

Закон всемирного тяготения

Как был открыт закон всемирного тяготения

Из истории физики...



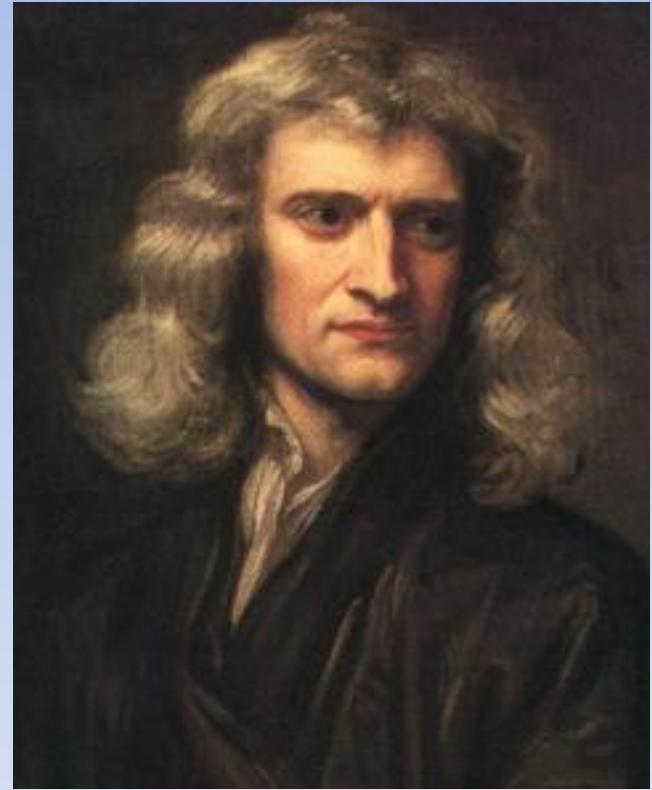
· Датский астроном Тихо Браге (1546-1601), долгие годы наблюдавший за движением планет, накопил огромное количество интересных данных, но не сумел их обработать.

·

Иоганн Кеплер (1571-1630) используя идею Коперника о гелиоцентрической системе и результаты наблюдений Тихо Браге, установил законы движения планет вокруг Солнца, однако он не смог объяснить динамику этого движения.



Исаак Ньютон открыл этот закон в возрасте 23 лет, но целых 9 лет не публиковал его, так как имевшиеся тогда неверные данные о расстоянии между Землей и Луной не подтверждали его идею. Лишь в 1667 году, после уточнения этого расстояния, *закон всемирного тяготения* был наконец отдан в печать.

