Step 21. Ну вот мы и прошли кинематику

Остановимся и оглянемся назад: о чем нам удалось поговорить за эти двадцать бесед. Тем более, что наш комплект роликов мы назвали однажды «учебником физики», а в учебниках обязательно бывает оглавление. Путь этот «степ» считается оглавлением первого раздела.

Раздел физики «кинематика» изучает разные виды движения без рассмотрения причин, его порождающих. Причины движения - тоже очень интересный аспект, но он рассматривается в разделе «динамика». К коему мы приступим со следующего «степа».

Движение может быть равномерным (если за равные промежутки времени точка проходит равные отрезки пути) и неравномерным. Траекторией движения может быть прямая линия, тогда движение назовём прямолинейным. Если траектория кривая - то движение криволинейное.

Комбинируя два названных признака, можно указать четыре вида движения:

1. Прямолинейное равномерное;

2. Прямолинейное неравномерное;

3. Криволинейное равномерное;

4. Криволинейное неравномерное.

Первое, самое, пожалуй, простое - прямолинейное равномерное - мы достаточно подробно рассмотрели в степах с 1-го по 7-ой.

Step 1 назывался «Скорость равномерного движения».

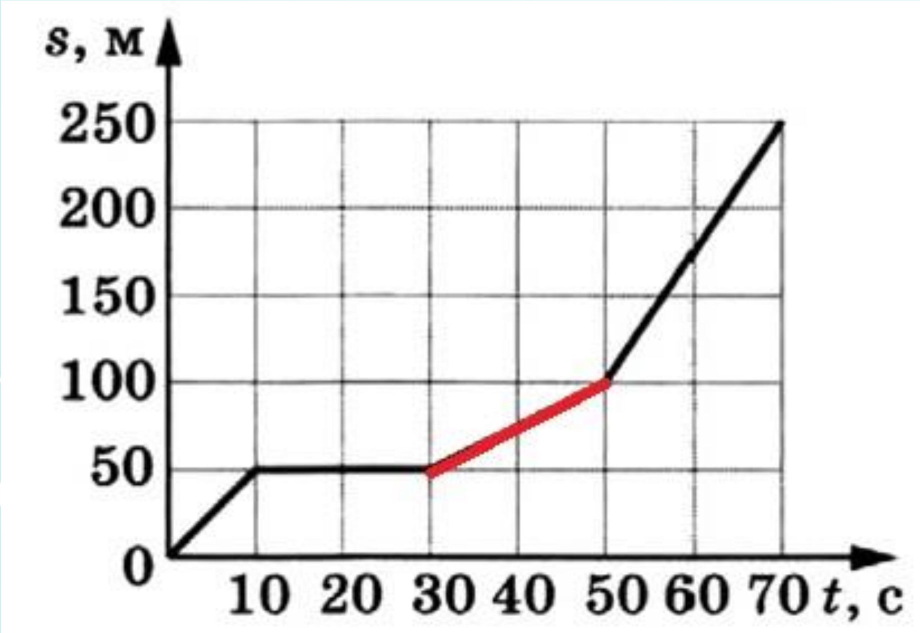
Равномерным мы называем такое движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит равные отрезки пути.

Характеристикой равномерного прямолинейного движения (мерой быстроты) является скорость.

Скоростью равномерного движения мы называем отношение пройденного пути к промежутку времени, в течение которого этот путь был пройден.

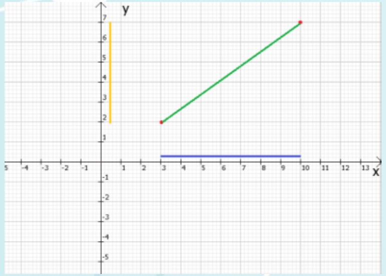
$$v = \frac{S}{t} \qquad (1)$$

Step 2 - График равномерного движения. Движение тела весьма наглядно описывается математической функцией - зависимостью пройденного пути от времени. Эта зависимость может быть представлена с помощью формулы (аналитически), с помощью табличного вида или с помощью графика. В заданиях ЕГЭ графики очень популярны. По графику мы легко найдём пройденный путь, время за которое он был пройден, и по формуле 1 вычислим скорость движения.

