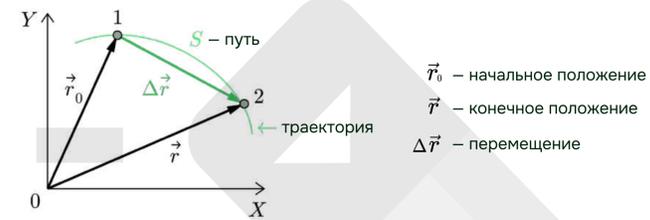


Кинематика

Материальная точка – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи

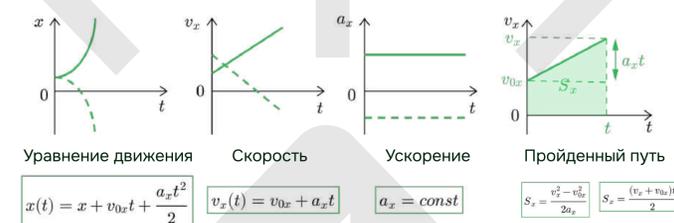
Система отсчета – тело отсчета вместе с жестко связанной с ним системой координат и часами



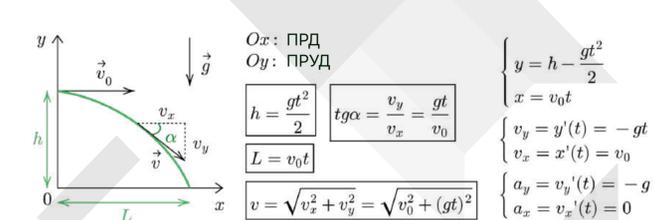
Прямолинейное равномерное движение



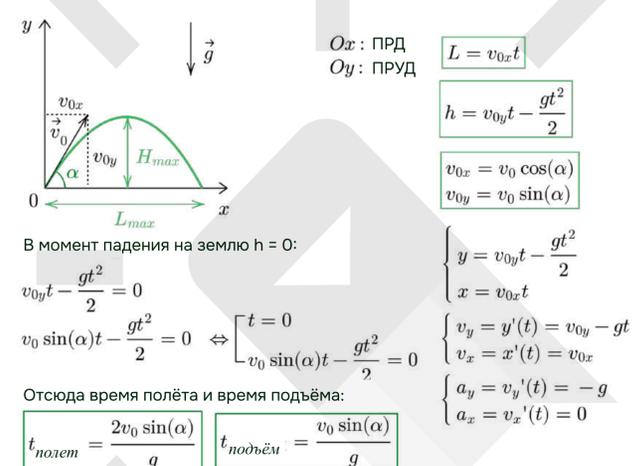
Прямолинейное равноускоренное движение



Баллистика Горизонтальное движение



Баллистика Движение под углом к горизонту



Дальность полёта:

$$L_{max} = v_{0x} \cdot t_{полет} = v_0 \cos(\alpha) \cdot \frac{2v_0 \sin(\alpha)}{g}$$

Высота подъёма:

$$H_{max} = v_{0y} \cdot t_{подъем} - \frac{gt^2_{подъем}}{2} = v_0 \sin(\alpha) \cdot \frac{v_0 \sin(\alpha)}{g} - \frac{g}{2} \cdot \frac{v_0^2 \sin^2(\alpha)}{g^2}$$

$$H_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

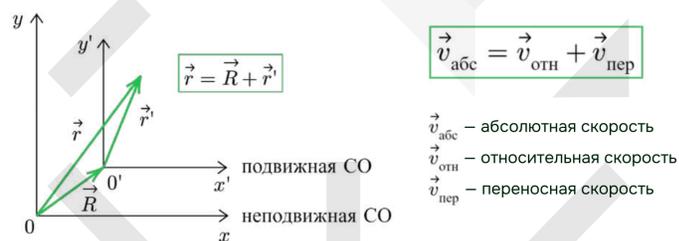
$$L_{max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Относительность движения

Абсолютная – скорость тела в неподвижной системе отсчета (СО)

