ТЕМА 2: ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Динамика - раздел механики, изучающий закономерности движения тел, обусловленные действующими на них силами.

Явление инерции

Тела находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока на них не подействуют другие тела. Свойство тела оказывать сопротивление попытке изменения его скорости называется явлением **инерции.**

Причиной изменения скорости движения тела в инерциальной системе отсчета всегда является его взаимодействие с другими телами. Если на тело не действуют другие тела или их действие скомпенсировано, то тело находится в состоянии покоя или движется равномерно и прямолинейно (в этом случае говорят, что ***тело движется по инерции***).

Для количественного описания движения тела под воздействием других тел необходимо ввести две новые физические величины – *массу тела* m и *силу* $\vec{F}$.

Массой тела m называется физическая величина, характеризующая инертные и гравитационные свойства тела.

Наблюдения показывают, что при одинаковом воздействии со стороны окружающих тел одно тело может быстро изменять свою скорость, а другое в тех же условиях – значительно медленнее. Принято говорить, что второе из этих двух тел обладает большей инертностью, или, другими словами, второе тело обладает большей массой.

Для описания воздействия одного тела на другое ввели понятие *силы* $\vec{F}$.

Силой $\vec{F}$ называется векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело других тел или полей и характеризующая величину и направление этого воздействия.

Под действием силы тело может:

- деформироваться (статическое проявление силы),
- приобретать ускорение, то есть изменять свою скорость (динамическое проявление силы).

Силы могут иметь различную физическую причину: гравитационные (сила гравитации, сила тяжести), магнитные (сила Ампера, сила Лоренца), электрические (силы трения, силы упругости и т. д.)

Векторная сумма всех сил, действующих на тело, называется ***результирующей*** (или ***равнодействующей*) *силой,*** которая находится по **принципу суперпозиции сил**:

результирующая сила, действующая на частицу со стороны других тел, равно векторной сумме сил, с которыми каждое из этих тел действует на частицу: $\vec{F}_{рез} = \vec{F}_1 + \vec{F}_1 + \ldots + \vec{F}_n$.

Силы, возникающие при взаимодействии тел, всегда имеют одинаковую природу. Они приложены к **разным телам** и поэтому не могут уравновешивать друг друга. Складывать по правилам векторного сложения можно только силы, приложенные к одному телу.

Силы, действующие между частями одного и того же тела, называются ***внутренними***. Силы, действующие на тело со стороны других тел, называются ***внешними***. Если тело движется как целое, то его ускорение определяется только внешними силами. Внутренние силы не влияют на движение тела как целого, потому что их векторная сумма равна нулю.

Принцип инерции Галилея – если на тело не действуют силы, оно сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения

Инерциальные системы отсчета - это системы отсчета, в которых тело, не взаимодействующее с другими телами, сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения.

К инерциальным относятся либо покоящиеся, либо движущиеся равномерно и прямолинейно относительно друг друга системы отсчёта.

Принцип относительности Галилея – во всех инерциальных системах отсчета законы механики имеют одинаковый вид (то есть описываются одними и теми же математическими уравнениями)

Законы Ньютона

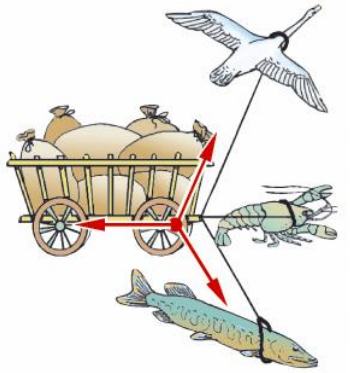
Решение задач по динамике основано на применении трёх законов Ньютона.

Первый закон Ньютона (закон инерции):
Тело находится в состоянии покоя или движется прямолинейно и равномерно, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано.

$$\sum \vec{F}_i = 0$$

(он говорит о том, когда тело движется без ускорения, то есть $\vec{a} = 0$ если $\sum \vec{F}_i = 0$)

Второй закон Ньютона (основное уравнение динамики поступательного движения):
В инерциальной системе отсчёта векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна произведению массы этого тела на сообщённое ему ускорение.

