

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА УЧАСТНИКА
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ
2018–2019**

Заключительный этап

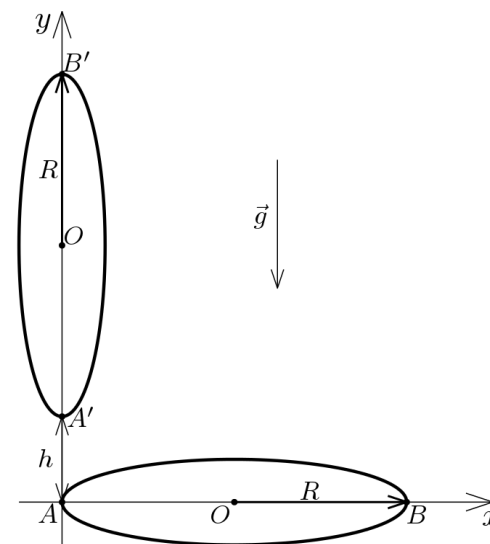
Предмет (комплекс предметов) Олимпиады

ФИЗИКА (11 КЛАСС)

Пример варианта 1

Задача	1	2	3	4	5	Всего
Макс. Балл	20	20	20	20	20	100

1. Рик решил с помощью своей порталной пушки повторить эксперимент из игры Portal. Для этого он открыл два одинаковых огромных портала радиусом $R = 3h$: первый на полу, который мгновенно телепортирует всё, что в него влетает, во второй на высоте $h = 2.5$ м над полом (см. рис.). При этом, во-первых, точка выхода из верхнего портала зависит от точки входа в нижний: тело вошедшее в точку A выйдет из точки A' , тело вошедшее в точку O выйдет из точки O' и т.д. Во-вторых, при телепортации сохраняется скорость относительно портала: тело, упавшее в нижний портал со скоростью, направленной вниз и вправо, вылетит из верхнего портала с такой же по модулю скоростью, направленной вправо и вверх. Желая проверить, как работает портал, Рик надел на Морти противоударный костюм, уменьшил до размера много меньше размера портала и попросил его встать в точку A нижнего портала, запустил секундомер и наблюдает за дальнейшим движением ничего не подозревавшего Морти.



1) На каком расстоянии L_2 от точки A Морти пройдет сквозь нижний портал в момент третьей телепортации?

2) В момент удара Морти о пол Рик останавливает секундомер. Сколько времени T пройдет с момента его запуска?

3) Какой максимальной скорости V_{\max} достигнет Морти в процессе движения?

При ударе о твердый пол Морти останавливается. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: 1) $L_2 = 2h = 5$ м; 2) $T = 6.2$ сек; 3) $V_{\max} = 24.5$ м/с.

2. Частица массой m и зарядом $q > 0$ находится в неоднородном электрическом поле и может двигаться только вдоль вертикальной оси y , направленной вверх. Проекция электрического поля на ось y равна:

$$E(y) = \begin{cases} -\frac{mg}{Lq}(y - 3L), & y > 2L; \\ \frac{mg}{q}, & -4L < y < 2L; \\ -\frac{mg}{Lq}(y + 3L), & y < -4L. \end{cases}$$

Частицу помещают в начало координат и сообщают ей скорость v_0 в положительном направлении оси y . Опишите дальнейшее движение частицы:

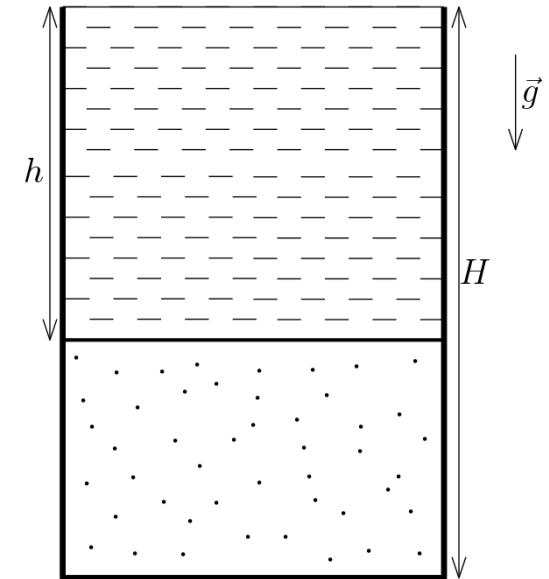
1) Найдите максимальное расстояние S_1 , на которое частица удалится от начала координат при её движении вверх;

