

## Вопрос № 7

Закон всемирного тяготения  
(формулировка, формула,  
условия применимости  
формулы). Сила тяжести. Вес.

Попытки объяснить строение Солнечной системы занимали умы многих великих людей.

## Николай Коперник (1473-1543)

Польский астроном, математик, механик, экономист эпохи Ренессанса, автор гелиоцентрической системы мира.



Гелиоцентрическая теория

После того, как Коперник «поместил» Солнце в центр, а все планеты «заставил» обращаться вокруг него. Особенно волновал вопрос: что связывает планеты и Солнце в единую систему?

Вспомним II ЗН

Ньютон связал силу с ускорением  $F=m \cdot a$ .

Именно Солнце естественно считать причиной обращения вокруг него Земли и планет.

Но не только П притягиваются к С  
С притягивается к П  
П притягиваются к П.

***Все тела Вселенной, как небесные, так и находящиеся на Земле, подвержены взаимному притяжению.***

А мы наблюдаем это притяжение?  
Почему?

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

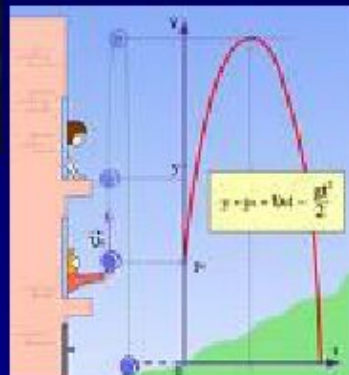
Оно осуществляется с помощью особого вида материи – **гравитационного поля**, существующего вокруг любого тела.

Особенность поля: **всепроницающая способность**

**Гравитационный заряд** характеризует взаимосвязь тел с гравитационным полем.

**Гравитационный заряд** любого тела равен численно его массе.

Ньютон предположил, что ряд явлений, казалось бы ни имеющих ничего общего, вызваны одной причиной



