

# **ЛЕКЦИЯ №2**

## **Динамика материальной ТОЧКИ**

# План лекции.

1. Первый закон Ньютона.  
Инерциальные системы отсчета
2. Сила, масса, плотность, вес тела
3. 2-ой и 3-й законы Ньютона. Импульс
4. Закон сохранения импульса для механической системы
5. Неинерциальные системы отсчета
6. Момент силы
7. Кинетическая энергия. Теорема об изменении кинетической энергии

# **1. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета**

**Динамика** - раздел механики, который изучает законы движения и причины вызывающие те или иные перемещения.

В основе динамики лежат законы Ньютона.

**Первый закон Ньютона (закон инерции):**

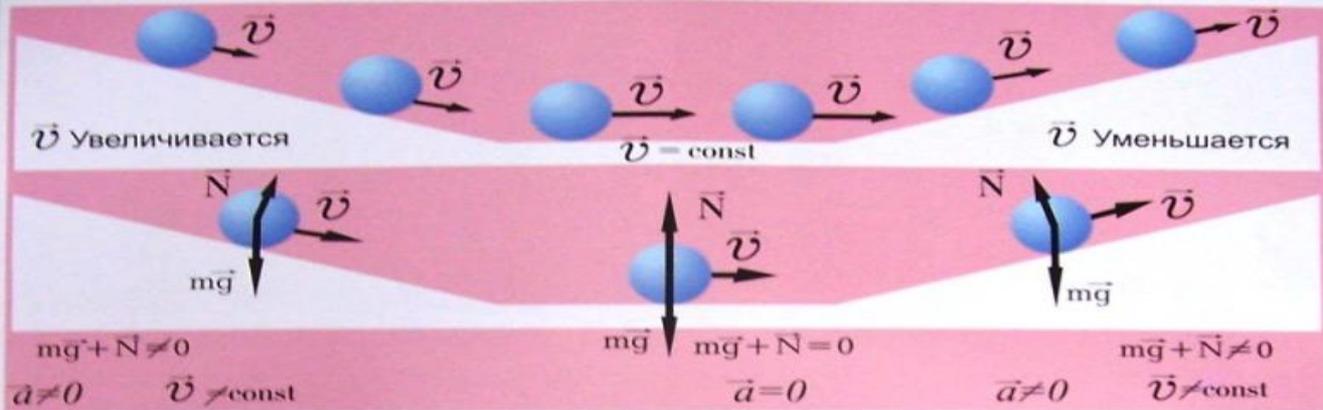
*Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, до тех пор, пока внешние воздействия не выведут его из этого состояния.*

**Инерциальная система отсчета** - система отсчета, относительно которой свободная материальная точка, не подверженная воздействию других тел, движется равномерно и прямолинейно, или, как говорят, по инерции.

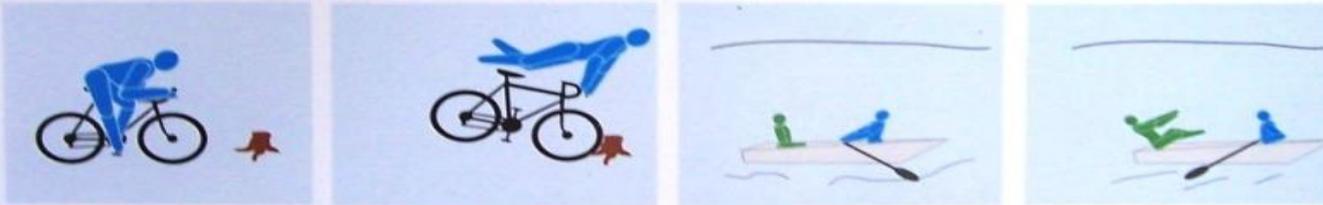
**Инерция** - это физическое явление, заключающееся в том, что тела стремятся сохранить свою скорость.

**Инертность**- это свойство тел сохранять свою скорость.

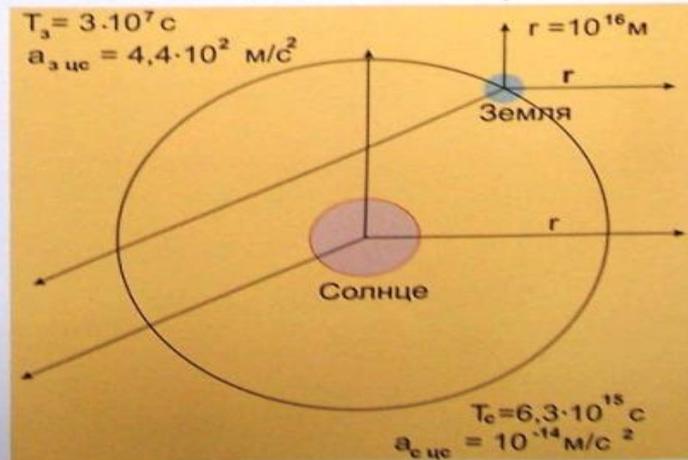
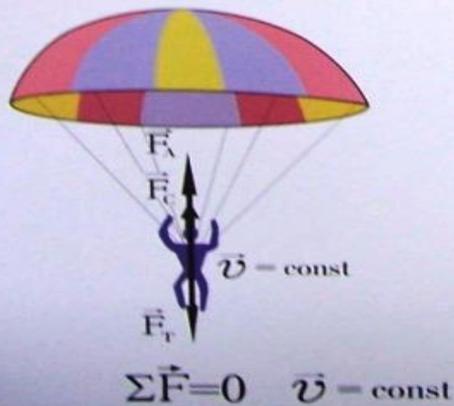
## МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ Г. ГАЛИЛЕЯ



