
ЛЕКЦИЯ 2

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА. ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

1. Принцип относительности Галилея. Взаимодействия

Впервые закон инерции сформулировал Галилей.

Свободное пространство — пространство, свободное от действия полей сил. Тело в свободном пространстве — тело, свободное от каких-либо сил. Во Вселенной свободного пространства нет.

Принцип относительности Галилео Галилея: существуют такие системы отсчета, в которых все свободные тела движутся прямолинейно и равномерно. Такие системы отсчета называются **инерциальными**. Это, в принципе, и есть **Первый закон Ньютона**.

Сила — это мера интенсивности взаимодействия тел, проявляющаяся в изменении времени. Это причина движения тел. В последствии выведем, что это причина изменения импульса тела.

Существуют 4 типа **взаимодействия** тел:

1. Гравитационное взаимодействие (макроуровень).
2. Электромагнитное взаимодействие (микро- и макроуровень).
3. Слабое взаимодействие (между микрочастицами, микроуровень).
4. Сильное взаимодействие (между микрочастицами, микроуровень).

2. Масса. Закон сохранения импульса

В качестве меры инертности тел выступает **масса**.



Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

Замкнутая система — система из тел, взаимодействующих только между собой. Если существуют два тела, образующие замкнутую систему, то при их взаимодействии меняются их скорости по соотношению:

$$\frac{|\Delta\vec{V}_1|}{|\Delta\vec{V}_2|} = \frac{m_2}{m_1}$$

Отсюда следует:

$$m_1\Delta\vec{V}_1 = -m_2\Delta\vec{V}_2$$

Импульс тела (количество движения) — векторная мера движения тела. Импульс вычисляется по формуле:

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

$$\Delta(m_1\vec{V}_1) = -\Delta(m_2\vec{V}_2) \Rightarrow \Delta(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0$$

Суммарный импульс системы не изменится. Следовательно, для замкнутой системы действует **закон сохранения импульса**:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = const$$

Это верно только в классической механике, то есть когда $V \ll c$, где c — скорость света.

Формула для **релятивистского импульса** имеет следующий вид:

$$\vec{p} = \frac{m\vec{V}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

3. Второй закон Ньютона

Второй закон Ньютона гласит: сила, вызывающая изменение движения тела, есть скорость изменения импульса:

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

В случае постоянной массы:

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = m\vec{a} = \vec{F}, \quad \dot{\vec{p}} = \vec{F}$$

В проекциях на оси ДСК имеем три дифференциальных уравнения движения:

$$\begin{cases} \dot{p}_x = F_x \\ \dot{p}_y = F_y \\ \dot{p}_z = F_z \end{cases}$$

ДУ в проекции на ось x :

$$m\ddot{x} = \sum_{i=1}^n F_{ix}$$

Необходимо найти $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$.

Это прямая задача механики: при знании силы найти закон движения тела. Для этого необходимо знать начальные условия, т. е. знать при $t = 0$ значения x и \dot{x}



Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu

! Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

4. Третий закон Ньютона

Силы взаимодействия двух тел равны по модулю, противоположно направлены и имеют одну природу.

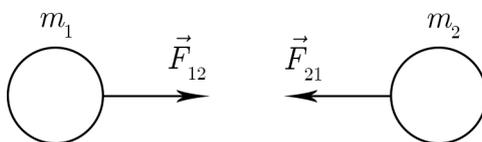


Рис. 2.1

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ (см. рис. 2.1), когда $V \ll c$

Проинтегрируем второй закон Ньютона:

$$\int d\vec{p} = \int_0^{\tau} \vec{F} dt$$

Правая величина называется импульсом силы.

5. Реактивное движение. Уравнение Мещерского

Реактивное движение — это движение тел с переменной массой.

Рассмотрим тело с массой m в ИСО K (см. рис. 2.2). Для данного момента времени t пусть тело имело массу m и скорость V .

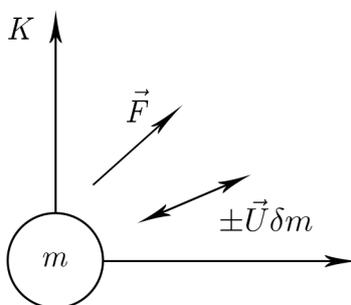


Рис. 2.2

По истечении времени dt тело лишится массы dm .

$$m d\vec{V} = \vec{F} dt + \vec{U} dm,$$

где U — относительная скорость отсоединения массы.

В итоге получаем уравнение, которое описывает движение тел переменной массы — **уравнение Мещерского**:

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} + \vec{U} \frac{dm}{dt} = \vec{F} + \vec{R},$$

где \vec{R} — реактивная сила.

