

Обзор и ключевые темы: Закон всемирного тяготения

Закон, объединяющий движения
объектов во Вселенной и на Земле.



Исторические предпосылки открытия закона

Наблюдения за движением планет, выполненные Кеплером и Галилеем, заложили основы для понимания гравитации. Галилей подтвердил, что ускорение свободного падения не зависит от массы. Возник фундаментальный вопрос: что удерживает Луну на орбите и почему тела падают на Землю?



Исаак Ньютон и формулировка закона

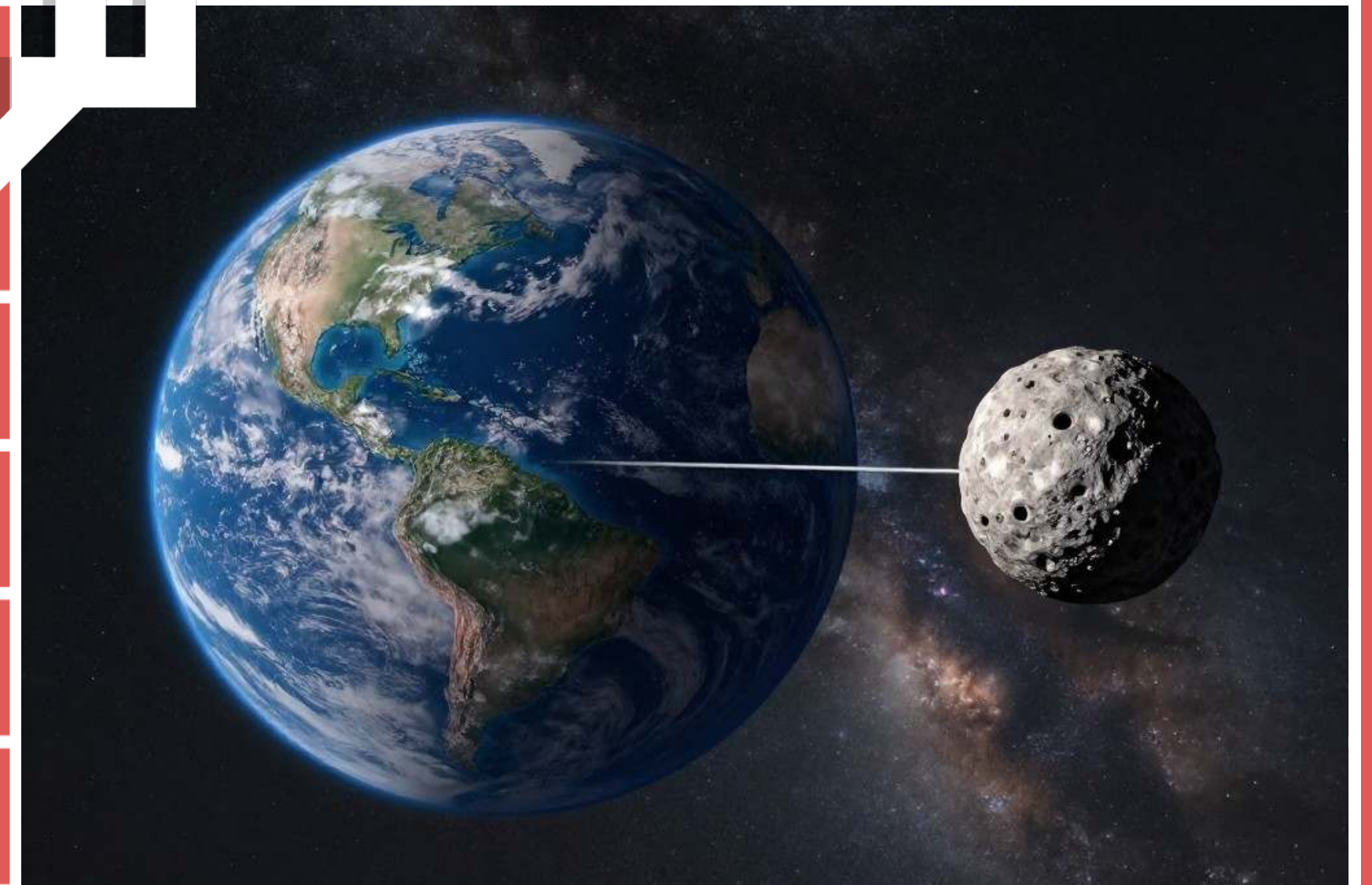
В 1666 году Ньютон начал анализировать движения небесных тел и явления на Земле, что привело к формулировке всеобъемлющего закона гравитации.