Движение Луны вокруг Земли

Падение тел на Землю



Приливы и отливы



Движение планет вокруг Солнца

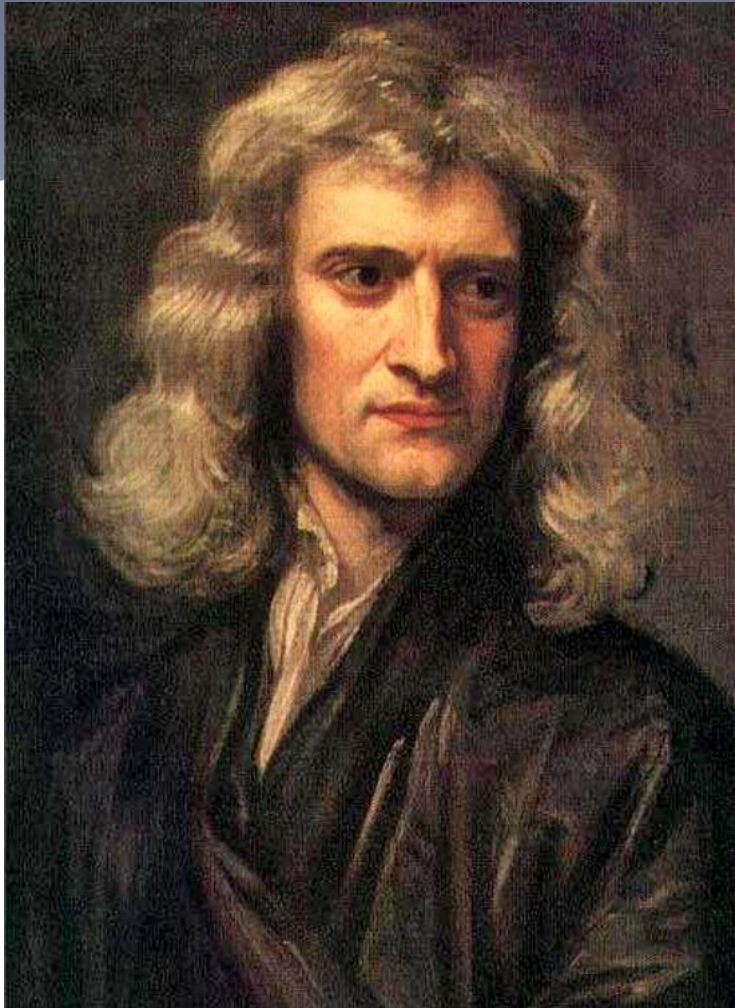


1642-1727

Исаак Ньютон

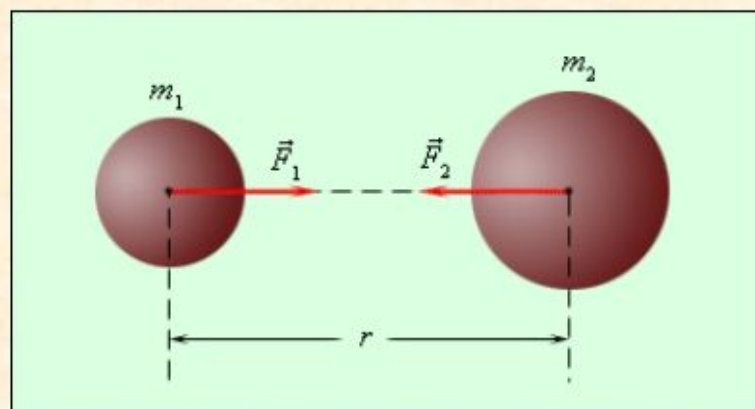
Получил выражение  
для силы тяготения в  
1666 году, когда было  
ему 24 года.

По легенде, эта идея  
ему пришла после  
падения на него  
яблока в саду.



# Закон всемирного тяготения

Два любых тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной массе каждого из них и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.



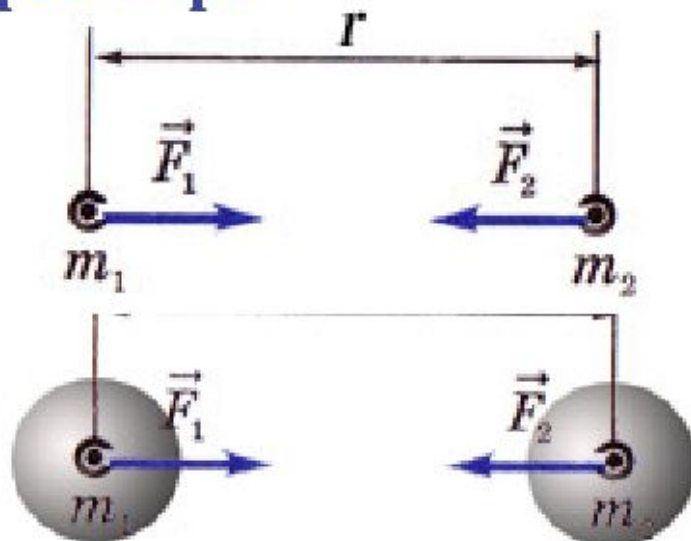
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

По III закону Ньютона:  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

## 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.





Когда Ньютон открыл Закон всемирного тяготения, он не знал ни одного числового значения масс небесных тел, в том числе и точного значения массы Земли.

Неизвестно ему было и значение гравитационной постоянной  $G$ .

Неизвестным оно оставалось вплоть до 1798 года.

## Генри Кавендиш (1731-1810)

Английский физик и химик, отпрыск знатного английского рода. Лорд. Родился в Ницце, окончил Кембриджский университет. Унаследовав крупное состояние, он тратил почти все доходы на проведение экспериментов. Крайне неохотно публиковал результаты своих научных работ, в связи с чем долгое время его исследования по электричеству не были никому известны.



Кавендиш открыл закон взаимодействия зарядов еще в 1771 г., однако не опубликовал свое открытие. В других исследованиях по электричеству Г. Кавендиш установил влияние среды на емкость конденсатора и определил диэлектрическую проницаемость ряда веществ.

В историю физики Генри Кавендиш вошел как, «взвесивший» земной шар. В 1798 г. он провел знаменитые опыты с крутильными весами, которые позволили подтвердить закон всемирного тяготения и определить величину гравитационной постоянной. Есть у него и другие достижения в физике и химии.



Зная массы  $t$  и  $M$  малого и большого шаров, расстояние между ними  $r$ , модуль силы притяжения  $F$  и используя закон всемирного тяготения можно найти гравитационную постоянную  $G$ .

Современные эксперименты дают значение

$$G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ Н м}^2 / \text{кг}^2$$

гравитационное взаимодействие

$$\gamma = \frac{Fr^2}{Mm} = 6,65 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

$H$  – тонкая нить  
 $L$  – двухметровый стержень  
 $t$  – свинцовые шары (диаметром 5 см и массой 775 г)  
 $M$  – свинцовые шары (диаметром 20 см и массой 49,5 кг)

крутильные весы



# Физический смысл гравитационной постоянной

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

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

- Сила взаимного притяжения тел всегда направлена вдоль прямой, соединяющей эти тела.



# Малость G: хорошо или плохо?

Если бы G была больше в **100** раз, то время существования Звезд, Солнца, уменьшилось бы на столько, что разумная жизнь не успела бы зародиться.

