

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 любому) объяснений	Индивидуально , сообразуясь только с собственными эмоциональными ощущениями
Цель (функция)	Объяснить , ответить на вопрос « почему? »	Квалифицировать свои, индивидуально испытываемые эмоции, и предложить другим принять или отвергнуть это свое мнение
Используемые категории (термины)	Понятия количественного характера	Ценности качественного (словесного) характера
Характер получаемого знания как продукта	Количественное (математическое)	Качественное (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

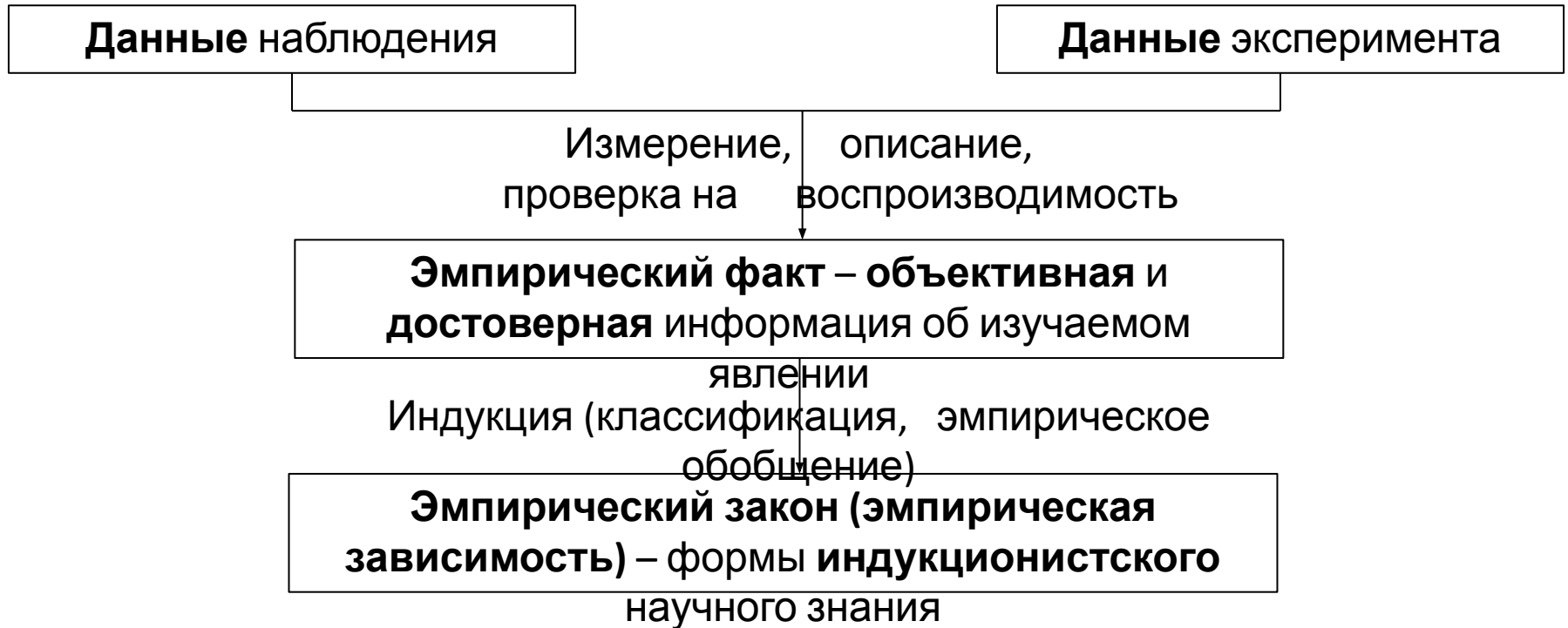
Объяснение изучаемых процессов и явлений

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

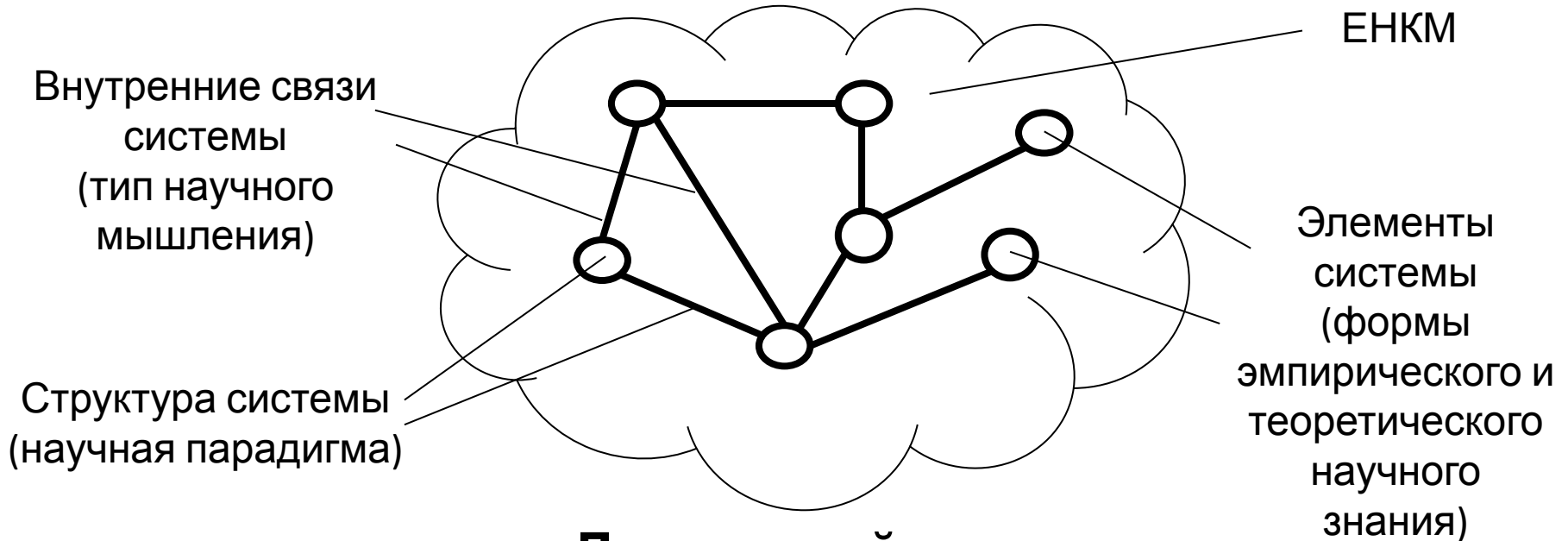
Периодизация истории естествознания по степени **возрастания сложности** подхода к пониманию природы:

- 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



Донаучный этап

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 – **дискректность** 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.

