

Теория  
относительности  
Эйнштейна

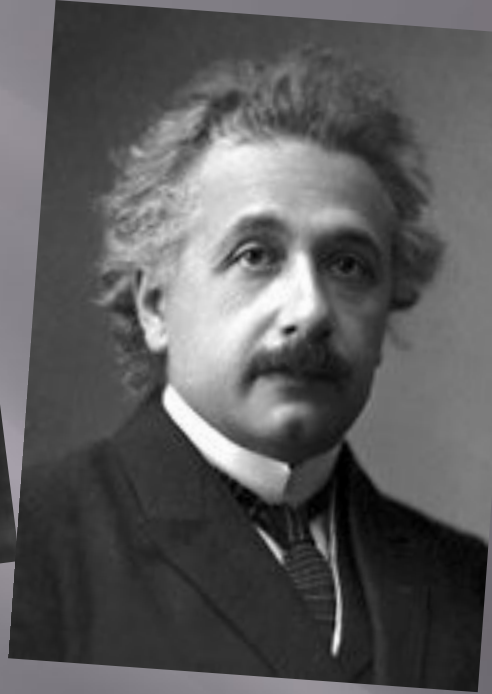
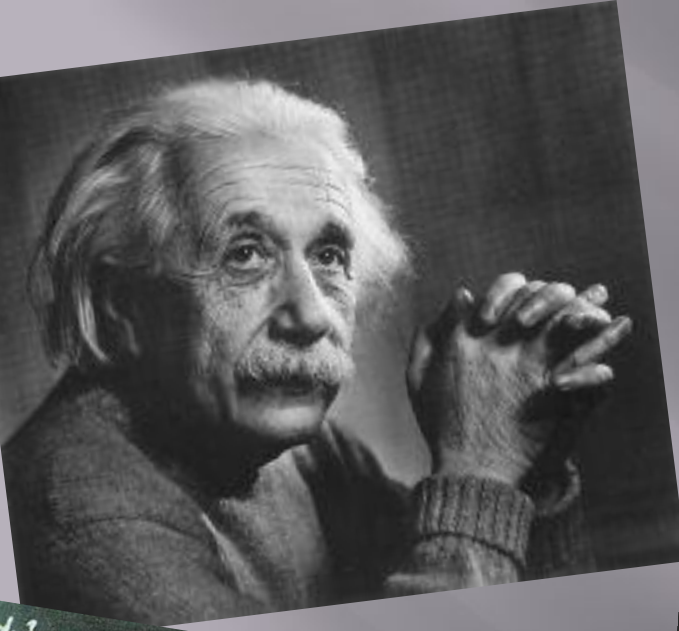
Альберт Эйнштейн (14 марта 1879 – 18 апреля 1955) – гениальный физик, положивший основу развития современной физики. Родился в Германии в 1879 году в небогатой семье. Замкнутый по характеру подросток был глубоко верующим, в школе не отличался успехами от остальных учеников.

Познакомившись с философскими произведениями Канта, Эйнштейн увлекся математикой и физикой. Получил образование в Луитпольской гимназии, где стал выделяться хорошим знанием точных наук.

Переехав в Италию, а затем в Швейцарию, Эйнштейн не поступил в Политехникум Цюриха. Однако получил аттестат в швейцарской школе Аарау, а затем с увлечением учился на педагогическом факультете Политехникума. По размышлениям Эйнштейна, для запоминания материала не нужно его заучивать, достаточно логически разобрать материал.

Увлечения физикой и математикой, постоянные исследования приводят к публикации ряда статей по статической механике, физике молекул. Наиболее известным учением Эйнштейна является теория относительности. Эта теория была развита на основе геометрической теории относительности Лобачевского. К другим величайшим открытиям ученого относят работы по фотоэффекту, броуновскому движению. Используя квантовую статистику Эйнштейн вместе с физиком Бозе открыл пятое состояние вещества, названное в их честь конденсатом Бозе-Эйнштейна.

Затем Эйнштейн переехал в США и стал преподавать физику в институте Принстона. Параллельно с преподавательской деятельностью ученый работал над теорией единого гравитационно-электромагнитного поля. Умер Эйнштейн в 1955,



$dy^2 - dx^2$

$\frac{m_i}{m^2}$	$\frac{m_i}{\sqrt{1-u^2}}$ Impuls
$m u_i$	$m \left( \frac{1}{\sqrt{1-u^2}} - 1 \right)$ Kin Energy

$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-v^2}}$   $y = y'$   $z = z'$

