



Раздел 1: Механика

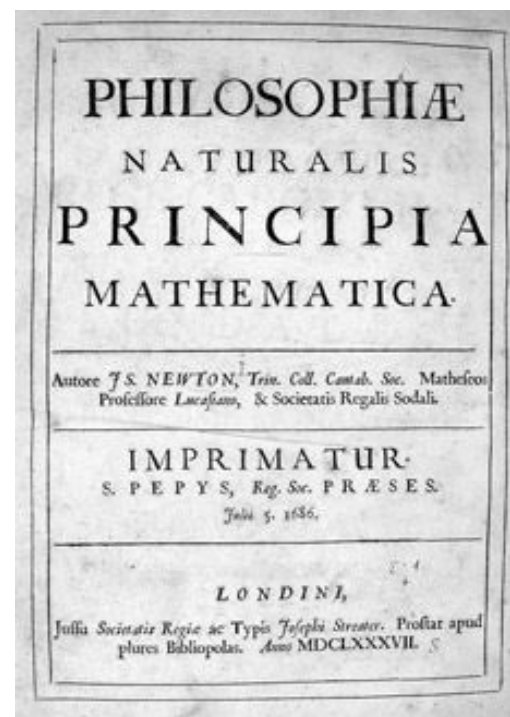
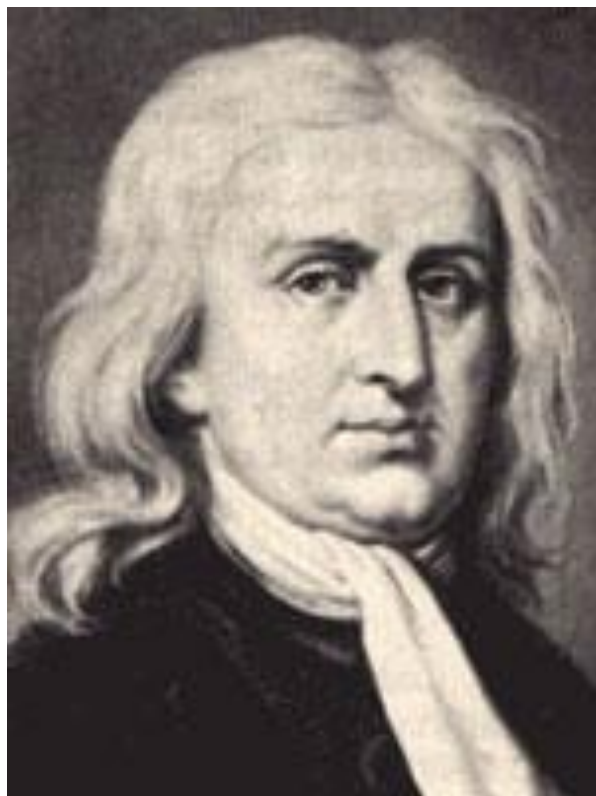
Тема1. Кинематика	2	2	
Тема2. ДПД	2	1	
Тема3. ДВД	3	2	
Тема4. Работа. Энергия		1	1
Тема5. Элементы МСС		2	1
Тема6. Релятивистская механика		1	1

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.

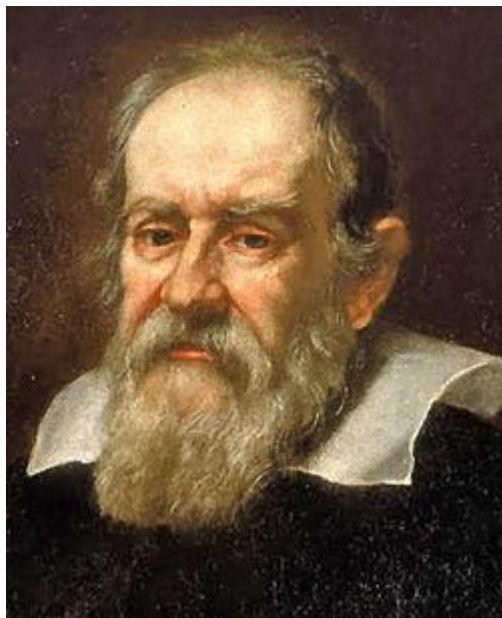
Определение 2:

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, $[F] = H = \text{кг м/с}^2$.