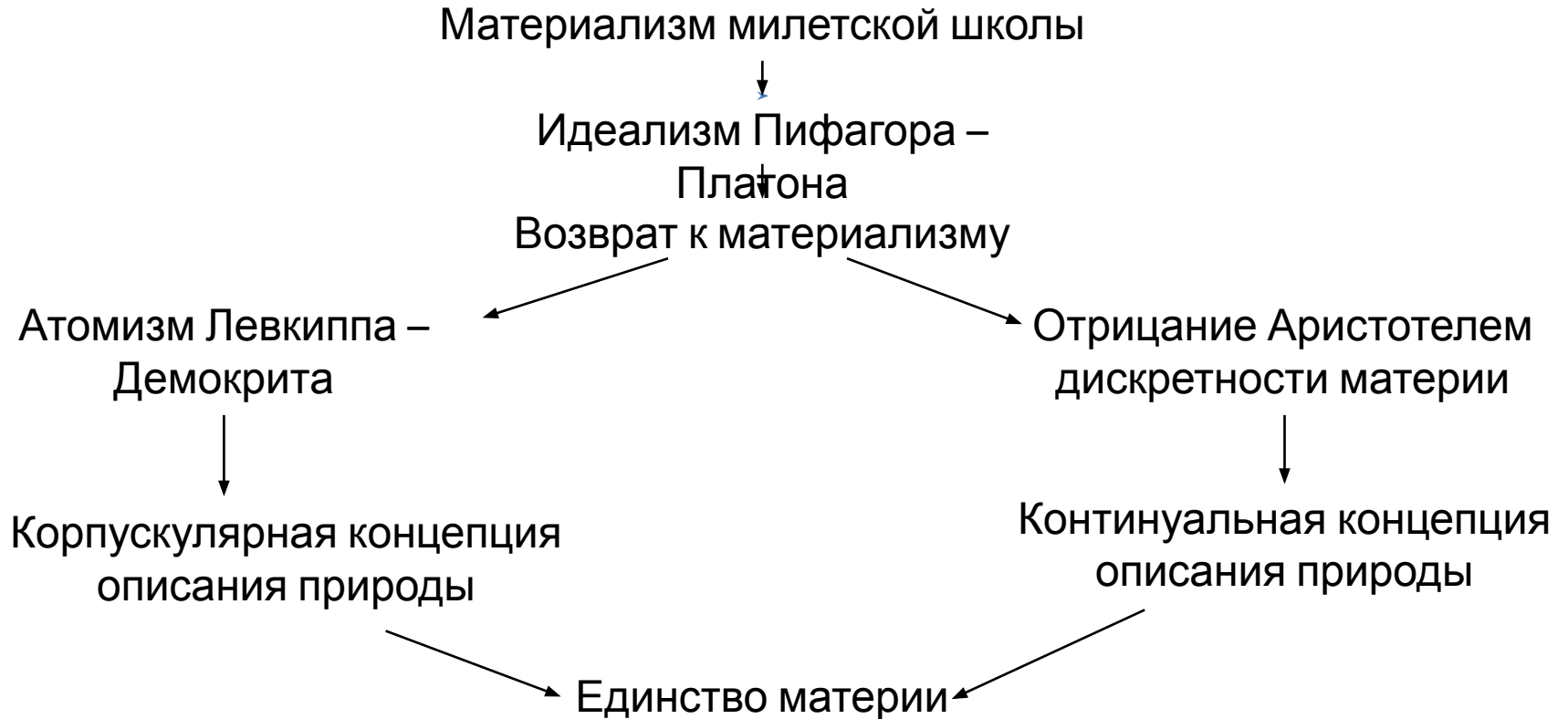
Спиралеобразный характер развития естественнонаучного знания



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	Дискретное вещество	Непрерывное 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».

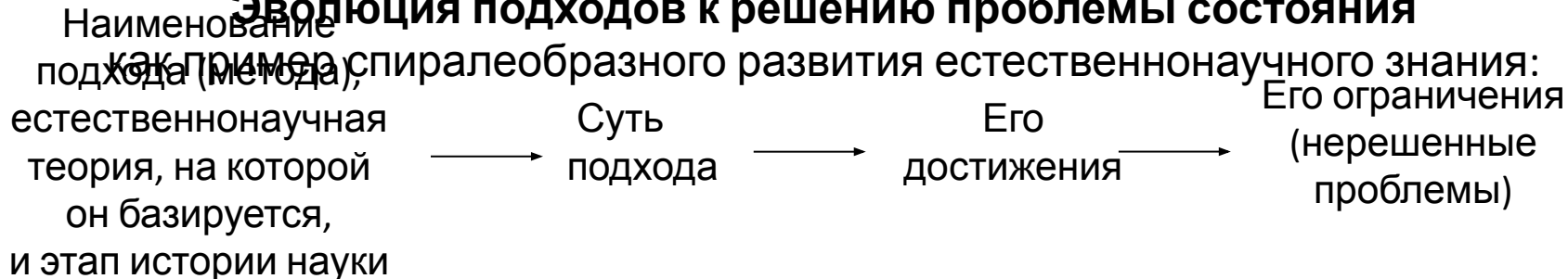
1.5. Развитие представлений о движении

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

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).