Частные случаи:

! Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu



Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

Пример 1 Тележка с высыпавшимся песком (см. рис. 2.3). Здесь $U = 0$. Уравнение Мещерского:

$$m(t) \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F}$$

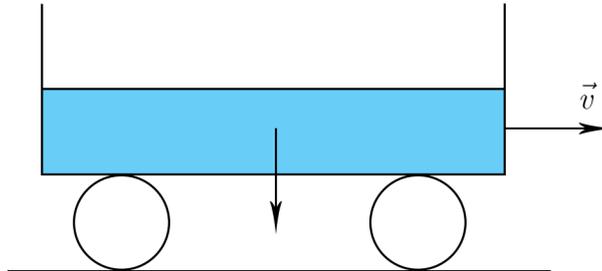


Рис. 2.3

Пример 2 Тележка, в которую сыпется песок (см. рис. 2.4). Уравнение Мещерского:

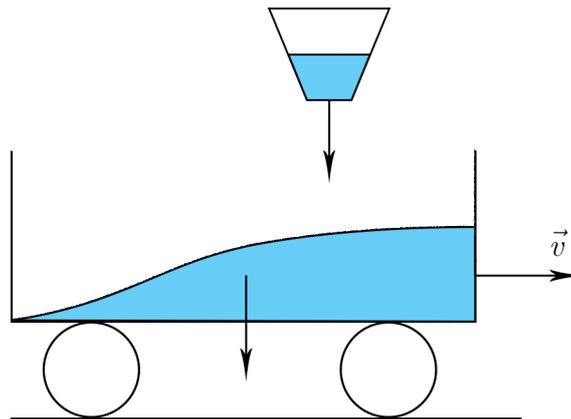


Рис. 2.4

$$\vec{U} = -\vec{V}, \quad m(t) \frac{d\vec{V}}{dt} + \vec{V} \frac{dm}{dt} = \vec{F}$$

6. Уравнение Циолковского



Рис. 2.5

U — скорость отделения газов (см. рис. 2.5).

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

! Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu

! Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

Тогда при интегрировании получится:

$$\int_{m_0}^{m(t)} \frac{dm}{m} = - \int_{V_0}^{V(t)} \frac{dV}{U}$$

$$\ln \frac{m(t)}{m_0} = - \frac{V(t)}{U} \Rightarrow \frac{m(t)}{m_0} = \exp\left\{-\frac{V}{U}\right\}$$

7. Механическая работа и энергия

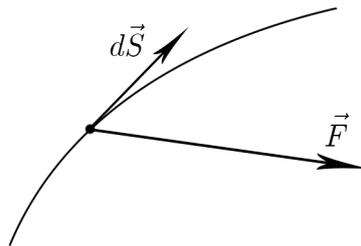


Рис. 2.6

Бесконечно малое количество работы на перемещении dS от силы F (см. рис. 2.6) равно

$$\delta A = (\vec{F} d\vec{S}).$$

Тогда полная работа равна:

$$A = \int_1^2 (\vec{F} d\vec{S})$$

Работа измеряется в Джоулях (СИ) или в эргах (СГС).

8. Мощность

Мощность — это работа, совершенная за единицу времени.

$$N = \frac{\delta A}{dt} = (\vec{F} \vec{V})$$

Мощность измеряется в Ваттах (СИ) или в эргах в секунду (СГС).

9. Кинетическая энергия

Рассмотрим движение точки за время dt (см. рис. 2.7). Пусть M — материальная точка.

Работа выражается через интеграл:

$$A = \int_1^2 (\vec{v} d\vec{p}) = m \int_1^2 (\vec{v} d\vec{v}) = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2}$$

! Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu



Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

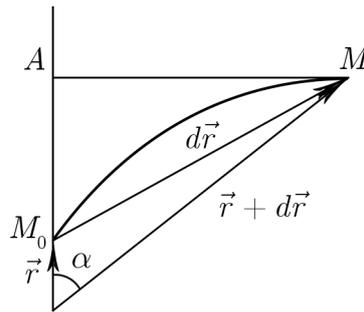


Рис. 2.7

Величина $K = \frac{mV^2}{2}$ — кинетическая энергия точки. Сила совершает работу, и эта работа идет на увеличение скорости.

У материальной точки есть две меры количества движения — **импульс** точки (векторная мера) и **кинетическая энергия** (скалярная мера).

10. Силовые поля

Силовое поле — это поле сил, которые определяются только координатами и временем: $\vec{F} = \vec{F}(x, y, z, t)$. Если силы определяются только координатами, то поле называется стационарным (пример: гравитационное поле): $\vec{F} = \vec{F}(x, y, z)$.



Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu