

## Тема 4. Силы в природе

### 1. Многообразие сил в природе

Не смотря на кажущееся разнообразие взаимодействий и сил в окружающем мире, существует всего **ЧЕТЫРЕ** типа сил:

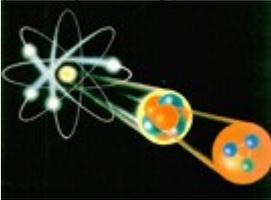
1 тип - **ГРАВИТАЦИОННЫЕ** силы (иначе - силы притяжения, силы тяготения, силы тяжести). Причина таких сил состоит в том, что все тела имеют массу. Но заметно проявляют себя эти силы тогда, когда масса тел велика. Эти силы действуют на громадных (космических) расстояниях.



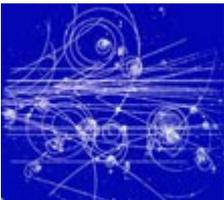
2 тип - **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ** силы. Эти силы действуют между телами и частицами, которые имеют электрический заряд. Эти силы очень мощные, но с увеличением расстояния быстро убывают. От масс тел не зависят



3 тип - **ЯДЕРНЫЕ** силы действуют внутри атомных ядер. Уже на расстояниях, немного превышающих размеры ядер, эти силы практически становятся равными нулю.



4 тип - **СЛАБЫЕ** силы (слабые взаимодействия) проявляют себя на еще меньших расстояниях, чем ядерные силы. Слабые взаимодействия вызывают превращения одних элементарных частиц в другие.



В механике учитывают гравитационные и электромагнитные силы. Ядерные и слабые силы проявляют себя на столь малых расстояниях (размер атомного ядра и менее), когда законы классической механики (механики Ньютона) перестают выполняться. В действие вступают законы квантовой механики.

### 2. Гравитационные силы

По II закону Ньютона  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ , но для силы тяжести  $\mathbf{a} = \mathbf{g}$ , поэтому  $\mathbf{F} = m\mathbf{g}$  - сила тяжести у поверхности Земли. Мы привыкли считать, что все тела с такой силой притягиваются к Земле. На самом деле все тела притягиваются друг к другу с силами, равными по величине:



**Закон Всемирного тяготения**

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

где  $m_1$  и  $m_2$  - массы тел;  
 $r$  - расст. между телами  
 $G$  - гравитационная постоянная

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

Чертеж 33

Точное значение гравитационной постоянной установил в 1798г английский физик Генри Кавендиш.

### 3. Сила тяжести. Вес. Невесомость.

Земля сообщает всем телам, независимо от их массы, одно и то же ускорение  $g$ . Это результат действия силы тяжести.

**Сила тяжести** - это сила, с которой Земля притягивает к себе все тела.

$$F = mg \quad \text{и} \quad F = G \frac{Mm}{R^2}$$

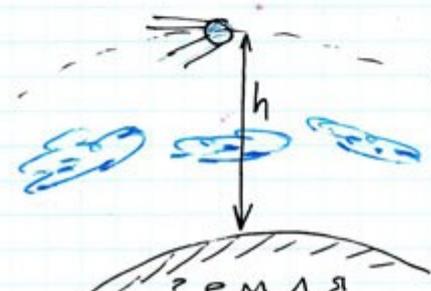
сила тяжести = сила тяготения

$M$  - масса Земли;  $m$  - масса тела

$$mg = G \frac{Mm}{R^2} \Rightarrow g = G \frac{M}{R^2}$$

$R$  - радиус Земли

На высоте  $h$ :

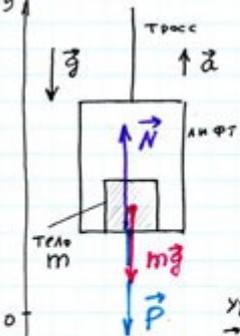


$$g = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

Чертеж 34

**Вес тела** - это сила, с которой тело действует на опору или подвес.

Сила тяжести равна весу, если опора (или подвес) неподвижна или движется прямолинейно и равномерно. Посмотрим, что происходит в лифте когда он трогается вверх - разгоняется:



$\vec{a}$  - ускорение лифта  
 $m\vec{g}$  - сила тяжести  
 $\vec{P}$  - вес тела  
 $\vec{N}$  - сила реакции опоры  
 $\vec{N} = -\vec{P}$

ур-ие динамики  $m\vec{a} = \vec{N} + m\vec{g}$   
 векторно  
 $\vec{P}$  действует не на тело, а на опору!