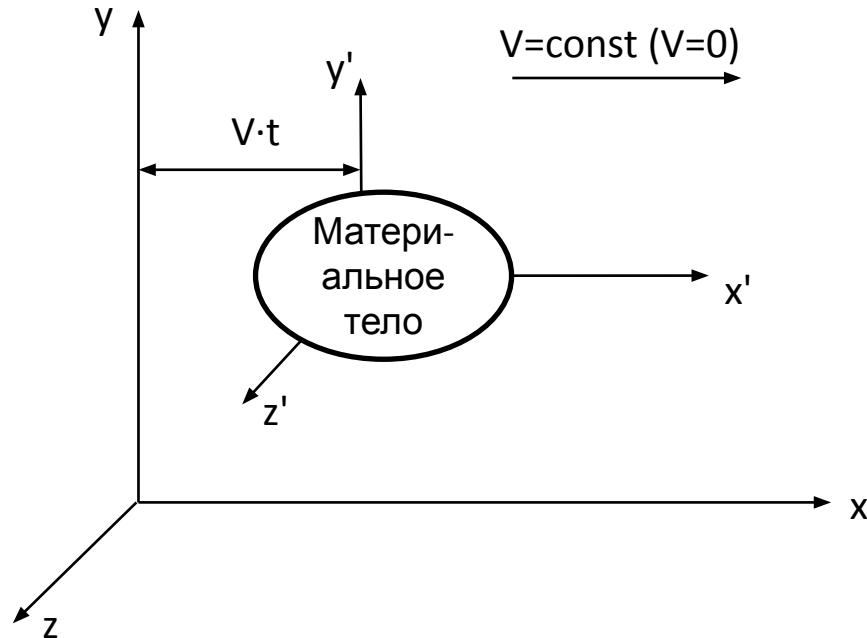
Античные концепции пространства и времени

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

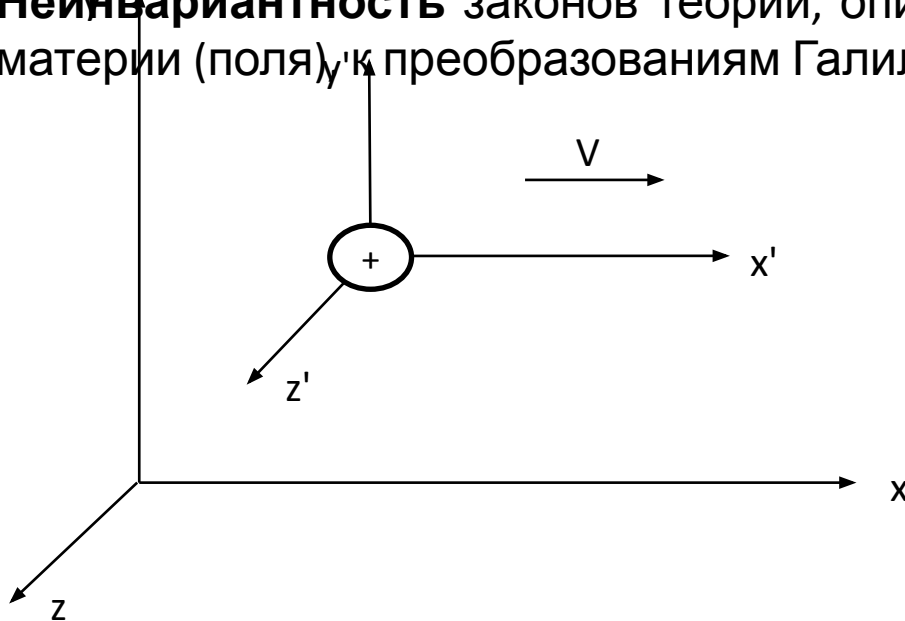
Итог доэйнштейновского периода развития представлений о пространстве и времени (механистическая картина

	Пространство (мира)	Время
Физические свойства	Пустое, однородное, изотропное, бесконечное, плоское, прямолинейное	Однородное, равномерно текущее, идущее сразу и везде «единообразно и синх-ронно»
Геометрические характеристики	Описывается геометрией Евклида	Показывает продолжитель-ность события
Как связаны с материей (пока только с веществом)?	Никак, пространство и время абсолютны 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**.

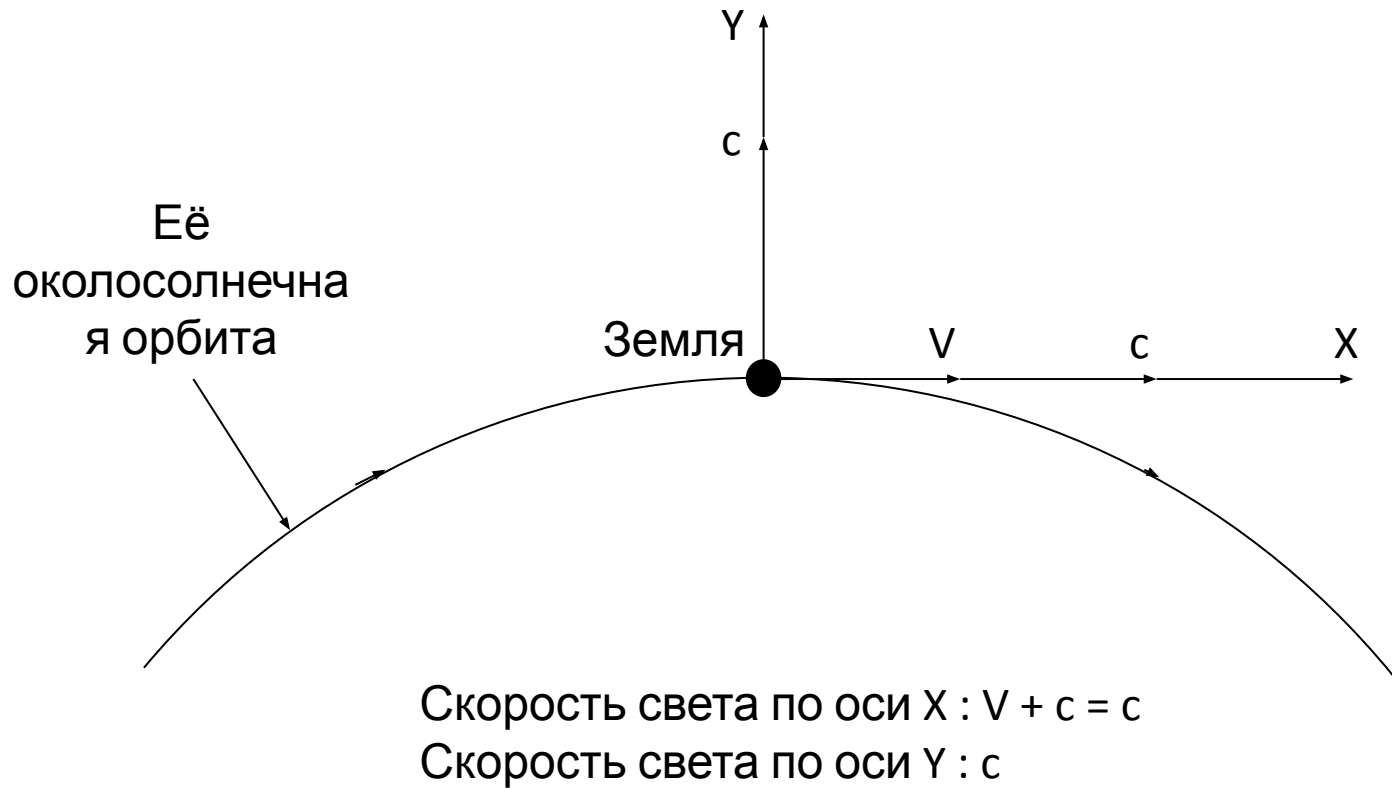
Неинвариантность законов теории, описывающей поведение **нового** вида материи (поля), к преобразованиям Галилея:



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

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

Отрицательный результат опыта Майкельсона – Морли:



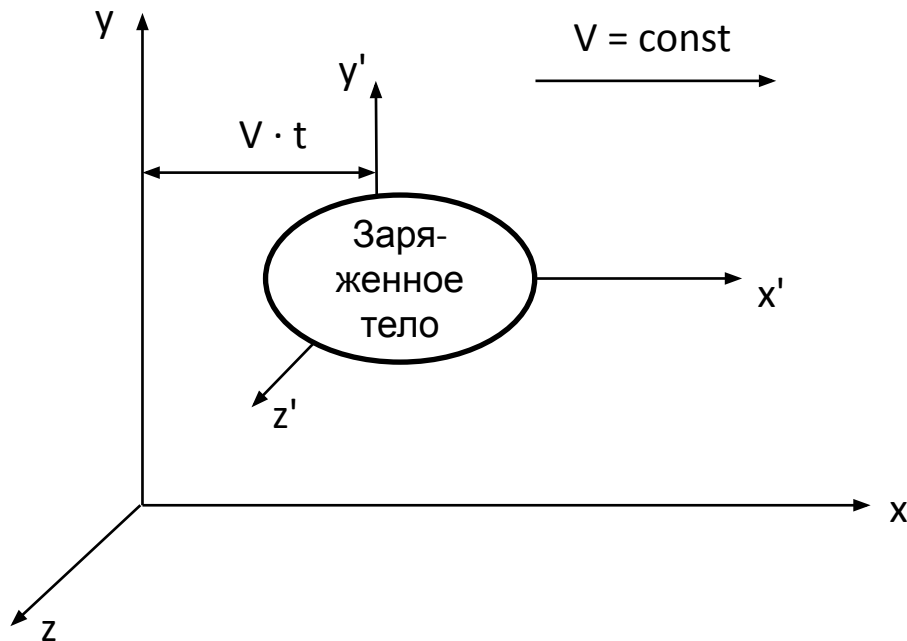
«Теория относительности возникла из проблемы поля» (А. Эйнштейн)

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**

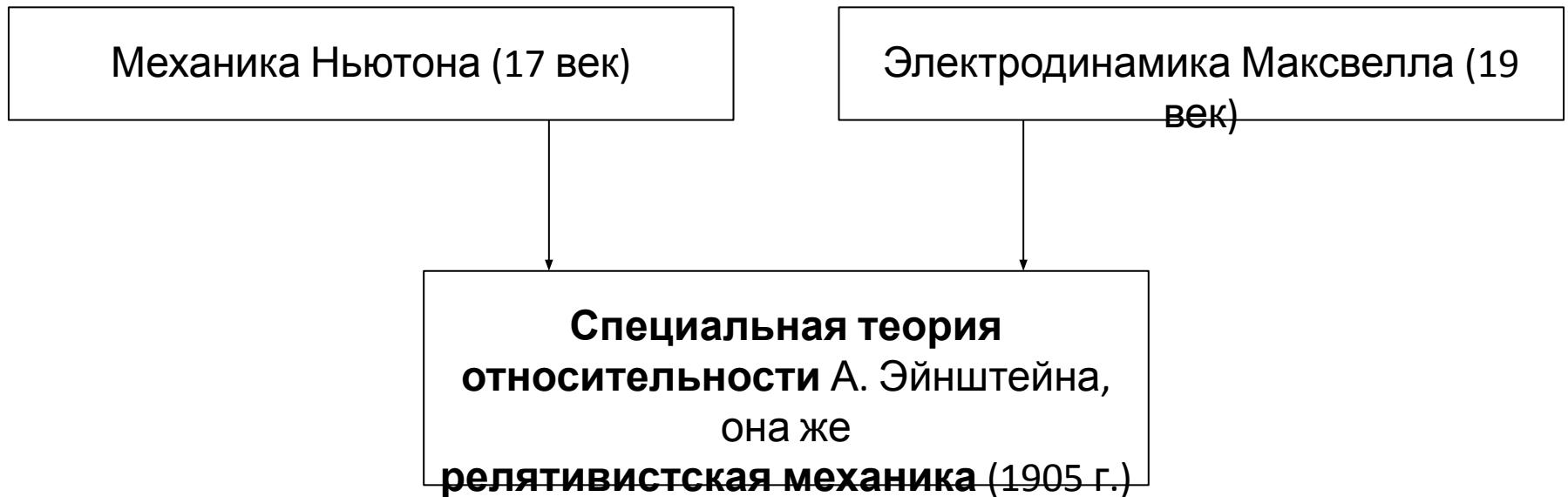
1. Законы электродинамики **инвариантны** к преобразованиям Лоренца – уравнения электростатики Кулона (система отсчета x', y', z') являются частным случаем уравнений Максвелла (система отсчета x, y, z).
2. Для вещества при $V \ll c$ преобразования Лоренца **вырождаются** (упрощаются) в преобразования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