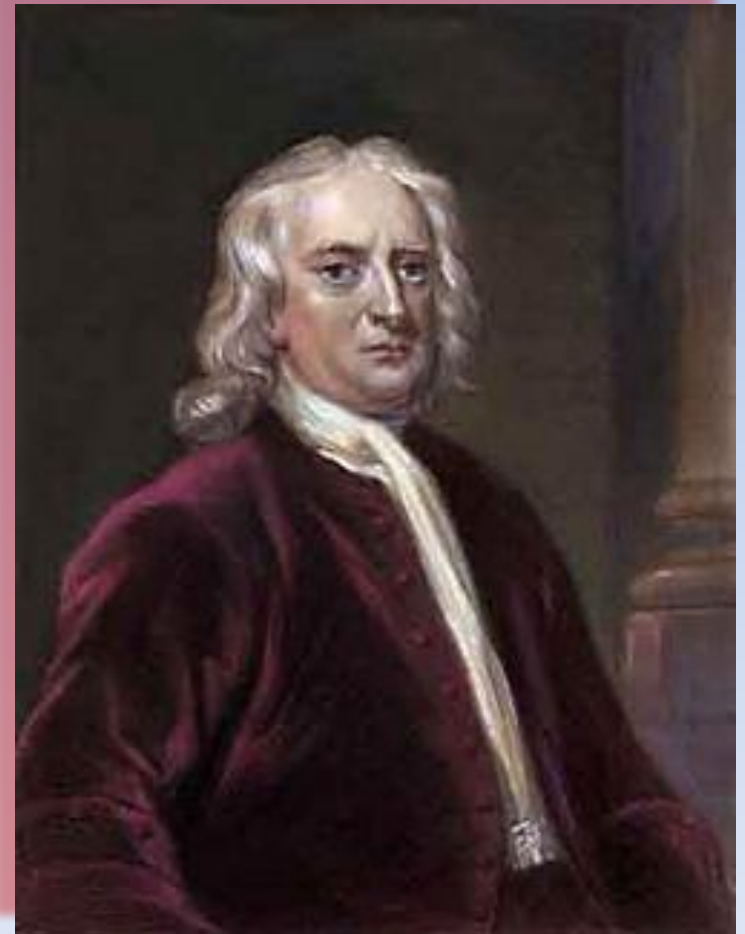




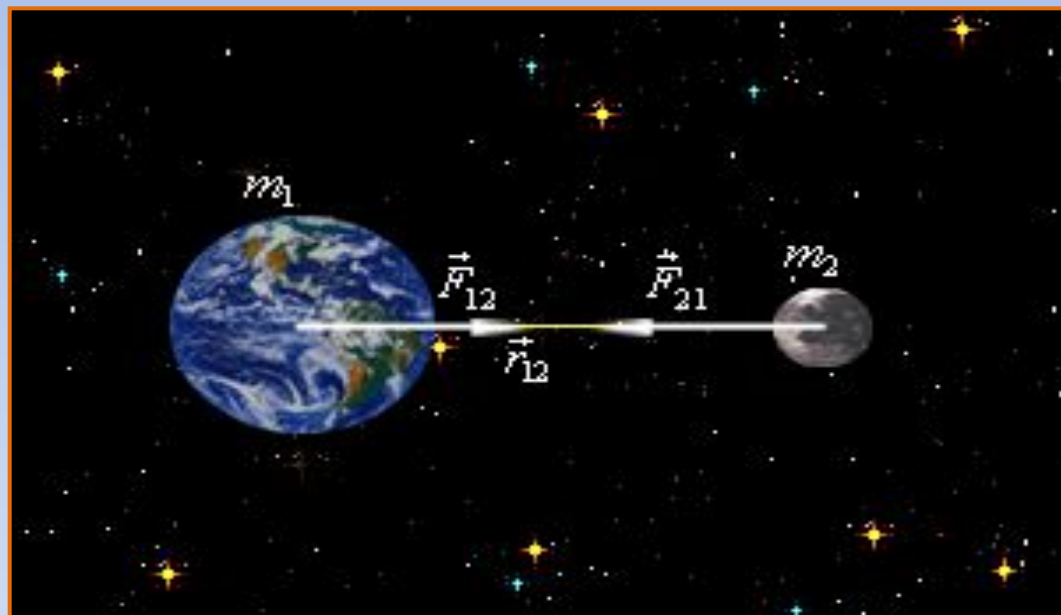
ИСААК НЬЮТОН за работой

В 1667 г. Ньютон высказал предположение, что между всеми телами действуют силы взаимного притяжения, которые он назвал силами всемирного тяготения.

Исаак Ньютон - английский физик и математик, создатель теоретических основ механики и астрономии. Он открыл закон всемирного тяготения, разработал дифференциальное и интегральное исчисления, изобрел зеркальный телескоп и был автором важнейших экспериментальных работ по оптике. Ньютона по праву считают создателем "классической физики".



В 1687 г. Ньютон установил один из фундаментальных законов механики, получивший название закона всемирного тяготения:



Два любых тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

где m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел, r – расстояние между телами, G – коэффициент пропорциональности, одинаковый для всех тел в природе и называемый постоянной всемирного тяготения или гравитационной постоянной.

✓ Запомнить

Гравитационное взаимодействие — это взаимодействие, свойственное всем телам Вселенной и проявляющееся в их взаимном притяжении друг к другу.

Гравитационное поле — особый вид материи, осуществляющее гравитационное взаимодействие.