Переносная – скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной

Относительная – скорость тела в подвижной системе отсчета



Правила перехода в подвижную СО

1. Находим относительную скорость, то есть к вектору $\vec{v}_{абс}$ прибавляем перевернутый вектор скорости того тела, в чью систему отсчета мы хотим перейти

$$\vec{v}_{отн} = \vec{v}_{абс} + (-\vec{v}_{пер})$$

2. В системе отсчета подвижного тела данное тело не движется

Криволинейное движение



Название	Формула	Направление	Когда появляется
Нормальное a_n ($a_{цс}$)	$a_n = \frac{v^2}{R}$ $a_n = \omega^2 R$	$\vec{a}_n \perp \vec{v}$, к центру окружности	Меняется направление вектора скорости \vec{v}
Тангенциальное a_τ	$a_\tau = v'(t)$ Если $a_\tau = const$: $a_\tau = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	По касательной к траектории, $\vec{a}_\tau \parallel \vec{v}$ Если $v \uparrow$: $\vec{a}_\tau \uparrow \parallel \vec{v}$ Если $v \downarrow$: $\vec{a}_\tau \downarrow \parallel \vec{v}$	Меняется модуль вектора скорости $ \vec{v} $ (меняется значение v)
Полное $a_{полн}$	$\vec{a}_{полн} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$ $a_{полн} = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$	Внутрь траектории	–

Равномерное движение по окружности



Динамика

Законы Ньютона

1. Существуют такие системы отсчета, называемые инерциальными (ИСО), относительно которых материальные точки, когда на них не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

2. В ИСО ускорение, которое получает материальная точка с постоянной массой, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе.

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_i}{m}$$

3. Два тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению. Эти силы имеют одну и ту же физическую природу и направлены вдоль прямой, соединяющей их точки приложения.

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

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

ШКОЛКОВО

Силы в механике

Гравитационная сила действует со стороны массивного тела (планета, спутник, звезда) по прямой. Точка приложения – центр масс данного тела.

Закон всемирного тяготения справедлив, если:

- тела являются однородными шарами
- одно из тел – однородный шар, а другое – материальная точка, находящаяся вне шара

$$F_{гр} = G \frac{Mm}{R^2}$$

Сила тяжести действует со стороны планеты Земля вертикально вниз, точка приложения – центр масс данного тела.

$$F_{тяж} = mg$$

Если тело на высоте h над поверхностью планеты, то для силы тяжести:

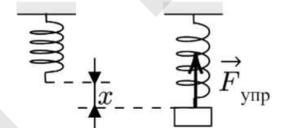
$$mg(h) = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

ШКОЛКОВО

Сила упругости действует со стороны деформированного упругого тела (пружины) противоположно деформации тела. Точка приложения – точка соприкосновения пружины и тела.

$$F_{упр} = -k\Delta x$$
 – закон Гука

$|F_{упр}|$ – модуль силы упругости. Знак минуса часто опускается при решении задач



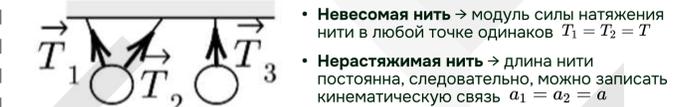
Сила нормальной реакции опоры действует со стороны деформированного тела (опоры), вдоль подвеса перпендикулярно поверхности опоры, в сторону уменьшения её деформации. Точка приложения – точка соприкосновения поверхностей.



Вес действует со стороны тела, которое лежит или висит на опоре противоположно силе реакции опоры. Точка приложения – к опоре.



Сила натяжения действует со стороны деформированного тела (нити) вдоль подвеса в сторону уменьшения его деформации. Точка приложения – точка соприкосновения нити и тела.



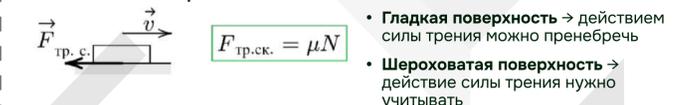
Сила трения покоя действует со стороны деформированного тела (опоры) при попытке его сдвинуть параллельно поверхности, противоположно действующей силе. Точка приложения – к телу, в точках соприкосновения.

$$F_{тр.п.} \leq \mu N$$

Максимальная величина силы трения покоя равна силе трения скольжения.

Коэффициент трения не зависит от площади соприкосновения поверхностей и скорости движения тел.

