

# Концепции и модели физики

Кузьмичев Сергей Дмитриевич



# СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ №3

1. Динамика.
2. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона.
3. Фундаментальные взаимодействия.
4. Масса. Импульс частицы и системы частиц.
5. Второй закон Ньютона. Уравнение движения. Импульс силы.
6. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса.
7. Силы в механике.
8. Центр масс системы частиц. Теорема о движении центра масс.

# 1. Динамика

**Динамика** – это раздел механики, изучающий законы взаимодействия тел.

**Сила** – мера интенсивности взаимодействия тел, проявляющаяся в изменении их *количества движения*.

В основе классической динамики лежат **три закона Ньютона** (в переводе академика А.Н. Крылова):

- Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается внешними силами изменить это состояние.
- Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.
- Действию всегда есть равное и противоположное противодействие.

## 2. Инерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона.

**Свободное тело** – это тело, удаленное от других тел настолько, что практически не испытывает воздействия с их стороны.

**Первый закон Ньютона (современная трактовка):**

**Существуют** такие системы отсчета, в которых тело, не взаимодействующее с другими телами (свободное тело), сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (движение по инерции).

Они называются **инерциальными системами отсчета (ИСО)**.



Покой и свобода, Рокуэл Кент, Эрмитаж

## Геоцентрическая система отсчета

(система отсчета, в которой Земля неподвижна) не является инерциальной. Факты:

1. Звезды (удаленные объекты) совершают суточное **вращение** на небесном своде, т.е. движутся с ускорением.

2. При падении с высоты  $\approx 100$  м камень **отклоняется** к востоку на  $\approx 1$  см (в районе экватора).



3. Центростремительное ускорение точек поверхности Земли в районе экватора  $a = \omega^2 R = 0,34 \text{ м/с}^2 \Rightarrow 1 \text{ кг}$  на экваторе «легче», чем 1 кг на полюсе на 0,34 г.

4. В наших широтах плоскость качаний маятника Фуко поворачивается примерно на  $10^\circ$  за час.

