

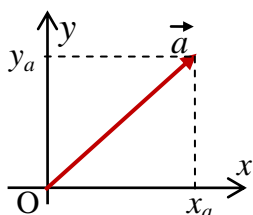
7-9 классы, подготовка к теоретическому туру
олимпиады школьников «Робофест» по физике

Теоретический обзор к занятию 1.

Тема: «МЕХАНИКА: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ».

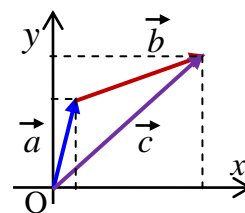
Немного математики «для начала»:

Физика – наука, изучающая все явления материального мира. Она использует два метода изучения явлений: экспериментальный и теоретический. Поэтому при ее изучении очень важно научиться двум вещам. Во-первых, важно всегда стараться представлять себе, как на самом деле происходит изучаемый процесс, и таким образом, учиться за формулами «видеть» реальные процессы. Во-вторых – научиться пользоваться формулами, что невозможно без изучения необходимой математики. Начнем именно с математики. Для записи физических формул нам важно знать понятие «**вектор**». Так называют величины, которые имеют не только «численное» значение, но и направление. Геометрический образ вектора – это «направленный отрезок», который изображают как отрезок «со стрелкой» (см. рисунок). Аналогично и обозначение вектора снабжают «стрелкой» - например, вектор \vec{a} . При этом мы считаем, что вектор не изменяется, если его «перенести», сохраняя длину и направление, из одной точки в другую. Если мы используем *метод координат*, в котором точки пространства (например, точки плоскости (x , y)) на рисунке) задаются числами (x и y), то и вектор



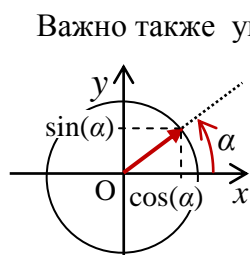
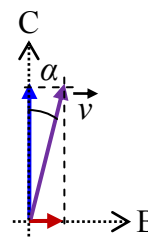
можно задавать его координатами. Нужно перенести его начало в начало координат, и посмотреть координаты его конца. Вектора можно складывать. Геометрически операция сложения определяется просто: если разместить складываемые вектора «один за другим» (начало второго помещено в конец первого – см. рисунок), то сумма – это вектор, идущий из начала первого в конец второго. Такое сложение может быть записано в терминах координат:

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c} \Rightarrow \begin{cases} c_x = a_x + b_x \\ c_y = a_y + b_y \end{cases}$$



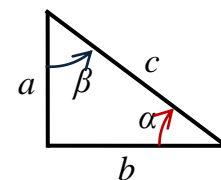
При умножении вектора на положительное число изменяется его длина (умножается на это же число), но не меняется направление. А при умножении на отрицательное – направление изменяется на противоположное (а длина умножается на модуль этого числа). Очень многие физические величины являются векторами. Например, скорость – это вектор (движения с равной по модулю, но с разной по направлению скоростью – это разные движения!). Замечательно, что это проявляется и в *сложении скоростей*. Например, если вертолет летит относительно воздуха со скоростью 120 м/с на север, а воздух движется относительно земли со скоростью 50 м/с на восток (то есть дует западный ветер), то скорость вертолета относительно земли дается вектором \vec{v} , показанном на рисунке. С помощью теоремы Пифагора легко найти, что

величина этой скорости равна $v = \sqrt{(120 \text{ м/с})^2 + (50 \text{ м/с})^2} = 130 \text{ м/с}$.



Важно также уметь определять углы между векторами по длинам (например, по длинам сторон в треугольнике). В математике это делается с помощью **тригонометрических функций** – *синуса* и *косинуса*. Они определены так: если построить окружность с радиусом, равным 1 и найти на ней точку, соответствующую углу поворота α от оси x , то координаты этой точки (в проекции на оси x и y) дадут значения косинуса ($\cos(\alpha)$) и синуса ($\sin(\alpha)$) этого угла. Используя подобие треугольников и таблицу значений этих функций, можно находить соотношения между сторонами любого прямоугольного треугольника. В частности, катет равен гипотенузе, умноженной на синус противолежащего угла, или гипотенузе, умноженной на косинус

прилежащего к этому катету угла: $a = c \cdot \sin(\alpha)$ и $a = c \cdot \cos(\beta)$. Аналогично $b = c \cdot \cos(\alpha)$ и $b = c \cdot \sin(\beta)$. В примере про вертолет с помощью этих функций можно найти направление движения вертолета относительно земли не только графически: так как «восточная» составляющая скорости (50 м/с) – это катет против угла α в построенном треугольнике скоростей, а гипотенуза – это полная скорость (130 м/с), то $\sin(\alpha) = (5/13) \approx 0,385$. Такой синус у угла $\alpha \approx 22,6^\circ$. Такое направление полета называют «норд-норд-ост».



