX века. Считается, что это главное открытие данного периода, в который также происходило множество других событий, связанных с развитием физики. В рамках гуманитарного курса "История и методология физики" дается общее представление об истории человечества и об особенностях развития науки в контексте исторических событий.

#### Основные особенности производства в первой половине XIX века

- 1807 год - создан первый практически пригодный **пароход**, изобретатель - **Роберт Фултон**.
- 1825 год - **открыта первая железная дорога** в Англии, она была очень ненадежной и часто взрывалась. Путешествие по железной дороге в Англии того времени было очень современным, но очень опасным мероприятием. Несмотря на это, железные дороги в стране стремительно выросли в значительную сеть.
- 1844 год - введена в эксплуатацию **первая телеграфная линия в Англии**, телеграф в 1832 году изобрел **Павел Львович Шиллинг**, но **Сэмюэл Морзе** предложил более современную версию, которая и укрепилась. Телеграфные линии довольно быстро опутали всю Европу, а затем перебрались и в Америку. Во второй половине XIX века был проложен трансатлантический телеграфный кабель и весь мир начал пользоваться этим видом связи.
- В этот период появляется **дагерротипия** или **дагерроскопия** - первая работоспособная технология фотографии, при которой изображение является позитивом. Но по тем временам она была крайне непрактичной и дорогой, и в 50-е годы XIX столетия появляется **современная фотография** - негативно-позитивная технология получения фотографического изображения. Это был огромный скачок, так как до этого периода мы можем наблюдать фотографические изображения только выдающихся личностей или тех, кто обладал серьезными средствами для того, чтобы сделать свой портрет.
- 1838 год - **Борис Семёнович Якоби** изобретает **гальванопластику**, с помощью гальванических устройств появляются копии различных изделий. Это является предтечей того, что теперь является 3D-принтерами, которые используют принцип гальванопластики, принципы роста кристалла, а также компьютерные технологии.

#### Основные политические события XIX века

- **Наполеоновские войны**, которые оказали очень сильное воздействие на все человечество. Наполеон был не просто завоевателем, а кумиром многих людей, недаром А.С. Пушкин писал "Мы все глядим в Наполеоны".
- 1825 год - **Восстание декабристов в России**, кроме своего исторического значения это событие в несколько необычно области оказало серьезное воздействие и на Московский университет – это было введение программ университетских курсов. До восстания декабристов каждый преподаватель Московского университета читал то, что считал необходимым, но император посчитал, что у них слишком много свобод, вследствие чего последовало предписание о необходимости утверждения конспекта читаемых лекций. День инаугурации – это праздник, который отмечался в Московском университете в мае, после этого события он был предан забвению, а на его месте появляется новый праздник под названием "Татьянин день". Вначале он был неофициальным, о нем много писал Владимир Алексеевич Гиляровский. После 1917 года перестают праздновать и его, потому что в Московский университет приходят совершенно другие люди, в 1991 году его празднование возобновляют, но оно происходит уже не с таким размахом, как это происходило раньше.

### Философия XIX века

В этот период три страны определяли правила игры в области философии:

- Англия - взгляды и философия **Джозефа Пристли** оказали значительное влияние на **Майкла Фарадея**, который являлся самым известным физиком этого периода.
- Франция - невзирая на социальные изменения и наполеоновские войны, активное влияние продолжали оказывать идеи философов-просветителей. **Ответ Лапласа Наполеону** является известным историческим фактом, когда французский правитель рассматривал одну из теорий Лапласа, то заметил, "Вы даете законы всего творения и в своей книге ни разу не упомянули о существовании Бога", на что тот ответил: "Ваше Величество, в этой гипотезе я не нуждаюсь". Так как Наполеон был человеком очень широких взглядов, то Лаплас ничем за это высказывание не поплатился.
- Германия - философия **Фридриха Шиллера** оказала влияние на развитие физики, его взгляды варьировались: сначала он был классическим приверженцем объективного идеализма, далее ушел в клерикализм, став философом богословского толка, его даже стали язвительно называть философом во Христе. Главное, что он повлиял на **Ханса Эрстеда**, которому была близка идея Шиллера о том, что в мире всё взаимосвязано, следовательно, необходимо найти связь между явлениями, которые на первый взгляд кажутся разными. Он упорно стал искать связь между электричеством и магнетизмом и

нашел в 1819 году влияние тока на магнитную стрелку. С этого момента колесо развития теории электричества покатило очень быстро.

## Особенности развития и основные открытия в физике XIX века

### Волновая оптика

В этот период волновая оптика пошла путь от роли Золушки до роли господствующей теории и вытеснила корпускулярную теорию света.

- 1801 год - **Томас Юнг** вводит **принцип интерференции** и идею **потери полуволны при отражении света от оптически более плотной среды**, Он объясняет опыт по интерференции от двух отверстий и определяет длины волн света по наблюдению дифракции на отверстии. Когда он рассматривает дифракцию на отверстии, которое ему необходимо объяснить с помощью интерференции двух волн, а лучей там мало, то объясняет это следующим образом: один луч идет прямо, а второй отражается от края отверстия и приходит в ту же точку. За счет такого некорректного рассмотрения он получает верный результат.
- 1808 год - **Этьенн Малюс** открывает **поляризацию света при отражении**, при этом возникает первая очень серьезная сложность в волновой теории света. Волны света в то время считались продольными, потому что свет в обычной среде представляется именно таким образом, о существовании поперечных волн известно не было, но без них объяснить поляризацию очень сложно.
- 1815 год - начало работы **Огюстена Френеля** по **интерференции и дифракции**, он формулирует принципиальные моменты: во-первых, с помощью короткофокусной линзы делает источник света практически точечным, для наблюдения спектра ученый использует окулярный микрометр, то есть производит очень точные измерения, Последним его достижением является отказ от идеи влияния волны, отраженной от края отверстия, которую ввел Юнг. Для того, чтобы доказать, что она некорректна, создаются **бизеркала Френеля**, в которых можно наблюдать интерференционную картину. Далее он вводит принцип, который называется **принципом Гюйгенса-Френеля**, а также два метода расчета дифракционной картины: **метод зон Френеля** и **интегралы Френеля**. Второй метод очень сложный и настолько правильный, что остается в рамках теории Максвелла.
- 1818 год – открытие **пятна Пуассона**. В это время Французская академия наук объявила конкурс, правила которого предлагали решить некоторые задачи в области оптики и получить премию в случае представления лучшего решения. На конкурс было представлено несколько работ, в том числе и работа Френеля. В состав комиссии входило много достойных ученых, до нас дошла только фамилия Пуассон. Математик **Симеон Пуассон** предложил **Френелю**



рассмотреть случай, когда при определенном соотношении за экраном возникает светлое пятно, чего в принципе быть не должно. В результате вопрос был отложен, а Френель поставил предложенный опыт и действительно обнаружил светлое пятно, после чего повторно доложил свою работу. Историки продолжают гадать, кому принадлежит пятно и как понимать произошедшее: то ли великий Френель все предвидел и осрамил Пуассона, то ли Пуассон обнаружил то, о чем Френель даже не догадывался. Ответить однозначно на данный вопрос, который ставит история, крайне сложно.

Несмотря на успехи, волновая оптика имела **проблемы с поперечностью световых волн**, исследователям стало ясно, что для разумных объяснений явлений необходимо считать световые волны поперечными. Этой точки зрения придерживались Юнг и Френель. Около 1818 года Френель и **Франсуа Араго** ставят опыт с интерференцией поляризованного света. В рамках этого подхода возникает вопрос: как объяснить возникновение поперечных волн в обычном пространстве, где нет упругой среды типа твердого тела? Тогда Френелю пришлось ввести гипотезу о том, что все пространство заполнено эфиром, который является несжимаемым, его плотность в различных средах различна, а упругость постоянна. С помощью эфира ученый развивает теорию, в соответствии с которой получает ряд соотношений, после чего появляется значительное число работ, посвященных теориям эфира, в том числе у **Гендрика Лоренца** и **Джеймса Максвелла**. Они появляются вплоть до настоящего времени, отношение к ним у научного сообщества разное, ведь сам Эйнштейн сказал, что эфира нет, и создал теорию относительности, изгнав эфир и введя два постулата. Это утверждение неверно, так как Эйнштейн построил свою теорию, не используя вопрос об устройстве эфира, так как неизвестно, как он устроен. Он не считал пространство пустым, отдав предпочтение изъятию теории эфира при создании своей.

**Теории эфира, которые появились в XIX веке:**

1. **Модель Клода Навье** - чисто механическая модель, основанная на представлении о том, что эфир - это частицы, между которыми действует центральная сила.
  2. **Модель Огюстена Коши** - эфир как упругая среда.
  3. **Модель Джорджа Стокса** - эфир - аналог смолы
  4. **Модель Джеймса Мак Кулага** - модель среды, внутренняя энергия которой зависит только от вращения объемных элементов, то есть от ротора вектора перемещений. Она исследуется учеными, которые занимаются современной теорией гравитации.
- В этот период **Йозеф Фраунгофер** исследовал вопрос о том, как в спектре Солнца распределены спектральные линии. В процессе ему пришлось заново открыть **дифракционную решетку**, что позволило найти **положение**

**спектральных линий** и создать **первые интерферометры**. Самые известные приборы - это интерферометры Брюстера и Жамена, им очень быстро нашли применение и стали очень точно измерять размеры тел и качество поверхности. Гравитационные волны, которые были обнаружены совсем недавно, определены на основе аналогичного принципа работы.

- 1849 год - экспериментальное определение скорости света было произведено ранее астрономически, 1849 году было сделано первое **неастрономическое определение**, это сделал **Луи Физо**, который применил метод вращающегося колеса. Он же измерил **скорость света в воде**, это же 1850 году сделал **Фуко**, это экспериментально подтвердило, что в воде скорость света меньше, чем в воздухе. Таким образом теория Ньютона оказалась неправильной, а господствующей была признана волновая теория света. К этому периоду сторонников корпускулярной теории света осталось очень мало, но в дальнейшем она пережила стадии возрождения, о чем мы будем говорить позже.

## Электромагнетизм

- 1803 год - **открытие электрической дуги** стало значительным событием в области электромагнетизма. **Василий Владимирович Петров** сконструировал большую гальваническую батарею, далее, исследуя её свойства как источника тока, он наблюдал электрическую дугу. То же самое сделал **Хэмфри Дэви** в 1812 году. Ведутся споры о приоритете открытия, существует издание типографии Государственной Медицинской коллегии 1803 года, где была опубликована работа В.В. Петрова.
- 1819 год - **открытие действия тока на магнитную стрелку Хансом Эрстедом**. С этого момента начинается активное развитие электромагнетизма.
- 1820 год - **Андре Ампер** высказывает гипотезу, что магнитные свойства определяются электрическими, то есть в телах текут некие токи, которые создают магнитные явления, влияющие на всё остальное. Эта идея Ампера оказалась плодотворной и постепенно привела к исключению магнитной жидкости. Таким образом Ампер свел магнитную жидкость к электрической и возник настоящий электромагнетизм. Далее появляются **законы Био-Савара, Био-Савара-Лапласа и Ампера**.
- 1826 год - **Георг Ом** ставит серию опытов и открывает **закон Ома**. Если в исходном варианте его воспроизвести сейчас, то будет крайне трудно его опознать. Закон Ома, который обычно используется в исследованиях, появился в работах **Густава Кирхгофа**, который занимался им 20 лет спустя. Именно он ввел новые обозначения и структурировал имеющуюся информацию, а также ввел **правила или законы Кирхгофа**, которые позволяют решать многие задачи электростатики и обычного тока. Но для того, чтобы их использовать, ещё



необходимо знать правила по применению правил Кирхгофа, их гораздо больше (10).

- 1831 год - **Майкл Фарадей** занимался разной проблематикой, в основном химией, потому что он обслуживал интересы известного химика **Гемфри Дэви**, исполняя ряд обязанностей, в том числе лаборанта, а также прислуживал в его семье. После того, как в 20-е годы появляются исследования в области электричества и магнетизма (особенно когда Эрстед открывает свой закон) в своем дневнике Фарадей пишет задачу, в которой формулирует, что было бы хорошо превратить магнетизм в электричество, найти способ вывести электрический ток из магнетизма. В 1831 году им был открыт **закон электромагнитной индукции Фарадея**, кроме этого Фарадеем было сделано много открытий. Ученый был сторонником идеи близкодействия, известно, что в 1838 году он написал некое письмо, которое было необходимо вскрыть через 100 лет. Терпения на столь длительный отрезок времени не хватило, и оно было вскрыто в 1932 году. В письме содержались идеи поля и многое другое. К закону Фарадея в дальнейшем было приложено правило, предложенное в 1834 году академиком **Э.Х. Ленцем**, в итоге закон электромагнитной индукции приобрел современные очертания.
- 1834 год - **Джеймс Джоуль** независимо от Ленца открывает закон, который теперь называется **Закон Джоуля-Ленца**, он показывает, сколько выделяется тепла в цепи, если по ней идет электрический ток.
- 1846 год - была создана **электродинамика Вильгельма Вебера** - наука, которая описывает переменные процессы в магнитных полях, для чего Веберу пришлось видоизменить закон Кулона, добавив новое соотношение силы, зависящей от ускорения. Появившаяся электродинамика могла объяснять все явления, которые были известны на то время, включая законы электромагнитной индукции, но только для переменных токов, меняющихся не слишком быстро.
- 1845 год - **Фарадей** в уже преклонном возрасте открывает **вращение плоскости поляризации света в магнитном поле** и **диамагнетизм**, а также вводит **представление о силовых линиях**, также он продвигал идею поля. Электродинамика Вебера была ньютоновского типа, то есть ей были чужды идеи близкодействия, поэтому многие ученые относились к теориям Фарадея, как к возрастному чудачеству.

## Открытие закона сохранения и превращения энергии

Если рассматривать процессы, происходящие в области физики в первой половине XIX века, которые не были связаны с переходом энергии из одного вида в другой, то в принципе в этот период вполне можно было использовать представление о так называемых невесомых жидкостях. В каждой области имелась своя жидкость, в

соответствии с которой создается теория: в электричестве - электрическая, в магнетизме - магнитная, в световых явлениях - световая и т.д. Но как только начинаются процессы превращения чего-то в что-то, то сразу возникают проблемы, для решения которых необходимо отказаться от невесомых жидкостей или свести их к тем, которые уже известны. Что и сделал Ампер, предложив свести магнитную жидкость к одной единой невесомой электрической жидкости. Но решение этой задачи оказалось более сложным, что исторически было обусловлено рядом обстоятельств различного рода, в том числе и философского.

Ещё в XVIII веке **Бенджами Румфорд**, который сначала был **Томпсоном**, пока не приобрел статус графа Румфорда, жил в Америке и занимался изготовлением пушек. В то время для изготовления этого орудия сначала делали болванку, в которой сверлилось отверстие, эта процедура приводила к выделению значительного количества тепла и необходимости охлаждать устройство. Наблюдая за этими процессами, Томсон в итоге пришел к выводу, что теплота - это нечто, что связано с работой, то есть с движением внутри тела. Эта точка зрения высказывалась и до него, но на неё не обращали внимания. Известно, что **М.В. Ломоносов** считал, что теплота - это проявление движения молекул или частиц, из которых состоят тела, как и **Бернулли**. Более того, в самом начале XIX века химик **Дэви** провел опыт, используя колпак, из-под которого было можно выкачивать воздух. В колпак помещались два кусочка льда, далее создавалась безвоздушная среда, и с помощью манипулятора Дэви тер один кусочек о другой, что приводило к образованию воды. Всем было известно, что в отсутствие воздуха ничего не передается, получалось, что его работа превращалась в скрытое тепло.

Против теории теплорода выступали **Юнг**, **Френель** и **Ампер**. Само понятие "**работа**" в то время в теоретической физике, включая механику, не использовалось. Оно использовалось для неких технических устройств, например, как характеристика эффективности водоподъемных машин. Ситуация изменилась после работ **Лазара Карно**, который в 1843 году дает современное определение работы, которая определяется произведением силы на пройденный путь и на косинус угла между направлением перемещения и силой. Он предлагает свою теорему, которая используется в технике, она звучала следующим образом: для того, чтобы работа передавалась от одной машины к другой более эффективно - необходимо, чтобы передача движения осуществлялась плавно. Если мы хотим передать движение с одного штифта на второй, то сопряжение разных устройств должно быть как можно более высокого порядка, то есть если что-то движется и переходит на другую траекторию, то этот переход должен быть наиболее плавным. Обычно сопряжение окружности с прямой бывает второго порядка (поворачивающий трамвай), максимум третьего. После работ Карно в теоретической механике (где есть понятия "энергия" и "работа") появляются работы, доказывающие теоремы о законе сохранения энергии.

В 1824 году **Сади Карно** публикует свою единственную работу "**Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу**", в ней появляется то, что принято называть "**второй закон термодинамики**" или **Теорема Карно**. Таким образом, сначала появляется второй закон термодинамики для равновесных процессов, а потом первый. Судьба Сади Карно чрезвычайно печальна, в 1829 году он умирает от холеры, а все его имущество сжигают, сохраняется только один дневник ученого, который потом издается, но это происходит в тот период, когда вся электродинамика уже была создана. В "**Размышлениях о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу**" содержатся следующие выводы С. Карно:

1. Карно исходит из теории теплорода.
2. Карно использует закон сохранения теплорода, тогда появляется цикл, у которого есть **две адиабаты**, где теплород не может не появляться и не исчезать.
3. Карно использует теорему своего отца Л. Карно, которая гласит, что движение необходимо передавать как можно более плавно, в термодинамике это означает - при постоянной температуре. Таким образом появляются **две изотермы**.
4. Карно исходит из аналогии работы тепловой машины с работой водяной мельницы: теплород падает на колесо, которое приходит в движение.
5. Исследуя деятельность этой машины, Карно получает КПД:  $\eta = Ct$ , где  $C$  - это функция, которая получила название функция Карло,  $t$  - появилась в связи с точкой зрения Карло, который считал, что машина работает между нагревателем при температуре  $100^0$  и холодильником при  $0^0$ , поэтому дельта -  $t$ .

То, что сформулировал Сади Карно, в дальнейшем было несколько видоизменено, а его идеология была доведена до ума, но то, что он получил очень хорошие результаты по тем временам, является фактом.

