

Лекция 3

Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела

Вопросы

1. Фундаментальные взаимодействия.
2. Динамические характеристики поступательного движения.
3. Второй закон Ньютона.
4. Третий закон Ньютона.

1. Фундаментальные взаимодействия

В современной физике выделяют **четыре вида фундаментальных**, т.е. базовых, не сводящихся к каким-либо другим, взаимодействий:

- **сильное ядерное**, обеспечивающее связь частиц в атомном ядре – самое *интенсивное*, но *короткодействующее*: оно сказывается лишь на масштабах атомного ядра (порядка 10^{-15} м).

- **слабое ядерное**, ответственное за ряд процессов распада элементарных частиц – *малоинтенсивное* (порядка 10^{-13} от сильного ядерного) и также *короткодействующее*;

Оба ядерных взаимодействия определяют структуру *микромира*, тех кирпичиков, из которых «собран» наш привычный мир, *макромир*. Структура же макромира определяется двумя другими фундаментальными взаимодействиями. Все эффекты, встречающиеся в механике, имеют гравитационную или электромагнитную природу.

- **электромагнитное**, обеспечивающее стабильность атомов и молекул. Электромагнитное взаимодействие является весьма *интенсивным* (порядка 10^{-2} от сильного ядерного) и одновременно – *дальнодействующим*. Оно могло бы доминировать при галактических масштабах, но редко проявляет себя явным образом в макромире, поскольку встречающиеся в нем объекты, как правило, электрически нейтральны (имеют нулевой суммарный заряд).

- **гравитационное**, проявляющееся, например, как взаимодействие небесных тел и определяющее структуру Вселенной. Оно *малоинтенсивное* (порядка 10^{-38} от сильного ядерного), но *дальнодействующее*. Как и электромагнитное, гравитационное взаимодействие убывает обратно пропорционально квадрату расстояния между взаимодействующими телами

2. Динамические характеристики поступательного движения

К динамическим характеристикам поступательного движения относятся сила F , масса m и импульс p .

1. Сила (\vec{F}) – это векторная величина, характеризующая меру воздействия тел друг на друга, в результате чего эти тела деформируются или приобретают ускорение. Сила, как и любой вектор, характеризуется: *модулем, направлением и точкой приложения*.

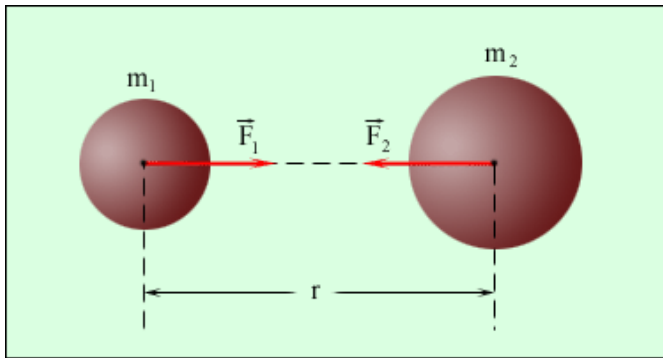


Рис.1. Схема к закону всемирного тяготения

1.1. Сила тяготения – сила взаимного притяжения, действующая между двумя материальными телами (точками); она обусловлена гравитационным взаимодействием между телами.

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ – гравитационная постоянная.

Закон всемирного тяготения был открыт **И. Ньютоном** в 1682 году. Еще в 1665 году 23-летний Ньютон высказал предположение, что силы, удерживающие Луну на ее орбите, той же природы, что и силы, заставляющие яблоко падать на Землю.

Применяя закон всемирного тяготения к случаю взаимодействия земного шара с телом массой m , расположенным вблизи земной поверхности на высоте h , получим

$$F = \gamma \frac{m M_3}{(R_3 + h)^2} \Rightarrow F = mg \Rightarrow g = \gamma \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}. \quad (2)$$

На Земле $g_3 = 9,8 \text{ м/с}^2$; на Луне $g_{\text{л}} = 0,17 g_3$.