Чертеж 35

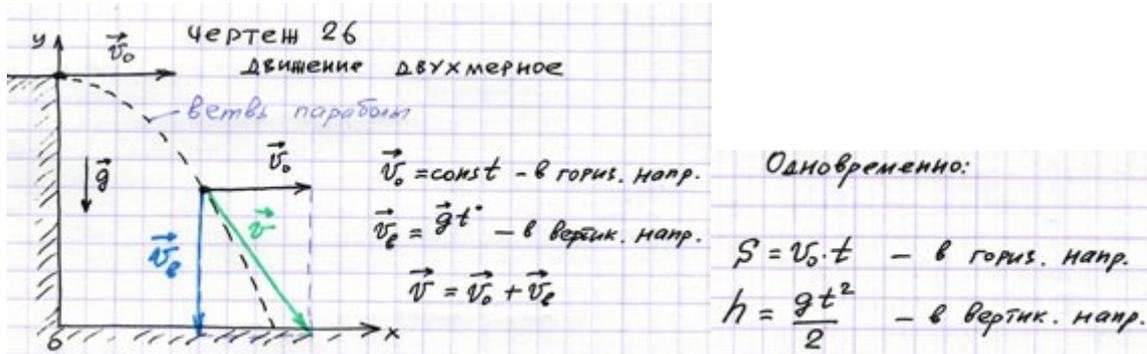
можно получить  $P = m(g+a)$  ↑ вверх  
 $P = m(g-a)$  ↓ вниз  
 невесомость →  $P = 0$  если  $g = a$  - своб. падение

Как видно, состояние невесомости - это ничто иное, как свободное падение. Любое свободно падающее тело находится в состоянии невесомости. С другой стороны - невесомость - это отсутствие веса, т.е. такое состояние, когда тело не действует на опору или подвес. Следовательно, любое тело, потерявшее опору, находится в состоянии невесомости.

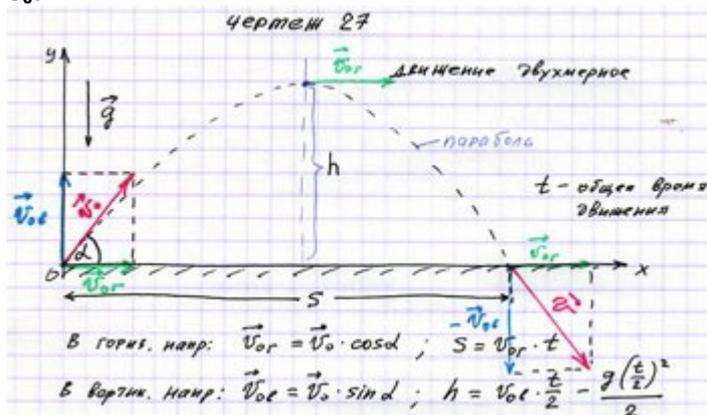
#### 4. Движение под действием силы тяжести.

Сила тяжести проявляет себя таким образом, что траектория движения тела искривляется. В отсутствие сопротивления воздуха такая траектория будет представлять собой идеальную (математическую) параболу. Рассмотрим два случая:

а) тело начинает движение горизонтально с начальной скоростью  $\mathbf{v}_0$  с некоторой высоты над поверхностью Земли:



б) тело начинает движение под некоторым углом  $\alpha$  к горизонту с поверхности Земли с начальной скоростью  $\mathbf{v}_0$ :



В обоих случаях движение по плоской кривой - это двухмерное движение. Поэтому его рассматривают как бы с двух позиций:

- в горизонтальном направлении нет силы и нет ускорения - движение равномерное;
- в вертикальном направлении действует сила тяжести  $\mathbf{F} = m\mathbf{g}$  и имеется ускорение свободного падения  $\mathbf{g}$  - движение с постоянным ускорением.

#### 4. Сила упругости

**Сила упругости** возникает только при деформации тела.

**Деформация** - это изменение формы тела вследствие каких-либо внешних воздействий.

В результате деформации происходит микроскопическое изменение расстояний между атомами и/или молекулами, из которых состоит тело. Нарушается внутреннее равновесие и начинают заметно проявлять себя электромагнитные силы взаимодействия между частицами вещества. Складываясь, эти силы и дают весьма ощутимую силу упругости.

Существуют различные виды деформации: продольное растяжение или сжатие, поперечный изгиб, кручение, сдвиг, всестороннее растяжение или сжатие.

Рассмотрим наиболее простой вид деформации - продольное растяжение.

Пусть вертикально висящий стержень растягивается под действием подвешенного к нему груза.