### Исследования превращения теплоты в работу

Именно при проведении исследований превращения теплоты в работу собственно и появился закон сохранения и превращения энергии. Вопросом превращения теплоты в работу занимались многие исследователи, но считается что закон сохранения энергии открыли трое из них. Каждый из этих трех исследователей внес свой значительный вклад в решение этой проблемы (хотя до настоящего времени существует множество претендентов на этот статус):

1. **Юлиус Роберт Фон Майер** родился в 1814 году, он получил медицинское образование и стал врачом. Германия в то время была раздробленным государством и Майер сначала работал врачом в клиниках Парижа, а потом завербовался на судно, которое направлялось в тропики, в качестве судового врача. Тогда распространенным методом лечения являлось кровопускание,

Майер вспоминал, что при проведении этой процедуры венозная кровь его пациентов была настолько яркая, что он пугался, подозревая что напутал что-то при проведении манипуляций. Причем это явление отмечалось у людей, которые приехали вместе с ним с севера, у которых ранее таким цветом обладала только артериальная кровь. Он долго думал над этим, а когда вернулся домой, то начал заниматься наукой и написал статью, которая заключалась в следующем: следуя модной в то время теории **Лавуазье**, который вместе с Лапласом написал книгу о теории теплоты (суть его теории состояла в том, что организм человека как топка перерабатывает пищу и выделяет некую энергию, которую люди расходуют), Майер считал, что он установил, что этот процесс зависит от окружающей действительности, на севере он действует определенным образом, на юге - по-другому. При этом должно существовать нечто, что должно сохраняться, но тогда у Майера не было понятия "энергия", так как в ходу были термины "живая сила" и "мертвая сила" (аналоги кинетической и потенциальной энергии). Он использовал понятия неких абстрактных сил, что привело к тому, что он формулирует закон сохранения и превращения энергии в общей, но весьма абстрактной форме. Дальше Майер дополняет его различными соображениями и в 1841 году отправляет свою первую работу в самый известный по тем временам журнал "**Annalen der Physik**", в котором в начале XX века публиковал свои статьи и Эйнштейн, и другие знаменитые ученые. Он сопровождает статью нахальной припиской в письме о том, что по итогам публикации две дюжины экземпляров журнала необходимо будет направить ему. Неизвестно по какой причин, но Паддендорф, который был главным редактором журнала в то время, положил эту статью в свой стол, после его смерти её нашли, но не опубликовали. Майер оказался непростым человеком с твердым нравом, и в следующем году пишет вторую статью, которую направляет в журнал "Aannalen der chemie und pharmacie". После чего в 1842 году появляется первая опубликованная работа на тему закона сохранения и превращения энергия. В своей статье Майер излагает следующее:

#### **Возражения против теории теплорода:**

- появление тепла нельзя объяснить уменьшением объема тела. Томпсон говорил о переходе работы в тепло при сверлении отверстия в пушке, но противники его теории говорили о том, что в процессе появляются стружки, которые имеют другую теплоемкость, а тепло выделяется за счет разности. Майер, насколько это возможно, снимает это возражение.
- Майер пишет про опыт Дэви о плавлении льда.
- исследователь предлагает свой опыт с бутылкой, при котором в неё наливается вода, далее бутылку необходимо потрясти, что приводит к повышению температуры.

- Майер использует отношение  $C_p/C_v$  для воздуха, которое тогда было известно, и решает классическую задачу по получению механического эквивалента теплоты, то есть находит соответствие между работой и теплотой.

В дальнейшем Майер публикует ряд статей по данной тематике. На первом этапе на его работы обращали мало внимания, но когда появились работы Джоуля и Гельмгольца, а к 1850 году закон сохранения и превращения энергии был признан, то начинается битва за приоритет его открытия. В ней участвует множество ученых, специализирующихся в различных областях, так как у Майера закон носит общий характер, и его возможно использовать практически везде. В это время Майер живет в очень небольшом немецком городке, где он родился, а вокруг него бушуют страсти, которые очень не нравятся его землякам, и они начинают распускать о нем различные слухи, включая его сумасшествие. Это приводит к тому, что он совершает неудачную попытку самоубийства, выбросившись со второго этажа своего дома.

2. **Джеймс Джоуль** родился в 1818 году, по профессии он был пивоваром, потом решил заняться наукой. В 1843 году он открывает **закон Джоуля-Ленца**, а далее исследует процессы превращения тепла в работу на разных устройствах. Измеряя механический эквивалент тепла, чисто экспериментально Джоуль приходит к закону сохранения и превращения энергии. После чего публикует результаты своей работы в известных журналах и получает членство в Лондонском королевском обществе. Избежать дискуссии о приоритете открытия закона ему, естественно, не удастся. Главным отличием открытия Джоуля является то, что он делает это **экспериментально**, исследуя электрические, тепловые, магнитные и прочие явления, включая трение.
3. **Герман Гельмгольц** родился в 1821 году, он имеет сложную биографию. Гельмгольц был известен и как математик, и как физик, и как физиолог, а также как президент Берлинской академии наук. Ученый **открыл закон сохранения и превращения энергии** следующим образом: он брал некие модельные системы и теоретически их исследовал. Именно полученные таким образом результаты и привели его к открытию закона сохранения и превращения энергии. Главная идея Гельмгольца заключалась в том, что в механике на микроуровне есть только пустота и частицы, между которыми есть центральная сила взаимодействия. Если перейти на макроуровень и начать усреднять, то механические процессы превращаются в электрические, магнитные, тепловые и прочие. Если сохранение есть на микроуровне, то на макроуровне между разными процессами оно так же должно существовать. Гельмгольц рассматривал следующую задачу: если взять конденсатор и замкнуть его, то можно определить, сколько выделится тепла. Его подход очень нравился физикам, так как он был ясным и понятным, и в нем не было чрезмерной

---

экспериментальности, как в подходе Джоуля. В дальнейшем именно закон Гельмгольца стал приоритетным в идейном плане.

В 50-х годах XIX века **Уильям Джон Ранкин** ввел понятие "**энергия**" вместо привычных понятий "мертвой силы" и "живой силы". Он раздел понятие "энергия" на две части: **актуальная энергия** и **потенциальная энергия**. Термин "потенциальная энергия" сохранился, а актуальную энергию вытеснил **Уильям Томсон**, который чуть позднее назвал её кинетической энергией. Таким образом, только в XIX веке появляются термины "потенциальная энергия" и "**кинетическая энергия**". Всё, что было рассмотрено сегодня, привело к тому, что в физике перестали использоваться невесомые, но эфир из неё так и не изгнали.



## Лекция 8. Завершение формирования классической физики

### Социально-экономические события второй половины XIX века

Сегодня мы будем рассматривать период, в который в основном произошло завершение формирования классической физики. Во многих своих аспектах до конца классическая физика не завершена и в настоящее время. Важно отметить следующие особенности данного исторического этапа:

### Основные особенности промышленного производства во второй половине XIX века

Особенности промышленного производства являются тем, что определяет нашу реальную жизнь, по уровню его развития возможно определить уровень развития науки в том или ином государстве. Такой подход к данной проблематике возник не сразу, если в Средние века фигура ученого представляла в качестве мудреца, который в келье изучает книги и записывает свои мудрые мысли, то далее это представление трансформируется. С середины XX века, когда наука уже очень серьезно влияла на состояние общества, во всех основных научных журналах, начиная с "Nature" и "Science", стали анализироваться состояние промышленного производства в разных странах и затраты на науку в процентах от валового внутреннего продукта. Во второй половине XIX века в области промышленного производства важными являются следующие события:

- Появляются **двигатели внутреннего сгорания**
  - 1878 год - четырехтактный двигатель Николауса Отто.
  - 90-е годы - дизель, который является более экономичным и эффективным, кроме плюсов такие двигатели обладали и минусами.
- Внедряются **паровые турбины**
- 70-е годы - в практику вошел **телефон**
- 70-е годы - в большом количестве строятся **телеграфные линии**, в том числе прокладывается кабель между Европой и Америкой, то есть телеграф связывает весь мир.
- 70-е годы - **начало использования электричества для освещения**, во второй половине XIX века свет во всем мире назывался "русский свет":
- 1860 год - профессор Московского университета **Николай Алексеевич Любимов**, ещё до изобретения электрической лампы, демонстрирует освещение университетского двора с помощью электричества. Электрическая дуга уже была изобретена и известна ученым, именно она освещала двор. Посмотреть на это съезжалась вся Москва.

- 1876 год - **Павел Николаевич Яблочков** взял патент на дуговую лампу, **Александр Николаевич Лодыгин** изобрел **первую электрическую лампу накаливания**, но она быстро портилась, потому что было необходимо продумать её наполнение и способ подключения. Именно это в дальнейшем усовершенствовал **Томас Эдиссон**, который стал именем нарицательным в связи со прогрессивностью в области изобретений, и тягаться с ним во внедрении научных изобретений в жизнь было очень трудно, поэтому в повседневный обиход вошла лампа Эдиссона, которая далее совершенствовалась. Эдиссон прожил долгую жизнь и в 1930 году (за год до своей смерти) стал иностранным членом Академии наук СССР.
- Развитие **вакуумной техники**, которая приобретает очень серьезный уровень
  - Изобретаются **насосы**, которые способны откачивать воздух и создавать высокий вакуум.
  - С помощью этой техники проводятся **исследования низких температур**, особенно в конце этого периода.
  - В данной области появляются лаборатории, которые исследуют, в том числе **твердые тела**, вследствие чего появляется множество закономерностей, приводящих к созданию и квантовой механики. Квантовые колебания, особенности поведения энтропии были открыты экспериментально без теоретических изысканий, а объясняющую данные явления теорию стали искать позднее.
- **Внедрение в практику постоянного и переменного тока** произошло с помощью электродвигателей, которые стали использоваться в технике. Исследователи понимали, что было бы лучше, если бы ток был постоянным, но переменный оказался дешевле. Спор между дешевизной и полезностью выиграла экономика, и переменный ток стал использоваться повсеместно. Постоянный ток тоже присутствовал в целом ряде отраслей, но в небольшом количестве.
- В конце этого периода появляются **трамваи**. Электровозы не вводятся в эксплуатацию по причине их дороговизны

### Политические события второй половины XIX века

- **1861 год и далее – состоялась отмена крепостного права в России** и последующий за ней **ряд реформ**. Этот процесс коснулся не только крестьян и чиновников, но и сотрудников университетов, так как также осуществлялась реформа образования. У многих ученых, которые привыкли к устоявшимся правилам, был свой взгляд на происходящее, другие же поддерживали реформы. Например, в Московском университете имелось две группировки, которые



сильно враждовали между собой: одни поддерживали реформы, которые проводило правительство страны, другие - наоборот. За осуществление реформ были представители дворянства, против - выходцы из купеческой среды, а их было значительное количество. Н.А. Любимов, заслуженный профессор и заведующий кафедрой физики и физической географии Московского университета поддерживал реформы, а **Александр Григорьевич Столетов** придерживался противоположных взглядов, что привело к серьезной конфликтной ситуации. В начале 80-х годов XIX века Любимов понял, что его не переизберут на должность в университете, потому что в Москве противостоящая группировка побеждала, следствием этого явился его перевод в Санкт-Петербург на должность эквивалентную министру просвещения. Именно в этот период он написал свои известные труды по истории физики, с которых начинается традиция преподавания этого предмета в Московском университете.

- 1865 год - появляется официальный **акт об отмене рабовладения в США**, который в последующем усердно и долго утверждался каждым из штатов в стране, последний штат сделал это в 2013 году.

### Развитие философии во второй половине XIX века

**Позитивизм**, который начал серьезно проявлять себя ещё в первой половине XIX века, во второй его половине считался очень модным течением. Он стал господствующим направлением научной мысли, в том числе и среди ученых, которые занимались физикой. Такие люди, как **Эрнст Мах** и **Рихард Авенариус** были непререкаемы, во-первых, они обладали прекрасными ораторскими способностями и молодостью, а во-вторых - имели статус серьезных философов, преподавали в Вене, которая являлась центром Австро-венгерской империи. Эйнштейн считал Маха человеком, который серьезно повлиял на его формирование и как человека, и как ученого. Польский физик **Мариан Смолуховский**, который был одним из тех, кто в дальнейшем дал объяснение того, что такое броуновское движение, писал про этот период: в конце XIX века никто не мог выступить против авторитета Маха, а если кто-то решался это сделать, то судьба его была незавидной. И приводил в качестве примера **Людвига Больцмана**, который был членом Основной академии наук (и Старого Света в Европе и Нового в Америке), но имел очень сложные отношения с Махом по причине того, что один из них признавал существование атомов, в другой нет. После смерти Больцмана, когда уже никто не оспаривал наличие атомов, Мах признал их существование. В начале XX века позитивизм ещё сохранял свои позиции, но в конце столетия он стал привычным объектом для критики во всем мире.

### Создание и становление термодинамики

Авторство первого начала термодинамики неизвестно, но известно, что оно интерпретируется как обобщение закона сохранения и превращения энергии.

- 1848 год - чтобы правильно записать первое начало термодинамики, было необходимо ввести целый ряд новых понятий, одним из них явилось понятие **"абсолютной температуры"**. Ввел его **Уильям Томсон** (лорд Кельвин), который установил абсолютную термодинамическую шкалу температур. Кельвин - это название реки, которая протекала в той местности, где родился Томсон, когда ему присвоили титул, то необходимо было ему дать обозначение в соответствии с землями, которыми владел обладатель титула. Томсон не имел земель и обозначил титул таким образом. В дальнейшем именно **Томсон и Клаузиус создали основы современной классической термодинамики**.
- 1850 год - появление второго начала термодинамики в формулировке Рудольфа Клаузиуса.
- 1851 год - появление второго начала термодинамики в формулировке Уильяма Томсона.

**Словесные формулировки второго начала термодинамики** Клаузиуса и Томсона различались, потому что, начиная примерно с 50-х годов, они писали множество разных статей по данной теме, используя всевозможные описания. В дальнейшем эта информация была разобрана и отнесена к авторству одного и другого физика.

- 1861 - 1863 годы - появление **математической формулировки второго начала термодинамики для обратимых процессов** Клаузиуса. Сначала она была в интегральной форме - интеграл  $\delta Q/T \leq 0$ , потом в дифференциальной -  $dS$  (где  $S$  - энтропия) =  $\delta Q/T$ . Таким образом, **энтропию** ввел Клаузиус, причем если первый закон термодинамики можно назвать законом о внутренней энергии как функции состояния системы, то второй закон термодинамики - это закон об энтропии. Важно отметить, что пока мы рассматриваем только равновесный процесс.
- Клаузиус дает **формулировку для неравновесных процессов** в виде неравенства, но неравенство является не самым подходящим способом для решения многих задач. В действительности эта формулировка была устроена таким образом, что ряд задач Клаузиус всё-таки решил.
- 1906 году - **Вальтер Нернст** устанавливает **третье начало термодинамики**, которое в отличие от первого и второго вызвало разные споры. По сути оно явилось обобщением неких экспериментальных фактов, а сам Нернст очень не любил термин "энтропия", в его формулировке её нет. Сейчас даются формулировки третьего начала термодинамики **Роберта Планка**: при температуре, стремящейся к нулю, энтропия стремится к постоянному значению, которое можно принять равным нулю.

- до 1906 года - была установлена эквивалентность словесных формулировок второго начала термодинамики Томсона и Клаузиуса. Математическая формулировка у обоих физиков была одна и та же.
- Оба автора второго закона термодинамики очень увлекались проблематикой **тепловой смерти Вселенной**, которая являлась в то время модным увлечением. Представим, что Вселенная является замкнутой, в этом случае в ней должны работать законы термодинамики. Мягко говоря, это не очень точно, потому что существуют гравитационные силы, которые формально не очень хорошо вписываются в термодинамику. Но это не помешало физикам, как и более современным авторам, например, Сивену Хокингу, который написал второй закон термодинамики для черной дыры. Классики термодинамики считали, что если Вселенная замкнута, то с течением времени вся система придет в состояние термодинамического равновесия. Это означает, что энергия везде будет константа, при этом не будет ни жизни, ни превращения. Таким образом, это было **научным обоснованием "конца света" с точки зрения термодинамики**. Этим были недовольны многие люди, например, те представители философских течений, которые считали, что человек превыше всего, они утверждали, что такое развитие событий невозможно по определению, потому что закон сохранения и превращения энергии содержит определение превращения, если его нет, следовательно, некорректен сам закон. Было предложено значительное количество решений этой проблемы, но и в настоящее время имеется множество книг и работ, которые обосновывают вероятный конец света. Дискуссии по поводу тепловой смерти Вселенной длились очень долго, а первым, кто предложил отойти от этой темы и объяснил её, исходя из статистической физики, был Больцман, который сделал это с помощью своей флуктуационной гипотезы, о которой пойдет речь ниже.

## Термодинамика

Кроме общефилософских соображений, которые высказывались против термодинамики, были и другие - сугубо научные. Это происходило по причине того, что существовали приверженцы идеи теплорода, которые не хотели с ним прощаться. Они предлагали различные мысленные эксперименты против термодинамики, которые, по их мнению, ей противоречили. Томсон и Клаузиус находили ошибки в этих экспериментах, тем не менее возникали попытки решить различные проблемы термодинамики, которая создавалась как некая идеальная наука, имеющая три постулата, в соответствии с которыми все работает автоматически. Существует мнение, что она является самой тривиальной наукой, но это не соответствует действительности по причине того, что когда мы имеем один идеальный газ - это тривиально, а если мы имеем два идеальных газа, то это уже не очень тривиально, в случае трех идеальных газов - ещё сложнее. Также может быть и неидеальный газ, в этом случае даже термодинамическое рассмотрение такой системы является очень непростым и

требующим серьезного изучения. При этом возникает масса явлений, которые невозможно предугадать, также, как и в проблемах нанотехнологий, которые сначала воспринимались на дилетантском уровне, но потом дым рассеялся и стало понятно, что это серьезное явление, использующееся в технологиях. Задача двух тел решается точно, трех тел - в полном виде уже не решается, а тел - решается, но асимптотически, в случае 5, 20 или 1 000 тел что-то решает молекулярная динамика, но она вносит некие нюансы.

В самой термодинамике появляются подходы, которые пытаются дистанцироваться от различных философских проблем и проблем самой термодинамики. Таким является аксиоматический подход к термодинамике **Н. Шиллера, С. Каратеодори, Т.А. Афанасьевой-Эренфест**. Татьяна Алексеевна Афанасьева, русская женщина-учёный (физик и математик) была замужем за австрийским и нидерландским физиком-теоретиком **Паулем Эренфестом**, который в России не смог сдать магистерских экзаменов по разным дисциплинам. В итоге ученый покинул Россию, но возвращался ещё несколько раз и вел образовательную деятельность. Его семинары посещал Л.Д. Ландау и другие известные физики.

### Развитие методов термодинамики

Методы термодинамики возникли сразу после её создания, в 50-е годы и чуть позднее появляются:

- **метод круговых процессов;**
- **метод термодинамических потенциалов**, который был в основном сформирован усилиями **Франсуа Массье, Германа Гельмгольца и Джозайя Уилларда Гиббса**, который создал статистическую физику.

### Неравновесная термодинамика

Для того, чтобы не возвращаться к этой тематике при рассмотрении развития физики в XX веке, сразу отметим, что неравновесная часть термодинамики, но не в том смысле, которое имело место быть у классиков термодинамики - второй закон термодинамики для неравновесных процессов, а более завершённый её вариант, возник в первой трети XX века, но только для линейных процессов.

- 1931 год - определены **неравновесные линейные процессы Ларса Онзагера**. В этот период химия и химическая технология достигли такого уровня, что без них невозможно было обойтись. В основном Онзагер основывается на принципах соотношения взаимности (Дьярмати и другие).
- 1947 год - для более сложных процессов (линейных и нелинейных) появляются **вариационные принципы термодинамики необратимых процессов**, которые описываются в работах **Ильи Романовича Пригожина**.

