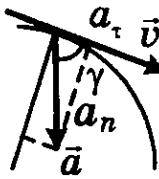
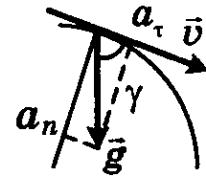


Величины, характеризующие криволинейное движение

Название, обозначение, единица измерения	Направление	Формула	Для свободного падения
			
Касательное (или тангенциальное) ускорение a_t ($\text{м}/\text{с}^2$)	Параллельно скорости $\bar{a}_t \parallel \bar{v}$	Изменяет модуль скорости $a_t = \frac{v - v_0}{t}$	Движение вверх $a_t = -g \cos \gamma$ Движение вниз $a_t = g \cos \gamma$
Нормальное (или центробежное) ускорение a_n ($\text{м}/\text{с}^2$)	Перпендикулярно скорости $\bar{a}_n \perp \bar{v}$	$a_n = \frac{v^2}{R}$	$a_n = g \sin \gamma$
Полное ускорение $a_{\text{полн}}$ ($\text{м}/\text{с}^2$)	Находится геометрически	$a_{\text{полн}} = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$	$a_{\text{полн}} = g$
Радиус кривизны R (м)	$R \perp v$	$R = \frac{v^2}{a_n}$ v — скорость в данный момент времени	В верхней точке $a_n = g$ $R = \frac{(v_0 \cos \alpha)^2}{g}$
Путь l (м)		$l = v_0 t + \frac{a_t t^2}{2}$	

1.2. Динамика

Три закона Ньютона

Динамика изучает причины движения тел и способы определения ускорения.

Инерция — явление, при котором тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (т.е. в этих случаях отсутствует ускорение).

Инерциальные системы отсчета — системы отсчета, относительно которых наблюдается инерция, а также те, которые движутся равномерно и прямолинейно относительно ИСО. (ИСО — системы, ускорение которых равно нулю.)

Первый закон Ньютона: существуют такие системы отсчета, называемые **инерциальными**, относительно которых

тела движутся равномерно и прямолинейно, если на них не действуют другие тела или их действия скомпенсированы.

Инертность — физическое свойство, заключающееся в том, что любое тело оказывает сопротивление изменению его скорости (как по модулю, так и по направлению).

Проявление инертности чаще всего наблюдается в движущемся транспорте. Например, при резком увеличении скорости все пассажиры отклоняются назад, при торможении — вперед, при повороте направо, все отклоняются налево и т. п.

Масса m (кг) — физическая величина, являющаяся мерой инертности тела.

Измерительный прибор — весы.

Дополнительные единицы измерения:

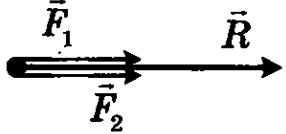
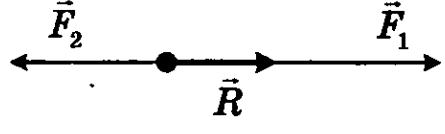
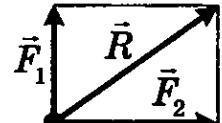
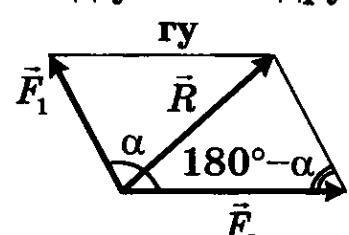
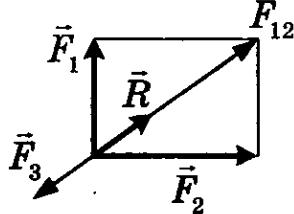
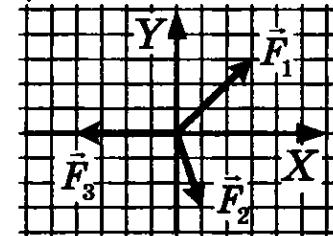
$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}, 1 \text{ ц} = 100 \text{ кг}, 1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}.$$

Сила \vec{F} (Н) — количественная характеристика действия одного тела на другое. Сила — *векторная величина*, которая имеет числовое значение; направление в пространстве; точку приложения. Точной приложения всех сил (кроме веса) является *центр тяжести тела*. Измерительный прибор — динамометр.

Три закона Ньютона справедливы только в инерциальных системах отсчета.