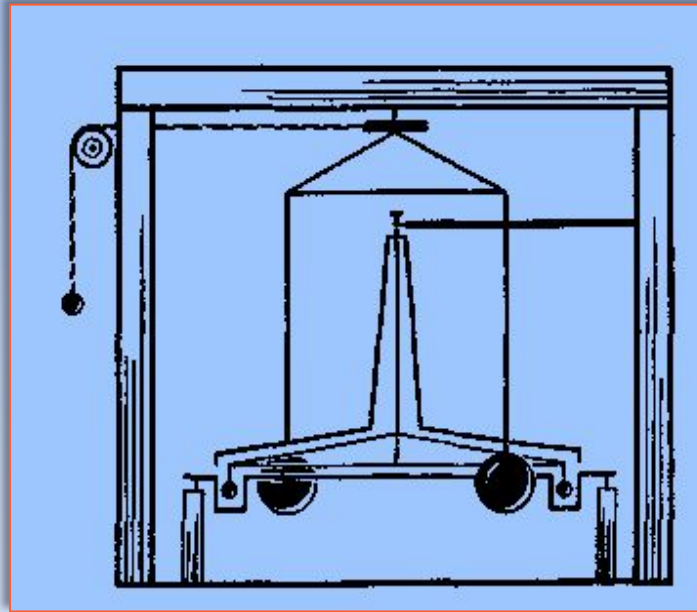
Механизм гравитационного взаимодействия

В настоящее время механизм гравитационного взаимодействия представляется следующим образом:

Каждое тело массой M создает вокруг себя поле, которое называют гравитационным.

Если в некоторую точку этого поля поместить пробное тело массой m , то гравитационное поле действует на данное тело с силой F , зависящей от свойств поля в этой точке и от величины массы пробного тела.

Эксперимент Генри Кавендиша по определению гравитационной постоянной.



Английский физик Генри Кавендиш определил, насколько велика сила притяжения между двумя объектами. В результате была достаточно точно определена гравитационная постоянная, что позволило Кавендишу впервые определить и массу Земли.

G - гравитационная постоянная, она численно равна силе гравитационного притяжения двух тел, массой по 1 кг. Каждое, находящихся на расстоянии 1 м одно от другого.

G - универсальная
гравитационная постоянная равна
$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н м}^2 / \text{кг}^2$$

Сила взаимного притяжения всегда направлена вдоль прямой, соединяющей тела.

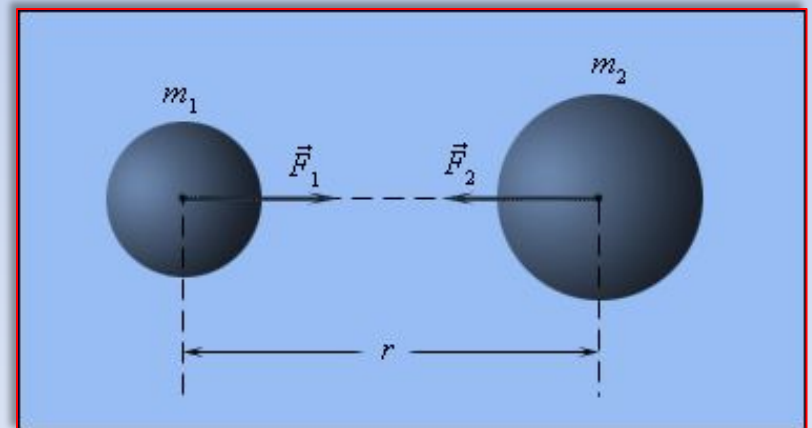
Границы применимости закона

Закон всемирного тяготения имеет определенные границы применимости; он применим для:

- 1) материальных точек;
- 2) тел, имеющих форму шара;
- 3) шара большого радиуса, взаимодействующего с телами, размеры которых много меньше размеров шара.

Закон неприменим, например, для взаимодействия бесконечного стержня и шара.

Сила тяготения очень мала и становится заметной только тогда, когда хотя бы одно из взаимодействующих тел имеет очень большую массу (планета, звезда).



Почему мы не замечаем гравитационного притяжения между окружающими нас телами?

Воспользуемся законом всемирного тяготения и сделаем некоторые расчёты:

- Два корабля массой 50000 т каждый стоят на рейде на расстоянии 1 км друг от друга. Какова сила притяжения между ними?

