



## Раздел 1: Механика

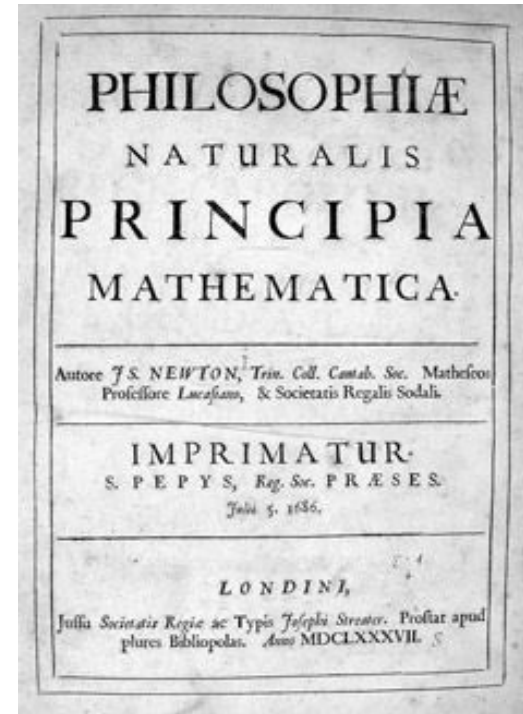
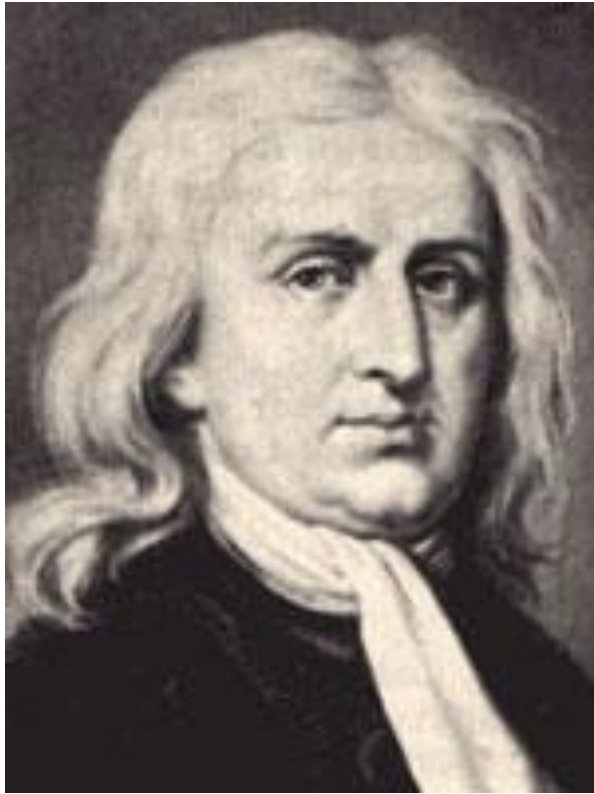
Тема1. Кинематика	2	2		
Тема2. ДПД	2	1		
Тема3. ДВД	3	2		
Тема4. Работа. Энергия		1	1	
Тема5. Элементы МСС		2	1	
Тема6. Релятивистская механика		1	1	

# Тема 1. Динамика поступательного движения



1. Законы Ньютона
2. Силы в механике.
3. Закон сохранения импульса.
4. Движение тела с переменной массой.