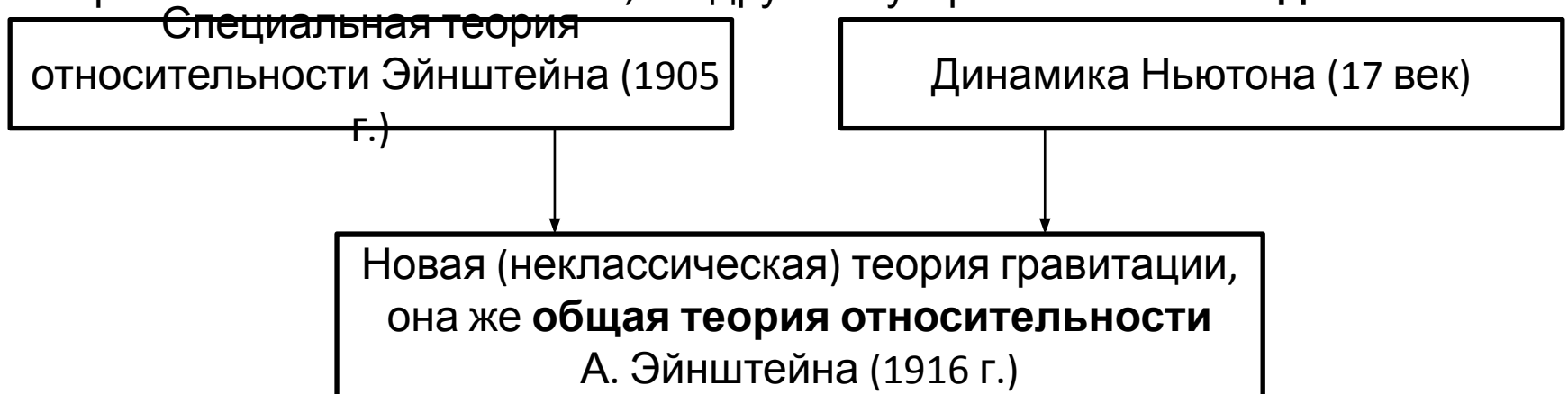
В **земных** условиях, где $V/c \rightarrow 0$, данные эффекты **незаметны**, поэтому проверить их, равно как и подтвердить другие положения и постулаты специальной теории относительности, можно либо **наблюдениями** в тех областях организации материи, где **скорости V и c соизмеримы**, либо **экспериментами**, 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:

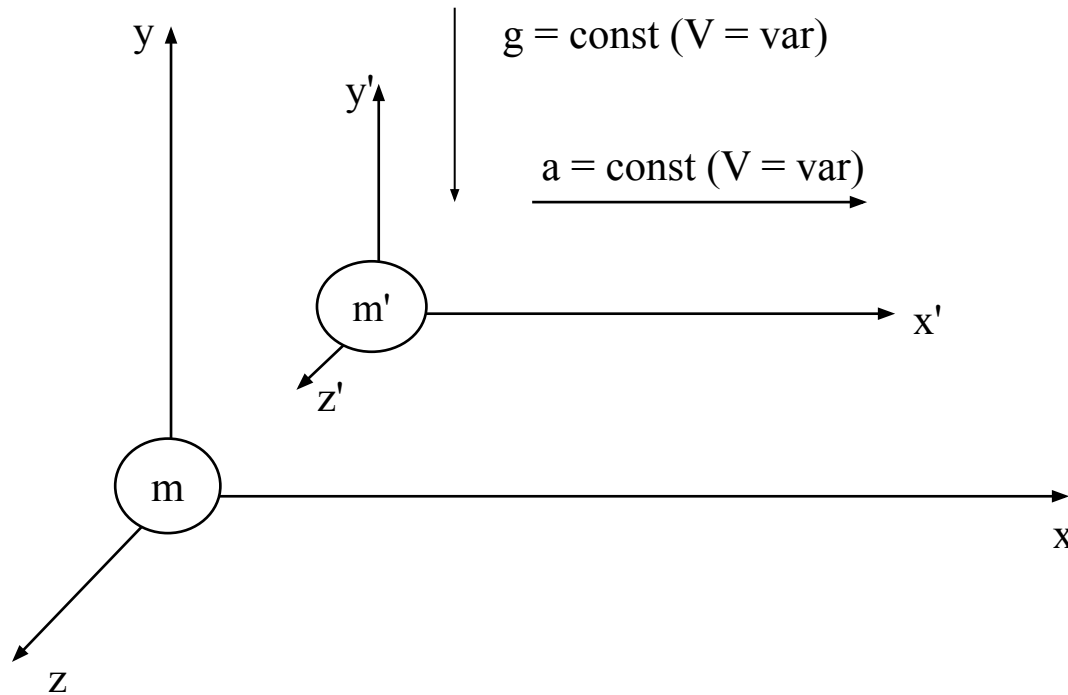
- с введением нового понятия (поля тяготения) гравитационное взаимодействие становилось **близкодействующим**;
- равенство (эквивалентность) инерционной и гравитационной масс означало, что такими же **эквивалентными** (проявляющими себя **одинаково**) являются механические эффекты, инициируемые этими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

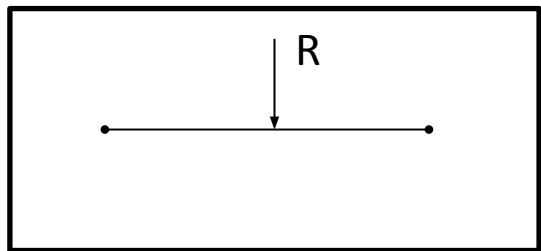
Чтобы распространить представления общей теории относительности на неоднородные (то есть **на любые!**) гравитационные поля, Эйнштейну пришлось допустить существование **искривленного**, или **неевклидова** пространства, описываемого другой – **неевклидовой** – геометрией.

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



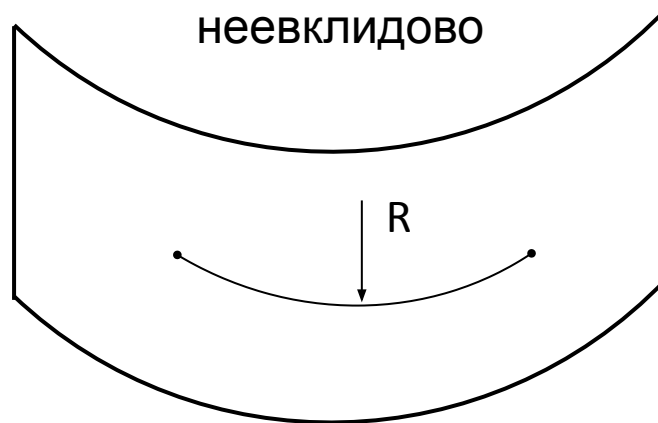
Радиус прямой линии:

$$R = \infty.$$

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**.