Механика – раздел физики, изучающий движение и взаимодействие тел.

Для начала введем основные определения:

Материальная точка – основной «идеализированный» элемент механических систем: массивное тело, размерами которого можно пренебречь при выбранном уровне точности описания («в условиях данной задачи»). В механике считается, что движение любого тела можно описать, разбив его на материальные точки.

Система отсчета – твердое тело, с которым жестко связана система координат, снабженное прибором для измерения времени.

Вектор координаты – вектор, проведенный из начала координат в заданную точку. В заданной системе координат вектор координаты задается собственно «координатами» - проекциями вектора на координатные оси. Поэтому движение точки можно описать полностью, если указать ее «закон движения» – записать ее координаты как функции от времени (например, $x(t)$ и $y(t)$).

Перемещение – изменение вектора координаты за время Δt : $\Delta \vec{r} \equiv \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)$. Таким образом, говоря о «перемещении», мы говорим не только о расстоянии между начальной и конечной точкой, но и о направлении. Например: перемещение на 100 м на юго-восток. Расстояние между начальной и конечной точкой – это *величина перемещения*, или модуль вектора $|\Delta \vec{r}|$.

Траектория точки – линия в пространстве, по которой движется точка.

Путь – длина траектории.

Скорость – величина, характеризующая быстроту перемещения точки. На самом деле под этим названием «скрывается» много разных величин. Мы обычно будем считать, что этот термин обозначает *мгновенную скорость* – отношение перемещения за очень малый

интервал времени Δt к величине этого интервала: $\vec{v} \equiv \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ (ясно, что это векторная величина,

и ее тоже можно задавать в проекциях на разные оси). Ее следует отличать от *средней скорости на участке пути* – это отношение пути к величине интервала времени, за который он был пройден. Средняя скорость на участке пути не является вектором, и она характеризуется только численным значением.

Ускорение – величина, характеризующая быстроту изменения скорости точки. Мы будем так называть *мгновенное ускорение* – отношение приращения скорости за очень малый интервал

времени Δt к величине этого интервала: $\vec{a} \equiv \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$. Это тоже величина векторная! Поэтому

ускорение возникает из-за любого изменения скорости – как по величине, так и по направлению. Изменение величины скорости при неизменном направлении приводит к появлению ускорения, которое направлено вдоль (при увеличении скорости) или против (при уменьшении) направления движения. Изменение направления вектора скорости без изменения величины приводит к появлению ускорения, направленного перпендикулярно направлению движения (пример – равномерное движение по окружности, описанное ниже).

В школьных задачах могут рассматриваться только движения, являющиеся разновидностями небольшого набора «стандартных» движений, и даже в самых сложных случаях – являющиеся комбинациями таких движений. Перечислим эти стандартные движения и описывающие их формулы (законы изменения координаты, скорости и ускорения):

Равномерное прямолинейное (поступательное) движение вдоль оси x :

$$a_x = 0, \quad v_x = v_0 = \text{const}, \quad x(t) = x_0 + v_0 t$$

Равноускоренное движение по оси x :

$$a_x = a = \text{const}, \quad v_x(t) = v_0 + at, \quad x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

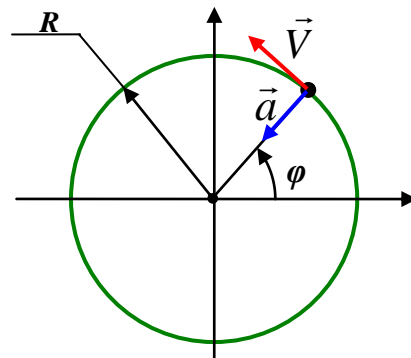
Равномерное движение по окружности радиуса R :

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega t,$$

$$x(t) = R \cdot \cos(\omega t + \varphi_0), \quad y(t) = R \cdot \sin(\omega t + \varphi_0).$$

$$|\vec{v}| = \omega R = \text{const}, \quad |\vec{a}| = \omega^2 R = \frac{v^2}{R} = \text{const}$$

(вектор скорости направлен по касательной к окружности, а вектор ускорения – к ее центру). Отметим, что здесь появилась *угловая скорость* – скорость изменения угла поворота ω .



Взаимодействие – способность тел, благодаря которой их состояние движения может изменяться.

Сила – количественная характеристика взаимодействия тел; векторная величина, описывающая интенсивность и направление воздействия. Только выяснив, какие силы действуют на тело, мы можем установить, как будет меняться движение тела: будет ли оно оставаться покое, начнет двигаться или, напротив, прекратит движение. Очень важно знать, какие силы могут встречаться в задачах по механике. Перечислим их.

