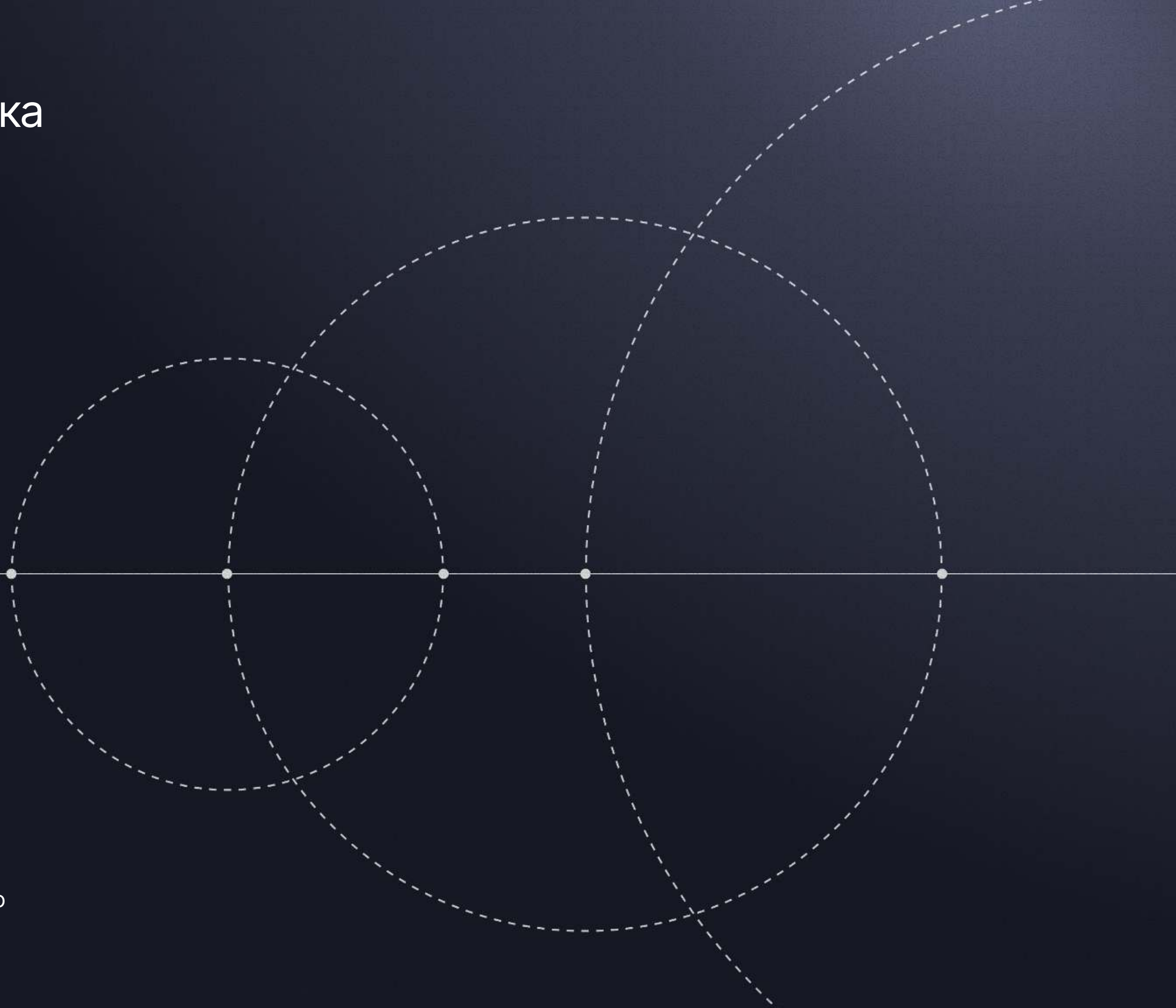


Обзор и ключевые темы урока



Погружение в закон всемирного тяготения Ньютона и его значение для науки.