2) Найдите максимальное расстояние S_2 , на которое частица удалится от начала координат при её движении вниз;

3) Найдите период колебаний частицы T .

Ответ: 1) $S_1 = 2L + v_0 \sqrt{L/g} \frac{L}{g}$; 2) $S_2 = 4L + v_0 \sqrt{\frac{L}{g}}$; 3) $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} + \frac{12L}{v_0}$.

3. Одноатомный идеальный газ находится в сосуде с легким и тонким поршнем. Над поршнем налита жидкость, которая доходит до краёв сосуда. Система находится в равновесии. Известны полная высота сосуда H и его площадь S , начальный уровень жидкости $h = 7H/8$ и ее плотность ρ , количество молей газа ν . Параметры задачи таковы, что атмосферное давление $P_0 = \rho g H/2$. К газу начинают медленно подводить тепло.



1) Нарисуйте процесс в VT-координатах.

2) Найдите максимальную температуру газа T_{\max} в ходе этого процесса.

3) Сколько тепла Q_1 нужно передать газу, чтобы из сосуда вылилась вся жидкость?

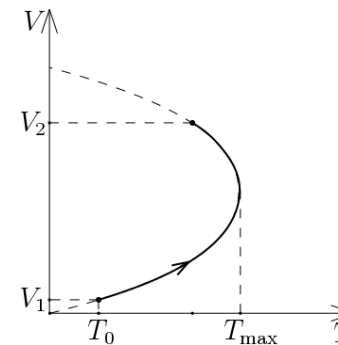
Трением поршня о стенки пренебречь, теплоемкостью жидкости и сосуда пренебречь.

Ответ:

1) $T = \frac{\rho g}{\nu R} \left(\frac{3}{2} H V - \frac{V^2}{S} \right)$, её графиком является парабола $T(V)$ (см. рис.);

$$2) T_{\max} = \frac{9}{16} \frac{\rho g S H^2}{\nu R};$$

$$3) Q_1 = \frac{169}{128} \rho g S H^2 \approx 1.32 \rho g S H^2.$$



4. В длинном вертикальном цилиндре содержится некоторое количество идеального газа, отделенное от окружающего вакуума с верхней стороны тонкой упругой прозрачной мембраной, а с нижней – перемещаемым поршнем. Мембрана под действием давления газа деформируется, принимая форму сферической поверхности. Можно считать, что радиус кривизны этой поверхности обратно пропорционален давлению. Сверху мембраны налито небольшое количество воды так, что вода полностью покрывает мембрану, но толщина получившегося слоя воды много меньше остальных расстояний в данной

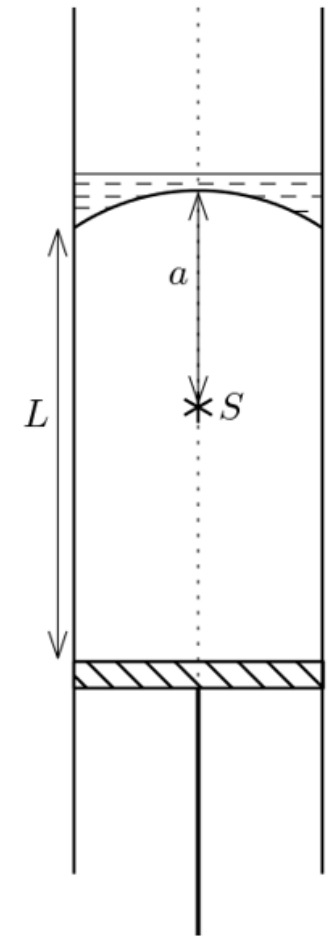
задаче. На расстоянии a от получившейся линзы на оси цилиндра расположен точечный источник света S . В начальный момент времени поршень находился на расстоянии L_0 от мембраны, при этом изображение источника оказалось на расстоянии $a/2$ от нее. Поршень начинают передвигать произвольным образом вдоль цилиндра.