Сила тяжести (тяготения) – появляется вследствие *гравитационного взаимодействия*, в котором участвуют все материальные тела. В «традиционной» форме закон всемирного тяготения: «*Все тела притягивают друг друга с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними*» он применим к

материальным точкам: $|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}$. У протяженных тел описание

гравитационного взаимодействия намного сложнее – для них сила гравитационного притяжения определяется как сумма сил притяжений пар материальных точек, из которых они состоят.

Вблизи поверхности тела больших размеров (например, Земли) поле сил тяжести можно считать однородным и вычислять силу тяжести по формуле $\vec{F} = m \vec{g}$, где направление вектора ускорения свободного падения – это направление вертикали. Точкой приложения силы тяжести в этом случае является центр масс тела.

Сила упругости – противодействует деформации упругих тел (т.е. всегда направлена против нее). При малых деформациях сила упругости пропорциональна величине деформаций x : $F = -k x$. Коэффициент жесткости k для упругого тела постоянного сечения пропорционален

величине сечения и обратно пропорционален длине тела: $k = E \cdot \frac{S}{l}$ (здесь E – модуль Юнга,

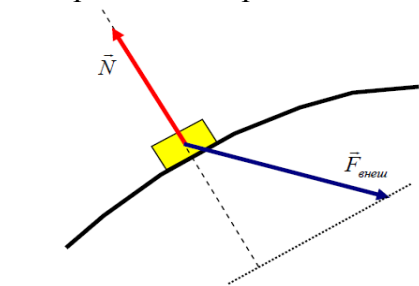
являющийся характеристикой вещества тела).

Архимедова сила – в соответствии с законом Архимеда «на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная по величине весу жидкости или газа в объеме погруженной части тела»: $\vec{F}_A = -\rho_{ж} V_{погр} \vec{g}$. Эта сила на самом деле является равнодействующей всех сил давления, действующих на поверхность тела. Сила Архимеда приложена к точке, которая совпадает с центром масс жидкости в объеме погруженной части тела («центру плавучести»), и направлена по кратчайшему расстоянию к свободной поверхности жидкости (перпендикулярно линиям постоянного давления), т.е. обычно – вертикально вверх.

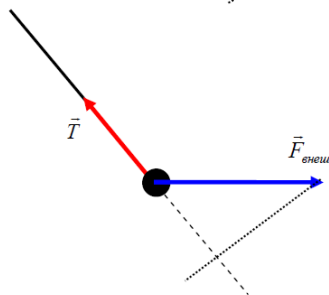
Особую роль в механике играют *силы реакции*. Их отличительная черта состоит в том, что их величина, направление и точка приложения могут изменяться при изменении прочих сил,

действующих на тело. Обычно именно эти силы обеспечивают равновесие покоящихся тел. Если силы реакции не могут обеспечить равновесие, то тело приходит в движение. Силы реакции обычно имеют электромагнитную природу – это равнодействующие сил межмолекулярных взаимодействий. В школьных задачах возникают следующие силы реакции:

Силы реакции опор и подвесов:



Сила *нормальной реакции* твердой опоры \vec{N} направлена «наружу» перпендикулярно поверхности опоры, в точности уравнивая перпендикулярную опоре составляющую внешней силы. Сила реакции обращается в ноль при отрыве тела от опоры.



Сила натяжения нерастяжимого подвеса \vec{T} направлена по линии подвеса, в точности уравнивая продольную (растягивающую подвес) составляющую внешней силы. Сила натяжения обращается в ноль при провисании подвеса.

Сила трения – сила, противодействующая относительно движению соприкасающихся поверхностей тел. Эта сила возникает как благодаря механическому «зацеплению» мелких неровностей трущихся поверхностей, так и благодаря действию сил притяжения между молекулами тел («сил молекулярного сцепления»). Конечно, на самом деле между прижатыми телами возникает единая сила взаимодействия, которую при описании результатов этого взаимодействия оказалось удобно разделять на нормальную (\vec{N}) и касательную ($\vec{F}_{тр}$) по отношению к поверхности соприкосновения компоненты.

Для *сухого трения* различают случаи трения покоя и трения скольжения: тело покоится, пока сила трения в точности уравнивает составляющую внешней силы вдоль трущихся поверхностей. При этом величина силы трения не превосходит некоторого максимального значения, которое зависит от величины силы нормальной реакции поверхности: $\vec{F}_{тр} = -\vec{F}_{||}$, $|\vec{F}_{тр}| \leq F_{\max} = \mu N$ (μ - коэффициент трения). Когда внешняя сила превосходит это максимальное значение, тело начинает скользить.