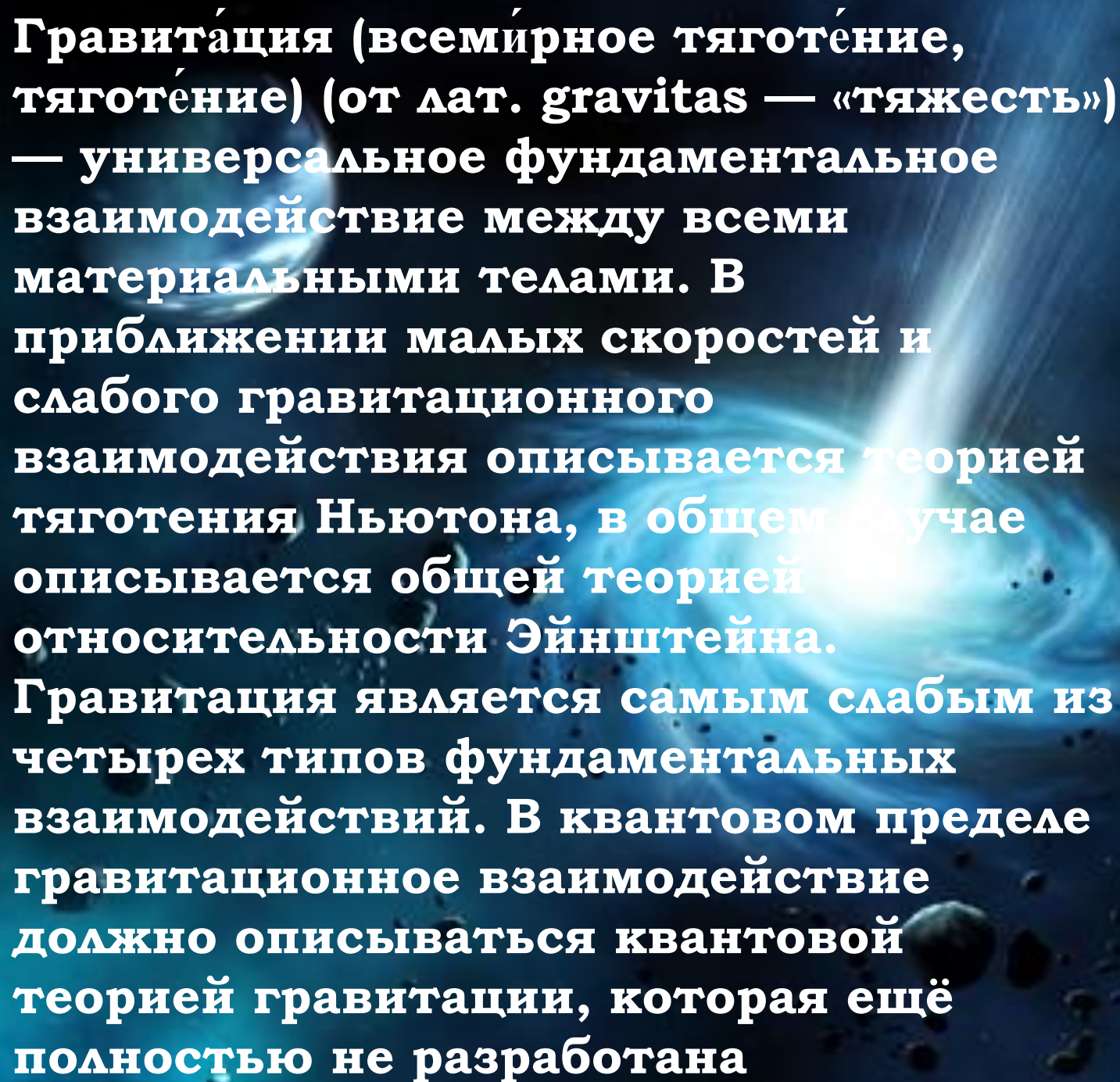


Гравитация

The image features a dark, star-filled space. In the top-left corner, a bright white light source creates a fan of rays that spread across the frame. Scattered throughout are numerous purple, glowing points of light, some appearing as small stars and others as larger, more diffuse spots. In the center, there is a cluster of galaxies, with a prominent, bright, irregularly shaped galaxy. The overall composition is dynamic and evokes a sense of vastness and cosmic energy.