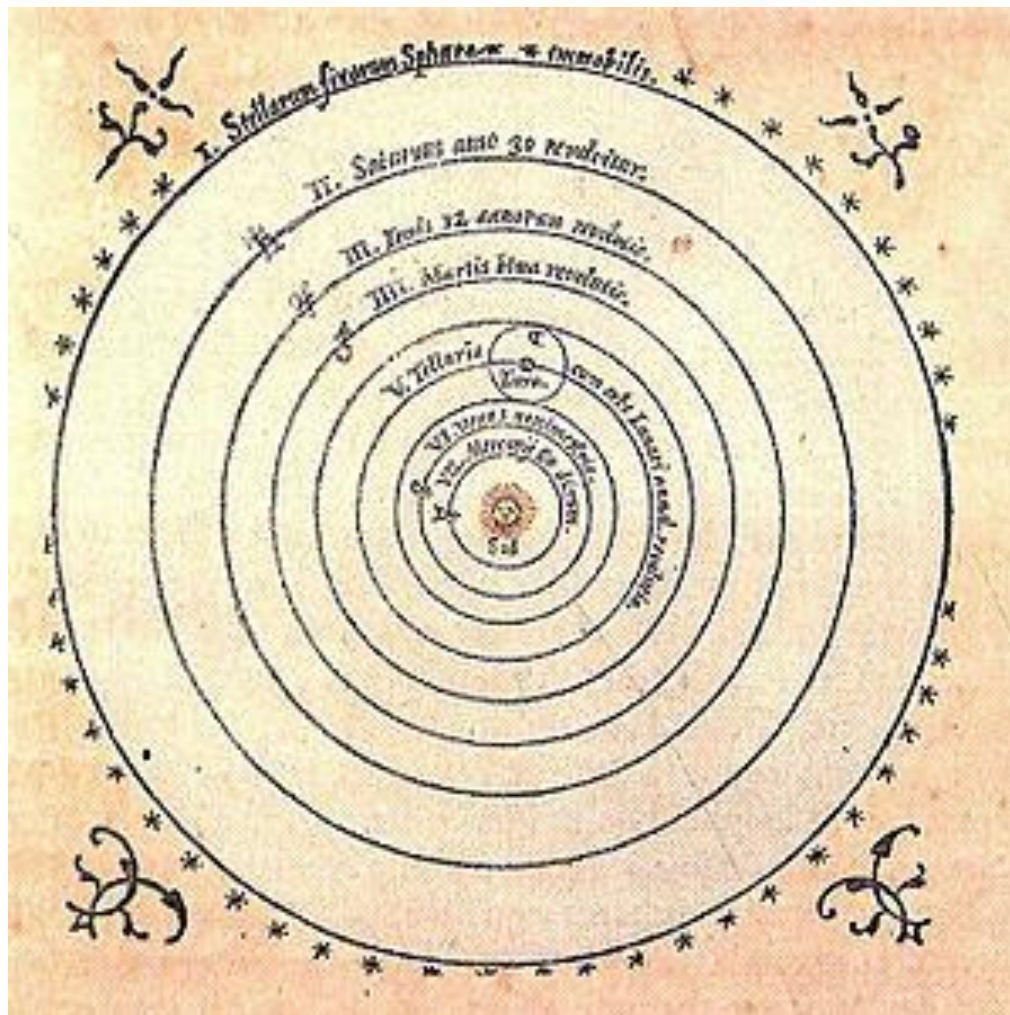


В 1851 г. В Парижском Пантеоне под куполом был подвешен металлический шар массой 28 кг с закреплённым на нём остриём на стальной проволоке длиной 67 м.

Период колебания маятника при такой длине подвеса составлял 16,4 секунды, за час плоскость колебаний маятника повернулась более чем на  $11^\circ$  по часовой стрелке, то есть примерно за 32 часа совершила полный оборот и вернулась в прежнее положение.



Гелиоцентрическая система отсчета (система Коперника) – начало отсчета помещено в **центр масс Солнечной системы**, координатные оси направлены на удалённые звезды.





# 3. Фундаментальные взаимодействия.

- **гравитационные;**
- **электромагнитные;**
- **сильные** или ядерные (обеспечивающее связь частиц в ядре);
- **слабые** (ответственное за многие процессы распада элементарных частиц).

В механике количественной мерой взаимодействия между телами является сила  $\vec{F}$ .

Силы могут зависеть от **взаимного расположения** взаимодействующих тел, а также от их **относительной скорости**.

Сила, действующая на тело, способна изменить его скорость, т.е. сообщить ему ускорение  $\vec{a}$ .

Сила, действующая на тело, способна деформировать тело, т.е. изменить его форму и размеры.

# 4. Масса. Импульс частицы и системы частиц.

**Инертность** - свойство тела «оказывать сопротивление» при попытках привести его в движение или изменить величину или направление скорости.

**Масса** – количественная мера инертности.

**Масса** – скалярная аддитивная величина.

В классической нерелятивистской механике масса не зависит от положения и скорости тела.



**Импульс материальной точки (частицы)**

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

**Импульс системы материальных точек (частиц)**

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 \quad (\text{для двух точек})$$



## 5. Второй закон Ньютона. Уравнение движения. Импульс силы.

В инерциальной системе отсчёта производная импульса материальной точки по времени равна действующей на неё силе

$$\dot{\vec{p}} = \vec{F}$$

При движении с нерелятивистскими скоростями

$$\dot{\vec{p}} = m\dot{\vec{v}} = m\ddot{\vec{r}} = \vec{F}, \quad \vec{a} = \vec{F} / m$$