## ЯВЛЕНИЕ ИНЕРЦИИ



## ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЁТА (ИСО)



## **2. Сила, масса, плотность, вес тела**

Опыт показывает, что различные тела под действием одинаковых сил приобретают различные ускорения, т.е. обладают различной инертностью.

**Инертность тел** - свойство, присущее всем телам и заключающееся в том, что тела оказывают сопротивление изменению их скорости (как по модулю, так и по направлению)

**Масса**- это мера инертности тела при поступательном движении  $m$ - скалярная величина (кг)

**Масса** - величина аддитивная, это значит если тело состоит из  $n$  количества материальных точек, тогда масса тела равна сумме масс составляющих данное тело.

$$m = \sum_{i=1}^n m_i$$

В классической механике  $m = \text{const}$

Если тело движется со скоростью  $V_1$  соизмеримой со скоростью света  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ , то

The diagram consists of a light blue rectangular frame divided into two sections by a vertical line. On the left side, the equation  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$  is displayed. A yellow arrow points from this equation to the right side, where the equation  $\beta = \frac{V}{S}$  is shown. A small purple number '2' is located below the vertical line.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \rightarrow \quad \beta = \frac{V}{S}$$

где  $\beta$ - безразмерный коэффициент;

$m_0$ - масса покоя тела.

**Плотность** - *распределение массы по объему.*

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] \quad 3$$

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad 4$$

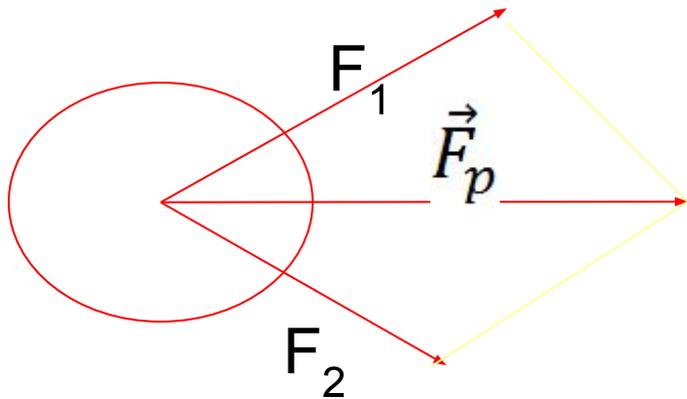
Равномерное распределение  $m$  по  $V$

Неравномерное распределение  $m$  по  $V$

**Сила** – *это физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел, в результате которого тело приобретает ускорение или деформируется.*

$$F = m \cdot a \left[ \text{Н} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \right] \quad 5$$

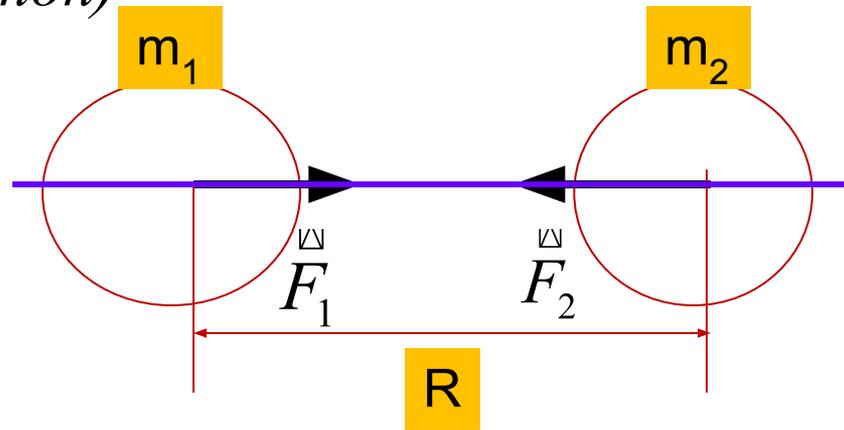
Сила характеризуется: числовым значением, направлением и точкой приложения. Действие на тело нескольких сил можно заменить одной равнодействующей, которая определяется по принципу суперпозиции.



$$\vec{F}_p = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Равнодействующая сила

**Закон всемирного тяготения:** Любые две материальные точки притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними (1667 г. И.Ньютон)



$$F_{\text{гр}} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2} \quad 6$$

где  $G$  - гравитационная постоянная

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

Эту силу называют силой тяготения или гравитационной силой. Закон всемирного тяготения справедлив для точечных масс.

