

ВсОШ, 2022/23, заключительный этап, 10 класс, теоретический тур

Всероссийская олимпиада школьников по физике [Условия и ответы](#)

Задача 1 Кинематика поршня

Герметично закрытый с обоих концов теплоизолированный цилиндр расположен горизонтально. Внутри цилиндра находится непроводящий тепло легкий вертикальный поршень площадью S , делящий цилиндр на два отсека. Поршень может перемещаться внутри цилиндра без трения. Отсеки заполнены идеальным одноатомным газом при давлении p_0 . В первый отсек помещён нагреватель, по которому может поступать тепло, во втором отсеке размещён теплообменник, с помощью которого тепло отводится из отсека. Модули мощностей подвода и отвода тепла равны q_1 и q_2 соответственно. Нагреватель и теплообменник приводят в действие одновременно.

В пунктах 1 и 2 считайте, что первоначальные объёмы отсеков равны.

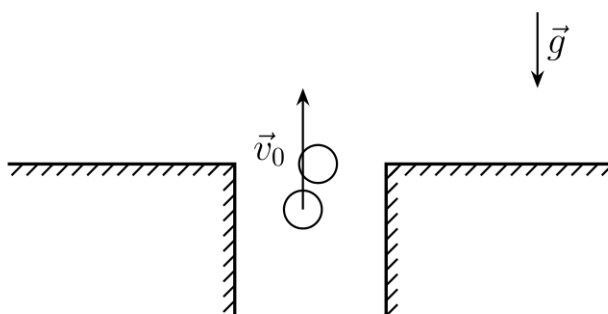
1. Определите скорость перемещения поршня в начальный момент времени, сразу после включения нагревателя и теплообменника.
2. Определите скорость перемещения поршня в момент времени, когда поршень делит объём цилиндра в отношении 2 : 1, если модули мощностей q_1 и q_2 одинаковы и равны q .
3. Пусть в начальный момент времени поршень делит объём цилиндра в отношении 3 : 1, а во втором (меньшем) отсеке вместо теплообменника установлен нагреватель мощности q_2 . Определите отношение q_2/q_1 , при котором поршень останется неподвижным.

Все процессы считать равновесными.

Ответ

1) $v_0 = \frac{q_1 + q_2}{5p_0S}$; 2) $v = \frac{2q}{5p_0S}$ (скорость постоянна); 3) $q_2/q_1 = 1/3$.

Задача 2 Из лунки в поле



В поле находится лунка, из которой вылетает маленький шарик. Непосредственно перед вылетом скорость шарика равна $\vec{v}_0$ и направлена вертикально вверх. В момент вылета шарик абсолютно упруго сталкивается со вторым таким же шариком, который перед ударом покоился на уровне поверхности поля. После удара шарик движется под действием только силы тяжести и падает где-то в поле. Удар шариков о поле абсолютно неупругий.

1. Найдите максимально возможное расстояние $l_{\max}$ между точками падения шариков.

2. Найдите максимально возможное расстояние $S_{\max}$ от лунки до места падения одного из шариков.

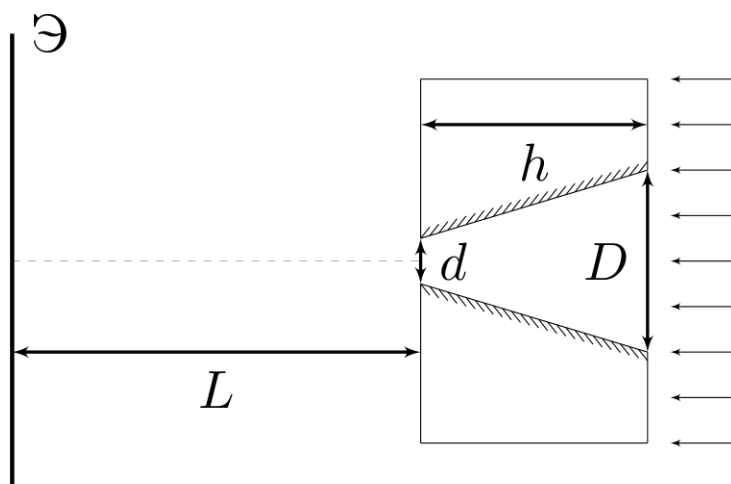
Поверхность поля считайте горизонтальной. Размеры лунки и шариков малы по сравнению с $l_{\max}$ и $S_{\max}$.