- 1965 год - **Иштван Дьярмати** сформулировал носящий его имя **интегральный вариационный принцип**.

Нелинейные и неравновесные процессы являются более сложными, для них сформулировано множество различных принципов, но до конца данная проблематика до настоящего времени не развита.

### Релятивистская термодинамика

- 1907 год - релятивистская термодинамика восходит к работам **Планка**, который исходит из того, что первый и второй закон термодинамики инвариантны относительно релятивистских преобразований, отсюда следует **инвариантность энтропии, преобразование для температуры и количества тепла**. Эйнштейн воспроизводит решение Планка, которое ему очень понравилось, этот подход просуществовал довольно долго.
- 1963 год - **Эдвард Отт**, исходя из той же гипотезы инвариантности, получает **обратные преобразования**, что происходит в силу того, что в термодинамике разделение на теплоту и работу неоднозначно. Возникает большая проблема, решения которой до настоящего времени нет.

Возможно использовать оба варианта преобразований, так как наука со времен Ньютона сильно изменилась: при Ньюtone - линейно-дифференциальные уравнения, начальные условия и классическая причинность, сейчас - нелинейные дифференциальные уравнения с множеством решений. Использование термодинамических соотношений в рамках общей теории относительности предполагает наличие термодинамики другого типа, считается, что это удобное понятие для, например, описания процессов в черных дырах.

### Кинетическая теория газов

В начале неравновесная термодинамика возникла в виде кинетической теории газов.

- 1845 год - **Джон Джеймс Ватерстон** пишет работу, в которой выводит **основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов**, имеется ввиду элементарная теория. Он отправил статью в Лондонское королевское общество, где существовало правило двух рецензентов, оба рецензента дали отрицательный отзыв, и статья не была опубликована. После чего Ватерстон решил наукой больше не заниматься.
- 1851 год - аналогичное уравнение получил **Джоуль**, но он сделал ошибку: вместо  $1/3$  в уравнении  $p = 1/3 n m_0 \bar{v}^2$  у него  $1/6$ . Далее была выпущена работа **Августа Крёнига**, в которой тоже присутствовали некие недочеты.

- 1857 год - реально кинетическая теория газов начинается с работы **Клаузиуса "О роде движения, которое мы называем теплотой"**, год выхода этой статьи считают годом основания статистической физики.
- 1858 год - после того, как Клаузиус посчитал **среднюю квадратичную формулу движения молекул**, которая получилась большой, он получил массу возражений. Его работа **"О средней длине пути молекул"** поясняла, что такое средняя длина, время свободного пробега и т.д.

О Клаузиусе Максвелл писал, как об основоположнике кинетической теории газов, Гиббс называл его отцом статистической механики, то есть в данном статусе он был человеком общепризнанным.

- 1859 год – состоялся доклад **Джеймса Максвелла "Пояснения о динамической теории газов"**, где появляется **распределение молекул по скоростям**. Обычно в книгах по молекулярной физике пишут, что Максвелл вывел распределение молекул по скоростям, а через два года он улучшил свой вывод. Но вывести распределение Максвелла нельзя, его возможно только получить, как некую наукообразную гипотезу, в отличие от распределения Гиббса.
- 1866 год - появляется **распределение Больцмана во внешнем поле**, до этого он усердно изучал обоснование кинетической теории газов, исходя из механики. При этом у него ничего не складывалось, но в итоге он получает реальный результат - чисто статистическое распределение Больцмана
- 1872 год - появляется **кинетическое уравнение Больцмана без внешнего поля**, а **общее распределение Больцмана** появляется в 1875 году. В обеих работах он доказывает H - теорему и дает связь энтропии с числом микроскопических состояний (эта формула изображена на могильной плите ученого), далее он вводит флуктуационную гипотезу и показывает, почему в таком равновесии (в силу того, что Вселенная очень большая) возможна флуктуация, то есть отклонение от среднего значения. В результате чего "машина" нашей Вселенной опять начинает работать, так как Больцман считал, что жизнь никогда не прекратится и тепловая смерть Вселенной не состоится.

В этот период происходит борьба вокруг статистического понимания второго закона термодинамики, так как статистическую механику также пытались вывести, исходя из механики, в уравнениях которой наличествует проблема обратимости во времени, а в статистической физике - необратимость. Со второй половины XIX века процесс обсуждения данной проблематики только начинается.

В самом начале XIX века в работах **Альберта Эйнштейна** и **Мариана Смолуховского** по **броуновскому движению** был завершен процесс легализации того, что сделал Больцман, то есть описание газов с помощью кинетического уравнения и

интерпретация многих вопросов статистической физики. К этому времени уже многие ученые стали придерживаться той точки зрения, которая признавала существование молекул. Далее она многократно подтверждалась, но общепризнанных кинетических уравнений не так много: первым является уравнение Больцмана, а вторым - А.А. Власова.

- 1938 год - появление **кинетического уравнения Анатолия Александровича Власова для плазмы**. Власов был физиком-теоретиком и профессором Московского университета, он получил систему уравнений, но в историю вошло именно уравнение для плазмы.

С этими открытиями в истории физики связано много разных событий. Когда делаются открытия такого порядка, то зачастую возникают всевозможные последствия: Больцман наложил на себя руки, а четыре коллеги Власова написали на него пасквиль, содержащийся в статье 1946 года, трое из них в последующем стали Нобелевскими лауреатами.

- до 1880 года - подход Больцмана к кинетической теории газов был обобщен им на более серьезные системы, вместе с Максвеллом они ввели **гипотезу Максвелла-Больцмана**, так как считали, что существует однозначный интеграл движения - энергия (при неиспользовании закона импульса).
- 1879 год - Максвелл в год своей смерти **предложил заменить средние по времени средними по ансамблю**, поскольку он считал, что необходимо решить задачу п тел, так как в тот период ещё не существовала молекулярная динамика, в которой максимальное число частиц может составлять до миллиона.
- 1902 год - **появление статистической физики в современном варианте**. Перед самой смертью Уиллард Гиббс пишет книгу "**Основные принципы статистической механики**", где появляется статистический ансамбль Гиббса. Далее из теоремы Лиувилля Гиббс получает уравнение Лиувилля, и по сути получает **кинетическое распределение Гиббса**, первое из которых является каноническим, потом он выводит микроканоническое и большое каноническое распределение. Гиббс честно отмечает, что берет каноническое распределение в таком виде, чтобы получить из него распределение Максвелла как частный случай. Возможно использовать и множество иных вариантов, но они долгое время не использовались, только в 60-х годах исследователи, которые занимались биофизикой, начали варьировать и появилось множество распределений. Сейчас эта проблематика ушла в несколько иную плоскость.

## Статистическая физика

Сначала возникла равновесная статистическая физика, относительно неравновесной статистической физики Гиббс только определил возможные векторы её развития. Эйнштейн относился отрицательно к его методам, потому что подход

Больцмана ему импонировал больше. Методом Больцмана было можно рассматривать не только одночастичную задачу, но и многочастичную, используя некие эффективные поля, Эйнштейн считал, что каждую задачу необходимо решать своим способом. Стоит вспомнить Ньютона, который написал свои уравнения, но не использовал их, решая по Евдоксу и Апполонию. Эйнштейн не был одинок, А.А. Власов, который написал уравнение Власова тоже придерживался данной точки зрения. На данный момент времени все распределения Гиббса признаются. Эйнштейн также отмечал сложность подхода Гиббса.

- 1927 год - предложен **метод Урселла** - первый пример использования метода Гиббса.
- 1946 и 1983 год - вопросы обоснования статистической механики обсуждались весь XX век. Проблемами того, как можно вывести статистическую механику из механики занимался академик **Николай Николаевич Боголюбов**, заведующий кафедрой квантовой статистики и теории поля физического факультета МГУ им М.В. Ломоносова. В указанные годы вышли его наиболее известные работы: в 1946 году он дал **математическое обоснование микроскопической теории сверхтекучести**, 1983 году он считал более важным большое количество частиц, потому что к этому времени появились работы **Я.Г. Синая**. В них описывалась ситуация с двумя частицами и специальными областями, и эргодична система, то есть статистическая. Например, система гармонических осцилляторов - твердое тело - неорганическая, и к ней применяется статистическая физика твердого тела. Это означает, что очень важно, чтобы число частиц было большим.
- 1946 год - выходит работа Н.Н. Боголюбова, где появляется **метод для неравновесных процессов**. Далее появляются **квантовые аналоги, решаются модельные задачи, формулируются теории возмущений и вариационные принципы**. Всё это привело к завершению процесса формирования статистической физики как науки, как равновесной, так и неравновесной.
- в конце 40-х годов - в данной области возникают проблемы, которые были связаны с тем, что появляется необходимость рассчитывать очень сложные технологические процессы, связанные с развитием атомных проектов. Расчеты производились на пределе возможностей существующей вычислительной техники. В Америке появляются **первые вычислительные машины**, правда, довольно неэффективные, в России такие расчеты производились большим количеством людей с помощью арифмометров. Эта проблема привела к появлению систем, которые начали принципиально по-другому производить расчеты.
- с конца 40-х годов - происходит **развитие вычислительной техники**.



- с начала 50-х годов - **начало использования метода молекулярной динамики и метода Монте-Карло**. Первое, что поразило исследователей, что при их использовании считалось распределение Максвелла в случае с 8 частицами.
- начало 50-х годов - появляется **моделирование систем из десятков частиц**. С помощью счетных машин был подсчитан пятый вириальный коэффициент для системы твердых сфер, четвертый почти точно досчитал Больцман, с тех пор почти 50 лет не было никакого прогресса. То же было подсчитано для систем с потенциалом Леннарда-Джонса.
- конец 50-х годов - открыт **фазовый переход в системе твердых сфер**, что принципиально все изменило, далее процесс приобрел характер снежного кома.

В последующее время появляются компьютерные методы в физике, конструируются новые системы, включая наносистемы.

## Электродинамика

Общепризнано, что электродинамику создал британский физик **Джеймс Клерк Максвелл** (1831-1879), который родился в Эдинбурге, где и получил образование, далее он продолжает обучаться и работать в разных странах. Он создает электродинамику написав три статьи с 1855 по 1864 годы. Его жизнь сложилась в определенном смысле трагически, так как в 1866 году во время верховой езды в своем родовом имении Максвелл упал с лошади и получил серьезную травму. В 1870 году он уже может работать и создает Кавендишскую лаборатория. В 1873 году все свои работы по электричеству и магнетизму Максвелл собирает в одну книгу "**Трактат по электричеству и магнетизму**". Предыдущие статьи ученого описывали построение моделей и предполагали "отгадывание" уравнений их работы с помощью гидродинамических соотношений, когда этого становилось недостаточно, то он вводил гипотезы. Максвелл проводил аналогию со строительством дома, при котором используются строительные леса, в дальнейшем от них избавляются, ученый также поступает в 1873 году со своими моделями. В итоге остается два постулата и то, что было известно к данному моменту времени - законы Кулона, закон Био-Савара-Лапласа, закон Фарадея и другие. Во вводной части к своей работе ученый пишет, что исходит из метода близкодействия, в отличие от немецкого принципа дальнего действия (Вебера), и использует две гипотезы:

1. **Гипотеза о токе смещения.**
2. **Гипотеза об электротоническом состоянии**, которая заключается в следующем: если в опыте Фарадея переменное или вихревое магнитное поле создает переменное электрическое поле, то у Максвелла вихревое электрическое поле должно создавать вихревое магнитное поле. В этом случае получается замкнутая система и появляется уравнение Максвелла.

- в первом томе "Трактата по электричеству и магнетизму" Максвелла описываются - **электростатика и постоянный ток**.
- во втором томе - **магнетизм, электромагнетизм и электромагнитное поле**.

## Электромагнитные волны

Теорий электродинамики существовало большое количество, какая из них правильная - было неизвестно, поэтому теории использовались учеными, исходя из личных предпочтений. Так как в тот период токи были слабые, то все теории электродинамики давали одинаковый результат. Аналогичная ситуация сложилась в настоящее время с теориями гравитации, которых существует значительное количество, при том, что главной считается теория Эйнштейна. Это приводит к массе проблем, как и в случае с электродинамикой.

- 1887 год - проводятся опыты **Генриха Герца**, который выполнял волю своего учителя Гемгольца, поручившего ему доказать правильность своей электродинамики. С помощью созданных вибраторов и проведенных опытов Герц установил, что правильной является электродинамика Максвелла.
- с 1895 года - серьезно стали исследовать электромагнитные волны, когда **Петр Николаевич Лебедев** кроме открытия давления света повторил опыты Герца, то получил длины волн в 20 раз короче. Он исследовал **пандерматорные действия электромагнитных волн на резонаторы**.
- 1896 год - электромагнитные волны получили реальное применение в виде **радио**, которое изобрел **Александр Степанович Попов**. С его авторством не все были согласны, что в 60-х годах XX века привело к формированию специальной международной комиссии, которая установила, что А.С. Попов действительно является первым изобретателем радио, а Гульельмо Маркони удачно запатентовал это открытие А.С. Попова.

В результате происходящих в физике событий электродинамика Максвелла стала общепризнанной, особенно после того, как П.Н. Лебедев в самом начале XX века открыл давление света на твердые тела, а затем и на газы, что убедило многих ученых.

## Лекция 9. Период неклассической физики

### Проблемы в физике на рубеже XIX и XX веков

Сегодня мы начинаем большой раздел курса "История и методология физики", который называется "Современная физика". Под современной физикой мы имеем ввиду ту физику, которая началась в начале XX века. Историки науки определяют этот период по-разному, мы рассмотрим период неклассической физики - первый подпериод большого этапа, который включает в себя первые 85 лет XX века. На рубеже XIX и XX веков в физике возник кризис, который не был связан с определенным открытием и вызванной этим дискуссией. Ретроспективно рассматривая тот период, мы точно можем констатировать наличие кризиса, который вызвал ряд новых и старых проблем:

- **Проблема теплового излучения - ультрафиолетовая катастрофа.** Тепловое излучение было открыто задолго до изучаемого нами периода, к этому времени уже были известны: спектр излучения, закон Стефана-Больцмана, закон Вина и закон Рэлея-Джинса. Если использовать то, что уже было известно, а также исходить из классической физики при отсутствии формулы Планка, то при взятии интеграла получалась расходимость. Она возникала из-за того, что спектральная плоскость неправильно себя ведет в ультрафиолетовой области, поэтому такая расходимость получила название ультрафиолетовой катастрофы - некой аллегории. **В 1900 году Макс Планк выводит свою формулу**, при этом он ввел гипотезу, которая никоим образом не укладывалась в рамки классической физики. Важно обратить внимание на то, что Планк получил свою формулу, рассматривая термодинамику, а уже потом ввел дискретность энергии.
- 1895 год - **открытие X-лучей Вильгельмом Рентгеном**, который в 1901 году получил за него первую Нобелевскую премию по физике. Проблема заключалась в том, что открытые им лучи являлись очень необычными с точки зрения классической физики и вызвали массу гипотез относительно их природы, при том, что в тот период у ученых было достаточно смутное представление о том, что такое электрон и существует ли он.
- 1897 год - **открытие электрона Джозефом Джоном Томсоном**, после которого начинаются исследования поведения электрона. 1901 год - в ходе исследований **Вальтер Кауфман** обнаружил, что **масса электрона зависит от скорости**, что также являлось необычным явлением. Все это повлекло активное обсуждение и привело к возникновению изречения "материя исчезла", которое подразумевает, что материя исчезла как категория.
- 1887 год - открытие внешнего **фотоэффекта Генрихом Герцем**, которое приводит к дальнейшим исследованиям, Герц не очень активно этим занимается, в отличие от **Александра Григорьевича Столетова**. В результате проведенных

исследований появляются законы, которые не объясняются классической физикой.

- 1896 год - **открытие радиоактивности Антуаном Беккерелем**. В этой проблеме главным был вопрос о происхождении такого значительного количества энергии, так как очень малое количество вещества испускало невообразимое количество энергии.

## Возникновение теории относительности

Вышеперечисленные проблемы привели к возникновению понимания, что физика должна измениться, но делать это она начинает постепенно. Этот процесс начинается с того, что принято называть, следуя Эйнштейну, специальной теорией относительности. Её возникновение не было разовым актом открытия, когда появление теории относительности связывают с именем Эйнштейна, то необходимо иметь в виду, что у него вся имеющаяся информация была изложена в одной работе, что можно сравнить с работой Ньютона, где была изложена механика, хотя множество содержащихся в ней законов были известны и до него. Поэтому, рассматривая вопрос о возникновении теории относительности, сначала необходимо познакомиться с тем, что делал **Хендрик Лоренц**, который в этой области начал работать раньше остальных ученых, затем рассмотреть работы **Анри Пуанкаре** и **Эйнштейна**, а завершить рассмотрение исследованиями **Германа Минковского**. Считается, что главный вклад в данную область внесли именно эти четверо ученых, совместными усилиями которых была создана специальная теория относительности.

## Развитие представлений о принципе относительности

Чтобы рассмотреть этот вопрос, необходимо предварительно ознакомиться с развитием представления о принципе относительности, которое возникло ещё в глубокой древности. Обратим внимание, что Максвелл построил электродинамику для неподвижной системы отсчета, но проблему движущихся тел и преобразования уравнений при этом он решить не смог. В попытках решить эту задачу Максвелл рассматривал проводник и получил частную формулу. Таким образом, возникла **проблема построения электродинамики движущихся тел** - преобразование от неподвижной энергии к движущейся системе координат, а по сути того, что называется специальной теорией относительности в рамках электродинамики. То, что это захватывает также другие разделы физики, включая механику, ученые понимали, но способов разрешения этой проблемы не в этот период не существовало. **Математический аппарат принципа относительности возникает примерно к XVIII веку.**

- 1728 год - **Джеймсом Брайлем** была открыта абберация света. Английский астроном достаточно быстро понял, что звезды совершают движение в течении года по причине того, что скорость света конечна. Тогда возникла

необходимость в модели, которая объясняла бы, как свет движется в среде. Было выдвинуто несколько гипотез:

- **все пространство заполнено эфиром**, без которого нельзя обойтись, так как свету необходимо где-то распространяться;
- **эфир мог быть неподвижным или двигаться**, что могло быть связано с Землей;
- вариант, при котором эфир **частично увлекался**.

Когда мы говорим о понятие "**эфир**", которое существовало в тот период, и даже о современном его варианте, то обсуждаем явление, про которое Эйнштейн говорил, что при его достижениях ему не нужна модель эфира. Бродлей решил аберрацию света простым образом: он считал эфир неподвижным, а луч света распространяется в нем за счет того, что он имеет конечную скорость. Таким образом английским астрономом была **определена скорость света**.