Когда следует использовать	Формулировка	Формула
Первый закон Ньютона		
Тело находится в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно	Тело находится в состоянии покоя или движется по прямой с постоянной скоростью ($a = 0$), если на тело не действуют силы или их векторная сумма равна нулю	$\sum \vec{F}_i = \vec{0}$
Второй закон Ньютона		
Тело движется с ускорением <i>Всегда</i> $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{F}$ или $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{R}$	<ul style="list-style-type: none"> Сила, действующая на тело, равна произведению массы этого тела на ускорение, которое сообщает эта сила Если на тело действуют несколько сил, то их равнодействующая \vec{R} будет равна произведению массы на ускорение 	$\vec{F} = m\vec{a}$ $\vec{R} = m\vec{a}$, где $\vec{R} = \sum \vec{F}_i$
Третий закон Ньютона		
Тело взаимодействует с другими телами	Тела действуют друг на друга с силами, направленными вдоль одной прямой, противоположными по направлению и равными по модулю	$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

Равнодействующая сила — векторная сумма всех сил, действующих на тело: $\vec{R} = \sum \vec{F}_i$.

Сложение двух сил, направленных вдоль одной прямой	
В одном направлении 	В противоположном направлении 
Если $\vec{F}_1 \uparrow\uparrow \vec{F}_2$, то $R = F_1 + F_2$	Если $\vec{F}_1 \downarrow\uparrow \vec{F}_2$, то $R = F_1 - F_2 $
Сложение двух сил, перпендикулярных друг другу 	Сложение двух сил, расположенных под углом α друг к другу 
Если $\vec{F}_1 \perp \vec{F}_2$, то по теореме Пифагора $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$	По теореме косинусов $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos(180^\circ - \alpha)}$
Сложение трех сил 	Сложение проекций сил  $OX: F_{1x} + F_{2x} - F_{3x} = 0$ $OY: F_{1y} - F_{2y} = 0$ $R = 0$
$F_{12} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ $R = F_{12} - F_3$	

Сила всемирного тяготения

Сила всемирного тяготения — сила, с которой все тела притягиваются друг к другу. Эта сила наиболее заметно проявляется при взаимодействии массивных тел (звезд, планет, их спутников).

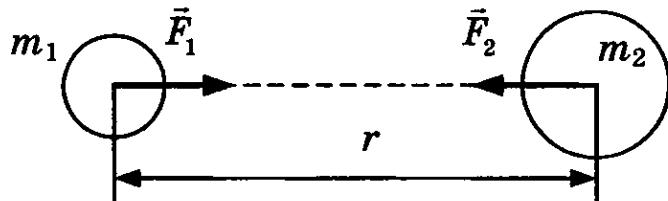
Закон всемирного тяготения выполняется для материальных точек и сферических тел.

Закон всемирного тяготения: *все тела в природе притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:*

$$F_m = \frac{Gm_1m_2}{r^2},$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Нм²/кг² — гравитационная постоянная, численно равная силе гравитационного притяжения двух тел массой по 1 кг каждое, находящихся на расстоянии 1 м одно от другого; r — расстояние между центрами тел.

Сила всемирного тяготения направлена по линии, соединяющей центры тел.

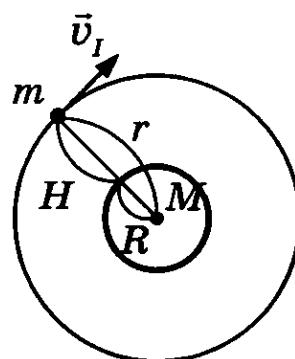


Сила тяжести

Сила тяжести — сила, с которой планета (Земля) притягивает к себе окружающие тела. Сила тяжести имеет *гравитационную* природу. Направление силы тяжести — вертикально вниз:



Искусственный спутник планеты — тело, которое обращается вокруг планеты. Движение искусственных спутников происходит по эллипсам, но мы будем рассматривать упрощенный частный случай — движение по окружности. Линейную скорость такого движения называют *первой космической скоростью*.