В 1687 году он издал труд «Математические начала натуральной философии», где изложил теоретическую базу классической механики.

Его закон объединил поведение планет и земных объектов, заложив основу для понимания взаимодействий во Вселенной.

Формулировка закона всемирного тяготения

- 1 Два тела взаимно притягиваются силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Это универсальная формула проявляется как в космосе, так и на Земле.
- 2 Выражается формулой: $F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$, где сила направлена по линии, соединяющей тела. Закон одинаково применим к любым масштабам и объектам.



Физические величины и единицы закона тяготения



Основные параметры в формуле и их единицы измерения представлены в таблице ниже.

Все параметры имеют строгие международные стандарты, необходимые для точных расчетов.

Величина	Обозначение	Единица	Пример
Масса	m	килограмм (кг)	5 кг
Расстояние	r	метр (м)	10 м

CODATA 2018

Значение постоянной G было впервые точно измерено Кавендишем в 1798 году с применением крутильных весов, что стало ключом к расчету масс небесных тел.

$$6,67430 \times 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$$

это фундаментальный масштаб силы гравитации во Вселенной.

Эксперимент Кавендиша, 1798

Эксперимент Кавендиша и его значение

Прямое измерение гравитации

В 1798 году Кавендиш впервые измерил силу притяжения между небольшими грузами, что позволило получить число гравитационной постоянной. Его установка включала подвешенные гири и тонкую нить, фиксировавшую малейшие отклонения.

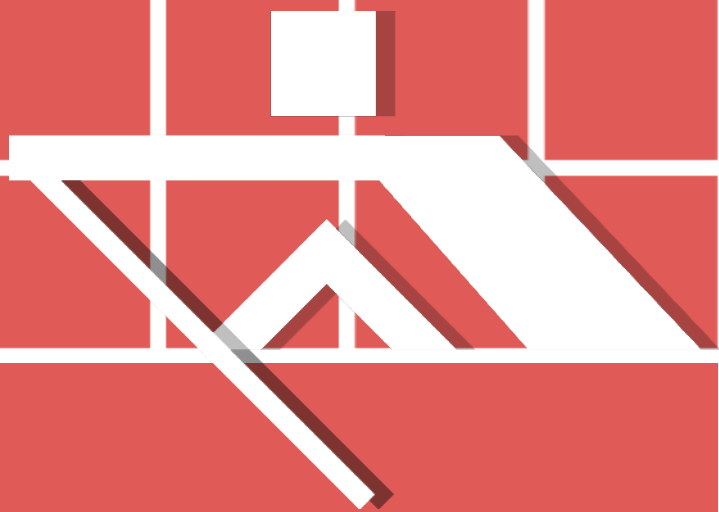


Определение массы Земли

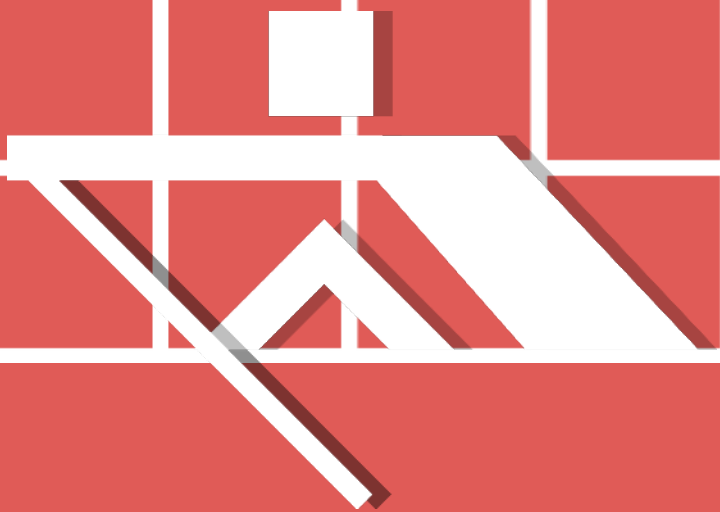
Используя полученное значение G , учёные смогли вычислить массу Земли с высокой точностью. Это стало важным шагом в геофизике и астрономии, укрепив связь между измерениями и теорией.



Анализ влияния расстояния на силу тяготения



Сила гравитационного притяжения убывает пропорционально квадрату расстояния между объектами, что резко уменьшает её при увеличении дистанции.

