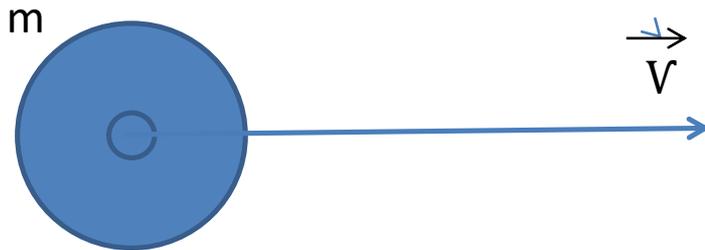


# ЗАКОН сохранения и изменения импульса



Лекция 1.5.

Импульс тела – это  
величина  
равная произведению  
массы  
тела на скорость тела



$$P = m \cdot V$$

P- импульс  
тела  
m- масса тела  
V- скорость  
тела

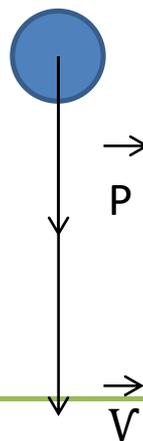
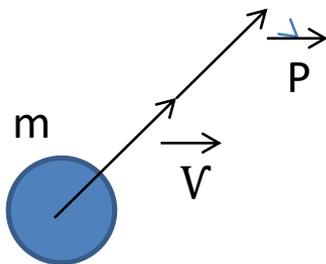
# Единицы измерения импульса тела

$P$  [кг·м/с]



$\vec{P}$  – векторная величина

$\vec{P}$  направлен в ту же сторону, что и скорость тела



В окружающей нас жизни одно тело  
встречается редко, чаще всего мы  
имеем дело с группой тел  
взаимодействующих между собой



Группа тел, взаимодействующих между собой называется системой тел

$$\vec{P}_{\text{системы}} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 \dots \vec{P}_n$$

$n$  – количество тел, входящих в систему

$P$  – импульс системы тел равен сумме импульсов тел, входящих в систему

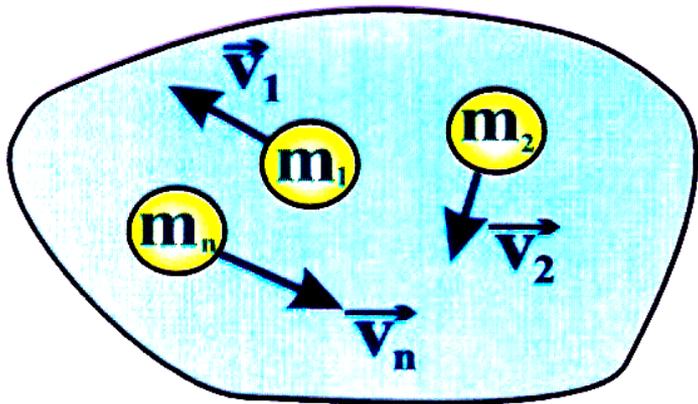
Система тел называется замкнутой, если взаимодействующие между собой тела, не взаимодействуют с другими телами.

а) материальной точки



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

б) системы



$$\begin{aligned}\vec{p}_{\text{сист}} &= \sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \\ &= m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n\end{aligned}$$

- Внутренними – называются силы, с которыми на данное тело воздействуют остальные тела системы;
- Внешними – называются силы, обусловленные воздействием тел, не принадлежащих системе.

# Виды взаимодействия

Взаимодействие	
Абсолютно упругое	Абсолютно неупругое
Взаимодействие тел, при котором после взаимодействия каждое из тел движется самостоятельно, со своей скоростью	Взаимодействие, после которого тела движутся как единое целое с общей скоростью



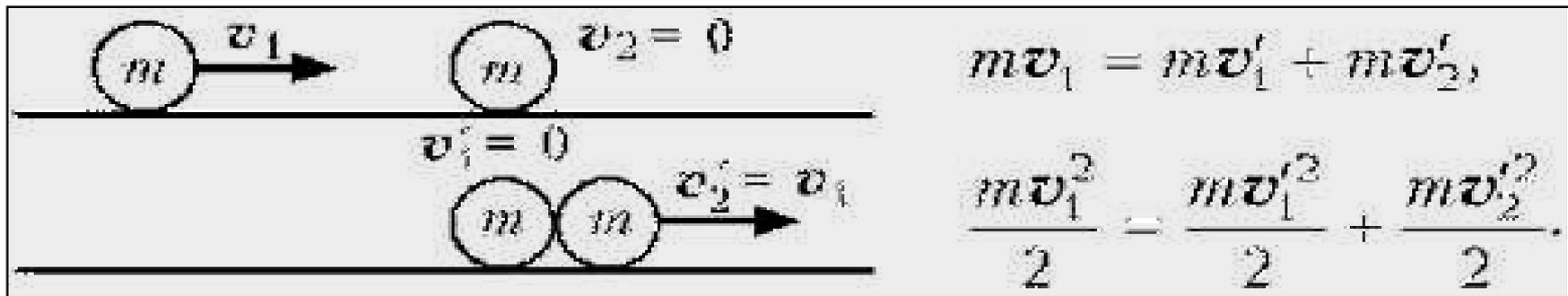
# Удар (соударение)



- это столкновение двух или более тел, при котором взаимодействие длится очень короткое время.