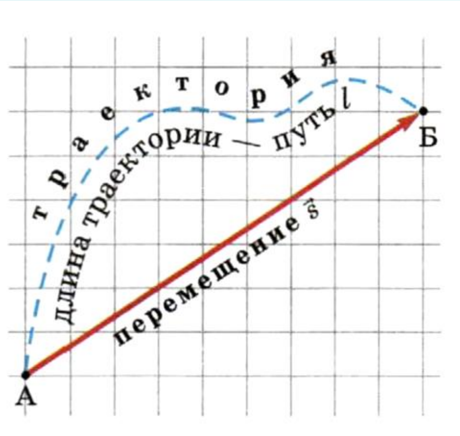


Step 3. Материальная точка. *В ряде задач движется не «тело», не велосипедист или автомобиль, а материальная точка. Движущееся тело можно считать материальной точкой, если в условиях данной задачи его размерами можно пренебречь. Это условное, абстрактное понятие, однако оно позволяет корректно, со всей определённость описывать движение.*

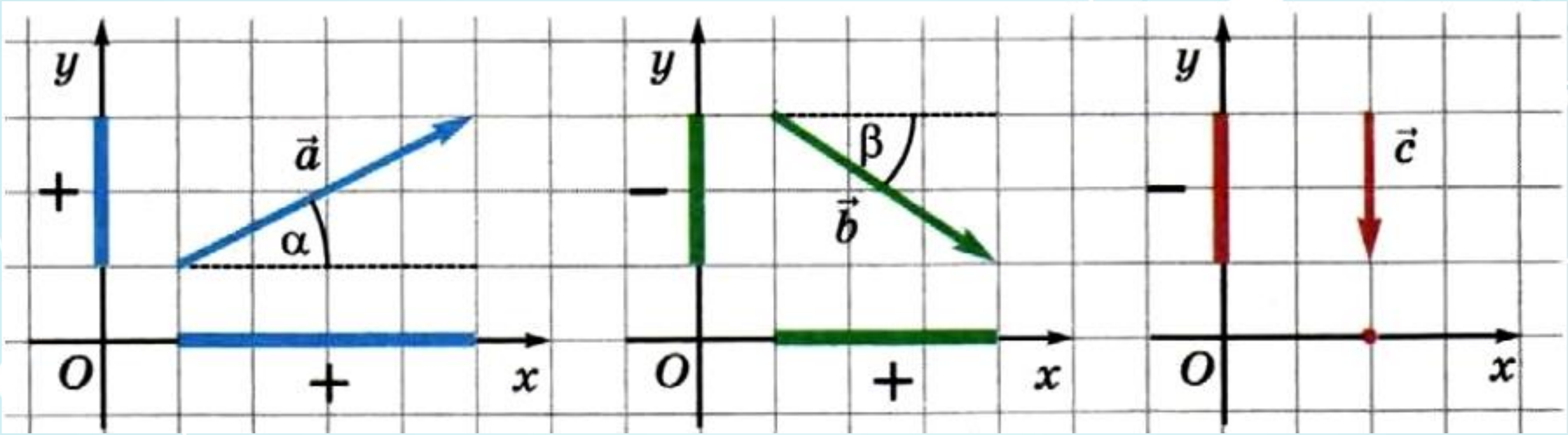
Step 4. Трёхмерное пространство. *Нередко в заданиях ЕГЭ вместо понятий «пройденный путь» и «скорость» употребляются понятия «проекция пройденного пути на ось X», «проекция скорости на ось X». Это потому, что наш мир трёхмерный. Положение материальной точки в пространстве точно определяется тремя её координатами - иск, игрек, зет.*