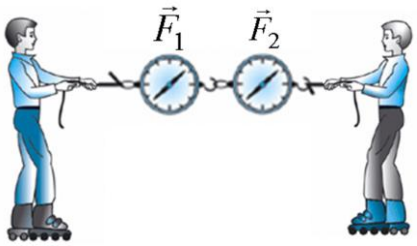


$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a} \quad \text{или} \quad \vec{F}_{рез} = m\vec{a}$$

где $\vec{F}_{рез} = \sum \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_1 + \ldots + \vec{F}_n$ - результирующая всех сил.
(он говорит о том, когда тело движется с ускорением,
то есть $\vec{a} \neq 0$, если $\sum \vec{F}_i \neq 0$).

$[F] = \frac{кг \cdot м}{с^2} = Н$, Ньютон

Третий закон Ньютона:
Тела действуют друг на друга с силами равными по величине и противоположными по направлению: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

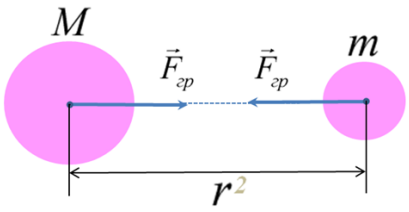


(он говорит о том, что силы всегда возникают парами, всегда одинаковой природы, приложены к разным телам и противоположно направлены)

СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

Сила гравитации (сила гравитационного притяжения между двумя материальными точками)

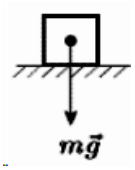
$$F_{грав} = G\frac{Mm}{r^2}$$ - **Закон всемирного тяготения,**



где M и m - массы материальных точек, *кг*,
$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$ - гравитационная постоянная.
r - расстояние между материальными точками, *м*

Сила тяжести (сила, с которой Земля притягивает к себе тело)

$$\vec{F}_{тяж} = m\vec{g},$$

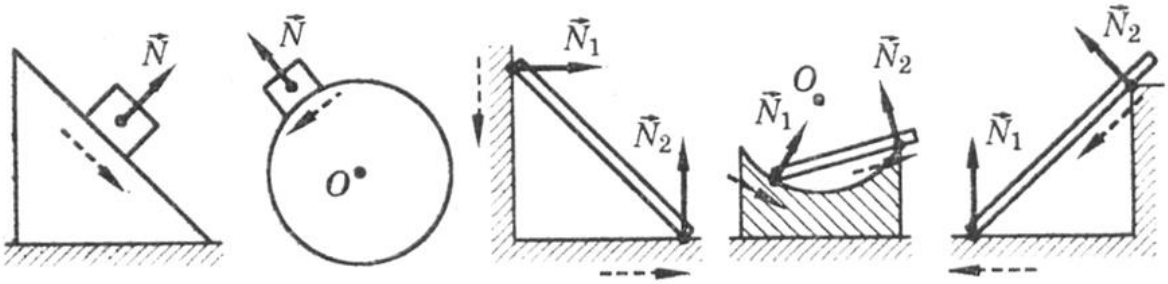


где m – масса тела, *кг*,
$g = 9.81 \frac{м}{с^2}$ - ускорение свободного падения.
особенность: - $\vec{F}_{тяж}$ приложена к центру тяжести тела и направлена всегда вертикально вниз.

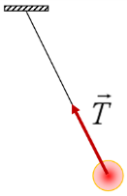
Сила реакции опоры $\vec{N}$ (сила, с которой опора действует на тело)

Особенность: - приложена к телу и направлена перпендикулярно поверхности соприкосновения,

- величина $\vec{N}$ находится из уравнений динамики



Сила натяжения нити ***T*** (сила, с которой нить или подвес действует на тело).



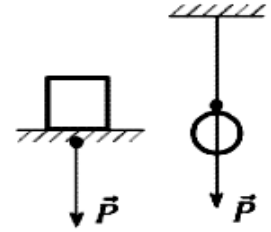
Особенность: - сила натяжения нити приложена к телу и направлена вдоль нити от тела,

- величина силы натяжения нити зависит от характеристик движения тела,
- сила натяжения нити находится из законов Ньютона.

