ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ
ВАРИАНТ 27101 для 10-го класса

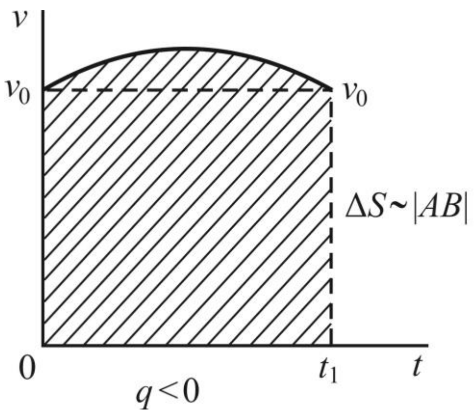
1. Каждый год в НИУ МЭИ проходит «Ночь техники», на которую приезжают старшеклассники. В этом году в учебной лаборатории кафедры физики они наблюдали траекторию движения электронного пучка в электровакуумном приборе под действием электрического и магнитного полей. После опытов преподаватель предложил им решить следующую задачу: «Тонкое закреплённое металлическое кольцо радиусом R заряжено положительным зарядом. На оси кольца на одинаковых расстояниях R от плоскости кольца располагаются точки A и B. Из точки A в точку B начинает двигаться со скоростью υ_A положительно заряженная частица. Как изменится время движения частицы из точки A в точку B, если заряд частицы изменить на противоположный?» Ответьте на вопрос задачи и объясните ответ.

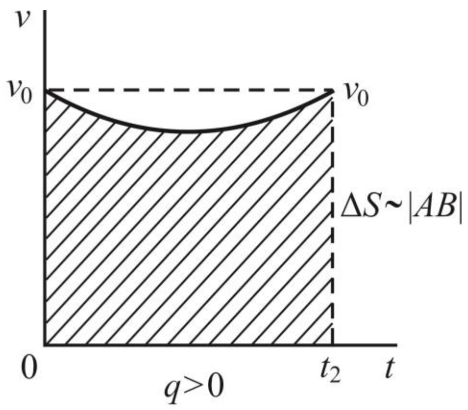
Решение.

Поскольку заряд кольца положительный, то отрицательно заряженная частица на этапе АО ускоряется и в центре кольца её скорость становится больше начальной, а потом начинает убывать. Примерный график зависимости пути от времени приведен на рисунке.

Для положительно заряженной частицы ситуация обратная.

Поскольку площади под кривыми должны быть одинаковы и равны пути, пройденному частицей, то очевидно, что время движения первой частицы меньше времени движения второй.





Если заряд кольца Q>0, то $t_1 < t_2$.

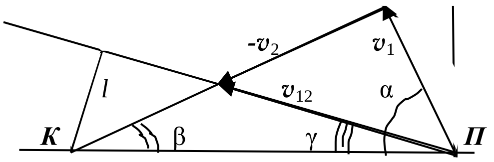
2. Петя и Катя, стоящие на расстоянии S друг от друга, одновременно бросили друг другу маленькие мячики одинаковой массы. Известно, что в процессе полёта минимальное расстояние между мячиками было равно l. Найдите начальную скорость любого из мячиков, если их начальные кинетические энергии одинаковы, а длительности полёта разные. Оба мячика бросаются с одной высоты и ловятся на одной высоте; точка броска «своего» мячика совпадает с точкой поимки «чужого»; сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Решение.

Найдем расстояние между мячиками:

$$\boldsymbol{r}_1 - \boldsymbol{r}_2 = \boldsymbol{r}_{01} + \boldsymbol{v}_{01}t + \frac{gt^2}{2} - \boldsymbol{r}_{02} - \boldsymbol{v}_{02}t - \frac{gt^2}{2} = \boldsymbol{r}_{01} + \boldsymbol{v}_{01}t - \boldsymbol{r}_{02} - \boldsymbol{v}_{02}t,$$

(где 1 – Петя, 2 – Катя, α – Петя, β – Катя, α>β).



Мы получили, что расстояние между мячиками не зависит от g*, как и в прямолинейном движении.*

Поскольку дальности полета одинаковы, то α+β=90^o (свойство навесной и настильной траекторий).

Перейдем в систему отсчета, связанную с мячиком, который бросила Катя(см.рис.). Тогда траектория движения мяча Пети относительно мяча Кати – прямая(вдоль v_{12} *). Минимальное расстояние между мячами – перпендикуляр l , опущенный из точки К на траекторию движения мяча Пети относительно мяча Кати.*

Отметим, что l не равно разности максимальных высот двух мячей!

Из рисунка видно, что $\alpha=45^o+\gamma$, $l=S\cdot\sin\gamma$, *т.е.*

$$S=\frac{v_0^2}{g}\cdot\sin 2\alpha=\frac{v_0^2}{g}\cdot\sin(90°+2\gamma)=\frac{v_0^2}{g}\cdot\cos 2\gamma$$

$$\cos 2\gamma=1-2\cdot\sin^2\gamma=1-\frac{2l^2}{S^2}$$

$$v_0=\sqrt{\frac{Sg}{\cos 2\gamma}}=\sqrt{\frac{S^3g}{S^2-2l^2}}.$$

3. Две разноимённо заряженные частицы влетают в однородное электростатическое поле так, что их импульсы $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$ перпендикулярны друг другу. Через некоторое время импульс первой частицы становится равным $\vec{p}_1'=-\vec{p}_1$, а модуль импульса второй частицы в этот момент времени становится равным $p_2'=5p_1$. Определите отношение модулей начальных импульсов частиц, если заряд второй частицы в два раза больше заряда первой частицы. Взаимодействием частиц пренебречь.