# И. Ньютон (1643 – 1727)



*«Математические начала  
натуральной философии»  
(1687 г.)*

# Инерциальные системы отсчета и первый закон Ньютона.



## *Определение 1:*

*Тело, не подверженное внешним воздействиям (в их сумме), называется свободным, а его движение – свободным движением или движением по инерции.*

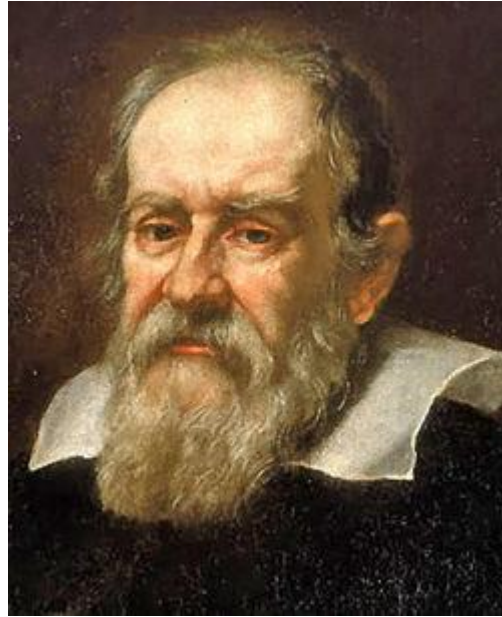
## *Определение 2:*

*Инерция – это способность тел сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.*

## *Первый закон Ньютона:*

*Существуют такие системы отсчета, называемые инерциальными, в которых тело покоится или движется прямолинейно и равномерно, если на него не действуют другие тела или их действие скомпенсировано.*

*Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока внешнее воздействие не заставит его изменить это состояние.*



*Впервые закон инерции был сформулирован Г. Галилеем (1632 г.). Ньютон обобщил выводы Галилея и включил их в число основных законов.*

# Динамические характеристики поступательного движения.



*Сила  $F$ , масса  $m$  и импульс  $p$ .*

*Сила  $\vec{F}$  – векторная величина, характеризующая меру механического воздействия на тело со стороны других тел или полей,  $[F] = Н = кг м/с^2$ .*

*Масса  $m$  – скалярная величина, характеризующая меру инертности тела.*

Импульс  $\vec{p}$  – векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость, характеризует способность механического движения передаваться от одного тела к другому.

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (1)$$

$$[p] = \text{кг} \cdot \text{м/с} = \text{Н} \cdot \text{с}$$



## Второй закон Ньютона



*Общая формулировка:*

*Скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе:* 
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad (2)$$

*В частном случае  $m = \text{const}$*

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} = \vec{F} \quad \Rightarrow \quad m\vec{a} = \vec{F} \quad (3)$$

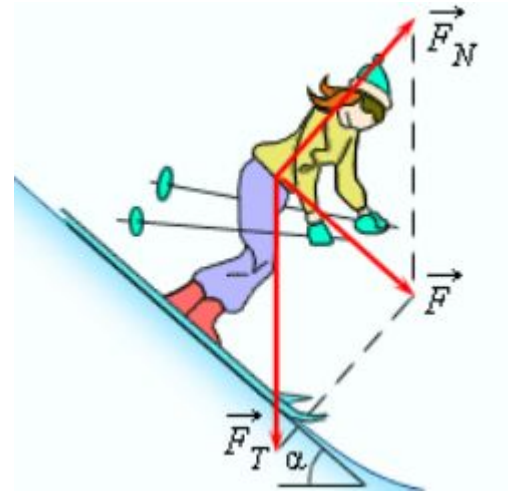
*Ускорение тела постоянной массы пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе.*

# Принцип независимости действия сил (суперпозиции)

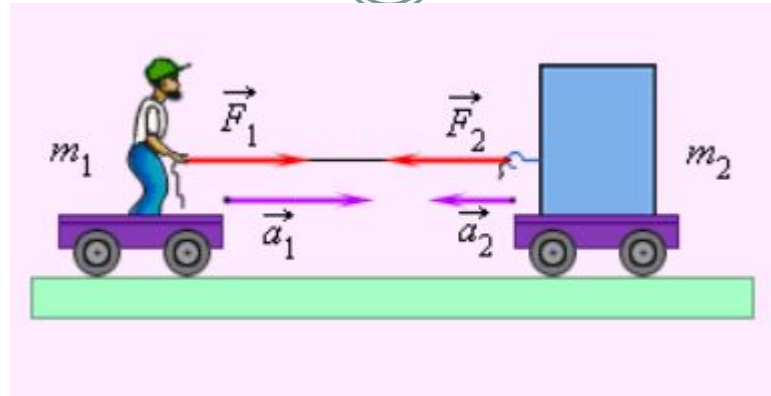


*Под силой во втором законе Ньютона подразумевается равнодействующая всех сил, действующих на тело.*