1) Определить расстояние b от изображения до мембраны как функцию расстояния от мембраны до поршня L .

2) При каком значении L_2 расстояние между источником и изображением будет максимальным?

3) При каком значении L_3 расстояние между источником и изображением будет минимальным?

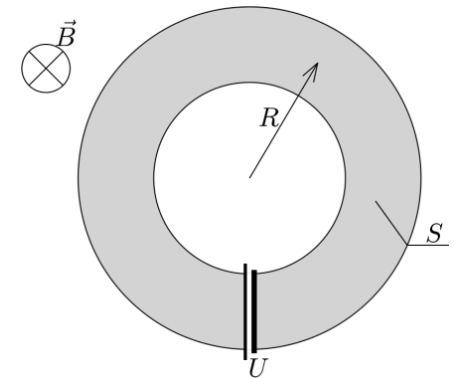
Температура газа остается постоянной при всех перемещениях поршня. Считать, что вода не испаряется и не конденсируется, а радиус кривизны мембраны всегда остается много больше диаметра цилиндра, так что изменением расстояния от мембраны для источника и изменением объема газа, связанными с деформацией мембраны, можно пренебречь. Размеры системы таковы, что справедливо параксиальное приближение.



Комментарий: фокусное расстояние F тонкой сферической линзы может быть найдено из формулы $\frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$, где F – фокусное расстояние линзы, n – коэффициент преломления материала линзы, R_1 и R_2 – радиусы кривизны сферических поверхностей, образующих линзу.

Ответ: 1) $|b| = \frac{aL}{L_0 + L}$; 2) $L_2 = 0$; 3) $L_3 = \infty$.

5. Проводник замкнут в кольцо, расположенное в горизонтальной плоскости, и подключен к источнику постоянного напряжения U , как показано на рисунке. Перпендикулярно кольцу приложено однородное постоянное магнитное поле B . Недеформированный проводник имеет длину L_0 и поперечное сечение S_0 : он может растягиваться под действием внешних сил, не меня своё удельное сопротивление и плотность. Материал проводника имеет удельное сопротивление $\rho_{эл}$, плотностью $\rho_{мех}$ и модуль Юнга E .



1) Найдите радиус R_1 кольца в положении механического равновесия.

2) Найдите период малых механических колебаний радиуса кольца T_1 , считая, что ЭДС индукции мала по сравнению с U . При каких значениях параметров задачи механические колебания возможны?

Радиус окружности много больше поперечного радиуса провода. Индукция внешнего поля много больше индукции, создаваемой током, протекающим по проводнику.

Комментарий: модуль Юнга E – физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации. В отличие от коэффициента жесткости является характеристикой только материала, из которого изготовлено деформируемое тело. Сила упругости для деформируемого стержня сечением S и длиной l может быть рассчитана следующим образом: $F = (ES/l) \cdot \Delta l$, где Δl – модуль изменения длины стержня в результате упругой деформации.

Ответ: 1) $R_1 = L_0 \frac{\rho_{эл} E}{2\pi \rho_{эл} E - UB}$; 2) $T = L_0 \frac{2\pi \rho_{эл} E}{2\pi \rho_{эл} E - UB} \sqrt{\frac{\rho_{мех}}{E}}$, колебания возможны при $UB < 2\pi \rho_{эл} E$

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА УЧАСТНИКА
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ
2018–2019**