- 1810 год - **Франсуа Араго** заинтересовался вопросом **зависимости показателя преломления призмы от местонахождения источника света**, например, свечи на Земле и звезды. По результатам проведенных измерений французский физик и астроном определил, что такой зависимости нет, правда и то, что обнаружить её при существующей точности было невозможно. Но факт, что Араго это обнаружил, вошел в историю как некое утверждение, которому не должны были противоречить последующие теории, формулируемые в данной области. Опыт Араго был уже объяснен **Френелем**, его модель была не такая сложная как у Лоренца и его преобразований. Он определял аберрацию света в рамках частичного увлечения эфира, упругость которого не меняется, а плотность разная: внутри движущегося тела и снаружи тела.
- 1848 год - в рамках эфирной теории после открытия теории Доплера этому явлению было дано объяснение.
- 1887 году - **Вольдемар Фогт** поставил задачу нахождения преобразований, которые оставляют инвариантными волновые уравнения, которые, например, можно получить из уравнения Максвелла. В то время уже был известен опыт Альберта Майкельсона, но Фогт решал абстрактную задачу, которая в дальнейшем привела к открытию преобразования Лоренца.
- 1877 - 1883 годы - **Майкельсон** проводит серию опытов по измерению **скорости света** и получает результаты. Поскольку появляется эфирная теория, то должен был возникнуть **эфирный ветер**, для его обнаружения Майкельсон проводит эксперимент и не обнаруживает данное явление. Существует масса толкований этого эксперимента, в которых используются всевозможные подходы, но с точки зрения истории формально считается, что это повлияло на

всех ученых, которые создавали специальную теорию относительности, потому что в процессе их создания было необходимо удовлетворять требованиям как опыту Майкельсона, так и опыту Араго.

**Теория электродинамики движущихся тел** до специальной теории относительности была создана **Генрихом Герцем**. Немецкий физик не претендовал на создание некоей общей теории, он исходил из теории полностью увлекающегося эфира, а частные производные изменил на субстанциональные таким образом, чтобы удовлетворить неким соглашениям. В итоге Герц получил систему уравнений, после чего ученые стали производить опыты, чтобы определить достоверность его теории.

- 1876 год - первым появляется опыт **Генри Роуланда**, в котором американский физик доказал, что конвекционный ток свободных зарядов в движущемся проводнике по своему магнитному действию тождествен току проводимости в неподвижном. Руланд подтвердил правильность теории Герца.
- 1888 год - **Рентген определяет магнитное поле диэлектрика**, который движется в электрическом поле (у него диэлектрик был однородный), его эксперименты показали, что теория Герца ни с чем не вступает в противоречие.
- 1900 год - **Джозеф Лармор** выводит **преобразование Лоренца** и публикует их. На эту работу не было обращено никакого внимания, потому что не существовало идей - где и как возможно эти преобразования использовать. Но частота прецессии ядер или **Ларморова частота**, открытая ирландским физиком и математиком. в науке вошла.

## Теория Лоренца

Хендрик Лоренц первым начал исследовать данную проблематику, ученый длительное время рассматривал способы нахождения векторов электрического и магнитного полей в движущейся системе отсчёта и постепенно двигался в направлении преобразований Лоренца. Вначале они получались как некое приближение, и не имели корня.

Примерно в 80-х годах XIX века Лоренц предлагает вариант теории, которую можно сформулировать с помощью следующих постулатов:

- Необходимо исходить из теории неподвижного эфира.
- В неподвижном эфире есть движущиеся заряженные частицы, которые создают некие поля. Неподвижный эфир представляет собой ньютоновское пространство, а поля должны подчиняться уравнениям Максвелла, поскольку система неподвижна. Между частицами действует сила Лоренца - сила, с которой электромагнитное поле, согласно классической электродинамике, действует на заряженную частицу.

- На макроуровне: если тело неподвижно, то при усреднении микрополей должно получиться уравнение Максвелла. Рассматривая ситуацию, когда тело движется, при усреднении **Лоренц получает уравнение Лоренца**.

После того, как Майкельсон ставит опыт по измерению скорости света, возникает проблема, что делать с эфиром. Так как опыт показывает отсутствие ветра, то необходимо сформулировать не противоречащую этому теории, тогда в 1892 году Лоренц и **Джордж Фицджеральд** (независимо от Лоренца) вводят гипотезу о сокращении размеров движущихся тел в направлении движения. Таким образом снимется проблема опыта Майкельсон.

1904 год - Лоренц после 20 лет изысканий получает преобразования, которые из-за неправильного выражения для заряда являются неточными. В теории Лоренца присутствуют: неподвижный эфир, реальные тела и измерения, которые могут показывать кажущиеся изменения длины и времени. Эйнштейн по сути получил те же преобразования, его теория отличается от теории Лоренца нашим общефилософским взглядом на этот вопрос.

## Работы Пуанкаре

Анри Пуанкаре был математиком, физикой он занимался меньше, но сделал много и в данной области. Исследователи отмечают, что работы Пуанкаре в области физики реализованы более красиво и в более обобщенном виде, чем у многих физиков.

- 1898 год - Пуанкаре задолго до Эйнштейна анализирует **понятие одновременности** и **вводит то понятие синхронизации**, которое в дальнейшем считается открытием Эйнштейна - это соглашение о синхронизации часов в разных местах посредством обмена сигналами.
- 1900 год - **Лармор получает преобразование Лоренца**, на которое Пуанкаре обращает внимание позже. В этом году состоялась Всемирная выставка в Париже, где Пуанкаре выступал на многих мероприятиях. На выставке выступал с докладом и **Петр Николаевич Лебедев**, русский физик, первым подтвердивший на опыте вывод Максвелла о наличии светового давления. **Дмитрию Ивановичу Менделееву** конференция в Париже не понравилась, он написал, что зря туда приезжал, так как ничего толкового ему услышать не довелось. Выдающийся русский ученый-энциклопедист был человеком прагматичным и занимался наукой на результат.
- 1905 год - используя принцип относительности, **Пуанкаре получает преобразование Лоренца** (независимо от Лармора) и называет их "преобразования Лоренца". Именно с этого момента такое их наименование закрепляется в физике. Пуанкаре порицает Лоренса за то, что тот особо не учитывал принцип относительности, из-за чего и возникали проблемы.

Далее Пуанкаре доказывает, что преобразования Лоренца образуют группу, вводит четырехмерное пространство, создает математические основы теории относительности, а также обобщение принципа относительности на все физические явления.

## Теория Эйнштейна

В 1905 году Альберт Эйнштейн публикует в "Annalen der Physik" свою знаменитую работу "**К электродинамике движущихся тел**". В ней сформулирована вся теория относительности и нет ни одной ссылки, поэтому по различным причинам эта работа вызывает к себе повышенный интерес. Многие ученые считают, что именно с этой публикации Эйнштейна начинается специальная теория относительности, в отличие от общей теории относительности. Статья Эйнштейна является классической работой, где очень ясно и понятно изложена теория, она состоит из:

### Преамбула:

- преамбула начинается с того, что **электродинамика Максвелла**, с точки зрения Эйнштейна, **ассиметрична**. Потому что, в опыте, когда магнит движется, а контур, где возникает ток, неподвижен - это одна ситуация, если наоборот - другая. Эту асимметрию было необходимо исключить, в школьной программе по физике имеются задачи, например, электромагнитной индукции, которые решаются одним способом, а задачи на силу Лоренца решаются по-другому, что довольно странно, потому что оба вида задач должны решаться единообразно.
- дается утверждение, что у Эйнштейна нет необходимости ни в подвижном пространстве, ни в эфире. Это было большим плюсом, потому что устройство эфира являлось загадкой, так как данное явление является гипотезой. Его исключение обозначало освобождение сразу от многих излишних параметров.
- вводится два принципа: **принцип относительности и принцип постоянства скорости**. Принцип постоянства скорости Эйнштейн формулирует в разных местах немного по-разному: в одних - как независимого только от источника скорости, во-вторых - от приемника, в-третьих, и от того, и от другого.

### Часть 1 - кинематическая:

- вводится **понятие покоящейся системы**, без которой нельзя было обойтись. Это была та покоящаяся система, где справедливы законы Ньютона, то есть это одна из инерциальных систем.
- Эйнштейн объясняет, что такое **одновременность в покоящейся системе**, как необходимо синхронизировать часы и предлагает процедуру, которая основана на независимости скорости света в пустоте от направления распространения.



- Эйнштейн описывает опыты и приходит к **соотношению для изменения длины и промежутков времени.**
- Далее Эйнштейн дает разъяснения относительно того, почему описываемые им явления не противоречат принципу относительности.
- После всех вводных замечаний он приходит к **преобразованию Лоренца.**
- В самом конце 1 части он вводит **релятивистскую формулу для сложения скоростей.**

## Часть 2 - электродинамическая:

- те же аспекты рассматриваются Эйнштейном для электромагнитного поля и дает выражение для **релятивистской формулы Доплера.**
- введена некая **зависимость массы от скорости**, которая появляется в случае, если мы считаем, что  $p = mv$ , релятивистская инвариантность предполагает наличие импульса и координат, а скорости движения тела быть не должно.
- дано выражение для **кинетической энергии.**
- 1905 год - выходит работа Эйнштейна "**Зависит ли инерция тела от количества содержащейся в нем энергии**". В этой статье на основе полуинтуитивных соображений сначала появляется та формула, которую теперь принято писать, как  $E = mc^2$  - **релятивистское выражение для энергии.**
- 1907 год - у Эйнштейна появляется первая ссылка на Лоренца, а также выходит значительное число работ, к этому времени он занимался уже множеством аспектов различных задач в физике. Необходимо четко понимать, что именно сейчас признается важность работ известного физика-теоретика, который получил Нобелевскую премию в 1922 году всё же за **теорию фотоэффекта.** Первое признанное открытие Эйнштейна - это гальванометр. Таким образом, деятельность ученого и то, что останется от его работы в истории и практике науки – это разные явления и очень сложный вопрос. Это относится и к фигуре Ньютона, который создал теорию преломления, где частица света, подлетая к телу, затягивается в него, ускоряясь при этом, и к Максвеллу, и к Галилею, который считал своей главной заслугой объяснение причин отливов и приливов. То, что эти ученые считали верным, в дальнейшем оказывалось ошибочным. Своей величайшей ошибкой Эйнштейн считал введение лямбда-члена, при котором расширяющаяся Вселенная превратилась в стационарную. Со слов Виталия Лазаревича Гинзбурга Ландау запрещал даже упоминать о нем.

## Работа Минковского

Когда рассказывают о деятельности Германа Минковского, то вначале упоминают его доклад 1908 года, который он сделал для медиков и биологов.

Немецкий математик, во-первых, исходил из того, что мы живем в **четырёхмерном пространственном**, причем это не формальное пространство как у Пуанкаре, а именно реальное, в котором мы живем, во-вторых - вместо тех постулатов, которые вводили Лоренц и Эйнштейн, он предлагает один **постулат, который является выражением интервала**. Он считал, что если постулировать интервал в выражениях, то сразу возникает метрика, и этого достаточно, потому что дальше он развивает очень серьезную математику, в результате чего возникает то, что мы называем теория относительности или специальная теория относительности. Судьба явно не охраняла Минковского, который умер через два года. Сторонники Эйнштейна придерживаются точки зрения, что он просто развил аппарат специальной теории относительности. На идеологическую часть его работы и различия никто не обращал внимания достаточно долго, хотя в самом начале XX века были ученые, которые считали, что не все так просто в данной области физики.

### Опыты Эйхенвальда

- **1901 - 1903** - Александр Александрович Эйхенвальд, профессор Московского университета работает вместе с Петром Николаевичем Лебедевым. В то время, когда Лебедев занимался определением давления света, ещё молодой Эйхенвальд **обобщил опыты Роуланда и Рентгена**, сделав их более точными. В частности, при движении диэлектрика в неоднородном электрическом поле измерялось магнитное поле. Если данные измерения проводить грамотно, то получается, что теория Герца неверна, а значит необходимо было выбрать другую теорию. В это время другой теорией становится теория относительности, у Лоренца существовал один из её вариантов, который в отличии от остальных авторов в некотором приближении представил формулы. Важно помнить, что данная тематика в тот период находилась на переднем крае науки.
- 1905 год - П.Н. Лебедев делает доклад на Всемирной выставке в Париже, Эйхенвальд также присутствует на ней. Его статьи опубликованы в многих международных журналах, в дальнейшем он не возвращается в Россию из зарубежной командировки, что исследователи связывают с плачевным состоянием здоровья ученого.

### Споры вокруг понимания теории относительности

Возникшая теория относительности меняла представления людей, которые жили в тот исторический период, о пространстве и времени, вводя четырехмерное пространство, изменение длины и массы. Мы не будем рассматривать философские споры по поводу теории относительности, так это было особым явлением, а ознакомимся со спорами физиков. Сторонники Эйнштейна составляли большинство, следом шли сторонники Лоренца. Главным предметом разногласий являлся вопрос о том, меняется ли длина. Лоренц считал, что это кажущееся явление, что эфир

существует, и это ничему не противоречит, а у Эйнштейна было другое философское разъяснение. Эти противоречия проявились примерно к 1910 году, тогда было обозначено понимание этого вопроса как философского, а не физического, тогда было предложено прекратить споры, так как формулы являются одинаковыми. Примерно до середины XX века на первый план выходит теория Эйнштейна, её стали называть специальной теорией относительности, а про Лоренца в лучшем случае забывают, в худшем - серьезно критикуют за наличие эфира. Такое положение вещей сохраняется до тех пор, пока в квантовой механике не появляется **физический вакуум** и открытия конца 40-х годов, тогда отношение к эфиру становится менее однозначным. И уже во второй половине XX века отношение к теории Лоренца становится менее агрессивным.

В первой половине XX века после возникновения теории относительности возникает известный парадокс - это **парадокс близнецов**. Считается, что в форме парадокса **эффект релятивистского замедления времени** сформулировал в 1911 году **Поль Ланжевен**. Суть этого мысленного эксперимента, который в каком-то смысле опровергает теорию относительности, проста: к рассмотрению предлагается ситуация с двумя братьями-близнецами, когда один из них отправляется в полет по прямой, а второй остается на стартовой позиции; улетевший брат долетает до определенной точки, разворачивается и летит обратно на Землю, но когда он прилетает, то встречает вместо брата-близнеца дряхлого старика, так как, согласно специальной теории относительности, время путешественника в полете шло медленнее. В этом случае парадокса нет, но стоит посмотреть с другой стороны: если неподвижным считать брата-путешественника, а летающим оставленного на старте брата, тогда меняется система отсчета - в этом и заключается парадокс. Ланжевен нашел ответ на этот парадокс: он обратил внимание на то, что при развороте брата-путешественника для возвращения на Землю возникает **неинерциальная система отсчета**, значит в этом случае специальная теория относительности не работает. Таким образом эта проблема была решена, кроме того в обиход подспудно вошло представление, что в специальной теории относительности нельзя использовать системы, которые движутся с ускорением. Решенные таким образом задачи известны, но в других подходах.

Проблематика, которая связана с парадоксом близнецов, стала интересна исследователям, когда во второй половине XX века были запущены первые ракеты-спутники. Также их обсуждали, когда Эйнштейном была создана общая теория относительности, которая не обозначает дополнительное обобщение существующей теории, а является **теорией гравитации с учетом релятивизма**. Теория гравитации до релятивизма была ньютоновской, Эйнштейн сделал её релятивистской.

### Споры сторонников Эйнштейна и Минковского

В первой трети XX века **Рейхенбах** обратил внимание на то, что в методе синхронизации часов предполагается, что световой сигнал, который отражается от зеркала и приходит обратно, распространяется туда и обратно с одной и той же скоростью. Отдельно измерить его скорость независимо по прямой в то время было

невозможно, поэтому скорость света измерялась туда и обратно, а это предполагало возможность ввести некий параметр, от которого будет зависеть ответ. Таким образом, если параметризовать условия синхронизации, то возникают некие варианты. Рейхенбах полагал, что условие синхронизма не является эпистемологической необходимостью. В связи с этим, приблизительно в 60-х годах **А.А. Логунов**, став ректором Московского университета, начал продвигать идею о необходимости видоизменения взглядов на специальную теорию относительности. Он предложил считать первичным не подход Эйнштейна с двумя постулатами, а подход Минковского, в котором постулатом является выражение, которое определяет метрику. Это вызвало массу споров, но А.А. Логунов акцентировал внимание на том, что в действительности специальная теория относительности не используется учеными для рассмотрения систем, которые движутся с ускорением, а если вывести на первый план подход Минковского, то такой подход становится возможным развить. Но это оказалось не такой простой задачей, потому что было необходимо посчитать данные многочисленных аппаратов, которые летают над Землей, и сравнить их с подсчетами, которые делаются в рамках других подходов. Таким образом, можно констатировать, что существовал подход А.А. Логунова, который развивался довольно долго, но общепризнанным он не стал, в настоящее время каждый исследователей использует подходы релятивистской теории так, как он считает необходимым. Так как формулы едины, то остальное является в некотором смысле вопросом веры. Начиная с Максвелла, у физиков не принято обсуждать данные вопросы, до этого о своих взглядах публично заявлял Фарадей, который отмечал, что признает определенную церковь, а также Больцман, который признавал веру в бога, чтобы его не записали в атеисты, что было крайне нежелательно в том случае, если ученый являлся преподавателем в Венском университете в тот исторический период, когда Больцман занимал эту должность.

## Лекция 10. Развитие квантовой механики

### Гипотеза Планка и её развитие

Сегодня мы продолжаем изучать большой период, который называется современной физика, а конкретно ту его часть, в которой происходит становление неклассической физики. На прошлой лекции мы рассматривали особенности возникновения специальной теории относительности, сегодня лекция посвящена развитию квантовой физики.

Гипотеза Макса Планка была введена в физику в 1900 году, считается, что с этого момента начинается квантовая физика как таковая. Эта гипотеза сильно отличалась от той классической физики, которая существовала до этого времени. Гипотеза Планка была введена с целью решить проблему теплового излучения. Чтобы получить ту формулу, которая теперь называется формула Планка, немецкому физику-теоретику пришлось предположить, что излучение не является непрерывным и возможно представление о разделении его на некие порции. Используя это представление, из неких общих принципов Планку удалось получить ту же самую формулу, которая была получена им из термодинамики в более ранний период. Научное сообщество оценило её как необычную, но и то, что она совпадает с экспериментом, на том историческом этапе тоже было абсолютно понятно. Это мнение сохранялось практически до конца XX века, когда исследователи стали изучать очень мощные потоки излучения, которые связаны с эффектами нелинейного излучения, то есть фотоны считаются не идеальным газом (очень хорошее приближение), а уже существуют ситуации, когда учитываются и квантовые эффекты, и множество других факторов. По большому счету свет изначально квантовый, но уже в конце XX века появились новые эффекты, которые в известных пределах не укладывались в формулу Планка для абсолютно чёрного тела, когда излучение нормальной плотности, а не экстремальной.