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$



# Третий закон Ньютона



*Два тела действуют друг на друга с силами, равными по величине и противоположными по направлению:*

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

$$F_{12} = F_{21}$$

## *Свойства сил взаимодействия:*

- *всегда появляются и исчезают парами;*
- *действуют вдоль прямой, проходящей через центры тел;*
- *приложены к разным материальным точкам (телам);*
- *являются силами одной природы.*

## 2 учебный вопрос: Силы в механике



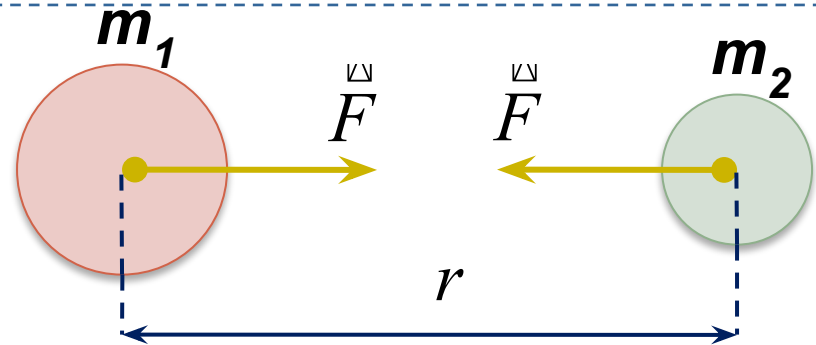
### Сила гравитационного притяжения

#### *Закон Всемирного тяготения Ньютона:*

*Между двумя материальными точками действуют силы взаимного притяжения, прямо пропорциональные массам этих точек и обратно пропорциональные квадрату расстояния между ними.*

$$F_{\text{тяг}} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

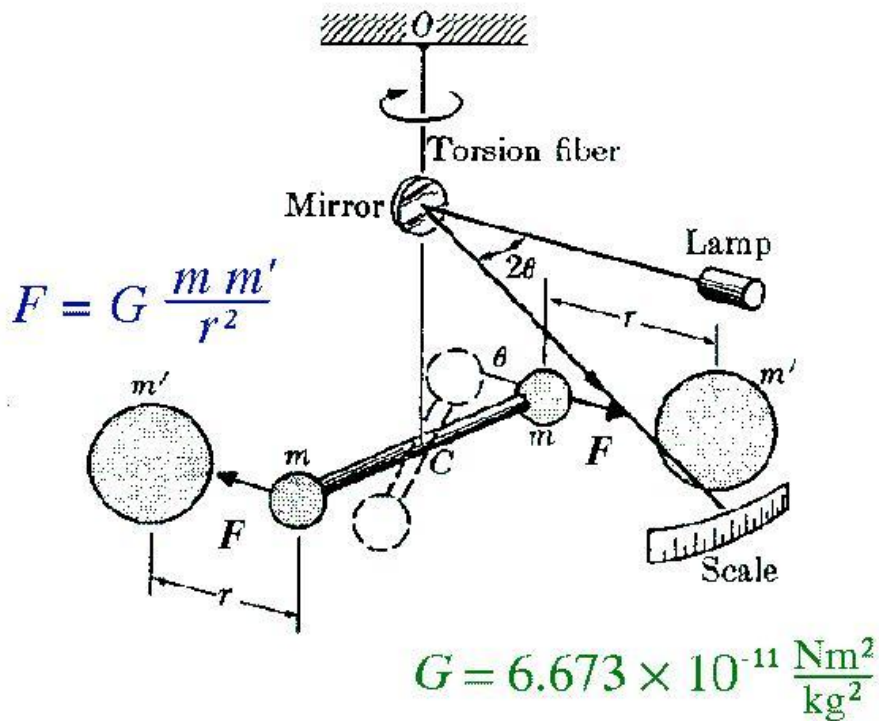
(4)