### **Физический смысл**

*Гравитационная постоянная численно равна силе, с которой притягиваются две материальные точки массой по 1кг на расстоянии 1м.*

**Гравитационные силы** - являются центральными, т.е. направлены вдоль прямой, соединяющей центры взаимодействия тел.

**Сила тяжести** – это сила с которой тело притягивается к Земле.

По закону всемирного тяготения на поверхности земли на тело массой «m» действует сила тяжести.

$$F = G \frac{M \cdot m}{R^2} \quad 7$$

M-масса Земли; R-радиус Земли

Если на тело действует только сила тяжести земли, оно совершает свободное падение

$$F_T = mg$$

где  $g$  – ускорение свободного падения

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

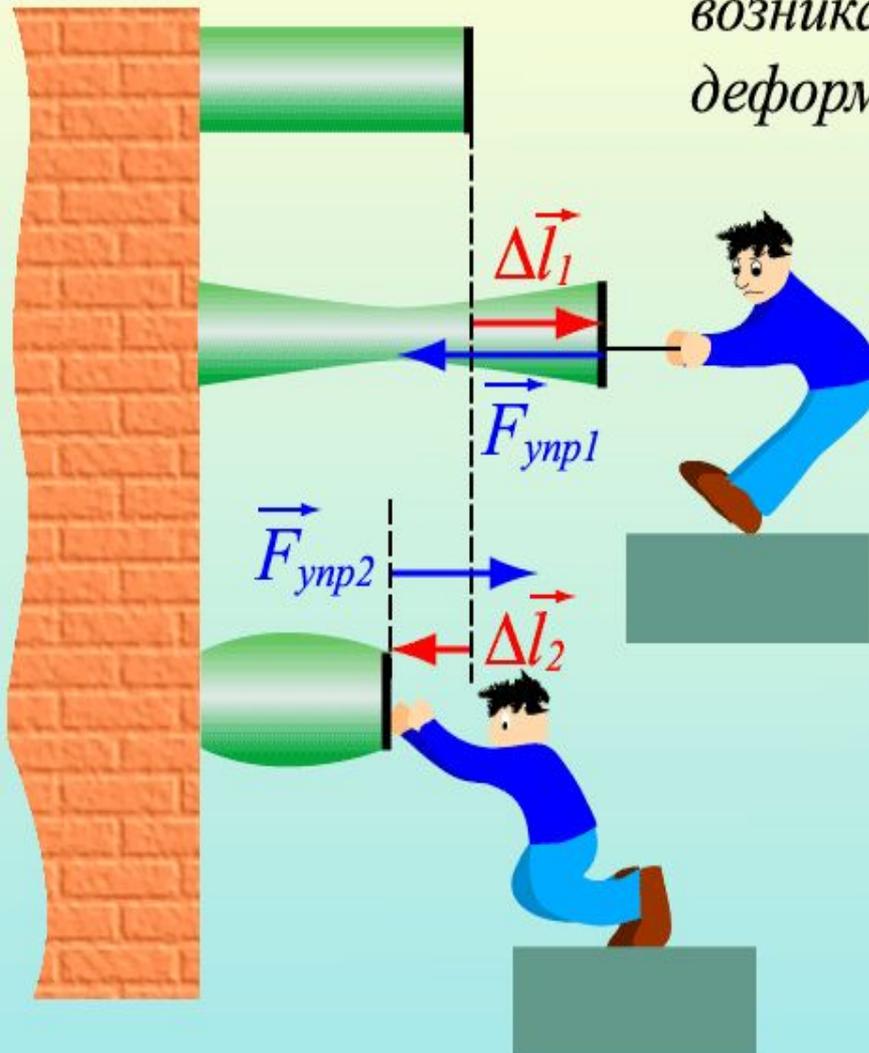
## Силы упругости возникают при деформации тел

- Деформация - изменение формы и объема тела при внешнем воздействии.
- Упругая деформация –исчезает после прекращения воздействия.
- Пластическая деформация – не исчезает после прекращения воздействия.
- Деформация растяжения и сжатия характеризуется удлинением:

$$\Delta l = l - l_0$$

# Сила упругости

Упругие силы – силы, возникающие при упругой деформации тел



Закон Гука

$$\vec{F}_{упр} = -k\Delta\vec{l}$$

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

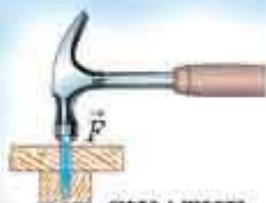
Потенциальная энергия упруго деформированного тела

# ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ

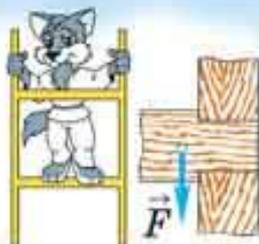
## ДЕФОРМАЦИИ В БЫТУ



РАСТЯЖЕНИЕ

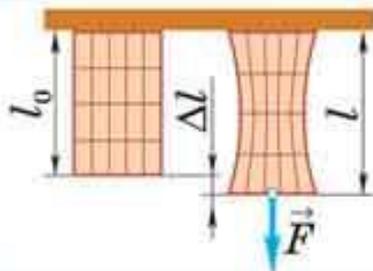


СЖАТИЕ

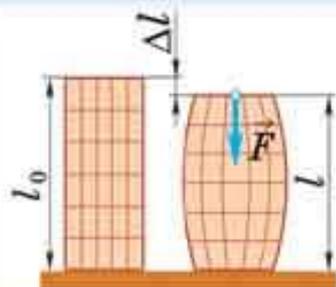


СДВИГ

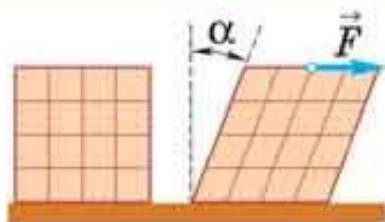
## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ



$$\epsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0}$$

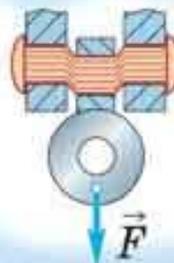
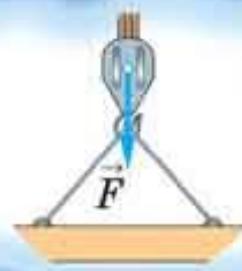


$$\epsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0}$$



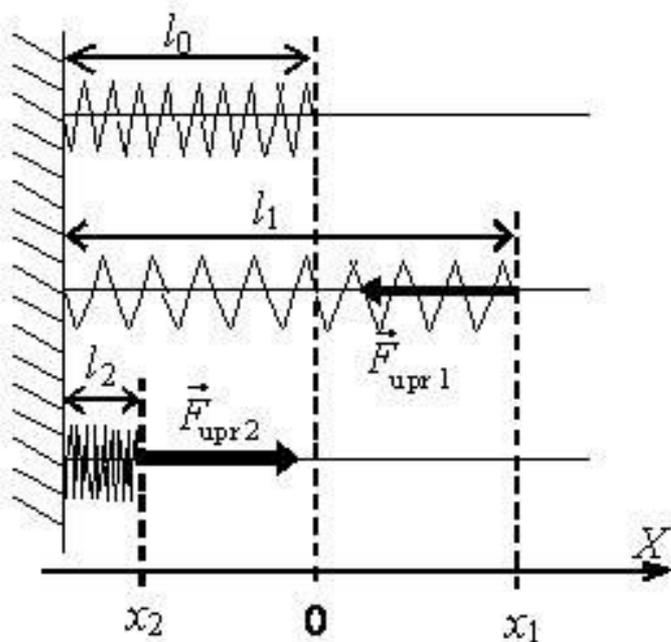
$$\epsilon_\alpha = \text{tg } \alpha$$

## ДЕФОРМАЦИИ В ТЕХНИКЕ



## Сила упругости - подчиняется закону Гука.

Сила упругости прямо пропорциональна смещению тела и противоположна ему по знаку.



$$\begin{aligned} F_{\text{упр } 2x} > 0; x_2 < 0 \\ F_{\text{упр } 2x} &= -k x_2 = \\ &= k(l_0 - l_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{упр } 1x} < 0; x_1 > 0 \\ F_{\text{упр } 1x} &= -k x_1 = \\ &= k(l_0 - l_1) \end{aligned}$$


$$F = -k\Delta x \quad 8$$

$\Delta x$  — удлинение (деформация)

$k$  — коэффициент жесткости

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

**Невесомость** – это когда тело не действует на опору или подвес, и вследствие этого внутри тела отсутствует деформация

$$P = mg$$

9

$$H = \frac{K_2 \cdot M}{c^2}$$

$a = 0$	$a > 0$	$0 < a < g$	$a > g$
$\vec{P} = -\vec{F}_y, \quad \vec{F}_y + m\vec{g} = m\vec{a}$			
$P = mg$	$P = m(g + a)$ перегрузка	$P = m(g - a)$	$P = 0$ невесомость

# 3. Второй и Третий законы Ньютона. Импульс

**Второй закон Ньютона: Ускорение приобретаемое телом в инерциальной системе отсчета прямо пропорционально действию на тело силы и обратно пропорциональна его массе.**

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad 10$$

$F$ - равнодействующая всех сил действующих на тело.