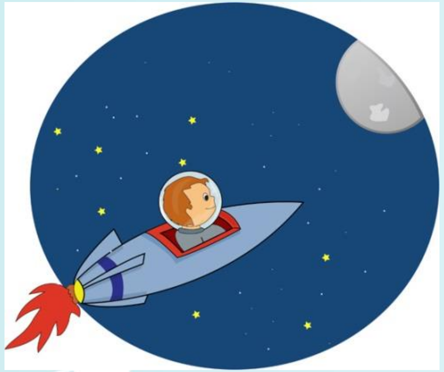
Step 5. Векторные величины. Отрицательная скорость. ***Для описания движения вообще-то***



используют три понятия - траектория, путь, перемещение. Перемещение - это вектор. Вектором мы называем направленный отрезок, который характеризуется не только величиной (модулем), но и направлением. В пятом степе мы поговорили о том, что векторы можно, как и числа, складывать, вычитать, умножать, делить. Вектор перемещения поделить на время = скорость. Когда вектор делят на скаляр, в частном получается тоже вектор. Отсюда, скорость - векторная величина, направленная в ту же сторону, что и вектор перемещения. Проекция вектора на координатную ось может быть положительной, отрицательной или раной нулю.


y
+
$\vec{a}$
α
O
+
x
y
−
β
$\vec{b}$
O
+
x
y
−
$\vec{c}$
O
x

Step 6. Уравнение равномерного движения. ***Предположим, мы - специалисты космического центра и***



задумали запустить ракету на Марс. Ракета, стартуя с Земли, полетит, будем считать, по прямой. А Марс движется вокруг Солнца по круговой орбите. Как прицелиться, чтобы попасть? Ведь время полёта до Марса примерно полгода. Нам надо пускать ракету не в ту точку, где Марс в момент пуска, а в ту, где он будет находиться через полгода. Для успешного полёта нужно знать уравнение полёта ракеты - зависимость её координат от времени. И уравнение движения Марса по его орбите (опять же зависимость координат, определяющих местонахождение Марса, от времени).

В 6 степе мы вывели уранение равномерного движения, оно имеет следующий вид

$$x = x_0 + v_x t \quad (2)$$

Step 7. Задача про движение нескольких транспортных средств. Этот степ представлял собой тренировку на понимание уравнения (кинематического закона) равномерного движения. Этим степом мы завершили рассмотрение равномерного движения.

Step 8. Равнопеременное движение. Ускорение. ***Если скорость движущегося тела изменяется - такое движение не является равномерным. Для его характеристики пользуются понятием «мгновенная скорость». Мгновенная скорость – та самая, которую в данное мгновение показывает спидометр на автомобиле. Эта мгновенная скорость характеризует только данный момент движения, через секунду, через полсекунды - она уже может быть другая!***

Движение может быть таким, что за каждую единицу времени мгновенная скорость прирастает на одну и ту же величину. Например, в начале наблюдения мгновенная скорость движущегося тела была 5 м/с; через 1 секунду она стала равна 7 м/с; ещё через секунду 9 м/с и так далее. Мы скажем, что это тело разгоняется, причём за каждую секунду скорость прирастает ровно на 2 м/с. Такое движение мы называем равноускоренным.

Если скорость за каждую секунду уменьшается на одну и ту же величину – равнозамедленным. Вместе и то и другое движение называют равнопеременным.

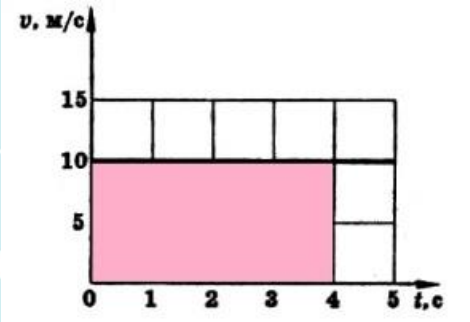
Характеристикой равнопеременного движения является ускорение. Допустим, тело разгоняется. В некий начальный момент, когда мы стали за ним наблюдать, его (мгновенная) скорость была v_0, а через некоторое время t стала равна v. Тогда