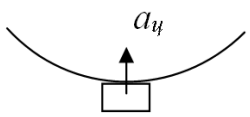
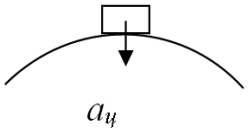
Вес тела $\vec{P}$ (сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле давит на опору или растягивает подвес).

Особенность: - вес приложен к опоре или подвесу,

- величина веса тела зависит от характеристик движения,
- вес тела находится из законов Ньютона (по третьему закону Ньютона $\vec{P} = -\vec{N}$).



В некоторых частных случаях вес тела можно найти по формулам:

P = mg	**P = m(g+*a*)** $\vec{a} \downarrow\uparrow \vec{g}$	**P = m(g-*a*)** $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{g}$	**P = 0**
если $\vec{v}$ = const	$\vec{a}$ - направлено вверх	$\vec{a}$ - направлено вниз	$\vec{a} = \vec{g}$
опора – горизонтальна,			

Невесомость.

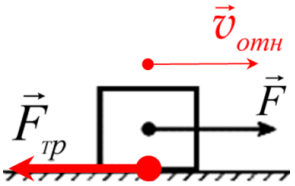
Исчезновение веса при движении опоры с ускорением свободного падения называется *невесомостью*.

Перегрузка.

При ускоренном движении тела и опоры с ускорением, направленным вертикально вверх, вес тела оказывается больше действующей на него силы тяжести. Увеличение веса тела, вызванное ускоренным движением опоры или подвеса, называют ***перегрузкой***. Действие перегрузки испытывают на себе космонавты как при взлёте космической ракеты, так и на участке торможения корабля при входе в плотные слои атмосферы.

Силы трения

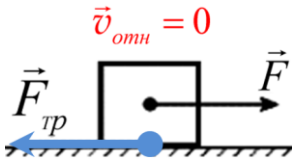
а. **Сила трения скольжения** $\vec{F}_{тр}$ (сила, возникающая между поверхностями соприкасающихся тел при их движении относительно друг друга и направленная в противоположную сторону вектору относительной скорости тела).



$F_{тр} = \mu N$, где μ - коэффициент трения скольжения, безразмерная,

N – сила реакции опоры, *Н*.

б. **Сила трения покоя** $\vec{F}_{тр.пок.}$ (сила, возникающая между поверхностями соприкасающихся тел при попытке сдвинуть одно тело по поверхности другого и направленная в противоположную сторону возможного движения тела (т.е., если бы $\vec{F}_{тр.пок.}$ не было)).

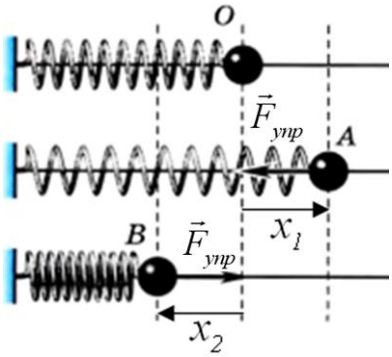


Особенность: - величина переменная и может изменяться в пределах

$$0 \le \vec{F}_{тр.пок} \le F_{тр}^{мах} = F_{тр} = \mu \cdot N ,$$

- находится из законов Ньютона.

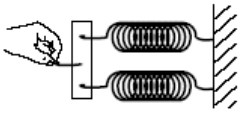
7. **Сила упругости** (сила, возникающая при деформации тела).



$F_{óïð} = k\,x$ - **закон Гука** для упругой деформации,

где k – коэффициент упругости пружины, $\frac{Н}{м}$,

x - величина деформации пружины, *м*.