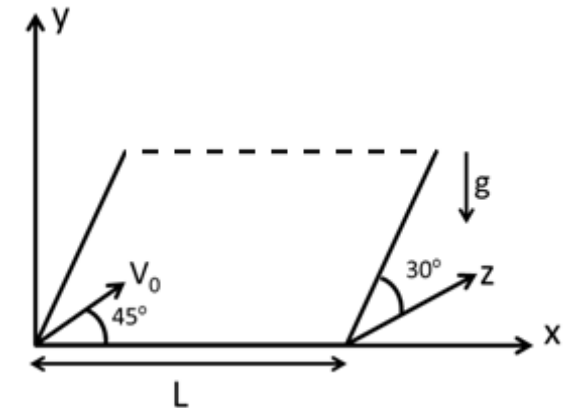
Заключительный этап

Предмет (комплекс предметов) Олимпиады

ФИЗИКА (11 КЛАСС) **Пример варианта 2**

Задача	1	2	3	4	5	Всего
Макс. Балл	20	20	20	20	20	100

1. Имеется наклонная плоскость, расположенная под углом **30** градусов к оси z (см рис.). На этой наклонной плоскости запускают шайбу под углом **45** градусов к оси x со скоростью V_0 . Однако, наклонная плоскость имеет конечную длину L вдоль оси x (протяженность плоскости в направлении перпендикулярном оси x достаточно большая). Когда шайба долетает до конца наклонной плоскости, она слетает с неё без изменения скорости и продолжает падение. Трением и сопротивлением воздуха пренебречь.



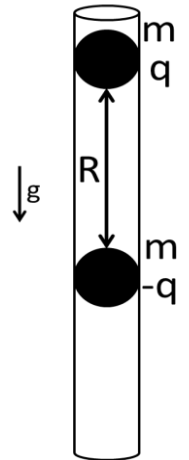
- 1) Каким должно быть значение скорости V_{\min} для того, чтобы шайба прошла через точку $(L, 0, 0)$?
- 2) За какое время шайба упадёт на землю после окончания движения по наклонной плоскости, если начальная скорость будет $V_0 = 2 \cdot V_{\min}$?

3) Укажите координаты шайбы (x, y, z) в момент падения на землю (плоскость xz), если начальная скорость будет $V_0 = 2 \cdot V_{\min}$?

Ответ: 1) $V_{\min} = \sqrt{\frac{gL}{2}}$; 2) $t_2 \approx 1.15 \sqrt{\frac{L}{g}}$; 3) (2.15 L; 0; 1.15 L).

2. Два проводящих шарика одинаковой массы m , радиуса r , с противоположными зарядами q и $-q$ находятся в бесконечно длинной трубе. Диаметр трубы равен диаметру шариков, поэтому при движении шарики касаются стенок трубы, и на них действует сила трения. Известно, что при движении шариков относительно трубы сила трения скольжения равна F . Труба находится в вакууме, а её стенки не проводят электричество.

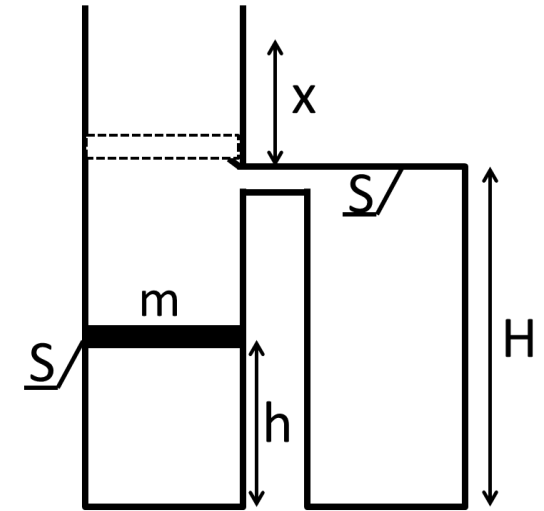
Шарики зафиксированы на расстоянии $R \gg r$, затем шарiki отпускают. Найдите ускорения шариков в первый момент времени и нарисуйте зависимость этих ускорений от расстояния R между их центрами, указав характерные точки зависимости. Решите задачу для случая $F < mg$.