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} \qquad (3)$$

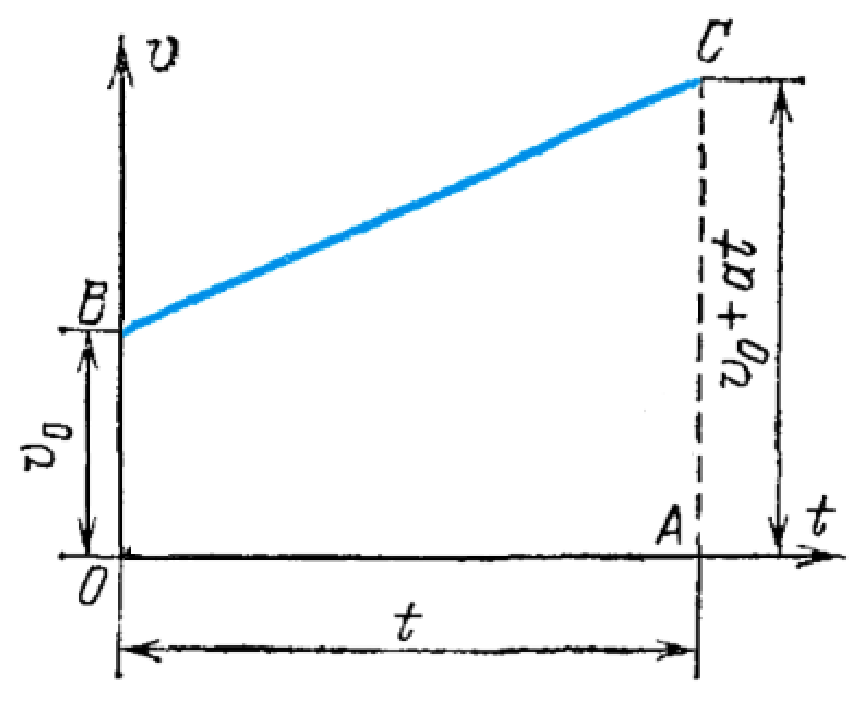
отношение изменения скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение произошло, называется ускорением.

Step 9. График равнопеременного движения. ***Он был посвящен разбору заданий, в которых исходные данные задавались графически, в форме зависимости скорости от времени.***

Step 10. Пройденный путь при равнопеременном движении



При равномерном движении пройденный путь можно найти как площадь прямоугольника, образованного графиком v(t) и осью t. При равноускоренном движении вместо прямоугольника - трапеция. Вспомнив, как вычисляется площадь трапеции, мы вывели полезнейшую формулу для расчёта пройденного пути при равноускоренном движении.



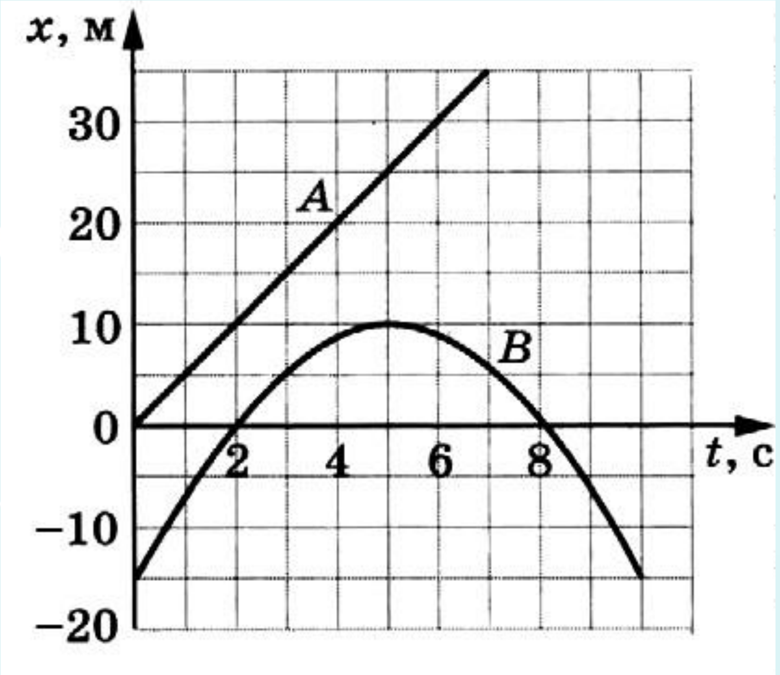
$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} \qquad \textbf{(4)}$$