**Чертеж 36**

$l_0$  - нач. длина  
 $l$  - кон. длина деф. стержня  
 $\Delta l = l - l_0$  - абсолютное удлинение  
 или  $\Delta x = x - x_0$   
 $F_{упр} = -k \cdot |\Delta l| = -k \cdot |\Delta x|$   
закон Гука  
 $k$  - коэф. жёсткости (табл.)  
 $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$  - относит. удлинение [E] - %  
 $E$  - э́ксилон (греч.)  
 $\sigma = \frac{F_{упр}}{S}$  - механич. напряжение [б] - 1 Па  
 $S$  - площадь сечения  $\sigma$  - сигма (греч.)  
 $\sigma = \epsilon E$  - иная запись закона Гука  
 $E$  - модуль Юнга ( $E = \frac{k l_0}{S}$ ) [E] - 1 Па

При упругой деформации растяжения (или сжатия) сила упругости пропорциональна модулю изменения длины тела - это закон Гука.

$k$  - коэффициент жесткости (табличная величина); [ $k$ ] - 1 Н/м

## 5. Сила трения

Сила трения возникает при движении одного тела по поверхности другого.

**Чертеж 37**

$\vec{F}$  - сила, с которой тянут тело; сила тяги  
 $\vec{F}_{тр}$  - сила трения (скользя или скольжения)  
 $\vec{F}_{тр}$  - сила трения качения

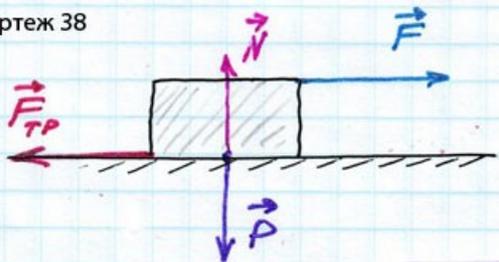
Сила трения направлена вдоль поверхностей соприкасающихся тел и не зависит от скорости. На величину силы трения влияет само вещество, из которого состоят соприкасающиеся поверхности. Но, в любом случае, в основе силы трения лежат те же самые электромагнитные взаимодействия между частицами вещества.

Различают:

- силу трения покоя** - это та максимальная сила, которую надо приложить, чтобы сдвинуть тело с места;
- силу трения скольжения** - это та сила, которую надо преодолевать при скольжении одного тела по поверхности другого;
- силу трения качения** - это та сила, которую надо преодолевать при качении одного тела по поверхности другого.

$$F_{тр. покоя} > F_{тр. скольж.} > F_{тр. качен.}$$

Чертеж 38



$$F_{\text{тр}} = \mu N, \text{ но } N = P \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{\text{тр}} = \mu P$$

$\mu$  - коэф. трения (безразм.)  
 $\mu$  - мю (греч)

При движении тела в газе или жидкости возникает **сила сопротивления**, которая пропорциональна скорости. При движении тела в жидкости или газе решающее значение имеет форма тела, которую, для достижения наибольшей скорости и снижения сопротивления, стремятся сделать обтекаемой.

Контрольные вопросы:

1. Назовите и коротко охарактеризуйте четыре вида сил в природе.
2. Чем отличаются гравитационные и электромагнитные силы?
3. Чем отличаются сильные и слабые взаимодействия?
4. Запишите формулу закона всемирного тяготения.
5. Что представляет собой сила тяжести?
6. Запишите формулу для расчета ускорения свободного падения на любой высоте над поверхностью Земли.
7. Как вы думаете, ускорение свободного падения на Луне больше или меньше, чем на Земле? Почему?
8. Что такое вес тела?
9. Чем вес отличается от силы тяжести?
10. Как меняется вес тела, если оно движется с ускорением вверх или вниз?
11. Как должно двигаться тело, чтобы его вес стал равным нулю?
12. Что такое свободное падение?
13. Что такое «невесомость»?
14. Можно ли испытать состояние невесомости, не выходя в космическое пространство?
15. По какой траектории будет двигаться тело, брошенное горизонтально с некоторой высоты над поверхностью Земли?
16. По какой траектории будет двигаться тело, брошенное под некоторым углом к поверхности Земли?
17. Что такое «деформация»?
18. Каковы причины возникновения силы упругости?
19. Перечислите известные вам виды деформации.
20. Запишите две разных формулы закона Гука.
21. В чем причина возникновения силы трения?
22. Перечислите известные вам виды сил трения.
23. Зависит ли сила трения скольжения от скорости?
24. Запишите формулу силы трения.
25. От чего зависит коэффициент трения?
26. Приведите несколько примеров, когда сила трения полезна и ее желательно увеличить.
27. Приведите несколько примеров, когда сила вредна и ее желательно уменьшить.
28. Зависит ли сила сопротивления в жидкости или газе от скорости?
29. Каким образом можно уменьшить силу сопротивления для достижения максимальной скорости?
30. Перечислите несколько видов спорта, где скорость имеет решающее значение.