Сила трения скольжения действует со стороны деформированного тела (опоры) при движении, противоположно скорости движения тела относительно поверхности, противоположно действующей силе. Точка приложения – к телу, в точках соприкосновения



Сила трения скольжения направлена противоположно относительной скорости.



Законы сохранения импульса

Материальная точка – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи

Система отсчета – тело отсчета вместе с жестко связанной с ним системой координат и часами

Импульс материальной точки $\vec{p} = m\vec{v}$ $\left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \right]$

Импульс системы материальных точек $\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i$

Второй закон Ньютона в импульсной форме: изменение импульса системы равно векторной сумме импульсов внешних сил

$$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \vec{F}_{\text{внеш}} \Delta t$$

Импульс силы – векторная физическая величина, равная произведению силы на время её действия, мера воздействия силы на тело за данный промежуток времени

Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы тел остаётся постоянным с течением времени при любых взаимодействиях тел внутри данной системы

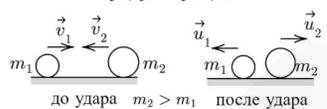
$$\Delta \vec{p}_{\text{сист}} = \vec{0} \quad \vec{p}_{\text{сист}} = \text{const}$$



ЗСИ выполняется в случаях, если:

- Векторная сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю
- Сумма проекций векторов внешних сил, действующих на систему тел, на некоторую ось равна нулю. Тогда импульс системы остаётся неизменным вдоль этой оси
- Промежуток времени взаимодействия пренебрежительно мал, то есть стремится к нулю (например, при взрывах, ударах, столкновениях)

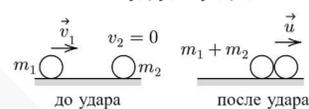
Абсолютно упругий удар



Закон сохранения импульса $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2$

Закон сохранения энергии $\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}$

Абсолютно неупругий удар



Закон сохранения импульса $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}$

Закон сохранения энергии не выполняется. Кинетическая энергия после удара меньше, чем до удара.

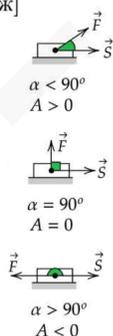


Работа силы $A = \vec{F} \cdot \vec{S} = |\vec{F}| \cdot |\vec{S}| \cdot \cos \alpha$ [Дж]

Мощность $N = \frac{A}{t}$ [Вт]

Мгновенная мощность $N = Fv \cos \alpha$ [Вт]

КПД $\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затрач}}} = \frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{затрач}}}$



Законы сохранения механической энергии

Консервативные (потенциальные) силы – силы, сохраняющие механическую энергию замкнутой системы тел. Работы не зависят от траектории. Работа по замкнутой траектории равна нулю. (Сила тяжести, сила упругости, сила гравитации, сила Кулона)

Диссипативные (не потенциальные) силы – силы, которые рассеивают механическую энергию. Работа зависит от траектории движения тела и по замкнутой траектории не равна нулю. (Сила трения, сила сопротивления, сила натяжения)

Кинетическая энергия: $E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$

Теория о кинетической энергии: изменение кинетической энергии тела равно работе всех сил, действующих на тело

$$\Delta E_{\text{кин}} = A_{F1} + A_{F2} + \dots + A_{Fi} = \sum A_{Fi}$$

Потенциальная энергия зависит от взаимного положения тел в системе, которое изменяют консервативные силы

Консервативная сила	Формула	Потенциальная энергия
Сила тяжести	$F_{\text{тяж}} = mg$	$E_{\text{пот}} = mgh$
Сила упругости	$F_{\text{упр}} = -k\Delta x$	$E_{\text{пот}} = \frac{kx^2}{2}$
Гравитационная сила	$F_{\text{грав}} = G \frac{Mm}{R^2}$	$E_{\text{пот}} = -G \frac{Mm}{R}$
Сила Кулона	$F_{\text{кул}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{ q q }{r^2}$	$E_{\text{пот}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r}$