# Упругий удар

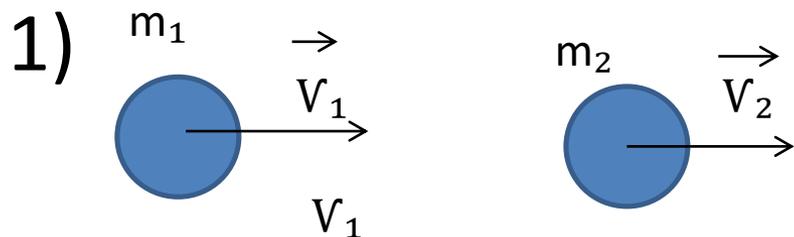
**Абсолютно упругий удар** – столкновения тел, в результате которого их внутренние энергии остаются неизменными. При абсолютно упругом ударе сохраняется не только импульс, но и механическая энергия системы тел. **Примеры:** столкновение бильярдных шаров, атомных ядер и элементарных частиц. **На рисунке показан абсолютно упругий центральный удар:**



**В результате центрального упругого удара** двух шаров одинаковой массы, они обмениваются скоростями: первый шар останавливается, второй приходит в движение со скоростью, равной скорости первого шара.

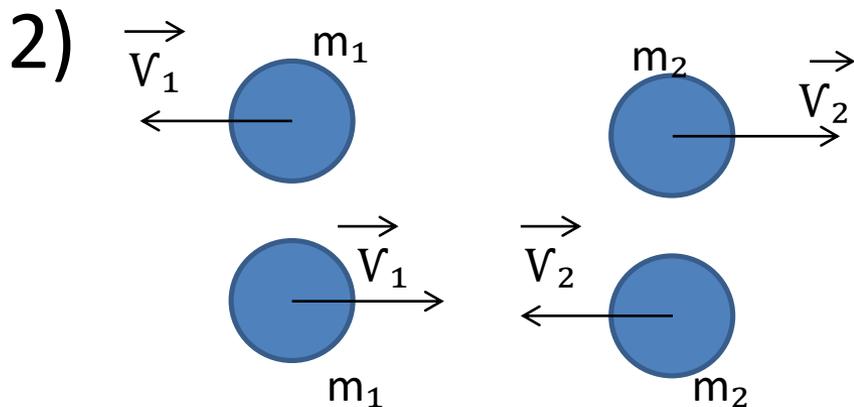


При решении задач будем рассматривать систему из двух тел и трёх взаимных расположений скоростей тел



$\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$   
сонаправлены

$$P_{\text{системы}} = P_1 + P_2$$

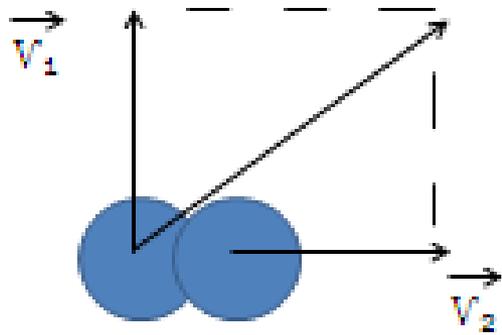


$\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$   
противоположны  
направлены

или

$$P_{\text{системы}} = P_1 - P_2$$

3)



$$\vec{v}_1 \perp \vec{v}_2$$

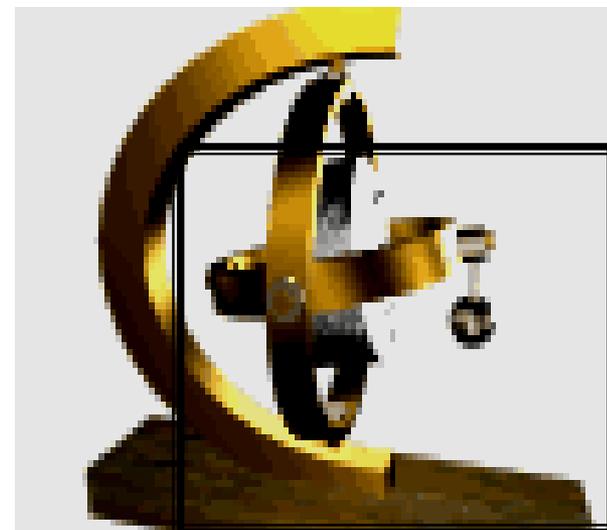
$$P_{\text{системы}} = \sqrt{p_1 + p_2}$$

# Проявление импульса





**Рене Декарт (1596-1650), французский философ, математик, физик и физиолог. Высказал закон сохранения количества движения, определил понятие импульса силы.**