Д А Н О:

$$m_1 = m_2 = m = 5 \cdot 10^7 \text{ кг}$$

$$R = 1 \cdot 10^3 \text{ м}$$

F - ?

Решение:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2} = G \frac{m^2}{R^2}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \frac{(5 \cdot 10^7 \text{ кг})^2}{(1 \cdot 10^3 \text{ м})^2} \approx 0,17 \text{ Н}$$

Ответ: F = 0,17 Н

Задача. Известно, что период обращения Луны вокруг Земли составляет 27,3 суток, среднее расстояние между центрами Луны и Земли равно 384000 километров. Вычислить ускорение Луны и найти во сколько раз оно отличается от ускорения свободного падения камня вблизи поверхности Земли, то есть на расстоянии равном радиусу Земли (6400 километров).

Дано:

$$T = 27,3 \text{ сут} = 2,36 \cdot 10^6 \text{ с}$$

$$R_{\text{ЗЛ}} = 384000 \text{ км} = 3,84 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$R_{\text{З}} = 6400 \text{ км} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$$

а - ?

g / а - ?

Решение:

$$a = \frac{4\pi^2}{T^2} R_{\text{ЗЛ}} = \frac{4 \cdot 3,14^2}{(2,36 \cdot 10^6 \text{ с})^2} \cdot 3,84 \cdot 10^8 \text{ м} = 0,0027 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$g / a = \frac{9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{0,0027 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 3600$$

Ответ: $a = 0,0027 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $g / a = 3600$

С другой стороны, отношение расстояний от Луны и камня до центра Земли равно:

$$\frac{R_{3Л}}{R_3} = \frac{3,84 \cdot 10^8 \text{ м}}{6,4 \cdot 10^6 \text{ м}} \approx 60$$

- Нетрудно заметить, что

$$\frac{g}{a} = 3600 = 60^2$$

$$\frac{g}{a} = \left(\frac{R_{3Л}}{R_3} \right)^2 \Rightarrow \text{ускорение, сообщаемое Землёй}$$

*любому телу, обратно пропорционально квадрату
расстояния до Земли*

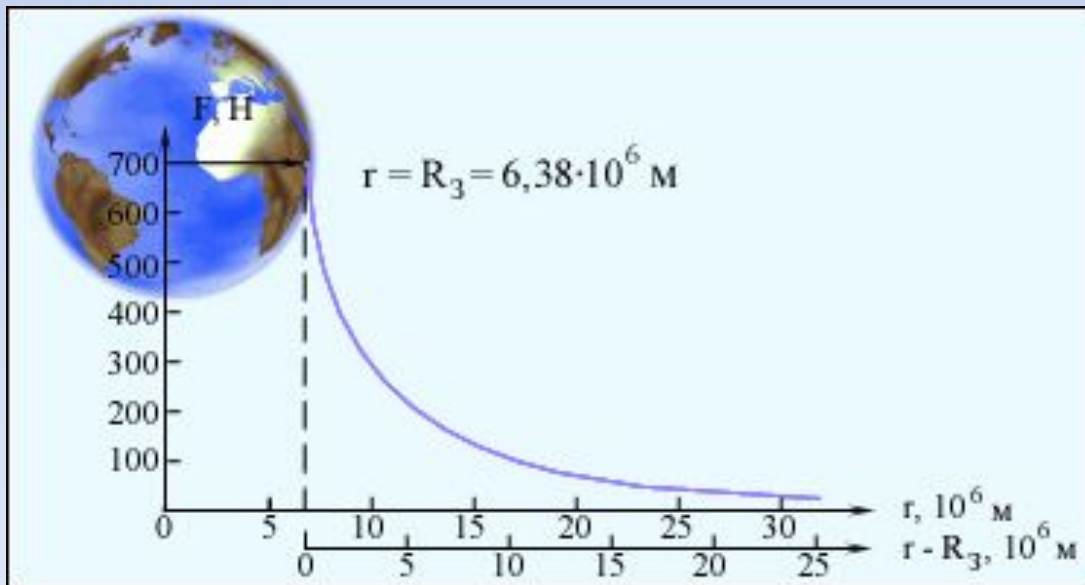
$$a \propto \frac{1}{R^2}$$

Из второго закона Ньютона следует, что между силой и ускорением, которое она вызывает, существует прямо пропорциональная зависимость:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$a \propto \frac{1}{R^2}$$