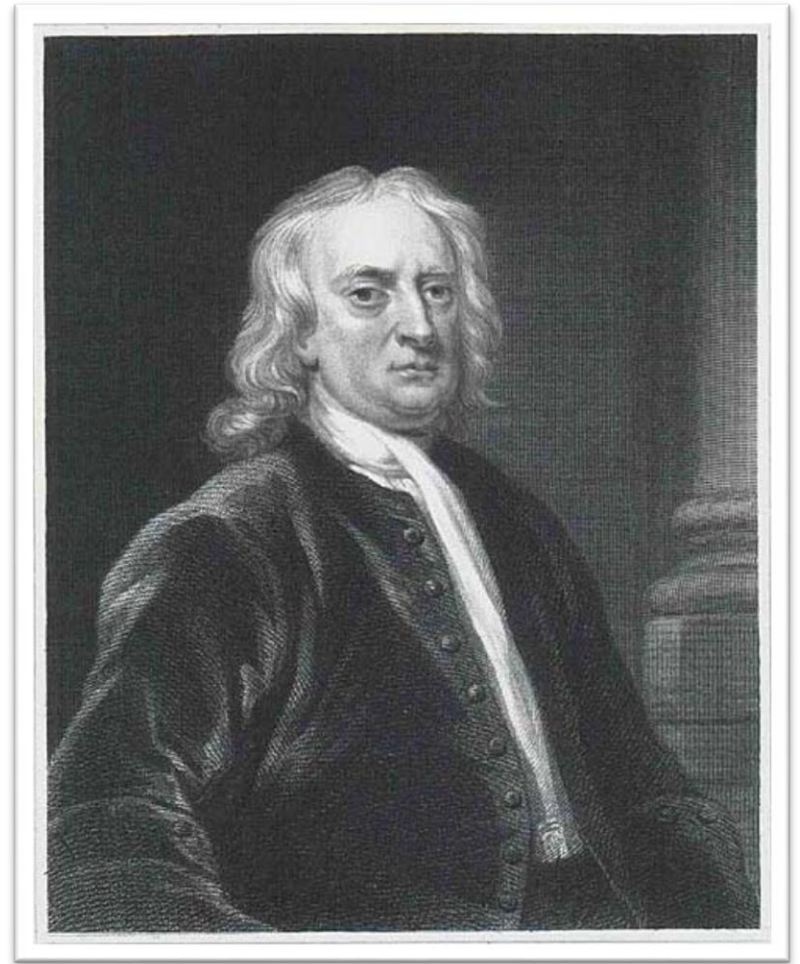
Уравнение движения материальной точки

$$m\ddot{\vec{r}} = \vec{F}$$

Состояние движения частицы в любой момент времени (координаты, скорость) однозначно определяются из решения уравнения движения по начальным условиям и закону взаимодействия её с окружающими телами

$$\vec{F}(t, \vec{r}, \vec{v})$$





Гороскоп VS НЬЮТОН

Изменение импульса материальной точки равно импульсу силы

$$\Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 = \int_{t_0}^t \vec{F}(\tau) d\tau$$

При одновременном действии на частицу нескольких сил

$$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$$

сила  $\vec{F}$  является их геометрической суммой и называется **равнодействующей** (принцип суперпозиции)

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$





## 6. Третий закон Ньютона. Закон сохранения импульса.

*Силы взаимодействия двух материальных точек равны по величине, противоположно направлены и действуют вдоль прямой, соединяющей эти две материальные точки*

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

Силы взаимодействия всегда возникают **парами**. Обе силы приложены к **разным** материальным точкам и являются силами **одной** физической природы.



Третий закон Ньютона в жизни

Суммарный импульс системы частиц

$$\vec{p}_{\Sigma} = \sum \vec{p}_i$$

Производная по времени от импульса системы материальных точек равна геометрической сумме всех внешних сил

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{p}_{\Sigma}}{dt} &= \sum \frac{d\vec{p}_i}{dt} = \\ &= \sum F_{i, \text{внутр}} + \sum F_{i, \text{внеш}} = \sum F_{i, \text{внеш}} = F_{\text{внеш}} \\ \sum \vec{F}_{i, \text{внутр}} &= 0 \end{aligned}$$

**Замкнутая или изолированная система тел** – система тел, взаимодействующих только друг с другом, и не взаимодействующих с другими телами.

Импульс **замкнутой** системы тел остаётся постоянным при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

Если геометрическая сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю, то импульс системы сохраняется, т.е. не изменяется во времени:

$$\vec{p}_{\Sigma} = \text{const}, \quad \sum \vec{F}_{i,\text{внеш}} = \vec{F}_{\text{внеш}} = 0$$