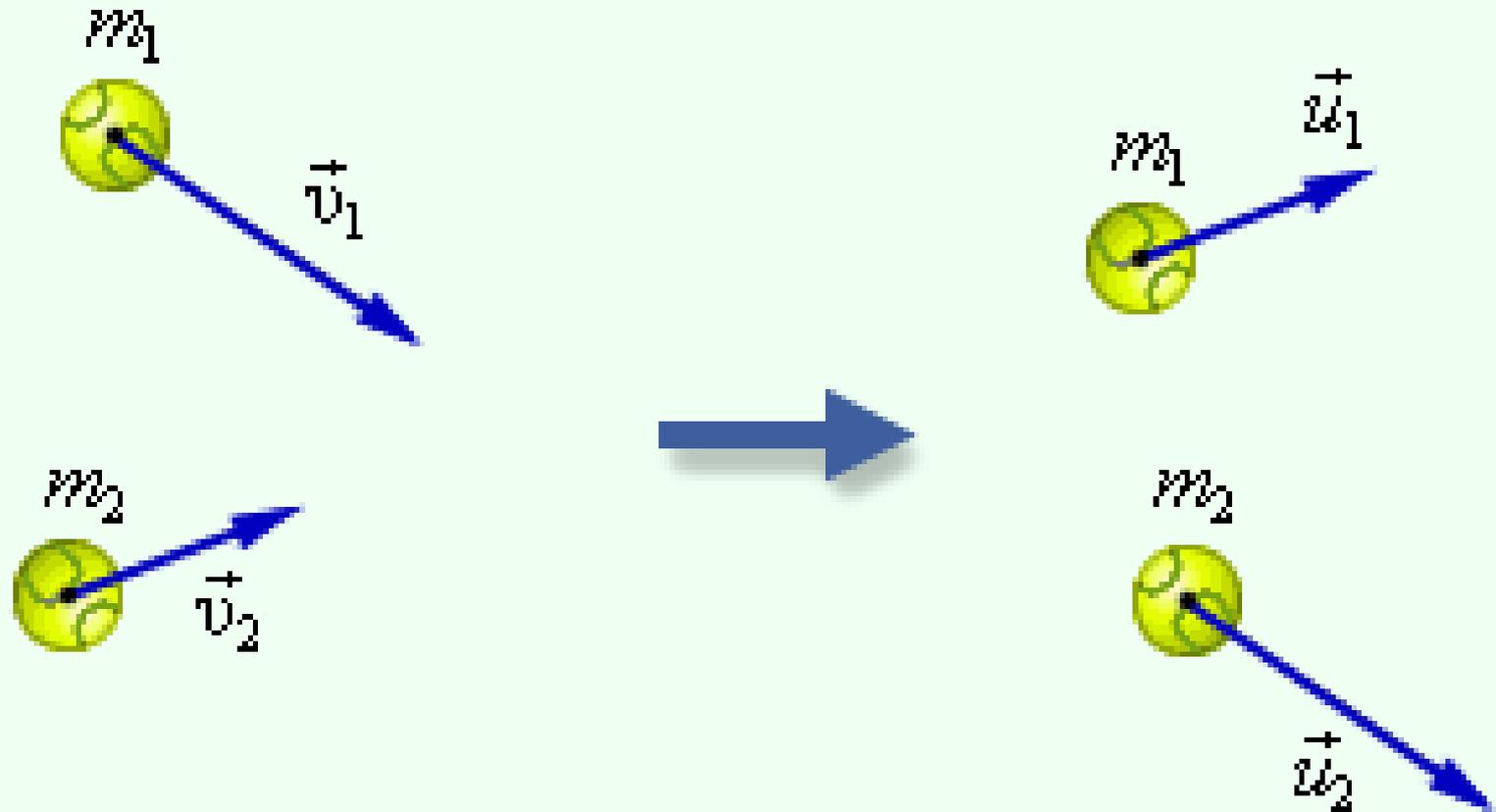


# ***Закон сохранения импульса***



В замкнутой системе, векторная сумма импульсов всех тел, входящих в систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

