

# **Дисциплина «Концепции современного естествознания»**

1. Эволюция естественнонаучной  
картины мира

1.1. Естественнонаучная и  
гуманитарная  
культуры

# Культура – способ организации и развития **человеческой** жизнедеятельности

Продукты культуры = результат **человеческого**  
труда

Знание о реальном  
мире (природе) –  
продукт **духовной**  
культуры = результат  
**духовного** труда

Техника, технология,  
товары, услуги –  
продукты  
**материальной**  
культуры = результат  
**материального** труда

# Составляющие духовной

## культуры

### Естественнонаучная культура

Изучает **естественную** (вещест-венную, материальную) **сущ-ность природы в целом, вклю-чая человека**

### Гуманитарная культура

Изучает **нематериальную сущ-ность человека, как наиболее сложно организованной составляющей этой природы, а именно, его социальную (кол-лективную) и духовную (инди-видуальную) суть**

# Различия между естественнонаучным и гуманитарным знанием

Сопоставительный признак	Естественнонаучное знание	Гуманитарное знание
Как объясняет мир?	Отысканием рациональных (доступных <b>любому</b> ) объяснений	<b>Индивидуально</b> , сообразуясь только с собственными эмоциональными ощущениями
Цель (функция)	<b>Объяснить</b> , ответить на вопрос « <b>почему?</b> »	<b>Квалифицировать</b> свои, индивидуально испытываемые эмоции, и предложить другим <b>принять или отвергнуть</b> это свое мнение
Используемые категории (термины)	<b>Понятия</b> количественного характера	<b>Ценности</b> качественного (словесного) характера
Характер получаемого знания как продукта	<b>Количественное</b> (математическое)	<b>Качественное</b> (вербальное)

# Экономический аспект дисциплины КСЕ (её вторая, побочная цель)

Естественно-  
научная  
культура

Коммерциализация её  
продукта  
(естественнонаучного знания)

Техника,  
технологии,  
товары, услуги  
(продукты  
материальной  
культуры)

*Конкретный пример*

$H_2O$   
(А. Лавуазье,  
17 век)

Коммерциализация  
формулы воды

Технология получения  
атомарных газов  $H_2$  и  $O_2$   
электролизом воды  
(19 век, Германия)

Вывод: Научное знание – **неограниченный**, в отличие от нефти и газа,

ресурс экономического развития

Его подтверждение – формирующийся в мировой экономике **шестой технологический уклад** (2020 – 2040 гг.), или **«экономика знаний»**

# Классификация отраслей научного знания

## 1. По объекту (предмету) исследования:

1.1. **Естественные науки** – система наук о природе (физика, химия, биология и др.).

1.2. **Общественные науки** – система наук об обществе и человеке:

1.2.1. **Социальные науки** – экономика, право, политология и др.

1.2.2. **Гуманитарные науки** – философия, история, психология и др.

Объект

исследования – **гуманитарное знание** (искусство, религия, мораль).

1.3. **Технические науки**, имеющие целью создание средств материальной

культуры.

1.4. **Междисциплинарные науки.**

## 2. По выполняемым функциям:

2.1. **Фундаментальные науки** – реализуют описательную, объяснительную,

систематизирующую, прогностическую и мировоззренческую функции.

2.2. **Прикладные науки** – реализуют управленческие и производственные

# Разное отношение культур к породившему их реальному миру

Гуманитарная культура –  
**пассивное** (созерцание, а потом  
отображение природы)

Естественнонаучная культура –  
**активное** (познание, а потом  
эксплуатация природы)

Безобидный пока (середина 20  
в.) спор «лириков» и «физиков»

Успехи процесса  
коммерциализации научного  
знания (вторая половина 20 в.)

**Отчуждение (конфронтация) культур** (конец 20 в.) и его (её) следствия:

- утрата человеком реальности мироощущения;
- формирование потребительского отношения к природе

**Результат** (начало 21 в.) – **кризисы** сырьевой,  
экологический, продовольственный, водный, мусорный и др.

# Решение проблемы (преодоление конфронтации) двух культур – **гуманизация науки**

Формирование у гуманитария-управленца естественнонаучного мировоззрения на основе знаний о **реальном** устройстве мира, трезвость оценки человеком своего места в нём с точки зрения соотношения своих **потребностей** и **возможностей** этого мира (**первый** этап гуманизации науки и **задача дисциплины КСЕ**)



Формирование равноправных отношений с природой, устранение грабительского подхода к ней, как к кладовой бесплатных ресурсов (**второй** этап гуманизации науки и **задача профессии управленца**)



Формирование **единой** культуры, обеспечивающей устойчивое и взаимовыгодное сосуществование природы и человека (**результат** гуманизации науки и **задача человечества**)



# 1.2. Научный метод

**Научный метод** – совокупность приемов, применяемых исследователем (ученым) для получения **истинного (научного)**

знания

Эмпирический этап

Теоретический этап

**Сбор, накопление и первичная рациональная обработка** опытных и экспериментальных данных

Задача исследования

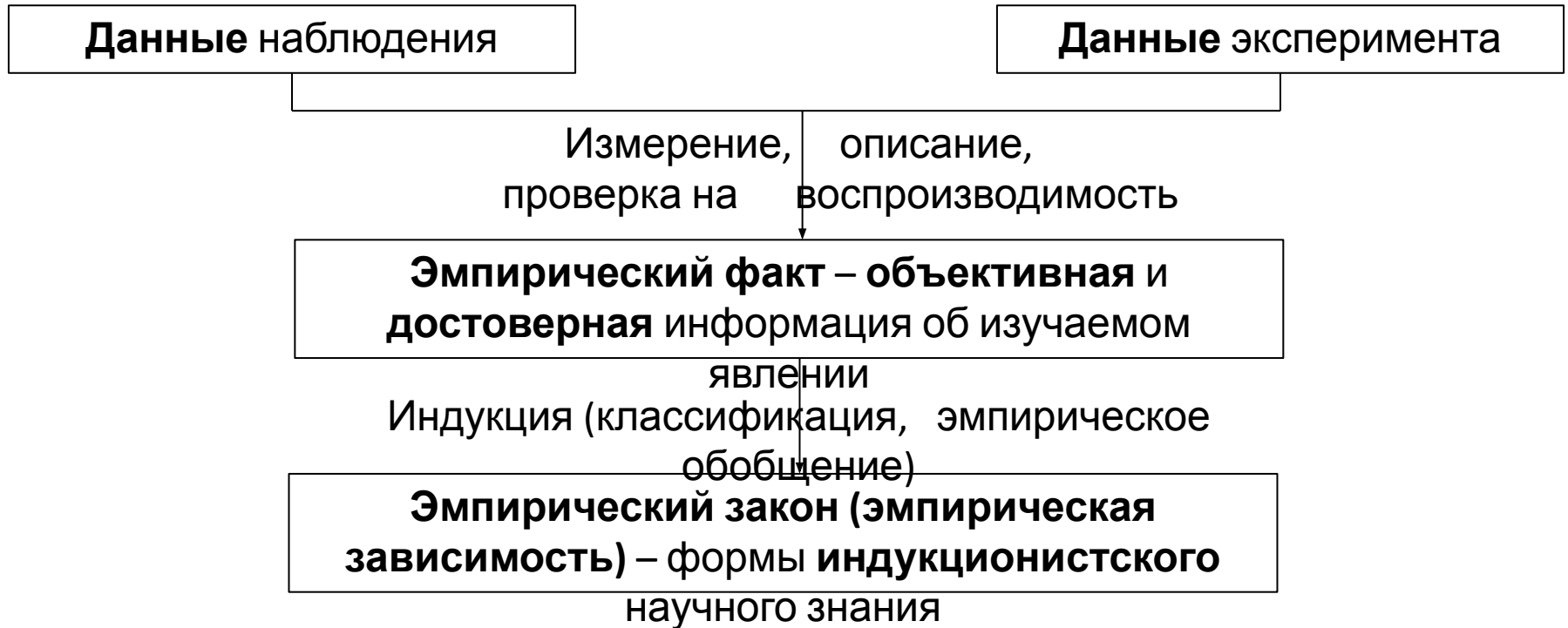
**Объяснение** изучаемых процессов и явлений

Эмпирические объекты с **выделенными** для изучения свойствами

Предмет исследования

**Идеализированные объекты** – новые понятия (словесные или количественные), на основе которых строится логика этого объяснения

# Последовательность реализации **эмпирического этапа** научного метода



Ограничения индукционистского научного знания:

- только **фиксация** обнаруженных эмпирических фактов, но не их **объяснение**;
- противоречие **новым**, полученным **после** формулировки какого-либо эмпирического закона или эмпирической зависимости фактам – результатам наблюдения или эксперимента.

# Последовательность реализации **теоретического** этапа научного метода



Свойства теории – **определенная** полнота и завершенность, а также **относительно безусловная** истинность содержащегося в ней научного знания

# 1.3. История естествознания и тенденции его развития

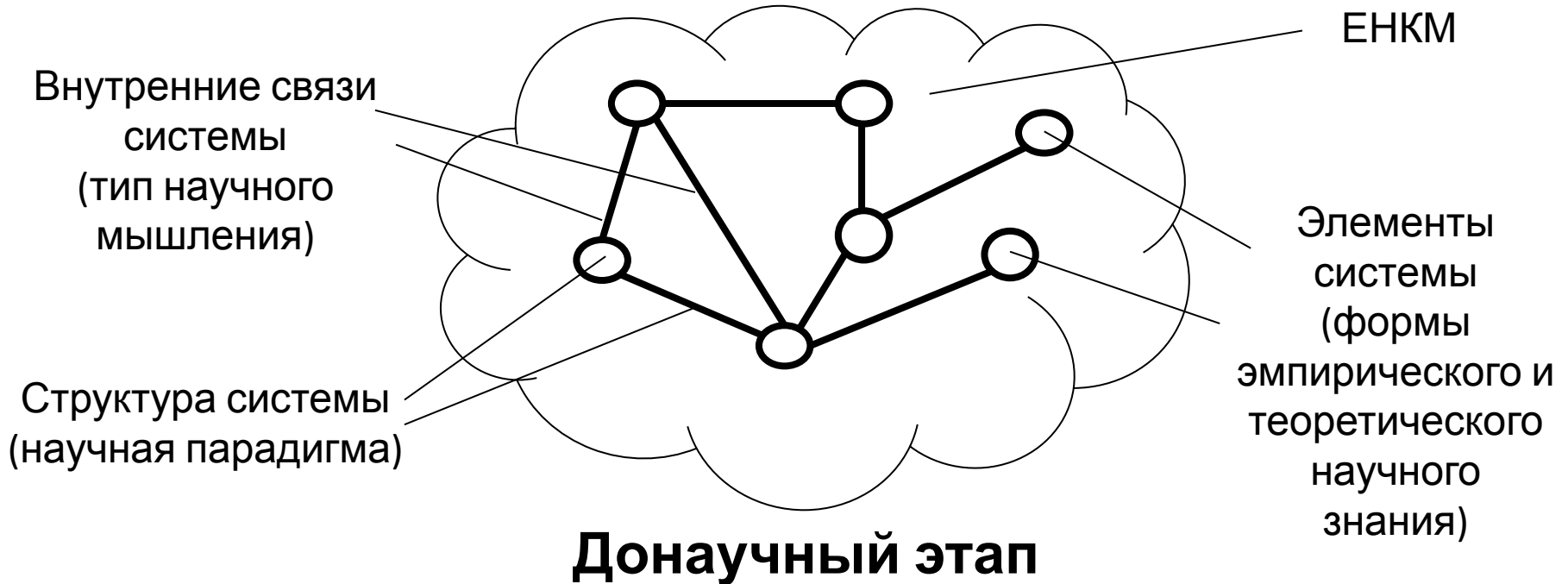
Периодизация истории естествознания по степени **возрастания сложности** подхода к пониманию природы:

- донаучный этап (не нумеруется);
- четыре этапа (периода) истории естествознания (истории науки).