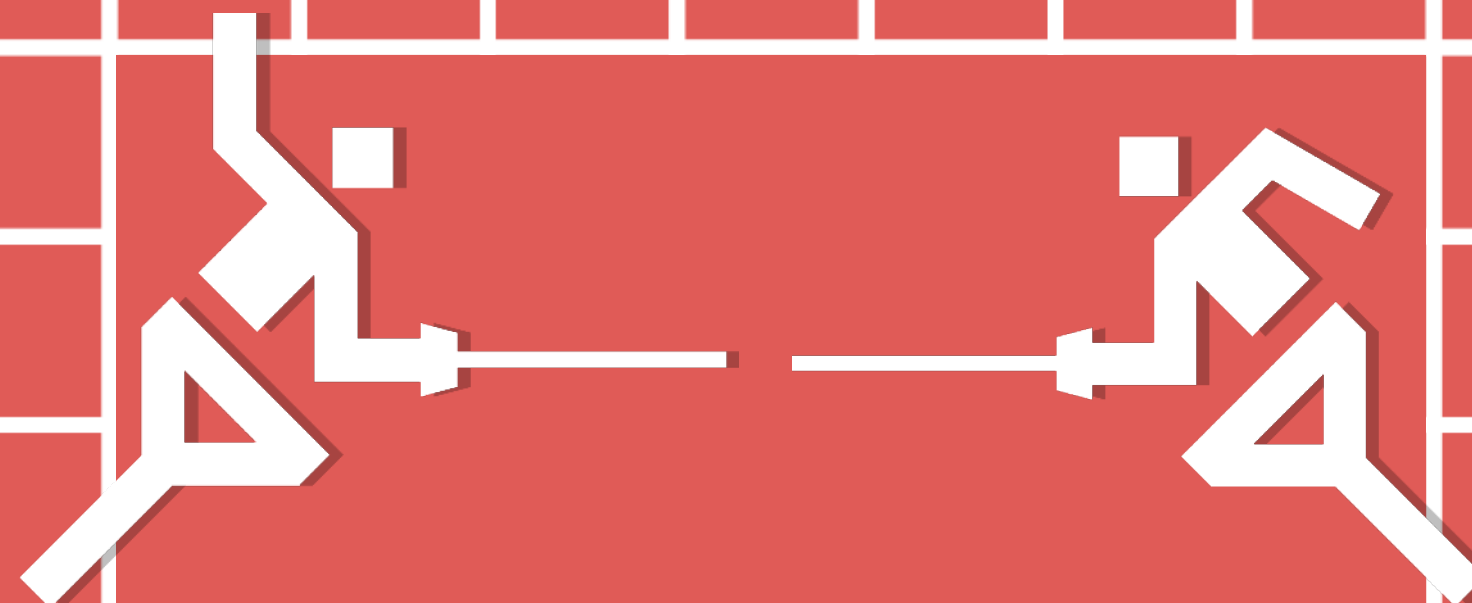


Если расстояние между телами удвоить, сила гравитации станет в четыре раза слабее — эта закономерность критична для движения планет.

При увеличении расстояния в три раза сила уменьшается в девять раз, что объясняет слабость гравитационного влияния на больших космических масштабах.

Эта особенность определяет необходимость учитывать точные расстояния в астрономических расчетах и моделировании гравитационных систем.

График зависимости силы тяготения от расстояния



На графике ясно видно, как быстро падает сила с увеличением расстояния по формуле обратного квадрата.

Зависимость демонстрирует, что даже небольшое увеличение дистанции значительно снижает гравитационное воздействие.

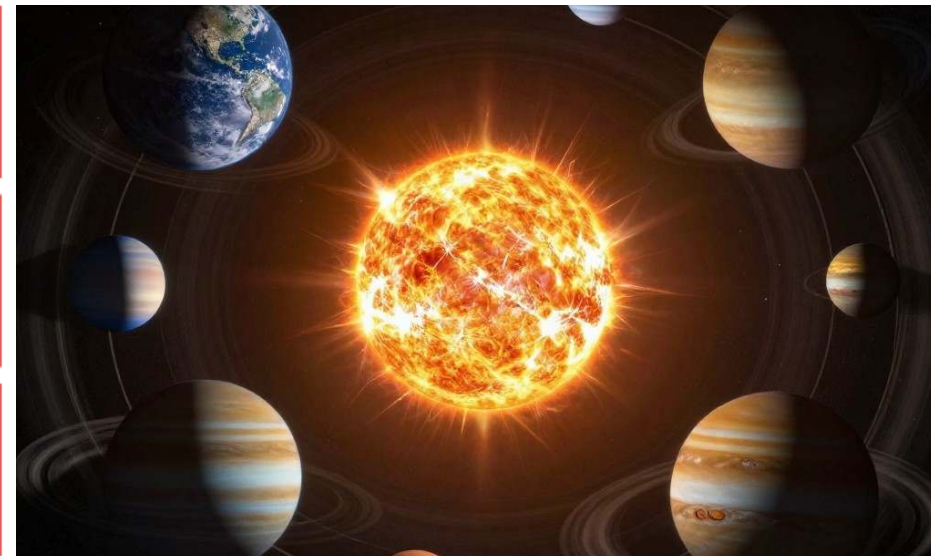
Теоретические расчёты

Закон тяготения и движение планет



Эллиптические орбиты по Кеплеру

Закон Ньютона объясняет, почему планеты движутся по эллиптическим орбитам, а не по круговым. Этот закон является математической основой для законов Кеплера и предсказания движения планет.