$\sum \frac{1}{\sqrt{1-u^2}} = \frac{2}{\sqrt{1-u^2} \sqrt{1-v^2}}$

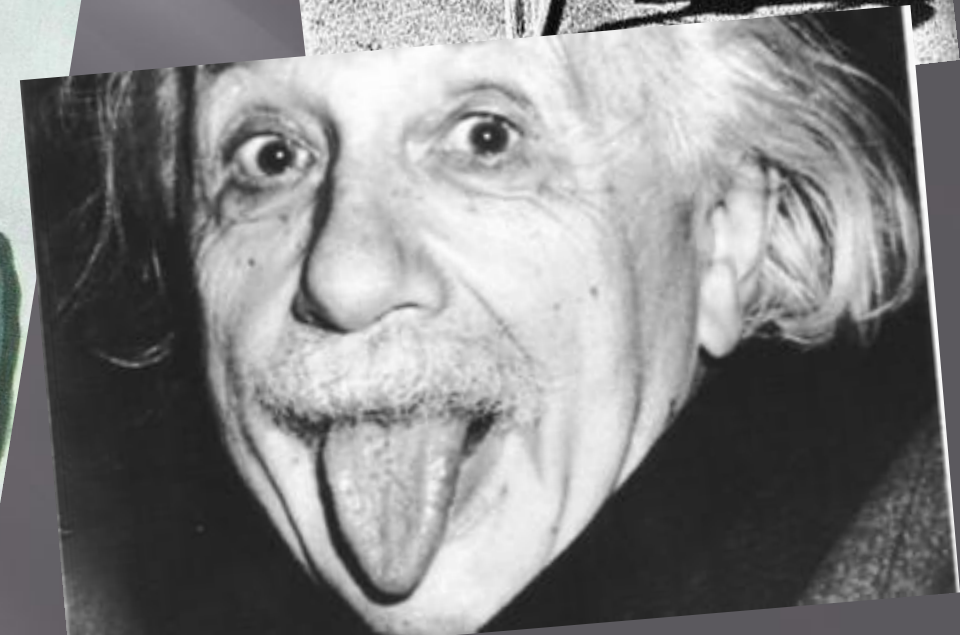
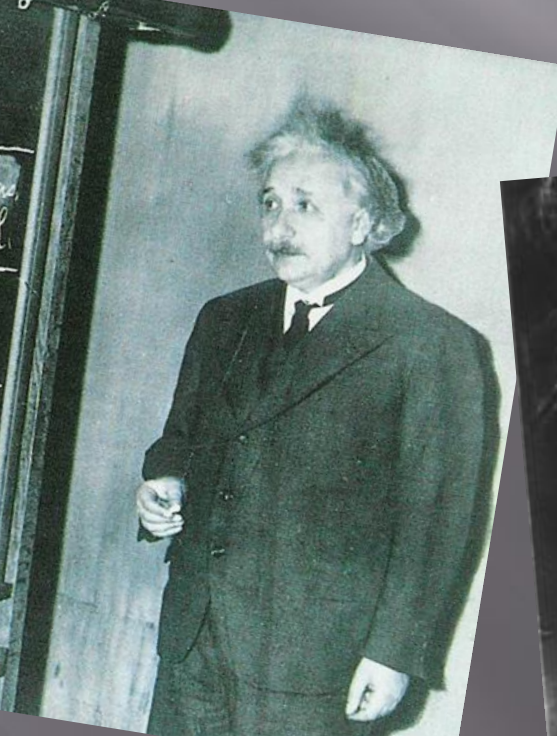
$\sum \frac{u_i}{\sqrt{1-u^2}} = \frac{2v}{\sqrt{1-u^2} \sqrt{1-v^2}}$

Hyp.  $\sum \mathcal{L}_v = \sum \mathcal{L}_v' + m c^2$

$\sum \mathcal{E} = \sum \mathcal{E}' + m c^2$

$\mathcal{L}_v = m u v \mathcal{L}(u)$

$\mathcal{E} = \mathcal{E}' + m \mathcal{E}(u)$

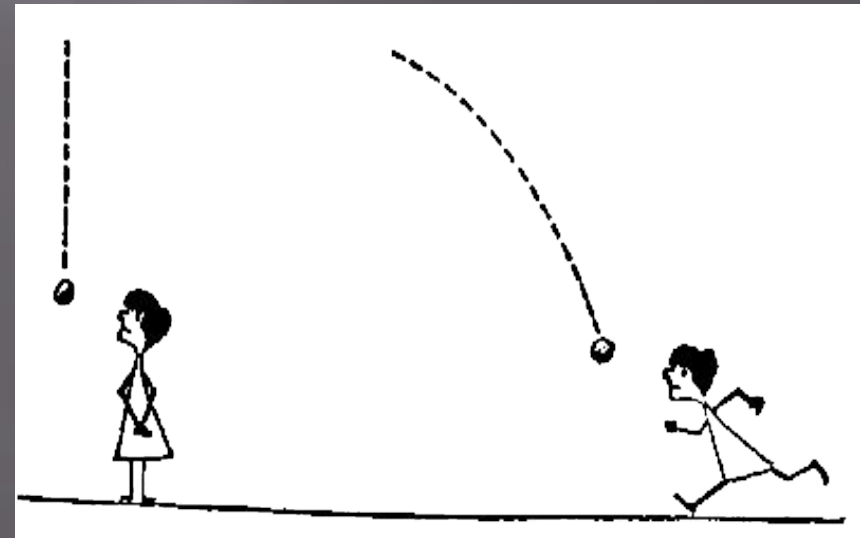


# Зарождение

## идеи

Говорят, что прозрение пришло к Альберту Эйнштейну в одно мгновение. Ученый якобы ехал на трамвае по Берну (Швейцария), взглянул на уличные часы и внезапно осознал, что если бы трамвай сейчас разогнался до скорости света, то в его восприятии эти часы остановились бы — и времени бы вокруг не стало. Это и привело его к формулировке одного из центральных постулатов относительности — что различные наблюдатели по-разному воспринимают действительность, включая столь фундаментальные величины, как расстояние и время.