жесткость системы пружин при их параллельном соединении

$$k = k_1 + k_1 + \ldots + k_n$$

жесткость системы пружин при их последовательном соединении

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \ldots \frac{1}{k_n}$$

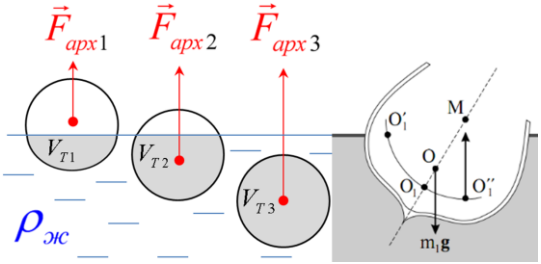
6. **Сила Архимеда** (выталкивающая сила, направленная вертикально вверх, действующая на погружённое в жидкость или газ тело).

$$F_{арх} = \rho_{ж} g V_T ,$$

где $\rho_{ж}$ - плотность жидкости (или газа), $\frac{кг}{м^3}$,

g – ускорение свободного падения,

V_T - объём погружённой в жидкость части тела, $м^3$.

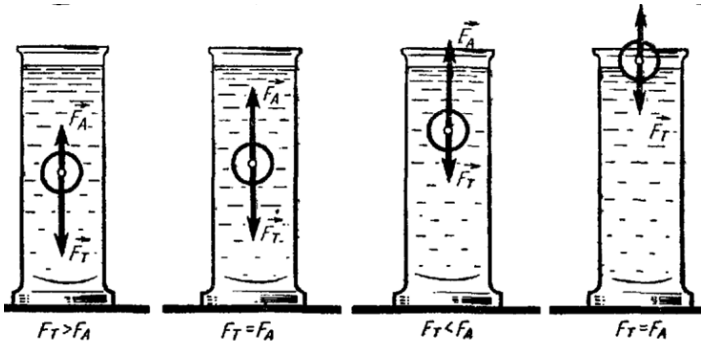


Закон Архимеда: На тело, погруженное в жидкость или газ, действует направленная вертикально вверх выталкивающая сила, равная по величине весу жидкости или газа, вытесненной телом.

Особенность силы Архимеда: приложена к центру тяжести объёма вытесненной жидкости и направлена вертикально вверх.

Условия плавания тел:

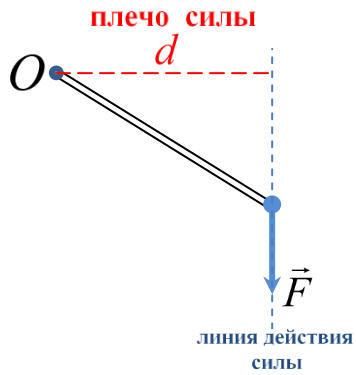
- если $\rho_{тела} \ge \rho_{жидкости}$, то тело тонет,
- если $\rho_{тела} \le \rho_{жидкости}$, то тело всплывает,
- если $\rho_{тела} = \rho_{жидкости}$, то тело находится во взвешенном состоянии.



СТАТИКА

Статикой называется раздел механики, изучающий условия равновесия твердых тел.

Момент силы M



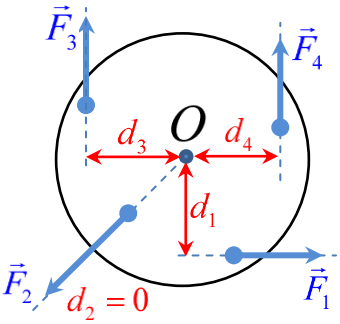
Моментом силы M ***относительно неподвижной оси вращения*** O называется величина, равная произведению силы F, действующей на тело, на плечо этой силы d относительно оси вращения:

$$M = Fd,$$

где F - сила, H; d - плечо силы, $м$.

Плечом силы d называется величина, равная кратчайшему расстоянию от оси вращения до линии действия силы.

$[d] = м$, метр.



Условия равновесия твёрдого тела при плоской системе сил:

1. $\sum \vec{F}_i = 0$ - векторная сумма всех сил, действующих на тело, должна быть равна нулю.
2. $\sum M_i = 0$ - алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело относительно любой оси вращения ***O,*** должна быть равна нулю.