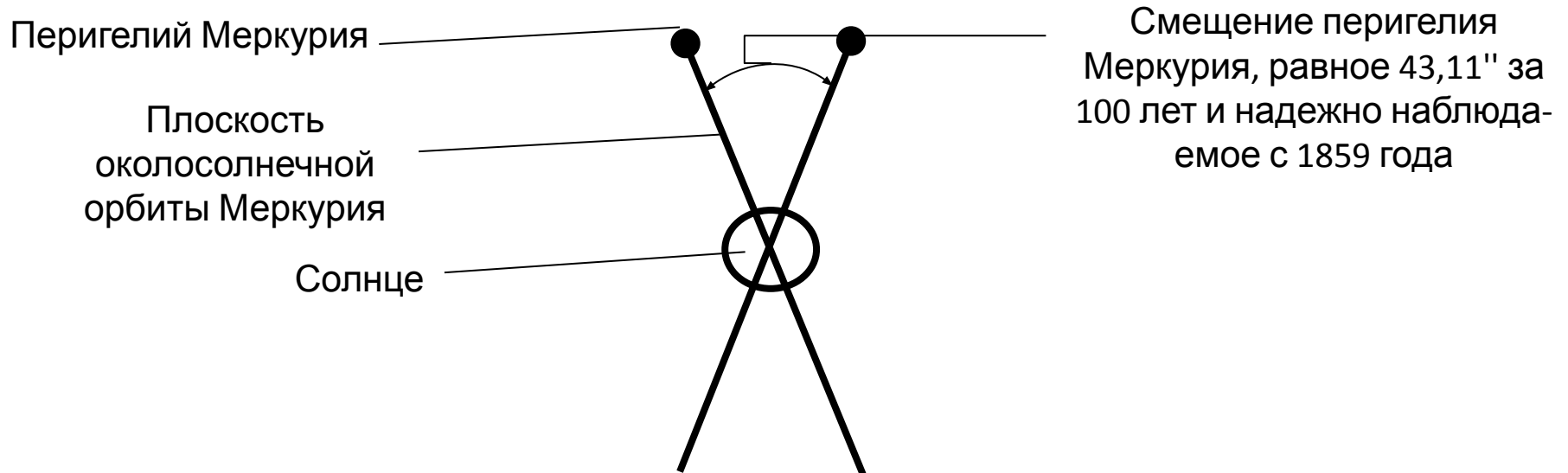
Предположение Римана и еще одного математика (У. Клиффорда) – неоднородность пространства, возможно, обусловлена **гравитацией**.