- 1905 год - Эйнштейн (1879 – 1955) дает **объяснение явлению фотоэффекта**, но добавляет в вспомогательную гипотезу Планка нечто новое, считая, что само **излучение существует в виде квантов света**. За явление фотоэффекта Эйнштейн получил свою единственную Нобелевскую премию, за все остальные свои открытия ему досталось большое признание.
- 1907 год - Эйнштейн построил **первый вариант теории твердого тела** при низких температурах и получил выражение для теплоемкости в так называемом эйнштейновском приближении: энергия осциллятора меняется квантованным образом и при взаимодействии их друг с другом, а не только с излучением. Атомы как бы привязаны к точкам на неких гармонических пружинках и колеблются независимо, в итоге выводится формула для теплоемкости, которая позволяет описать тот факт, который в то время уже был известен: теплоемкость, в отличие от закона Дюлонга-Пти, стремится к нулю при

температуре, стремящейся к нулю, а отнюдь не является константой или какой-то другой величиной. Эйнштейн, конечно, понимал, что его модель очень приближительная, что необходимо учитывать корреляции и корреляционные эффекты. В его работе учитываются корреляции второго порядка, то есть наличествует более сложная формула, что приводит к большему согласию с экспериментом, чем в моделях, когда все независимы.

- 1909 год - Эйнштейн доказывает, что **свет одновременно обладает и волновыми и корпускулярными свойствами**. Для этого он изучает флуктуацию давления на пластинку, помещенную в полость с излучением, в результате получает два слагаемых, которые являются слагаемыми в том случае, когда свет является непрерывной средой, а с другой стороны, есть часть, когда свет определяется свойствами, показывающими, что он явно состоит из частиц.
- 1911 год - проходит первый **Сольвеевский конгресс**, на который собираются самые известные физики того времени. Это были физики и старого, и нового поколений, Альберту Эйнштейну в это время было 32 года, он считался уже солидным физиком. На конгрессе обсуждались вопросы, которые были связаны с новой физикой и с той гипотезой, которую ввел Планк. Ученые почти единогласно пришли к выводу, что классическое объяснение его гипотезе дать невозможно, правда, сам Планк с этим был не согласен. В тот период он был существенно старше Эйнштейна и прожил длительную жизнь, умерев в районе 100 лет сразу после окончания Второй мировой войны, всю свою жизнь Планк пытался перевести свою гипотезу на классический язык, но ему так и не удалось изгнать постоянную Планка из уравнения Планка. Актуальность этой темы на конгрессе объяснялась тем, что введение гипотезы Планка, а тем более всего того, что потом сделал Эйнштейн, возвращало ученых, которые только начали заниматься в предыдущие 50 лет интерференцией, дифракцией и волновой оптикой, к физике Исаака Ньютона. В физике Ньютона существовали проблемы с интерференцией и дифракцией, а как решать проблемы квантовой электродинамики в тот период времени никто не знал, и в настоящее время эти задачи являются очень сложными.
- 1912 год - **Макс Борн и Теодор Карман развили теорию Эйнштейна теплоемкости и твердого тела, основанную на новых представлениях**. Они получили **формулы, которые позволяли считать спектры**, таким образом они полностью решили проблему гальванического кристалла, но в то время не было компьютера и их разработки упирались в возможности реального подсчета. Идеи Борна и Кармана стали осуществляться только в 50-е годы XX века, когда появилась возможность реально посчитать спектры и другие явления. В 30-х годах эта теория тоже развивалась, но это была очень тяжелая задача, так как твердое тело считалось только эксклюзивным образом.

## Опыты Резерфорда, развитие теории Бора и её трудности

- 1909 - 1911 годы - Эрнест Резерфорд проводит серии экспериментов по рассеиванию альфа-частиц, в результате которых становится совершенно ясно, что та модель атома, которая существовала до этого момента (положительное желе, в которое вкраплены электроны), является неправильной.
- 1911 год - Резерфорд вводит планетарную модель атома, которая проистекает из его экспериментов. Он понимал все риски и проблемы, которые возникают в результате введения данной модели, самая известная из них состояла в том, что при движении с ускорением электроны должны излучать. Далее было необходимо считать, но в тоже время не существовало теории.
- 1912 год - Резерфорд вводит термин "ядро", которого не существовало до этого периода. С этого момента начинается ядерная физика.
- 1904 год/1911 год - появляется модель атома Джозефа Джона Томсона и модель Эрнеста Резерфорда, первая модель - "пудинговая модель атома", вторая - то, что называется планетарной моделью. Модель Резерфорда соответствует экспериментам по рассеиванию, зато модель Томсона позволяет описать все спектральные линии без квантовой механики. Далее начинаются многочисленные попытки обосновать планетарную модель, естественно, с позиций классической физики, как подступиться к ней с точки зрения квантовой физики ученые тогда ещё не знали.
- 1913 год - Нильс Бор приезжает из Дании на стажировку к Резерфорду, в результате проведенных исследований он пишет свою первую статью "О строении атомов и молекул". Бор предлагает решить проблему следующим образом: ввести пять постулатов, в рамках которых предлагаются методы расчета новой планетарной модели. Вначале Резерфорду (который был руководителем лаборатории, но ещё и являлся редактором ключевого журнала) очень не нравятся идеи Бора, который был человеком упорным и в итоге уговорил британского физика. К этому времени у Бора уже вышло три статьи, которые назывались одинаково, но являлись разными частями, пять постулатов Бора появляются в последней из них. В своих работах датский физик-теоретик дает объяснение спектральных закономерностей водорода, и в итоге через постоянные, которые в то время уже были известны, Бор производит вычисление постоянной Ридберга, которую можно было проверить экспериментально. Согласие оказалось очень хорошим, что утвердило Бора в его изысканиях. В дальнейшем, когда он сам писал на эту тему, как и другие ученые Бор сокращал количество своих постулатов. В школьных учебниках осталось только два из них, но важно иметь ввиду, что с помощью всего 2-3 постулатов произвести расчеты не представляется возможным.

- 1914 год - **Илья Михайлович Франк** и **Генрих Герц** проводят опыты, в результате которых теория Бора получила подтверждение, а все предложенные им правила расчета оказались верными.

В итоге в физике появляется теория Бора, постулаты которой было необходимо принимать на веру, что нравилось не всем представителям научного сообщества.

### Развитие и трудности теории Бора

- Происходит **усложнение модели атома**, то есть физики понимают, что кроме атома водорода существуют более сложные атомы, в результате они попытались усложнить теорию Бора. Вначале мало что получалось, но понемногу процесс пошел.
- Происходит **обобщение правил квантования** - одного из постулатов Бора, для случаев, когда имеется много переменных, появляется возможность решать более сложные задачи.
- Происходит **учет релятивистских эффектов и объяснение опытов Питера Зеемана и Йоханнеса Штарка**.

К 1920 году все известные эффекты, которые сейчас изучаются в квантовой механике, в рамках теории Бора были классически просчитаны. Квантовая механика упорядочила, но численно ничего не поменяла, кроме незначительных моментов.

В теории Бора присутствовала ещё одна сложность, которая была связана с вопросом, как находить интенсивность спектральных линий. Дело в том, что в классической физике ясно, как находится их интенсивность. Тогда Бор предложил некий принцип соответствия, который заключался в следующем: при рассмотрении квантового случая излучение происходит при переходе из вышестоящего уровня атома на нижестоящий; при условии, что расстояние между уровнями относительно уменьшается, но номер увеличивается очень сильно, в итоге необходимо перейти в классическую область. Как считается интенсивность в классической области было известно из электродинамики, тогда Бор предлагает следующий вариант: при записи некоего квантового выражения формально происходит переход к  $N$  уровня, где получается формула. Все что известно при  $N$  (большом), является верным при  $n$ , таким образом были заложены правила игры. В итоге Бор использовал принцип соответствия, получил интенсивность линий спектра, правила отбора которых были следующие: если она равна нулю, то такой линии нет. Таким образом к 1920 году возникло **квантовое описание в рамках теории Бора**, кроме этого появляется новый материал, особенно при изучении щелочных металлов. Было определено, что там в спектре возникают некие дуплетные линии, которые необходимо объяснить.

- 1925 год - для объяснения эффекта возникновения дуплетных линий **Вольфганг Паули** высказал **идею о двузначности электрона**, то есть о том,



что электрон в каком-то смысле ведет себя двояко. Далее эта идея быстро стала обрастать всевозможными нюансами. В этом же году Паули вводит принцип подбора, который называется **принципом Паули**. Согласно этому принципу для систем Ферми, две тождественные частицы не могут одновременно находиться в одном и том же квантовом состоянии.

- 1925 год - **Август Карл Кренинг** высказал **гипотезу о существовании у электрона собственного момента импульса**, но нигде её не опубликовал. Она стала широко известной по его выступлениям на конференциях, а **Джордж Уленбек** и **Сэмюэл Гаудсмит** развили эту идею и опубликовали статью. Они предложили простую модель, в которой электрон вращается вокруг своей оси как волчок, именно из-за этого у него возникает магнитный момент. За эту идею, которая впоследствии оказалась неправильной, потому что для того, чтобы получить необходимый момент у электрона, необходимо, чтобы его скорость вращения была больше скорости света, Уленбек и Гаудсмит получили Нобелевскую премию.

Принцип Паули позволил Бору построить **теорию заполнения электронных оболочек**. Это была очень важная задача, которая впоследствии решалась многими исследователями, эта проблематика существует и сейчас, так как не все укладывается в правила Бора и Паули, также в атомной физике существуют правила Хунда и множество остальных. Проблема со временем только усложнялась, так как постулаты Бора признавались необоснованными, а при описании сложных атомов возникают трудности, так как было не донца ясно, как необходимо заполнять электронные оболочки атомов, у которых много электронов. Это привело к попыткам создания настоящей квантовой механики, вместо полуклассической и полуквантовой теории Бора.

### Матричный вариант квантовой механики

- 1925 год - Вернер Гейзенберг (1901 - 1976) создает **первый вариант квантовой механики**. В 1932 году немецкий физик-теоретик получает за это Нобелевскую премию. В наше время получение этой премии для ученого в таком возрасте (31 год) - это немыслимое развитие событий. Гейзенберг писал, что при создании матричного варианта квантовой механики он исходил из изучения двух закономерностей: исследования спектральных закономерностей и теорий дисперсии, которых к тому моменту было известно две:
  - 1921 год - появляется **теория дисперсии Рудольфа Ланденбурга**, где были слагаемые, отвечающие нормальной дисперсии, при которой атом помещается во внешнее поле, и за счет поля происходит возгонка на более высокие уровни.
  - 1924 год - появляется **теория дисперсии Хендрика Крамерса**, который учел, что атомы могут находиться в разных состояниях не только на низшем, но и на

возбужденных уровнях, вследствие чего появляется слабое, которое отвечает за аномальную дисперсию. Квантовая механика по сути не внесла ничего нового в формулы Крамерса, но для Гейзенберга его теория стала путеводной звездой для построения своей теории.

### Основные идеи Гейзенберга:

- главная идея заключалась в следующем: поскольку на микроуровне невозможно измерить положение микрочастиц, то необходимо, чтобы в теорию входили только те величины, которые **измеряются экспериментально**. То есть там не должно быть координат и импульсов как в механике Ньютона, предполагается использование лишь наблюдаемых величин - спектральной линии и интенсивности.
- широко используется понятие "аналогия", которое применяется к классическим величинам: в классических уравнениях движению в каждой величине (например, координате) должно быть **поставлено соответствие** - измеряемая величина на микроуровне. Для этого, например, для ряда Фурье разлагаются  $x$ , в итоге возникает теория, которая после преобразований может свести квантовые соотношения к **уравнениям для двухиндексных величин**. Дело в том, что Гейзенберг был не очень усердным студентом, мимо которого плавно прошли матрицы, но в его теории они были совершенно необходимы, тогда он их изобрел, назвав двухиндексными величинами. Считается, что Гейзенбергом была создана некая доморощенная алгебра матриц, с помощью которой он получил уравнение движения, которое получило название уравнений Гейзенберга. Двухиндексные величины хороши тем, что матричные элементы сплошь и рядом связаны с вероятностями перехода из одного состояния в другое и с интенсивностью.
- в теории Бора в качестве начальных условий возникают перестановочные соотношения - **правила квантования**. Гейзенберг избавляется от перестановочных соотношений для боровских величин и заменяет их перестановочными соотношениями для двухиндексных величин. Таким образом получается некий коммутатор, но ему было мало принципа соответствия, поэтому приходится внести некую гипотезу. В итоге у Гейзенберга получается система, которая позволяет решать **задачи квантовой матричной механики**.
- решение задачи об **ангармоническом осцилляторе** для данной модели обосновывает формулу Крамерса для дисперсии.

Довольно быстро **Бор и Паскуаль Йордан** поняли, что двухиндексные величины - это не что иное, как матрицы и **улучшили математический вариант квантовой механики**. Их усилиями она была "причесана" и выведена на достойный математический уровень. Чуть позднее **Поль Дирак** дал новую интерпретацию того, что сделал Гейзенберг: он предложил ставить в соответствие всем величинам в

классической физике не некоторые индексные величины, а **сопряженные операторы**. В этом случае сразу появляется **уравнение движения для операторов**, что по сути является ещё одним вариантом квантовой механики, который предлагает Дирак. Хотя английский физик-теоретик тоже получил Нобелевскую премию за создание квантовой механики, но как такового нерелятивистского уравнения Дирака мы не знаем. С его именем обычно связано представление о релятивистской квантовой механике.

### Волновое уравнение Шредингера

- 1923 - 1924 годы - появляется диссертация **Луи де Бройля**, где французский физик-теоретик высказал **идею о существовании у частиц волновых свойств** и предложил интерпретировать правила квантования Бора следующим образом: если с каждой частицей связан волновой процесс, то некую длину волны возможно поставить в соответствие с частицами. Стационарными орбитами являются те, где укладывается целое число волн. Классическая физика предполагает, что если в струне возникают колебания, то возможно посчитать сколько укладывается волн в зависимости от их длин, то есть существует решение задач упругости, где появляются целочисленные значения. Вначале Эйнштейн оценил идеи Луи де Бройля негативно, но потом вчитался и на свет появилась та квантовая статистика, которая теперь называется **Бозе-Эйнштейна**. **Шатьендранат Бозе** - индийский физик, специализировавшийся в математической физике.
- 1926 год - тот факт, что с частицами связан некий волновой процесс, был использован Шредингером, который хотел свести задачу квантовой механики к задаче на собственные значения (как в классической физике), для чего он сделал **формальный вывод уравнения Шредингера из уравнения Гамильтона-Якоби**, где хитрым образом выразил формально функцию действия  $E^{h/2\pi\psi}$ . Таким образом он получил новое уравнение для волновой функции  $\psi$ . Когда Шредингер получил новое уравнение, то не очень представлял, что с ним делать по причине того, что при подстановке наряду с обычными членами получаются ещё и квадратичные. Это было релятивистское уравнение для частиц со спином равным нулю, Шредингер изъясил квадратичный член из уравнения и получил уравнение Шредингера. Оно стационарное, но как избавиться от времени Шредингер уже понимал, так появилась задача на собственное значение. Шредингер издал свою первую статью, чем очень обрадовал тех физиков, которые не были сторонниками квантовых явлений, так как дискретные величины получались как решение некой краевой задачи. Далее ученый начал развивать свою теорию, у которой были плюсы, которые состояли в том, что он честно мог посчитать все уровни энергии атома водорода, но как в теории считать интенсивность спектральных линий - было неизвестно. Тогда Шредингер решил вывести своё уравнение по-новому, при этом он исходит из оптико-механической аналогии Гамильтона, который в свое время написал

уравнение Гамильтона. Его аналогия состоит в следующем: имеется пучок частиц и пучок света, между этими частицами, если следовать корпускулярной теории, возможно провести некую аналогию, так как и у того, и другого есть скорость. Как писал сам Гамильтон, у этой аналогии до нет полного соответствия, потому что у света есть понятие длины волны, которого нет у частиц. Поскольку Шредингера знаком с идеей Луи де Бройля, то он добавляет длину волны, что приводит к полной аналогии. В итоге, используя такой подход, Шредингер ещё раз получает свое уравнение, которое дополняет следующими обстоятельствами:

- доказательством того, что его механика и механика Гейзенберга по сути являются одним и тем же, статья Шредингера по этой теме называлась "**Об эквивалентности матричной механики и моей**". Он увидел **тождественность** этих двух подходов в определении дифференциального оператора, тогда интенсивность получалась как некий оператор, а если взять во вкладках, то получается матричный элемент, а это по сути и есть интенсивность, далее он решает оставшиеся проблемы.
- **волновым уравнением, которое зависит от времени**, то есть Шредингер заменяет операторы и энергию с помощью введения нового дифференциального оператора, и получает временное уравнение.

Шредингер осуществляет решение задачи о дисперсии, в итоге появляется **новый вариант квантовой механики**. Невзирая на то, что вариант Шредингера был новым, научное сообщество довольно быстро осознало, что в нем нет ничего классического, а в волновой механике наличествуют всё те же проблемы, которые присутствуют в квантовой механике.

### Интерпретация волновой функции

В уравнении Шредингера появляется **волновая функция**, которая могла быть как действительной величиной, так и комплексной. Комплексные величины в то время уже начали появляться в радиофизике и понимание, как с ними бороться, тоже. Но в случае с уравнением Шредингера дело обстояло несколько хуже, так как была не понятна сама идея волновой функции. Первую её интерпретацию ввел сам Шредингер:  $\rho = e\psi\psi^*$ . Он взял величину  $e$  - заряд электрона, умножил на  $\psi\psi^*$  и посчитал, что эта величина есть плотность заряда электрона, размазанного в пространстве. То есть он предположил, что электрон не является точкой, как обычно считается в классике, а является неким явлением. Шредингеру сразу задали вопрос о том, что делать в случае, когда имеется два электрона и  $\psi$  зависит от двух переменных, тогда Шредингером было признано наличие проблемы, и он перестал пользоваться своей интерпретацией.

- **Луи де Бройль** предложил свою **интерпретацию с помощью пакета волн**. Он считал, что любая микрочастица - это такой объект, который состоит из пакета волн, которые движутся, при этом они могут расплываться, а потом снова

объединяться и т.д. Но когда посчитали все величины, которые характеризовали пакет волн, то выяснилось, что он очень быстро расплывается, поэтому описать электрон с его помощью нельзя. Идея сохранилась, а данный подход используется до настоящего времени, так как в некоторых случаях он бывает полезен.

- в 1926 - 1927 году - **Макс Борн** ввел **вероятностную интерпретацию волновой функции**. Он предложил считать  $\psi\psi^*$  плотностью вероятности нахождения частицы в данной точке пространства. Если частиц много, то  $\psi\psi^*$  будет вероятностью их нахождения в разных точках пространства. Данная интерпретация волновой функции сохранилась до сих пор.
- Еще один вариант интерпретации появился примерно в 50-х годах XX века - это **интерпретация Эверетта**, которая восходит не столько к науке, сколько к полуфилософии, полурелигии индийского толка. Она постулировала, что мы живем в многомерном мире, где существуют все варианты, которые проецируются с помощью измерений на разные подпространства. Этот подход симпатичен исследователям, которые занимаются теоремой Белла, квантовыми компьютерами и запутанными состояниями. Теорема Белла, в которой изучалась корреляция различных частиц, могла привести к выявлению противоречий в квантовой механике, но сам факт наличия корреляций, времени и места их существования оказался гораздо полезнее в другом контексте.
- 1927 год - была обнаружена **дифракция электрона Джозефом Дэвиссоном и Лестером Джермером**, таким образом гипотеза Луи де Бройля получила экспериментальное подтверждение. Многие явления, которые были связаны с квантовой механикой, перестали быть иллюзиями, а стали реальностями нашей жизни.

## Развитие квантовой механики

Развитие квантовой механики будет рассмотрено нами кратко в самых существенных аспектах:

- 1928 год - **Поль Дирак** создает **релятивистскую квантовую механику**, в этом году появляется уравнение Дирака.
- до 1930 года - появляются элементы квантовой электродинамики. Реально **квантовая динамика** как таковая, связанная с **Ричардом Фейнманом, Джулианом Швингером** и другими учеными, появляется в конце 40-х годов XX века.
- 30-е годы - на основе квантовой механики возникает **квантовая теория твердого тела**, именно механическая теория.

- 30-е годы - возникает **квантовая статистическая физика**, которая шла другим путем, это было связано с тем, что статистическая физика - это вероятностная теория, как и квантовая механика. Поэтому обобщить классическую статистику на квантовую - чисто формальный подход, при котором не требуется существенных замен. Но между квантовой статистикой и классической существует главное различие: в классическом ансамбле Гиббса возможно разделить систему независимо, в квантовой механике это сделать нельзя. Это хитрый ансамбль, который коррелирован квантовым образом, наличествует квантовая вероятность, в этом заключается разница.

### Интерпретация квантовой механики

- Первым человеком, который создал **интерпретацию квантовой механики** был **Де Бройль**. Им было предложено считать, что реальны и волны, и частицы. Микрообъект одновременно является и волной, и частицей. Поскольку в рамках науки существуют ученые, которые считают необходимым каким-то образом реально использовать открытия, Де Бройль создает сложную **теорию волны-пилота**. Но примерно к 1935 году эти идеи предаются забвению, после 1950 года французский физик их реанимирует и долго и усердно развивает. Подход Луи де Бройля заключается в том, что он предлагал мыслить классическим образом.
- Другой подход - это **копенгагенская интерпретация квантовой механики**. Люди, которые стояли у её истоков:
  - **Вернер Гейзенберг**, сформулировал **принцип неопределенности Гейзенберга**. Когда немецкий физик-теоретик создал матричный вариант квантовой механики, то провозгласил, что классическая физика закончилась, а представления о материи больше не требуются. Он считал необходимым возратить идеи Платона, то есть оставить от всей материи только каркас формул. Эйнштейн не одобрил этот подход, так как ему не нравился вероятностный подход к описанию явлений. Хорошо известно выражение Эйнштейна о том, что не может быть так, чтобы Бог играл в кости. Удивительное заключается в том, что Бог начала играть в кости, когда была создана классическая статистическая физика, так как при введении распределения Максвелла вероятность входит в физику. По какой-то причине существует мнение, что если описание вероятностное, то обязательно появляется индетерминизм.
  - **Нильс Бор**, сформулировал **принцип дополнительности Бора**

В итоге до настоящего времени дошли два подхода, в первом наличествует вера в реальность частиц, он следует Луи де Бройлю и Альберту Эйнштейну и считает, что за окном обычная материальная реальность и такой же микромир, а второй подход

---

предполагает веру в копенгагенскую интерпретацию, которая в целом не так радикальна как у Гейзенберга, но основывается на том, что при невозможности одновременного точного измерения, например, координат и импульса частицы, состояние является максимально возможной информацией. Эйнштейн считал, что если долго разбираться, то можно узнать практически все, поэтому он ввел идею о том, что если улучшить квантовую механику и найти скрытые внутренние параметры, то новая квантовая механика сможет объяснить гораздо больше и лучше.

## Лекция 11. Теория тяготения. Физика микромира

### Создание общей теории относительности

Тема лекции, которую мы будем сегодня рассматривать – это теория тяготения. Эта тема связана с теорией гравитации и теми изменениями, которые она претерпела в XX веке. Если в квантовой механике со временем многое устоялось, то судьба теории тяготения была гораздо сложнее.

Общую теорию относительности Альберт Эйнштейн создавал с 1908 года, завершение её создания состоялось в 1916 году. Важно обратить внимание, что общая теория относительности - это классическая теория, в которой отсутствуют квантовые эффекты. Эйнштейн обобщил теорию гравитации Ньютона на случай, когда существует релятивизм, то есть учел, что движение может происходить со скоростями, соизмеримыми со скоростью света. Он сделал это несколько необычным путем, то есть решил обобщить принцип относительности на неинерциальные системы отсчета. Для этого необходимо было сделать следующие заключения:

- **доказательство равенства инертной и гравитационной масс**, эта проблема возникла во времена Ньютона, который определял период колебания маятника и показал, что он не зависит от массы подвешенного к нему тела. Измеряя инертные и гравитационные массы, он показал, что они с определенной точностью равны.
- 1907 год - **Макс Планк** выдвигает **постулат о равенстве инертной и гравитационной масс и их единой природе**, в этом смысле данное равенство понимается как **принцип эквивалентности**.
- 1907 год - если исходить из постулата Планка, то энергия наряду с инерцией должна обладать и тяжестью, но Планк дальше этого утверждения не пошел. К этому же выводу пришел Эйнштейн, который выдвигает **принцип относительности для систем с ускорением**.
- 1911 году - Эйнштейн в более ясной форме формулирует принцип относительности для систем с ускорением позднее - это пример с лифтом Эйнштейна. **Лифт Эйнштейна** - это классическая форма мыслительного эксперимента, который заключается в том, что если человек находится в лифте, то он не видит, что происходит за его стенами (аналогия с каютой корабля без иллюминатора, которую использовал Галилей), он не может отличить - движется ли лифт с ускорением в определенном направлении или он покоится. Ситуация эксперимента Эйнштейна показывает, что **движение с ускорением можно сопоставить с неким гравитационным полем**. Этот принцип он обобщает на все физические процессы, это обобщение ученый называет **расширенным принципом эквивалентности**.



### Следствия расширенного принципа эквивалентности:

- появляется **"красное смещение"**, в дальнейшем к нему добавляется гравитационное красное смещение;
- **отклонение луча света под действием гравитационного поля**, то есть луч света, в силу того, что энергия обладает массой, движется как совокупность частиц, которая искривляется под действием гравитационного поля;
- **зависимость показаний часов от величины поля**, если это так, то скорость света перестает быть постоянной величиной, то есть она зависит от гравитационного поля - чем гравитационное поле больше, тем скорость меньше. Принцип наличия максимальной скорости света в вакууме, где отсутствуют массы, остается.

В основу строгой теории Эйнштейн положил **локальный принцип эквивалентности**, который является основой общей теории относительности. Он состоит в следующем: в любой точке четырехмерного пространства-времени всегда так можно выбрать систему координат, что в ней будет справедлива теория относительности в узком смысле, то есть специальная теория относительности. Независимо от наличия гравитационного поля, частицы по локальной инерции будут двигаться по прямой. Если координаты выбраны произвольным образом, тогда осуществляется переход к четырехмерному пространству-времени с ненулевой кривизной. Таким образом получается, что пространство, в котором мы живем, обладает ненулевой кривизной. Это означает, что расстояние определяется не просто как сумма неких квадратов, пусть даже некоторые квадраты берутся со знаком минус (как в специальной теории относительности), а все компоненты метрического тензора участвуют в определении расстояния между двумя точками. Грубо говоря, матрица метрического тензора  $4 \times 4$ , все компоненты отличные от нуля. Локальный принцип эквивалентности означает, что в любой точке пространства путем преобразования всегда возможно свести метрический тензор к диагональному виду, но переходя от точки к точке преобразования меняются.

### Уравнение гравитационного поля

Данный подход в дальнейшем позволил Эйнштейну получить **уравнение гравитационного поля**, решая которое он определил компонент метрического тензора по известному распределению масс, потоков импульсов и т.д. Найдя метрический тензор, мы получаем некое пространство, где изучается движение разных тел, то есть гравитация участвует в определении движения неким геометрическим образом. Она не определяет взаимодействие как таковое, как у Ньютона - определяя потенциал, силы и т.д., а определяет метрику пространства. Эта метрика определяется распределением масс, в итоге **четырёхмерное метрическое пространство неевклидово и с кривизной**. В этом случае, даже если на частицу не действуют никакие силы, то движение по инерции в таком пространстве - "свободное движение" будет движением

по геодезическим. В качестве примера рассмотрим поверхность обычного шарика, геодезическое на шарике - это кратчайшее расстояние между двумя точками, которое не является прямой. Если этот вопрос рассмотреть строго, то геодезическое определяет сечение шарика (две точки и центр шарика), от одной точки в другую возможно пройти как по кратчайшему расстоянию, так и по длинному. Эта метрика приводит к разным выводам, в ней, например, не работает теорема Ковалевской, что особенно важно в случае со сложными объектами в области биотехнологии и нанотехнологии. Если дана точка, то система дифференциальных уравнений, описывающих её движение, в теореме Ковалевской решается однозначно, в системе Эйнштейна она решается неоднозначно.

В развитие проблематики неевклидова пространства внес вклад ряд ученых: **Николай Иванович Лобачевский, Янош Боляй, Карл Фридрих Гаусс, Бернхард Риман** и другие. Это было связано с решением пятого постулата Евклида, который оказалось возможным заменить на другие, таким образом родилась **неевклидова геометрия**.

### Следствия общей теории относительности

Из таким образом созданной теории относительности проистекают дополнительные следствия:

- **гравитационное красное смещение;**
- **отклонение луча света под действием гравитационного поля;**
- **вклад в движение перигелия Меркурия**, благодаря чему его ставится возможным описать более точно, потому что классическая ньютоновская механика не позволяет полностью это сделать (60 секунд за 100 лет);
- **замедление хода часов**, что сейчас интерпретируется как сигнал, который проходит рядом с Солнцем и обратно, получается некая дельта, которая определяется гравитационным полем - это сугубо релятивистский гравитационный эффект. Что в настоящее время активно используется в GPS и ГЛОНАСС.

### Экспериментальная проверка постулатов и следствий специальной теории относительности

Теория, которую создал Эйнштейн, вызвала очень большие споры. Ещё не закончились споры, которые возникли по вопросам специальной теории относительности, которой существовало 4 варианта. Ученым сообществом активно обсуждалось, какая из них была правильной. В варианте Эйнштейна одним из постулатов было провозглашено постоянство скорости света, но тут появляется новая теория, где скорость света зависит от величины гравитационного поля. Тогда Эйнштейн пытается опереться на экспериментальное подтверждение своих выводов.

Рассмотрим, как проверялся принцип эквивалентности рядом ученых, которые изучали, насколько точна масса инертной к гравитационной:

- Результаты гравитационных экспериментов венгерского физика **Лоранда Этвеша** показали, что равенство гравитационной и инертной масс выполняется с высокой точностью.
- Американский физик **Роберт Дикке** осуществил свои основные исследования в 20-е годы XX века, он ввел термин "**релятивистская теория гравитации**" независимо от Эйнштейна. В результате проведенных измерений Дикке ещё повысил точность данных.
- **Владимир Борисович Брагинский**, главный научный сотрудник кафедры физики колебаний физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова получил самые точные данные.

Проверка отклонения луча света измеряется следующим образом: наблюдается астрономический объект, в ситуации солнечного затмения свет от звезды проходит рядом с Солнцем, которое имеет существенную гравитацию, в этом случае становится возможным измерить смещение. Такие измерения впервые были осуществлены в 1914 году, в этом же году началась Первая мировая война, которая не позволила провести подобные исследования ученым Московского университета, которые долго к этому готовились. В результате появились некоторые косвенные подтверждения согласия экспериментов, более реальные подтверждения, которые позволяли определить теорию Эйнштейна как более точную, по сравнению с описаниями ньютоновской механики, возникли в 1919 году. В рамках классического ньютоновского подхода тоже существует смещение луча света за счет пластических эффектов. Измерения были продолжены и в 1922, и в 1980 году, и далее, единственным ограничением для их проведения является необходимость находиться в условиях солнечного затмения, желательно полного. В итоге данный эффект позволил Эйнштейну подтвердить правильность своей теории.

### Замедление хода часов

Во времена Эйнштейна эксперименты по замедлению хода часов проводить было невозможно, в наше время они являются стандартной процедурой, которой занимаются в лабораториях, где определяется локация разных объектов. Для этого обычно берутся локации Меркурия и Венеры во время их прохождения за диском Солнца, когда они находятся ближе к Земле, что позволяет повысить точность измерений. Луч идет до планеты и обратно, измеряется дельта в зависимости от конфигурации Солнечной системы, получается эффект запаздывания, который сверяется с расчетами общей теории относительности Эйнштейна. Расхождение с теорией Эйнштейна в ходе экспериментов обнаружено не было.

**Гравитационное красное смещение** - это смещение разных элементов в спектре, которое происходит за счет того, что луч идет от точки, где гравитационное поле большое, например, от Солнца к Земле, где гравитационное поле меньше. То есть луч выходит из сильного поля в область более слабого, поэтому смещение получается в красную область спектра, то есть  $\lambda$  длиннее.

- 1923 - 1926 годы - первые измерения гравитационного красного смещения осуществил **Сент-Джонс**, который утверждал, что получил хорошее согласие с теорией Эйнштейна.
- с 1959 года - когда был открыт **эффект Мессбауэра**, то подобных экспериментов стало гораздо больше. Сейчас нет никаких данных о том, что существует расхождение между общей теорией относительности и экспериментальными данными.

Что касается описания особенностей в движении перигелия Меркурия, то ещё до Эйнштейна было известно, что в нулевом приближении планеты Солнечной системы движутся по эллипсам, в фокусе которых находится Солнце. **Перигелий** - ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты или иного небесного тела Солнечной системы. С течением времени ось движется, то есть было известно, что движение по эллипсу (по Кеплеру) - это некоторое приближение, а за счет возмущений эллипсы вращаются. Описывая по теории возмущения эту процедуру за сто лет, во времена Эйнштейна можно было сделать расчеты с точностью приблизительно до 60 секунд. Что Эйнштейн и сделал, получив блестящее совпадение, у него получилось 55 секунд. Ирония судьбы заключалась в том, что наука шла вперед, теория возмущения совершенствовалась, вследствие чего дельта оказалась не 60, а 30 секунд. Возник длительный диспут, были произведены дополнительные расчеты, выводом из которых явилось заключение, что противоречий нет. В настоящий момент доминирующая точка зрения следующая: что касается перигелия Меркурия, то в этом случае общая теория относительности соответствует экспериментальным данным.

Из теории Эйнштейна следовало очень серьезное следствие - **наличие гравитационных волн**. Это была точка преткновения, которая поделила физиков на разные группы, при этом большинство представителей научного сообщества в существовании гравитационных волн сомневалось. В течении практически 100 лет во всем мире проходило очень много диспутов по этому поводу. Существовали исследователи, которые страстно желали найти гравитационные волны и даже ловили их, в 60-х годах XX века **Роберт Дикке** их диагностировал, но после повторных расчетов было определено несоответствие точности, так как на необходимом уровне точности появляются уже другие эффекты - квантовые, невзирая на то, что присутствуют большие расстояния. Определение гравитационных волн требует очень высокой точности в разных экспериментах, особенно в интерферометрических. В итоге в конце 90-х годов в США были выделены средства для строительства большого интерферометра, сконструированного с использованием последних достижений науки.

В свое время в поиск кварков было вождено 50 млрд. долларов, в результате появился отчет о потраченных средствах, где было озвучено, что это сделать невозможно, тогда внимание исследователей переключилось на бозон Хиггса.

В 2015 году было **обнаружено наличие гравитационных волн**, но поскольку ученые опасались обвинений в недобросовестности, они долго перепроверяли результаты, о которых сообщили только в 2016 году. Примерно через полгода были произведены подтверждающие эксперименты, в ходе которых был зафиксирован ещё один сигнал. Таким образом, можно констатировать, что факт наличия гравитационных волн является подтвержденным, как и общая теория относительности Эйнштейна в данном аспекте.

Когда мы рассматриваем проблему, которая связана с движением перигелия Меркурия и вкладом релятивистских гравитационных членов, то следует иметь в виду, что для планет Солнечной системы ещё до Эйнштейна существовала проблема секулярных членов, то есть **теория возмущений** для описания движения планет или иных объектов. С 70-х годов XX века разрабатываются глобальные навигационные спутниковые системы (ГЛОНАСС, GPS и др.). В этих системах по теории возмущений считает машина, которая должна учитывать массу факторов, но наблюдение длится большие интервалы времени, особенно при движении планет, в некоторых случаях используются результаты, которые были получены 2 тысячи лет назад, например, данные лунных затмений. При использовании таких больших интервалов времени теория возмущения имеет свойство расходиться, для решения этой проблемы в начале XX века было предложено решение. Начиная с работ Пуанкаре, это направление развивалось, в частности в работах **Николая Николаевича Боголюбова**, который в 30-е годы прошлого столетия писал работы совместно с **Николаем Митрофановичем Крыловым**, уже к середине века **проблема секулярных членов была решена**. В этом смысле также решилась проблема описания планет и их параметров, в том числе и перигелия Меркурия.

Другие вопросы, которые были связаны с данной проблематикой, получили уточнения, когда появились глобальные навигационные спутниковые системы, которые разрабатывались для военных нужд, а затем действительность обосновала необходимость их более широкого использования. Американцы внедрили GPS первыми, так как в России был непростой период 90-х годов. Та система, которая начала развиваться в России в 1976 году, теперь называется ГЛОНАСС и функционирует в полном объеме. В настоящее время такие системы создаются и Евросоюзом (Галилео), и Индией (локальная система), и Китаем (глобальная система). Построение этих систем требует релятивистскую теорию гравитации, так одной теории Ньютона недостаточно. Но у релятивистской теории гравитации имеется много особенностей и трудностей, которые мы рассмотрим ниже.

Во второй половине XX века была построена **новая номенклатура Солнечной системы**, в данном случае слово "номенклатура" обозначает состав, а именно:

Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн - состав Солнечной системы, который был известен с древних времен, так как на Земле люди жили, а остальные планеты видны невооруженным глазом;

- XVIII век - с помощью телескопа был открыт Уран.
- 1846 год - открыт Нептун.
- 1930 год - открыт Плутон
- 2006 год - к огромному неудовольствию Американской ассоциации астрономов Плутон исключен из номенклатуры, потому что к это времени произошло множество открытий в Солнечной системе, и Плутон оказался всего лишь одним из многих её объектов. Процесс исключения был очень длительным и отчасти носил политический характер. Американцы не остались в долгу и отправили на Плутон космический аппарат с целью найти нечто исключительное, стоит также учесть, что используемые для таких исследований технологии всегда имеют не одно назначение.

Со времен Ньютона мы уже знаем столько о нашей Солнечной системе, что для описания всего, что в ней происходит, нам совершенно необходима общая теория относительности или, по крайней мере, любой другой более точный её вариант. До настоящего времени именно она является самым востребованным вариантом теории относительности.