Если система  $K'$  движется поступательно с **постоянной скоростью**  $\vec{V}$  относительно системы  $K$  то:

$$\vec{v} = \vec{V} + \vec{v}'$$

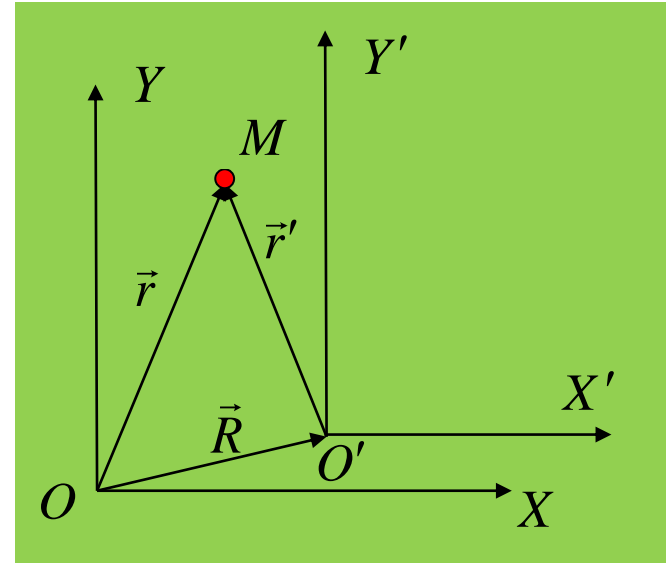
Ускорение инвариантно относительно преобразования Галилея

$$\vec{a} = \vec{a}_0 + \vec{a}' = \vec{a}'$$

Сила является функцией только инвариантных величин: разности координат и разности скоростей  $\Rightarrow \vec{F} = \vec{F}'$

Уравнения механики Ньютона инвариантны относительно преобразования Галилея:

$$m\vec{a}' = \vec{F}'$$



# 7. Силы в механике.

1. Однородная **сила тяжести** вблизи поверхности Земли (гравитационная природа):

$$\vec{F} = m\vec{g}$$

$$g_3 = \frac{GM_{\text{Земли}}}{R_{\text{Земли}}^2} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли.

$$g_L = \frac{GM_{\text{Луны}}}{R_{\text{Луны}}^2} = 1,64 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

ускорение свободного падения вблизи поверхности Луны





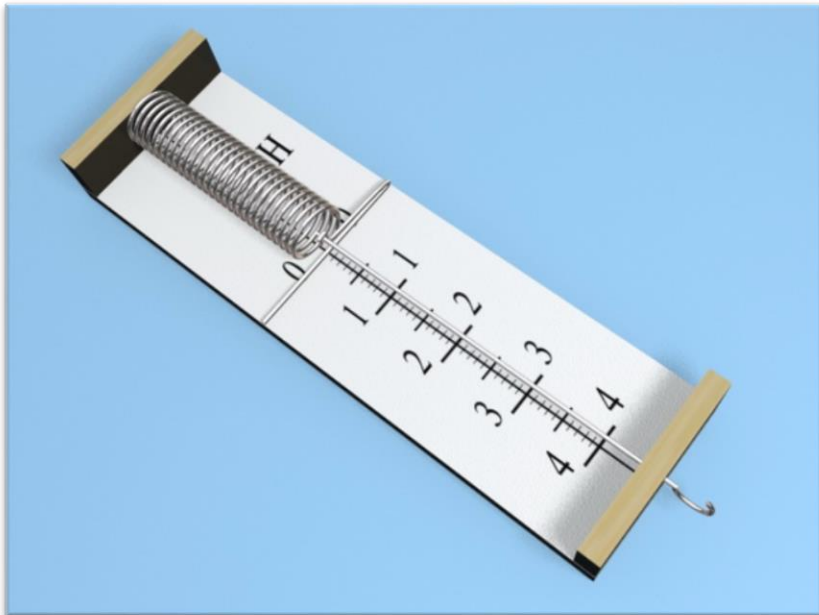
2. Действие силы может привести не только к изменению импульса тела, но и к его деформации.

**Силы упругости** (электромагнитная природа).

Закон Гука

$$F_{\text{упр},x} = -kx, \quad x = l - l_0$$

$x$  - деформация,  $k$  - жесткость (зависит от формы, размеров, материала).



3. **Сила сухого трения** (электромагнитная природа). Возникает на поверхности соприкосновения двух твердых тел. Направлена по касательной к соприкасающимся поверхностям.

а) **Сила трения покоя** препятствует возникновению относительного движения тел. Ограничена по величине

$$F_{тр,п} \leq F_{тр,маx} = \mu_n N$$

$\mu_n$  - коэффициент трения покоя,  $N$  - модуль силы реакции опоры.