# Закон сохранения импульса на примере столкновения шаров.



# Закон сохранения импульса

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$



$m_1, m_2$  – массы взаимодействующих тел, кг

$\vec{v}_1, \vec{v}_2$  – скорости тел до столкновения, м/с

$\vec{v}_1', \vec{v}_2'$  – скорости тел после столкновения, м/с

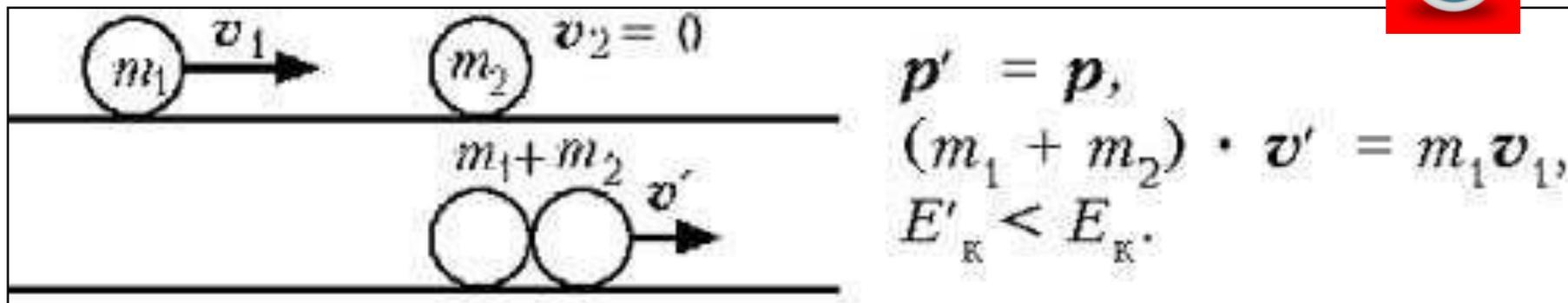
# Закон сохранения импульса



- Импульсом тела (количеством движения) называют меру механического движения, равную в классической теории произведению массы тела на его скорость. Импульс тела является векторной величиной, направленной так же, как и его скорость.
- Закон сохранения импульса служит основой для объяснения обширного круга явлений природы, применяется в различных науках.

# Неупругий удар

**Абсолютно неупругий удар:** так называется столкновение двух тел, в результате которого они соединяются вместе и движутся дальше как одно целое. При неупругом ударе часть механической энергии взаимодействующих тел переходит во внутреннюю, импульс системы тел сохраняется. **Примеры неупругого взаимодействия:** столкновение слипающихся пластилиновых шаров, автосцепка вагонов и т.д. **На рисунке показан абсолютно неупругий удар:**



**После неупругого соударения** два шара движутся как одно целое со скоростью, меньшей скорости первого шара до соударения.

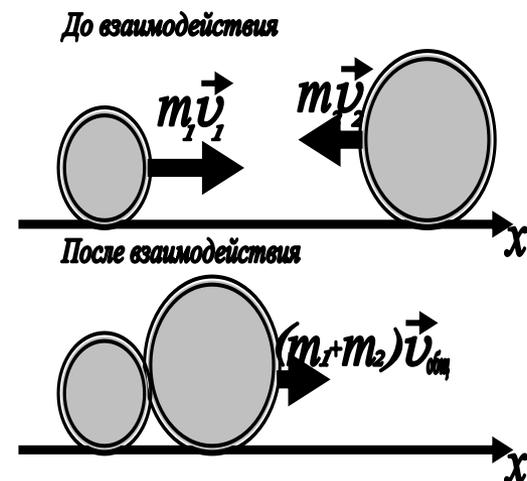
**Пример 1.** Два шара массами  $m_1=1$  кг и  $m_2=2$  кг, движутся со скоростями  $v_1=10$  м/с и  $v_2=2$  м/с соответственно, навстречу друг другу. Определить их скорости после неупругого удара.

*Решение.*

Следуя алгоритму, выполним два чертежа (до и после взаимодействия), расставим все импульсы и выберем систему отсчета.

Заполним таблицу

	До взаимодействия	После взаимодействия
1 шар	$m_1\vec{v}_1$	$(m_1 + m_2)\vec{v}_{общ}$
2 шар	$m_2\vec{v}_2$	



Считая систему взаимодействующих тел замкнутой, запишем закон сохранения импульса:  
 $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}_{общ}$ .

Спроецируем полученное уравнение на ось  $x$ :  $m_1v_1 - m_2v_2 = (m_1 + m_2)v_{общ}$ . Выразим общую скорость:

$$v_{общ} = \frac{m_1v_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2}.$$

Произведем вычисления, получим  $v=0,4$  м/с.





Когда пожарные используют брандспойт, они всегда держат его вдвоем или даже втроем. Так необходимо поступать, чтобы противодействовать импульсу бьющей струи.