Step 11. Четыре задачи на равноускоренное движение. ***Здесь мы поупражнялись в применении формулы 4 при решении задач.***

Step 12. Уравнение (кинематический закон) равноускоренного движения

Подобно тому, как в 6-ом степе мы вывели кинематический закон равномерного движения, в 12-ом мы сделали то же для равноускоренного. Он таков:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \qquad (5)$$



На этой картинке два графика - для равномерного и для равноускоренного движения. Для равномерного - это прямая линия (линейная зависимость координаты х от t). Для равноускоренного - парабола (зависимость квадратичная). Кстати, ветви параболы направлены вниз, это означает, что ускорение отрицательное, и движение, на самом деле, не равноускоренное, а равнозамедленное.

Step 13. Равноускоренное движение с точки зрения матанализа (высшей математики)

Ели ты умеешь находить производные функций (а уметь должен, проходили по математике), то решение многих задач для тебя упрощается. Ибо скорость - это производная от функции x(t):

$$v_x = x'(t) \qquad (6)$$

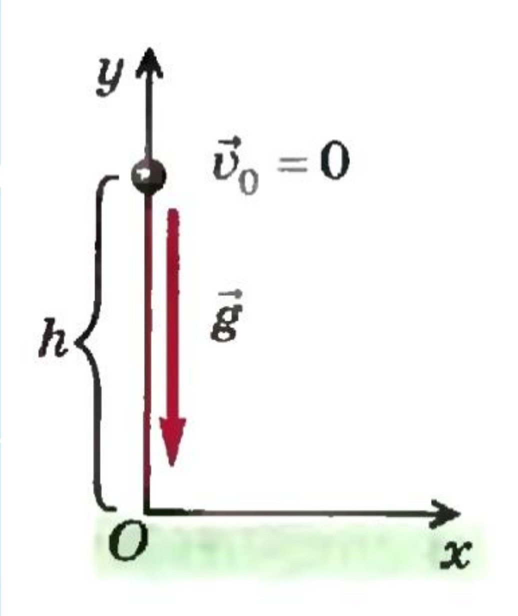
Ускорение - это производная от функции v(t)

$$a = v'(t) \qquad (7)$$

Step 14. Свободное падение

Все тела падают одинаково, независимо от веса. Их падение – равноускоренное движение. Ускорение для всех падающих тел одинаковое, оно составляет примерно 10 м/с^2 , называется «ускорением свободного падения» и обозначается не буквой а, как всякое другое ускорение, а буквой g .

Этот факт доказал в 16 веке Галилей, который влез на Пизанскую башню и стал с неё сбрасывать пушечные и мушкетные ядра разного размера и веса.

При свободном падении тело перемещается вертикально. Разумно выбрать примерно вот такую систему координат - ось х направлена вдоль земной поверхности (там изображена зелёная травка), а ось у перпендикулярно ей вверх. Уравнение свободного падения логично записать в проекциях на вертикальную ось у. И получим вот такое выражение

$$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{gt^2}{2} \qquad \textbf{(8)}$$

Step 15. *Задачи на свободное падение.* Потренировались в решении задач.

Step 16. *Движение тела, брошенного вертикально вверх*

Свободное падение мы описывали формулой (8)

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

Подъём тела вверх – тоже равнопеременное движение, как и свободное падение вниз. Но при свободном падении ускорение g совпадало с направлением движения тела и разгоняло его. Свободное падение тела – это равноускоренное движение. При подъёме ускорение свободного падения g

направлено противоположно направлению движения тела. Оно замедляет движение. Свободный подъём тела вверх – есть равнозамедленное движение.

При подъёме вверх мы так же пренебрегаем сопротивлением воздуха, поэтому я назвал подъём (по аналогии с падением) свободным.