## **Алгоритм сопоставления этапов истории естествознания**

1. **Название** этапа (периода).
2. Его **хронологические рамки**.
3. **Научная парадигма** данного этапа – организация научного знания, задающая **характер** видения мира, **задачи** его исследования и **тип научного мышления** (как именно, в соответствии с господствующей научной парадигмой, следует решать задачу познания мира).
4. **Естественнонаучная картина мира (ЕНКМ)** данного этапа. Имеет структуру, соответствующую его научной парадигме и представляет собой целостную систему представлений об общих свойствах мироздания конкретного этапа (периода) развития науки (см. следующий слайд).
5. **Значимость естествознания (науки) для общества** данного периода.

# ЕНКМ как система



1. Эпоха **неолита** (первый экологический кризис и, как выход, создание **производящей** экономики).
2. 10 – 8 тысячелетие до н.э.
3. – .
4. – .
5. Наука – только **эмпирическое** знание, получаемое, сохраняемое и передаваемое с **чисто хозяйственными** целями.

# 1 этап истории естествознания

1. **Античный (натурфилософский)** этап (период).
2. 8 – 5 век до н.э.
3. Научная парадигма – **динамика Аристотеля** (его учение о движении тел в пространстве). Тип мышления – **натурфилософский** или **созерцательный**.
4. **Античная** картина мира, она же картина мира **Аристотеля**.
5. **Возникновение науки** как части духовной культуры.

## 2 этап истории естествознания

### 1. Период классического естествознания (механистический этап).

Начинается с ломки старой, античной картины мира:

- Коперник (гелиоцентрическая система мира);
- Дж. Бруно (гипотеза множественности во Вселенной миров, подобных нашему);
- Галилей (**количественная** механика движения **земных** тел);
- Кеплер (**небесная** механика).

2. 15 век – первая половина 19 века.

3. Научная парадигма – **классическая механика Ньютона**. Тип мышления – **метафи-**

**зический**, когда природа анализируется **по частям** с выделением для изучения её

**конкретных** фрагментов и явлений.

4. **Механистическая** картина мира, или картина мира **Ньютона**:

- наш мир – это мир **единственного** вида материи – **вещества**;
- движение тел, состоящих из вещества, описывается законами механики, и **все**

природные явления и процессы можно свести (редуцировать) к её представле-

ниям;

– это движение носит строго **детерминированный** характер, позволяющий

## 3 этап истории естествознания

1. Период **неклассического естествознания (диалектический этап)**. Причины крушения предыдущего, метафизического естествознания:
  - обнаружение **нового** вида материи – **поля** – и создание альтернативной картины мира Ньютона **электромагнитной картины мира**;
  - великие открытия в физике рубежа 19 – 20 веков (рентгеновские лучи, электрон, естественная радиоактивность) и бессилие как картины мира Ньютона, так и новой, электромагнитной картины мира, их **объяснить**.
2. Вторая половина 19 века – первая половина 20 века.
3. Научная парадигма – **теория относительности и квантовая механика**. Тип мышления – **диалектический**.
4. **Квантово-полевая** картина мира, позволившая, в соответствии с новым типом мышления, **синтезировать в единое целое** считавшиеся ранее не связанными друг с другом фрагменты и явления природы:
  - вещество и поле оказались **единой** материей, главная общая черта которой – дискретность строения;
  - формы существования материи – пространство и время – связаны не только **друг с**



## 4 этап истории естествознания

1. Период **постнеклассического естествознания (эволюционный этап)**.
2. Вторая половина 20 века – ...
3. **Эволюционно-синергетическая** парадигма, основа которой – **синергетика** (общая теория самоорганизации материи). Тип мышления – **эволюционный**.
4. **Эволюционно-синергетическая**, она же **современная** картина мира. Её составляющие:
  - гипотезы возникновения жизни на Земле (биология);
  - теория диссипативных систем (термодинамика);
  - гипотеза Канта – Лапласа – Шмидта и концепция Большого взрыва (космо- логия);
  - теория «дрейфа» континентов А. Вегенера (геология);
  - междисциплинарная концепция ноосферы В.И. Вернадского.
5. Естествознание – **социальная** сила, определяющая выбор пути развития человечества.

# Тенденции развития естествознания

1. **Обусловленность практикой.**
2. **Преемственность** в развитии идей и теорий (принцип **соответствия**).
3. Чередование периодов **эволюционного** и **революционного** развития.
4. **Противоречивость** развития.
5. **Повторяемость** идей (концепций) – см. следующий слайд.
6. Взаимодействие отраслей естествознания через их **дифференциацию** и **интеграцию**: первая обусловлена **раздвижением границ** познаваемого мира, вторая – стремлением установить **всеобщую связь** его процессов и явлений.
7. **Возрастание** роли естествознания в жизни общества.

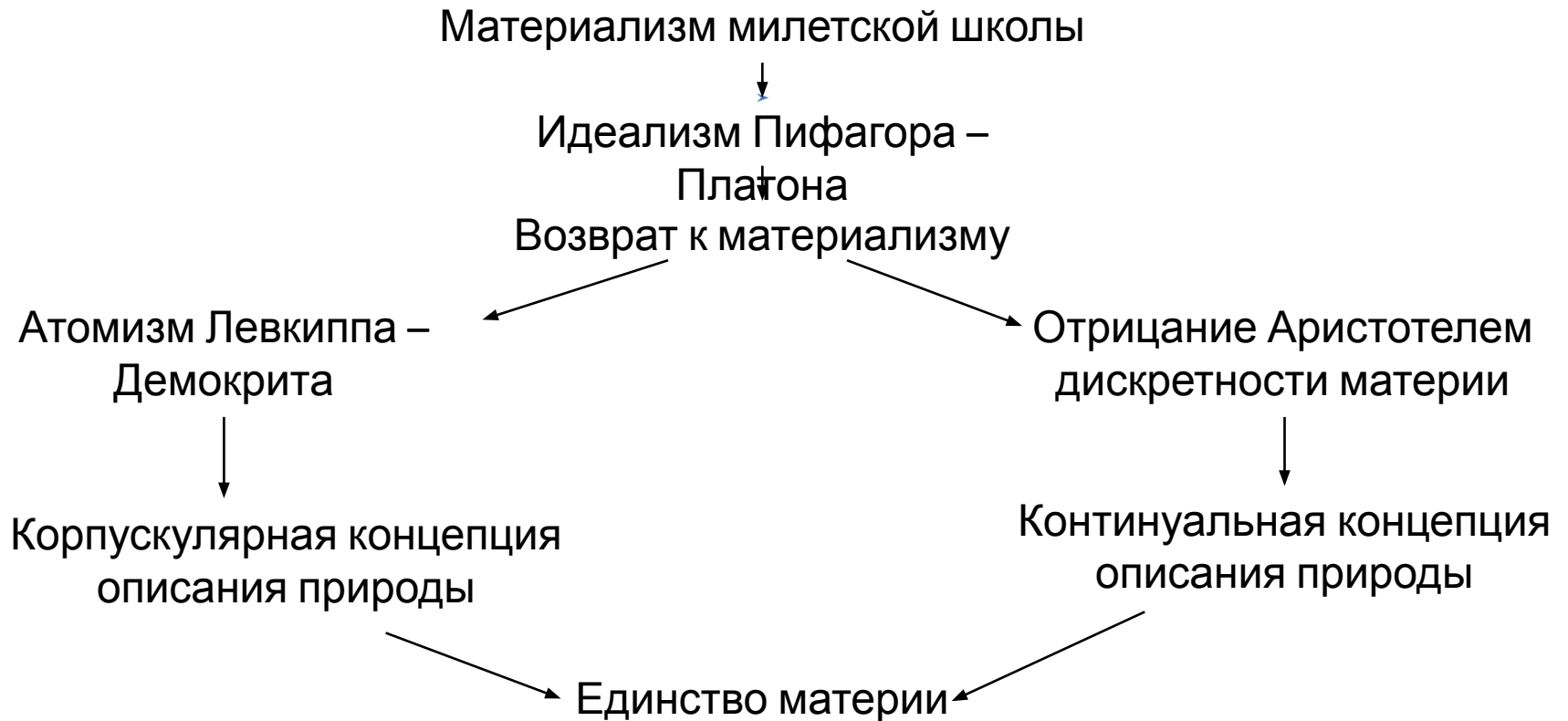
# Спиралеобразный характер развития естественнонаучного знания



# 1.4. Развитие представлений о материи

**Материя** – объективная реальность, существующая независимо от человеческого сознания и отображаемая им.

## Этапы эволюции трактовки материи



# Материализм милетской школы

**Постановка** проблемы существования и познания материи, как **вечного и постоянно изменяющегося первоначала**, из которого возникают все вещи, и в которое они со временем превращаются.

## Идеализм Пифагора – Платона

Материя **вторична**, она лишь несовершенное следствие первичного по отношению к ней **мира идей**.

## Возврат к материализму с оформлением противоречия между разными трактовками материи

Сопоставляемые черты	корпускулярной (вещественной) концепции описания природы	континуальной (полевой) концепции описания природы
Вид материи	<b>Дискретное</b> вещество	<b>Непрерывное</b> поле
Способ её движения	Перемещение со скоростью $V$ , намного меньшей скорости света $c$	Распространение в виде электромагнитных волн со скоростью $V = c$
Энергия взаимодействия	Гравитационная	Электромагнитная
Принцип её передачи	Дальнодействие	Близодействие
Теория, описывающая поведение материи	Механика Ньютона (17 век)	Электродинамика Максвелла (19 век)

**Усугубление противоречия** между корпускулярной и континуальной концепциями описания природы (рубеж 2 и 3 этапов истории естествознания):

– неспособность электродинамики Максвелла объяснить новые эмпирические

факты излучения поля веществом («ультрафиолетовая катастрофа»);

– неспособность механики Ньютона и электродинамики Максвелла объяснить природу

и поведение вновь открытых материальных объектов – элементарных частиц.

## **Преодоление противоречия между корпускулярной и континуальной концепциями описания природы**

(3 этап истории естествознания)

Квантовая гипотеза (М. Планк, 1901 г.), допускающая **дискретность** излучения энергии

Объяснение с её помощью явления фотоэффекта (А. Эйнштейн, 1905 г.) и распространение квантовых представлений не только на **излучение**, но и на **поглощение** энергии

Гипотеза корпускулярно-волнового дуализма (Л. Де Бройль, 1924 г.), как догадка об **общей (дискретной)** сути вещества и поля

## **Усложнение представлений о материи на современном (четвертом) этапе истории естествознания**

- классификация элементарных частиц (адроны и лептоны);
- кварковая модель вещества;
- теория струн (суперструн);
- «темная материя».