### Развитие теории относительности Эйнштейна

Рассмотрим, как развивалась теория относительности самим Эйнштейном в последующее время. Когда Эйнштейн построил теорию относительности, то у него появилась необходимость построить и **космологическую модель Вселенной**. Но созданная им модель была нестационарна, что огорчило ученого, который верил в то, что окружающий нас материальный мир независим от сознания людей. Тогда Эйнштейн добавил в свое уравнение гравитационного поля лямбда-член, который также называют специальным космологическим членом. На обывательском языке его можно определить, как антитяготение, с его помощью модель Вселенной становилась стационарной, Эйнштейн посчитал, что это вполне соответствует реалиям.

- 1922 год - **Александр Александрович Фридман** получил **нестационарное решение** для модели Вселенной, а также целый спектр различных решений и сообщил об этом Эйнштейну, который их не сразу воспринял, но в итоге согласился с ним.
- 1929 год - **Эдвин Хаббл** открыл **закон красного смещения**, который происходит за счет разбегания галактик и того, что Вселенная является нестационарной. Тот факт, что он отказался от модели нестационарной

Вселенной в пользу стационарной, Эйнштейн читал самой большой ошибкой в своей жизни.

В эту теорию было необходимо добавить **квантовую гравитацию**, что пытались сделать различные учены, но до настоящего времени ни теория суперструн, ни иные подобные теории так до конца эту проблему не решили. Самым известным популяризатором данной проблематики является **Хокинг**, а самым известным результатом его деятельности стала черная дыра, существование которой следует из решения уравнения Эйнштейна. Это открытие являлось важным в тот период, когда этой проблематикой занимался Хокинг, но многим физикам черная дыра не нравилась, потому что её существование подтверждало утверждение о том, что человеческая природа не всеильна и существуют миры, которые никак не пересекаются с нашим. Когда в дальнейшем вокруг общей теории относительности все несколько успокоилось, то ученое сообщество вспомнило, что ещё в XVIII веке **Джон Митчелл** обратил внимание на то, что если планета имеет очень большую массу, то с нее будет никаким образом невозможно будет улететь, если иметь скорость меньше, чем скорость света. Он не знал, что скорость света является "священной" цифрой, преодолеть которую нельзя, так как этот постулат позже ввел Эйнштейн. Таким образом, Митчелл по сути предложил вариант черной дыры. Про открытия Митчелла очень быстро забыли, но именно эта его идея очень понравилась Лапласу, который много писал про это, из его работ информация о работах Митчелла дошла и до нас.

Уже во второй половине XX века были обнаружены не только эффекты, которые открыл Хаббл, но было определено, что **разбегание галактик происходит с ускорением**. И тут у общей теории относительности начались настоящие сложности. Тот лямбда-член, который ранее необходимо было изъять, чтобы снова сделать систему Вселенной нестационарной, теперь было бы неплохо сохранить, так как разбегание с ускорением невозможно описать без антитяготения. Тогда ученые опять вернулись к разным описаниям подхода Эйнштейна, а ком проблем в рамках общей теории относительности понемногу нарастал.

### Современные модели Вселенной

В 90-х годах XX века сформировалось представление о **темной материи** или **темной энергии**, существовали разные её интерпретации, взгляды на этот подход представлены в следующих работах:

- А.Д. Чернин (ГАИШ) и В.Н. Лукаш
- В.А. Рубаков (УФН)

Эта проблема до конца не решена и в настоящее время, она усугубляется ещё и тем, что в рамках единой теории поля включение в нее гравитации не является тривиальной задачей. Эта задача является непростой не только потому, что она сама по себе сложная, а потому что её так поставил Эйнштейн. По сути гравитация при этом

является несколько другим геометрическим вариантом, все остальные варианты - обычные потенциалы в рамках подхода, который используют ученые при описании различных иных взаимодействий. Стоит упомянуть, что существуют подходы, где включают пятимерие, десятимерие и прочее.

### Релятивистская теория гравитации

Рассмотренные проблемы возникли не сразу, они были зафиксированы учеными гораздо раньше конца XX века. **Анатолий Алексеевич Логунов**, когда начал развивать данную проблематику, был ректором МГУ им. М.В. Ломоносова. Он подчеркивал следующие основные моменты:

- **силы инерции и гравитации различны по своей природе**, поэтому подход, который использовал Эйнштейн, не является самым эффективным для построения релятивистской теории гравитации;
- выбор геометрии, который предложил Эйнштейн, определяется экспериментом и не может быть произвольным, а с точки зрения сторонников релятивистской теории гравитации метрика должна быть обычной - **четырёхмерное псевдоевклидово пространство**, потенциал должен быть обычный гравитационный. Но исследователей, которые бы решили, получили и сопоставили решение данной задачи в рамках этого подхода, - нет.

Сложившаяся ситуация соответствует тому, что происходило в области электродинамики во времена Максвелла, когда существовало несколько электродинамик - самого Максвелла, Бернхарда Римана (с очень непростым пространством), Гемгольца. Поскольку ещё не было Герца и его экспериментов, то все эти теории давали одинаковый результат, что приводило к консенсусу. В релятивистской теории гравитации ситуация сейчас несколько плачевней, чем в электродинамике, поскольку то, что измеряется, описывается в рамках разных теорий примерно одинаково, но что касается решения новых проблем, например, темной материи, то эти теории подобные явления не объясняют. Так как эти проблемы возникли достаточно давно, то теперь они находятся и в контексте истории науки.

### Космология

Космология - это наука, которая возникла очень давно, но основные ее открытия относятся ко второй половине XX века, когда появляются космические аппараты и иные достижения комической промышленности. В основе современной космологии лежит общая теория относительности как самая развитая теория.

- 1922 - 1924 годы - создание **теории нестационарной Вселенной**.
- 1929 год - открытие **эффекта Хаббла без ускорения**.



- 40-е годы XX века - возникает **теория горячей Вселенной**, автором которой является **Георгий Гамов**. В 70-х годах XX века она становится общепризнанной.
- 1965 год - экспериментально открыто и признанно **реликтовое микроволновое излучение**.

После этих открытий появляется **теория Большого взрыва**, стандартные варианты которой используются до настоящего времени. Ближе к концу XX века состоялось открытие **анизотропии реликтового излучения**, то есть простой теории реликтового излучения стало не хватать, и возникают её более сложные варианты. У этого излучения ещё нет изотропности и однородности, оно анизотропно.

- середина 90-х годов XX века - в рамках данной теории астрономы открывают наличие **тёмной материи**. Состав и природа тёмной материи на настоящий момент неизвестны. Ученые, в соответствии с общей теорией относительности, лямбда-членом и постоянной, от которой зависит масса Вселенной, произвели расчет коэффициента, который оказался по любым оценкам практически в 10 раз больше массы всей Вселенной. Тогда для теоретического объяснения было введено понятие темной материи, которая является неандронной, поскольку андронная дает самый большой вклад. Эти явления можно отнести к науковедческим проблемам.

Астрономы совершили **измерение кривизны трехмерного пространства**, которое оказалось плоским. Это означает, что существуют сильные ограничения на метрику, а все проекции на трехмерие должны быть плоскими, что накладывает существенные ограничения на теорию относительности Эйнштейна. Теперь этот экспериментальный факт необходимо использовать во всех теориях. Открытие **гравитационных волн** также вызывает противоречивые оценки научного сообщества, но это явление является путем в том направлении, куда стоит двигаться. В рамках данного направления в последнее время был открыт сигнал слияния двух чёрных дыр с амплитудой гравитационной волны, а когда детекторов будет несколько (минимум три), то они смогут более четко показывать происходящие события. Когда Маркони привез в Лондонское общество один из первых вариантов своего аппарата, то пришлось ломать перегородки внутренних помещений, чтобы он мог продемонстрировать его в работе. Но его изобретение никого не впечатлило, в отличие от причиненного ущерба. Поэтому на подготовку открытия гравитационных волн ушло более 25 лет, в этом проекте участвует порядка тысячи ученых по всему миру.

## Физика микромира

Физика микромира является последним вопросом, который мы рассмотрим, по существу. Говоря о микромире, необходимо ввести понятие элементарности частиц,

этот вопрос дискутировался со времен древних греков, обсуждается он и в настоящее время. Существуют следующие варианты представлений об элементарной частице:

- элементарная частица - это то, что не делится;
- элементарная частица - это то, состав чего не известен;
- элементарная частица - это то, что в настоящий момент является мельчайшей единицей материи;

### Периодизация:

- 1897 - 1926 годы: **электроны и атомные ядра**;
- 1926 - 1935 годы: **лептоны и нуклоны**;
- 1935 - 1964 годы: **лептоны и андроны**;
- 1964 - ... годы: **лептоны и кварки**.

Мы рассмотрим происходящие в данные периоды события в физике микромира, которые являются реперными точками для её формирования, в целях получения общего представления о развитии аспектов, которые повлияли на развитие всей физики.

### Электроны и атомные ядра

- 1897 год - **Джозеф Джон Томсон** открыл электрон, он предложил идентифицировать некую элементарную частицу и сам способ идентификации, и сделал это ясно и понятно. До этого момента существовало множество общепризнанных философских подходов, а также экспериментальные, но не очень четко поставленные.
- 1919 год - сначала **Эрнест Резерфорд** устанавливает существование **атомных ядер**, также в 1919 году он экспериментально открывает существование **протона**.
- в этот же период формируется представление о **фотоне** как об элементарной частице. В 1909 - 1915 году Эйнштейн пишет на эту тему множество статей.
- 1925 год - происходит **построение основ нерелятивистской механики**, возникает её матричный вариант.
- 1926 год - возникает **волновой вариант нерелятивистской механики**.

### Лептоны и нуклоны

Лептон - это частица, у которой есть электронный заряд, нуклон - это либо протон, либо нейтрон.

- данный период начинается с **создания релятивистской квантовой механики**, которая предсказала, что наряду с частицами должны существовать и **античастицы**. Релятивистскую квантовую механику создавали многие ученые, самым известным из них является **Поль Дирак**, существенный вклад внес **Владимир Александрович Фок**.
- созданы основы **квантовой электродинамики**, именно в конце 20-х годов XX века формируется представление о вторично квантованном поле.
- открыты **позитрон - первая античастица и нейтрон**.
- возникает **протонно-нейтронная модель ядра Иваненко-Гейзенберга**. Дмитрий Дмитриевич Иваненко, профессор кафедры теоретической физики физического факультета Московского университета первым опубликовал статью, где предложил модель ядра. Гейзенберг сделал это позднее, включив в свою модель нейтроны, протоны и электроны, но в дальнейшем он изъяснял электроны.

Когда появляются протоны, нейтроны и модель ядра, то возникает вопрос: за счет чего ядро является устойчивым? Следовательно, возникает и потребность в теории внутриядерных сил. **Мезонная теория внутриядерных сил** была создана **Игорем Евгеньевичем Таммом, Д.Д. Иваненко и Хидэки Юкава**. Она вводит понятие частиц мезонов - это частицы, являющиеся переносчиками сильного взаимодействия и отвечающие за удержание протонов и нейтронов в атомных ядрах.

Чуть позднее возникает представление, что взаимодействие внутри ядра атома может быть двух типов: сильное и слабое. До этого периода существовало электромагнитное и гравитационное взаимодействие.

### Лептоны и андроны

- данный период начинается с поиска  **$\pi$  - мезона**, который был должен описывать взаимодействие внутри ядра.
- конец 40-х годов - возникает **теория перенормировок в квантовой электродинамике**, а сама квантовая электродинамика становится завершенной теорией.
- происходит **открытие частиц омега-минус-гиперон**.

## Лекция 12. Физика в Московском университете

### Физика микромира. Окончание

На прошлой лекции при рассмотрении периодов развития физики микромира мы остановились на этапе, который проходил с 1935 по 1964 год, в это время были открыты лептоны и антроны. Этот период закончился тем, что число известных частиц, особенно резонансовых, стало очень большим, и у исследователей появилось понимание, что для элементарности их чересчур много. Ученые пытались построить новые модели, которые сводили бы известные частицы к более элементарным, а также старались уменьшить их количество.

- 1964 год - **Мюррей Гелл-Манн** и **Джордж Цвейг** решили задачу, предложив **составную модель антронов**, введя гипотезу существования **кварков**. В их модели было очень мало кварков, но остались лептоны. В дальнейшем, в целях развития теории число кварков было увеличено, также появляются новые частицы, но их число уже принципиально меньше. В результате оформляется **квантовая хромодинамика** - квантовая механика кварков. Приставка хромо появляется вследствие того, что кварки обладают параметром "цветной заряд", который определяется цветом, но не имеет отношения к реальному цвету.
- 1967 год - уже в рамках нового подхода происходит **объединение электромагнитных и слабых взаимодействий**, которое стало возможным описывать единым образом. Идея единого описания существовала в физике изначально, она базируется на желании ученых свести явления к некоему общему, так происходило и с магнетизмом, когда возникла электродинамика, таким же образом появляется **теория электрослабого взаимодействия**.
- 1974 год - появляется первая **теория Великого объединения**, в которой ученым удается объединить три взаимодействия, то есть все, кроме гравитационного. Возникает новая классификация элементарных частиц, но первую теорию Великого объединения было необходимо экспериментально подтвердить. Подтверждение требовалось для факта существования калибровочных (фундаментальных) бозонов:
  - **фотон**, как переносчик электромагнитного взаимодействия был известен;
  - 1983 год - экспериментально обнаружены  **$W^\pm$  - бозоны** и  **$Z$  - бозоны**, которые переносят слабое взаимодействие.
  - появляются **глюоны (8)**, которые переносят сильное взаимодействие.

После вышеперечисленных открытий теория электрослабых взаимодействий перестает носить абстрактный характер. Возникает **схема элементарных частиц**, которая называется стандартной моделью, рядом с ней находится такое понятие, как **гравитон**. Ученые по-разному относятся к его интерпретации.

- 1964 год - для того, чтобы объяснить, что у частиц существует масса **Питер Хиггс** вводит **бозон Хиггса**, который был открыт в 2012 году. Автор открытия 1964 года получает за него Нобелевскую премию в 2013 году.

### Казусы конца XX века и начала XXI века

Кроме рассмотренных нами открытий в физике микромира, которые происходили поступательно, начиная приблизительно с 80-х годов XX века, появляется значительное число работ, посвященных явлению, которое называется "холодный термояд". Исследователи утверждали, что значительные вложения в построение термоядерного синтеза с помощью токамака нецелесообразны, так как можно создать более простое устройство, которое позволит создать холодную термоядерную реакцию в более простых условиях. Счетчик гейгера подтверждал более сильное гамма излучение в созданном приборе, что вызвало серьезные дискуссии в научной среде. Давно было известно, что при разломе металла в твердом теле - на месте разлома радиоактивное излучение больше, а также выделяется большее количество нейтронов. Почему, как и что влияет на подобный эффект - объясняется, но к термоядерной реакции эти явления не приближены.

В начале XXI века появляется сообщение об обнаружении нейтрино со скоростью, которая больше скорости света. Измерения, которые производятся на грани возможного, зачастую приводят к соблазну совершить великое открытие несколько подкорректировав результаты исследования. Поэтому ученые, которые открыли гравитационные волны, полгода не спешили сообщать о своем открытии, выверяя полученные данные.

### Новые тенденции в науке на рубеже тысячелетий

На рубеже XX и XXI веков произошли следующие изменения в науке:

#### Компьютерные технологии

- стремительный **прогресс компьютерной техники**, который начался примерно с 1985 года;
- вследствие расширения возможностей появляются новые науки и технологии, которые ранее были невозможны при наличествующем технологическом состоянии развития науки и промышленности. Это напрямую было связано с:
  - **быстрым ростом скорости счета и объемом памяти**, которой мы обладаем, после открытия флэш-памяти в начале XXI века, развитие науки приобретает убастряющийся характер.
  - **развитием интернета**. В XVII веке в науке произошел переход от обмена письмами между учеными к научным журналам, в XIX веке появляется телефон и телеграф, которые существенно повлияли на развитие науки, но с ролью

интернета эти переходы малосравнимы. Появляются электронные версии научных журналов, число публикаций становится настолько большим, что ученому не представляется возможным обозреть их даже в области своей специализации.

- с середины XX века происходит **развитие математического моделирования**, которое изначально было создано в военных целях, так как в этой области существовали потребности в расчетах тех явлений, которые невозможно было провести экспериментально. Главными методами моделирования являются **метод молекулярной динамики, метод Монте-Карло и метод функционала плотности**. Зачастую развитие математического моделирования приводит к снижению роли эксперимента, проводимого в реальных условиях, так как машинный эксперимент предоставляет возможность применения в моделях идеальных условий или условий, неосуществимых в действительности (ядерный взрыв, эксперименты на людях и т.д.).

## Новые науки

- **Биофизика**, в том числе геновая инженерия и производство лекарств. Кафедра биофизики физического факультета МГУ им М.В. Ломоносова появилась в конце 50-х начале 60-х годов XX века, но влияние биофизики в прошлом столетии было не настолько значительным, каким оно стало в настоящее время.
- **Астрофизика**, которая стала развиваться гораздо более высокими темпами, начиная с того времени, когда в 1957 году в Советском Союзе был запущен первый спутник. В этом же году астрономическое отделение перешло с механико-математического факультета на физический факультет Московского университета. В 2000 году было установлено, что Вселенная в трехмерном пространстве в целом плоская, а также открыты черная материя и черная энергия.
- **Геофизика**, которая отличается от геофизики описательного свойства, существующей очень давно. Геофизика в XX веке, особенно во второй его половине - это серьезная экспериментальная наука, требующая существенных ресурсов.
- **Экология** возникла из понимания необходимости изучать влияние деятельности человека на окружающую среду.
- **Физика космоса** позволяет изучать физику различных космических объектов, возникает новая номенклатура Солнечной системы (её состав), производится поиск ускорителей частиц во Вселенной, появляется возможность изучать экстремальные свойства явлений. В настоящее время космические аппараты достигают границ Солнечной системы и даже заходят за них.

## Новые технологии

- **Новые типы связи;** ГЛОНСС, GPS и другие.
- Нанопромышленность, в том числе **локализация атомов в магнитном поле, макроскопические объекты из бозе-конденсата**, учеными получена Нобелевская премия за **локализацию отдельного электрона**, в настоящее время получают значительное число новых нанообъектов,

## Физика в Московском университете

### От основания Московского университета до А.Г. Столетова: 1755 - 1882 год

- 1752 год - официальная дата основания Московского университета.
- 1753 год - М.В. Ломоносов отправляется в Москву, где начинает подготовительную работу по созданию университета, которая носит скорее технический и согласовательный характер.
- 1754 год - М.В. Ломоносов пишет письмо И.И. Шувалову с кратким проектом университета и описанием основных принципов его организации. Существуют разные мнения относительно того, кто из этих выдающихся российских деятелей первым объявил о создании Московского университета.
- 19 июля 1754 года - сенат утверждает "**Доношение об организации в Москве университета и двух гимназий**", представленного Игорем Ивановичем Шуваловым с приложением проекта его организации, созданным М.В. Ломоносовым.
- 12 января 1755 года - императрица Елизавета Петровна (Елизавета I) утверждает проект организации Московского университета и двух гимназий.
- март 1755 года - из Академического университета, который находился в Санкт-Петербурге, в Московский университет для участия в его организации переведены ученики и последователи М.В. Ломоносова - магистры Н.Н. Поповский, А.А. Барсов, Ф.Я. Яремский.
- 16 и 20 марта 1755 года - по просьбе директора университета А.А. Аргамакова на заседании конференции Академии наук рассмотрен вопрос о помощи университету в оснащении библиотеки и приобретении оборудования для физического кабинета.
- 26 апреля 1755 года - **открытие первого здания** Московского университета. Ранее это был Аптекарский дом, находящийся рядом с Красной площадью у Курятных (Воскресенских) ворот.
- 26 апреля 1755 года - **инавгурация университета**. Эта дата является настоящей датой основания Московского университета по старому стилю, в новом стиле

это соответствует 7 мая. Вплоть до восстания декабристов основание Московского университета отмечалось в эту дату.