В условии 2 следует учитывать правило знаков для моментов сил:

- если сила пытается вращать тело вокруг выбранной оси ***O*** по часовой стрелке, то момент такой силы имеет знак плюс « + »,
- если сила пытается вращать тело вокруг выбранной оси ***O*** против часовой стрелки, то момент такой силы имеет знак минус « - ».

На рис.: $M_1 = F_1 d_1 > 0$; $M_2 = 0$, так как $d_2 = 0$; $M_3 = F_3 d_3 < 0$; $M_4 = F_4 d_4 > 0$.

Тогда условие равновесия имеет вид: $M_1 + 0 - M_3 + M_4 = 0$ или $F_1 d_1 + 0 - F_3 d_3 + F_4 d_4 = 0$.

СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ДИНАМИКУ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

1 Сделать чертеж к задаче, на котором:

- нарисовать все тела, рассматриваемые в задаче,
- нарисовать все силы, действующие на каждое тело, и, если возможно, указать направления ускорений каждого тела.

2. Для каждого тела записать второй закон Ньютона сначала в векторном виде $\sum \vec{F}_i = m\vec{a}$, а затем в проекциях на оси координат, для чего сначала:

- для каждого тела выбрать удобную систему координат (начало координат обычно помещают в центре тяжести тела, а одну из координатных осей направляют по вектору ускорения этого тела),
- для каждого тела расписывают своё векторное уравнение в проекциях на каждую ось с учётом знаков проекций сил.

3. Решают полученную систему уравнений.

(**необходимо помнить**, что число уравнений должно быть равно числу неизвестных. Если уравнений динамики окажется не достаточно, то полученную систему дополняют уравнениями кинематики или законами изменения или сохранения).

Чтобы правильно определить количество сил, действующих на тело, необходимо придерживаться следующего правила:

Сколько физических полей (гравитационное, электрическое, магнитное, электромагнитное) и тел действует на данное тело, столько и сил (плюс силы трения и сопротивления, если они есть по условию задачи)

Примечание: После определения количества сил, действующих на тело, следует разобрать порядок величин этих сил. Силами, величина которых во много раз меньше остальных, обычно пренебрегают. (обычно пренебрегают силами гравитационного притяжения к окружающим тело предметам, силой Архимеда и силой сопротивления воздуха).

Если в задаче требуется найти **вес тела** $\vec{P}$, то следует помнить, что по третьему закону Ньютона он равен по величине, но противоположен по направлению силе реакции опоры (то есть $\vec{P} = -\vec{N}$) или силе натяжения нити (то есть $\vec{P} = -\vec{T}$).

Основные свойства физических полей

Гравитационное - оказывает силовое воздействие на тела, обладающие массой (сила тяжести и сила гравитации),
Электрическое - оказывает силовое воздействие на неподвижные и движущиеся электрические заряды (сила Кулона),
Магнитное - оказывает силовое воздействие на магниты, проводники с током (сила Ампера) и движущиеся заряды (сила Лоренца),
Электромагнитное - одновременно обладает свойствами электрического и магнитного полей.

СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ДИНАМИКУ РАВНОМЕРНОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

1. Сделать чертёж к задаче, на котором нарисовать тело, движущееся по окружности, и все силы, действующие на него.
Следует помнить, что тело движется равномерно по окружности постоянного радиуса только в том случае, если равнодействующая всех сил, действующих на тело, направлена по радиусу к центру этой окружности. Эта сила сообщает телу центростремительное ускорение, которое так же направлена к центру окружности, поэтому ось OX направляют по направлению центростремительного ускорения, (то есть к центру окружности, по которой оно движется.
2. Записать второй закон Ньютона сначала в векторном виде $\sum \vec{F}_i = m\vec{a}_{ц.с}$, а затем в проекциях на оси координат, где $a_{ц.с.} = \dfrac{v^2}{r} = \omega^2 r = \omega v$.
3. решить полученную систему уравнений.
При необходимости её дополняют уравнениями движения с учётом того, что

$$S = \varphi r, \quad v = \omega r, \quad \omega = 2\pi n = \frac{2\pi}{T}.$$

ГИДРОСТАТИКА

Гидростатикой называется раздел физики, изучающий поведение жидкостей и газов в состоянии равновесия.