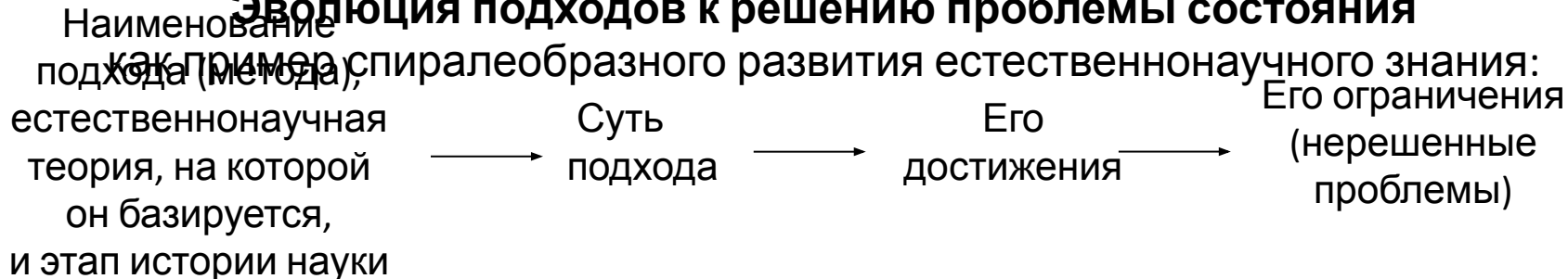
# 1.5. Развитие представлений о движении

**Движение** – способ существования материи («в мире нет ничего, кроме дви-жущейся материи» – философское понимание термина).

**Способы (формы)** движения материи – это конкретные природные процессы, имеющие результатом изменение **количественной** меры движения материи – **энергии** материального объекта – как характеристики **состояния** материальной системы (**естественнонаучное** понимание термина).

**Проблема состояния** – оценить **энергию** материальной системы как **потенциал** её функционирования (движения), как запас «жизненных сил» данной системы.

## Эволюция подходов к решению проблемы состояния





**Детерминистский подход** (классическая механика, 2 этап истории естест-вознания)



**Точное математическое определение полной механической энергии материальной системы** как суммы кинетической (движения) и потенциальной (положения) энергий её элементов, а также **энергии электромагнитной волны** как комбинации напряженностей электрического и магнитного полей



Применим для природных и искусственных материальных систем с **конечным** числом элементов, а также для электромагнитного излучения



Неприменимость по отношению к реальным материальным системам со **сколь угодно большим** числом элементов (молекул в теле или звезд в галактике). Неучет прочих, известных для данного периода истории естест-вознания, видов энергии, в частности **тепловой**

**Термодинамический метод (феноменологический подход),**  
классическая термодинамика, 2 этап истории естествознания

↓

Состояние материальной системы (**любой!**) оценивается её **внутренней энергией**, равной сумме энергий **всех** видов, которыми эта система обладает. Точно подсчитать внутреннюю энергию системы **принципиально нельзя**, но можно фиксировать и численно определять её **изменение** в результате внешних (тогда – только механического или теплового) воздействий на данную систему

↓

Первое **практически** возможное решение проблемы состояния. **Решение** – потому что **априорно** учитывается **вся** энергия материальной системы (даже неизвестная на данный момент времени). **Возможное** – потому что не на всякую реальную материальную систему можно оказать внешнее воздействие с целью определения изменения её внутренней энергии

↓

Игнорируется факт **сложности внутренней структуры** материальной системы (опять же, **любой**)

**Статистический метод (микроскопический подход)**, молекулярно-кинетическая теория, она же статистическая физика, 3 этап истории естествознания



Состояние материальной системы (**макроскопического тела**) определяется по **усредненным (статистическим)** значениям параметров состояния **совокупности** молекул, из которых эта система (тело) состоит – по **усредненной** скорости молекул, по их **средней** кинетической энергии, по **распределению** давления (для газов) и др.



За счет **учета микроструктуры** материальной системы точность определения параметров её состояния **возрастает**



**Точно** определить параметры состояния материальной системы по-прежнему **нельзя**, поскольку учет сложности её внутренней структуры носит **вероятностный** характер

**Дополнение** третьего подхода к решению проблемы состояния (статистического метода) положением о **неустранимости неопределенности** (квантовая механика, 3 этап истории естествознания)



**Любые** параметры состояния **любой** материальной системы **всегда** носят **вероятностный** характер. Причина – факт **бес-конечной сложности** окружающего нас мира. Вывод – **един-ственно правильный** путь познания заключается в максимально полном учете **неопределенности** и **случайности** при определении параметров состояния материальных систем, из которых этот мир состоит

## 1.6. Развитие представлений о взаимодействии

**Движение** – способ существования материи.

**Причиной** движения (**условием** существования материи) является **взаимодействие** – активность и направленность действия (как **векторной величины**) одного элемента материальной системы на другой.

Своей **стороной** и **результатом** взаимодействие имеет **связь** – такое отношение между элементами материальной системы, при котором изменение каких-либо конкретных свойств одного из них вызывает изменение соответствующих свойств другого.

**Виды** взаимодействий и обусловленные ими **внутренние связи** природных объектов, как материальных систем, обеспечивают их **целостность и устойчивость**, в силу чего называются **фундаментальными взаимодействиями в природе**.

# Взаимодействия, отвечающие за существование объектов природы, (в хронологическом порядке их обнаружения)

Объекты природы	Их составляющие (элементы этих объектов как материальных систем)	Взаимодействия (внутренние связи), <b>доминирующие</b> в данных материальных системах	Этап истории естествознания, на котором было обнаружено данное взаимодействие
Звездные системы (галактики)	Звезды	<b>Гравитационное взаимодействие</b> (притяжение)	Классического естествознания
Планетная (Солнечная) система	Звезда (Солнце), планеты и их спутники		
Вещественные тела, в т. ч. живая материя	Молекулы	<b>Электромагнитное взаимодействие</b> (образует межмолекулярные связи и химическую связь в молекулах)	
Молекулы	Атомы		
Атомы	Ядра атомов и их электронные оболочки	<b>Электромагнитное взаимодействие</b> между разноименно заряженными адронами и лептонами	
Ядра атомов	Адроны	<b>Сильное взаимодействие</b> (связь между протонами и нейтронами) <b>Слабое взаимодействие</b>	

Данные четыре фундаментальных взаимодействия присутствуют в **любых** природных объектах, но соотношение этих взаимодействий по силе в **разных** таких объектах **разное**. Так, внутри **атома** данное соотношение по степени убывания силы присутствующих в нем фундаментальных взаимодействий следующее:

- сильное 1;
- электромагнитное  $10^{-2}$ ;
- слабое  $10^{-14}$ ;
- гравитационное  $10^{-38}$ .


Уже на третьем этапе истории естествознания возникла необходимость **квантования** фундаментальных взаимодействий как верификации гипотезы корпускулярно-волнового дуализма. Результаты решения этой задачи следующие (также в хронологическом порядке):

- **фотоны** – переносчики (кванты) **электромагнитного взаимодействия** между атомами, молекулами и вещественными телами;
- **глюоны** (8 разновидностей) – переносчики (кванты) **сильного взаимодействия** между нуклонами, адронами и кварками;
- **бозоны** (3 вида, причем бозон Хиггса к ним не относится) – переносчики (кванты) сначала **слабого**, а потом объединенного слабого и электромагнитного (**электрослабого**) взаимодействия между адронами и между адронами и леп-тонами;
- **гравитон** – переносчик (квант) **гравитационного взаимодействия** (не найден).

# 2. Пространство, время, симметрия

## Структура модуля 2

Темы 2.1, 2.2 и 2.3



Пространство и время

Тема 2.4



Симметрия

### 2.1. Эволюция представлений о пространстве и времени



**Философская интерпретация** – пространство и время есть **всеобщие и необходимые** формы бытия материи.

**Естественнонаучная трактовка:** пространство и время – **формы** существования материи (то же самое).

**Уточнение физики**, категориями которой являются пространство и время (две конкретные задачи их научного исследования):

– какова **сущность** пространства и времени, а именно, какими **физическими свойствами** они обладают и как измеряются **геометрические характеристики** пространства (**длина**) и времени (**длительность**)?

– как пространство и время **связаны** с видами материи – веществом и полем?

## **Два периода развития представлений о пространстве и времени**

1. **Доэйнштейновский** (первый и второй этапы истории естествознания).
2. **Эйнштейновский** (третий и четвертый этапы истории естествознания).

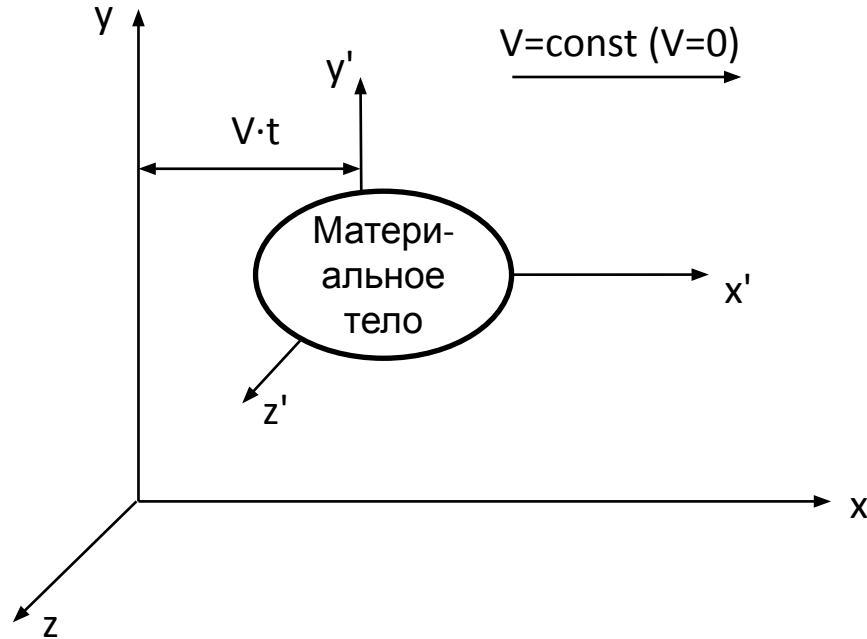
# Античные концепции пространства и времени

	Атомистическая	Аристотелевская
Пространство	<p><b>Пустота</b> (небытие), которая <b>неподвижна, бесконечна</b> и не оказывает <b>никакого влияния</b> на находящиеся в ней материальные тела. Имеет <b>одинаковые свойства</b> во всех своих <b>точках (однородна)</b> и по всем своим <b>направлениям (изотропна)</b> – Демокрит, Лукреций, Эпикур.</p>	<p><b>Пустоты нет</b> («природа не терпит пустоты»), пространство заполнено непрерывной и организованной материей, поэтому оно <b>подвержено изменениям</b> (из-за движения материи), <b>конечно, неоднородно и анизотропно</b></p>
	<p>Строгая математическая интерпретация однородного, изотропного, бесконечного, <b>плоского и прямолинейного</b> пространства (постулаты геометрии Евклида)</p>	
Время	<p><b>Субъективное</b> (человеческое) ощущение действительности событий)</p>	<p>Мера естественного и насильственного <b>движения</b> тел</p>

# Развитие представлений о пространстве и времени

## на этапе классического естествознания

Галилей – математически строго доказал гипотезу атомистов об **абсолютности пространства и времени** с помощью мысленного эксперимента с **инерциальными системами отсчета**:



Преобразования  
Галилея:

– пространства:

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$x = x' + V \cdot t$$

– времени:

$$t = t'$$

## Итоги эксперимента

1. Законы классической механики **инвариантны** (неизменны, безразличны) к преобразованиям Галилея (**принцип относительности Галилея**).
2. Время  $t$  течет **одинаково** в обеих системах отсчета, т.е. оно **абсолютно**.
3. Изменение координаты в направлении движения материального тела также **одинаково** в обеих системах отсчета, следовательно пространство также **абсолютно**.