Примеры

1. Ядро разрывается на части

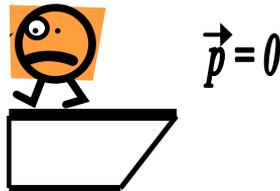
2. Человек прыгает с лодки

3. Реактивное движение

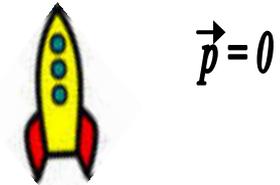
До взаимодействия



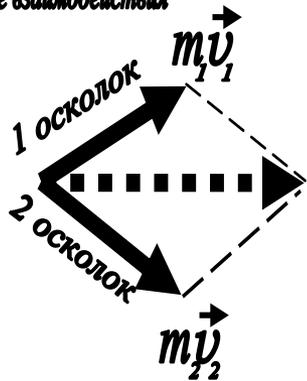
До взаимодействия



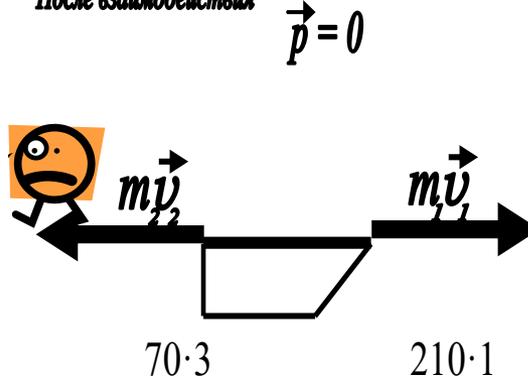
До взаимодействия



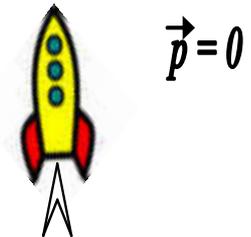
После взаимодействия



После взаимодействия



После взаимодействия



## **Закон сохранения импульса лежит в основе реактивного движения.**

- **Большая заслуга в развитии теории реактивного движения принадлежит Константину Эдуардовичу Циолковскому.**
- **Основоположником теории космических полетов является выдающийся русский ученый Циолковский (1857 - 1935). Он дал общие основы теории реактивного движения, разработал основные принципы и схемы реактивных летательных аппаратов, доказал необходимость использования многоступенчатой ракеты для межпланетных полетов. Идеи Циолковского успешно осуществлены в СССР при постройке искусственных спутников Земли и космических кораблей.**

- Закон сохранения импульса принадлежит к числу самых фундаментальных законов природы

# Не замкнутая система тел

- Механическая система тел, на которую действуют внешние силы называется незамкнутой



# Закон изменения импульса

## ЗАКОН ИЗМЕНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Если система не является замкнутой (есть внешние силы), то импульс не сохраняется а изменяется (увеличивается или уменьшается).

Закон изменения импульса: изменение импульса тела равно импульсу силы.

$$\vec{p}_{II} - \vec{p}_I = \vec{F} \cdot \Delta t$$



ЗСТ (нет внешних сил)	не ЗСТ (есть силы)
$\vec{p}_I = \vec{p}_{II}$	$\vec{p}_{II} - \vec{p}_I = \vec{F} \cdot \Delta t$

- Импульс силы – это произведение силы на время взаимодействия



- Импульс тела может сохраняться и в незамкнутой системе, если геометрическая сумма всех внешних сил равна нулю

Закон сохранения импульса  
системы применяется в  
космической отрасли , военном  
деле, авиастроении.

# Реактивное движение

Ракета на старте



Ракета в полёте



# Полёт реактивного самолёта



# Конспект 1.5.

- 1. Применение абсолютно неупругого удара в технике (2 примера).
- 2. Проявление закона сохранения импульса в природе и технике (3 примера)