- Следовательно, сила тяготения так же, как и ускорение, обратно пропорциональна квадрату расстояния между телом и центром Земли:



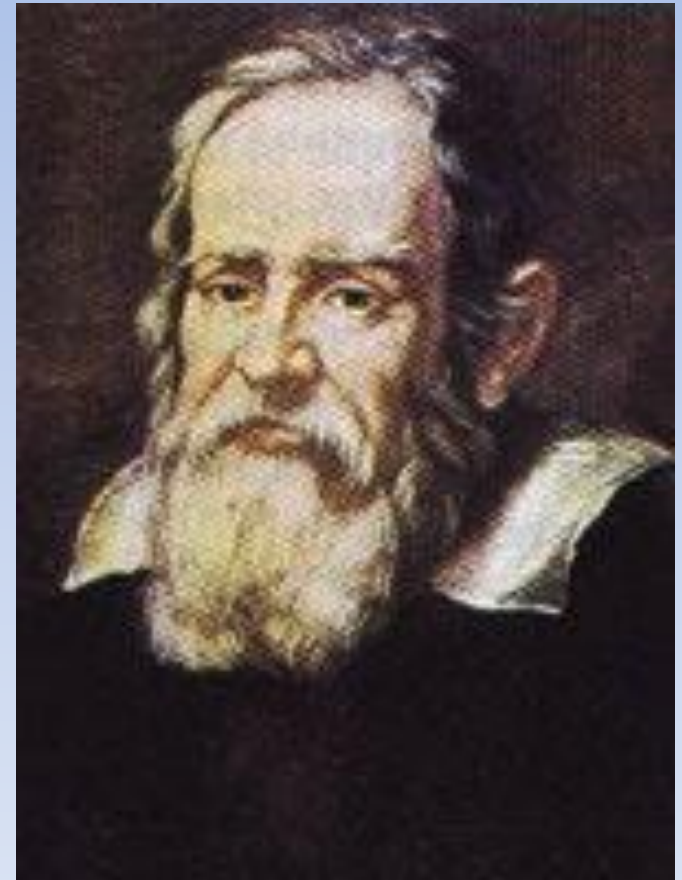
$$F \propto \frac{1}{R^2}$$

Галилео Галилей экспериментально доказал, что все тела падают на Землю с одним и тем же ускорением, называемым ускорением свободного падения (*опыт с падением разных тел в трубке с откачанным воздухом*)

- Почему это ускорение одинаково для всех тел?

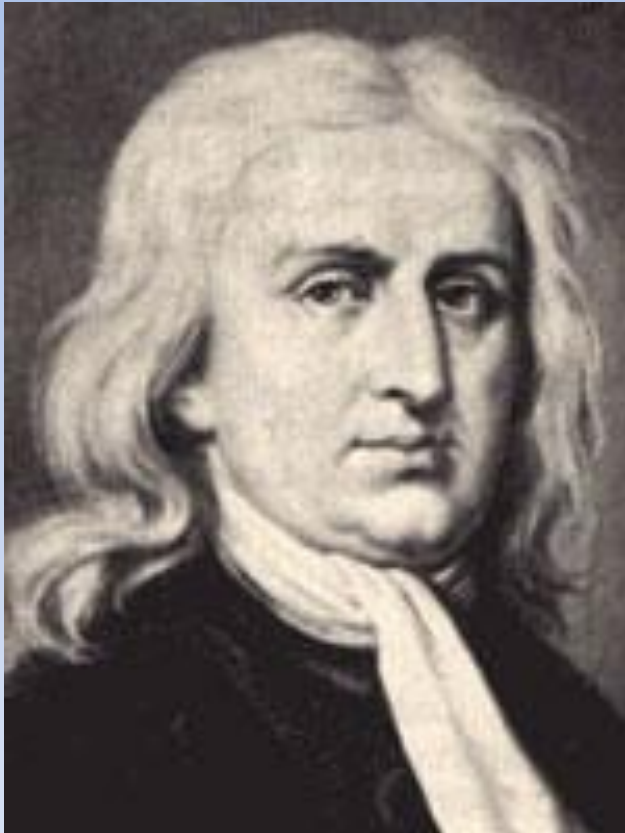
Это возможно только в том случае, если сила тяготения пропорциональна массе тела: $F \sim m$. Действительно, тогда, например, увеличение или уменьшение массы в два раза вызовет соответствующее изменение силы тяготения в два раза, но ускорение по второму закону Ньютона останется прежним

