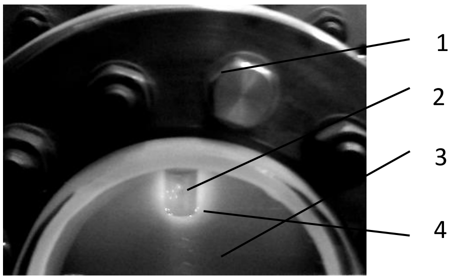
ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ
ВАРИАНТ **27111** для 11-го класса

1. В лаборатории физики плазмы Института тепловой и атомной энергетики НИУ МЭИ на специальной установке проводятся исследования материалов первой стенки термоядерного реактора. Установка представляет из себя герметичную цилиндрическую камеру 1 (см. фото), в которой находится гелий под давлением много ниже атмосферного. Камера выполнена из нержавеющей стали и заземлена. Через боковую стенку внутрь камеры введён электрод 2, представляющий из себя изолированный от камеры металлический стержень с закруглением на конце. И камера, и стержень находятся при комнатной температуре. В одном из экспериментов через кварцевое окно 3 в торцевой стенке камеры исследователи заметили следующее явление. При подаче на электрод отрицательного потенциала около 1000 В вокруг стержня наблюдалось свечение 4. Как вы думаете, что является причиной данного свечения? Почему светится в основном область вблизи электрода?



В данном случае имеет место разновидность коронного разряда. Внутри камеры присутствует некоторое количество свободных электронов. Под действием электрического поля стержня электроны разгоняются до кинетической энергии достаточной для возбуждения атомов гелия при столкновении с ними. Атомы гелия, возвращаясь в исходное состояние, испускают свет. Вдали от стержня напряженность электрического поля меньше, поэтому на длине свободного пробега большинство электронов не успевают набрать энергию, достаточную для возбуждения гелия. Поэтому вдали от стержня свечения почти нет.

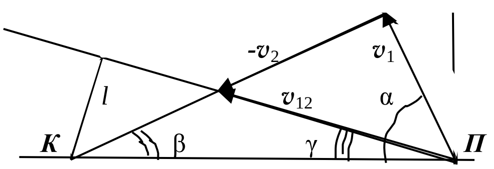
2. Петя и Катя, стоящие на расстоянии S друг от друга, одновременно бросили друг другу маленькие мячики одинаковой массы. Известно, что в процессе полёта минимальное расстояние между мячиками было равно l. Найдите начальную скорость любого из мячиков, если их начальные кинетические энергии одинаковы, 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:

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

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



Мы получили, что расстояние между мячиками не зависит от $\boldsymbol{g}$, как и в прямолинейном движении.

Поскольку дальности полета одинаковы, то $\alpha+\beta=90^o$ (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.*

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

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

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

3. В вертикальной узкой трубке длиной $2l$ нижний конец 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 в трубке

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

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

4. В центре сферической вакуумной камеры образовалась элементарная частица мюон с энергией E. Определите максимальное значение радиуса камеры R, при котором мюон долетит до её стенки? Масса и время жизни медленного (покоящегося) мюона равны, соответственно, m и τ_0.

Решение:

Радиус камеры $R_{\max} = v\tau$, где τ - время жизни частицы в лабораторной системе отсчета.

Поскольку

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \text{ то } \frac{v}{c} = \sqrt{1-\left(\frac{mc^2}{E}\right)^2} \quad \text{и} \quad v = c\sqrt{1-\left(\frac{mc^2}{E}\right)^2}.$$

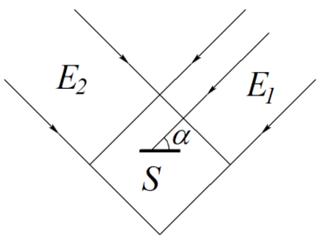
Время жизни движущегося мюона:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \tau_0 \frac{E}{mc^2}.$$

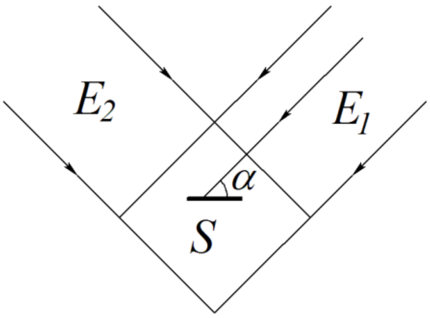
Расстояние, которое успеет пройти частица, равно:

$$R_{\max} = c\tau_0 \frac{E}{mc^2}\sqrt{1-\left(\frac{mc^2}{E}\right)^2} = c\tau_0 \sqrt{\left(\frac{E}{mc^2}\right)^2 - 1}.$$

5. Два плоскопараллельных монохроматических однородных световых пучка жёлтого и голубого цвета пересекаются под углом



90°. В области их пересечения расположена пластинка S (см. рис.). Если площадь пластинки перпендикулярна первому пучку, то величина световой энергии, попадающей на нее за секунду, равна E_1. Если площадь пластинки перпендикулярна второму пучку, то величина световой энергии, попадающей на нее за секунду, равна E_2, причем $E_2=2E_1$. Под каким углом α необходимо расположить плоскость пластинки к направлению первого пучка, чтобы на неё попадало как можно больше световой энергии?



Пусть лучи голубого светового пучка падают под углом α к плоскости пластинки. Из рисунка видно, что на пластину за единицу времени падает

$E = E_1 \sin\alpha + E_2 \cos\alpha.$

световая энергия. Чтобы найти значение угла α, отвечающее максимуму E, используем известное из тригонометрии преобразование

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}\left(\frac{E_1}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2}}\sin\alpha + \frac{E_2}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2}}\cos\alpha\right)$$

и введём обозначения

$$\frac{E_1}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2}} = sin\,\beta; \quad \frac{E_2}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2}} = cos\,\beta.$$

Тогда для падающей на пластину за единицу времени световой энергии можно записать

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}\,cos(\alpha - \beta).$$

Отсюда видно, что максимум E достигается при

$$\alpha = \beta = arcsin\frac{E_1}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2}} = arcsin\frac{1}{\sqrt{5}} = 26{,}6^{\circ}.$$

Ответ: $\alpha = 26{,}6^{\circ}$, т.е. $arcsin\frac{1}{\sqrt{5}}$ или $arctg\frac{1}{2}$ (в зависимости от способа решения).