Говоря научным языком, в тот день Эйнштейн осознал, что описание любого физического события или явления зависит от системы отсчета, в которой находится наблюдатель. Если пассажирка трамвая, например, уронит очки, то для нее они упадут вертикально вниз, а для пешехода, стоящего на улице, очки будут падать по параболе, поскольку трамвай движется, в то время как очки падают. У каждого своя система отсчета.

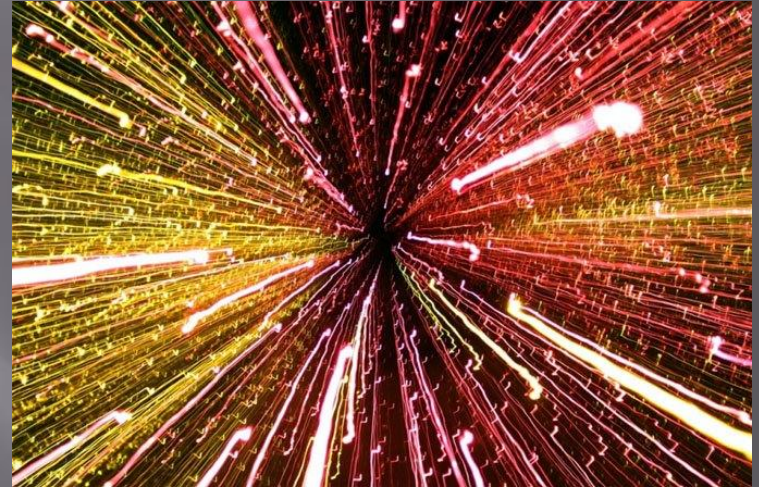


Но хотя описания событий при переходе из одной системы отсчета в другую меняются, есть и универсальные вещи, остающиеся неизменными.

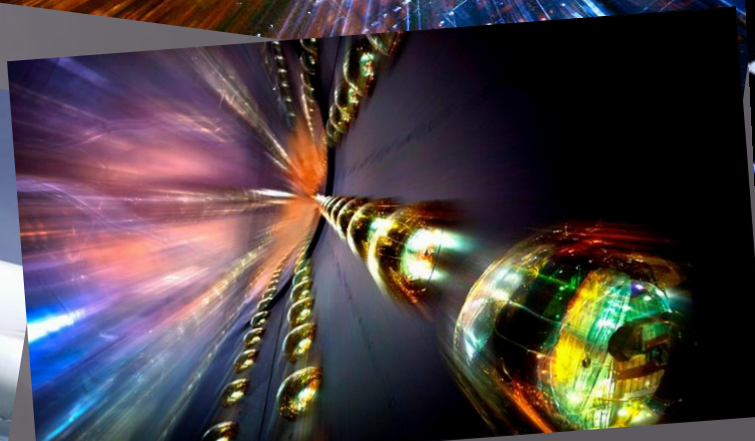
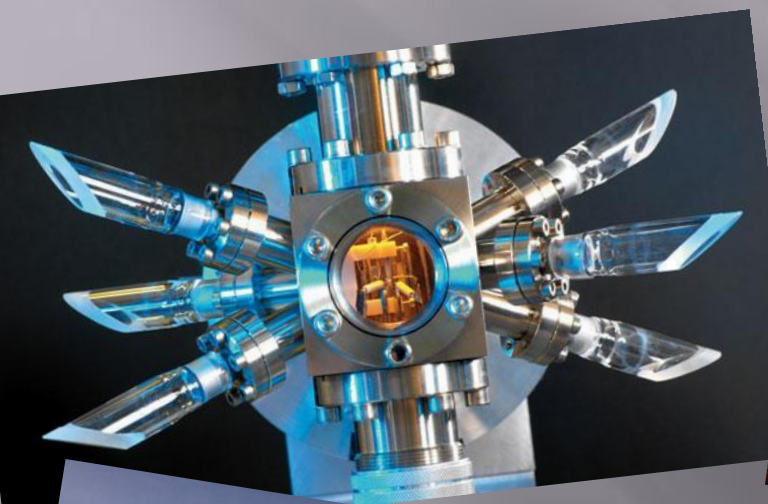
Если вместо описания падения очков задаться вопросом о законе природы, вызывающем их падение, то ответ на него будет один и тот же и для наблюдателя в неподвижной системе координат, и для наблюдателя в движущейся системе координат. Закон распределенного движения в равной мере действует и на улице, и в трамвае. Иными словами, в то время как описание событий зависит от наблюдателя, законы природы от него не зависят, то есть, как принято говорить на научном языке, являются *инвариантными*. В этом и заключается *принцип относительности*. Как любую гипотезу, принцип относительности нужно было проверить путем соотнесения его с реальными природными явлениями. Из принципа относительности Эйнштейн вывел две отдельные теории. *Специальная, или частная, теория относительности* исходит из положения, что законы природы одни и те же для всех систем отсчета, движущихся с постоянной скоростью. *Общая теория относительности* распространяет этот принцип на любые системы отсчета, включая те, что движутся с ускорением. Специальная теория относительности была опубликована в 1905 году, а более сложная с точки зрения математического аппарата общая теория относительности была завершена Эйнштейном к 1916 году.