$$g = \frac{F}{m} = \frac{2F}{2m} = 9,81 \frac{м}{с^2}$$



С другой стороны, во взаимодействии всегда участвуют два тела, на каждое из которых по третьему закону Ньютона действуют одинаковые по модулю силы:

$$\vec{F}_1 = - \vec{F}_2$$



- Следовательно, сила тяготения должна быть пропорциональна массе обоих тел.
- Так Ньютон пришёл к выводу, что сила тяготения между телом и Землёй прямо пропорциональна произведению их масс:

$$F \propto M \cdot m$$

Обобщая всё выше изложенное относительно силы тяготения плане-ты Земля и любого тела, приходим к следующему утверждению : сила тяготения между телом и Землёй прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами, что можно записать в виде

$$F \propto \frac{M \cdot m}{r^2}$$

- Выполняется ли этот закон только для Земли или является всеобщим?
- Чтобы ответить на этот вопрос, Ньютон использовал кинематические законы движения планет Солнечной системы, сформулированные немецким учёным Иоганном Кеплером на основании многолетних астрономических наблюдений датского учёного Тихо Браге.

Подумай и ответь

1. Почему Луна не падает на Землю?
:
2. Почему мы замечаем силу притяжения всех тел к Земле, но не замечаем взаимного притяжения между самими этими телами?
3. Как двигались бы планеты, если бы сила притяжения Солнца внезапно исчезла?
4. Как двигалась бы Луна, если бы она остановилась на орбите?
5. Притягивает ли Землю стоящий на ее поверхности человек? Летящий самолет? Космонавт, находящийся на орбитальной станции?

Подумай и ответь

1. Некоторые тела (воздушные шары, дым, самолеты, птицы) поднимаются вверх, несмотря на тяготение. Как вы думаете, почему? Нет ли здесь нарушения закона всемирного тяготения?
2. Что нужно сделать, чтобы увеличить силу тяготения между двумя телами?
3. Какая сила вызывает приливы и отливы в морях и океанах Земли?
4. Почему мы не замечаем гравитационного притяжения между окружающими нас телами?

Вопрос-ответ

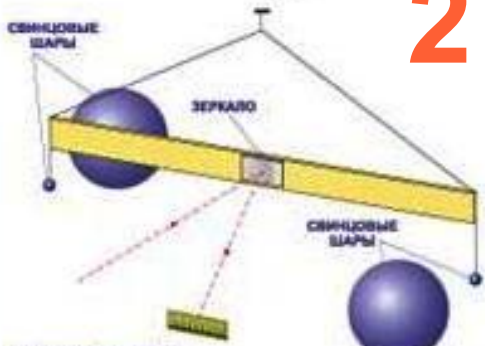
Составьте вопросы и затем дайте ответ к рисункам 1-4.