Центростремительное ускорение

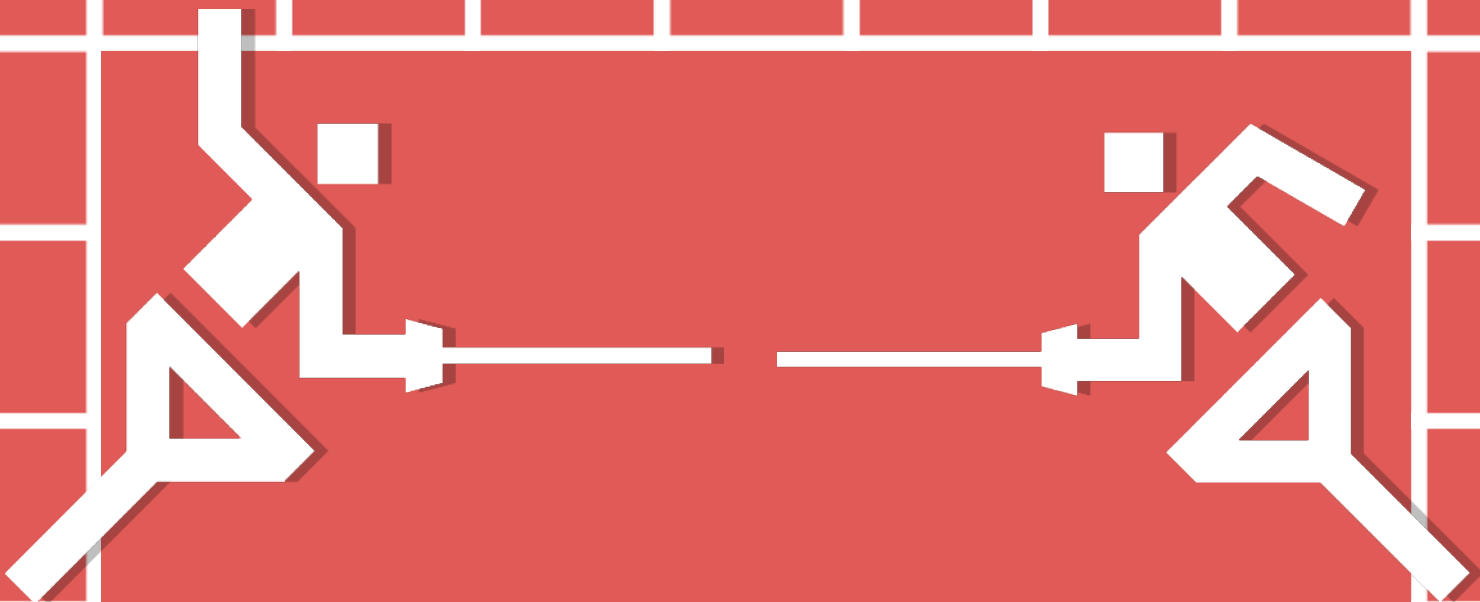
Гравитация Солнца создает центростремительную силу, удерживающую планеты на орбитах. Эта сила постоянно изменяет направление скорости, обеспечивая равномерное движение вокруг светила.



Примеры орбит Марса, Венеры и Земли

Схемы показывают различия в орбитальных путях и скорости планет, а также взаимосвязь между силой притяжения и кинематикой движения каждого небесного тела.

Сравнение ускорения свободного падения на планетах



Различия в ускорении свободного падения связаны с массой и радиусом планет, влияя на гравитационное поле каждого небесного тела. Чем крупнее и массивнее планета, тем сильнее её гравитация, что определяет её ускорение свободного падения и условия на поверхности.

NASA Planetary Fact Sheet, 2023

Сила тяжести на Земле и её проявления

- Сила тяжести удерживает атмосферу Земли, поддерживая состав воздуха, и формирует гидросферу, что обеспечивает существование жидкой воды на поверхности планеты.
- Взаимодействие гравитаций Земли и Луны вызывает приливы и отливы, влияющие на климатические процессы и жизнедеятельность прибрежных экосистем.