$$F = \sum_{i=1}^n F_i$$

Второй закон Ньютона, выраженный через импульс  $F = ma$

$$a = \frac{dv}{dt}$$

1  
1

$$F = \frac{mdv}{dt}$$

12

Внесем массу под знак дифференциала

$$F = \frac{d(m \cdot v)}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

13

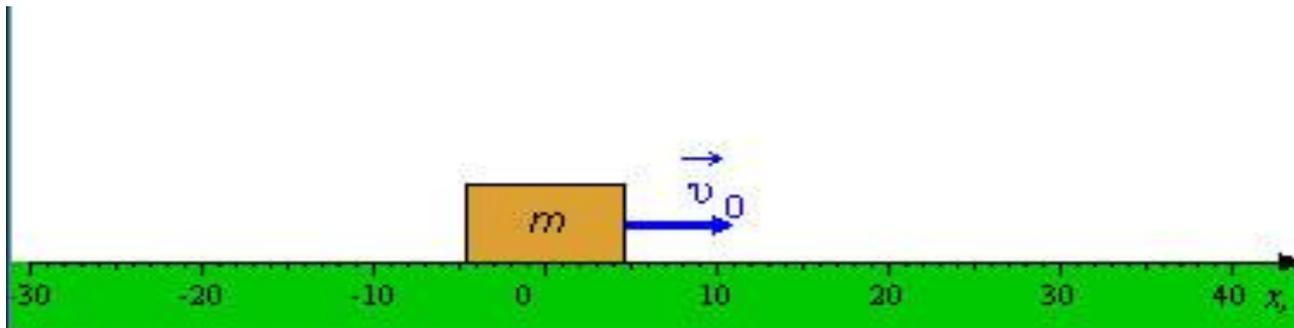
Величина равная произведению массы тела на скорость называется ИМПУЛЬСОМ

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

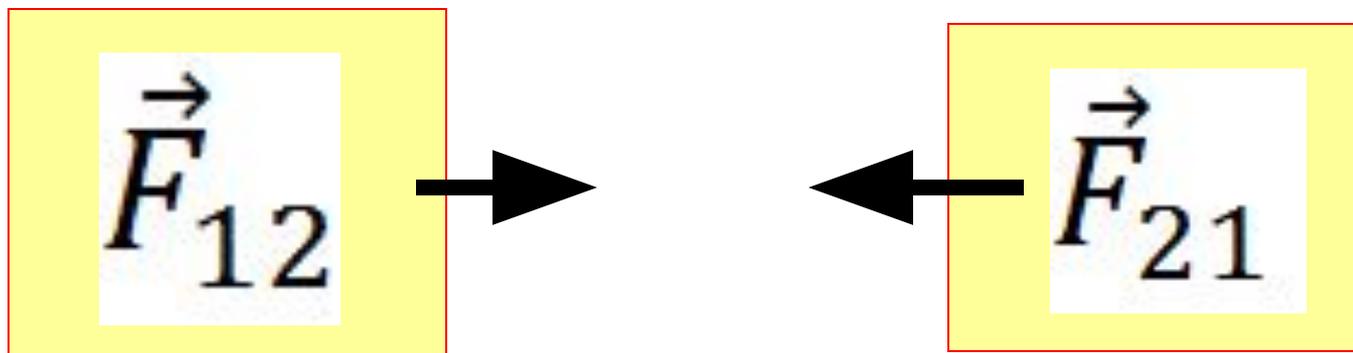
14

$Fdt$  - импульс силы;  $mV$ - импульс тела

$$Fdt = mV$$



Третий Закон Ньютона утверждает, что тела взаимодействуют с силами равными по величине и противоположными по направлению.



Все силы всегда равны по модулю как бы они не двигались  $F_{12} = -F_{21}$

При взаимодействии двух тел всегда возникает пара сил, которые:

□ Равны по модулю

□ Противоположны по направлению

□ Лежат на одной прямой

□ Одной природы

Выражая силу через второй з-н Ньютона третий з-н можно переписать:

$$m\bar{a}_1 = -m\bar{a}_2$$

***4. Закон сохранения  
импульса для  
механической  
системы***

**Механическая система**- совокупность материальных точек и тел рассматриваемых как единое целое.

**Внутренние силы**- силы взаимодействия между материальными точками системы.

**Внешние силы**- силы с которыми внешние тела действуют на замкнутую систему.

**Замкнутая система**- система, которая не взаимодействует со внешними силами.

$F$  – равнодействующая внутренних сил

$F'$  – равнодействующая внешних сил

Запишем Второй Закон Ньютона для каждой системы.

$$\left\{ \frac{d(m_1 \cdot v_1)}{dt} = F_1 + F_1' \right.$$

$$\left\{ \frac{d(m_2 \cdot v_2)}{dt} = F_2 + F_2' \right.$$

$$\left\{ \frac{d(m_n \cdot v_n)}{dt} = F_n + F_n' \right. \quad 15$$

Сложим по численно эти уравнения и получим

$$\frac{d(mv)}{dt} = F_1' + F_1 + F_2' + F_2 + \dots F_n' + F_n$$

Система замкнута, поэтому равнодействующая всех внешних сил = 0

$$\sum_{i=1}^n \boxtimes F_i = F_1' + F_2' \dots + F_n' = 0$$

Материальная точка внутри системы взаимодействует между собой  
 $F_1 = -F_2, \Rightarrow$  Геометрическая сумма внутренних сил = 0, произведение от импульса = 0

$$\frac{dp}{dt} = 0, \quad p = \text{const}$$

**Закон сохранения импульса:**  
**импульс замкнутой системы**  
**тел при любых движениях и**  
**взаимодействиях**  
**тел системы с течением**  
**времени не изменяется.**

# 5. Неинерциальная система отсчета

Законы Ньютона выполняются только в инерциальных системах отсчета.

Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальной системы с ускорением, называются неинерциальными.

В неинерциальных системах законы Ньютона, вообще говоря, несправедливы. Однако законы динамики можно применять и для них, если кроме сил, обусловленных взаимодействием и тел друг на друга ввести силы особого рода силы инерции.