M — масса планеты, m — масса спутника, R — радиус планеты, H — высота спутника над поверхностью планеты, r — расстояние от центра планеты до спутника ($r = R + H$ — радиус орбиты), v_I — первая космическая скорость спутника,

Закон движения ИСЗ — второй закон Ньютона:

$$F_{\text{тяж}} = ma_{\text{ц.с.}} \text{ или } \frac{GMm}{(R+H)^2} = ma_{\text{ц.с.}}$$

	Сила тяжести	Ускорение свободного падения	Первая космическая скорость	Период обращения спутника	Угловая скорость	Частота
<i>Второй закон Ньютона</i>	$a_{\text{н.с.}} = g$ $\frac{GMm}{(R+H)^2} = mg$	$a_{\text{н.с.}} = \frac{v^2}{r}$ $\frac{GMm}{(R+H)^2} = \frac{mv_j^2}{R+H}$	$a_{\text{н.с.}} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ $\frac{GMm}{(R+H)^2} = \frac{m4\pi^2(R+H)}{T^2}$ $= m\omega^2(R+H)$	$a_{\text{н.с.}} = \omega^2 r$ $\frac{GMm}{(R+H)^2} =$ $= m4\pi^2\sqrt{R+H}$	$a_{\text{н.с.}} = 4\pi^2 v^2 r$ $\frac{GMm}{(R+H)^2} =$ $= m4\pi^2\sqrt{R+H}$	
На высоте $H \neq 0$; $r = R + H$	$F_{\text{тяж}} = \frac{GMm}{(R+H)^2} =$ $= \frac{GM}{r^2}$	$v_I = \sqrt{\frac{GM}{R+H}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ $v_I = \sqrt[3]{\frac{2\pi GM}{T}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+H)^3}{GM}} =$ $= 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$	$\omega = \sqrt{\frac{GM}{(R+H)^3}} =$ $= \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$	$v = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{GM}{(R+H)^3}} =$ $= \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$	
На поверхности планеты $H = 0$	$F_{\text{тяж}} = mg_0 =$ $= \frac{GMm}{R^2}$	$g_0 = \frac{GM}{R^2}$	$v_I = \sqrt{\frac{GM}{R}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$	$\omega = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$	$v = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{GM}{R^3}}$
С учётом плотности планеты $H = 0$; $M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$	$g_0 = \frac{4}{3}G\pi R\rho$	$v_I = 2R\sqrt{\frac{G\rho\pi}{3}}$	$T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$	$\omega = 2\sqrt{\frac{G\rho}{3}}$	$v = \sqrt{\frac{G\rho}{3\pi}}$	
Если не указана масса планеты, то $GM = g_0 R^2$		$v_I = \sqrt{\frac{g_0 R^2}{(R+H)}} =$ $= \sqrt{\frac{g_0 R^2}{r}}$	$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R+H)^3}{g_0 R^2}} =$ $= 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{g_0 R^2}}$	$\omega = R\sqrt{\frac{g_0}{r^3}}$	$v = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g_0 R^2}{r^3}}$	
Для Земли	$g_0 = 9,8 \text{ м/c}^2 \approx 10 \text{ м/c}^2$	$v_I = 7,9 \text{ км/c}$	$T = 24 \text{ ч} = 86400 \text{ с}$	Стационарный спутник	$T_{\text{спутника}} = T_{\text{планеты}}$	

Сила упругости

Сила упругости — сила, которая возникает при деформациях тел, как ответная реакция на внешнее воздействие. Сила упругости имеет **электромагнитную** природу.

Деформация — изменение формы или объема тела.

Виды деформаций: растяжение; сжатие; изгиб (комбинированный случай одновременного сжатия и растяжения); сдвиг; кручение (частный случай деформации сдвига)

Упругие деформации исчезают после снятия нагрузки.

Пластические деформации остаются после снятия нагрузки.

Закон Гука: *модуль силы упругости, возникающей при деформации тела, пропорционален его удлинению*

$$F_{\text{упр}} = kx,$$

где k — **жесткость** тела, зависящая от его размеров, формы и материала. Единица измерения — ньютон на метр (Н/м).

Закон Гука выполняется только для упругих деформаций.

Сила упругости ($\vec{F}_{\text{упр}}$) направлена противоположно перемещению частиц при деформации.

Сила реакции опоры (\vec{N}) всегда перпендикулярна опоре.

Сила натяжения нити (\vec{T}) всегда направлена вдоль оси подвеса.

Архимедова сила (\vec{F}_A) всегда противоположна силе тяжести.

Основные понятия и физические величины, характеризующие деформацию тел.