Ответ:

$$a_{1y} = \begin{cases} -\frac{kq^2}{mR^2} - g + \frac{F}{m}, & R > 2r \\ -g + \frac{F}{m}, & R = 2r \end{cases} \quad a_{2y} = \begin{cases} \frac{kq^2}{mR^2} - g + \frac{F}{m}, & R > R_2 \\ 0, & R_1 \leq R \leq R_2 \\ \frac{kq^2}{mR^2} - g - \frac{F}{m}, & 2r < R < R_1 \\ -g + \frac{F}{m}, & R = 2r \end{cases}$$

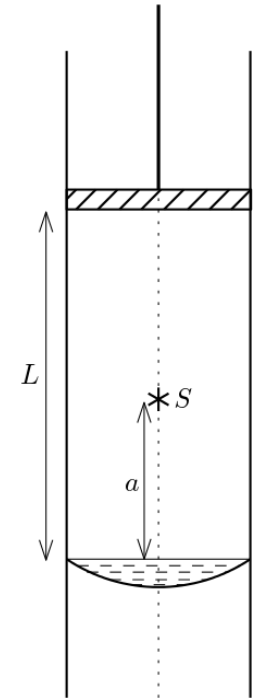
3. К прямоугольному открытому сосуду большой высоты и площади поперечного сечения S справа примыкает через тонкую перемычку сосуд такой же площади и высоты H (см рис). Идеальный одноатомный газ при температуре T_0 находится под поршнем массы m , который изначально расположен ниже перемычки на высоте h . Система помещена в вакуум. В начальный момент времени поршень находится в равновесии. Левый сосуд начинают медленно нагревать, пока поршень не поднимется до уровня перемычки. Выше перемычки имеется зажим, который не позволяет поршню опускаться вниз, как только перемычка приоткрывается, но при этом не оказывает сопротивления движению вверх. После того, как газ распространился во второй сосуд, к нему снова начинают медленно подводить теплоту. Теплопотерями, теплоемкостью сосудов и трением пренебречь.



- 1) Какова будет температура газа T_2 после того, как он распространился во второй сосуд, но до того, как ему начали снова передавать теплоту;
- 2) Какова будет температура газа T_3 в тот момент, когда поршень начнет двигаться после открытия перемычки;
- 3) Какое количество теплоты Q нужно подвести к газу с начала процесса, чтобы поршень поднялся на высоту x над перемычкой.

Ответ: 1) $T_2 = \frac{H}{h}T_0$; 2) $T_3 = \frac{2H}{h}T_0$; 3) $Q = mg \left[4H + \frac{5}{2}(x - h) \right]$.

4. В длинном вертикальном цилиндре содержится некоторое количество идеального газа, отделенное от окружающего вакуума с нижней стороны тонкой упругой прозрачной мембраной, а с верхней – перемещаемым тонким прозрачным поршнем. Мембрана под действием давления газа деформируется, принимая форму сферической поверхности. Можно считать, что радиус кривизны этой поверхности обратно пропорционален давлению. Сверху мембраны налито небольшое количество воды. На расстоянии a от получившейся линзы на оси цилиндра расположен точечный источник света S . В начальный момент времени поршень находился на расстоянии L_0 от мембраны, при этом действительное изображение источника оказалось на расстоянии $a/2$ от нее. Поршень начинают передвигать произвольным образом вдоль цилиндра.



Определить расстояние b от изображения до мембраны как функцию расстояния от мембраны до поршня L .

При каком значении L_2 расстояние между источником и изображением будет максимальным?

При каком значении L_3 расстояние между источником и изображением будет минимальным?

