

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.

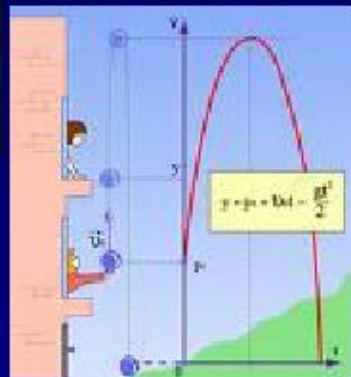
Оно осуществляется с помощью особого вида материи – **гравитационного поля**, существующего вокруг любого тела.

Особенность поля: **всепроникающая 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



Падение тел на Землю



Движение Луны вокруг Земли



Приливы и отливы



Движение планет вокруг Солнца

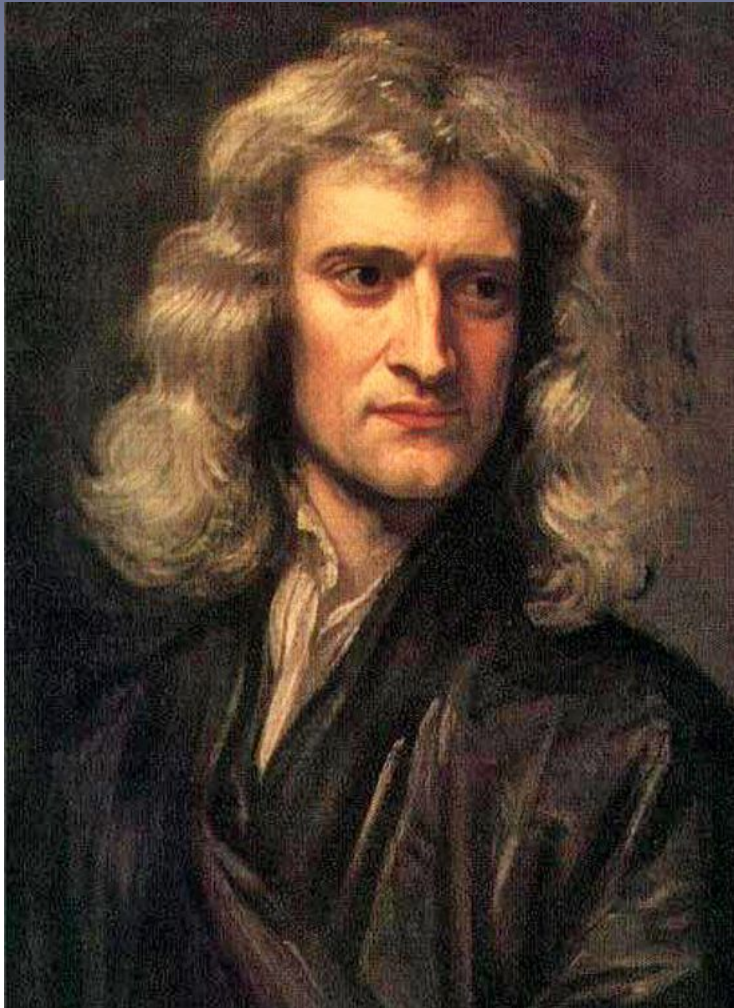


1642-1727

Исаак Ньютон

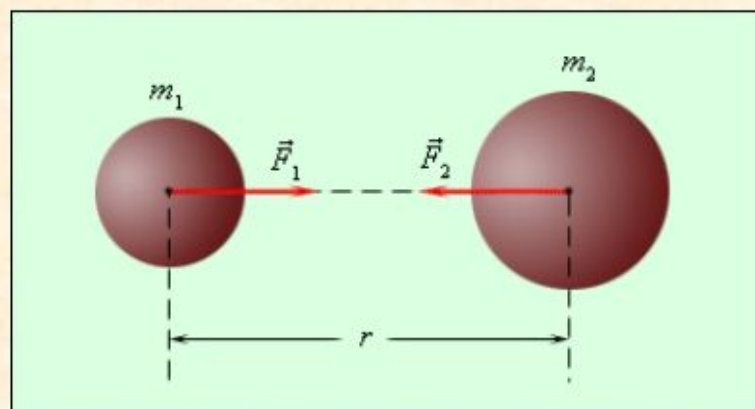
Получил выражение
для силы тяготения в
1666 году, когда было
ему 24 года.

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.