Два человека массой по 60 кг, находящиеся на расстоянии друг от друга 1 метр притягиваются с силой

$$F \approx 10^{-9} \text{ Н}$$

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ЗЕМЛИ



- Допустим, что с Землёй взаимодействует тело массой 1кг, находящееся у её поверхности. Тогда силу притяжения тела к Земле можно найти двумя способами:

$$F = m \cdot g$$

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

- Приравняв правые части этих равенств,

$$m \cdot g = G \frac{m \cdot M}{R^2}$$

$$M = \frac{g \cdot R^2}{G}$$

- Известно, что  $g=9,81\text{м/с}^2$ ,  $G=6,67 \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>,  $R=6370000$  м, подставив их значения, получим массу Земли

$$M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

# Сила тяжести

Вспомним, при каких условиях справедлив Закон Всемирного тяготения?

шар большого радиуса + материальная точка

Сила, с которой Земля притягивает находящиеся вблизи тела, называется **силой тяжести** ( $F_T$ )

Гравитационное поле Земли принято называть **полем тяжести**.

# Сила тяжести

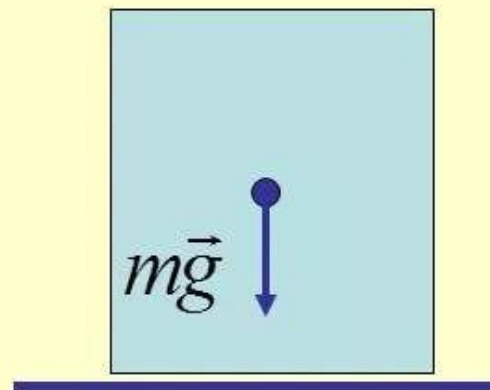
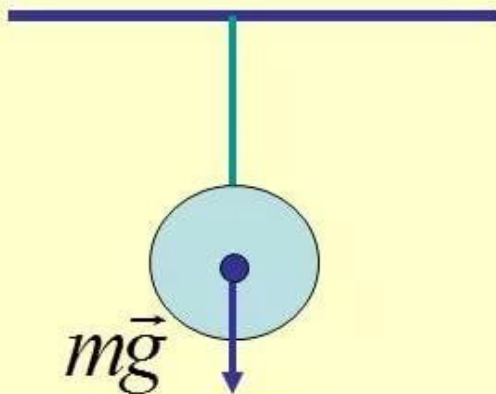
Одно из проявлений силы всемирного тяготения –  
сила притяжения тела к Земле,  
называемая *силой тяжести*.

Она направлена к центру Земли.

$$\vec{F}_m = m\vec{g}$$

Точку приложения силы тяжести  
называют *центром тяжести тела*.

Положение центра тяжести тела совпадает с  
его центром масс.

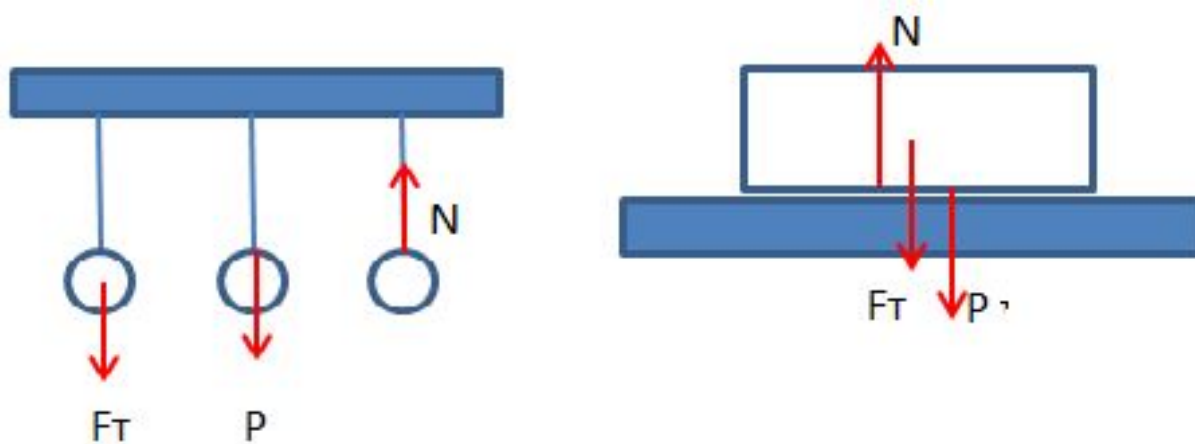




## Вес тела –

это сила, с которой тело давит на опору  
или растягивает подвес.

$$P [P]=H$$

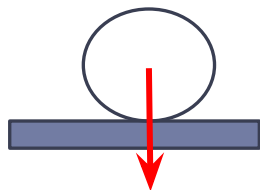


# Отличие силы тяжести от веса тела

$F_T$

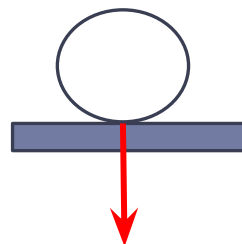
1. Приложены к разным телам

к телу



$P$

к опоре, подвесу



2. Различная природа сил

гравитационная сила

сила упругости

3.  $F_T = mg$

для любого тела

$P = mg$

для покоящегося тела

# Перегрузка

- это состояние тела, при котором его вес превышает силу тяжести.