Ньютон – дополнил выводы Галилея положением о независимости **массы тела** от параметров его движения и обосновал новое свойство пространства – его **беско-нечность**

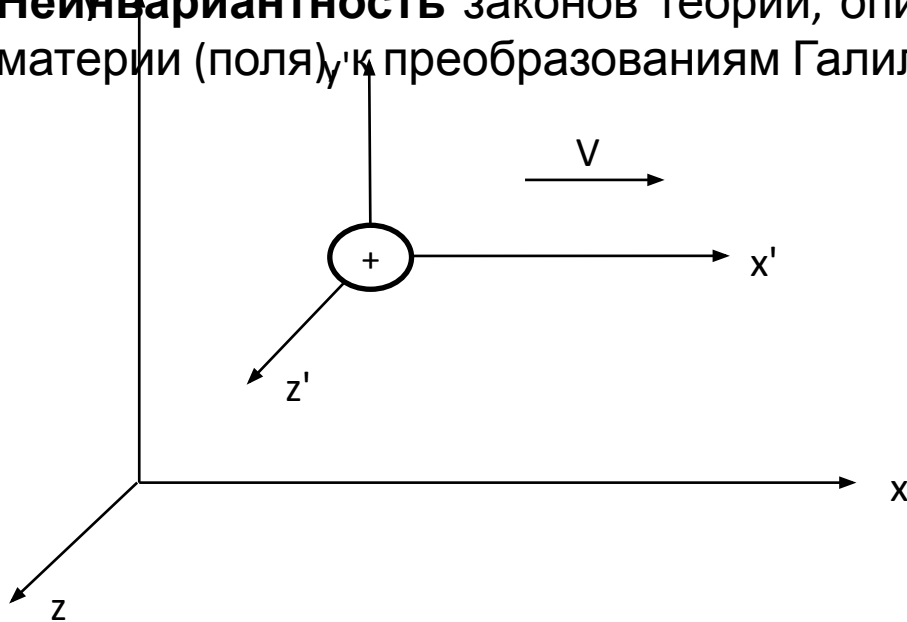
## Итог доэйнштейновского периода развития представлений о пространстве и времени (механистическая картина

	Пространство (мира)	Время
Физические свойства	Пустое, однородное, изотропное, бесконечное, плоское, прямолинейное	Однородное, равномерно текущее, идущее сразу и везде «единообразно и синхронно»
Геометрические характеристики	Описывается геометрией Евклида	Показывает <b>продолжительность</b> события
Как связаны с материей (пока только с веществом)?	Никак, пространство и время <b>абсолютны</b> и не зависят от размера, массы и времени движения тела	

# Теоретические и опытные факты, противоречащие представлениям о пространстве и времени доэйнштейновского периода

**Фотометрический парадокс** – если количество звезд во Вселенной бесконечно, то почему всё небо не сверкает, как поверхность **единой** звезды, и звезды разделены темными промежутками? Вывод – Вселенная **не бесконечна**.

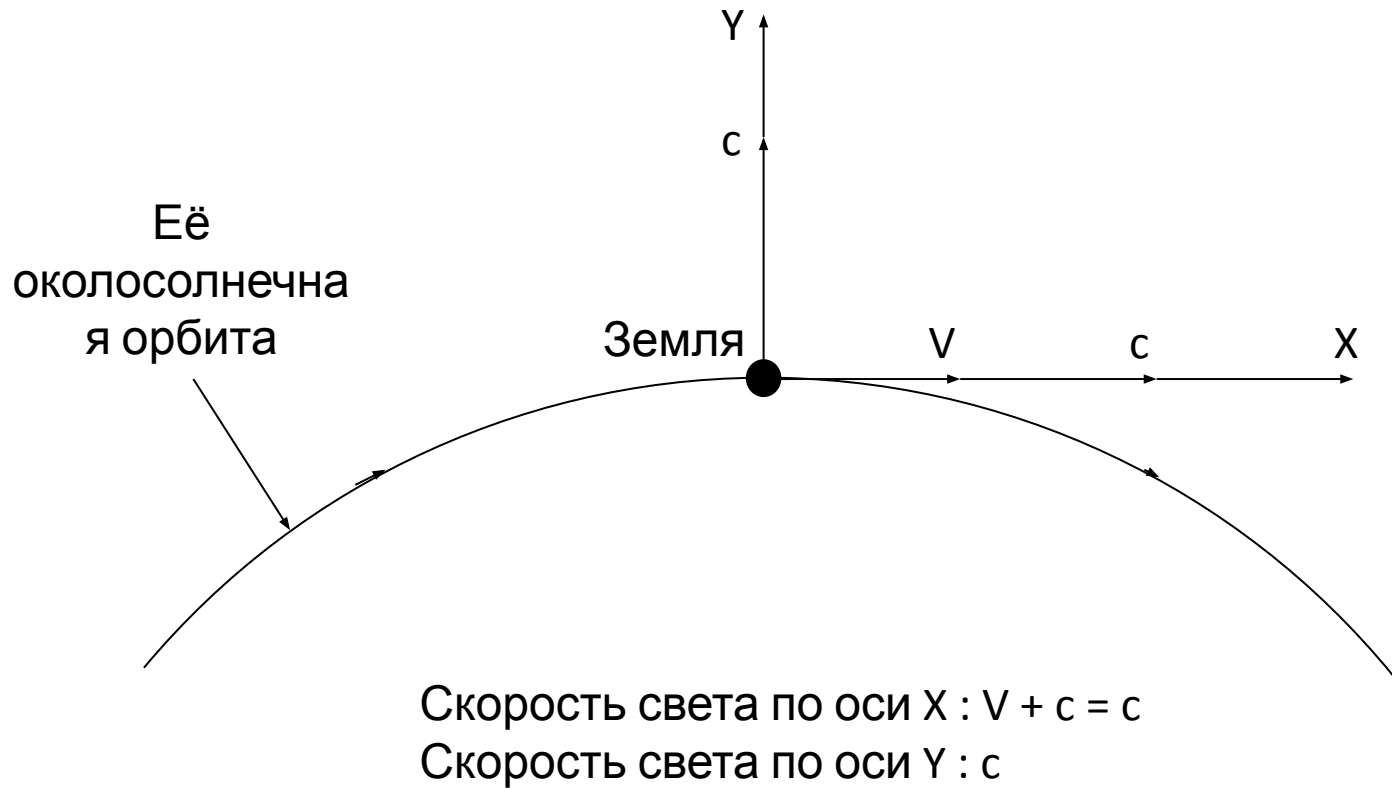
**Неинвариантность** законов теории, описывающей поведение **нового** вида материи (поля) к преобразованиям Галилея:



Подвижная система отсчета  
 $x', y', z'$  – **электростатическое**  
поле

Неподвижная система отсчета  
 $x, y, z$  – **электромагнитное** поле

## Отрицательный результат опыта Майкельсона – Морли:



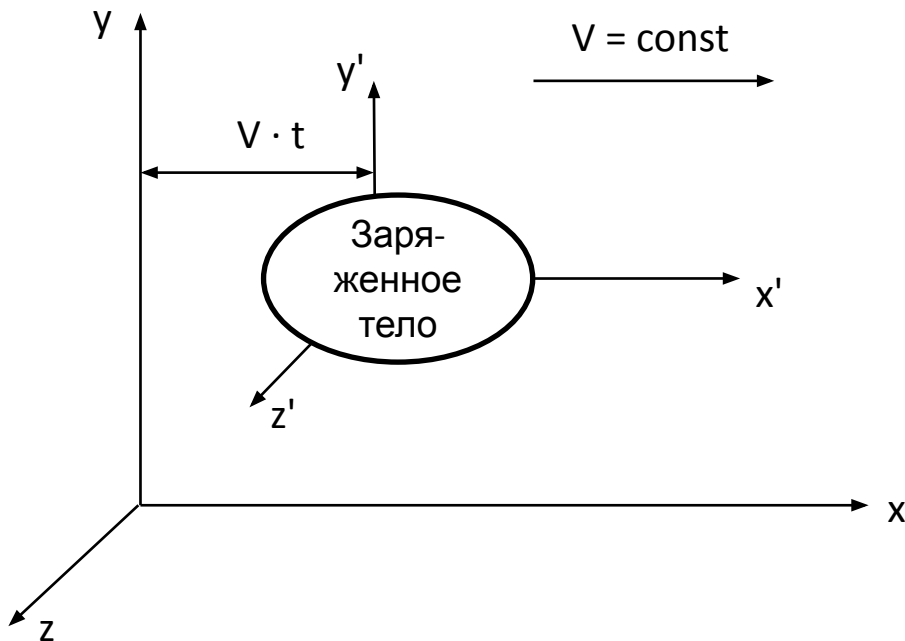
**«Теория относительности возникла из проблемы поля» (А. Эйнштейн)**

## 2.2. Специальная теория относительности

**Проблема** – неинвариантность законов поведения **поля** (законов электродинамики Максвелла) к преобразованиям Галилея, по отношению к которым инвариантность законов поведения другого вида материи – **вещества** – (законов механики Ньютона) сохраняется.

**Логичное решение** – предложить **другие** преобразования пространства и времени, по отношению к которым обеспечивалась бы инвариантность законов **и новой** (электродинамика Максвелла), **и старой** (механика Ньютона) теорий.

**Как это сделать** – повторить мысленный эксперимент Галилея с инерциальными системами отсчета, но подвижную систему  $x', y', z'$  совместить не просто с электрически нейтральным телом, а с **обладающим электрическим зарядом** телом, движущимся вдоль оси  $x$  неподвижной системы  $x, y, z$  (Х. Лоренц).



Преобразования Лоренца:

– пространства:

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$x' = \frac{x - V \cdot t}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$$

– времени:

$$t' = \frac{t - V \cdot x/c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$$

, где  $c$  – скорость света в вакууме

### Итоги эксперимента **ожидаемые**

1. Законы электродинамики **инвариантны** к преобразованиям Лоренца – уравнения электростатики Кулона (система отсчета  $x', y', z'$ ) являются частным случаем уравнений Максвелла (система отсчета  $x, y, z$ ).
2. Для вещества при  $V \ll c$  преобразования Лоренца **вырождаются** (упрощаются) в преобразования Галилея (принцип соответствия).