Если учесть силы инерции, то второй закон Ньютона будет справедлив для любой системы отсчета.

$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{\text{ин}}$$

17

Произведение массы тела на ускорение в рассматриваемой системе отсчета равно сумме всех сил действующих на тело (включая  $F_{\text{ин}}$ )

Так как  $F=ma$  (в инерциальной системе отсчета)

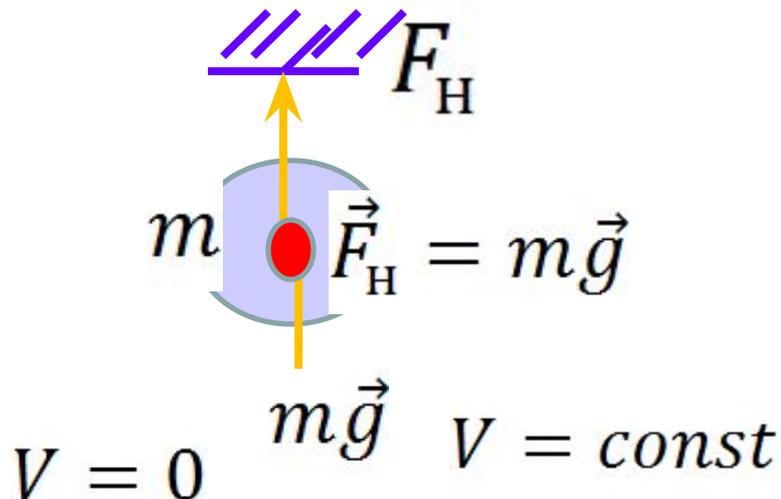
$$ma' = ma + F_{\text{ин}}$$

18

*Рассмотрим конкретные примеры,  
действия сил инерции.*

## **1. Силы инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета.**

Шарик массой  $m$  движется в тележке. Если тележку привести в поступательное движение с ускорением  $\alpha_0$ , то нить отклонится на  $\alpha$ .