Гравитационная сила и падение тел

Легенда о падении яблока побудила Ньютона к формулировке закона тяготения, связывающего движение небесных и земных тел единым принципом.

Галилей доказал, что скорость падения не зависит от массы предмета при отсутствии сопротивления воздуха, подтверждая универсальность гравитационного ускорения.

Эти открытия установили факт постоянства ускорения для различных тел, что легло в основу классической механики и законов движения.

Примеры гравитационных сил в быту и астрономии



В таблице представлены величины сил притяжения между разными телами, которые показывают разницу в масштабах гравитационного взаимодействия.

Гравитационные силы зависят от массы объектов и обратноквадратично уменьшаются с расстоянием, объясняя широкий диапазон значений.

Объекты	Масса 1 (кг)	Масса 2 (кг)	Расстояние (м)	Сила (Н)
Два человека	70	70	1.0	3.3×10^{-7}
—				

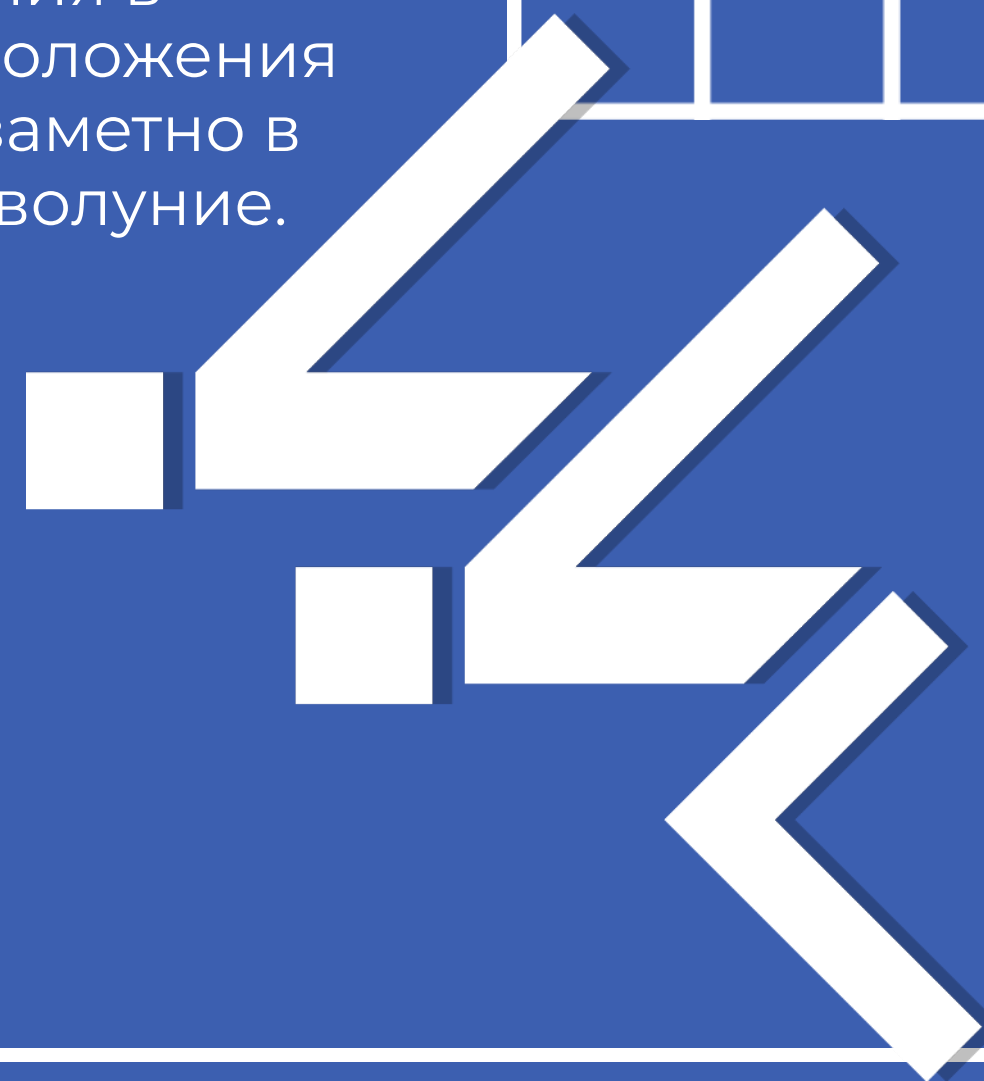
Физические константы и данные NASA, 2023