При свободном падении текущая координата у в формуле (8) указывала место тела в конце падения и во многих заданиях равнялась нулю, когда тело падало на поверхность земли. При свободном подъёме текущая координата у никогда не будет равна нулю – она покажет высоту взлёта тела. А с начальной координатой y_0 ***ситуация обратная. При свободном падении она указывала на высоту воздушного шара или вертолёта, на высоту, с которой начинало падать тело.***

При свободном подъёме она будет равняться нулю, если тело брошено с поверхности земли. Может быть и не нуль, если тело брошено с крыши дома или, например, балкона, но по любому это будет самая низкая точка на траектории взлетающего объекта.

Проекция начальной скорости на ось y v_{0y} ***во многих задачах тоже равнялась нулю. Как, например, в задаче про мешок с песком, оторвавшийся от неподвижно зависшего воздушного шара. Мы тогда говорили, что если бы шар поднимался или опускался, либо пассажир в корзине шара бросил мешок вверх или вниз – то начальная скорость была бы отлична от нуля. Но в большинстве задач она равна нулю по умолчанию, подразумевается в условии, что падение начинается с нулевой скоростью.***

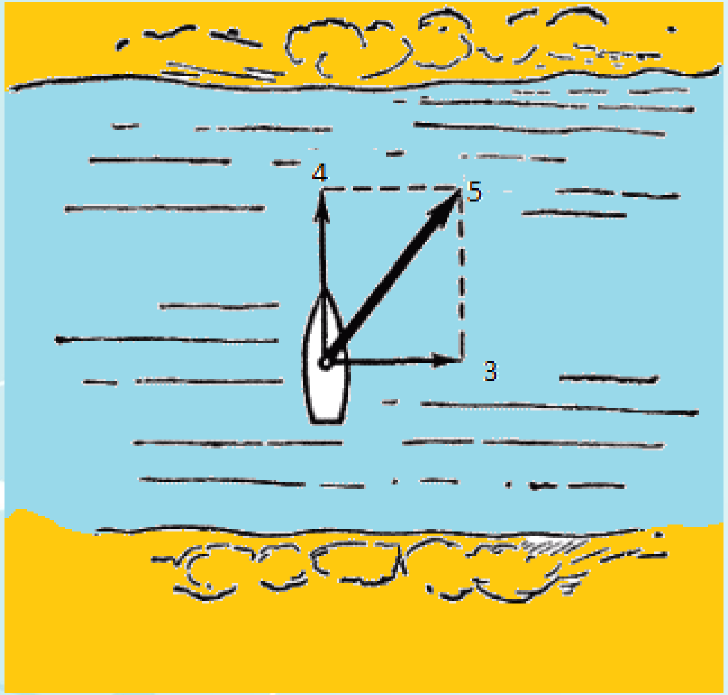
А при свободном подъёме начальная скорость обязательно не равна нулю! Иначе, почему бы тело стало подниматься? Она обязательно отлична от нуля и обязательно направлена вверх, в положительном направлении оси у, то есть обязательно имеет знак плюс!

А конечная скорость? Мы её находили из определительной формулы ускорения

$$g = \frac{v_y - v_{y0}}{t}$$

При свободном падении конечная скорость – это максимальная скорость, которую разгоняющееся тело достигало в конце падения. А при свободном подъёме конечная скорость будет равна нулю: да, тело замедлялось, замедлялось, и на какой-то высоте остановилось совсем.

Step 17. Движение тела, брошенного горизонтально



Рассуждения и решение. ***Не по физике, даже, а по алгебре мы решали задачу о лодке, плывущей поперёк реки. Была дана скорость лодки и скорость течения реки. За каждую секунду лодка совершала какое-то перемещение в перпендикулярном течению направлении, и сдвигалась течением вдоль реки. В результате её реальное перемещение происходило по диагонали прямоугольника, у которого одна сторона – перемещение лодки поперечное, а другая стороны – перемещение вдоль реки вместе с текущей водой.***

В нашей задаче полёт мяча также складывается из двух перемещений. Но здесь картина немного сложнее. Вдоль земной поверхности (горизонтально) мяч совершает прямолинейное равномерное движение. А перпендикулярно земной поверхности (вертикально) мяч падает, то есть совершает прямолинейное равноускоренное движение.