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: $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$ (2)

В частном случае $m = \text{const}$

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

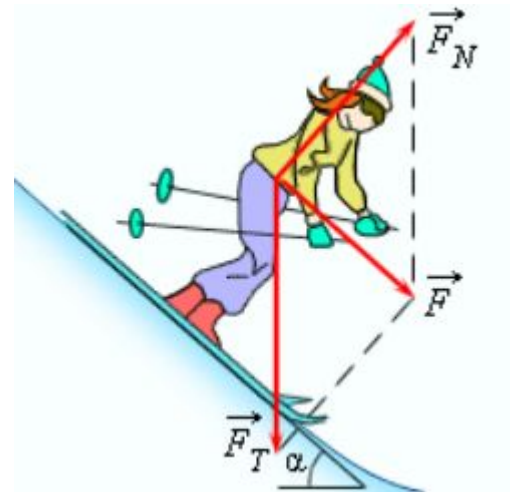
Ускорение тела постоянной массы пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе.

Принцип независимости действия сил (суперпозиции)

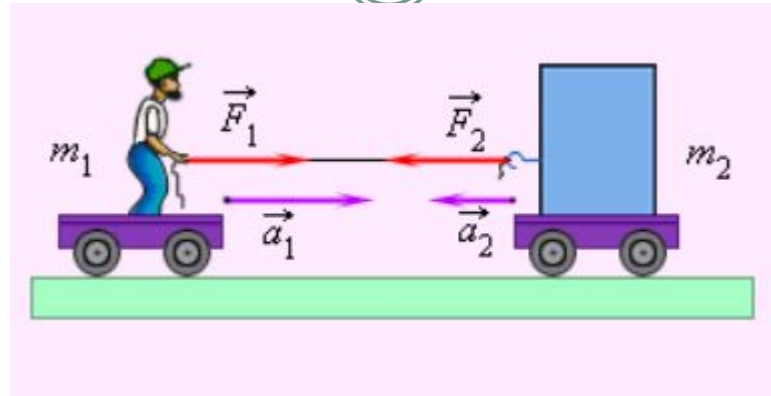


Под силой во втором законе Ньютона подразумевается равнодействующая всех сил, действующих на тело.