Гравитация как причина приливов и отливов

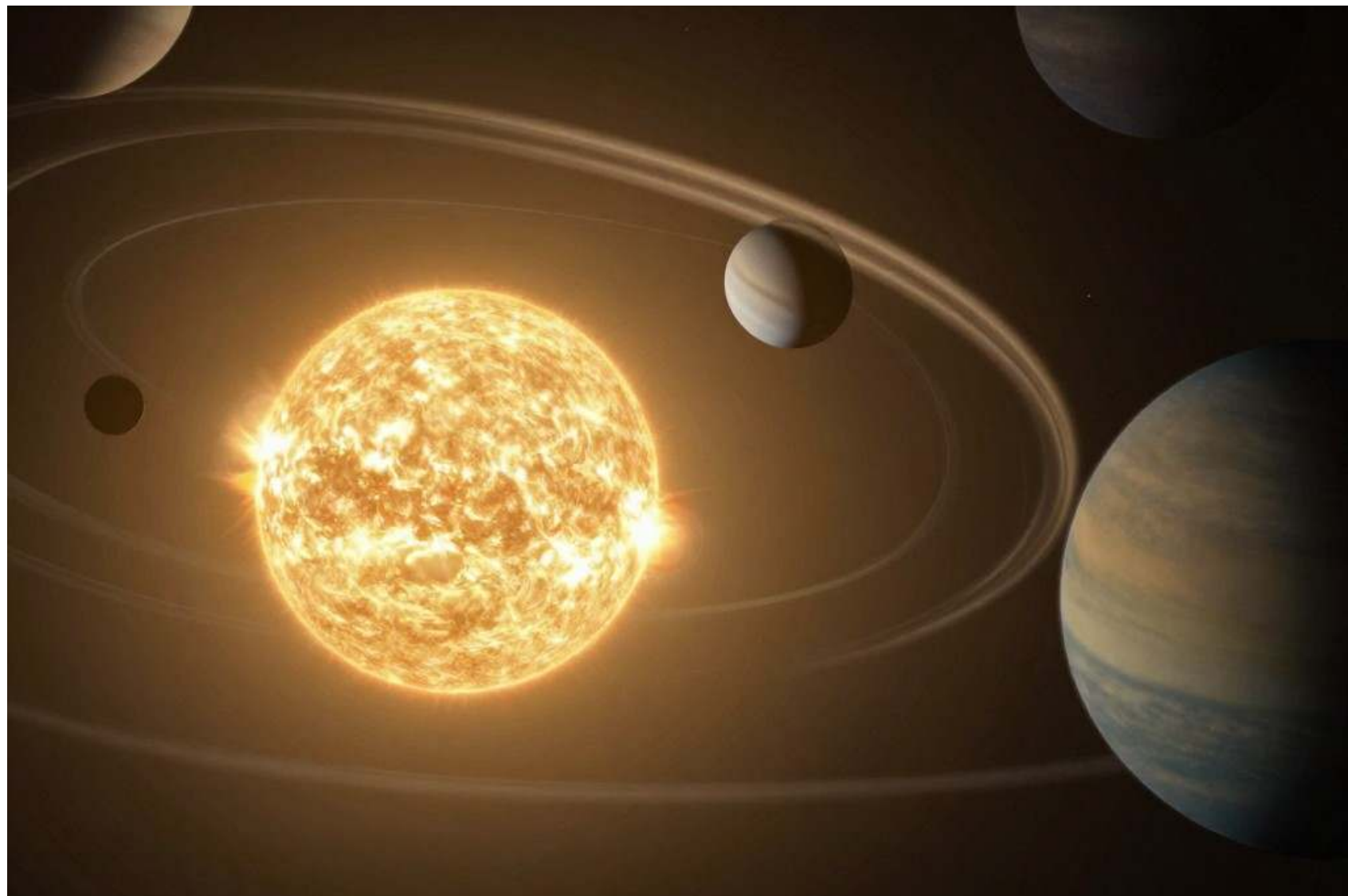
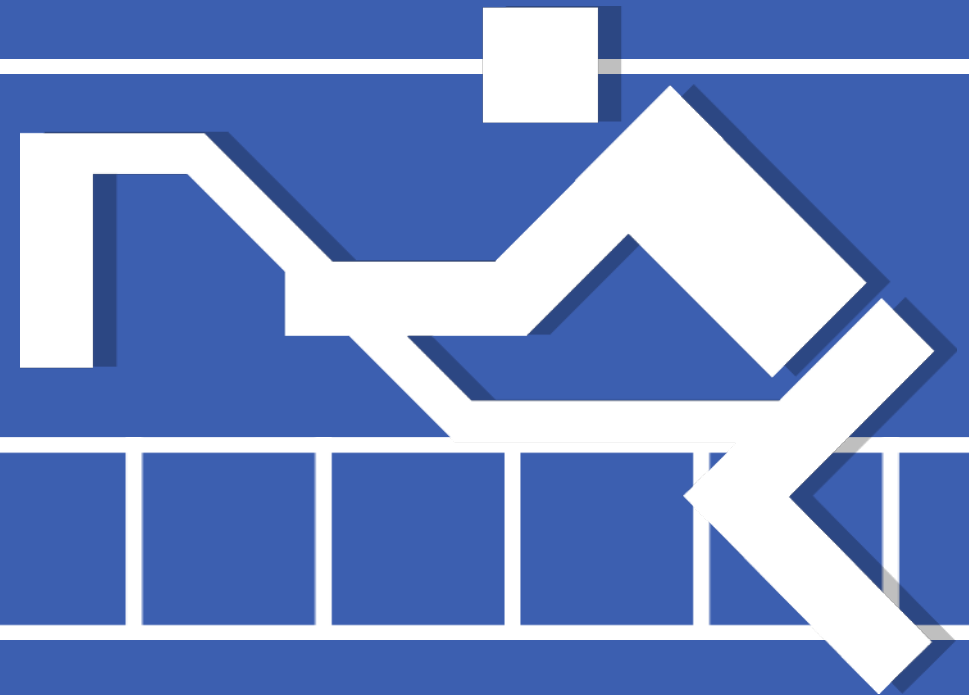
Лунная гравитация вызывает подъем воды на стороне Земли, обращенной к Луне, формируя высокие приливы и низкие отливы на противоположной стороне.