# Специальная теория относительности

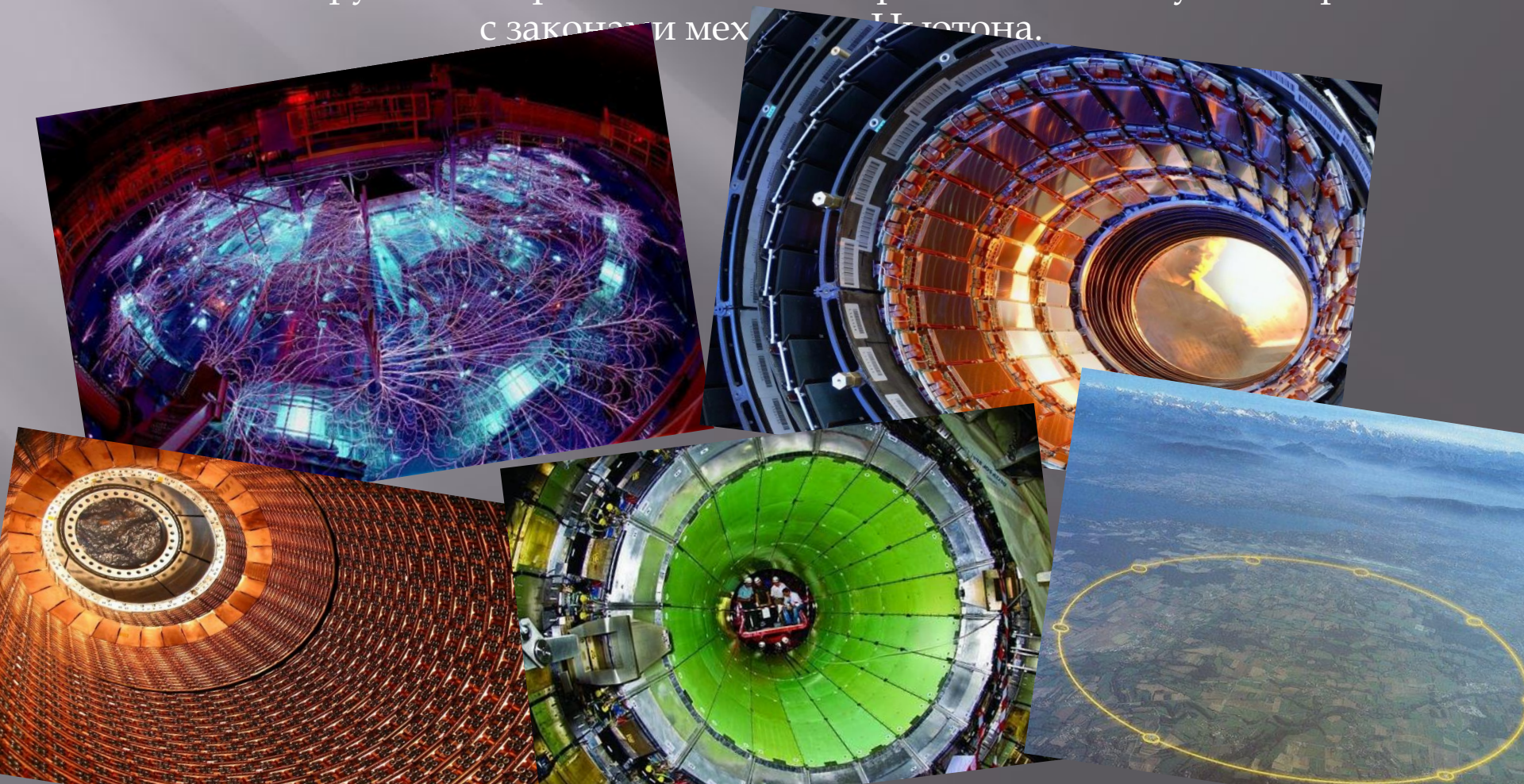
Большинство парадоксальных и противоречащих интуитивным представлениям о мире эффектов, возникающих при движении со скоростью, близкой к скорости света, предсказывается именно специальной теорией относительности. Самый известный из них — эффект замедления хода часов, или *эффект замедления времени*. Часы, движущиеся относительно наблюдателя, идут для него медленнее, чем время в системе координат, движущейся со скоростью, близкими к скорости света, относительно наблюдателя растянута, а пространственная протяженность (длина) объектов вдоль оси направления движения — напротив, сжимается. Этот эффект, известный как *сокращение Лоренца – Фицджеральда*, был описан в 1889 году ирландским физиком Джорджем Фицджеральдом и дополнен в 1892 году нидерландцем Хендриком Лоренцем. Так, при скорости 260 000 км/с (87% от скорости света) масса объекта с точки зрения наблюдателя, находящегося в покоящейся системе отсчета, удвоится.