Плотностью тела ρ (ро) называется скалярная величина, равная отношению массы этого тела m к его объёму V:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Размерность плотности: $[\rho] = кг/м^3$, килограмм на метр в кубе.

Давлением p (пэ) называется физическая величина, равная отношению силы $F_\perp$, действующей перпендикулярно поверхности площадью S, к величине этой поверхности:

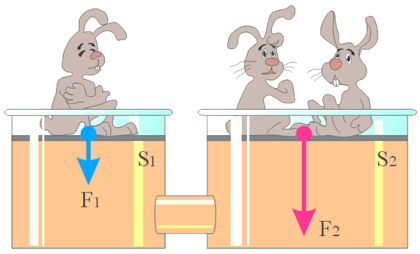
$$p = \frac{F_\perp}{S}, \qquad [p] = Па = Н/м^2 \text{ - Паскаль.}$$

Сила давления $F_\perp = pS$ всегда направлена перпендикулярно поверхности, на которую она действует, не зависимо от её формы.

Закон Паскаля: *давление, оказываемое на поверхность несжимаемой жидкости, находящейся в закрытом сосуде в состоянии гидростатического равновесия, передается без изменения к любой точке жидкости и к стенкам сосуда.*

На законе Паскаля основана работа гидравлического пресса:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$$



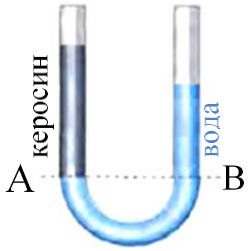
где F_1 - сила, действующая на поршень площадью S_1,

F_2 - сила, действующая на поршень площадью S_2.

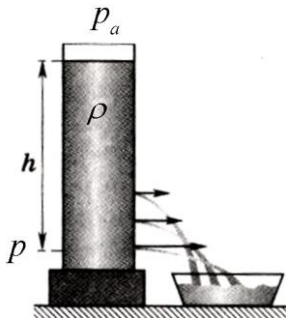
Следствие из закона Паскаля

Давление в любой точке на одном и том же горизонтальном уровне в покоящейся жидкости или газе имеет одно и то же значение.

То есть, давление на уровне АВ в обоих коленях трубки одинаково $p_A = p_B$ (см. рис.)



Давление жидкости p на глубине h

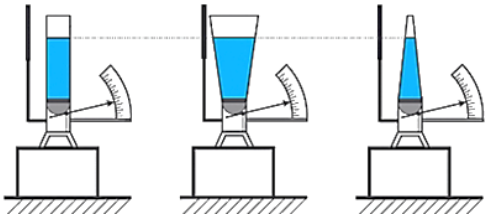


$$p = p_a + \rho g h,$$

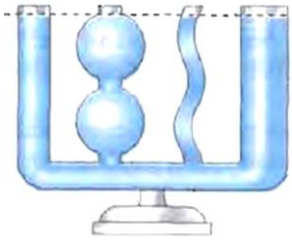
где p_a - атмосферное давление (или внешнее давление), ρ - плотность жидкости, g -ускорение свободного падения, h - высота столба жидкости.

Гидростатический парадокс:

Давление жидкости на дно сосуда не зависит от формы сосуда, а определяется лишь высотой столба жидкости в данном сосуде.



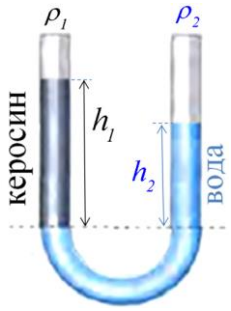
Закон сообщающихся сосудов:



В сообщающихся сосудах не зависимо от их формы однородная жидкость устанавливается всегда на одном и том же горизонтальном уровне.

Высоты столбов неоднородной жидкости обратно пропорциональны их плотностям:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1},$$



где h_1 и h_2 - высота столбов разнородных жидкостей в коленах трубки, *м*,

ρ_1 и ρ_2 - плотности жидкостей в коленах трубки, $кг/м^3$