Солнечное притяжение усиливает или ослабляет приливные явления в зависимости от положения Луны, особенно заметно в полнолуние и новолуние.

Приливы оказывают влияние на экосистемы, навигацию и экономическую деятельность, регулируя среду обитания морских организмов и судоходные маршруты.



Аномалии и пределы применимости закона Ньютона



- 1 Закон Ньютона хорошо описывает гравитацию при малых скоростях и слабых полях, но не учитывает эффекты вблизи массивных тел с сильным искривлением пространства-времени.
- 2 На орбите Меркурия наблюдается аномальная прецессия перигелия, которую нельзя полностью объяснить ньютоновской гравитацией, указывающая на необходимость теории, учитывающей релятивистские эффекты.

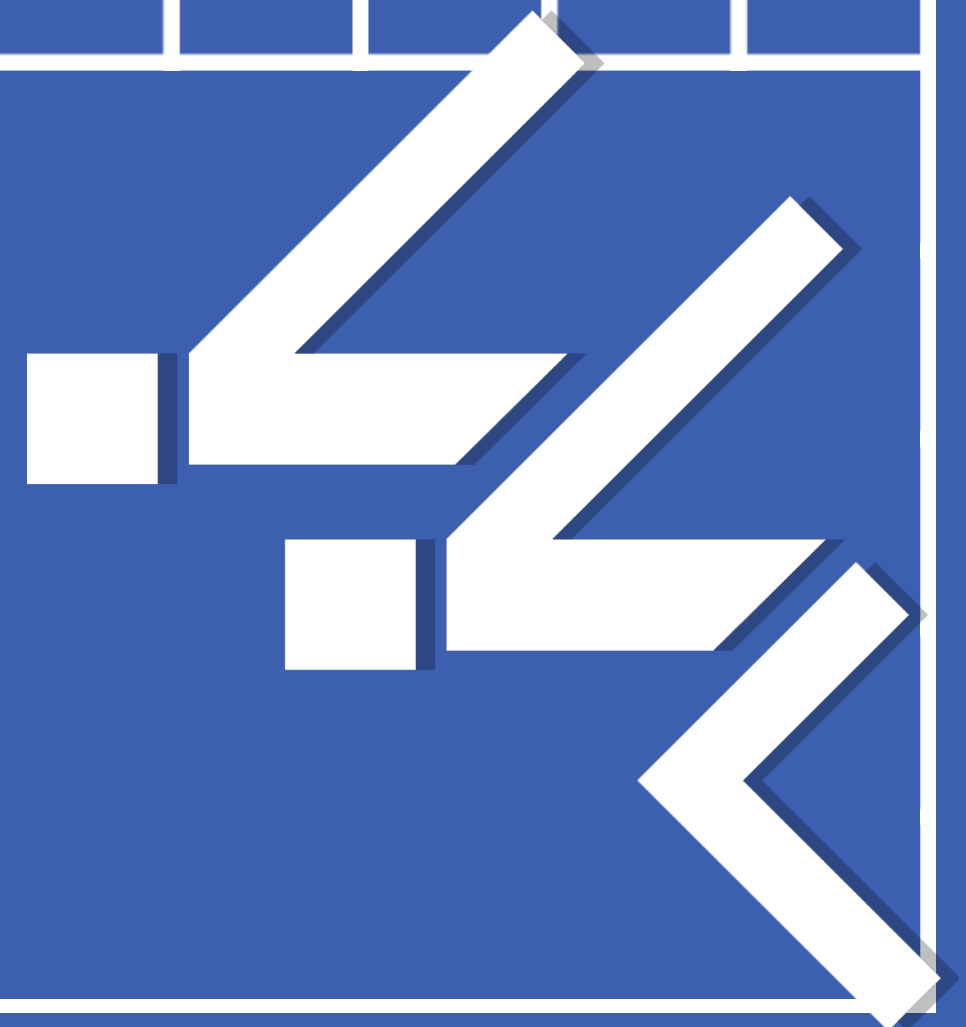
Закон всемирного тяготения и теория относительности