Ответ

$$1) l_{\max} = \frac{v_0^2}{g}; \quad 2) S_{\max} = \frac{3\sqrt{3} v_0^2}{8g}.$$

Задача 3 Посеребрённый конус

В большой непрозрачной пластине толщиной h просверлено отверстие. Форма его боковой поверхности представляет собой усечённый конус с диаметрами оснований d и $D = 4d$. Ось конического отверстия перпендикулярна пластине, а боковая поверхность посеребрена и идеально отражает падающий на неё свет. Плоский экран расположен параллельно пластине на расстоянии L от нее (см. рис.).



Система освещается параллельным потоком света, направленным вдоль оси конуса.

Геометрические параметры h , D и L связаны соотношением: $D \ll h \ll L$.

1. Изобразите картину, наблюдаемую на экране. Укажите на рисунке все характерные геометрические размеры.

Считайте, что свет попадает на экран только через отверстие в пластине.

2. Между пластиной и экраном поместили идеальную собирающую линзу. Фокусное расстояние линзы $F = L/2$. Главная оптическая ось линзы совпадает с осью конуса. Экран расположен в фокальной плоскости линзы. Считайте, что все лучи, вышедшие из отверстия в пластине, попадают на линзу.

Изобразите картину, наблюдаемую на экране в этом случае. Укажите на рисунке все характерные геометрические размеры.

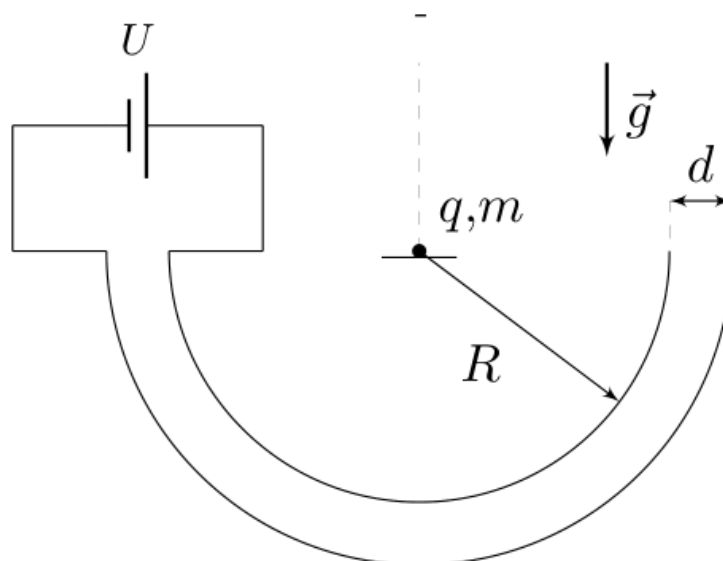
Примечание: Не забудьте привести построения и расчеты, необходимые для определения характерных геометрических размеров, а также обоснование вида картинке, наблюдаемой на экране.

Ответ

- 1) центральное пятно диаметром d и два концентрических кольца: первое — радиус средней линии $R_1 = 3dL/h$, толщина d ; второе — внешний радиус $R_2 = 6dL/h$, толщина $d/2$; 2) два

тонких кольца (толщина много меньше d) радиусами $R'_1 = 3dL/(2h)$ и $R'_2 = 3dL/h$ и точка в центре (пятно много меньше d).

Задача 4 Полусферический конденсатор



Две металлические полусферы радиусами R и $R + d$ ($d \ll R$), плоскости оснований которых горизонтальны, а центры совпадают, подключены к источнику, напряжение U которого может изменяться. Суммарный заряд полусфер равен нулю. В центр полусфер на маленькую диэлектрическую подставку помещают точечный заряд $q > 0$ массой m , который может перемещаться по вертикальной спице без трения по направлению «вверх». Изначально напряжение на источнике равняется нулю, и его начинают медленно увеличивать. Можно пренебречь краевыми эффектами и считать, что заряды полусфер равномерно распределены по их поверхностям. Ускорение свободного падения равно g .

1. Рассмотрим вспомогательную задачу. Полусфера радиусом r заряжена равномерно с поверхностной плотностью заряда σ . В центре полусферы расположен точечный заряд q . Найдите силу взаимодействия заряда и полусферы.