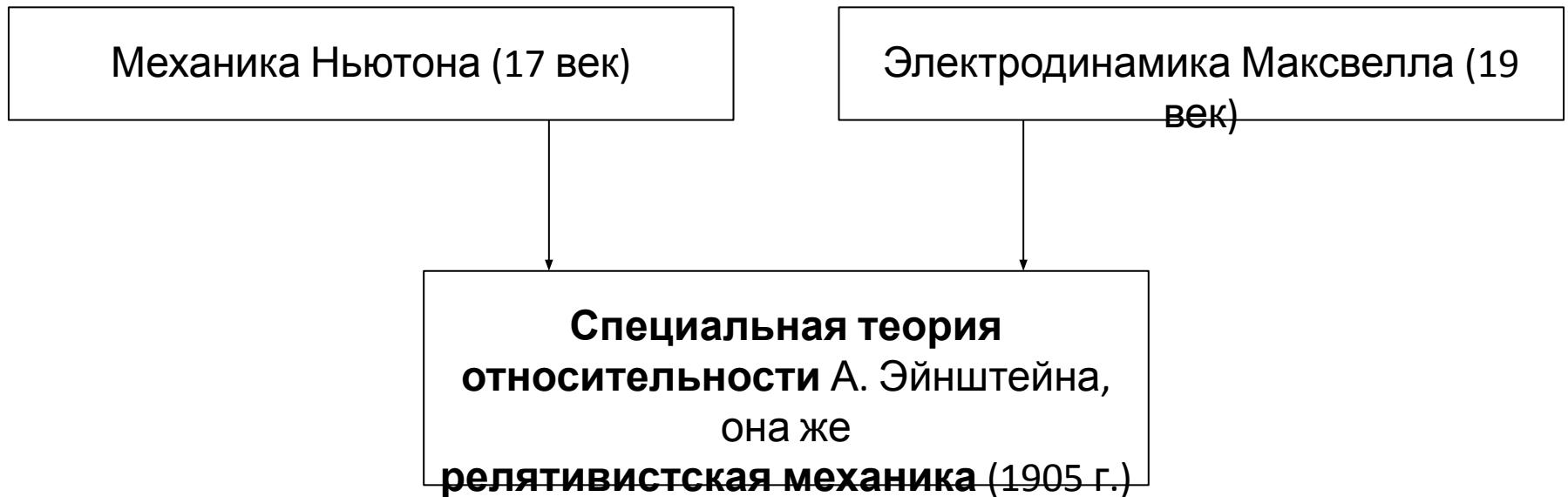
### Итоги эксперимента **неожиданные**

3. В направлении своего прямолинейного движения (по оси  $x$ ) **тело сокращается в своем размере** по данной оси.
4. Для этого же тела **время замедляется**.



**Объяснение Эйнштейна** – размер тела при его движении **не** **изменяется**, и замедления времени для движущегося тела тоже **нет**. Есть **изменение результатов** измерения этих параметров движения тела в зависимости от того, **где** находится измеритель (наблюдатель). Пространство и время имеют особое качество – быть **связанными** с движением в них и по отношению к ним материальных объектов (тел).

**Итог** – отказ от **ньютоновских** представлений о пространстве и времени, инициированный **проблемой поля**, и переход к **новой** их трактовке:



**Два постулата** (две аксиомы) специальной теории относительности:

- **принцип относительности Пуанкаре-Эйнштейна**: законы электродинамики инвариантны к преобразованиям Лоренца;
- **принцип постоянства скорости света**: скорость света в вакууме с одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приемников света. Невозможно вообще распространение какого-либо физического взаимодействия со скоростью, бóльшей чем скорость света в вакууме  $c$ .

### **Положения (выводы) специальной теории относительности, базирующиеся на её постулатах**

1. **Отмена** господствовавшего в механике Ньютона принципа **дальнодействия**.
2. **Новое (релятивистское)** правило сложения скоростей движения тела:

$$V = \frac{v' + V}{1 + V \cdot v' / c^2}$$

, где  $v'$  – скорость движения тела вдоль оси  $x'$  подвижной системы отсчета;

$V$  – скорость движения подвижной системы отсчета относительно оси  $x$  неподвижной системы отсчета;

$v$  – скорость движения тела вдоль оси  $x$  неподвижной системы отсчета.

Для **земных** условий  $\frac{V \cdot v'}{c^2} \rightarrow 0$ , и  $v = v' + V$  (правило сложения скоростей движения тела классической механики).

### 3. «Формула 20 века» А. Эйнштейна:

$$E = m'c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

, где  $m_0$  – масса тела в неподвижной системе отсчета (**масса покоя**, которой оперирует классическая механика);

$m'$  – масса тела в подвижной системе отсчета (**релятивистская масса**, которой оперирует специальная теория относительности);

$E$  – **максимальная энергия, запасенная** телом массой  $m'$ . При  $m'c^2 \Rightarrow E$  имеет место КПД = 100 % (не достижим). Для сравнения – КПД тепловой энергетики составляет  $10^{-8}$  %, а КПД атомной энергетики –  $10^{-1}$  %.

### 4. Единое четырехмерное «пространство-время» (пространственно-временной континуум) Г. Минковского:

$$S = \sqrt{c^2t^2 - r^2} = \sqrt{c^2t^2 - (x^2 + y^2 + z^2)}$$

, где  $r$  – радиус-вектор материальной точки (Ньютон);

$t$  – время её движения (тоже Ньютон);

$S$  – **интервал (мировой интервал)**: единая пространственно-временная координата **точки-события** (Минковский).

Пространство-время Минковского еще плоское, но уже **неевклидово**.

## 5. Релятивистские эффекты:

- движущиеся часы идут **медленнее** часов покоящихся ( $t > t'$ );
- размер тела **сокращается** в направлении его движения ( $\Delta x < \Delta x'$ );
- масса движущегося тела (релятивистская масса) **больше** массы тела покоящегося (массы покоя тела), или  $m' > m_0$ ;
- события, одновременные в одной системе отсчета, **не являются** одновременными в системе, движущейся относительно первой (**относительность одновременности**).

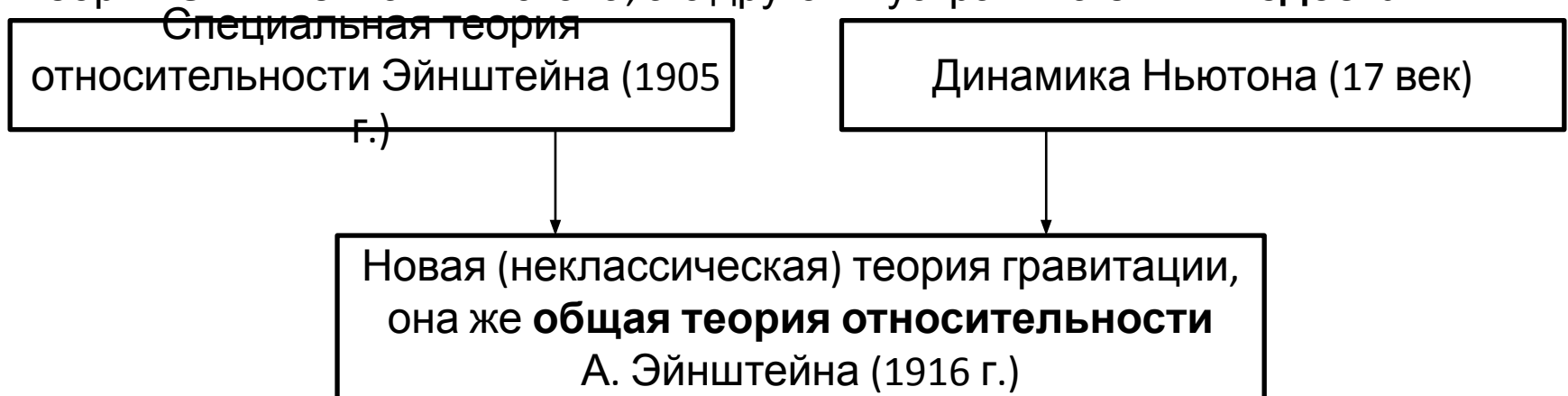
В **земных** условиях, где  $V/c \rightarrow 0$ , данные эффекты **незаметны**, поэтому проверить их, равно как и подтвердить другие положения и постулаты специальной теории относительности, можно либо **наблюдениями** в тех областях организации материи, где **скорости  $V$  и  $c$  соизмеримы**, либо **экспериментами**, где обеспечивается выполнение этого условия. Что же удалось доказать?

- **релятивистское замедление времени** подтверждено **наблюдениями** за элементарными частицами в верхних слоях атмосферы Земли, а также **экспериментом** с часами в самолете, летающем вокруг неё, и с часами, остающимися на Земле;
- **релятивистское правило сложения скоростей**, а, следовательно, и **второй постулат специальной теории относительности**, подтверждены **наблюдениями** за двойными звездами, а также **экспериментом** А. Физо по измерению скорости света в неподвижной жидкости и в жидкости, протекающей с конечной скоростью.

## 2.3. Общая теория относительности

**Проблема** – инерциальных систем отсчета, которыми, как идеализированным объектом оперирует специальная теория относительности, **в реальном мире действительно нет**. В нем имеют место **неинерциальные системы отсчета**, в которых тела движутся друг относительно друга **ускоренно** или **замедленно**. Ускорение телам сообщает **сила тяготения (сила гравитации)**, которую специальная теория относительности **не учитывает**.

**Логичное решение** – есть классическая теория тяготения – динамика Ньютона – но она базируется на старых (доэйнштейновских) представлениях о пространстве и времени. Необходима **новая** теория, которая, с одной стороны, объединила бы **преимущества существующих** теорий Эйнштейна и Ньютона, а с другой – устранила бы **их недостатки**:



Сценарий создания **общей** теории относительности **был таким же**, как сценарий создания **специальной** теории относительности:

Этап создания	специальной теории относительности	общей теории относительности
От каких привычных (существующих) представлений отказалась создаваемая новая теория	Абсолютность пространства и времени	Геометрия Евклида
Какие постулаты легли в основу создаваемой теории	Принцип относительности Пуанкаре – Эйнштейна и принцип постоянства скорости света	Принцип локальной эквивалентности инерционной и гравитационной масс и обобщенный принцип относительности Эйнштейна
Какие более сложные представления создаваемая теория предложила взамен отвергнутых	Единое четырехмерное «пространство-время»	Геометрия Римана

**Два толкования** классической механики **одного и того же** понятия – **массы тела m**:

- **инерционная** масса тела  $m = F / a$ , или мера его **сопротивления (инерции)** приложенной к этому телу силе  $F$ , которая сообщает ему ускорение  $a$ ;
- **гравитационные** массы тел  $m_1$  и  $m_2$  – одновременно **источники и объекты воздействия** силы тяготения  $F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / R^2$

Ньютоновская **интерпретация** этих толкований – инерционная и гравитационная массы **одного и того же тела** есть массы **разные** по своей сути, но **одинаковые по величине** (простое совпадение)

**Другая** интерпретация последнего факта – равенство инерционной и гравитационной масс вовсе не случайность, а **неотъемлемое свойство** особой субстанции – **гравитационного поля** или **поля тяготения** (Эйнштейн).