$$\overline{F} = \overline{F}_H + mg$$

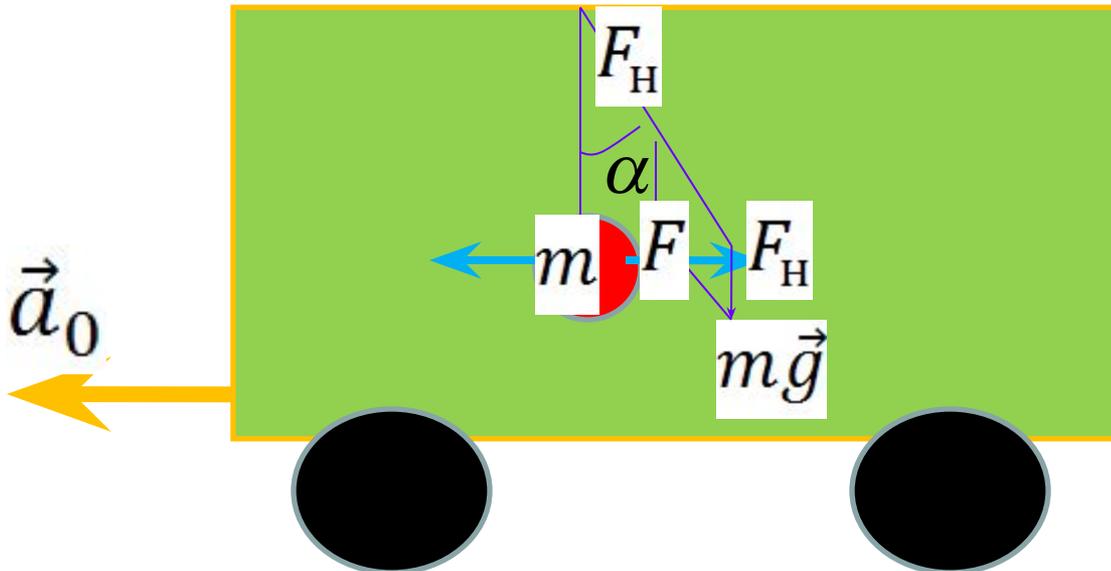
19

И шарик движется вместе с тележкой с ускорением  $\vec{a}_0$

$$\vec{F} = mgtg\alpha = ma_0$$

$$tg\alpha = \frac{ma_0}{mg} = \frac{a_0}{g}$$

чем  $a >$  ,тем больше угол  $\alpha$



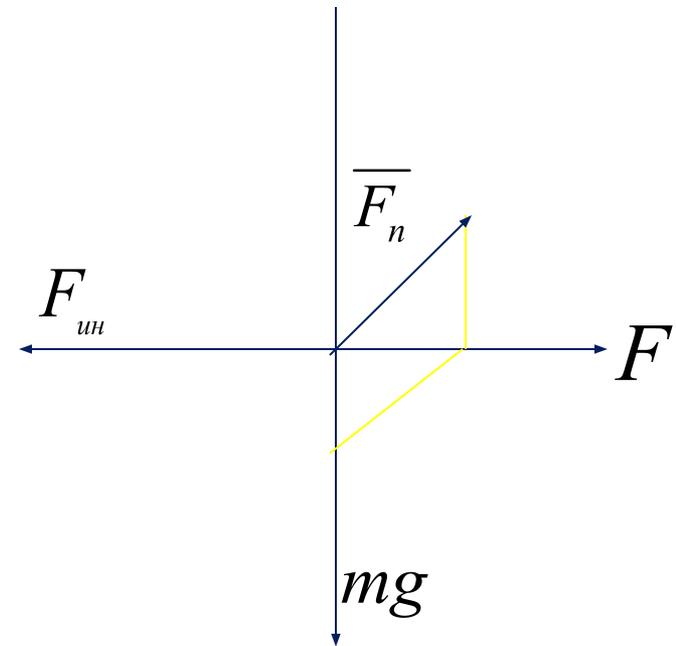
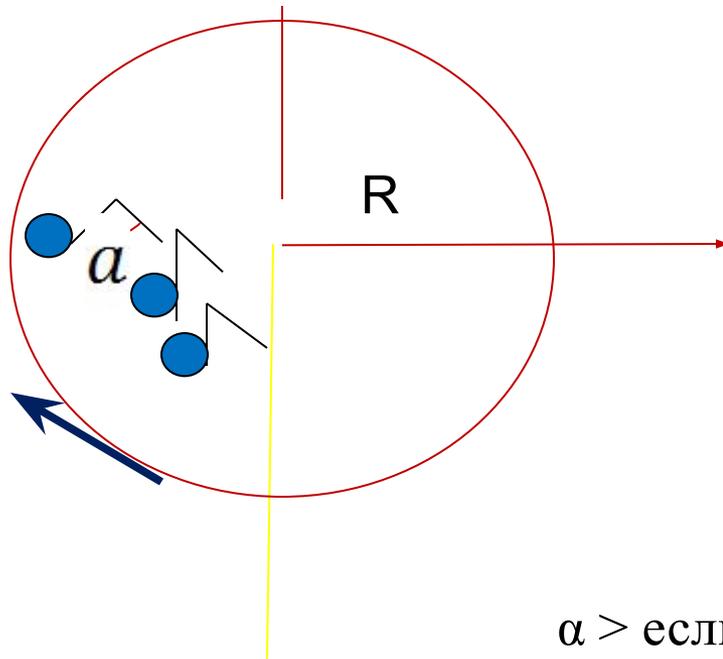
Шарик покоится относительно систем, движущихся с ускорением, и силе  $F$  уравновешенно силой инерции, которая противоположно ей направления.

$$F_{ин} = -ma_0$$

20

## 2. Силы инерции, действующие на тело, покоящееся во вращательной системе.

Пусть диск вращается с угловой скоростью ( $\omega$ )



$\alpha >$  если  $\omega$  и  $R >$

$$\overline{F} = \overline{F_H} + m\overline{g} \quad 21$$

$$F = ma_y, a_y = \omega^2 R$$

$$F = m\omega^2 R = mgtg\alpha$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega^2 R}{g} \quad 22$$

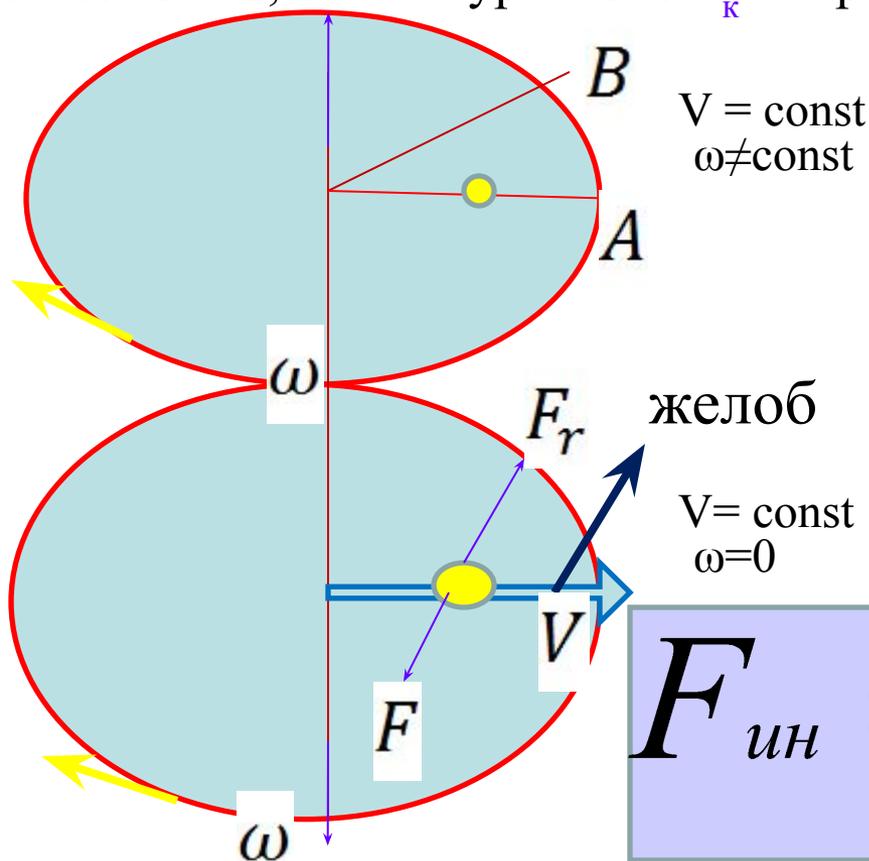
Шарик будет покоиться если  $F_{ин}$  -центробежная сила инерции.

$$F_{ин} = -m \omega^2 R \quad 23$$

Проявляются при поворотах, выполнении летчиками пилотажа, в насосах, центрифугах.