1.2. Упругая сила – сила, возникающая при упругой деформации тела, подчиняется **закону Гука**:

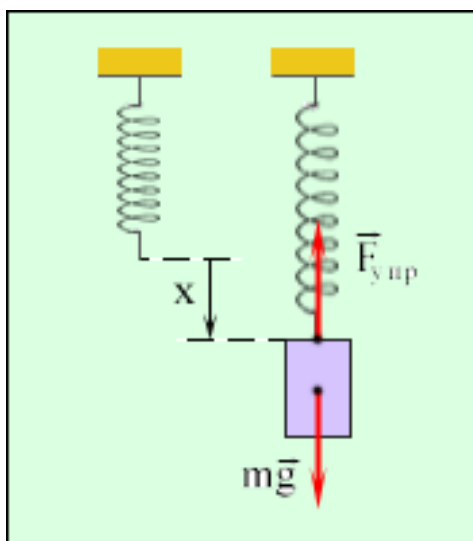


Рис.2. Упругое растяжение пружины

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

$$F_{\text{упр}} = -kx, \quad (3)$$

где x – величина абсолютной деформации, [м]; а k – коэффициент упругости [Н/м], зависящий от природы и геометрии тела; знак « $-$ » означает, что направление упругой силы всегда противоположно направлению смещения частей тела.

Упругие свойства тел проявляются также при деформациях кручения и изгиба.

1.3. Силы трения появляются при перемещении соприкасающихся тел или их частей друг относительно друга. Трение, возникающее при относительном перемещении двух соприкасающихся тел, называется **внешним**; трение между частями одного и того же сплошного тела (например, жидкости или газа) называется **внутренним**.

Трение между поверхностями двух твердых тел при отсутствии какой-либо прослойки, например смазки между ними, называется **сухим**.

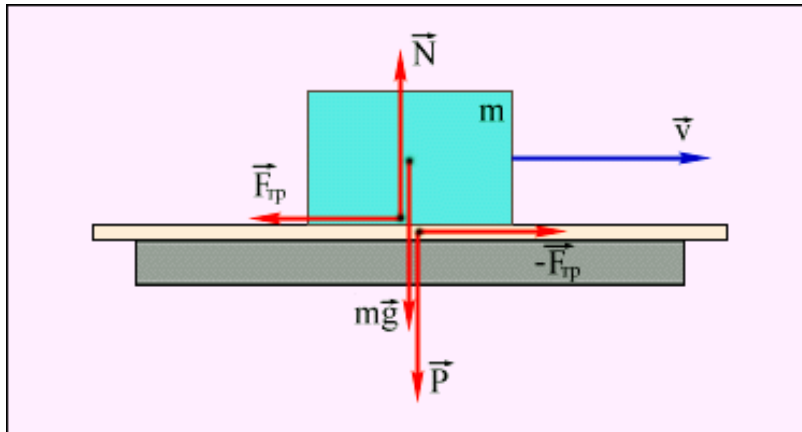


Рис. 3. Сила трения скольжения

Трение между твердым телом и жидкой или газообразной средой, а также между слоями такой среды называется **вязким**.

Силы трения направлены по касательной к трущимся поверхностям.

Для сухого трения:

- сила трения скольжения;
- сила трения покоя.

Закон сухого трения:

$$F_{\text{тр}} = k N, \quad (4)$$

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

$$F_{\text{тр}} = -\alpha v. \quad (5)$$

α – коэффициент вязкого трения, зависящий от формы тела; знак « $-$ » означает, что направление силы вязкого трения противоположно направлению движения.

2. Масса (m) – скалярная величина, характеризующая меру инертности тела.

Масса является аддитивной («складывающейся») величиной: **масса замкнутой системы, состоящей из n количества тел, равна алгебраической сумме масс составляющих данную систему тел.**

Кроме *инертной массы* отличают *гравитационную массу*, ответственную за интенсивность гравитационного взаимодействия тел. Однако согласно подтвержденному экспериментально **закону эквивалентности инертной и гравитационной масс** эти две характеристики равны друг другу.

В *ньютоновской механике* масса тела считается постоянной величиной, не зависящей от его скорости. Согласно *теории относительности* масса зависит от скорости:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \quad (6)$$

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

$$\vec{p} = m \vec{v}, \left[\text{кг} \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] \quad (7)$$

4. Импульс силы ($\vec{F}dt, [\text{Н} \cdot \text{с}]$) – векторная величина, численно равная произведению силы на время ее действия и совпадающая по направлению с направлением силы.