# Проведите опыты, наблюдения, моделирование

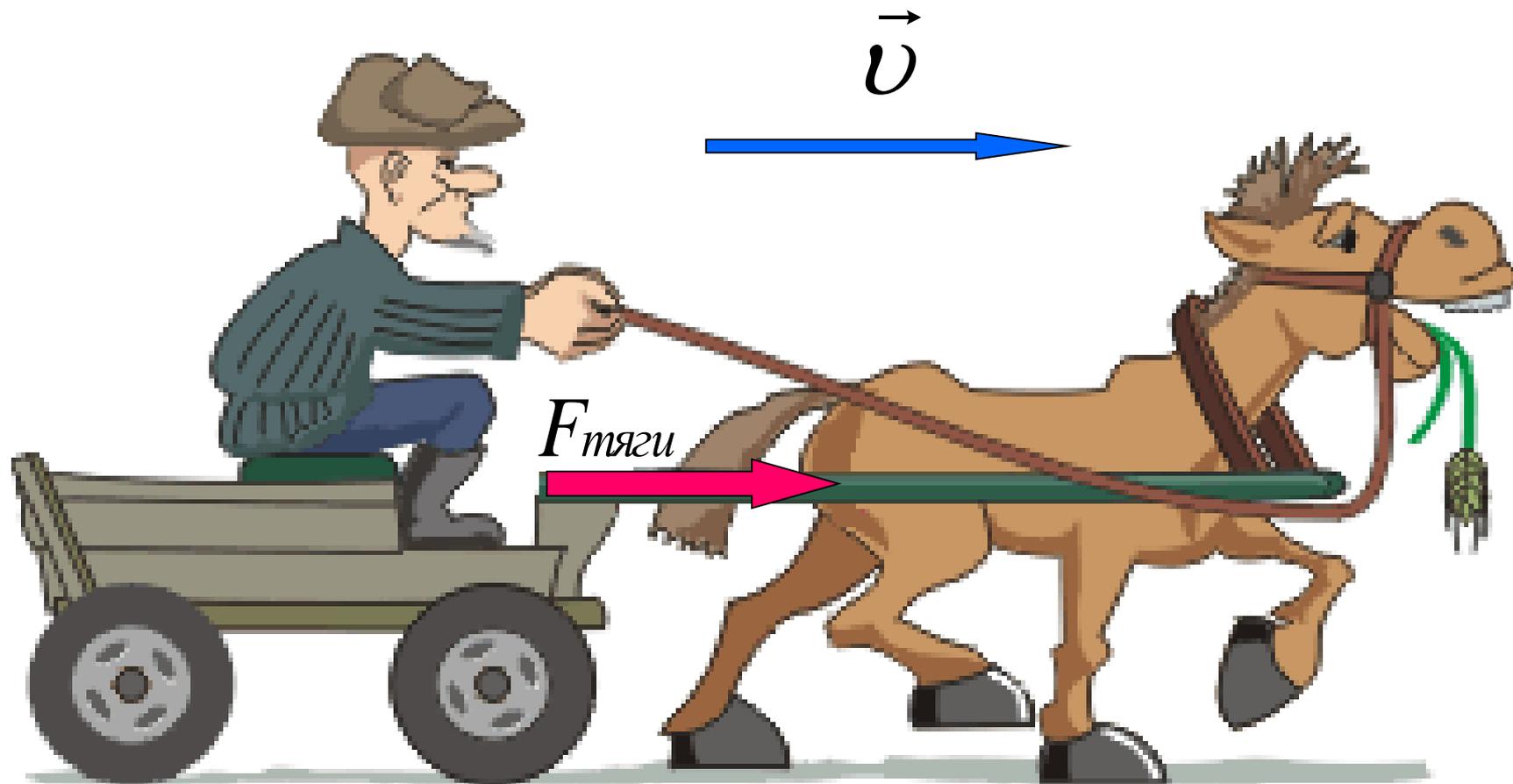
- Изучите закономерности вращательного движения с помощью моделирующей программы (Java-апплета)
  - [СВОБОДНОЕ ВРАЩЕНИЕ СИММЕТРИЧНОГО ВОЛЧКА](#)
  - [СВОБОДНОЕ ВРАЩЕНИЕ ОДНОРОДНОГО ЦИЛИНДРА \(СИММЕТРИЧНОГО ВОЛЧКА\)](#)
  - [ВЫНУЖДЕННАЯ ПРЕЦЕССИЯ ГИРОСКОПА](#)
- Определите собственный момент инерции методом физического маятника, используя образовательные ресурсы сети Интернет.
- Выполните экспериментальное исследование «Определение положения центра масс и моментов инерции тела человека относительно анатомических осей».

Будьте наблюдательны!

# **МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. МОЩНОСТЬ**

Лекция 1.6

# Механическая РАБОТА

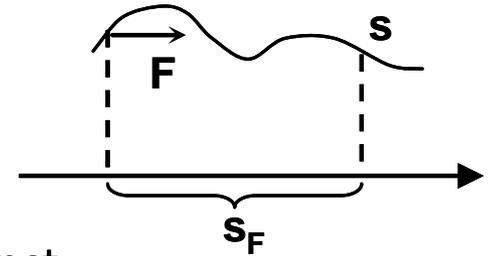


# Механическая работа

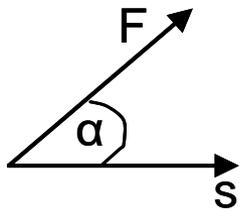
**Механическая работа** – это скалярная величина, равная скалярному произведению проекции силы  $\vec{f}$  на направление перемещения  $\vec{r}$  и пути, проходимого точкой приложения силы:

$$1\text{Дж}=1\text{Н}\cdot 1\text{м}=1\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2.$$

$$A = \vec{f} \cdot \vec{r}$$



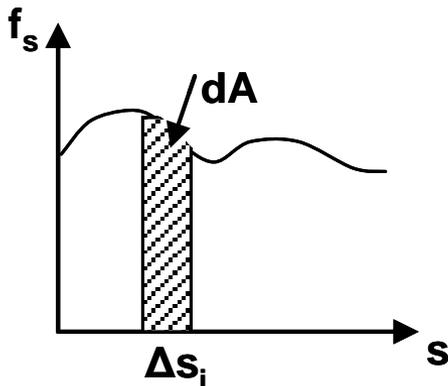
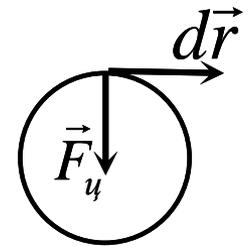
$$A = f_s \cdot s = f \cdot s \cdot \cos\alpha, \text{ если } \alpha = \text{const}, \text{ то и } f_s = \text{const}$$



$\alpha$  – острый, то  $\cos\alpha > 0$ , следовательно  $A > 0$ .