Со времени Эйнштейна все эти предсказания, сколь бы противоречащими здравому смыслу они ни казались, находят полное и прямое экспериментальное подтверждение. В одном из самых показательных опытов ученые Мичиганского университета поместили сверхточные атомные часы на борт авиалайнера, совершавшего регулярные трансатлантические рейсы, и после каждого его возвращения в аэропорт приписки сверяли их показания с контрольными часами. Выяснилось, что часы на самолете постепенно отставали от контрольных все больше и больше (если так можно выразиться, когда речь идет о долях секунды).



Последние полвека ученые исследуют элементарные частицы на огромных аппаратных комплексах (одним из которых является Большой адронный коллайдер). В них пучки заряженных субатомных частиц (таких как протоны и электроны) разгоняются до скоростей, близких к скорости света, затем ими обстреливаются различные ядерные мишени. И в этом смысле специальная теория относительности давно перешла из разряда гипотетических теорий в область инструментов прикладной инженерии, где используется наравне с законами механики Ньютона.





Но нужно отметить, что специальная теория относительности, хотя она внешне и противоречит законам классической ньютоновской механики, на самом деле практически в точности воспроизводит все обычные уравнения законов Ньютона, если ее применить для описания тел, движущихся со скоростью значительно меньше, чем скорость света. То есть, специальная теория относительности не отменяет ньютоновской физики, а расширяет и дополняет ее.

Принцип относительности помогает также понять, почему именно скорость света, а не какая-нибудь другая, играет столь важную роль в этой модели строения мира — этот вопрос задают многие из тех, кто впервые столкнулся с теорией относительности. Скорость света выделяется и играет особую роль универсальной константы, потому что она определена естественнонаучным законом. В силу принципа относительности скорость света в вакууме  $c$  одинакова в любой системе отсчета. Это, казалось бы, противоречит здравому смыслу, поскольку получается, что свет от движущегося источника (с какой бы скоростью он ни двигался) и от неподвижного доходит до наблюдателя одновременно.

Однако это так.

Благодаря своей особой роли в законах природы скорость света занимает центральное место и в общей теории относительности.