Деформация или абсолютное удлинение тела x (м):

$$x = |l - l_0| = \Delta l,$$

где l_0 — начальная длина тела, l — длина деформированного тела.

Относительное удлинение тела ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

Механическое напряжение σ (Н/м² = Па):

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S}.$$

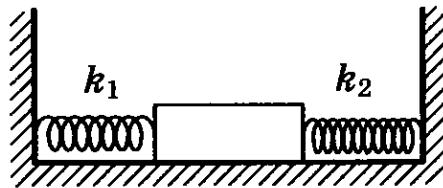
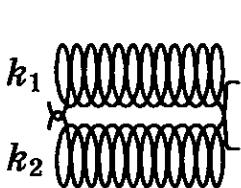
Экспериментальный факт: $\sigma = E\varepsilon$,

где E (Н/м² = Па) — **модуль упругости** (модуль Юнга) — характеризует сопротивляемость материала упругой деформации растяжения или сжатия.

Жесткость пружины k (Н/м):

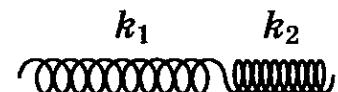
$$k = \frac{ES}{l_0}.$$

Параллельное соединение пружин:



$$k_{\text{пар}} = k_1 + k_2; x = x_1 = x_2; F = F_1 + F_2.$$

Последовательное соединение пружин:



$$\frac{1}{k_{\text{посл}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2},$$

$$x = x_1 + x_2, F = F_1 = F_2.$$

Силы трения

Сила трения возникает при движении тел или при попытке сдвинуть их с места. Она действует на поверхности тел и затрудняет их перемещение относительно друг друга. Относится к силам **электромагнитной** природы. Трение бывает сухое и жидкое. Сухое делится на три вида: *трение покоя, трение скольжения и трение качения*.

Трение скольжения возникает при скольжении одного тела по поверхности другого. Направление трения скольжения противоположно скорости движения ($\vec{F}_{\text{тр. ск.}} \uparrow\downarrow \vec{v}$):

$$F_{\text{тр. ск.}} = \mu N,$$

где μ - коэффициент трения.

Способы уменьшения трения: выравнивание поверхностей; смазка; замена на трение качения.

Учтите: если движение происходит по **гладкой** поверхности, то силу трения учитывать не надо; если тело преодолевает границу между гладкой и шероховатой поверхностью, то сила трения равна

$$F_{\text{тр.}} = \frac{\mu mg}{2}.$$

Трение покоя возникает при попытке сдвинуть предмет с места. Трение покоя противоположно приложенной силе или направлению возможного движения.

Жидкое трение (сила сопротивления) возникает при движении в жидкостях и газах. Направление жидкого трения противоположно скорости движения ($\vec{F}_{\text{сопр}} \uparrow \downarrow \vec{v}$). Особенности: жидкое трение зависит от формы тел.

При малых скоростях: $F_{\text{сопр}} = kv$; при больших скоростях: $F_{\text{сопр.}} = kv^2$.

Коэффициент пропорциональности k зависит от формы и размеров тела, состояния его поверхности и от свойств среды.

Вес тела

Вес тела — сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле, действует на опору или подвес (сила, с которой тело давит на опору или растягивает подвес); относится к силам *электромагнитной* природы. Измеряется динамометром. Единица измерения — ньютон (Н).

Точка приложения — точка опоры или подвеса	
Направление	Вес имеет направление, противоположное силе реакции опоры или силе натяжения нити $\vec{P} \uparrow \downarrow \vec{N}; \vec{P} \uparrow \downarrow \vec{T}$
Способ определения модуля веса	По третьему закону Ньютона, $P = N$, или $P = T$, или $P = F_{\text{упр}}$
Вес тела, если тело и опора (подвес) неподвижны	$P_0 = mg$
Невесомость	$P = 0$
Перегрузка	$\frac{P}{P_0} = \frac{P}{mg}$

1.3. Законы сохранения

Импульс тела \vec{p} (кг · м/с) — векторная физическая величина, равная произведению массы тела на его скорость:

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

Направление импульса совпадает с направлением скорости, так как $m > 0$ ($\vec{v} \uparrow \uparrow \vec{p}$).

Импульс тела равен нулю, если тело не движется ($v = 0$).