$\alpha$  – тупой,  $\cos\alpha < 0$  и работа  $A < 0$

$\alpha = \pi/2$ ,  $\cos\alpha = 0$ , и работа  $A = 0$



$$f_s \neq \text{Const}$$

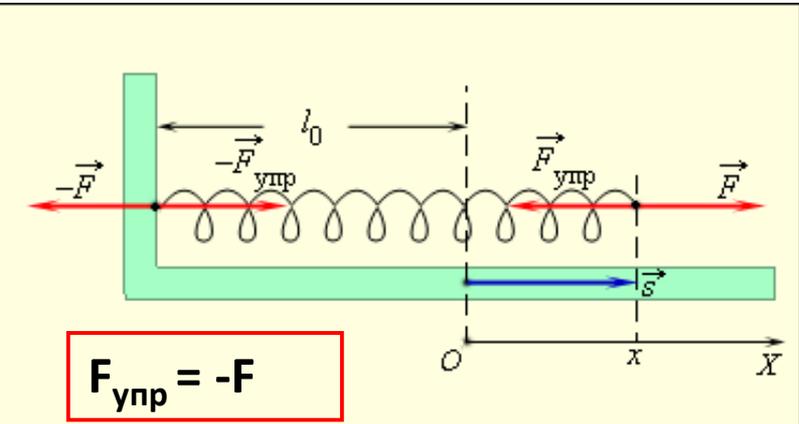
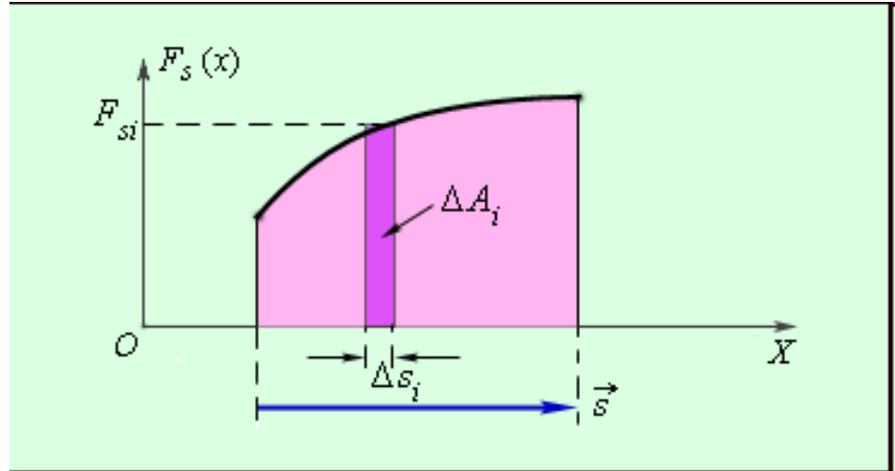
$$dA = \lim_{\Delta s_i \rightarrow 0} \sum f_{s_i} \Delta s_i$$



$$A = \int_s f_s \cdot ds$$

Графически работа определяется по площади криволинейной фигуры под графиком  $F_s(x)$

$$\Delta A_i = F_{si} \Delta s_i$$

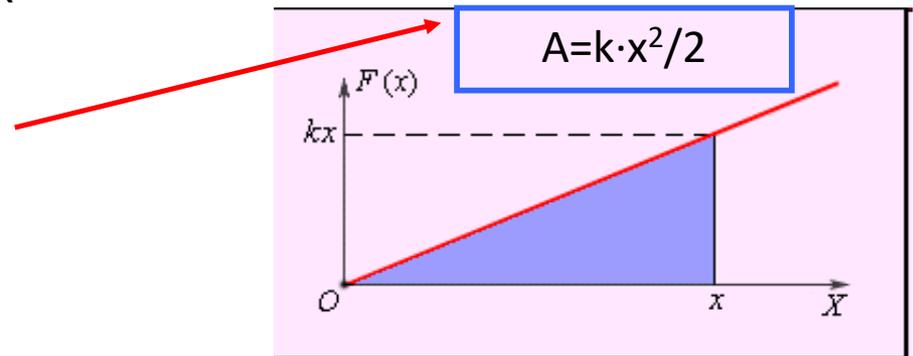


$$F_{\text{упр}} = -F$$

Растянутая пружина. Направление внешней силы совпадает с направлением перемещения  $k$  – жесткость пружины.

$$F_s = kx$$

Этой же формулой выражается работа, совершенная внешней силой при сжатии пружины. В обоих случаях работа упругой силы равна по модулю работе внешней силы и противоположна ей по знаку.