### 3. Силы инерции, действующие на тело, движущееся во вращательной системе отсчета.

Пусть шарик массой  $m$  движется вдоль радиуса. Если  $V = \text{const}$ ;  $\omega = 0$ , то шарик окажется в точке А; Если  $V = \text{const}$ ;  $\omega \neq \text{const}$ , то шарик окажется в точке В.  $F$  – сила, действующая на шарик со стороны желоба. Если  $V = \text{const}$ , то это возможно, если  $F$  уравнено  $F_k$  - кориолисова сила инерции.

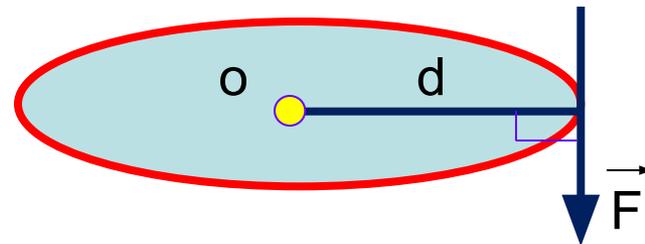
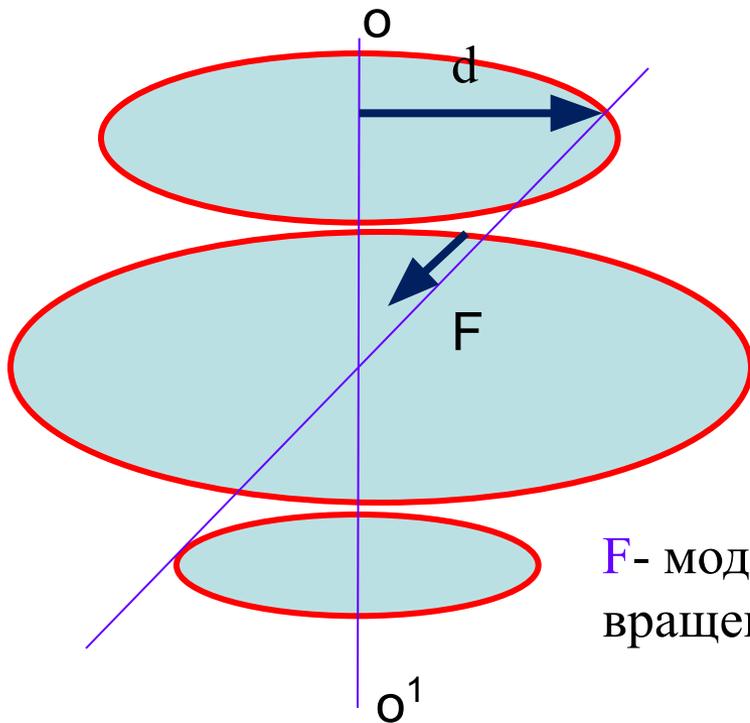


$$F_{ин} = 2m[V\omega]$$

## ***6. Момент силы***

Момент силы – это скалярная величина, равная произведению модуля силы на плечо этой силы.

$$M = F \cdot d \quad [H \cdot M]$$



$F$  - модуль силы ;  $d$  - плечо силы- расстояние от оси вращения до линии действия силы.

# 7. Кинетическая энергия. Теорема об изменении кинетической энергии

**Энергия** – это скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения материи и перехода движения материи из одних форм в другие.

**Кинетическая энергия** – это энергия механического движения системы.

Пусть на покоящееся тело массой  $m$  действует сила  $F$ , создающая перемещение  $dS$  по некоторой траектории и совершающая работу  $dA$

$$dA = FdS \cdot \cos \alpha, \quad \text{по второму закону Ньютона}$$

Обозначим  $dS \cdot \cos \alpha = ds$

$$dA = m \frac{dV}{dt} ds \cdot \cos \alpha;$$

Так как  $\frac{dS^i}{dt} = V$ , то

$$dA = mdV \frac{dS^i}{dt};$$

$$dA = mdV \cdot dV$$

$$A = \frac{mv^2}{2} + C$$

$$A = \frac{mv^2}{2}$$

При  $V=0$ ,  $A=0$ , то и  $C=0 \Rightarrow$  получим

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

27

**Кинетическая энергия при поступательном движении**

$$A = \Delta E_k = E_{k_2} - E_{k_1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad 28$$

**Теорема об изменении кинетической энергии тела:**

*Работа сил, приложенных к телу, равна изменению его кинетической энергии.*