

Тема лекции:

Основные взаимодействия тел в природе.

Гравитационные силы. Сила тяжести и вес тела.

Невесомость. Движение спутников и планет.

# Основные взаимодействия тел

Для решения основной задачи механики – установления законов движения тел в пространстве, нам нужно прежде всего знать, *какие физические взаимодействия существуют между материальными телами, как их можно описать количественно, как они зависят от взаимного расположения и скорости тел.* Одна из важнейших задач физики – изучение действующих в природе сил.

# Основные взаимодействия тел

Оказывается, что все основные фундаментальные силы в природе можно разбить на три основные типа:

1. Гравитационные.
2. Электромагнитные.
3. Ядерные.

# Основные взаимодействия тел

**Гравитационные силы** действуют между любыми массами и ими порождаются.

**Электромагнитные силы** действуют между электрическими зарядами и токами. Они обеспечивают стабильность атомов и молекул, это – взаимодействие заряженных частиц в веществе. Большинство «вторичных» сил, с которыми приходится иметь дело в повседневной жизни, имеют электромагнитное происхождение (силы упругости, трения, поверхностного натяжения в жидкостях, натяжения нитей и т.д.)

**Ядерные силы** имеют очень малый радиус взаимодействия ( $\sim 10^{-14}$  м), они связывают частицы в ядрах атомов. Существует еще один тип ядерных сил, которые связаны с некоторыми типами радиоактивного распада. Это так называемое «слабое взаимодействие», рассмотрение которого выходит за рамки данного курса.

В разделе «Механика» мы рассмотрим достаточно подробно только силы гравитации и силы, возникающие в неинерциальных системах координат – силы инерции.

## Закон всемирного тяготения

Любые два тела, имеющие массы  $m_1$  и  $m_2$ , сосредоточенные в объемах, линейные размеры которых намного меньше расстояния  $r$  между ними, либо в однородных сферических объемах, расстояние между центрами которых  $r$ , притягиваются друг к другу с силой, модуль которой

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

Здесь  $G$  – коэффициент пропорциональности, называемый гравитационной постоянной:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ .

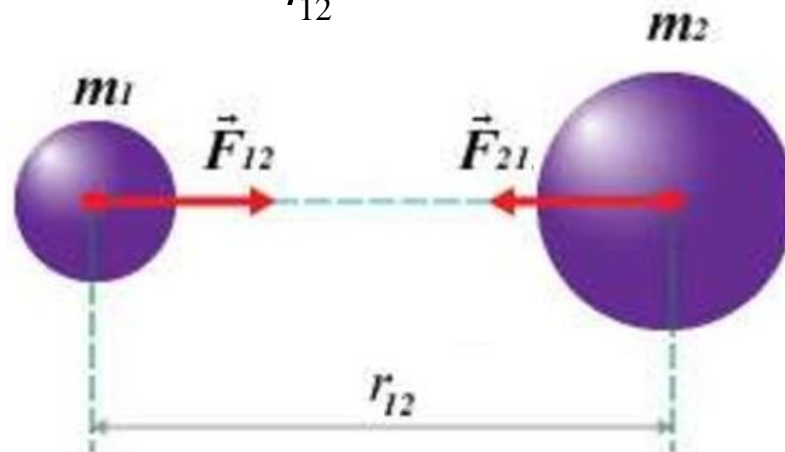
## Закон всемирного тяготения

Если  $\vec{r}_{12}$  направление – вдоль прямой, соединяющей массы или центры сфер (рис.), то сила, действующая со стороны массы  $m_2$  на массу  $m_1$

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \vec{n}$$

а сила, действующая со стороны массы  $m_1$  на массу  $m_2$

$$\vec{F}_{21} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \vec{n} \quad \left( \vec{n} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}} \right)$$



## Закон всемирного тяготения

Пусть  $m_1 = M_3$  – масса Земли,  $m$  – масса другого тела, находящегося на поверхности Земли. Тогда, с одной стороны, сила, действующая на массу  $m$  равна  $F = mg$ , с другой стороны, по закону всемирного тяготения