Вернёмся к полусферическому конденсатору.

2. Найдите заряд Q меньшей из полусфер при напряжении на источнике равном U . Считайте, что точечный заряд q при этом остается в центре полусфер.
3. Напряжение источника медленно увеличивают. Найдите при каком заряде меньшей полусферы $Q_{\max}$ заряд q начнет перемещаться. Чему при этом будет равно напряжение источника $U_{\max}$?
4. Найдите изменение электростатической энергии системы $\Delta W_{\text{эл}}$ в процессе медленного увеличения напряжения источника от $U_0 = 0$ В до $U_{\max}$.

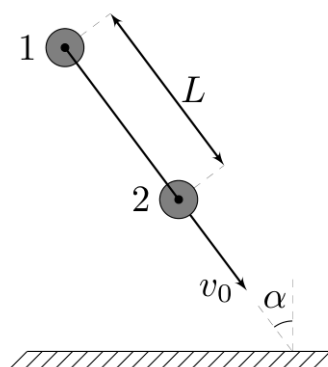
Примечание: Используйте приближение

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx \quad \text{при} \quad nx \ll 1.$$

Ответ

$$\begin{aligned} 1) F &= \frac{q\sigma}{4\epsilon_0}; \quad 2) Q = \frac{2\pi\epsilon_0 R^2 U}{d} - \frac{q}{2}; \quad 3) Q_{\max} = \frac{4\pi\epsilon_0 R^3 mg}{qd}, U_{\max} = \frac{qd}{4\pi\epsilon_0 R^2} \left(1 + \frac{8\pi\epsilon_0 R^3 mg}{q^2 d} \right); \\ 4) \Delta W &= \frac{q^2 d}{16\pi\epsilon_0 R^2} \left(1 + \frac{8\pi\epsilon_0 R^3 mg}{q^2 d} \right)^2. \end{aligned}$$

Задача 5 Об стену



На гладкой горизонтальной поверхности недалеко от вертикальной стенки расположена конструкция, состоящая из двух шайб и стержня. Шайбы лежат на плоскости «плашмя». На рисунке представлен вид сверху.

С центром шайбы 2 стержень соединен жестко и не может относительно нее вращаться. С шайбой 1 стержень соединён с помощью плотной посадки на гладкий шарнир, радиус оси которого много меньше радиуса стержня, поэтому шайба 1 может свободно вращаться относительно стержня.

Стержень образует угол $\alpha = 30^\circ$ с нормалью к стенке. Стержень жесткий и невесомый. Длина стержня $L = 0,8$ м. Радиусы шайб много меньше длины стержня. Радиус стержня много меньше радиусов шайб. Шайбы одинаковые и однородные.

Конструкции сообщают скорость $v_0 = 2,5$ м/с, направленную вдоль стержня в сторону стенки и через некоторое время происходит соударение шайбы 2 со стенкой.

1. Покажите, что в процессе удара силы, действующие со стороны стержня на шайбы, можно считать направленными вдоль стержня.

Используйте данный факт при ответе на последующие вопросы, даже если Вы не смогли его обосновать.

2. Определите угловую скорость вращения стержня сразу после абсолютно упругого соударения шайбы 2 со стенкой (стенка гладкая).
3. Определите угловую скорость вращения стержня сразу после абсолютно неупругого соударения шайбы 2 со стенкой. Коэффициент трения между шайбой и стенкой μ . Рассмотрите два значения коэффициента трения: $\mu_1 = 0,2$ и $\mu_2 = 0,6$.

Примечание: При абсолютно неупругом соударении составляющая скорости шайбы 2, перпендикулярная стенке, обращается в ноль.

Ответ

1) см. решение; 2) $\omega = \frac{4v_0 \operatorname{tg} \alpha}{L(1 + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha)} \approx 4,33$ рад/с; 3) при $\mu_1 = 0,2 < \operatorname{tg} \alpha$: $\omega_1 = \frac{2v_0(\operatorname{tg} \alpha - \mu_1)}{L(1 + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha - \mu_1 \operatorname{tg} \alpha)} \approx 1,52$ рад/с; при $\mu_2 = 0,6 > \operatorname{tg} \alpha$: $\omega_2 = 0$.