Содержание

- 1 Гравитационное взаимодействие
- 2 Небесная механика и некоторые её задачи
- 3 Сильные гравитационные поля
- 4 Гравитационное излучение
- 5 Тонкие эффекты гравитации
- 6 Классические теории гравитации



Гравитация (всемирное тяготение, тяготение) (от лат. *gravitas* — «тяжесть») — универсальное фундаментальное взаимодействие между всеми материальными телами. В приближении малых скоростей и слабого гравитационного взаимодействия описывается теорией тяготения Ньютона, в общем случае описывается общей теорией относительности Эйнштейна. Гравитация является самым слабым из четырех типов фундаментальных взаимодействий. В квантовом пределе гравитационное взаимодействие должно описываться квантовой теорией гравитации, которая ещё полностью не разработана

Гравитационное взаимодействие

Закон всемирного тяготения.


В рамках классической механики гравитационное взаимодействие описывается законом всемирного тяготения Ньютона, который гласит, что сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками массы m и M , разделёнными расстоянием R , пропорциональна обеим массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния — то есть:

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

Закон всемирного тяготения — одно из приложений закона обратных квадратов, встречающегося также и при изучении излучений (см., например, Давление света), и являющегося прямым следствием квадратичного увеличения площади сферы при увеличении радиуса, что приводит к квадратичному же уменьшению вклада любой единичной площади в площадь всей сферы.

Гравитационное поле, так же как и поле силы тяжести, потенциально. Это значит, что можно ввести потенциальную энергию гравитационного притяжения пары тел, и эта энергия не изменится после перемещения тел по замкнутому контуру. Потенциальность гравитационного поля влечёт за собой закон сохранения суммы кинетической и потенциальной энергии и при изучении движения тел в гравитационном поле часто существенно упрощает решение. В рамках ньютоновской механики гравитационное взаимодействие является дальнодействующим. Это означает, что как бы массивное тело ни двигалось, в любой точке пространства гравитационный потенциал зависит только от положения тела в данный момент времени.

Большие космические объекты — планеты, звезды и галактики имеют огромную массу и, следовательно, создают значительные гравитационные поля.



Гравитация была первым взаимодействием, описанным математической теорией. Аристотель считал, что объекты с разной массой падают с разной скоростью. Только много позже Галилео Галилей экспериментально определил, что это не так — если сопротивление воздуха устраняется, все тела ускоряются одинаково. Закон всеобщего тяготения Исаака Ньютона (1687) хорошо описывал общее поведение гравитации. В 1915 году Альберт Эйнштейн создал Общую теорию относительности, более точно описывающую гравитацию в терминах геометрии пространства-времени.

Небесная механика и некоторые её задачи

Раздел механики, изучающий движение тел в пустом пространстве только под действием гравитации, называется небесной механикой. Наиболее простой задачей небесной механики является гравитационное взаимодействие двух точечных или сферических тел в пустом пространстве. Эта задача в рамках классической механики решается аналитически до конца; результат её решения часто формулируют в виде трёх законов Кеплера.



В некоторых частных случаях удаётся найти приближённое решение. Наиболее важным является случай, когда масса одного тела существенно больше массы других тел (примеры: солнечная система и динамика колец Сатурна). В этом случае в первом приближении можно считать, что лёгкие тела не взаимодействуют друг с другом и движутся по кеплеровым траекториям вокруг массивного тела. Взаимодействия же между ними можно учитывать в рамках теории возмущений и усреднять по времени. При этом могут возникать нетривиальные явления, такие как резонансы, аттракторы, хаотичность и т. д. Наглядный пример таких явлений — сложная структура колец Сатурна.



Сильные гравитационные

поля

В сильных гравитационных полях, а также при движении в гравитационном поле с релятивистскими скоростями, начинают проявляться эффекты общей теории относительности (ОТО):