Теорема о потенциальной энергии: работа потенциальной силы определяется как разность потенциальных энергий («было» минус «стало»)

$$A_{\text{пот}} = E_{\text{пот. нач}} - E_{\text{пот. кон}}$$

Закон сохранения механической энергии: сумма кинетической и потенциальной энергии в конце равна сумме кин. и пот. энергии в начале и есть величина неизменная в том случае, если работа всех непотенциальных сил равна нулю

$$E_{\text{кин. кон}} + \sum E_{\text{пот. кон } i} = E_{\text{кин. нач}} + \sum E_{\text{пот. нач } i} = \text{const}$$

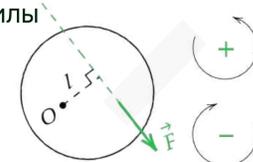
Статика

Момент силы относительно оси вращения – произведение силы на плечо

$$M = Fl$$

Плечо силы – кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы

Линия действия силы – прямая, проходящая через вектор силы



Момент силы считается **положительным**, если сила стремится поворачивать тело против часовой стрелки, и **отрицательным**, если по часовой стрелке

Правило моментов: тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех приложенных к телу сил равна нулю

Условия равновесия тела

$$\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0 \\ M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0 \end{cases}$$

Механика жидкостей и газов

Сила давления – сила, под действием которой тело деформируется

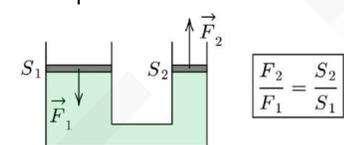
Давление – скалярная физическая величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности

$$F = p \cdot S$$

Давление, оказываемое на жидкость или газ, передаётся в любую точку этой среды без изменения по всем направлениям.

Применение закона Паскаля:

Гидравлический пресс – устройство, дающее выигрыш в силе.



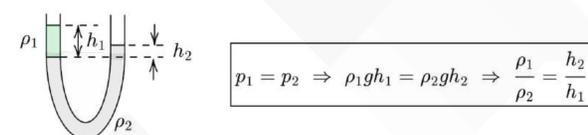
Сообщающиеся сосуды – сосуды, имеющие общий канал внизу.

Однородная жидкость устанавливается на одном уровне независимо от формы сосуда (при условии, что давление над жидкостью в сосудах одинаково)

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \rho_{\text{ж}} g h_1 = \rho_{\text{ж}} g h_2 \Rightarrow h_1 = h_2$$

Сообщающиеся сосуды – сосуды, имеющие общий канал внизу.

Неоднородная жидкость устанавливается на разных уровнях. Высоты столбов жидкостей обратно пропорциональны их плотностям



$$p_1 = p_2 \Rightarrow \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$



Закон Архимеда

Для инерциальной и неинерциальной СО: на погруженное в жидкость или газ тело действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу среды, объем которой равен объему тела

$$F_{\text{Арх}} = P_{\text{ж}}$$

Для инерциальной СО:

$$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{п.ч.}}$$

Условия плавания тел



Механические колебания

Период колебаний – время одного полного колебания

Частота колебаний показывает, сколько полных колебаний совершается за одну секунду

$$T = \frac{t}{N} \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{N}{t}$$

Единицы измерения частоты: [Гц] – Герц

Гармонические колебания – колебания, при которых координата зависит от времени по гармоническому закону:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad [\text{м}]$$

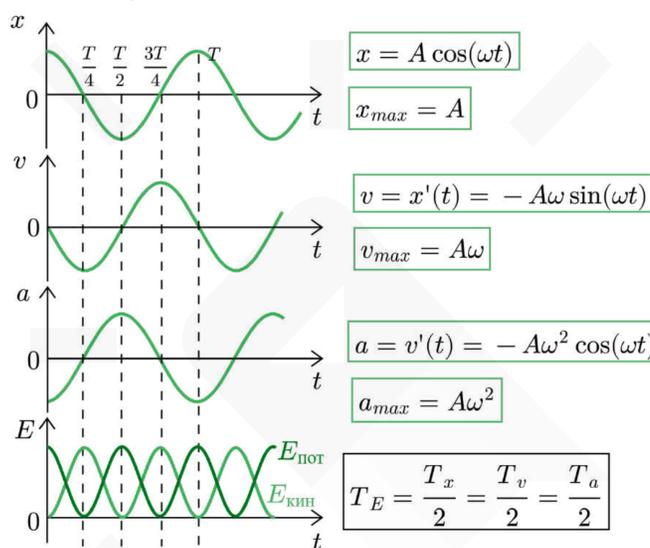
A – амплитуда
($\omega t + \varphi_0$) – фаза
 φ_0 – начальная фаза

Амплитуда колебаний – величина наибольшего отклонения от положения равновесия

Циклическая частота

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \quad \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right]$$

Свободные колебания – колебания системы, предоставленной самой себя (при постоянных внешних условиях)



Период колебаний энергии в 2 раза меньше периода колебаний x , v , a .