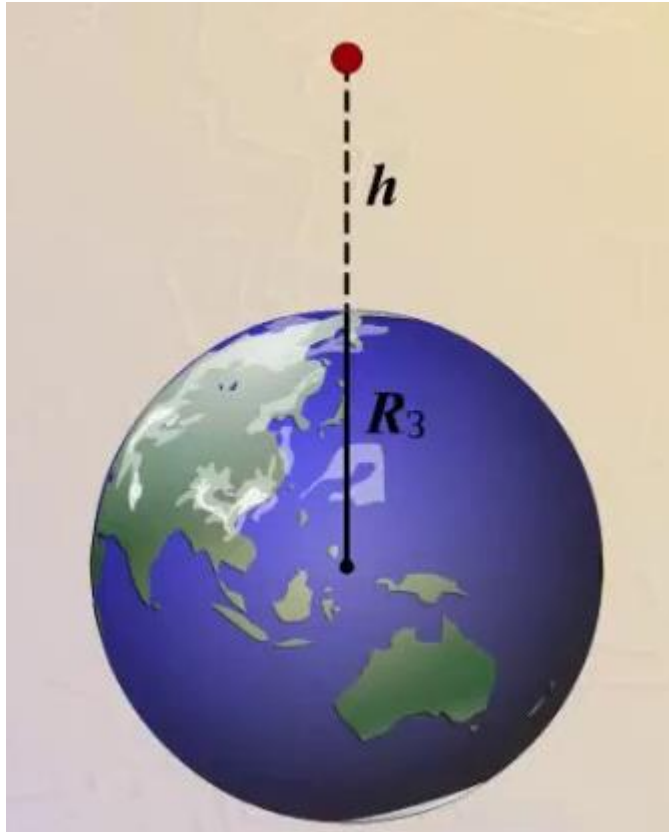
$$F = G \frac{mM_3}{R_3^2}$$

Приравнивая эти силы и сокращая на  $m$ , получаем

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}$$

# Закон всемирного тяготения

Если тело находится на высоте  $h$  над поверхностью Земли, то ускорение свободного падения уменьшается



$$g_1 = G \frac{M_3}{(R + h)^2}$$

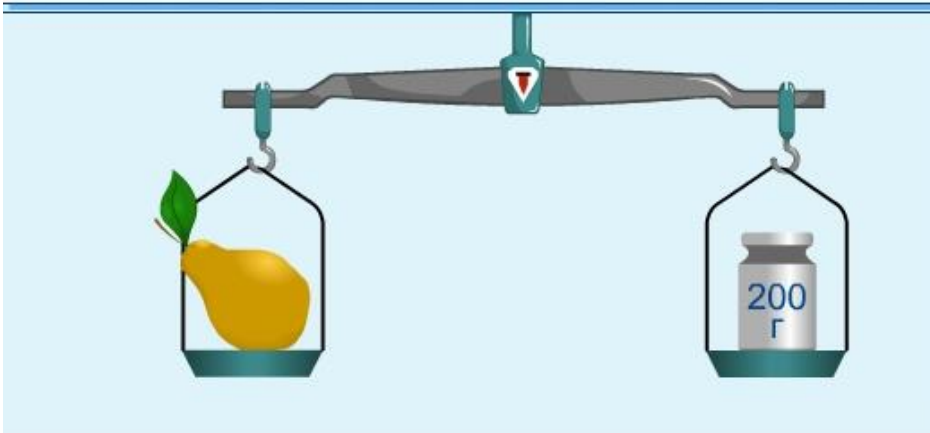


# Сила тяжести и вес тела

Сила  $\vec{P} = m\vec{g}$  называется **силой тяжести**, и она действует на любое тело у поверхности Земли.

Разберемся с двумя понятиями – **сила тяжести и вес тела**.