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

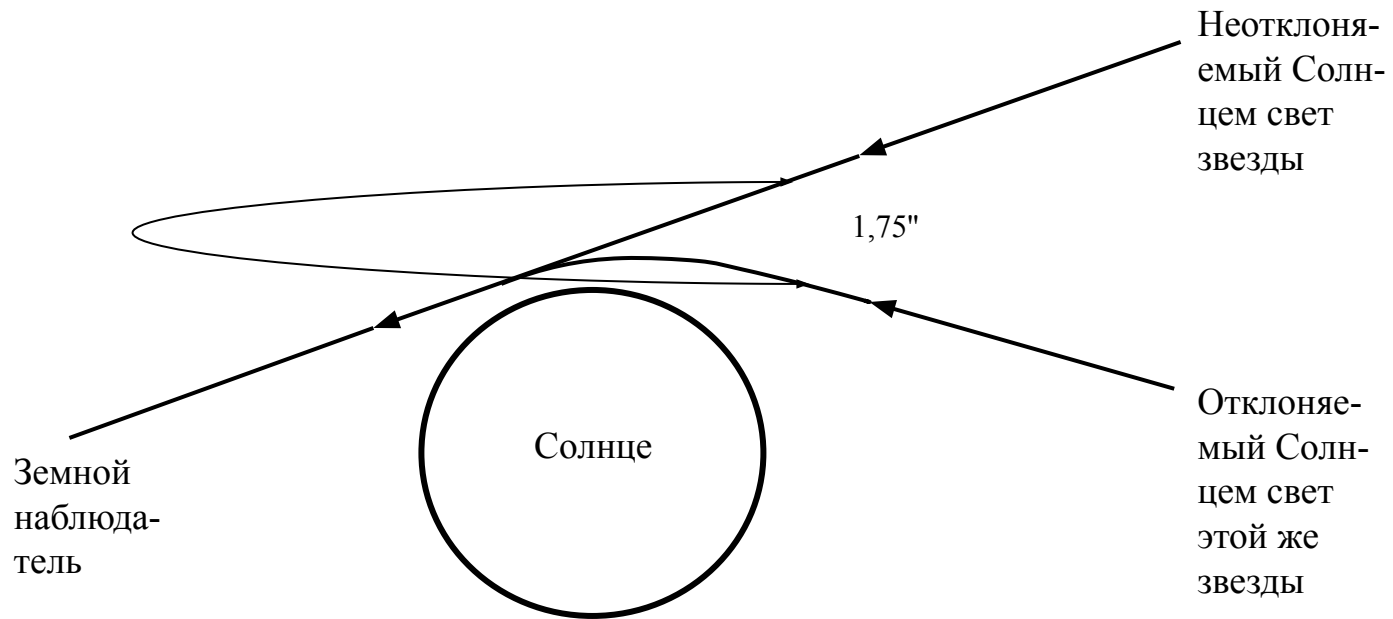
Смещение (прецессия) перигелия Меркурия



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

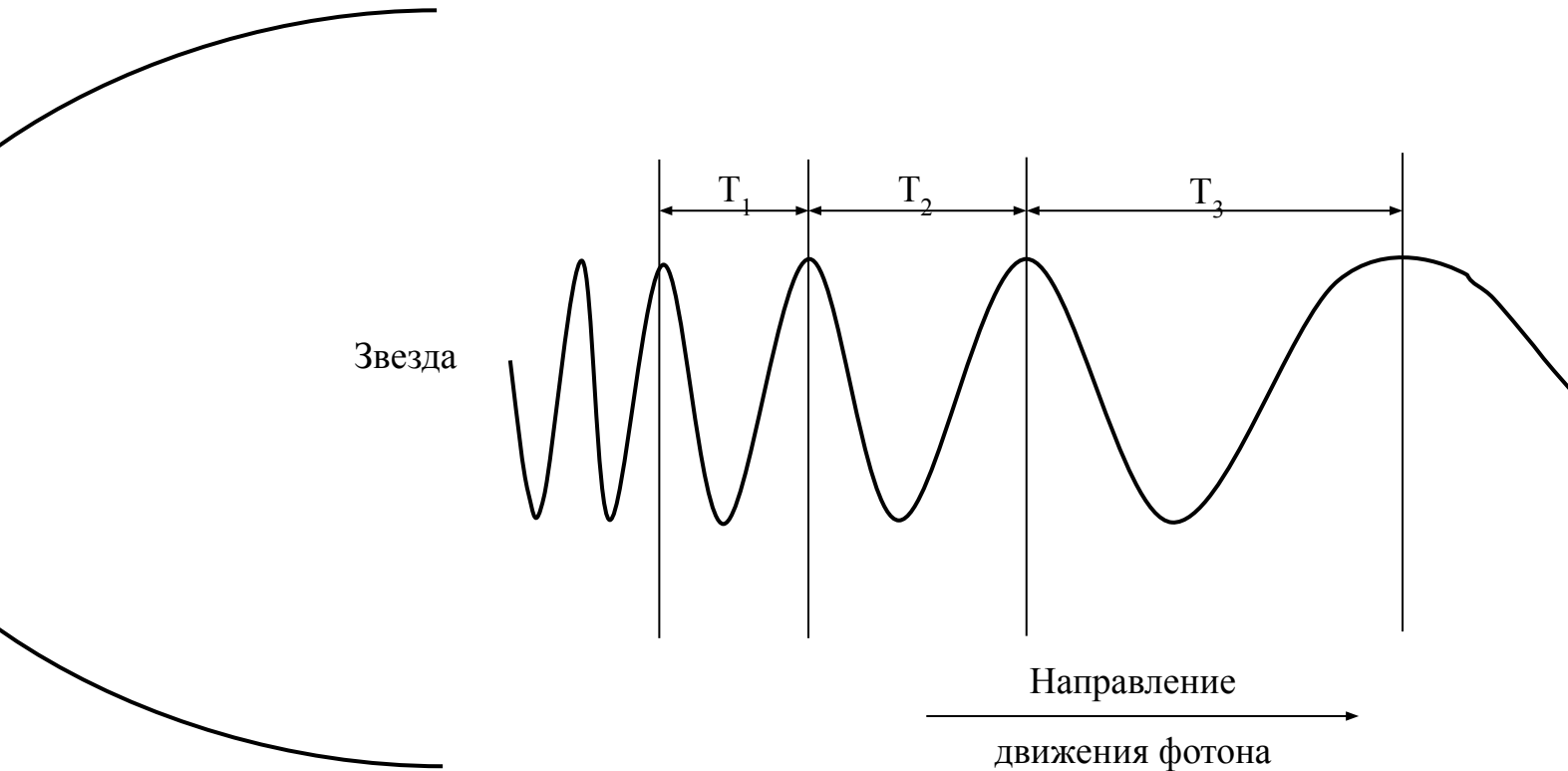
Объяснение – влияние гравитационного поля Солнца. Расчет величины этого влияния с помощью общей теории относительности составил 43,03"

Искривление светового луча в поле тяготения Солнца



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

Гравитационное красное смещение

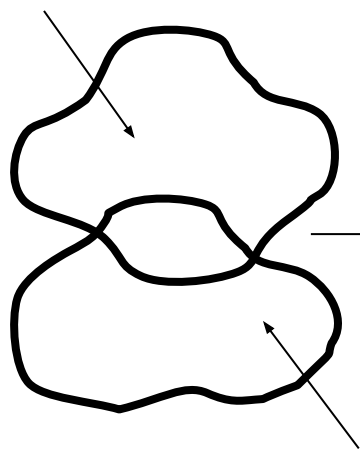


Рост периода колебаний – следствие **уменьшения** энергии фотона при **преодолении** им поля тяготения звезды и, как результат – смещение его частоты в «красную» часть спектра электромагнитного излучения (её уменьшение).

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

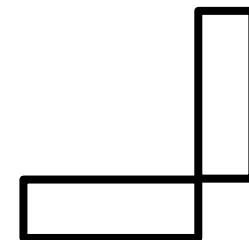
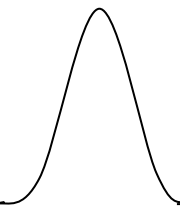
Сходимость – до 10 %

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



Столкновение
двух черных дыр

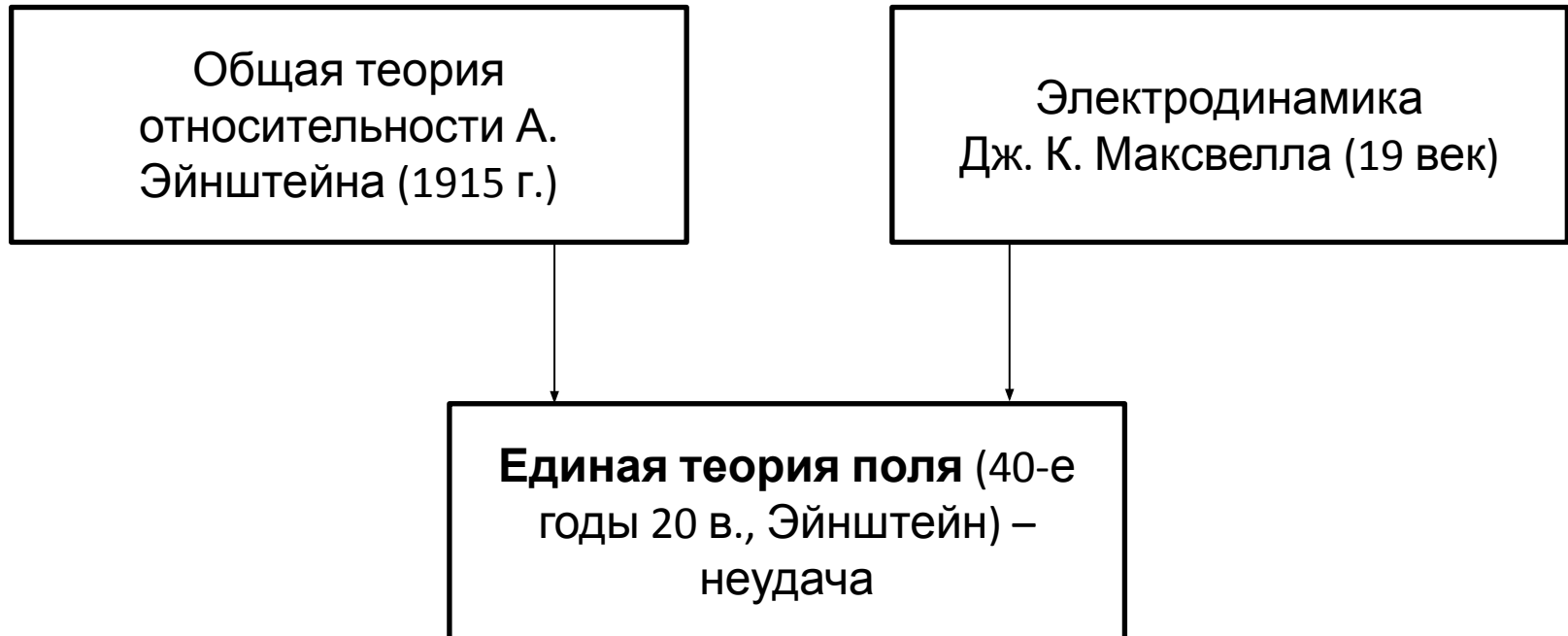
Индукцированная этим
столкновением гравитационная
волна – импульс *искривления-
замедления пространства-
времени*. Достигла Земли через
1,3 млрд. лет



