

Общая физика

Лекция 2 Динамика

Трушин Олег
Станиславович

Зав. лаб. ЯФ ФТИАН РАН,
Доц. каф. нанотехнологии в
электронике ЯрГУ

План лекции

- 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.

Причина движения?

Почему едут сани?



Аристотель считал, что причиной движения является внешнее воздействие. Если его убрать, то движение прекратится.

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.

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).

Примеры систем отсчета

- **Геоцентрическая** система отсчета (система отсчета, в которой Земля неподвижна) не является инерциальной.
- **Гелиоцентрическая** система отсчета (система Коперника) – начало отсчета помещено в центр масс Солнечной системы, координатные оси направлены на удалённые звезды.

Фундаментальные взаимодействия

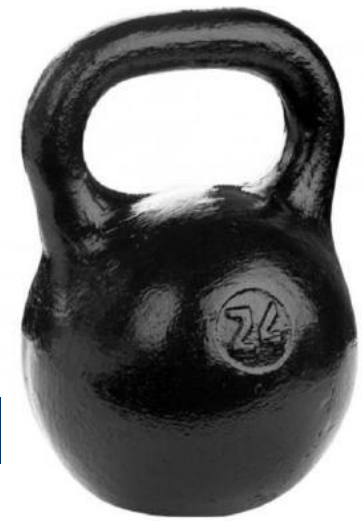
- гравитационные;
- электромагнитные;
- **сильные** или ядерные (обеспечивающее связь частиц в ядре);
- **слабые** (ответственное за многие процессы распада элементарных частиц).

Сила



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

Масса



- **Инертность** - свойство тела «оказывать сопротивление» при попытках привести его в движение или изменить величину или направление скорости.
- **Масса** – количественная мера инертности - m
- **Масса** – скалярная аддитивная величина.
- В классической нерелятивистской механике масса не зависит от положения и скорости тела.

Импульс



- **Импульс материальной точки** (частицы)

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

- **Импульс системы материальных точек** (частиц)

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i$$

Второй закон Ньютона

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

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

При движении с нерелятивистскими скоростями

$$\dot{\vec{p}} = m\dot{\vec{v}} = m\vec{a} = \vec{F}$$

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**

Равнодействующая



При одновременном действии на частицу нескольких сил Сила является их геометрической суммой и называется *равнодействующей* (принцип суперпозиции)

$$\vec{F} = \sum \vec{F}_i$$

Третий закон Ньютона



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

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

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

Система материальных точек

Суммарный импульс системы частиц

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

$$\dot{\vec{p}} = \sum \dot{\vec{p}}_i = \sum (\vec{F}_i^{\text{внешн}} + \vec{F}_i^{\text{внутр}}) = \sum \vec{F}_i^{\text{внешн}} + \cancel{\sum \vec{F}_{ij}^{\text{внутр}}}$$

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

$$\dot{\vec{p}} = \sum \vec{F}_i^{\text{внешн}}$$

Закон сохранения импульса

- **Замкнутая или изолированная система тел**—система тел, взаимодействующих только друг с другом, и невзаимодействующих 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:

$$\sum \vec{F}_i^{\text{внешн}} = 0 \quad \longrightarrow \quad \vec{p} = \sum \vec{p}_i = \text{const}$$

Центр масс системы частиц

Положение центра масс:

$$\vec{R}_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad m = \sum m_i$$

Скорость центра масс:

$$\vec{V}_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\vec{p}}{m}$$

Импульс системы:

$$\vec{p} = \sum m \cdot \vec{V}_C$$

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.

$$m\dot{\vec{V}}_C = \sum \vec{F}_i^{\text{внешн}}$$

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

Инвариантность механики

Если система K' движется поступательно с **постоянной скоростью** относительно системы K то:

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

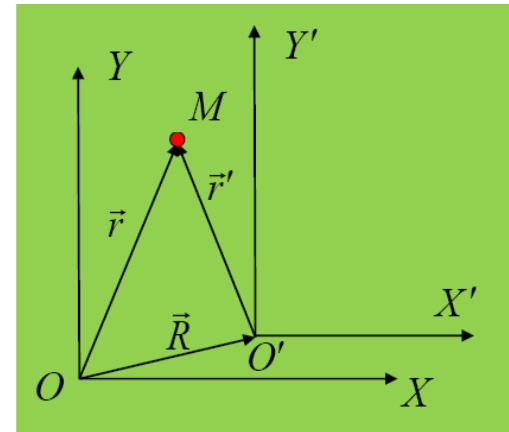
Ускорение инвариантно относительно преобразования Галилея

$$\vec{a} = \cancel{\vec{A}} + \vec{a}' = \vec{a}'$$

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

Уравнения механики Ньютона инвариантны относительно преобразования Галилея:

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



Силы в механике: Сила тяжести

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

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



$$g_3 = \frac{\gamma \cdot M_3}{R_3^2} = 9.8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$$

ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли.

$$g_L = \frac{\gamma \cdot M_L}{R_L^2} = 1.64 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$$

ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли.