Астрономия до Ньютона: вызовы и пробелы

01

До Ньютона существовали разные представления о движении небесных тел, но не было единой теории, объединяющей земные и космические явления. Эта проблема требовала решения для развития астрономии.

Исаак Ньютон: биография и научный вклад

01

Ньютон жил в XVII веке, был профессором Кембриджского университета и членом Королевского общества, внёс значительный вклад в физику, математику и астрономию.

02

Он автор знаменитого труда «Математические начала натуральной философии», где впервые был сформулирован закон всемирного тяготения.

03

К заслугам Ньютона относятся законы движения, создание отражательного телескопа, а также развитие математического анализа и оптики.

История открытия: важность легенды об упавшем яблоке

Легенда про яблоко иллюстрирует момент осознания Ньютона о единстве силы притяжения, связывающей падение яблока и движение Луны вокруг Земли.

Эта идея получила подкрепление из писем и воспоминаний современников, подтверждая фундаментальность концепции универсального гравитационного взаимодействия.

Классическая формулировка закона всемирного тяготения

01

Каждое тело притягивает другое с силой, пропорциональной произведению их масс, что отражает взаимозависимость всех объектов во Вселенной.

02

Сила этой тяги обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами, что объясняет уменьшение силы с удалением объектов друг от друга.

03

Закон объединяет феномены на Земле и в космосе, объясняя движение как планет, так и падающих тел повсеместно.

04

Таким образом, существует единая физическая основа описания и предсказания механики систем с гравитационным взаимодействием.

$$6,674 \times 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$$

**Является гравитационной
постоянной, определяющей
масштаб силы
взаимодействия между
массами во Вселенной.**

Международная система единиц и стандарты, CODATA

Формула объединяет массы объектов и расстояние между ними, обеспечивая точные расчёты силы тяготения.

Гравитационная постоянная G и её определение

01

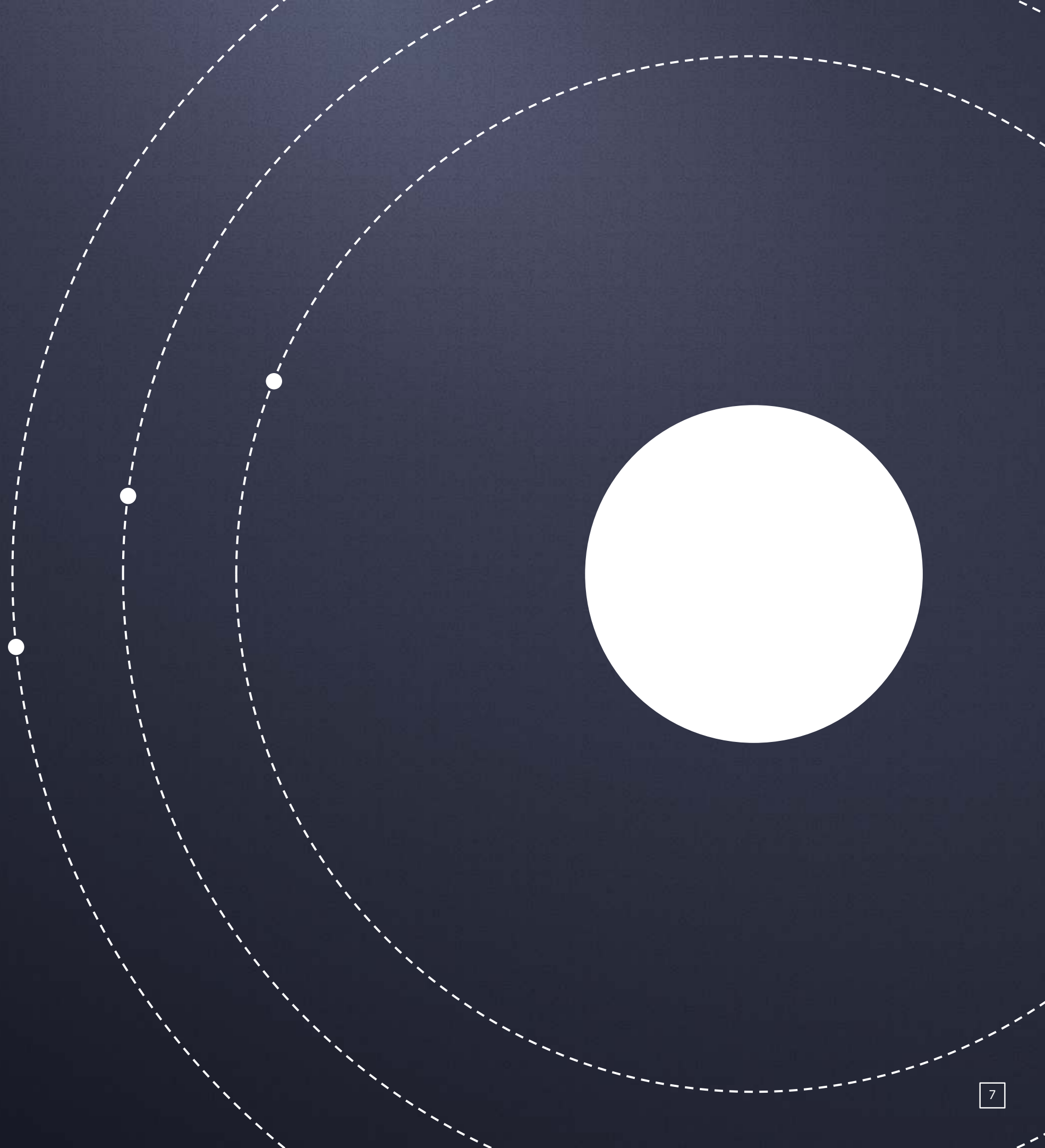
Гравитационная постоянная была впервые измерена Генри Кавендишем в 1798 году посредством крутильных весов, что позволило количественно оценить силу тяготения.