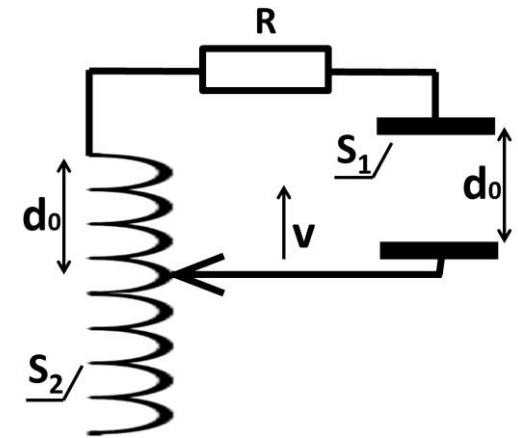
Температура газа остается постоянной при всех перемещениях поршня. Считать, что вода не испаряется и не конденсируется, а радиус кривизны мембраны всегда остается много больше диаметра цилиндра, так что изменением расстояния от мембраны для источника и изменением объема газа, связанными с деформацией мембраны, можно пренебречь.

Размеры системы таковы, что справедливо параксиальное приближение.

Комментарий: фокусное расстояние F тонкой сферической линзы может быть найдено из формулы $1/F = (n-1) \cdot (1/R_1 + 1/R_2)$, где F – фокусное расстояние линзы, n – коэффициент преломления материала линзы, R_1 и R_2 – радиусы кривизны сферических поверхностей, образующих линзу.

Ответ: 1) $|b| = \frac{aL}{|3L_0 - L|}$; 2) $L_2 = 3L_0$; 3) $L_3 = \infty$.

5. Электрическая цепь состоит из катушки индуктивности, резистора и плоского конденсатора, соединённых последовательно. Катушка и верхняя обкладка конденсатора жёстко прикреплены к потолку, а нижняя может двигаться в вертикальном направлении. Контакт этой обкладки с катушкой осуществлён жестким скользящим проводом, т.е. длина катушки всегда равна расстоянию между обкладками конденсатора (см рис). В начальный момент времени заряд конденсатора равен Q , ток через катушку не течет, а расстояние между обкладками равно d_0 .



Нижнюю обкладку начинают двигать к верхней с постоянной скоростью V . Какое должно быть сопротивление у резистора, чтобы заряд на конденсаторе менялся со временем по гармоническому закону? Найдите зависимость заряда на конденсаторе от времени для этого случая.

Сопротивлением катушки пренебречь. Геометрические параметры катушки и конденсатора (площадь обкладок конденсатора S_1 , площадь витков S_2 и число витков на единицу длины n для катушки) считайте известными.

Комментарий: индуктивность катушки может быть вычислена по формуле $L = \mu_0 S n^2 l$, где μ_0 – магнитная постоянная, S – площадь витка, n – количество витков на единицу длины, l – длина катушки индуктивности.

Ответ: 1) $R = V\mu_0 n^2 S_2$; 2) $q(t) = Q \cos\left(t / \sqrt{\mu_0 n^2 S_2 \varepsilon_0 S_1}\right)$.

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА УЧАСТНИКА
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ
2018–2019**

Заключительный этап

Предмет (комплекс предметов) Олимпиады

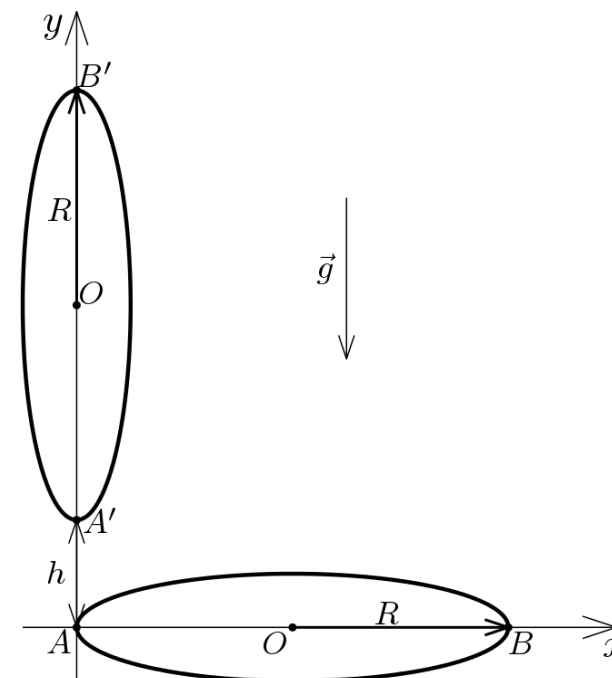
ФИЗИКА (10 КЛАСС)