$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

– гравитационная постоянная

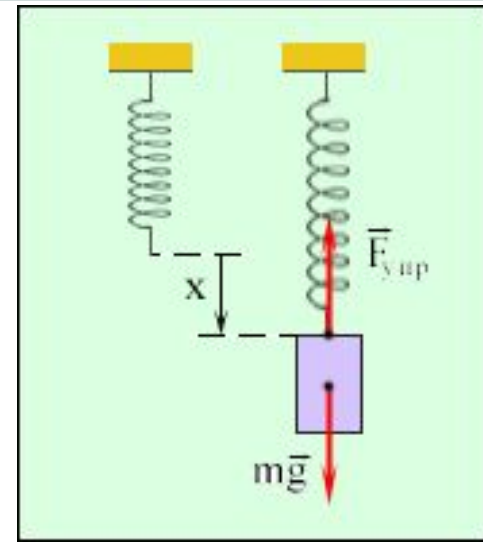
# Генри Кавендиш (1731 – 1810)



*H. Cavendish*

Упругая сила – сила, возникающая при упругой деформации тела.

Подчиняется закону Гука:



Упругая сила, возникающая при деформации сжатия или растяжения, пропорциональна величине деформации:

$$F_{упр} = -kx \quad (5)$$

$x$  – величина абсолютной деформации, [м];

$k$  – коэффициент упругости [Н/м].

## Силы трения:

*сухое и вязкое трение.*

*Сухое трение:*

*сила трения скольжения;  
сила трения покоя*

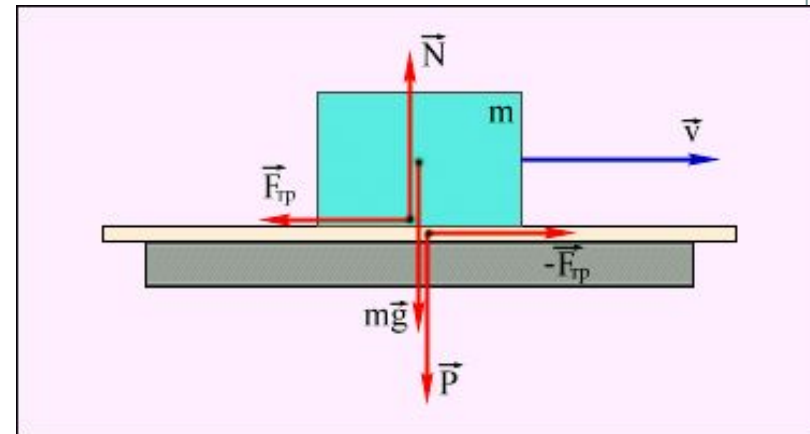
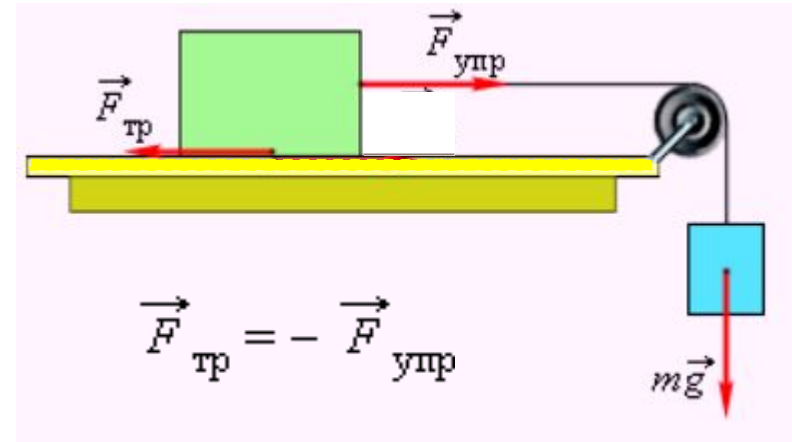
*Закон сухого трения:*