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	<i>Однородность пространства</i> (она же – его <i>трансляционная симметрия</i>) – эквивалентность всех <i>точек</i> пространства, одинаковость их свойств
Непрерывный поворот материальной системы, как целого, вокруг любой оси координат	<i>Изотропность пространства</i> (от греч. isos – равный, одинаковый и tropos – поворот, направление) – эквивалентность всех его <i>направлений</i> , одинаковость свойств пространства по ним
Непрерывное изменение начала отсчета времени (сдвиг по времени)	<i>Однородность времени</i> – одинаковость событий, происходящих при одних и тех же условиях, но в разные моменты времени
Переход от одной инерциальной системы отсчета к другой	<i>Эквивалентность всех инерциальных систем отсчета</i>

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** прост-ранства и времени проверкой законов **релятивистской механики** на симметричность с помощью **мысленных** преобразований Лоренца.

На этом же этапе симметрия продемонстрировала свои возможности по отно-шению 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
Зарядовое сопряжение (C) – замена всех частиц системы на античастицы	Массы и время жизни частиц и античастиц равны. Вероятности реализации в прост-ранстве-времени процессов с частицами и античастицами одинаковы.	Электрического, барионного, лептонного и других зарядов
Пространственная инверсия (P) – изменение пространственных координат частиц на противоположные по знаку		
Обращение времени (T) – 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 CPT)

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

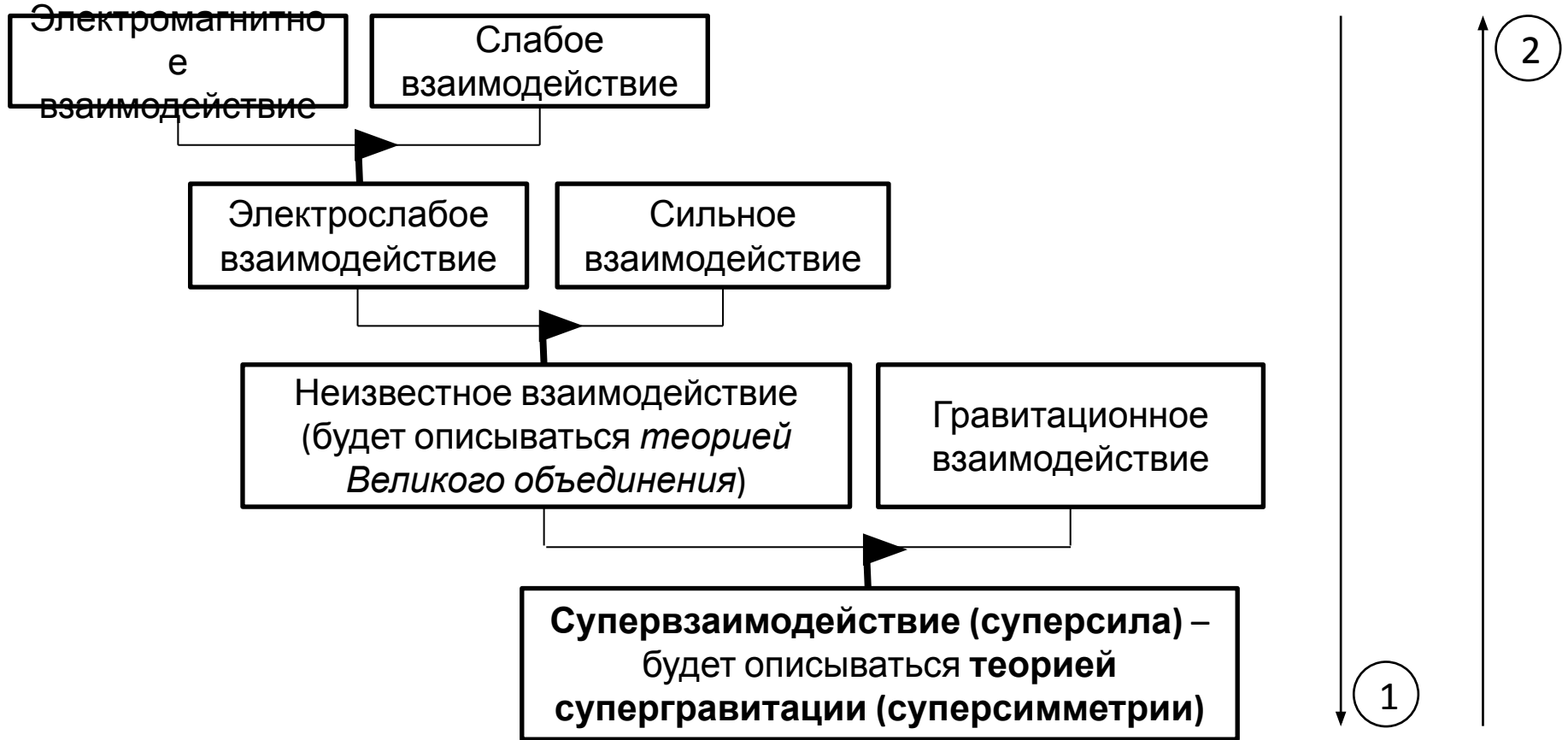
1. Законы, описывающие природу **разных** фундаментальных взаимодействий, должны быть **квантовыми** (напомним, Эйнштейн единую теорию поля создавал как теорию **макроскопическую**).
2. Смысл дополнительного слагаемого S_i – оно обосновывает **существование** особых (векторных) полей, квантами которых 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)