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



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.*

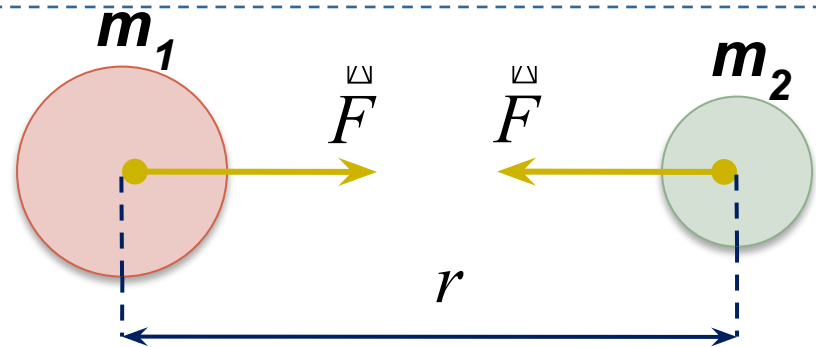
2 учебный вопрос: Силы в механике



Сила гравитационного притяжения

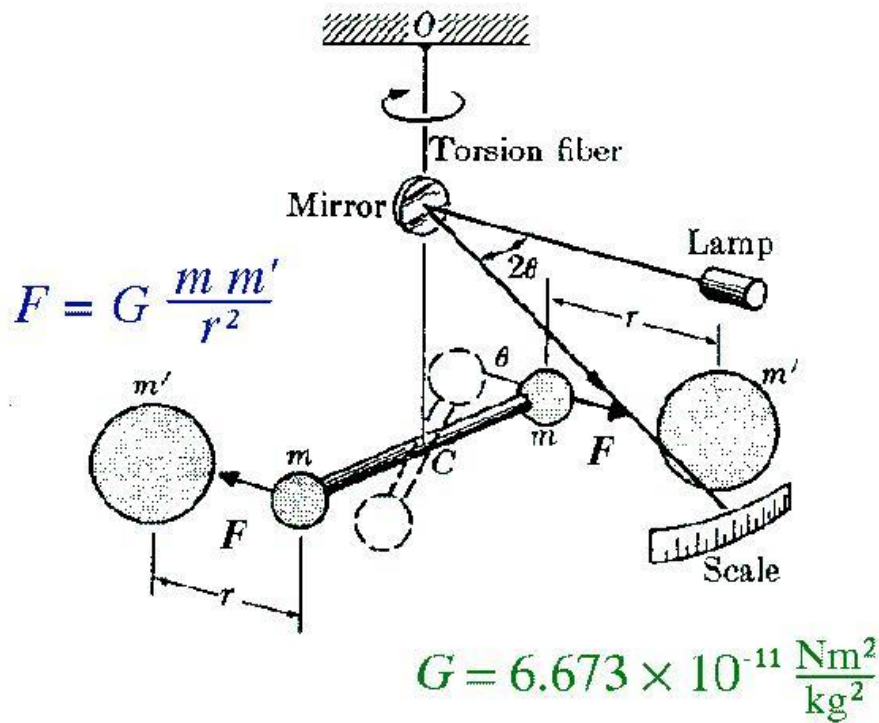
Закон Всемирного тяготения Ньютона:

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

$$F_{\text{тяг}} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (4)$$


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

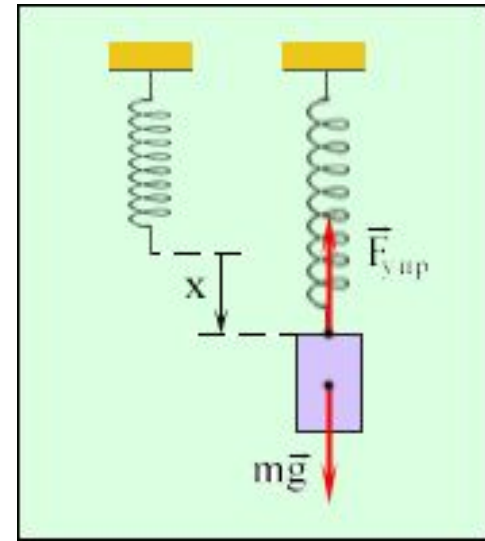
Генри Кавендиш (1731 – 1810)



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.

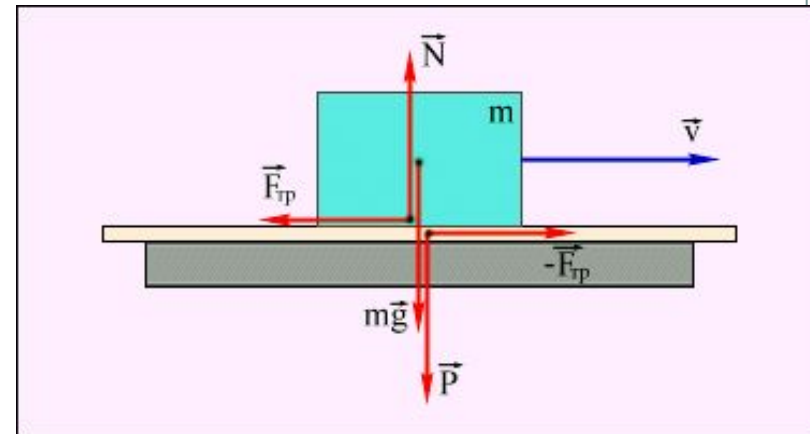
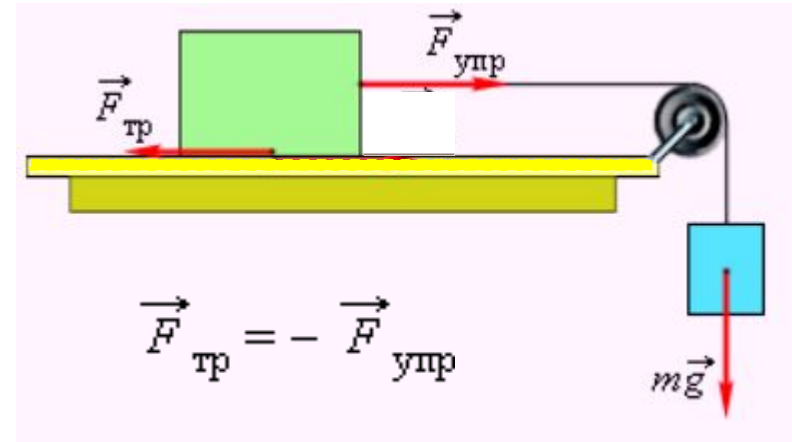
Сухое трение:

*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.

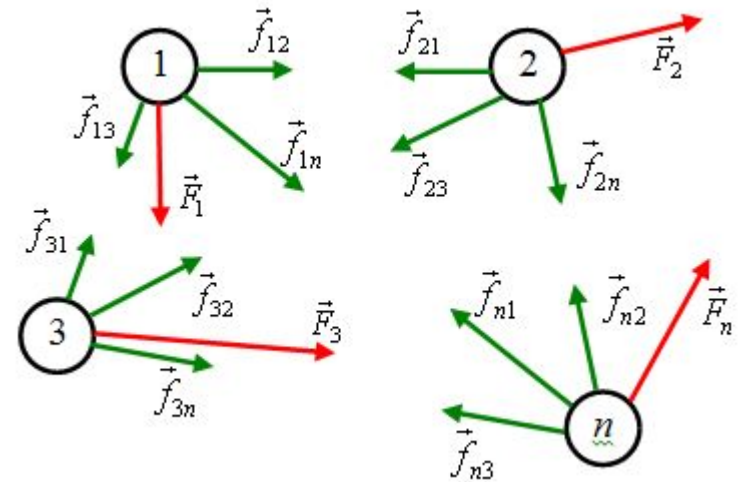
При малых скоростях:
$$F_{tr} = -\alpha v. \quad (7)$$

α – 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.

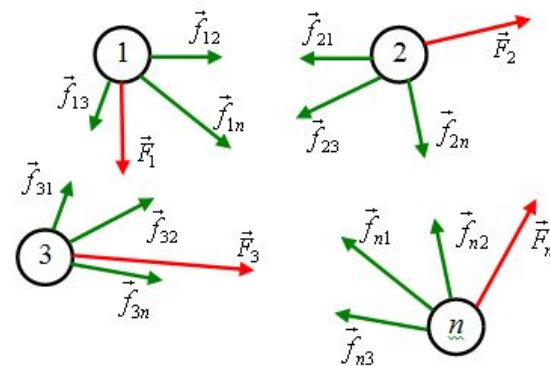
Пусть физическая система состоит из n материальных точек с массами m_i и скоростями $\mathbf{v}_i$.

$\mathbf{f}_{ik}$ - внутренние силы;

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Импульс системы равен произведению массы системы на скорость ее центра масс

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

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

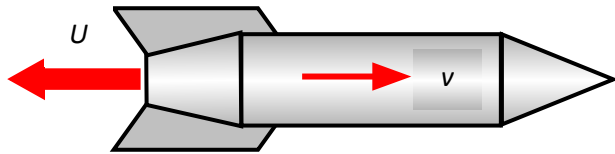


Рис.3

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

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

$$\vec{F}_p = -U \frac{dm}{dt} \quad \text{- реактивная сила} \quad (18)$$

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 Кибальчиком (1881 г.), опубликована Циолковским (1903 г.).