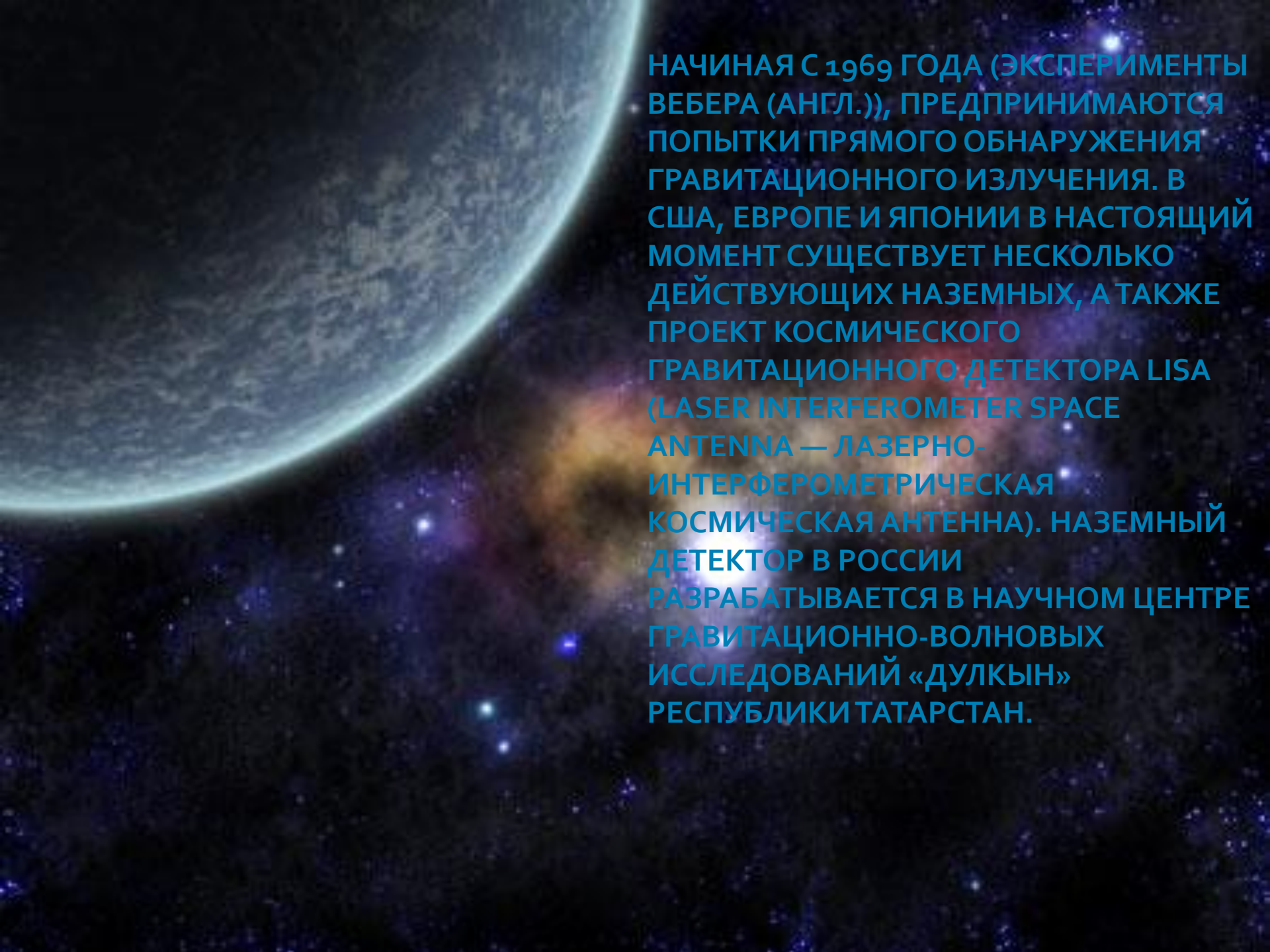
- изменение геометрии пространства-времени;
- как следствие, отклонение закона тяготения от ньютоновского;
- и в экстремальных случаях — возникновение чёрных дыр;
- запаздывание потенциалов, связанное с конечной скоростью распространения гравитационных возмущений;
- как следствие, появление гравитационных волн;
- эффекты нелинейности: гравитация имеет свойство взаимодействовать сама с собой, поэтому принцип суперпозиции в сильных полях уже не выполняется.

Гравитационное излучение

Одним из важных предсказаний ОТО является гравитационное излучение, наличие которого до сих пор не подтверждено прямыми наблюдениями. Однако существуют весомые косвенные свидетельства в пользу его существования, а именно: потери энергии в тесных двойных системах, содержащих компактные гравитирующие объекты (такие как нейтронные звезды или чёрные дыры), в частности, в знаменитой системе PSR B1913+16 (пульсаре Халса — Тейлора) — хорошо согласуются с моделью ОТО, в которой эта энергия уносится именно гравитационным излучением.