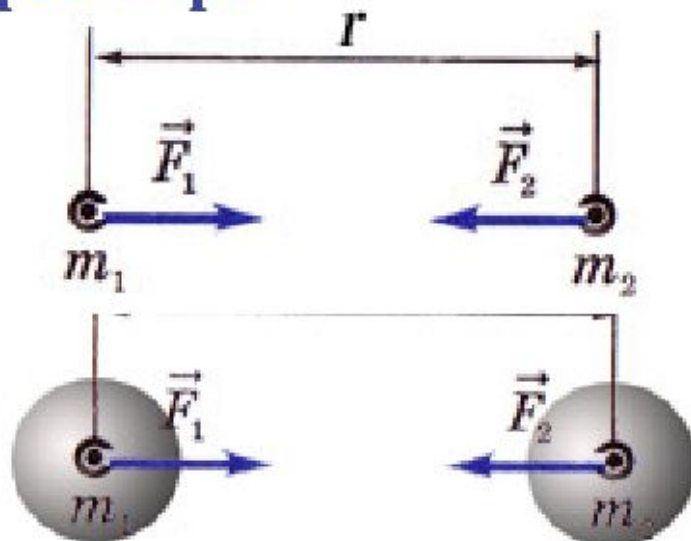
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

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

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

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·м²/кг², $R=6370000$ 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

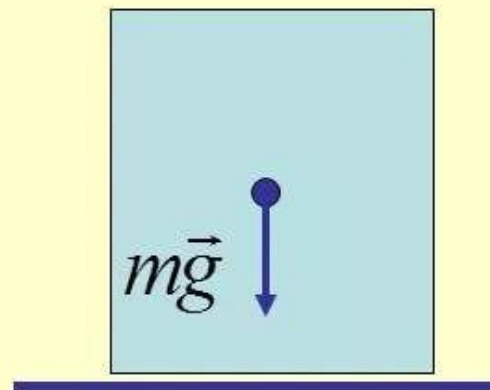
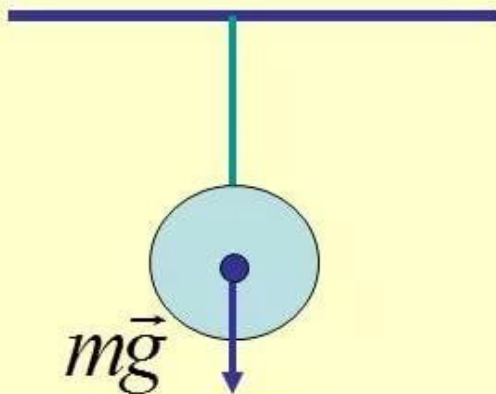
Одно из проявлений силы всемирного тяготения –
сила притяжения тела к Земле,
называемая *силой тяжести*.

Она направлена к центру Земли.

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

Точку приложения силы тяжести
называют *центром тяжести тела*.

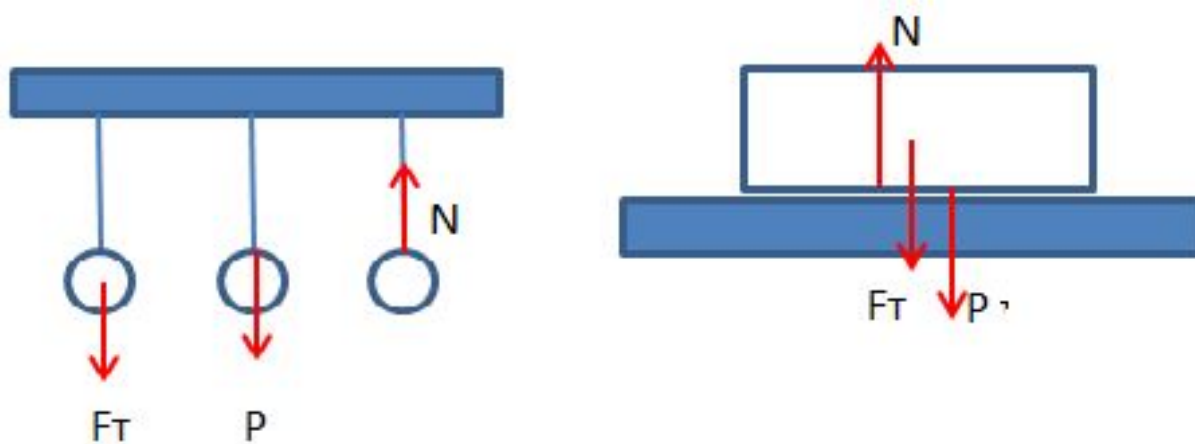
Положение центра тяжести тела совпадает с
его центром масс.



Вес тела –

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

$$P [P]=H$$

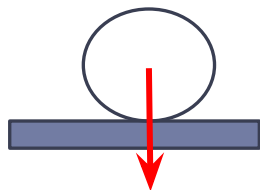


Отличие силы тяжести от веса тела

F_T

1. Приложены к разным телам

к телу



2. Различная природа сил

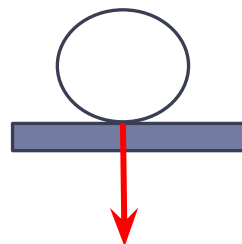
гравитационная сила

3. $F_T = mg$

для любого тела

P

к опоре, подвесу



сила упругости

$P = mg$

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!