б) **Сила трения скольжения** возникает при относительном проскальзывании тел. Направлена противоположно относительной скорости тела

$$F_{тр,ск} = \mu_{ск} N$$

$\mu_{ск}$  - коэффициент трения скольжения.



4. **Сила вязкого трения.** Возникает при движении твердого тела в жидкости или газе. Направлена в сторону, противоположную относительной скорости тела. В вязкой среде отсутствует трение покоя.

$$\text{а) } \vec{F}_{\text{сопр}} = -\beta \vec{v} ,$$

коэффициент  $\beta > 0$  зависит от формы, размеров тела и вязкости среды.

$$\text{б) } F_{\text{сопр}} = \alpha S v^2$$

- сила лобового сопротивления (при больших скоростях),  $S$ - площадь поперечного сечения тела.

5. **Сила трения качения.** Возникает при качении тела.



## 8. Центр масс системы частиц. Теорема о движении центра масс.

- *Положение центра масс:*

$$\vec{r}_C = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots + m_n \vec{r}_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{m}, \quad m = \sum m_i$$

- *Скорость центра масс:*

- $$\vec{u}_C = \frac{\sum m_i \vec{u}_i}{m}$$

- *Импульс системы:*

$$\vec{p}_\Sigma = \sum m_i \vec{u}_i = m \vec{u}_C$$



# Теорема о движении центра масс

Центр масс системы движется как материальная точка, масса которой равна суммарной массе всей системы, а действующая сила — геометрической сумме внешних сил .

$$m \frac{d\vec{u}_c}{dt} = \Sigma \vec{F}_{\text{внеш},i}$$

- **Центр масс замкнутой системы частиц движется равномерно и прямолинейно.**
- **Инерциальная система отсчета, связанная с центром масс замкнутой системы, называется системой центра инерции, или С-системой.**
- **В С-системе полный импульс системы равен нулю**



# Перегрузки

Корабль «СОЮЗ»

Стартовая масса –

313 тонн

Общая сила тяги 4 двигателей –

3358 кН



Корабль «ПРОТОН»

Стартовая масса –

705 тонн

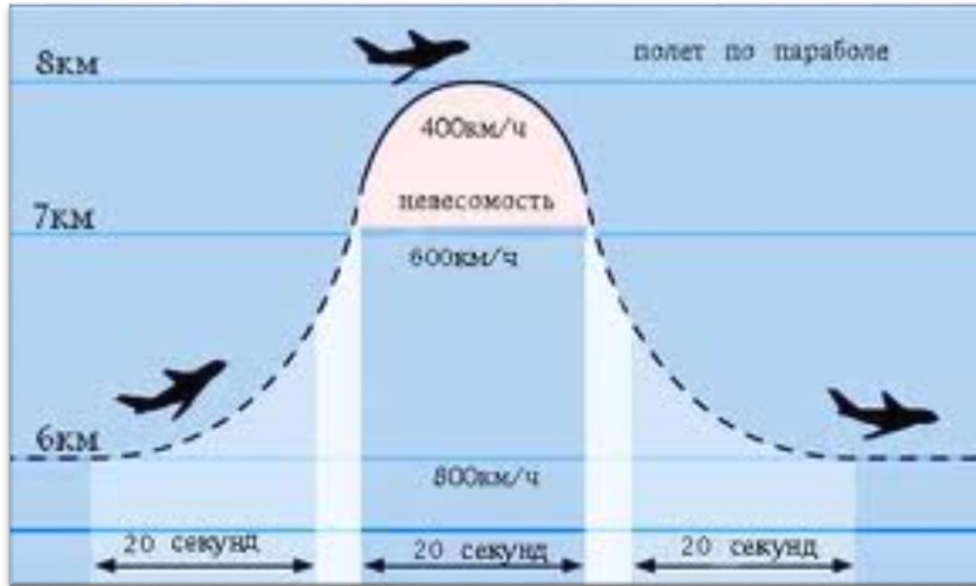
Общая сила тяги 6 двигателей –

61000 кН

# Невесомость



# Невесомость



# Столкновение



Масса – 57 г

Скорость – 251 км/ч

Время контакта с ракеткой – 5 мс

Сила - 711 Н  $\approx$  1250 сил тяжести