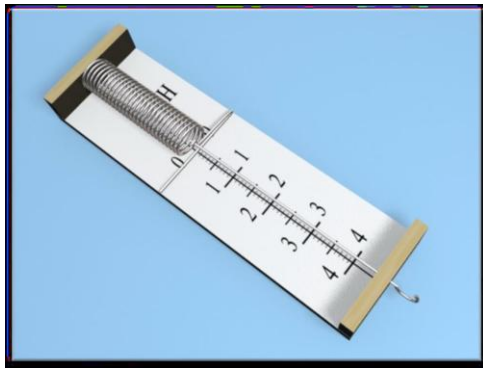
Силы в механике: Сила упругости

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

Силы упругости (электромагнитная природа). Закон Гука

$$F = -kx$$

$$x = l - l_0$$



k – жесткость

x - деформация

Силы в механике: Сила трения

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

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

$$F_{тр.ск} = \mu \cdot N$$

μ - коэффициент трения скольжения

N – модуль силы реакции опоры

Силы в механике: сила трения II

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.

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

коэффициент β зависит от формы, размеров тела и вязкости среды.

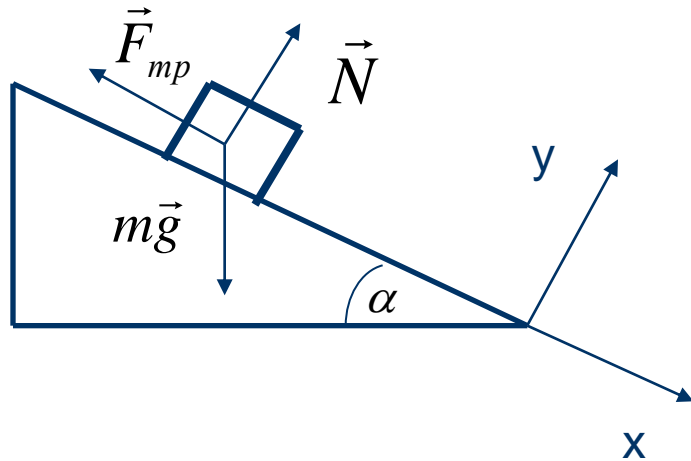
$$\text{б) } F_{\text{сопр}} = \alpha \cdot S \cdot v^2$$

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

Сила трения качения. Возникает при качении тела (колеса).



Пример задачи динамики I



$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mp}$$

Проецируем на оси координат:

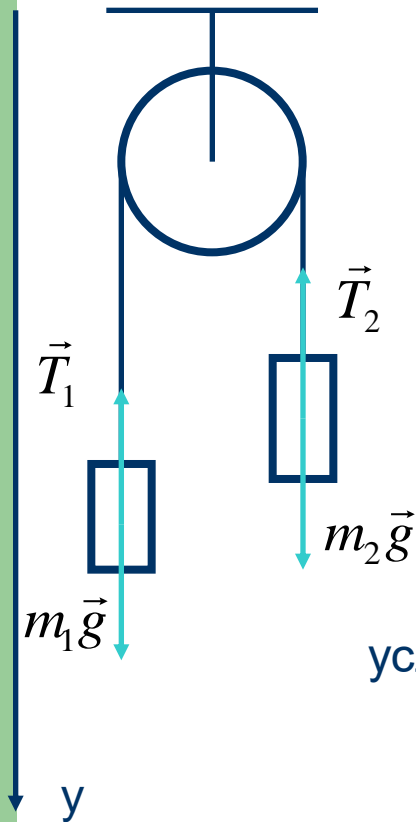
$$\begin{cases} ma_x = mg \cdot \sin \alpha - \mu \cdot N \\ 0 = -mg \cdot \cos \alpha + N \end{cases}$$

$$a_x = g \cdot \sin \alpha - \mu \cdot g \cdot \cos \alpha$$

Условие начала скольжения:

$$\operatorname{tg} \alpha = \mu$$

Пример задачи динамики II



$$m_1\vec{a}_1 = m_1\vec{g} + \vec{T}_1$$

$$m_2\vec{a}_2 = m_2\vec{g} + \vec{T}_2$$

Проецируем на оси координат:

$$\begin{cases} m_1 a_1 = m_1 g - T_1 \\ -m_2 a_2 = m_2 g - T_2 \end{cases}$$

условие не растяжимости нити:

$$a = \frac{(m_1 - m_2) \cdot g}{m_1 + m_2}$$

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$$

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$$

Реактивное движение. Уравнение Мещерского.

Закон сохранения (изменения) импульса для системы ракета + порция газа

$$d\vec{p} = \vec{F} \cdot dt$$

$$(m + dm)(\vec{v} + d\vec{v}) + dm_{\text{газ}} \cdot \vec{v}_{\text{газ}} - m\vec{v} = \vec{F} \cdot dt$$

$$dm \cdot d\vec{v} \approx 0 \quad \text{- в первом приближении пренебрегаем}$$

$$dm_{\text{газ}} = -dm$$

$$\vec{v}_{\text{газ}} = \vec{v} + \vec{u}$$

\vec{u} - скорость газов относительно ракеты

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -\vec{u} \cdot \frac{dm}{dt} + \vec{F}$$

Уравнение Мещерского
(уравнение динамики точки с переменной массой)