Решение.

! Знак заряда не принципиален, он влияет лишь на рисунок к задаче. Понятно, что первая частица движется параллельно силовым линиям, а вторая – перпендикулярно им. Из закона изменения импульса следует, что $\Delta\vec{P}_i=q_i\vec{E}\Delta t$. *Поскольку заряд второй частицы больше заряда первой в два раза, то*

$$|\Delta P_2|=2|\Delta P_1|=4P_1,\ \text{то}\ P_2'=5P_1=\sqrt{16P_1^2+P_2^2}\ .$$

Получаем, что $P_2=3P_1$.

Ответ:3.

4. Нижний конец вертикальной узкой трубки длиной $2l$ запаян, а верхний соединён с атмосферой. В нижней половине трубки находится воздух при температуре T_0, а верхняя половина заполнена до конца ртутью. До какой минимальной температуры надо нагреть газ в трубке, чтобы он вытеснил всю ртуть? Атмосферное давление равно l мм. рт. ст. Поверхностное натяжение не учитывайте.

Решение

$P_1=2p_0=2l$ *- первоначальное давление воздуха*

x – смещение вверх столбика ртути при температуре T

$$\frac{2lSl}{T_0}=\frac{(2l-x)S(l+x)}{T}$$

$$T = T_0 \cdot \frac{(2l - x)(l + x)}{2l^2}$$

Кривая (парабола ветвями вниз) с корнями x = - l, 2l и максимумом x = l/2. Для выталкивания ртути надо пройти через максимум температуры, т.е. нагреть воздух, как минимум, до температуры

$$T = T_0 \cdot \frac{\left(2l-\frac{l}{2}\right)\left(l+\frac{l}{2}\right)}{2l^2} = \frac{9}{8}T_0.$$

5. Дядюшка Поджер (персонаж юмористической повести Дж. К. Джерома «Трое в лодке, не считая собаки») забил гвоздь в стену и собрался вешать картину. У него есть моток прекрасного шелкового шнура, кусок которого он закрепил в специальных защелках в двух верхних углах картины и накинул шнурок на гвоздь. Однако картина никак не желала висеть ровно – она постоянно сползала то в одну, то в другую сторону. Очевидно трение между шнурком и гвоздем было слишком мало. Определите, какой длины должен быть шнурок, чтобы дядюшка Поджер смог всё же ровно подвесить прямоугольную картину с размерами a = 3 фута по горизонтали и b = 2 фута по вертикали, если полностью пренебречь трением между шнурком и гвоздем. Считать также, что защелки в углах картины не требуют дополнительной длины шнурка для его фиксации, а их массой, как и массой самого шнурка, можно пренебречь.

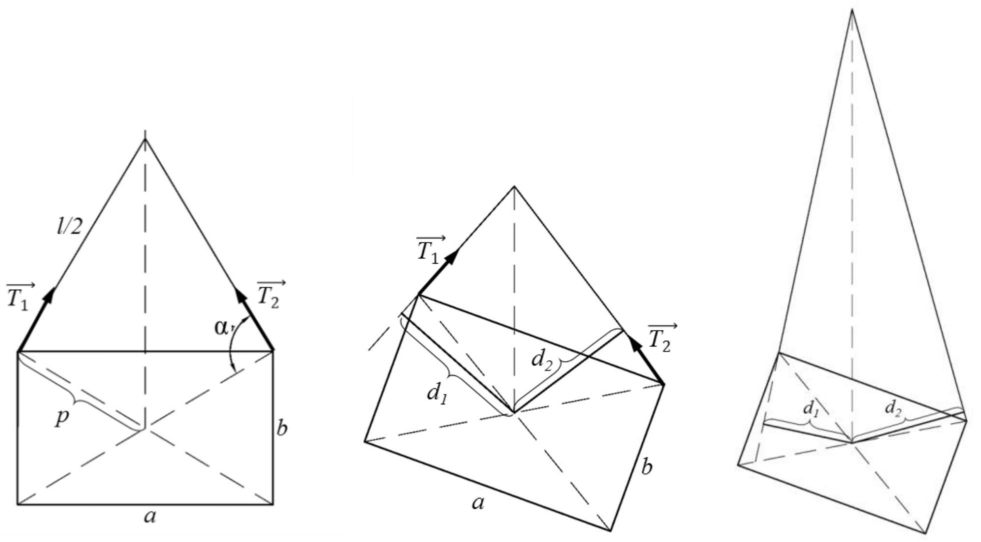


Рис.1 картина находится в равновесии – моменты сил натяжения нити равны, т.к. $T_1 = T_2$ и $d_1 = d_2$.
Рис.2, 3 картину вывели из положения равновесия, повернув вправо. Положение равновесия устойчивое если момент силы T_2 больше момента силы T_1. $T_1 = T_2$, следовательно $d_2 > d_1$ и неустойчивое если $d_2 < d_1$.
$d_2 > d_1$ если угол $\alpha > 90^\circ$ (Рис.3),
$d_2 < d_1$ если угол $\alpha < 90^\circ$ (Рис.2)
Рассмотрим крайний случай $\alpha = 90^\circ$ (рис.1)
Из подобия треугольников получаем:

$$\frac{b}{2p} = \frac{a/2}{l/2}, \quad l_{кр} = \frac{2ap}{b} = \frac{a}{b}\sqrt{a^2 + b^2}$$

Ответ: Устойчивое равновесие если $l \geq \frac{a}{b}\sqrt{a^2+b^2}$ =5,4 фута.