Колебания кин. и пот. энергии меняются в противофазе, а полная – постоянна.

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$v(t) = x'(t) = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$a(t) = x''(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x(t)$$

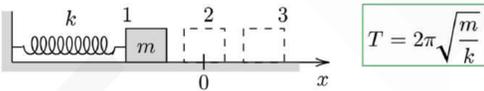
Уравнения динамики гармонических колебаний

$$x''(t) + \omega^2 x(t) = 0$$

Решение данного уравнения всегда имеет вид

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Пружинный маятник – закреплённый на пружине груз, способный совершать колебания в горизонтальном или вертикальном направлении



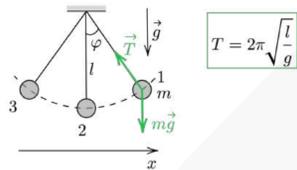
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Пол.	v	a	$E_{кин}$	$E_{пот}$
1	0	max	0	max
2	max	0	max	0
3	0	max	0	max

Закон сохранения мех. энергии

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{kA^2}{2} = const$$

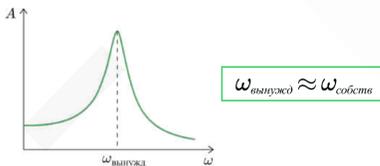
Математический маятник – небольшое тело, подвешенное на невесомой нерастяжимой нити



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Пол.	v	a	$E_{кин}$	$E_{пот}$
1	0	max	0	max
2	max	0	max	0
3	0	max	0	max

Резонанс – увеличение амплитуды колебаний некоторой системы при совпадении частоты внешнего воздействия с собственными значениями, характерными для данной системы

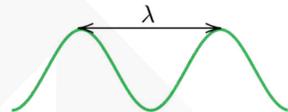


Механические волны

Волновой процесс – любое изменение состояния сплошной среды, распространяющееся со скоростью и несущее энергию

Длина волны – расстояние между двумя ближайшими друг другу точками в пространстве, в которых колебания происходят в одинаковой фазе

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$



Продольная волна – волна, при распространении которой смещение частиц среды происходит в направлении распространения волны. Распространяются во всех средах (звуковая волна)

Поперечная волна – волны, при распространении которых смещение частиц среды происходит в направлении, перпендикулярном распространению волны. Распространяются только в твёрдых средах (э-м волна)

Обоснование в №26

Если задача на динамику:

1. Введена инерциальная система отсчёта
2. Применена модель материальной точки для тел, движущихся поступательно. Движение этих тел описывается законами Ньютона
3. Если в задаче есть подвижные и неподвижные блоки, то необходимо указать, что трением в их осях, а также о воздух пренебрегаем, также пренебрегаем массой блоков
4. Сказано, что ускорения связанных тел равны, поскольку нить нерастяжима
5. Сказано, что модули сил натяжения нитей, действующие на связанные тела равны, поскольку блок и нити невесомые
6. Если в задаче есть пружина, то из-за того, что она лёгкая равны силы упругости, действующие на связанные тела



ШКОЛКОВО

Если задача на законы сохранения:

1. Введена инерциальная система отсчета
2. Применена модель материальной точки
3. Для применения ЗСИ необходимо указать, что время взаимодействия мало (взрывы, соударения, броски и т.д.), либо же в направлении определенной оси проекции внешних сил равны нулю и именно на эту ось выполняется ЗСИ
4. Для применения закона сохранения механической энергии необходимо указать, что либо все силы потенциальны, либо же указать, что работы сил равны нулю
5. Если в задаче есть движение под углом к горизонту, то необходимо указывать, что сопротивление воздуха мало и на тело действует лишь сила тяжести, а значит можно использовать формулы кинематики равноускоренного движения



ШКОЛКОВО