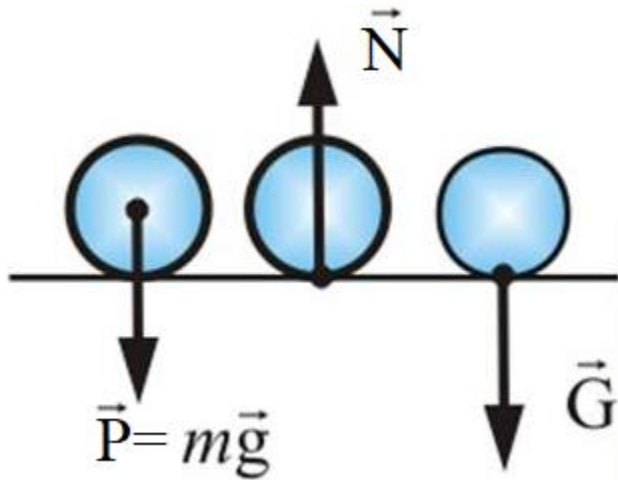
# Сила тяжести и вес тела



Когда мы взвешиваем тело, мы кладем его на весы (рис.). На другую чашку весов кладем гирю массой  $m = 200$  г, это значит, что на левую чашку весов действует сила  $\vec{G} \approx 2$  Н – вес тела, которая уравнивает коромысла весов. Можно ли сделать вывод, что  $\vec{G} = \vec{P} = m\vec{g}$  ?

*Равен ли вес тела силе тяжести?*

## Сила тяжести и вес тела



Да, в данном случае вес тела численно равен силе тяжести, действующей на него. Надо только иметь в виду, что силы  $\vec{P}$  и  $\vec{G}$  приложены к различным телам:

$\vec{P}$  - к телу массы  $m$ ,

$\vec{G}$  - к чашке весов.

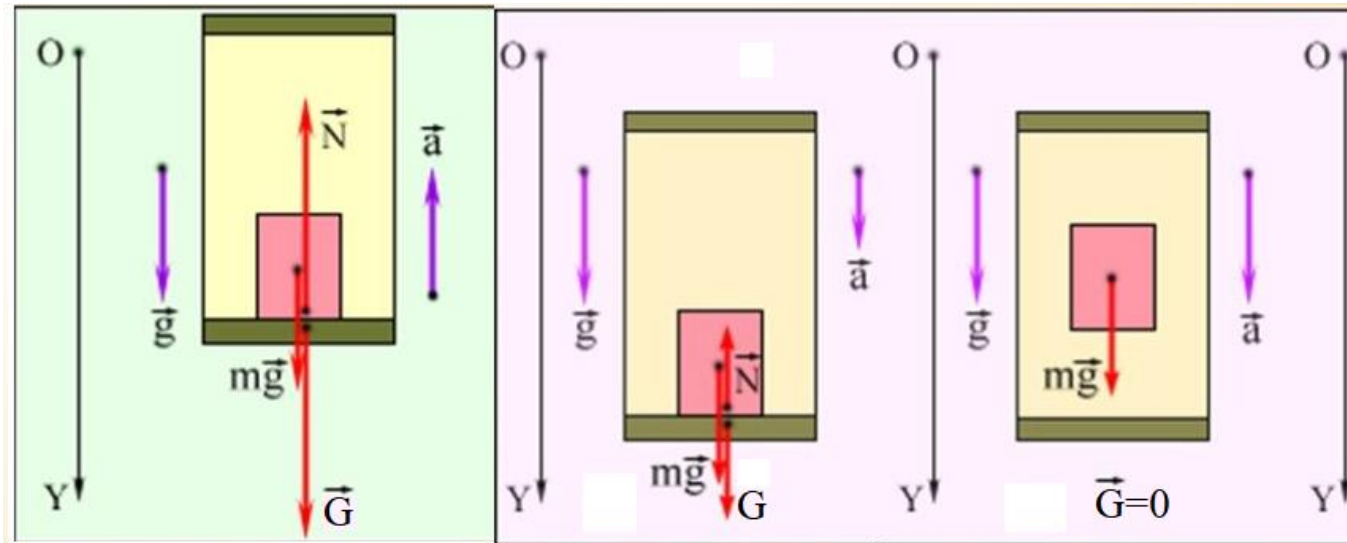
При этом  $\vec{N}$  - сила, с которой чашка весов действует на тело (сила реакции опоры).

Сила реакции опоры равна весу тела, но эти силы приложены к разным телам.