$$F_{тр} = k N \quad (6)$$

*$k$  – коэффициент трения;*

*$N$  – сила нормального*

*давления.*





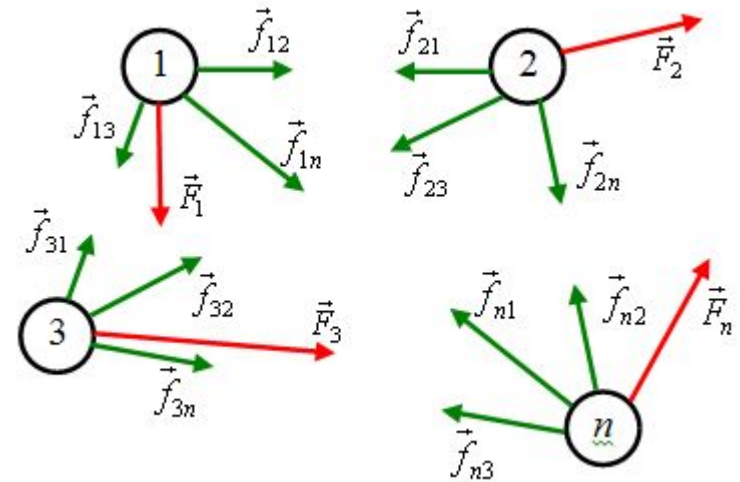
*Закон вязкого трения, зависит от относительной скорости трущихся слоев жидкости (газа) или скорости  $v$  движения тела.*

*При малых скоростях:* 
$$F_{тр} = -\alpha v. \quad (7)$$

*$\alpha$  – коэффициент вязкого трения, зависящий от формы тела.*

# 3 учебный вопрос: Закон сохранения импульса для механической системы

*Механической системой называется совокупность материальных тел (точек), рассматриваемых как единое целое.*



*Силы взаимодействия между материальными точками внутри системы называются внутренними.*

*Силы, с которыми на систему действуют внешние тела, называются внешними.*

Замкнутой (изолированной) называется система, на которую не действуют внешние силы, либо равнодействующая внешних сил равна нулю.

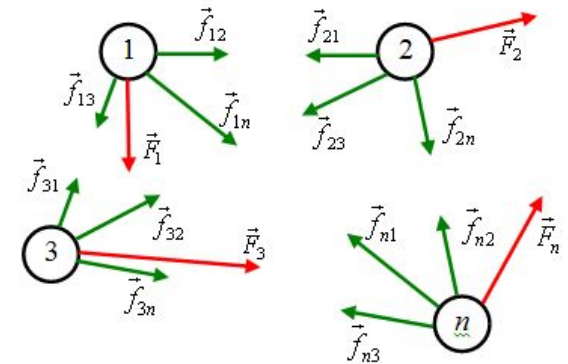
Пусть физическая система состоит из  $n$  материальных точек с массами  $m_i$  и скоростями  $\mathbf{v}_i$ .

$\vec{f}_{ik}$  - внутренние силы;

$\vec{F}_i$  - равнодействующая внешних сил

2-й закон Ньютона для  $i$ -й материальной точки:

$$\frac{d}{dt} (m_i \vec{v}_i) = \vec{F}_i + \vec{f}_i \quad (8)$$



$$\frac{d}{dt} (m_i \mathbf{v}_i) = \mathbf{F}_i + \mathbf{f}_i \quad (8) \quad \text{Просуммируем по частицам.}$$

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n (m_i \mathbf{v}_i) = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i + \sum_{i=1}^n \mathbf{f}_i \quad (8a)$$