Зависимость модуля внешней силы от координаты при растяжении пружины

# Единицы измерения работы

За единицу работы принимают работу  $A$ , совершаемую силой  $F$  в 1Н, на пути  $S$ , равном 1м

$$1 \text{ Джоуль} = 1 \text{ Ньютон} * 1 \text{ метр}$$

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж} \quad 1 \text{ Дж} = 0,001 \text{ кДж}$$

$$1 \text{ МДж} = 1000000 \text{ Дж}$$

# Мощность.

**мощность** – величина, показывающая какая работа совершается в единицу времени и равная

$$W = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$1\text{Дж}/1\text{сек} = \mathbf{1\text{Вт}}.$$

# Мощность

Мощность  $N$  – это работа... за  $t = 1\text{c}$

$$N = A/t$$

$$N = \vec{F} * \vec{V}$$

# Единицы измерения мощности

За единицу мощности принимают работу  $A$  в 1 Джоуль, совершаемую за 1 секунду.

$$1 \text{ Ватт} = \frac{1 \text{ Джоуль}}{1 \text{ секунда}}$$

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$$
$$1 \text{ МВт} = 1000000 \text{ Вт}$$

# Потенциальное поле сил.

потенциальные - силы зависят только от положения тела в пространстве

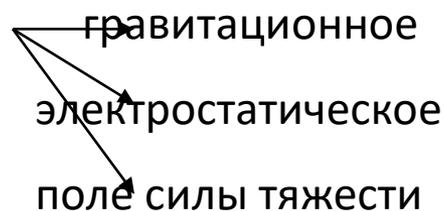
Силы, работа которых определяется только начальным и конечным положением тела в пространстве называются консервативными

Силы, работа которых **зависит** от пути, по которому тело переходит из одного положения в другое, называются неконсервативными.

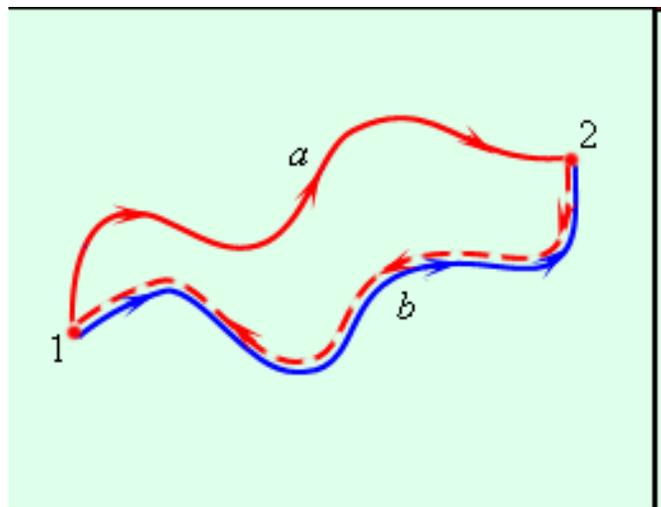
Консервативными системами называются такие системы, в которых действие внешних сил не приводит к переходу одного вида энергии в другой.

Диссипативными называются системы, в которых действие внешних сил приводит к переходу одного вида энергии в другой.

Потенциальное поле



Работа консервативных сил на замкнутой траектории равна **нулю**.



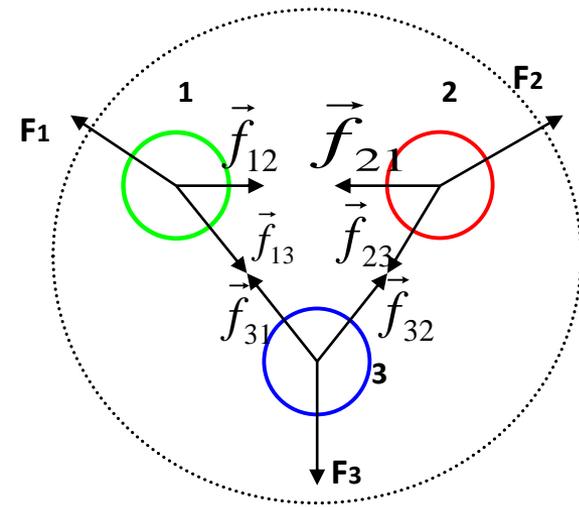
Работа сил трения

$$\Delta A = \vec{F} \cdot \vec{v} \cdot \Delta t = -F \cdot v \cdot \Delta t$$



**A < 0**

**неконсервативная сила**



$$\frac{d}{dt} \vec{k}_1 = \vec{f}_{12} + \vec{f}_{13} + \vec{F}_1$$

$$\frac{d}{dt} \vec{k}_2 = \vec{f}_{21} + \vec{f}_{23} + \vec{F}_2$$

$$\frac{d}{dt} \vec{k}_3 = \vec{f}_{31} + \vec{f}_{32} + \vec{F}_3$$

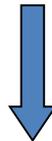
$$\frac{d}{dt} (\vec{k}_1 + \vec{k}_2 + \vec{k}_3) = \frac{d}{dt} \vec{k} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

$$\frac{d}{dt} \vec{k} = \mathbf{0}$$

**закон сохранения количества движения**: количество движения замкнутой системы не изменяется.

$$\vec{k} = m \cdot \vec{v}_c$$

центр инерции замкнутой системы либо движется прямолинейно и равномерно, либо остается неподвижным



***Инерциальные системы отсчета***