Горизонтальный полёт мяча описывается формулой равномерного прямолинейного движения (2)

$$x = x_0 + v_{0x}t$$

Вертикальное падение мяча описывается формулой равноускоренного прямолинейного движения, в котором в качестве ускорения выступает ускорение свободного падения g (8)

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$$

Мы получили систему уравнений, из которой можно найти координаты мяча икс и игрек в любой момент времени.

Step 18. ***Движение тела, брошенного под углом к горизонту***

Полёт стрелы (а так же снаряда из пушки, мяча после удара вратаря) происходит по так называемой баллистической траектории. От слова «баллистика», которая и занимается расчётом оружейных выстрелов.

Эта траектория кривая, как показано на рисунке ниже, но она есть результат сложения двух движений: вертикального взлёта вверх и затем падения вниз + горизонтального полёта с постоянной скоростью.

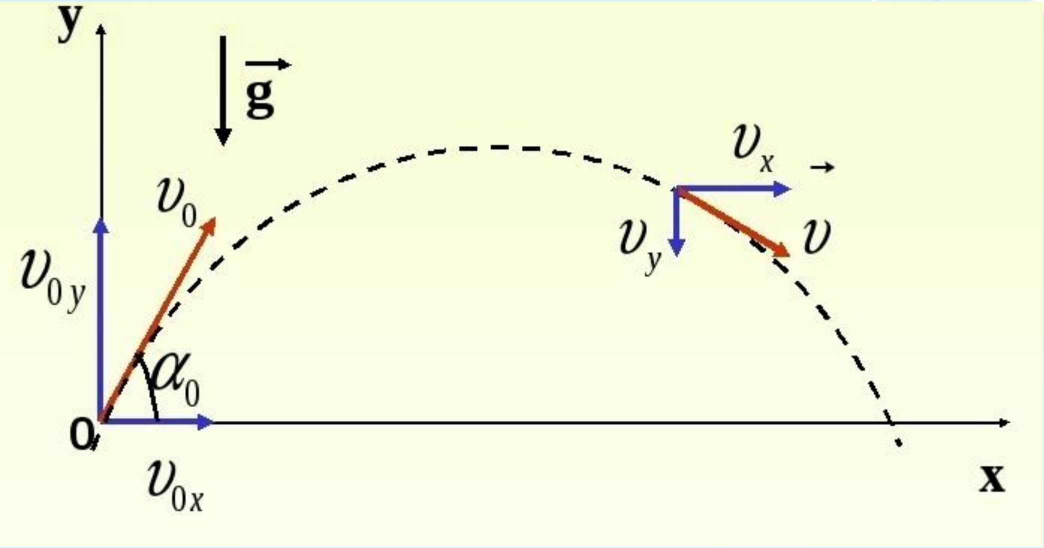
Вертикальное движение описывается формулой (8)

$$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{gt^2}{2}$$

А горизонтальное – формулой (2)

$$x = x_0 + v_{0x}t$$

В каждой из этих формул присутствует проекция начальной скорости $\vec{v}_0$ на какую-нибудь координатную ось. В формуле (8) на ось y; в формуле (2) на ось x. Нам же дана просто скорость (а не проекция). Но поскольку скорость – это вектор, то дано и направление – под углом 50^0 к горизонту.



$$v_{0x} = v_0 \cos A; \quad v_{0y} = v_0 \sin A$$

Step 19. *Движение по окружности. Вращение*

Скорость вращающегося тела (например, стрелки часов) не очень удобно вычислять по формуле (1), как скорость поступательно движущегося тела. При поступательном движении все точки тела описывают одинаковую траекторию и движутся с одинаковой скоростью. При вращательном движении точка, расположенная ближе к концу стрелки, движется быстрее, чем точка, расположенная ближе к оси вращения. Мы, когда смотрим на часы, отслеживаем не движение стрелки, а угол её поворота!