Гравитационное излучение могут генерировать только системы с переменным квадрупольным или более высокими мультипольными моментами, этот факт говорит о том, что гравитационное излучение большинства природных источников направлено, что существенно усложняет его обнаружение.



НАЧИНАЯ С 1969 ГОДА (ЭКСПЕРИМЕНТЫ ВЕБЕРА (АНГЛ.)), ПРЕДПРИНИМАЮТСЯ ПОПЫТКИ ПРЯМОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. В США, ЕВРОПЕ И ЯПОНИИ В НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ СУЩЕСТВУЕТ НЕСКОЛЬКО ДЕЙСТВУЮЩИХ НАЗЕМНЫХ, А ТАКЖЕ ПРОЕКТ КОСМИЧЕСКОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА LISA (LASER INTERFEROMETER SPACE ANTENNA — ЛАЗЕРНО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ АНТЕННА). НАЗЕМНЫЙ ДЕТЕКТОР В РОССИИ РАЗРАБАТЫВАЕТСЯ В НАУЧНОМ ЦЕНТРЕ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «ДУЛКЫН» РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН.

ПЛАНЕТАРИЙ

$T = 10^{-43}$ с

Вселенная становится прозрачной для гравитационных волн

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Космологические гравитационные волны испускаются в эпоху ранней Вселенной хаотически движущимися неоднородностями вещества. Это единственный вид излучения, способный донести до нас информацию о первых секундах существования Вселенной.

$T = 10^{-35}$ с

эпоха инфляции

$T = 300$ тыс. лет

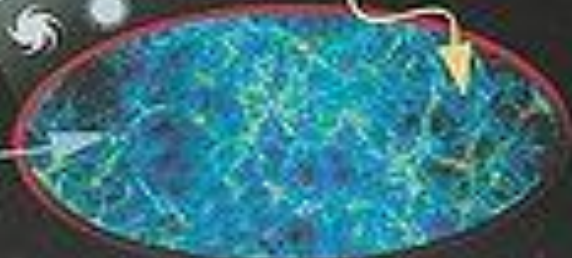
Вселенная прозрачна для собственного теплового излучения

Космологические гравитационные волны

Реликтовое микроволновое излучение

$T = 14$ млрд. лет
наше время

Космический лазерный интерферометр LISA



ТОНКИЕ ЭФФЕКТЫ ГРАВИТАЦИИ

Помимо классических эффектов гравитационного притяжения и замедления времени, общая теория относительности предсказывает существование других проявлений гравитации, которые в земных условиях весьма слабы и их обнаружение и экспериментальная проверка поэтому весьма затруднительны. До последнего времени преодоление этих трудностей представлялось за пределами возможностей экспериментаторов.

Среди них, в частности, можно назвать увлечение инерциальных систем отсчета (или эффект Лензе-Тирринга) и гравитомагнитное поле. В 2005 году автоматический аппарат НАСА Gravity Probe B провёл беспрецедентный по точности эксперимент по измерению этих эффектов вблизи Земли, но его полные результаты пока не опубликованы. По состоянию на ноябрь 2009 года в результате сложной обработки данных эффект был обнаружен с погрешностью не более 14%. Работа продолжается.

The background of the slide features a collection of celestial bodies. In the upper left, a large, detailed Earth is shown with blue oceans, green continents, and white clouds. To its right is a smaller, bright blue planet. Below Earth is the grey, cratered surface of the Moon. In the lower left, the orange and white bands of Jupiter are visible. The entire scene is set against a solid black background.

КЛАССИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ

В связи с тем, что квантовые эффекты гравитации чрезвычайно малы даже в самых экстремальных экспериментальных и наблюдательных условиях, до сих пор не существует их надёжных наблюдений. Теоретические оценки показывают, что в подавляющем большинстве случаев можно ограничиться классическим описанием гравитационного взаимодействия.

Существует современная каноническая классическая теория гравитации — общая теория относительности, и множество уточняющих её гипотез и теорий различной степени разработанности, конкурирующих между собой. Все эти теории дают очень похожие предсказания в рамках того приближения, в котором в настоящее время осуществляются экспериментальные тесты.