В 1915 году Эйнштейн разработал общую теорию относительности, объясняющую гравитацию как искривление пространства-времени вокруг массивных тел.

Общая теория относительности предсказывает новые эффекты, такие как гравитационные линзы и волны, которые были экспериментально подтверждены в XX и XXI веках.

Теория позволяет точно рассчитать движение Меркурия и других тел, устраняя расхождения с ньютоновскими предсказаниями и объясняя гравитационные аномалии.

В отличие от мгновенного действия в теории Ньютона, ОТО описывает гравитационное взаимодействие, распространяющееся со скоростью света, что важно для космологии и астрофизики.



Сравнение: Закон Ньютона и общая теория относительности



Таблица отражает ключевые различия в применимости и описании гравитации двумя теориями, выделяя их сильные стороны и ограничения.

Общая теория относительности расширяет ньютоновскую механику, обеспечивая точность в экстремальных условиях гравитации.

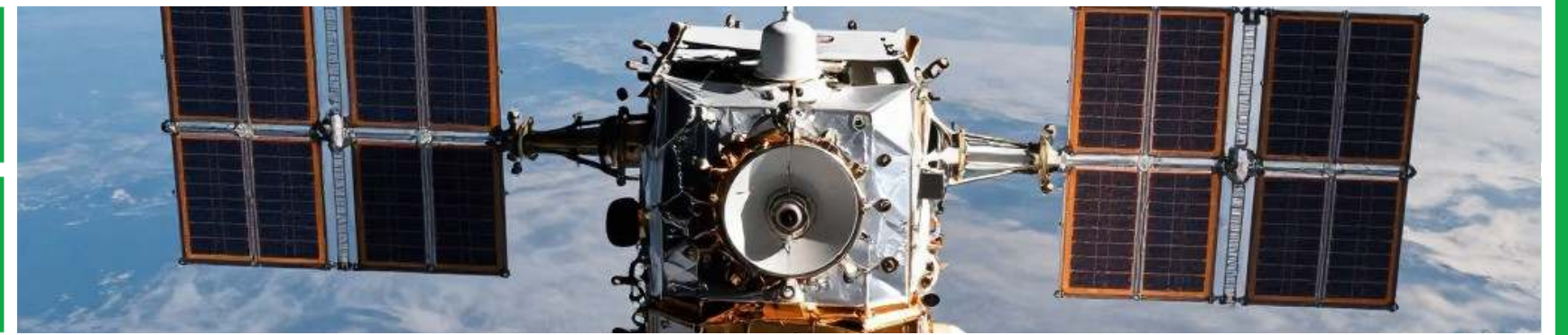
Параметр	Закон Ньютона	Общая теория относительности
Скорость взаимодействия	Мгновенно	Скорость света
~ ~	~ ~	~ ~

Современный справочник по физике, 2023

Современные применения закона тяготения

Расчёты траекторий спутников

Закон Ньютона используется для непрерывного расчёта траекторий искусственных спутников, обеспечивая точность орбитальных операций и поддержание связи и навигации.



Исследование экзопланет

Астрономы применяют закон всемирного тяготения для анализа движения экзопланет вокруг звёзд, что помогает выявлять новые миры и изучать условия для жизни.



Моделирование гравитационных систем

В геофизике и астрофизике моделируют взаимодействия в системах со множеством тел, чтобы прогнозировать динамику звёздных скоплений и планетных систем.



Значение закона всемирного тяготения сегодня

Закон Ньютона сформировал фундамент физики и космонавтики, объединив природу движения и взаимодействия, что продолжает поддерживать развитие науки и технологий современности.