# Общая теория относительности

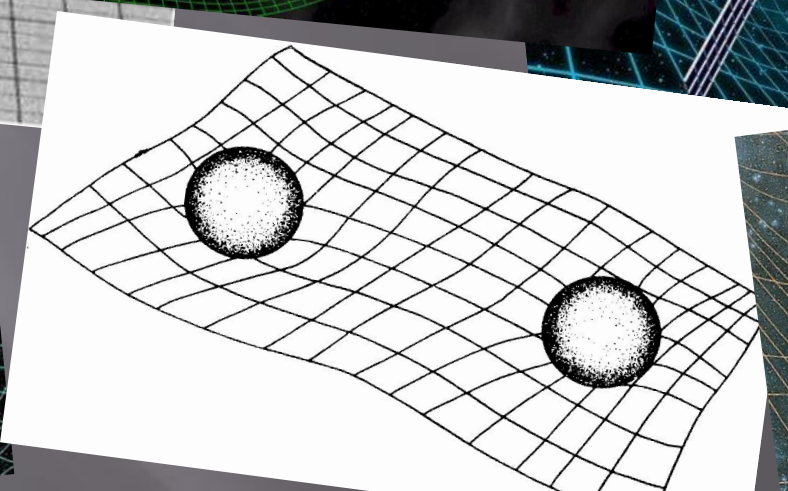
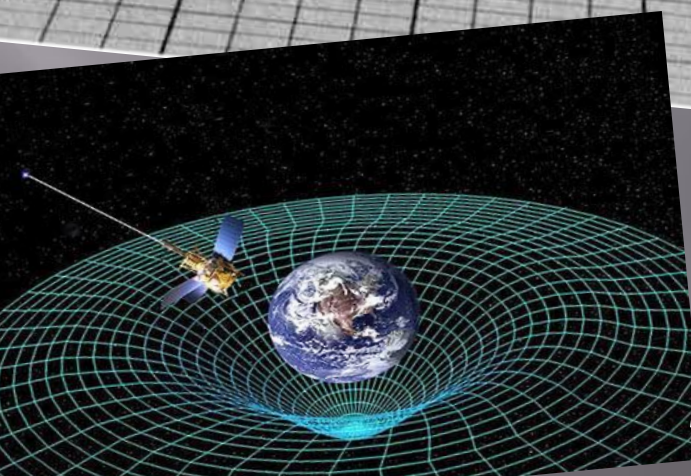
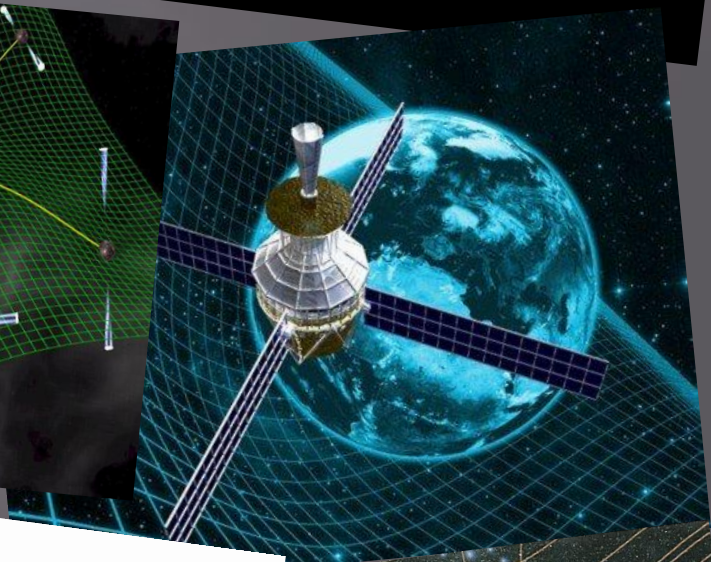
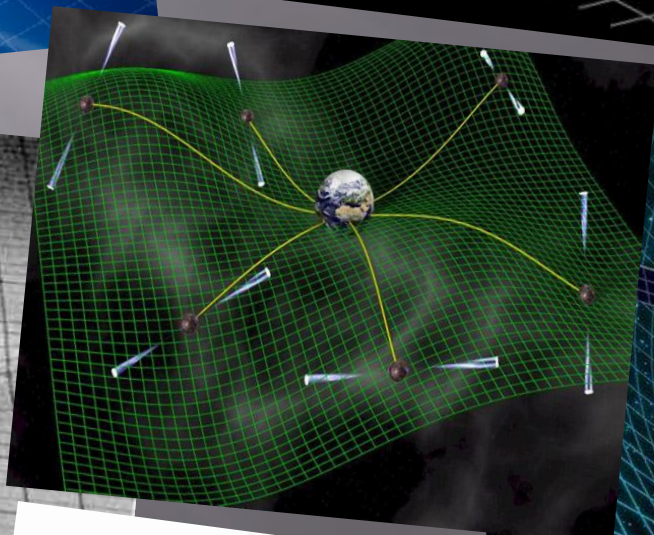
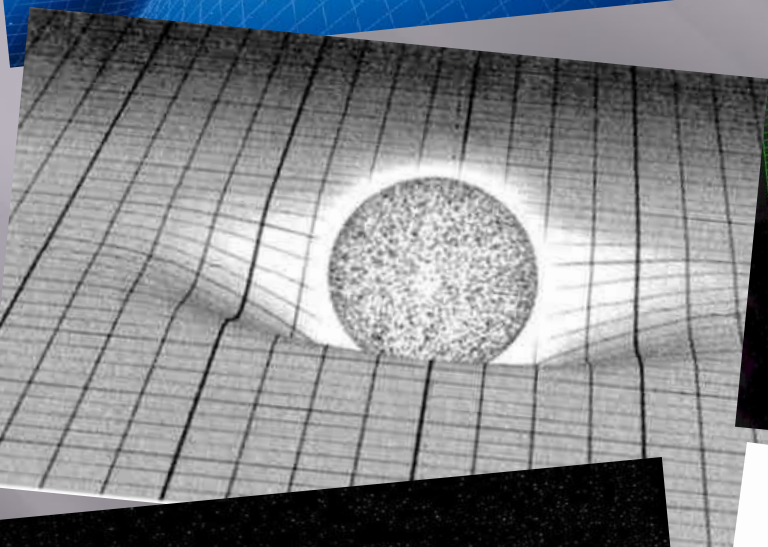
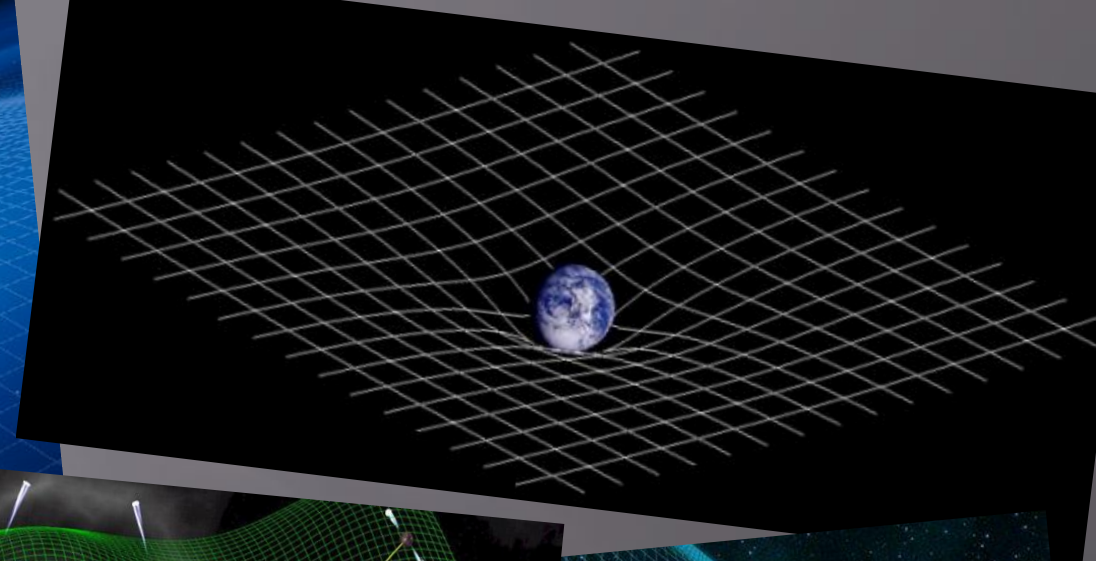
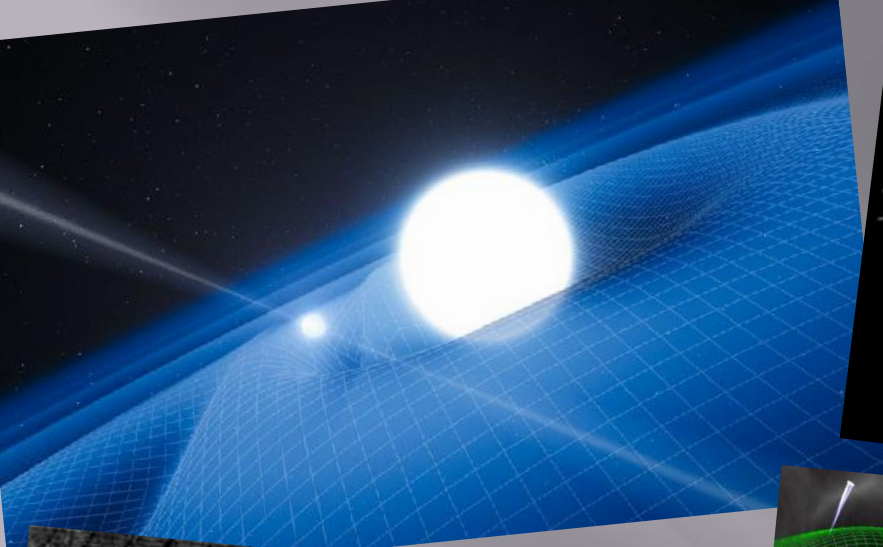
Общая теория относительности применяется уже ко всем системам отсчета (а не только к движущимся с постоянной скоростью друг относительно друга) и выглядит математически гораздо сложнее, чем специальная (чем и объясняется разрыв в одиннадцать лет между их публикацией). Она включает в себя как частный случай специальную теорию относительности (и, следовательно, законы Ньютона). При этом общая теория относительности идёт значительно дальше всех своих предшественниц. В частности, она дает новую интерпретацию гравитации.