1


$$F = G \frac{M_s m}{R_s^2}$$

2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПОСТОЯННОЙ

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


СВИНЦОВЫЕ ШАРЫ

ЗЕРКАЛО

СВИНЦОВЫЙ ШАР

СХЕМА ОПЫТА

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Нм}^2}{\text{кг}^2}$$

3


$$F \neq G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

4

ОБРАЗОВАНИЕ ПРИЛИВОВ

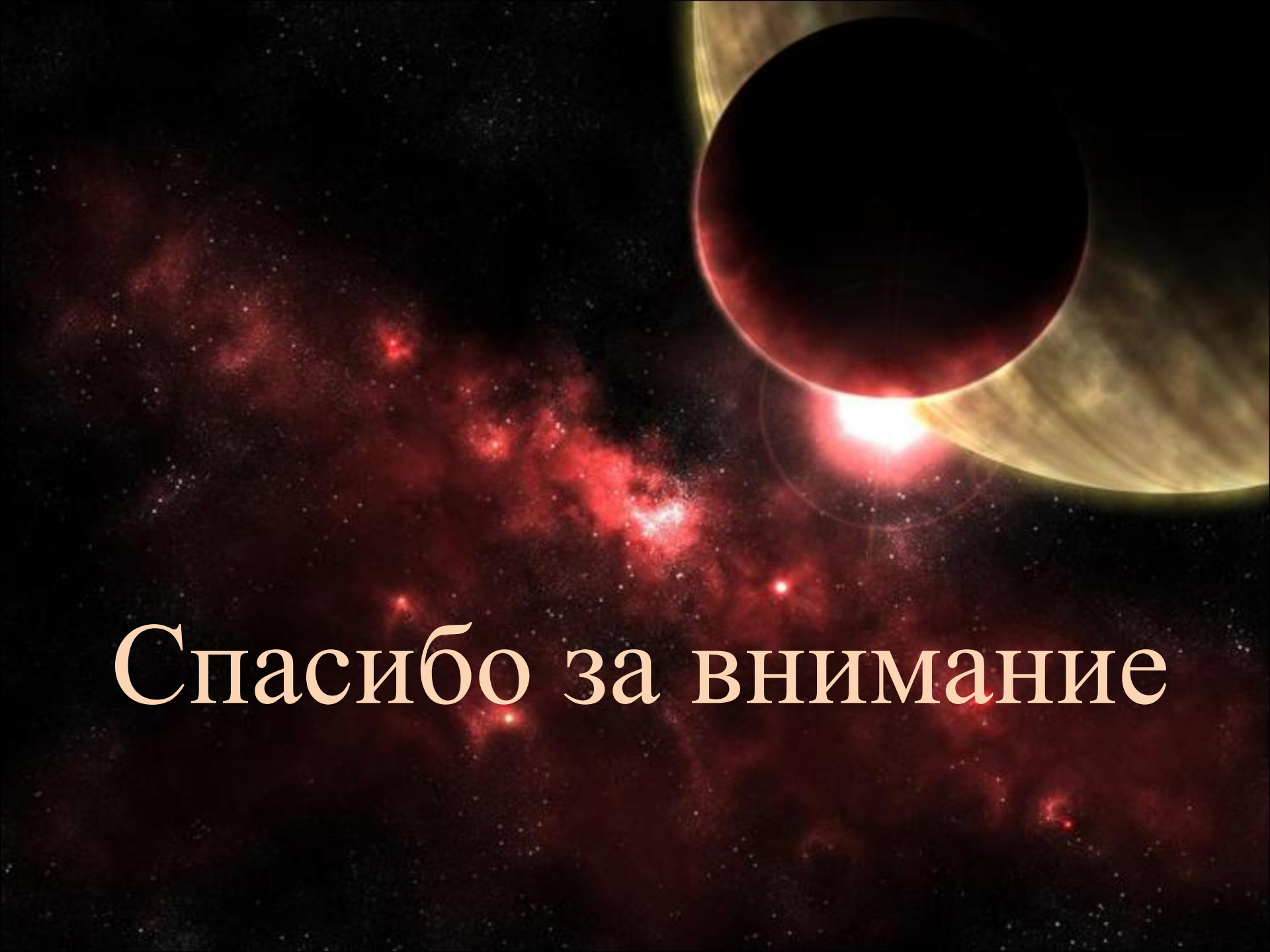


Луна

прилив

Земля

прилив

The background of the slide is a deep space scene. A vibrant red nebula with wispy, glowing structures stretches diagonally across the left and center. In the upper right, a large, dark, spherical object, possibly a planet or moon, is partially visible. Behind it, a bright yellowish-white light source, likely a star, creates a strong lens flare and illuminates the scene. The overall color palette is dominated by the deep blacks of space, the fiery reds of the nebula, and the bright yellows of the star.

Спасибо за внимание