02

Значение G — около $6,674 \times 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ — утверждено в системе СИ и является фундаментальной константой физики.

03

Без этой величины невозможно проводить точные вычисления гравитационных сил, что делает её критически важной для астрономии и инженерных приложений.



Влияние массы и расстояния: количественные зависимости

01

Сила гравитации пропорциональна произведению масс тел: увеличение массы одного объекта в два раза удваивает силу притяжения.

02

Расстояние между телами влияет обратно пропорционально квадрату: при удвоении расстояния сила снижается в четыре раза.

03

Эти зависимости позволяют прогнозировать траектории движения планет и спутников с высокой точностью.

04

Понимание этих величин существенно для проектирования спутниковых орбит и изучения динамики солнечной системы.

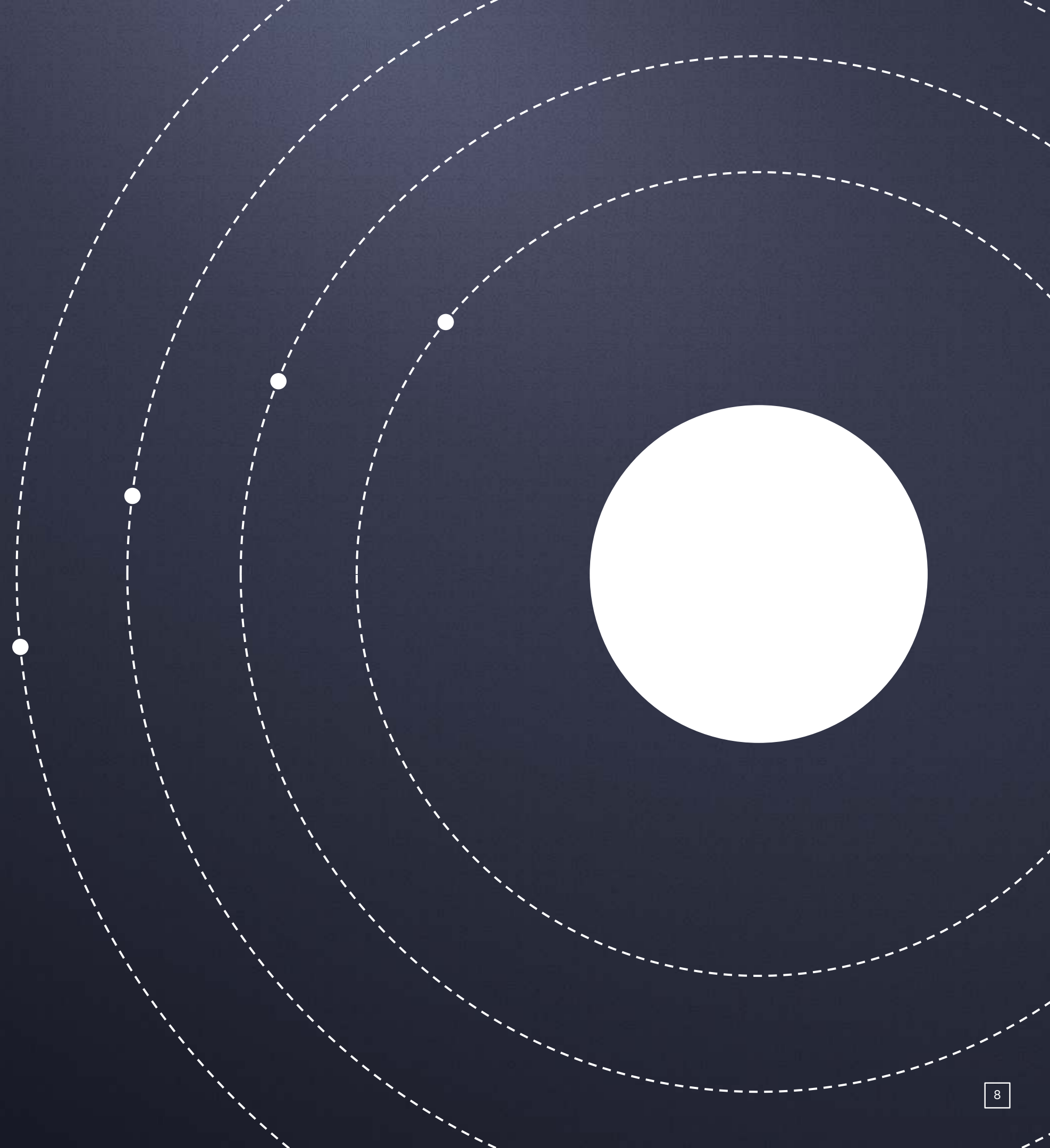
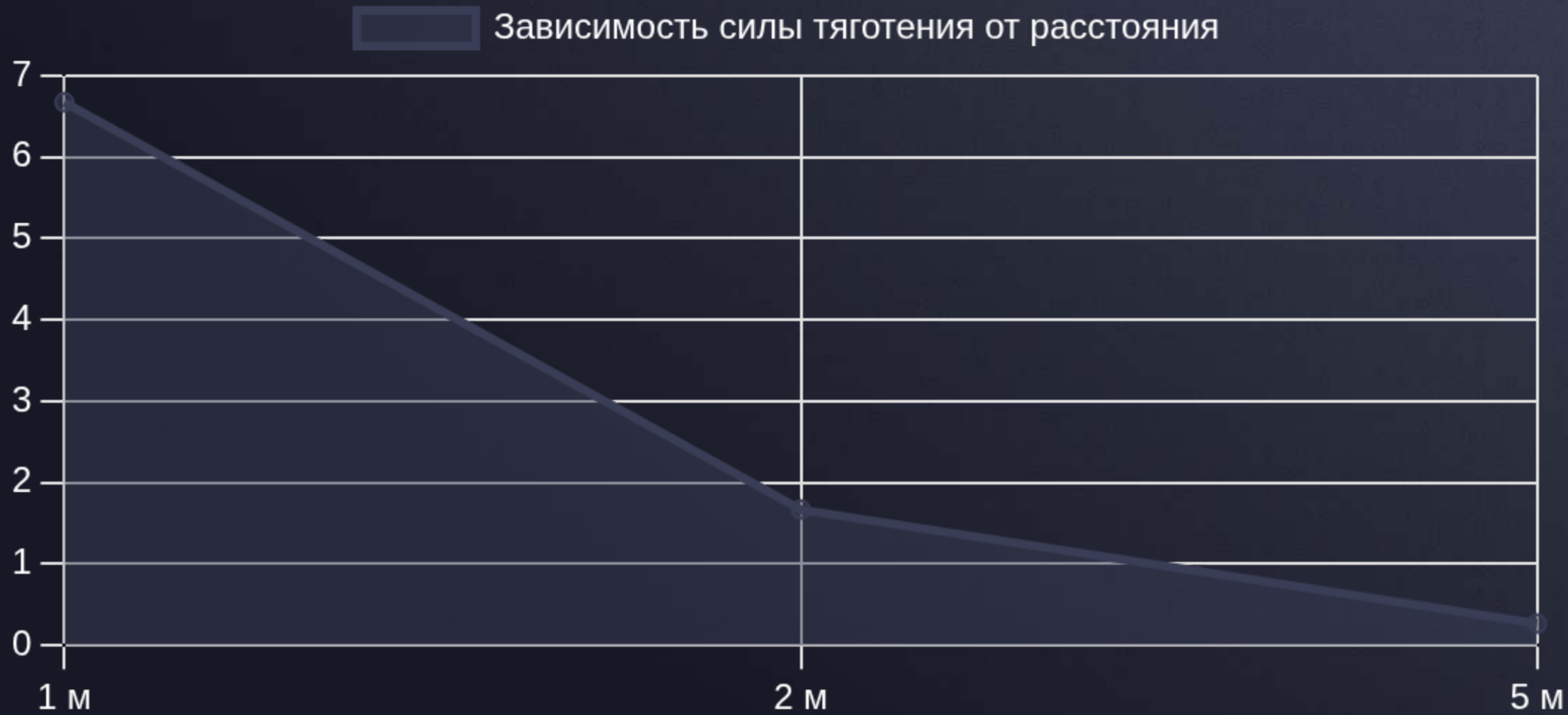