Её (новой интерпретации) следствия:

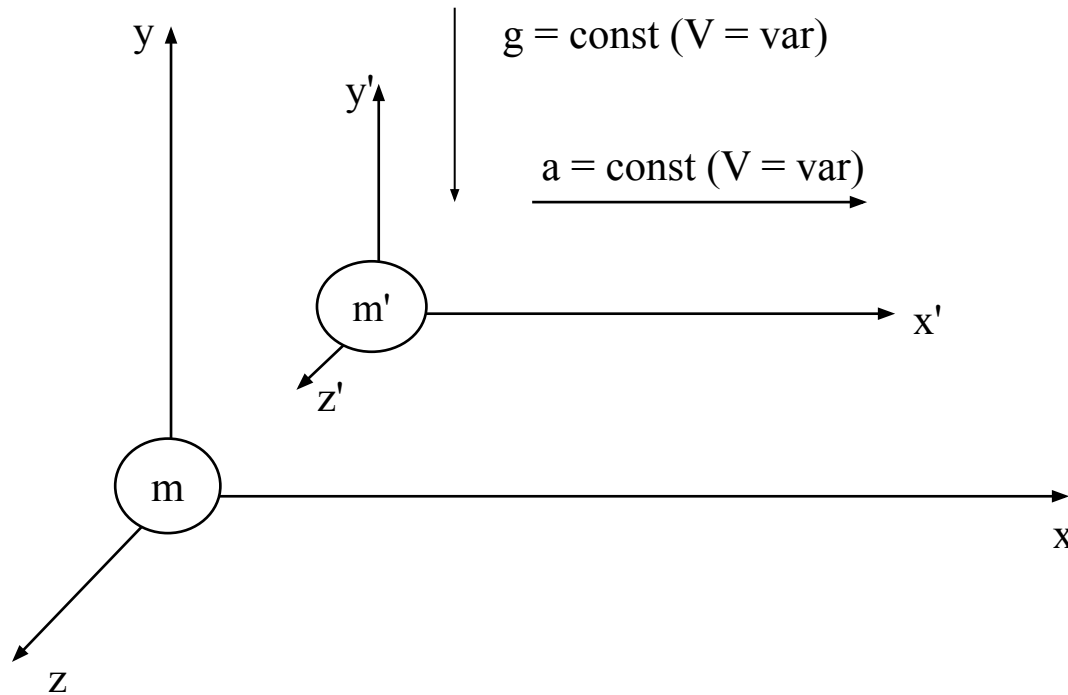
- с введением нового понятия (поля тяготения) гравитационное взаимодействие становилось **близкодействующим**;
- равенство (эквивалентность) инерционной и гравитационной масс означало, что такими же **эквивалентными** (проявляющими себя **одинаково**) являются механические эффекты, инициируемые этими массами – явления **ускорения и гравитации**.



**Принцип локальной эквивалентности инерционной и гравитационной масс** (или просто – **принцип эквивалентности**), он же **первый постулат** общей теории относительности. Справедлив при двух допущениях:

- инерционная и гравитационная массы тела являются эквивалентными только в области пространства **малой** протяженности (**локальной области пространства**), где силу тяготения можно считать **постоянной**;
- принцип эквивалентности справедлив только для случая **равноускоренного** движения одного тела относительно другого.

**Следствие принципа эквивалентности** – силу тяготения можно «создать» или «уничтожить» переходом из неподвижной системы отсчета в другую систему отсчета, движущуюся с ускорением относительно первой (Эйнштейн). Такие системы отсчета называются **неинерциальными**:



### Графическая интерпретация этого следствия

1. Какая сила «вжимает» пассажира в сиденье при разгоне автомобиля массой  $m'$  с ускорением  $a$  вдоль оси  $x$  – сила инерции, или сила тяготения – **неизвестно**, физика не может ответить на этот вопрос.
2. Сила инерции лифта массой  $m'$ , свободно падающего вдоль оси  $y$ , равна силе тяготения, с которой Земля массой  $m$  притягивает его к себе, но противоположна по направлению. В итоге лифт находится в состоянии **невесомости**.



Эквивалентность, существующую между ускорением и гравитацией, Эйнштейн распространил на **все** (а не только на механические) явления реального мира в виде **второго постулата** общей теории относительности, или **обобщенного принципа относительности Эйнштейна** – что **любые** физические явления протекают **одинаково** в движущихся друг относительно друга **равноускоренно (неинерциальных)** системах отсчета.

**Ограниченность** обоих постулатов – они справедливы только для **однородного** гравитационного поля, для которого выполняются условия  $a = \text{const}$  или  $a = g$ . В реальности же движение тел относительно друг друга является **произвольным**, то есть носит неравноускоренный характер ( $a = \text{var}$ ), вследствие чего гравитационное поле в действительности является **неоднородным**.

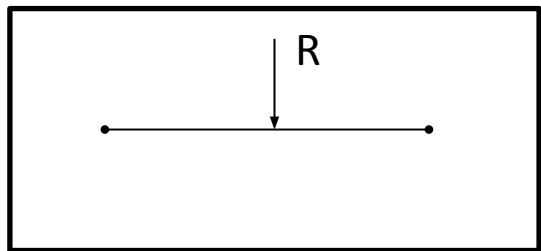
Чтобы распространить представления общей теории относительности на неоднородные (то есть **на любые!**) гравитационные поля, Эйнштейну пришлось допустить существование **искривленного**, или **неевклидова** пространства, описываемого другой – **неевклидовой** – геометрией.

**Причина** появления неевклидовых геометрий – **недоказуемость** (математическая) постулатов Евклида.

- Их **эволюция** (усложнение) с соблюдением принципа соответствия (19 век):
- геометрия **двумерного** пространства Гаусса;
  - геометрия **трехмерного** пространства Лобачевского – Больяи;
  - геометрия **многомерного** пространства Римана (её наиболее простой частный слу-чай – геометрия Евклида).

Графическая интерпретация на примере **одномерного** пространства:

евклидово



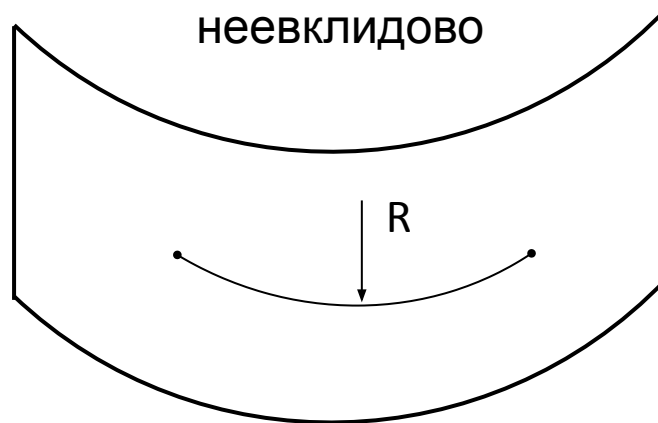
Радиус прямой линии:

$$R = \infty.$$

Её кривизна:

$$K = \frac{1}{R} = 0.$$

неевклидово



Радиус **геодезической** линии:

$$R \neq \infty.$$

Её кривизна:

$$K = \frac{1}{R} \neq 0.$$

**Следствие** геометрии Римана – для пространства с числом измерений (осей координат), равным **бесконечности**, его кривизна и другие свойства будут **разными** в каждой **точке** этого пространства – оно становится **неодно-родным**.

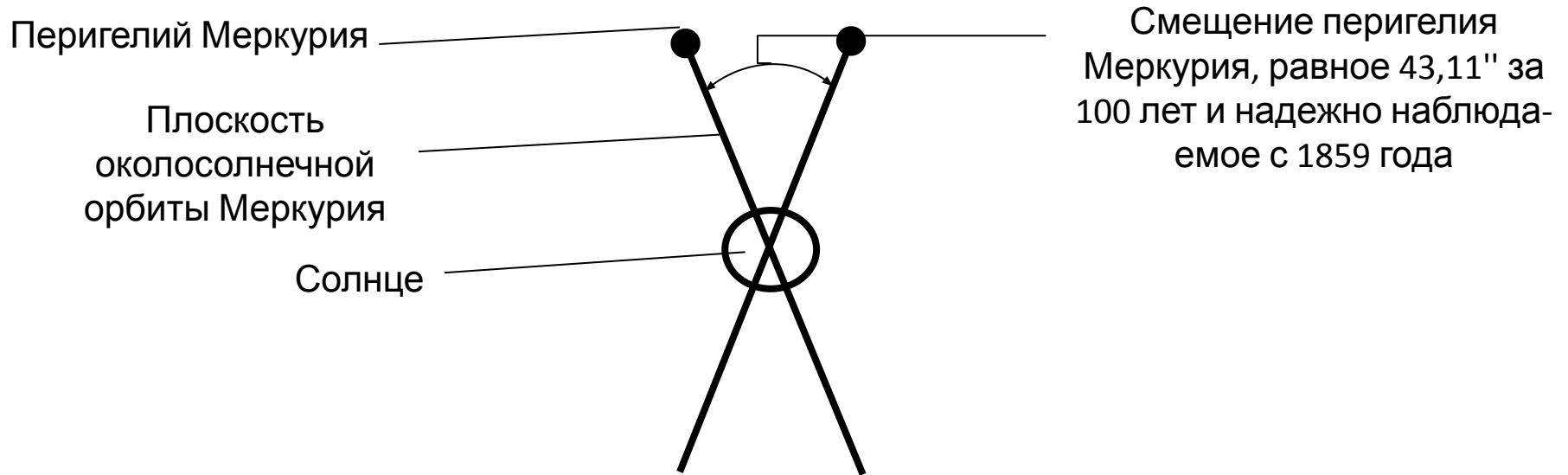
Предположение Римана и еще одного математика (У. Клиффорда) – неоднородность пространства, возможно, обусловлена **гравитацией**.

Распространение Эйнштейном догадки Римана и Клиффорда на **единое пространство-время Минковского** – оно **связано** с присутствующими в нем **массами**, а именно, вблизи этих масс **пространство искривляется, а время – замедляется**. А поскольку массы в этом едином пространстве-времени распределены **неравномерно**, величина его *искривления-замедления* в каждой *точке-событии* четырехмерного *пространства-времени* будет **разной** – **неоднородными** становятся **и пространство, и время**.

**Итог** – с помощью математического аппарата неевклидовой геометрии Римана Эйнштейн дал строгое математическое описание **движения обоих видов материи (вещества и поля) в искривленно-замедленном и неодно-родном пространстве-времени** (общее уравнение гравитационного поля А. Эйнштейна).

**Подтверждения** общей теории относительности – сначала **теоретически выведенные** Эйнштейном, а затем **доказанные** либо **имеющимися**, либо **специально полученными** данными астрономических наблюдений

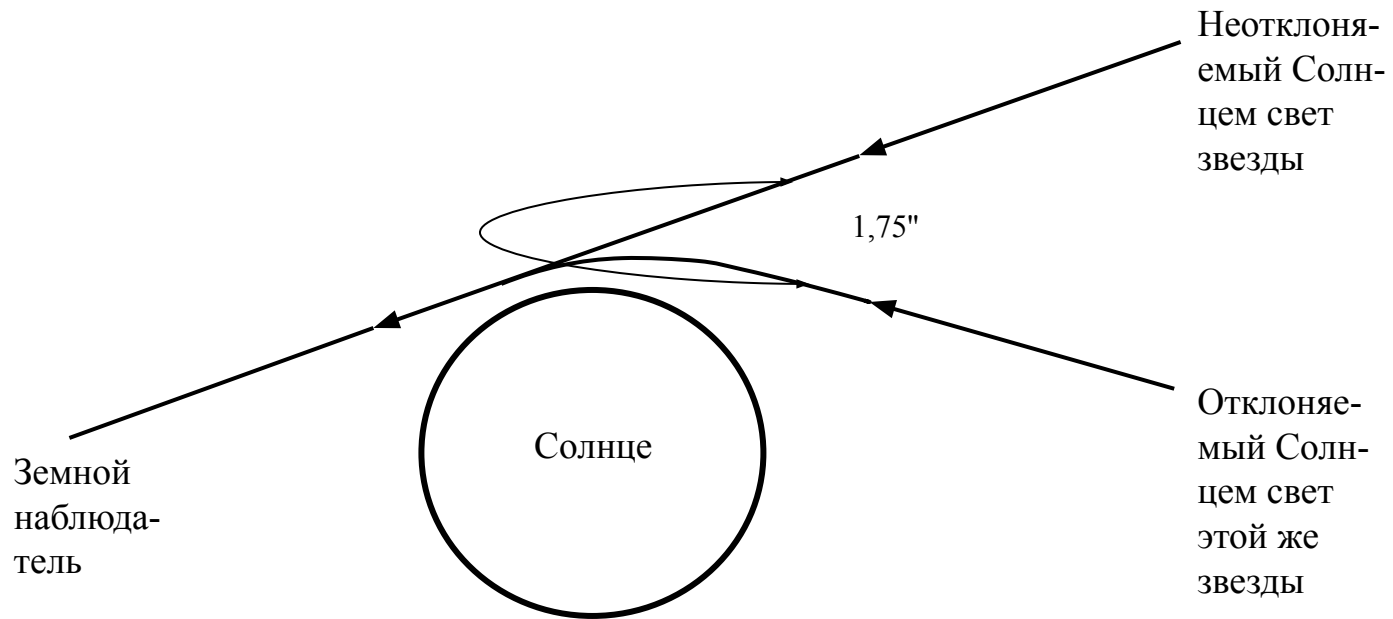
### Смещение (прецессия) перигелия Меркурия