- июнь 1755 года - начались занятия для студентов Московского университета. В этот год их число на трех факультетах - **философии, медицины и права** составляло порядка 15 человек.
- 1756 год - **начало чтений лекций по физике**, лектор неизвестен.
- 1757 год - на французском языке лекции по физике читает **аббат Франкози**. Довольно длительный период времени физику читали на различных языках, кроме русского.
- 1761 - 1791 годы - лекции по физике читает **Иоганн Рост**, который заведовал кафедрой математики и физики. Хотя и М.В. Ломоносов, и И.И. Шувалов предлагали создать кафедру физики, но в дальнейшем кафедра одной физикой никогда не занималась. Это могло быть сочетание математики и мелиорации сельского хозяйства, физики и географии и т.д.
- 1791 - 1813 годы - первым из отечественных ученых физику в Московском университете начал преподавать **Петр Иванович Страхов**. Он довольно длительное время занимал эту должность, пока его здоровье не подорвали события времен похода Наполеона и последующая эвакуация университета в Нижний Новгород.
- 1810 год - П.И. Страхов опубликовал учебник по физике на русском языке "**Краткое начертание физики**", ученый ориентировался на книгу "**Вольфианская экспериментальная физика**", которую написал М.В. Ломоносов, осуществив перевод работы Христиана Вольфа. Более того, поскольку на русском языке физических терминов не существовало, то М.В. Ломоносов сам создал необходимую терминологию. Русский учёный-естествоиспытатель до конца своих дней курировал студентов, которые приезжали к нему из Московского университета, проводя для них дополнительные экзамены по различным предметам и проверяя качество полученного ими образования. Об этом в своих воспоминаниях пишет Денис Иванович Фонвизин и многие другие.
- 1813 - 1827 годы - кафедрой физики Московского университета волею судеб заведовал **Иван Алексеевич Двигубский**, который был очень известным ученым не только в области физики. И.А. Двигубский имел существенный административный ресурс, так как одно время был ректором, этот ресурс был им использован на благо кафедры физики, где появилось множество дополнительных приборов.



- 1820 год - И.А. Двигубский начал издавать научный журнал **"Новый магазин естественной истории, физики, химии и сведений экономических"**.
- 1826 год - И.А. Двигубский написал **первую программу по физике**. Это произошло после того, как в начале 1825 года состоялось восстание декабристов, после которого от преподавателей университета для рассмотрения и утверждения потребовали предоставить конспекты читаемых лекционных курсов.
- 1828 год - в созданном научном журнале опубликован перевод Н.Е. Зернова статьи М.В. Ломоносова **"О причине тепла и холода"** с латинского на русский язык. Также была издана книга, которая в полном собрании работ М.В. Ломоносова в переводе Б.Н. Меншуткина называется **"Размышления о причине теплоты и холода"**.
- 1827 - 1836 годы - кафедрой физики Московского университета заведовал **Михаил Григорьевич Павлов**, именно в этот период кафедра носила название физики и мелиорации сельского хозяйства. В "Былом и думы" Александр Иванович Герцен описал события того времени, так как в тот период сам был студентом Московского университета, как и Николай Платонович Огарев. Физика была предметом, который читался студентам всех факультетов на младших курсах, но профессор физики был всего один. По воспоминаниям Герцена М.В. Павлов в основном занимался философией науки, научиться у него мелиорации было невозможно, а физике – мудрено. Ученый пропагандировал отечественную науку, в частности он писал следующее о работах М.В. Ломоносова: "Почему в учебных книгах своих без исследования повторяем слова иностранных ученых, не зная рассуждения Ломоносова, утверждающих, что Румфорд первый предложил происхождение тепла от внутреннего движения тел?". Когда мы рассматриваем развитие физики в Московском университете, то важно помнить, что оно происходило не только на кафедре физики, а затем не только на физическом факультете.
- 1831 год - астроном Д.М. Перевозчиков организовал **первую астрономию** в Московском университете.
- 1833 году - **Дмитрий Матвеевич Перевозчиков** написал **"Руководство по опытной физике"**, оно было высоко оценено и долго использовалось в практике ученых.
- 1836 - 1838 годы - кафедрой физики Московского университета заведовал **Иван Семёнович Веселовский**, который быстро покинул свою должность по состоянию здоровья.
- 1839 - 1859 годы - кафедрой физики Московского университета заведовал **Михаил Федорович Спасский**, областью научных интересов которого была

геофизика. Он изучал климат Москвы, занимался проведением гидрофизических исследованиями, кроме того, он осуществил существенные изменения в курсе физики - при нем произошло деление курса на общий и математический, это соответствует современному делению на общую и теоретическую физику.

- 1851 год - сразу после того, как Жан Бернар Фуко изобрел свой маятник и поставил опыт, М.Ф. Спасский повторил его. Это был первый случай, когда открытие мирового значения было повторено настолько оперативно, до этого эксперименты повторялись с существенным запозданием. Не стоит искать лестницу здания университета на Моховой, которая участвовала в повторе эксперимента Фуко, так как с тех пор здание многократно перестраивалось и в середине XVIII века, и в конце, в начале XXI также была проведена реконструкция.
- 1859 - 1882 годы - кафедрой физики Московского университета заведовал **Николай Алексеевич Любимов**, при нем преподавание физики в университете выходит на мировой уровень.
- 1855 годы - выходит книга Н.А. Любимова "**Ломоносов как физик**", где кратко излагается биография русского ученого, позднее Н.А. Любимов пишет более подробную её версию.
- 1860 год - Н.А. Любимов читает публичные лекции "**О явлениях световых, метрических и магнитных**", при этом он использует для их демонстрации электрическое освещение университетского двора, что по тем временам было событием нетривиальным. Для этого использовалась дуговая лампа, так как дуга Петрова уже была известна. Н.А. Любимов изобрел опрокидывающийся термометр для измерения температуры воды в артезианских колодцах Москвы. Известны лекционные демонстрации Н.А. Любимова, которые дожили до наших дней, в отличии от демонстраций А.Г. Столетова, которые были переведены в Политехнический музей. Многие из демонстраций Н.А. Любимов сделал сам, многие почерпнул в Европе, таким образом он привел преподавание физики к варианту, приближенному к современному.
- 1863 год - данный период можно охарактеризовать как непростой, так как в 60-х годах XIX века происходила отмена крепостного права в России, которая была сложным и длительным процессом, в результате которого произошло множество изменений. Был **изменен и устав Московского университета**. В соответствии с новым уставом в университете обязательно должна была быть **научная лаборатория**, но денег на её организацию выделено не было, а за её создание пришлось сражаться.
- 1871 год - Н.А. Любимов и А.Г. Столетов пишут заявление, которое содержит обоснование необходимости организации физической лаборатории.

- 1872 год - финансирование было выделено, **открыта физическая лаборатория** в бельэтаже ректорского дома, которая сначала функционировала как физический практикум. Ректорский дом сохранился до наших дней, это единственная постройка Московского университета, которая пережила пожар 1812 года. В дальнейшем Петром Николаевичем Лебедевым в лаборатории были поставлены первые опыты.
- 1872 год - Н.А. Любимов написал книгу "**Жизнь и труды Ломоносова**", в ней он дискутирует со славянофилами: "Ничто не противоречит всему характеру деятельности Ломоносова, всему духу петровского преобразования как такое стремление противопоставить русское европейскому". То, что М.В. Ломоносов для России является чем-то большим, чем общественный деятель и ученый для Н.А. Любимова было фактом. Великий ученый имел славу большую, чем у многих императоров, Н.А. Любимов пишет о роли М.В. Ломоносова следующее: "Истинное значение Ломоносова как ученого в том, что он бы первым ученым в европейском смысле, живым оправданием замысла Петра ввести Россию как равного члена в семью европейских народов". В этой цитате ключевым является словосочетание "как равного члена". Истинное великое значение трудов М.В. Ломоносова заключается не только в его научных достижениях, но и отражено в истории русского образования, составляя её блестящие страницы. Когда Н.А. Любимов писал о М.В. Ломоносове, уже были известны слова Павлова о русском естествоиспытателе, Павлов отмечал, что М.В. Ломоносов создал теорию того, что теперь называется молекулярно-кинетическая теория тепла. Это великое открытие было непонятным для Н.А. Любимова, который был прагматиком, он активно пропагандировал моду на обучение, но работать на перспективу ему было не по силам. Когда в Европе в начале XX века после известных опытов и работ Альберта Эйнштейна и Мариана Смолуховского признали молекулярно-кинетическую теорию, то в России вспомнили про работы М.В. Ломоносова. Когда в 1911 году вышла биография русского ученого, которая была приурочена к 200 годам со дня его рождения, то она разошлась огромным тиражом.
- 1874 год - **Николай Алексеевич Умов** защитил в Московском университете диссертацию на тему "**Уравнения движения энергии в телах**". Её защита проходила тяжело, в то время это стало особенным событием, потому что представление о том, что энергия может перемещаться в пространстве, было необычным, так как электродинамика Максвелла ещё не была создана.
- 1874 год - начало работы в Московском университете **Ивана Филипповича Усагина**, мастера-самоучки, демонстратора физических опытов. Он был человеком всесторонне развитым, вплоть до начала XIX века Усагин помогал на лекциях Н.А. Умову, Н.А. Любимову, А.Г. Столетову и П.Н. Лебедеву,

демонстрируя эксперименты. В 1882 году И.Ф. Усагин совершает изобретение **промышленного трансформатора переменного тока.**

### От А.Г. Столетова до создания физического факультета: 1882 - 1933

- 1883 - 1893 годы - кафедрой физики Московского университета заведовал **Александр Григорьевич Столетов**, на это место его рекомендовал Н.А. Умов, который покидает университет, так как понимает, что его не переизберут на занимаемую должность. Новая должность ученого называлась министр народного просвещения. А.Г. Столетов в годы своего руководства кафедрой сделал то, за что ему был поставлен памятник - исследовал магнитные свойства вещества, фотоэффект, а также критические явления. Результаты его работы были опубликованы в научных журналах и получили признание, после чего Московский университет стал ассоциироваться с не только с образовательным учреждением, но и с **научной школой высокого уровня**. Хотя в целом физике обучалось не очень много студентов, в разные эпохи по этой дисциплине специализировалось от 1 до 5 человек, суммарно со времени основания Московского университета до 1933 года физикой занималось около 300 человек.
- 1891 год - на кафедре физики Московского университета начинает работать **Петр Николаевич Лебедев**, он проводит свои знаменитые эксперименты и повторяет опыты Герца, но с более короткими волнами, а затем уже переходит к измерению давления света на твердые тела, а потом и на газы. Эти исследования принесли ему славу, памятник П.Н. Лебедеву находится слева от входа на физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.
- 1893 - 1911 годы - кафедрой физики Московского университета заведовал **Николай Алексеевич Умов**. С этого времени лекции по физике на кафедре читает уже не один профессор, а три: **А.Г. Столетов, Н.А. Умов и А.П. Соколов**.
- 1896 год - после смерти А.Г. Столетова происходит передел, так как финансирование было ограниченным и возможностей заниматься наукой было немного. С этого момента Н.А. Умов заведует физическим кабинетом, а А.П. Соколов - физической лабораторией в ректорском доме.
- конец XIX века - Н.А. Умов и П.Н. Лебедев находят архитектора и совместно создают проект учреждения, которое получило название **Институт физики при Московском университете**. Ученые организовали сбор средств на строительство здания института, а московские купцы собрали необходимую сумму.
- 1903 год - здание было построено, после чего Институт физики был открыт, а уже осенью в нем стали проходить занятия. При постройке здания средств на штукатурку фасада не хватило, но внутри было достаточно места и для

лабораторий, и для квартир преподавателей. В настоящее время в нем находится Институт радиоэлектроники.

- 1905 год - начало Первой русской революции, в которой студенчество принимало активное участие. Ситуация в стране в целом и в университете в частности было непростой.
- 1911 год - правительство страны решило несколько изменить статус Московского университета и разрешило полиции при выполнении своих обязанностей входить в здания образовательного учреждения. До этого времени прерогатива производить разбирательства была только у самого университета. Ректор Московского университета и его заместители в знак протеста подают в отставку, как и многие ученые, в числе которых были Н.А. Умов и П.Н. Лебедев. В качестве заведующего кафедрой физики приглашается профессор Казанского университета **Иван Вячеславович Станкевич**, который занимает эту должность до революции 1917 года. По воспоминаниям студента кафедры физики, который в дальнейшем стал деканом физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова - **Александра Саввича Предводителя** в этот период все шкафы с приборами на факультете были закрыты на замок, а в лабораториях стола тишина.
- 1914 год - невзирая на происходящее на кафедре физики, какая-то жизнь в стенах Московского университета теплилась, в частности, когда надвигалось лунное затмение, то ученые активно готовились к проведению экспериментов. Но в этом году грянула Первая мировая война, и многие исследователи, преподаватели и студенты ушли на фронт, включая убежденного монархиста **Сергея Ивановича Вавилова**, который впоследствии стал президентом Академии наук и не скрывал своих убеждений и после Октябрьской революции.
- 1917 год - после Февральской революции профессора вернулись на кафедру физики, этому способствовал **Александр Аполлонович Мануйлов**, который вошел во Временное правительство, он был тем самым ректором, который ушел в отставку в 1911 году.
- 1919 год - после Октябрьской революции 1917 года произошло множество радикальных изменений. С.И. Вавилов возвращается из армии, будущий президент Академии наук внес колоссальный вклад в развитие физики.
- 1925 год - по приглашению С.И. Вавилова в Московском университете начинает работать **Леонид Иосифович Мандельштам**.
- 1931 год - **создание физического отделения** Московского университета. В этот период существовало множество проектов реформации университета, в итоге факультетская система была отменена. Существовала вероятность, что в России может случиться аналог культурной революции, которая произошла в Китае



1966—1976 годах. К счастью, реформационный эксперимент проводился недолго.

### Физический факультет МГУ им. В.М. Ломоносова

- 1933 год - в Московском университете была возвращена факультетская система, при этом приказом от 16 апреля 1993 года на базе физического отделения Научно-исследовательского института физики был **образован физический факультет**. Первым деканом созданного факультета стал **Борис Михайлович Гессен**, который в дальнейшем был арестован и расстрелян за деятельность, которую он осуществлял в должности заместителя директора по научной работе Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Далее должность декана физического факультета занимал **Семён Эммануилович Хайкин** - известный специалист в области механики.
- 1934 год - после Октябрьской революции были отменены научные звания и степени, а все ученые были обозначены как профессора. Начиная с 1934 года возобновляется **защита диссертаций**, первая защита кандидатской диссертации состоялась у Дмитрия Ивановича Блохинцева, так как его работа была впечатляющей, то ей был сразу присвоен статус докторской. Д.И. Блохинцев являлся известным ученым в области квантовой механики и различных вопросов методологии.
- 1937—1946 годы - деканом физического факультета Московского университета работает **Александр Саввич Предводителев**, член-корреспондент Академии наук СССР.
- 1938 год - переход физического факультета на штатно-окладную систему, аспирантура ещё долгое время сохраняет централизованное подчинение, и аспирантов назначает ректор Московского университета. Необходимо отметить, что организационные аспекты существенно влияют на то, что происходит в науке, так как современная наука связана не только с собственно научными изысканиями, но и с функционированием различных структур, в том числе и финансовых.
- 27 ноября 1936 года - на торжественном вечере, проводимом в Московском университете, который был посвящен 225-летию со дня рождения М.В. Ломоносова, академик Н.Д. Зелинский предлагает назвать университет в честь великого русского ученого и общественного деятеля.
- с 7 мая 1940 года - Московский университет начинает носить название **Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**.
- 1953 год - во время Великой отечественной войны Московский университет имел много мест для эвакуации, за этот период на факультете происходила

быстрая смена лиц, занимающих должность декана физического факультета, а число студентов существенно сократилось. После войны началось строительство **нового здания университета на Ленинских горах**. В этот период деканом физического факультета стал **Арсений Александрович Соколов**, который внес значительный вклад в проектирование факультета. В этот же период происходит обострения конфликта интересов Академии наук СССР и физического факультета Московского университета, в результате А.А. Соколов был снят с должности.

- 1954 - 1989 годы - **Василий Степанович Фурсов** руководил физическим факультетом почти 35 лет, при нем факультет достиг максимальных успехов. Именно в это время физическое образование в МГУ им. М.В. Ломоносова в мировом рейтинге не опускалось ниже пятого места, а чаще занимало первое и второе место.
- 1963 год - возникает **современная система отделений**, в настоящее время она состоит из:
  - Отделение экспериментальной и теоретической физики
  - Отделение прикладной математики
  - Отделение физики твердого тела
  - Отделение радиофизики и электроники
  - Отделение ядерной физики
  - Отделение геофизики
  - Отделение астрономии
  - Отделение дополнительного образования
- 1970 год - количество студентов физического факультета этого года составляет **относительный максимум - 524 человека**.
- 1993 год - количество студентов физического факультета этого года составляет абсолютный максимум - 700 человека. Это число студентов связано с кризисными явлениями, происходящими в это время в стране, а не расширением возможности получения образования на факультете.
- 1989 - 1992 год - во времена "перестройки" происходили демократические преобразования и **должность декана факультета становится выборной**. Первым избранным деканом физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова становится **Анатолий Петрович Сухоруков**. В этот период в состав Ученого совета включаются студенты, составляя теперь его треть. Сначала студенты восприняли это событие с энтузиазмом и активно посещали

заведения Ученого совета, но со временем они стали манкировать обязанностями, что привело к проблемам с кворумом. По этой причине в середине 90-х годов было принято решение об сокращении студенческого представительства в совете.

- 1992 - 2011 год - должность декана физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова занимает **Владимир Ильич Трухин**.
- с 2011 года - должность декана физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова занимает **Николай Николаевич Сысоев**.

### **Выпускники Московского университета - нобелевские лауреаты в области физики:**

- Игорь Евгеньевич Тамм
- Илья Михайлович Франк
- Виталий Лазаревич Гинзбург
- Андрей Дмитриевич Сахаров - Нобелевская премия мира.

### **На физическом факультете Московского университета работали:**

- Лев Давыдович Ландау
- Петр Леонидович Капица
- Александр Михайлович Прохоров
- Алексей Алексеевич Абрикосов





ФИЗИЧЕСКИЙ  
ФАКУЛЬТЕТ  
МГУ ИМЕНИ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

*teach-in*  
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