# Невесомость

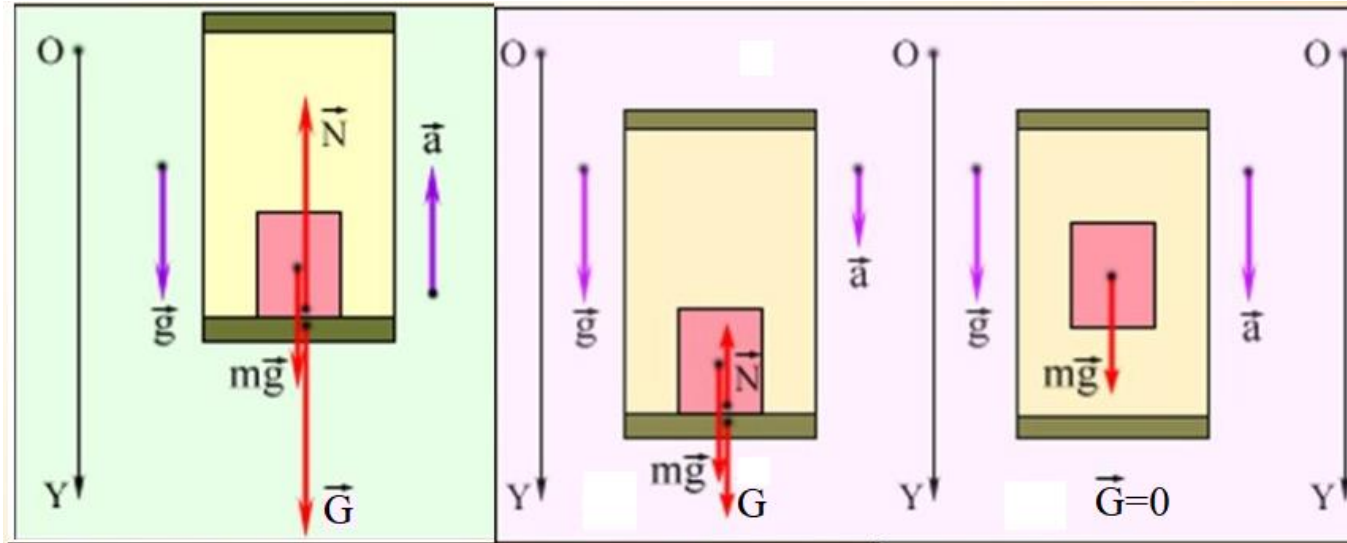
Рассмотрим теперь другой случай, когда тело находится на *в лифте*, который двигается с ускорением  $\vec{a}$  вверх или вниз (рис.)

Если лифт движется вверх,  $\vec{g}$  и  $\vec{a}$  имеют разные знаки, и  $|\vec{G}| > |\vec{P}|$ ,  $G = m(g + a)$ . Если лифт идет вниз,  $\vec{g}$  и  $\vec{a}$  имеют одинаковый знак, и  $|\vec{G}| < |\vec{P}|$  при этом  $G = m(g - a)$ .



# Невесомость

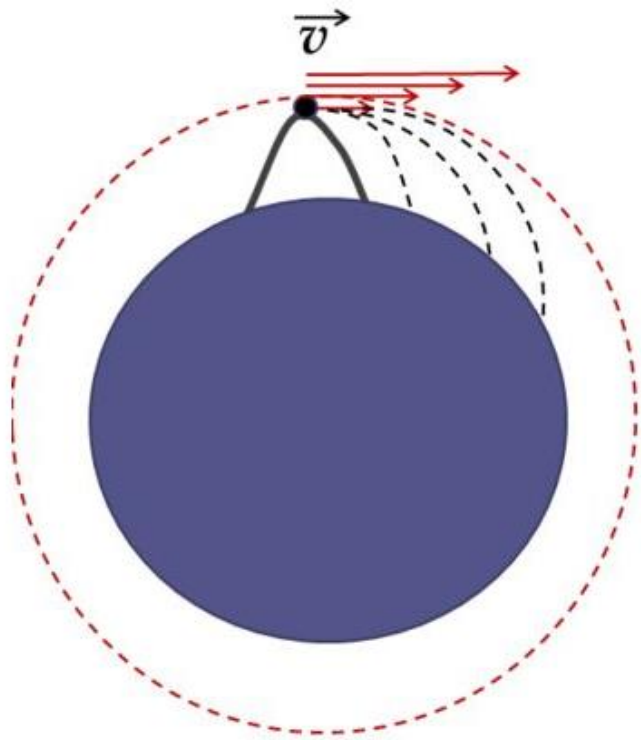
Поэтому если  $a = g$ , показания весов будут нулевыми,  $G=0$ . Иными словами, *тело переходит в состояние невесомости*. Именно в таком состоянии находится космонавт внутри околоземной космической станции: единственная, действующая на него сила – это центростремительная, она же сила тяжести, следовательно, его ускорение  $\vec{g} = \vec{a}$ . Пружинные весы не пригодны для измерения массы космонавта!