**Версии** – неизвестная планета между Солнцем и Меркурием (источник искажения орбиты последнего) или неточность закона всемирного тяготения Ньютона

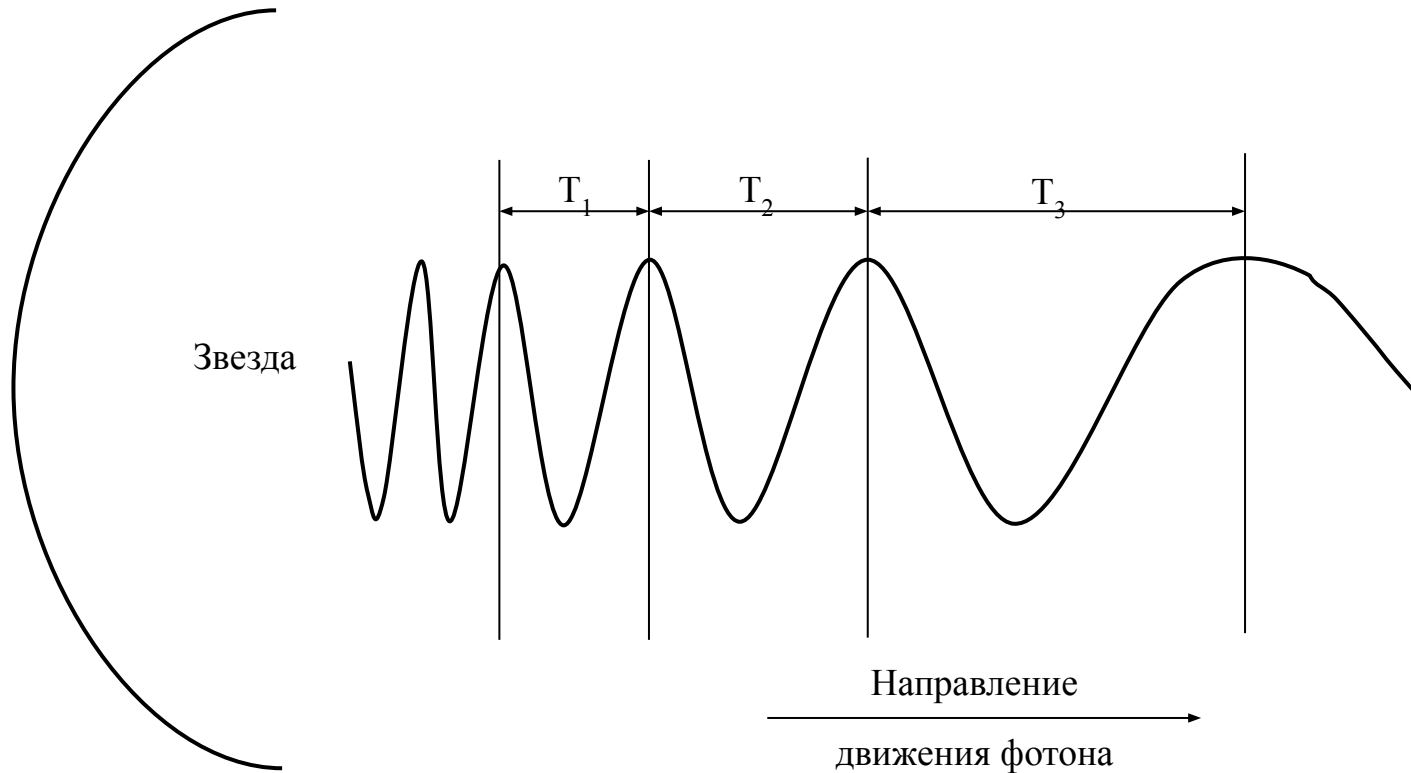
**Объяснение** – влияние гравитационного поля Солнца. Расчет величины этого влияния с помощью общей теории относительности составил 43,03"

# Искривление светового луча в поле тяготения Солнца



1,75" – результат **расчетов** Эйнштейна;  
(1,61" – 1,98") – разброс результатов **астрономических наблюдений**.

## Гравитационное красное смещение

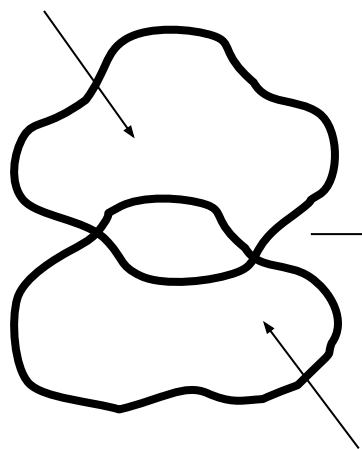


Рост периода колебаний – следствие **уменьшения** энергии фотона при **преодолении** им поля тяготения звезды и, как результат – смещение его частоты в «красную» часть спектра электромагнитного излучения (её уменьшение).

**Проверка** – сопоставление результатов **расчета** и **наблюдения** относительного уменьшения частоты излучения двух звезд, значительно различающихся **по массе** (Солнца и Сириуса).

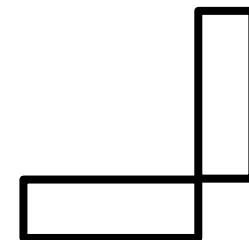
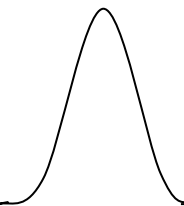
Сходимость – до 10 %

**Последнее подтверждение общей теории относительности –  
доказательство существования гравитационных волн и черных дыр**



Столкновение  
двух черных дыр

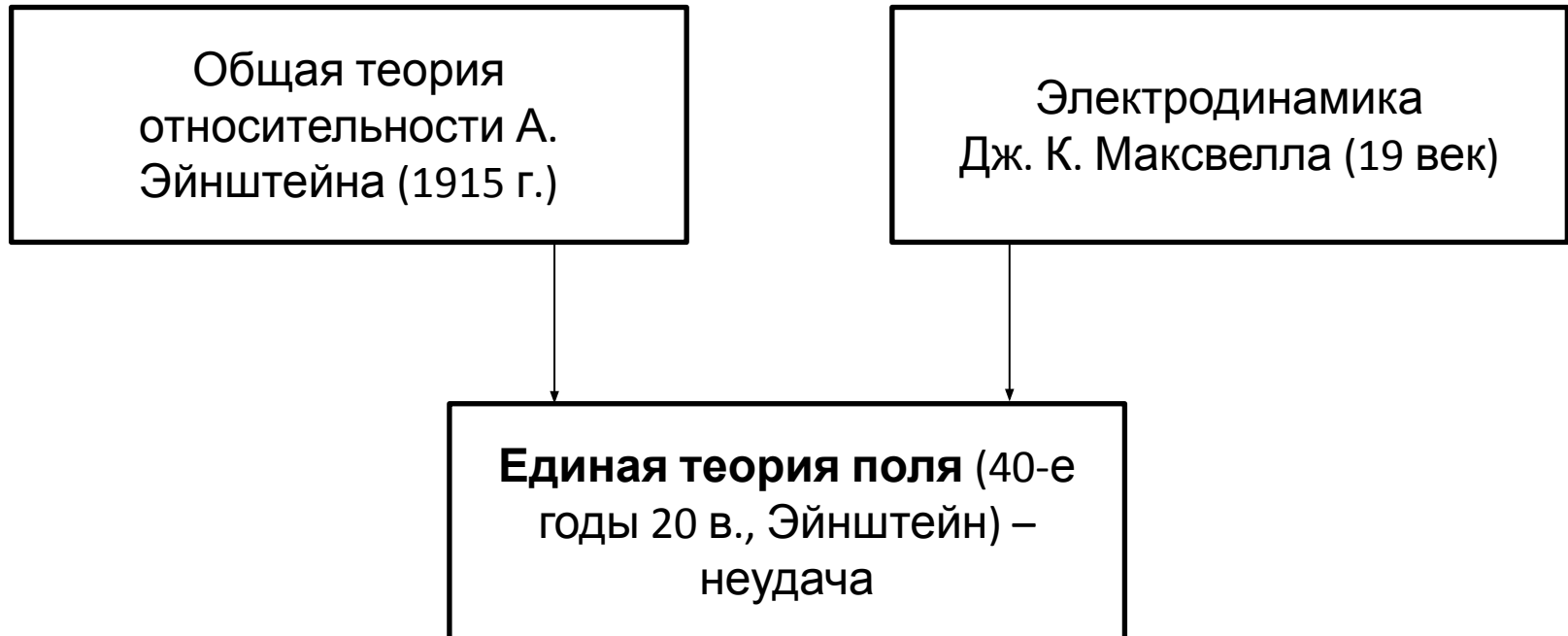
Индукцированная этим  
столкновением гравитационная  
волна – импульс *искривления-  
замедления пространства-  
времени*. Достигла Земли через  
1,3 млрд. лет



**LIGO**  
(лазерно-  
интерферо-  
метрическая грави-  
тационно-волновая  
обсерватория)

Зафиксированный LIGO сигнал – **замедление времени** (увеличение  
времени прохождения лучом света одного и того же расстояния)

## Дальнейшее развитие представлений о пространстве и времени



Вторая половина 20 века – попытки разработать **теорию Великого объеди-нения** как единую теорию **трех** из четырех известных фундаментальных взаимодействий (электромагнитного, сильного и слабого)



## 2.4. Симметрия и законы сохранения

**Симметрией** (соразмерностью, пропорциональностью) обладают:

- объекты природы;
- пространство и время;
- законы природы.

Если **структура и физические свойства** объекта природы **не изменяются** в результате его **реального**

- поворота,
- переноса
- или отражения в идеальном плоском зеркале

, то данный объект имеет **геометрическую симметрию**, т.е. он **симметричен (ин-вариантен)** по отношению к совершаемым над ним **реальным** (еще раз!) преоб-разованиям.

**Нарушение** одной из геометрических симметрий объектов природы – **зер-кальной** – называется **асимметрией**. Асимметрия структур **живой** материи (от организма до молекулы) называется **хиральностью** (**киральностью**).

Симметрия **объектов природы** в данной теме **не рассматривается**.

Если **математический вид** законов природы **не изменяется** в результате **мысленных** преобразований материальной системы (объекта природы), поведение которой данные законы описывают, то говорят, что эти законы **симметричны (инвариантны)** относительно таких преобразований.