Отсюда логично, скоростью равномерного вращения тела считать отношение угла его поворота φ к промежутку времени t, в течение которого произошёл поворот. И назовём её не просто скоростью, а угловой скоростью ω (эта греческая буква называется «омега»).

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \quad (9)$$

Частота вращения. ***В технике применяется устаревшая единица скорости вращения – оборотов в минуту. Эта единица родилась двести лет назад, в эпоху тихоходных паровых машин, когда на вал наносили метку белой краской и прямо - таки глазами считали обороты в минуту. Эта единица называется не скоростью, а частотой вращения. Обозначают буквой ν (это греческая буква «ню»; она похожа на латинскую v, которой мы обозначали скорость, но это не «вэ»).***

$$\nu = \frac{N}{t},$$

где N – число оборотов.

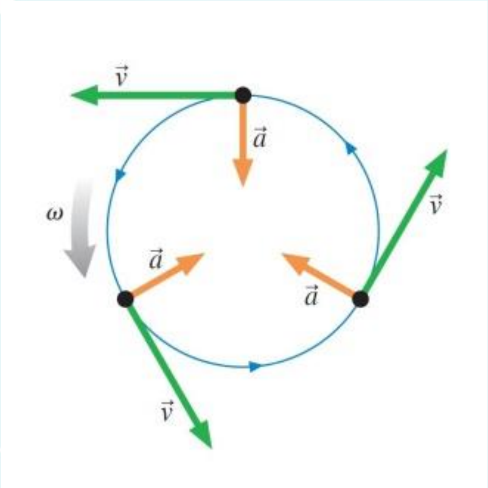
Но физики – любители единиц СИ (к которым не относятся ни минуты, ни тем более «число оборотов») предпочитают частоту вращения тела выражать иначе. Время, за которое тело совершает один оборот, называют периодом, и обозначают буквой Т. Время (от лат.tempus) всегда обозначают буквой t. Но обычно t малое. Период – это тоже время, но всё же особое – это время одного оборота. Поэтому договорились период обозначать Т (большое). Период, конечно, в системе СИ измеряется в секундах.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \textbf{(10)}$$

Частота обратно пропорциональна периоду.

Step 20. Движение по окружности. Центростремительное ускорение

При равномерном движении скорость не изменяется, и ускорение равно нулю. Так ведь? Для прямолинейного движения – да, бесспорно. А для криволинейного не совсем так… Скорость – это вектор, который кроме величины (модуля) имеет ещё и направление. А как направлен вектор скорости при движении по окружности? Он направлен по касательной! Замечал - искры от точильного круга или от пилы «болгарки» летят по касательной? В каждой точке криволинейной траектории вектор скорости направлен по касательной. При переходе от одной точки траектории к другой - модуль вектора скорости не изменяется, но изменяется направление. А коль скоро есть изменение скорости (хотя бы только по направлению) следовательно есть и ускорение!



1. При равномерном движении материальной точки по окружности она в каждой точке траектории имеет ускорение, направленное по радиусу к центру окружности.

2. Модуль центростремительного ускорения вычисляется по формуле:

$$a_ц = \frac{v^2}{r} \quad \textbf{(11)}$$

где v – скорость движения материальной точки; r – радиус закругления дороги.

Список формул

1) $v=\frac{S}{t}$ 2) $x=x_0+v_x t$ 3) $\vec{a}=\frac{\vec{v}-\vec{v}_0}{t}$ 4) $S=v_0 t+\frac{at^2}{2}$ 5) $x=x_0+v_{0x}t+\frac{a_x t^2}{2}$ 6) $v_x=x'(t)$	7) $a=v'(t)$ 8) $y=y_0+v_{y0}t-\frac{gt^2}{2}$ 9) $\omega=\frac{\varphi}{t}$ 10) $\nu=\frac{1}{T}$ 11) $a_ц=\frac{v^2}{r}$