# Движение искусственных спутников Земли. Первая космическая скорость

Теперь несколько слов *о движении искусственных спутников Земли*. Как известно, спутник выводится на орбиту вокруг Земли с помощью ракеты, которая поднимает его на некоторую высоту  $h$ , и сообщает ему определенную скорость  $\vec{v}_0$  по касательной к окружности, охватывающей Землю. После этого единственной силой, действующей на спутник, будет сила тяжести  $\vec{P} = m\vec{g}$ , направленная к центру Земли. Именно поэтому космонавты, находящиеся на космической станции, на околоземной орбите, находятся в состоянии невесомости. Чему равна эта определенная скорость?

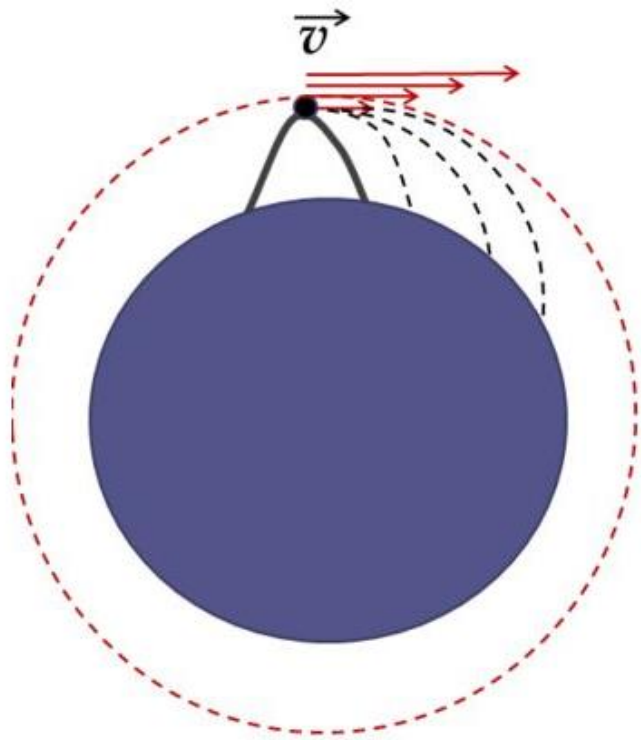
# Движение искусственных спутников Земли. Первая космическая скорость



Если тело бросить горизонтально, то оно упадет на Землю, описывая параболу (рис.). При увеличении скорости дальность полета увеличивается. Наконец, при определенной скорости тело не упадет на Земли, а начнет двигаться по круговой орбите вокруг Земли. При этом центробежной силой, вызывающей центробежное ускорение, является сила тяжести:

$$m \frac{v_0^2}{R_3} = mg, \quad v_0 = \sqrt{R_3 g} \approx 8 \text{ км/с.}$$

# Движение искусственных спутников Земли. Первая космическая скорость

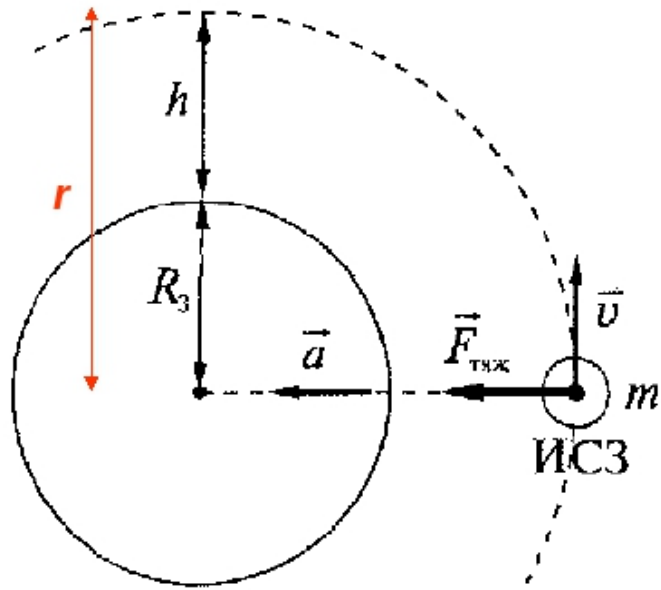


Мы получили минимальное значение скорости, необходимое для вывода тела на околоземную круговую орбиту – **первую космическую скорость**. Период обращения спутника у поверхности Земли