По 3-му закону Ньютона  $\sum_{i=1}^n \mathbf{f}_i = 0$

$$\sum_{i=1}^n (m_i \mathbf{v}_i) = \mathbf{P} \quad - \text{импульс системы} \quad (9)$$

$$\Rightarrow \frac{d\mathbf{P}}{dt} = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i = \mathbf{F} \quad (10)$$

**Изменение импульса механической системы равно равнодействующей внешних сил.**

*Для замкнутой системы имеем закон сохранения импульса:*

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{P} = \sum_{i=1}^n (m_i \vec{v}_i) = \text{const} \quad (11)$$

*Суммарный импульс замкнутой системы тел остается постоянным.*



**Работать негры !!!**

# Центр масс



*Центром масс системы тел называется воображаемая точка  $C$ , положение которой характеризует распределение массы системы, а ее радиус-вектор:*

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_i (m_i \vec{r}_i)}{\sum_i m_i} = \frac{1}{m} \sum_i m_i \vec{r}_i \quad (12)$$

*Центр масс имеет смысл точки приложения всех действующих на систему массовых сил.*

## *Скорость центра масс*

$$\vec{V}_c = \frac{dr_c}{dt} = \frac{1}{m} \sum_i m_i \frac{dr_i}{dt} = \frac{1}{m} \sum_i m_i \vec{v}_i \quad (13)$$

*Из (11) и (13) следует* 
$$\vec{P} = m \vec{V}_c \quad (14)$$

*Импульс системы равен произведению массы системы на скорость ее центра масс*

*Из (10) и (14) следует* 
$$m \frac{d\vec{V}_c}{dt} = \vec{F} \quad (15)$$

*Центр масс движется как материальная точка, в которой сосредоточена масса всей системы, и на которую действует сила, равнодействующая внешних сил.*



# 4 учебный вопрос: Движение тела с переменной массой



*Для тела с переменной массой 2-й закон Ньютона:*

$$\frac{d}{dt}(m \vec{v}) = \vec{F} \quad \Rightarrow \quad m \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v} \frac{dm}{dt} = \vec{F} \quad (16)$$

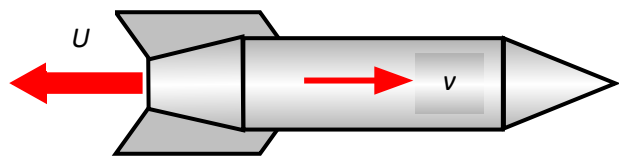


Рис.3

*Пусть  $m$  и  $v$  – масса ракеты и ее скорость в момент времени  $t$ , а  $U$  – скорость выброса частиц относительно ракеты*

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} - U \frac{dm}{dt} \quad \text{- уравнение Мещерского} \quad (17)$$

$$\boxed{F_p} = -U \frac{\boxed{dm}}{dt} \quad - \text{реактивная сила} \quad (18)$$

*Формула Циолковского описывает движение ракеты под действием только реактивной силы.*

$$m \frac{dv}{dt} = -U \frac{dm}{dt} \quad \Rightarrow \quad dv = -U \frac{dm}{m}$$

$$\Rightarrow \int_{v=0}^v dv = -U \int_{m_0}^m \frac{dm}{m} \quad \Rightarrow \quad v = U \ln \frac{m_0}{m} \quad (19)$$

*Ракета может быть разогнана до больших скоростей, необходимых для космических полетов. Но это может быть достигнуто только путем расхода значительной массы топлива.*

*Для достижения первой космической скорости  $v = v_1 = 7,9 \cdot 10^3$  м/с при  $U = 3 \cdot 10^3$  м/с стартовая масса одноступенчатой ракеты должна примерно в 14 раз превышать конечную массу.*

*Идея применения реактивной силы для движения ракет высказывалась Кибальчичем (1881 г.), опубликована Циолковским (1903 г.).*