Мысленные преобразования материальных систем позволяют выявить *симметрию не только законов природы*, которым подчиняется их поведение, но и *симметрию форм существования этих систем – пространства и времени*:

Внешние мысленные преобразования материальных систем (макроскопических тел)	Свойства ( <i>геометрические симметрии</i> ) пространства и времени, выявляемые этими преобразованиями
Непрерывный, параллельный, без поворота вокруг центральной оси перенос материальной системы по любой оси координат	<b>Однородность пространства</b> (она же – его <i>трансляционная симметрия</i> ) – эквивалентность всех <b>точек</b> пространства, одинаковость их свойств
Непрерывный поворот материальной системы, как целого, вокруг любой оси координат	<b>Изотропность пространства</b> (от греч. isos – равный, одинаковый и tropos – поворот, направление) – эквивалентность всех его <b>направлений</b> , одинаковость свойств пространства по ним
Непрерывное изменение начала отсчета времени (сдвиг по времени)	<b>Однородность времени</b> – одинаковость событий, происходящих при одних и тех же условиях, но в <b>разные моменты времени</b>
Переход от одной инерциальной системы отсчета к другой	<b>Эквивалентность всех инерциальных систем отсчета</b>

# Развитие представлений о симметрии и законах сохранения

## Этап классического естествознания

Геометрические симметрии пространства и времени – результат **мысленного эксперимента** (см. предыдущий слайд)

← **никак не связаны** между собой →

Эмпирические законы сохранения (импульса  $mv$ , момента импульса  $mvr$  и полной механической энергии  $E_M$ ) **количественного характера** (эмпирические зависимости)

Еще один **результат** данного этапа – доказательство **абсолютности** пространства и времени проверкой законов **классической механики** на симметричность с помощью опять же **мысленных** преобразований Галилея.

## Этап неклассического естествознания

Геометрические симметрии уже *единого пространства-времени* обнаруживают **строгую математическую связь** с законами сохранения (теорема Э. Нётер):

Свойства (геометрические симметрии) пространства-времени,	Соответствующие им законы сохранения
Однородность пространства (трансляционная симметрия)	Импульса $mv$
Изотропность пространства	Момент импульса $mvr$
Однородность времени	Полной механической энергии $E_M$

Еще один **результат** данного этапа – доказательство **относительности** пространства и времени проверкой законов **релятивистской механики** на симметричность с помощью **мысленных** преобразований Лоренца.

На этом же этапе симметрия продемонстрировала свои возможности по отношению к **новой** области организации материи – миру **элементарных**

### частиц:

Внешние мысленные преобразования систем элементарных частиц	Свойства (симметрии) пространства-времени, выявляемые этими преобразованиями	Законы сохранения для микрообъектов
<b>Зарядовое сопряжение (C)</b> – замена всех частиц системы на античастицы	Массы и время жизни частиц и античастиц равны. Вероятности реализации в пространстве-времени процессов с частицами и античастицами одинаковы.	Электрического, барионного, лептонного и других зарядов
<b>Пространственная инверсия (P)</b> – изменение пространственных координат частиц на противоположные по знаку		
<b>Обращение времени (T)</b> – замена знака времени в уравнениях, описывающих поведение системы частиц		

**Итог 2 и 3 этапов истории естествознания (физики) – демонстрация его (её) категории (**симметрией**) следующего своего **потенциала**:**

- будучи связанной с важнейшими законами физики – законами **сохранения** (причем, законами сохранения **разных** уровней организации материи) – симметрия позволяет их **выводить**, т.е. **доказывать математически**;
- как свойство пространства и времени, симметрия позволяет **обнаруживать и математически доказывать их новые** качества (физические свойства), не поддающиеся **никакому другому** подтверждению;
- проверка законов **существующих** естественнонаучных теорий на симметричность:
  - классической механики (с помощью принципа относительности Галилея),
  - специальной теории относительности (с помощью принципа относительности Пуанкаре – Эйнштейна),
  - квантовой механики (с помощью теоремы СРТ)

**повышает качество этих законов** как форм теоретического научного знания (Е. Вигнер и В.И. Вернадский).

## Этап постнеклассического естествознания

С помощью **симметрии**, как **нового и эффективного** (см. предыд. слайд) инстру-мента познания, физика второй половины 20 века взялась за решение проблемы, которую не решила физика первой половины этого столетия – проблемы **единой теории поля**.

**Исходное условие** – закон физики  $\mathcal{L}$ , описывающий природу **разных** фунда-ментальных взаимодействий, должен быть **одним и тем же** (Эйнштейн).

**Решение** – для этого данный закон должен отвечать условию:

$$\mathcal{L}_1 = F(K_1, C_1); \mathcal{L}_2 = F(K_2, C_2); \dots \mathcal{L}_i = F(K_i, C_i); \dots \mathcal{L}_n = F(K_n, C_n)$$

, где  $K_i$  – комбинация координат пространства-времени частицы, участвующей в  $i$ -ом фундаментальном взаимодействии;

$C_i$  – **уравновешивающее (компенсирующее)** эту комбинацию **дополнительное** сла-гаемое, обеспечивающее **неизменность математического вида** (неизменность вида функции  $F$ ) закона  $\mathcal{L}$ , т.е. его **симметричность**. С помощью слагаемого  $C_i$  **любые** комбинации  $K_i$  «выравниваются» (**калибруются**), обеспечивая эту симметричность.

Отсюда  $\Delta K_i = (K_i - K_{i-1})$  – это **калибровочные** преобразования пространства-вре-мени, а свойство закона  $\mathcal{L}$  сохранять неизменным свой математический вид  $F$  – это **калибровочная симметрия (калибровочная инвариантность)** данного закона

## Следствия данной гипотезы

1. Законы, описывающие природу **разных** фундаментальных взаимодействий, должны быть **квантовыми** (напомним, Эйнштейн единую теорию поля создавал как теорию **макроскопическую**).
2. Смысл дополнительного слагаемого  $S_i$  – оно обосновывает **существование** особых (векторных) полей, квантами которых элементарные частицы вещества обмениваются, реализуя то или иное фундаментальное взаимодействие. Это уже известно (квантовая механика). А вот новое – эти поля имеют **разные** калибровочные симметрии, соответствующие **разным** фундаментальным взаимодействиям. Если такие симметрии **найти**, можно получить **строгую математическую форму** закона  $Z_i$  соответствующего (i-ого) фундаментального взаимодействия.

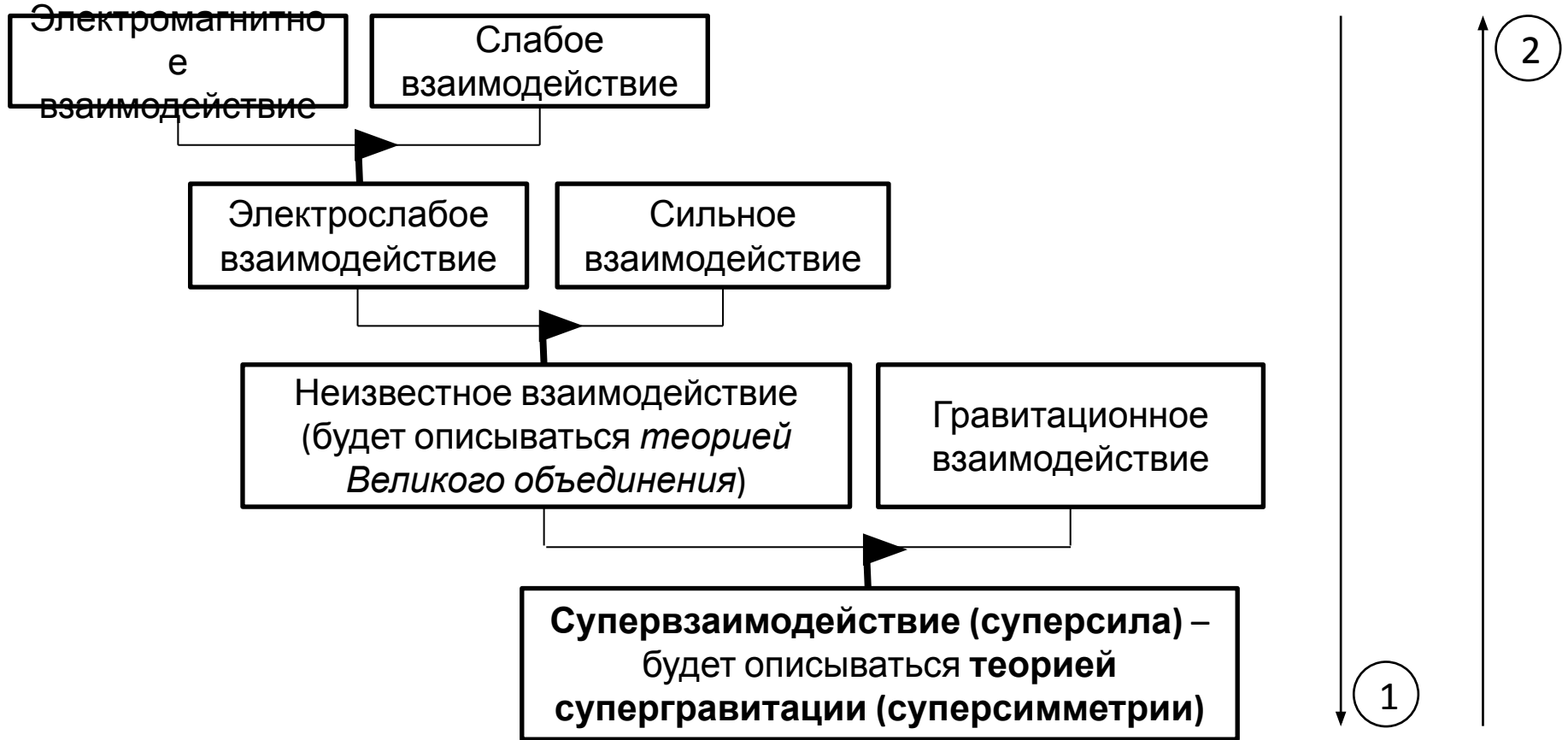
**Вывод**, определивший **направление развития физики на весь сегодняшний (четвертый) этап развития естествознания** – все существующие в природе фундаментальные взаимодействия (гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое) можно теоретически описать **единым образом** в виде квантовых уравнений **конкретных** векторных полей, обладающих **своими** (присущими такому же конкретному фундаментальному взаимодействию) **калибровочными симметриями**.

## Что **сделано** в этом направлении?

1. На основе интеграции классической электродинамики и квантовой механики создана **калибровочная теория электромагнитного взаимодействия – квантовая электродинамика**. Как в свое время механика Ньютона *математически* доказала справедливость *эмпирических* зависимостей (законов) Кеплера, точно также квантовая электродинамика, опираясь на конкретное число **обнаруженных калибровочных симметрий** электро-магнитного поля (две), так же математически строго доказала справедливость **всех известных теоретических и практических научных данных** об электричестве и магнетизме.
2. Сразу как **калибровочная**, разработана объединенная теория **двух** взаимодействий – электромагнитного и слабого (**теория электрослабого взаимодействия**).
3. Создана **калибровочная теория сильного** взаимодействия – **квантовая хромодинамика**.



Калибровочная симметрия позволила физике второй половины 20 века пойти **дальше** Эйнштейна – к созданию **общей теории** не двух, а **всех** фундаментальных взаимодействий:



- ① – последовательность объединения фундаментальных взаимодействий на основе калибровочной симметрии (интеграция научного знания);
- ② – естественное направление физических процессов, инициируемое **спонтанным нарушением симметрии** (короткие жирные стрелки на схеме)