3. Второй закон Ньютона

Это основной закон динамики поступательного движения тела. является *второй закон Ньютона*. Его наиболее общая формулировка: **скорость изменения импульса тела равна действующей на него силе**

$$d\vec{p}/dt = \vec{F}. \quad (8)$$

В частном случае $m = \text{const}$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} = \vec{F} \Rightarrow m\vec{a} = \vec{F}, \quad (9)$$

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

Принцип независимости действия сил (суперпозиции)

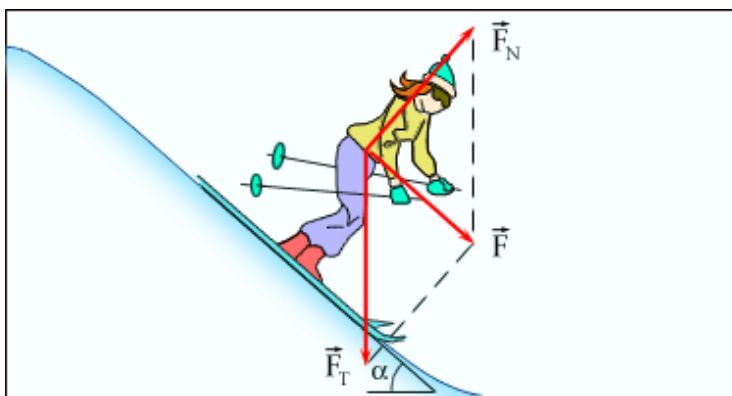


Рис. 4. К нахождению равнодействующей силы

Если на материальную точку действует несколько сил одновременно, то каждая из этих сил сообщает ей ускорение, определяемое 2-м законом Ньютона в предположении отсутствия других сил.

$$\vec{a} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \frac{\vec{F}}{m}, \quad (10)$$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \text{ — главный вектор системы или равнодействующая (резльтирующая)}$$

сила; n – количество сил.

4. Третий закон Ньютона

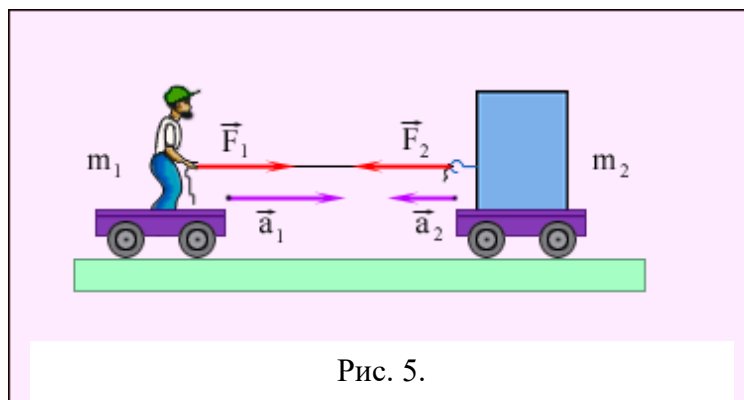


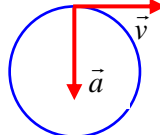
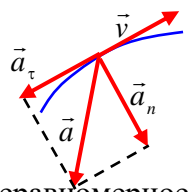
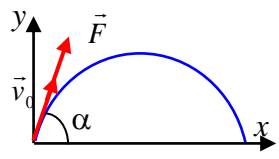
Рис. 5.

Суть *третьего закона Ньютона*: всякому действию есть равное и противоположное противодействие; иначе, **силы, с которыми взаимодействуют тела, равны по величине и противоположны по направлению**:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}. \quad (11)$$

Так как силы приложены к разным телам, они *не уравновешивают* друг друга. Такие силы называются *внутренними*.

Из второго закона Ньютона следует, что *вид движения* целиком определяется *видом действующей силы*. Частные случаи

Сила	Ускорение	Скорость	Путь	Вид движения
$\vec{F} = 0$	$\vec{a} = 0$	$\vec{v} = \text{const}$	$s = s_0 + v \cdot t$	Равномерное прямолинейное
$\vec{F}_\tau = \text{const}$, $\vec{F}_n = 0$	$\vec{a}_\tau = \text{const}$, $a_n = 0$ $\vec{a} \parallel \vec{v}$	$v = v_0 \pm a_\tau t$	$s = s_0 + v_0 t \pm \frac{ a_\tau t^2}{2}$	Равнопеременное прямолинейное
$\vec{F}_\tau = 0$ $\vec{F}_n = \text{const}$	$\vec{a}_\tau = 0$ $a_n = v^2/r$ $\vec{a} \perp \vec{v}$	$v = \text{const}$	$s = s_0 + v \cdot t$	 Равномерное по окружности
$\vec{F} = \text{const}$	$\vec{a} = \text{const}$ \vec{a} под углом к \vec{v}	$v = f_1(t)$	$s = f_2(t)$	 Неравномерное по кривой
Пример: тело, брошенное под углом к горизонту				
$\vec{F} = m\vec{g}$	$\vec{a} = \vec{g}$ $a_x = 0$ $a_y = -g$	$\vec{v} = f_1(t)$ $v_x = v_0 \cos \alpha$ $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$	$s = f_2(t)$ $x = v_0 t \cos \alpha$ $y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$	 Неравномерное по параболе