График: Зависимость силы тяготения от расстояния между телами



Сила тяготения стремительно уменьшается с увеличением расстояния, что иллюстрирует закон обратных квадратов.

При увеличении расстояния вдвое сила уменьшается примерно вчетверо, подтверждая квадратичную зависимость.

Эксперименты Галилея: независимость ускорения от массы

Доказывание полного падения с равным ускорением

Галилей доказал, что при отсутствии сопротивления воздуха все тела падают с одинаковым ускорением, независимо от массы, опровергая господствующие представления.

Значение для закона тяготения Ньютона

Этот результат стал фундаментом для Ньютона, который включил независимость массы в формулировку закона всемирного тяготения, обеспечив универсальность закона.

Закон Ньютона и объяснение движения планет

01

Закон всемирного тяготения объясняет, почему планеты движутся по эллиптическим орбитам, подтверждая эмпирические законы Кеплера и демонстрируя единство гравитации как силы, управляющей движением небесных тел.

02

С помощью закона удаётся рассчитать параметры орбит планет и спутников, а также предсказывать периодические явления, такие как приливы и затмения, связывая наблюдаемые циклы с физическими причинами.

03

Механическая модель Ньютона заменила геометрические описания, обеспечив точные вычисления скоростей и траекторий комет, астероидов и искусственных спутников, расширив понимание динамики Вселенной.

Таблица: Примеры расчёта силы тяготения для астрономических тел

В таблице представлены пары тел с их массами, расстояниями и рассчитанными силами гравитации, иллюстрирующие масштаб взаимодействия от планетарных до спутниковых уровней.

Значения демонстрируют огромный диапазон сил гравитационного взаимодействия, от колоссальных между планетами до заметных вблизи Земли для искусственных спутников.

Пара объектов	Масса 1 (кг)	Масса 2 (кг)	Расстояние (м)	Сила тяготения (Н)
Земля – Солнце	$5,97 \times 10^{24}$	$1,99 \times 10^{30}$	$1,50 \times 10^{11}$	$3,54 \times 10^{22}$
Луна – Земля	$7,35 \times 10^{22}$	$5,97 \times 10^{24}$	$3,84 \times 10^8$	$1,98 \times 10^{20}$
Спутник – Земля	$1,00 \times 10^3$	$5,97 \times 10^{24}$	$4,22 \times 10^6$	$9,42 \times 10^3$

Сила тяжести как проявление закона тяготения на Земле

01

Сила тяжести – это ускорение свободного падения тел на планете, составляющее примерно $9,8 \text{ м/с}^2$, которое обуславливает вес и движения предметов на Земле.

02

Значение g варьируется из-за вращения планеты и её формы: максимальное ускорение наблюдается у полюсов, а минимальное — у экватора и на высотах.

03

Понимание действия силы тяжести позволило создать точные весы и разработать механические модели для множества инженерных задач и естественных процессов.

Лунные и солнечные приливы как результат гравитационного взаимодействия

01

Приливы и отливы возникают из-за разницы в гравитационном воздействии Луны и Солнца на разные части земного шара. В сутки наблюдается по два прилива и два отлива, обусловленных вращением и фазами Луны.

02

Амплитуда приливов меняется в зависимости от расположения Луны: при сизигиях приливы максимальные, а при квадратурах – минимальные. Залива Фанди характеризуется рекордными приливами до 16 метров.

Гравитация и расчёт орбит искусственных спутников Земли

01

Законы Ньютона применяются для определения необходимой скорости и высоты орбиты спутника, обеспечивая его устойчивое движение вокруг Земли без дополнительных затрат топлива.

02

Вычисляется баланс между силой притяжения Земли и центростремительным ускорением, чтобы спутник не падал на планету и не улетал в космос.

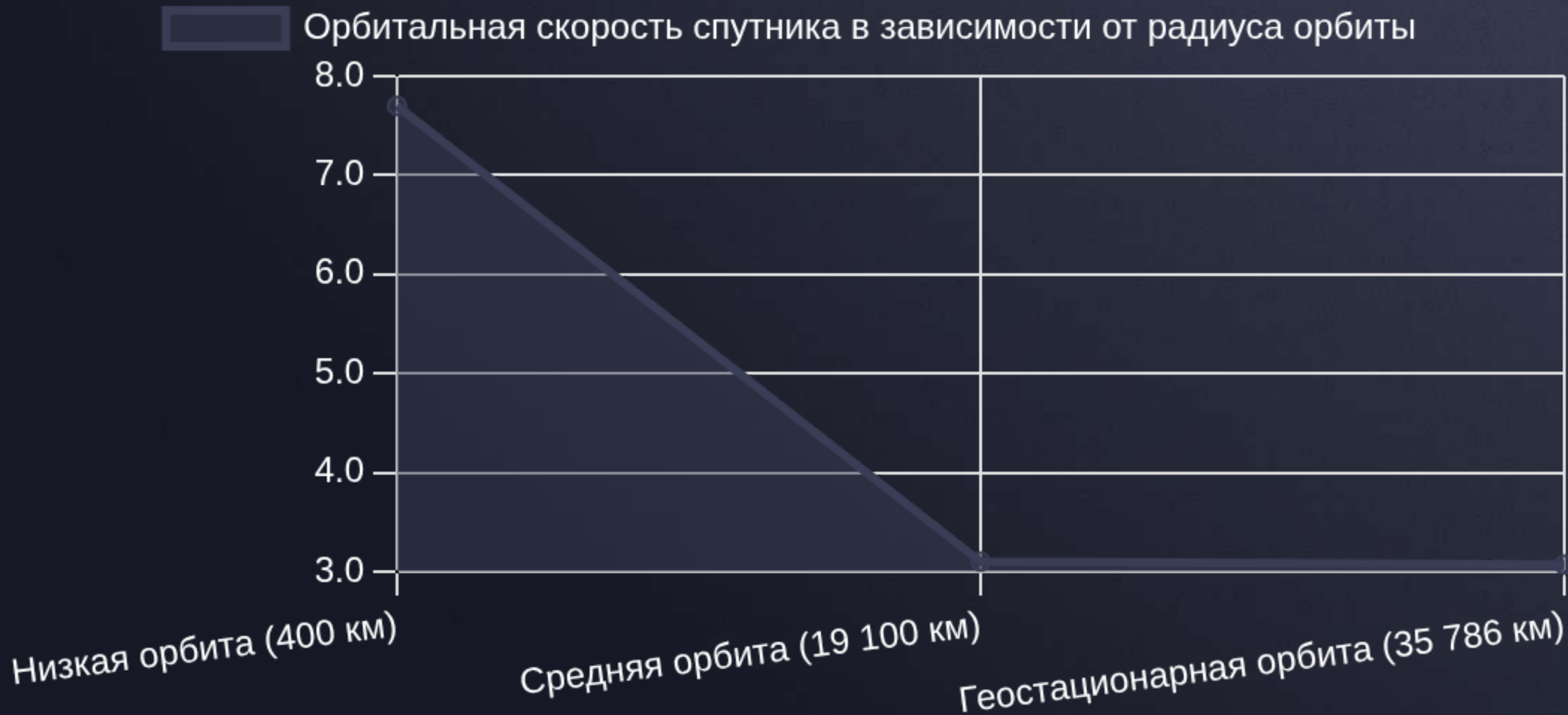
03

Такие расчёты критичны для спутников связи, навигации и научных миссий, обеспечивая надёжность и точность их работы в космическом пространстве.

04

Например, орбиты спутников ГЛОНАСС находятся на высоте около 19 100 км, в то время как Международная космическая станция движется на высоте около 400 км.

Влияние радиуса орбиты на орбитальную скорость



С увеличением радиуса орбиты скорость спутника заметно уменьшается, что существенно влияет на период и продолжительность его обращения вокруг Земли.

Данные подтверждают обратную зависимость орбитальной скорости от радиуса, что важно учитывать при проектировании спутниковых миссий.

Рассчитано на основе закона тяготения Ньютона, 2024

Ограничения применения закона Ньютона. Границы классической физики

01

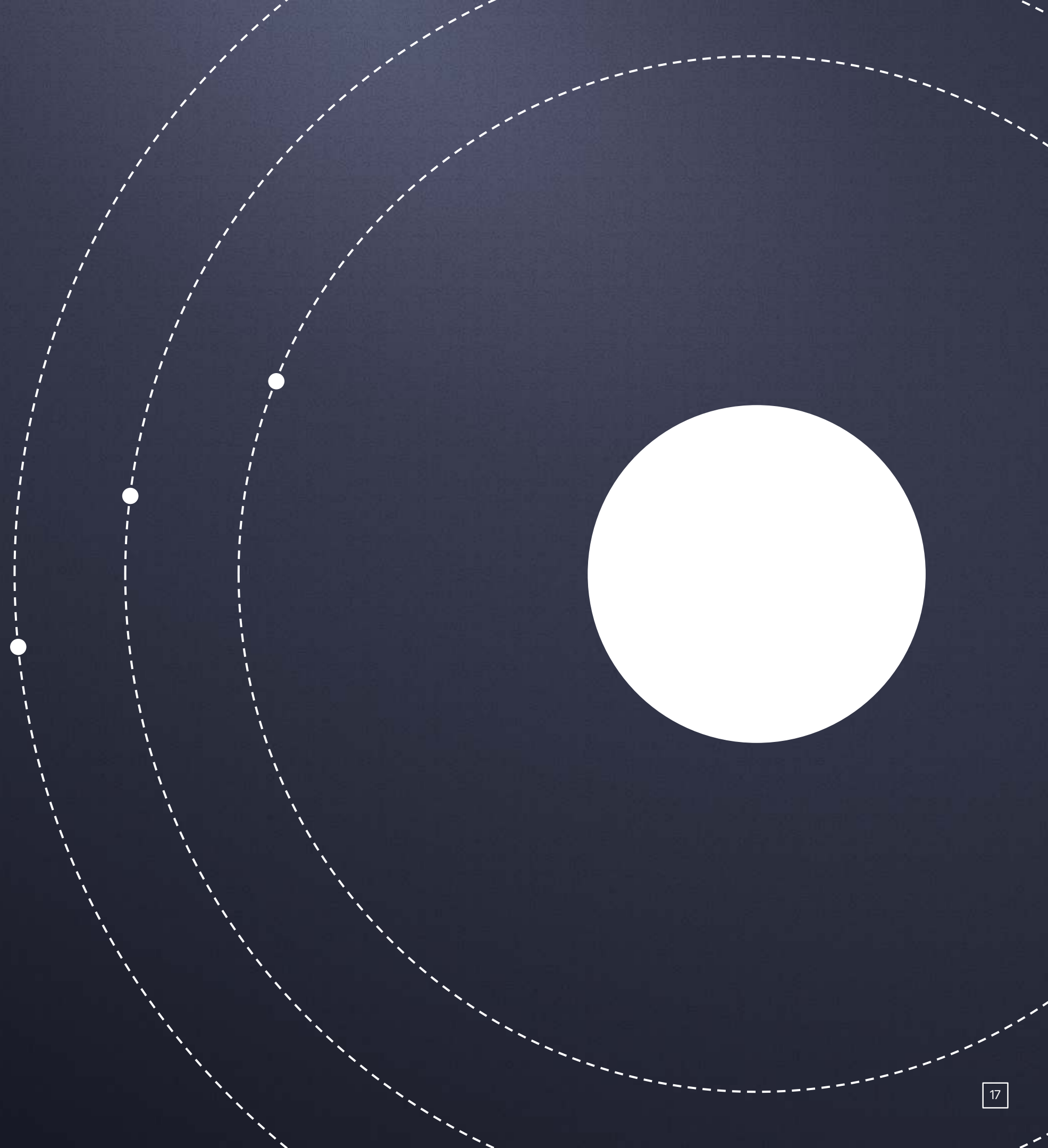
Закон Ньютона не учитывает эффекты, связанные с высокой скоростью объектов, близкой к скорости света, где проявляются релятивистские коррекции.

02

Гравитация вблизи массивных объектов с сильным искривлением пространства-времени, таких как чёрные дыры, описывается общей теорией относительности, превосходящей классическую механику по точности.

03

Тем не менее, для большинства практических задач в астрономии и инженерии закон Ньютона остаётся весьма пригодным и чаще всего применяемым.



Применение закона Ньютона в современной астрономии и космонавтике

Маршруты межпланетных миссий

Закон Ньютона позволяет точно вычислять траектории зондов, таких как «Вояджер» и «Розетта», обеспечивая успешное достижение и изучение удалённых объектов Солнечной системы.



Определение масс экзопланет

Измеряя влияние гравитации звёзд на их планеты, астрономы выявляют массу и орбиты экзопланет, расширяя знания о разнообразии планетных систем.



Безопасность и навигация на Земле

Спутниковые системы GPS и программы отслеживания опасных астероидов базируются на законе Ньютона, обеспечивая точность позиционирования и защиту от потенциальных угроз.



1687

**год публикации
«Математических начал»,
заложивших основы
классической механики и
космологии.**

Исаак Ньютон, «Математические начала»

В 1687 году Ньютон опубликовал фундаментальный труд, который стал отправной точкой для соединения земной и небесной физики в единую теорию природы.

Значение закона Ньютона в современном мире

Закон всемирного тяготения продолжает служить фундаментом научного знания и инженерных технологий, формируя у обучающихся критическое понимание природы и подвиг к новаторству в науке и технике.