«Я почувствовал, — вспоминал Гагарин, — какая-то непреодолимая сила все больше и больше вдавликает меня в кресло. И хотя оно было расположено так, чтобы до предела сократить влияние огромной тяжести, наваливающейся на мое тело, было трудно пошевелить рукой и ногой...»



При перегрузке все тело сильнее давит на опору и отдельные части тела сильнее давят друг на друга.

Во время перегрузки у человека:

- \* затрудняется дыхание,
- \* ухудшается сердечная деятельность,
- \* происходит перераспределение крови,
- \* ее отлив или прилив к голове.

Поэтому переносить такие нагрузки сможет только натренированный и опытный astronaut.

После включения ракетных двигателей и начала разгона, на астронавта действуют две силы:

одна из них - сила тяжести ( $F_t = mg$ )  
и сила реакции опоры ( $N = ma$ ).

Так как ускорение ракеты  $a$  направлено вверх, то преобладающей оказывается сила реакции опоры:  $N > mg$ .

Их равнодействующая  $F = N - mg$  по второму закону Ньютона равна произведению массы на ускорение:

$$N - mg = ma, \text{ откуда}$$

$$N = mg + ma.$$

Вес космонавта  $P$  по третьему закону Ньютона равен по величине силе реакции  $N$ , поэтому вес астронавта

$$P = m ( g + a ).$$

Это обозначает, что он получает нагрузку в несколько раз большую, чем его масса.

**Если космонавт испытывает  $n$ -кратную перегрузку, т.е.  $a = ng$ , то его вес  $P = m(g + ng) = mg(n + 1)$ .**

Т. е. вес космонавта увеличился в  $(n+1)$  раз.

**При  $n$ -кратной перегрузке вес космонавта увеличивается в  $(n+1)$  раз.**



Чем меньше время действия перегрузки, тем большую ее человек может перенести:

От 8g за 3с

до 5g за 12-15с (в вертикальном положении)

При мгновенном действии (0,1 с)

человек способен выдержать 20-кратные перегрузки.



После выключения двигателей, когда космический корабль выходит на орбиту вокруг Земли, его ускорение, как мы знаем, становится равным ускорению свободного падения:  $a = g$ . Точно такое же ускорение будет и у космонавта, находящегося внутри корабля. Это ускорение направлено вниз, к центру Земли, и поэтому теперь из двух сил  $N$  и  $mg$ , действующих на космонавта, преобладающей оказывается сила тяжести. Их равнодействующая  $F = mg - N$  по второму закону Ньютона равна произведению массы на ускорение космонавта, т.е.  $mg$ . Поэтому  $mg - N = mg$ , откуда

$$N = 0.$$

Это означает, что опора никак не реагирует на присутствие космонавта. По третьему закону Ньютона такое возможно лишь в том случае, если и сам космонавт не оказывает никакого действия на свою опору, т. е. его вес равен нулю.

**Невесомость** – это состояние тела, при котором его вес равен нулю.

**Следует помнить, что невесомость означает отсутствие веса, а не массы. Масса тела, находящегося в состоянии невесомости, остается такой же, какой и была**



В состоянии невесомости все тела и их отдельные части перестают давить друг на друга. Космонавт при этом перестает ощущать собственную тяжесть; предмет, выпущенный из его пальцев, никуда не падает; маятник замирает в отклоненном положении; исчезает различие между полом и потолком. Все эти явления объясняются тем, что гравитационное поле сообщает всем телам в космическом корабле одно и то же ускорение. Именно поэтому выпущенный космонавтом предмет (без сообщения ему скорости) никуда не падает: ведь он не может ни «догнать» какую-нибудь стенку кабины, ни «отстать» от нее; все они — и предметы и стены — движутся с одинаковым ускорением.

Наряду с этим невесомость в условиях орбитального полета играет роль специфического раздражителя, действующего на организм человека. Она оказывает существенное влияние на многие его функции: слабеют мышцы и кости, организм обезвоживается и т. д. Однако все эти изменения, вызванные невесомостью, обратимы. С помощью лечебной физкультуры, а также лекарственных препаратов нормальные функции организма могут быть снова восстановлены.

В состоянии невесомости может находиться не только космонавт в орбитальной космической станции, но и любое свободно падающее (без вращения) тело. Чтобы испытать это состояние, достаточно совершить простой прыжок: между моментом отрыва от Земли и моментом приземления вы будете невесомы!