Общая теория относительности делает мир четырехмерным: к трем пространственным измерениям добавляется время. Все четыре измерения неразрывны, поэтому речь идет уже не о пространственном расстоянии между двумя объектами, как это имеет место в трехмерном мире, а о пространственно-временных интервалах между событиями, которые объединяют их удаленность друг от друга — как по времени, так и в пространстве. То есть пространство и время рассматриваются как четырехмерный пространственно-временной континуум или, попросту, *пространство-время*.

Закон всемирного тяготения Ньютона говорит нам, что между любыми двумя телами во Вселенной существует сила взаимного притяжения. С этой точки зрения Земля вращается вокруг Солнца, поскольку между ними действуют силы взаимного притяжения. Общая теория относительности, однако, заставляет нас взглянуть на это явление иначе.

Согласно этой теории, гравитация — это следствие деформации («искривления») упругой ткани пространства-времени под воздействием массы (при этом чем тяжелее тело, например Солнце, тем сильнее пространство-время «прогибается» под ним и тем, соответственно, сильнее его гравитационное поле). Представьте себе туго натянутое полотно (своего рода батут), на которое помещен массивный шар.

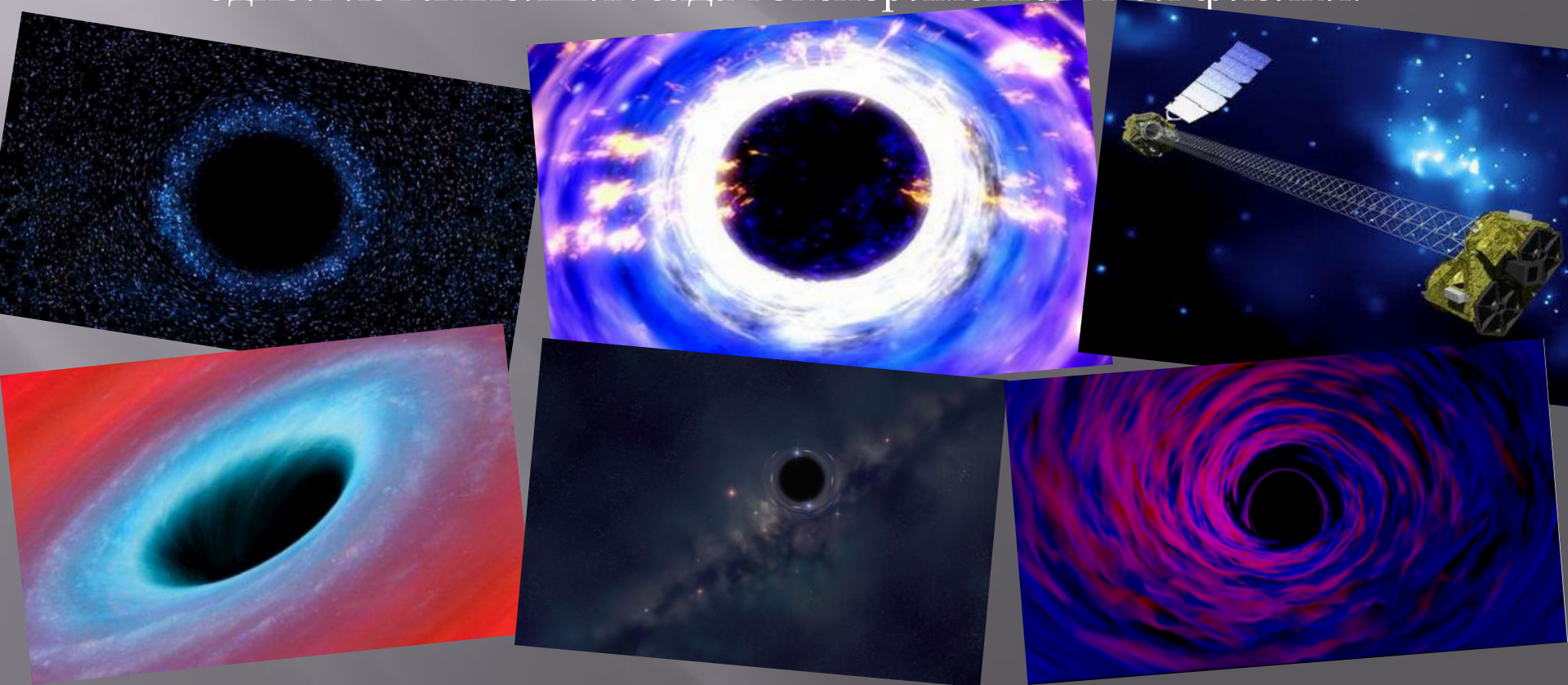
Полотно деформируется под тяжестью шара, и вокруг него образуется впадина в форме воронки. Согласно общей теории относительности, Земля обращается вокруг Солнца подобно маленькому шарику, пущенному кататься вокруг конуса воронки, образованной в результате «продавливания» пространства-времени тяжелым шаром — Солнцем. А то, что нам кажется силой тяжести, на самом деле является, по сути чисто внешним проявлением искривления пространства-времени, а вовсе не силой в ньютоновском понимании. На сегодняшний день лучшего объяснения природы гравитации, чем дает нам общая теория относительности, не найдено.



Проверить общую теорию относительности трудно, поскольку в обычных лабораторных условиях ее результаты практически полностью совпадают с тем, что предсказывает закон всемирного тяготения Ньютона. Тем не менее несколько важных экспериментов были произведены, и их результаты позволяют считать теорию подтвержденной. Кроме того, общая теория относительности помогает объяснить явления, которые мы наблюдаем в космосе, — например, незначительные отклонения Меркурия от стационарной орбиты, необъяснимые с точки зрения классической механики Ньютона, или искривление электромагнитного излучения далеких звезд при его прохождении в непосредственной близости от Солнца.



На самом деле результаты, которые предсказывает общая теория относительности, заметно отличаются от результатов, предсказанных законами Ньютона, только при наличии сверхсильных гравитационных полей. Это значит, что для полноценной проверки общей теории относительности нужны либо сверхточные измерения очень массивных объектов, либо черные дыры, к которым никакие наши привычные интуитивные представления неприменимы. Так что разработка новых экспериментальных методов проверки теории относительности остается одной из важнейших задач экспериментальной физики.



BCË!