$$T = \frac{2\pi R_3}{v_0} \cong 84 \text{ мин}$$



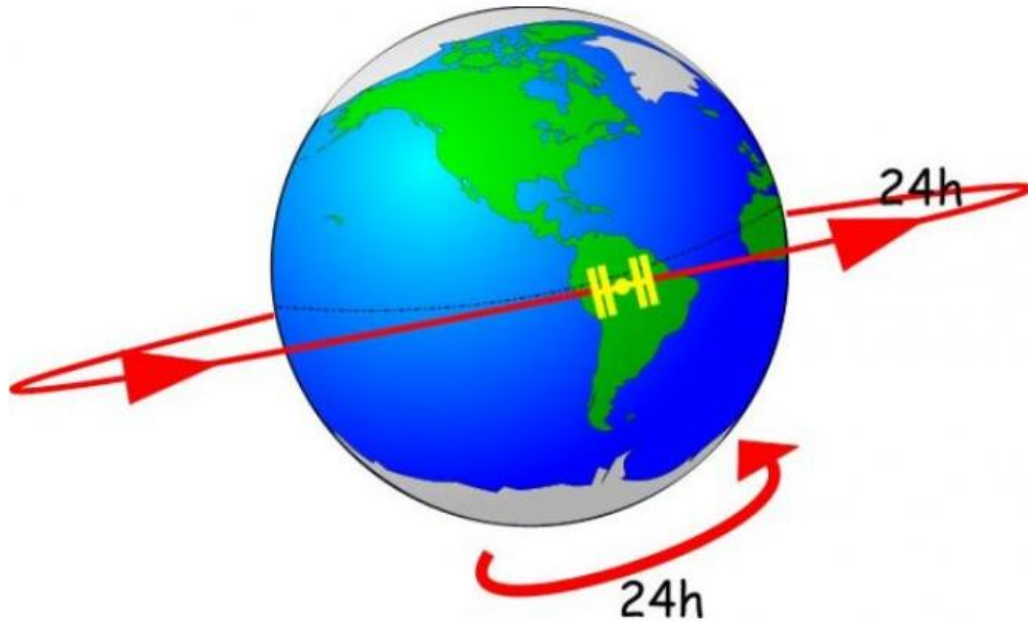
# Движение искусственных спутников Земли. Первая космическая скорость



Если спутник движется по круговой орбите на расстоянии  $h \gg R_3$ , (рис.) то необходимо учитывать, что ускорение свободного падения  $g'$  будет уже меньше  $g$ . В этом случае  $g' = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}$  (у поверхности Земли  $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$ ,  $M_3$  – масса Земли).

Тогда первая космическая скорость  $v'_I = v_I \sqrt{\frac{R_3}{(R_3 + h)}}$  где  $v_I = \sqrt{R_3 g}$  первая космическая скорость у поверхности Земли.

# Геостационарный спутник



Можно подобрать высоту  $h$  так, что  $T = 24$  часа = 1 сутки. Находящийся на высоте 35786 км и вращающийся в экваториальной плоскости спутник «зависает» над определенной точкой Земли на так называемой **геостационарной орбите**. Геостационарные спутники используются для телекоммуникаций, систем *GPS (Global Position Systems)* – навигаторов для определения координат и скоростей движения различных земных объектов.

# Литература

Б.А. Струков, Л.Г. Антошина, С.В. Павлов. Физика. М., 2011,  
С. 40-45.

Видеоматериалы по теме лекции смотрите на сайте [swcuspr.ukit.me](http://swcuspr.ukit.me)  
в разделе «видеоматериалы»:

«Закон всемирного тяготения», «Первая космическая скорость.  
Сила тяжести и вес»

Тема следующей лекции:

**Силы инерции. Динамика системы материальных точек.  
Центр масс системы и закон его движения**