Пример варианта 1

Задача	1	2	3	4	5	Всего
Макс. Балл	20	20	20	20	20	100

1. Рик решил с помощью своей портальной пушки повторить эксперимент из игры Portal. Для этого он открыл два одинаковых огромных портала радиусом $R = 3h$: первый на полу, который мгновенно телепортирует всё, что в него влетает, во второй на высоте $h = 2.5$ м над полом (см. рис.). При этом, во-первых, точка выхода из верхнего портала зависит от точки входа в нижний: тело вошедшее в точку A выйдет из точки A' , тело вошедшее в точку O выйдет из точки O' и т.д. Во-вторых, при телепортации сохраняется скорость относительно портала: тело, упавшее в нижний портал со скоростью, направленной вниз и вправо, вылетит из верхнего портала с такой же по модулю скоростью, направленной вправо и вверх.

Желая проверить, как работает портал, Рик надел на Морти противоударный костюм, уменьшил до размера много меньше размера портала и попросил его встать в точку A



нижнего портала, запустил секундомер и наблюдает за дальнейшим движением ничего не подозревавшего Морти.

- 1) На каком расстоянии L_2 от точки А Морти пройдет сквозь нижний портал в момент третьей телепортации?
- 2) В момент удара Морти о пол Рик останавливает секундомер. Сколько времени T пройдет с момента его запуска?
- 3) Какой максимальной скорости V_{\max} достигнет Морти в процессе движения?

При ударе о твердый пол Морти останавливается. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: 1) $L_2 = 2h = 5$ м; 2) $T = 6.2$ сек; 3) $V_{\max} = 24.5$ м/с.

2. Частица массой m и зарядом $q > 0$ находится в неоднородном электрическом поле и может двигаться только вдоль вертикальной оси y , направленной вверх. Проекция электрического поля на ось y равна:

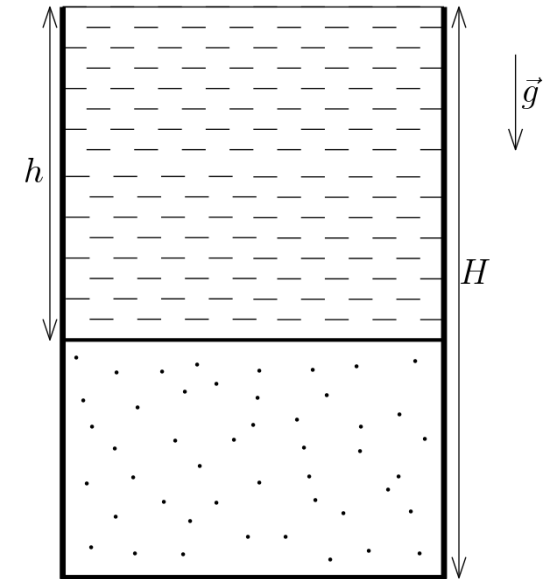
$$E(y) = \begin{cases} -\frac{mg}{Lq}(y - 3L), & y > 2L; \\ \frac{mg}{q}, & -4L < y < 2L; \\ -\frac{mg}{Lq}(y + 3L), & y < -4L. \end{cases}$$

Частицу помещают в начало координат и сообщают ей скорость v_0 в положительном направлении оси y . Опишите дальнейшее движение частицы:

- 1) Найдите максимальное расстояние S_1 , на которое частица удалится от начала координат при её движении вверх;
- 2) Найдите максимальное расстояние S_2 , на которое частица удалится от начала координат при её движении вниз;
- 3) Найдите период колебаний частицы T .

Ответ: 1) $S_1 = 2L + v_0 \sqrt{\frac{L}{g}}$; 2) $S_2 = 4L + v_0 \sqrt{\frac{L}{g}}$; 3) $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} + \frac{12L}{v_0}$.

3. Одноатомный идеальный газ находится в сосуде с легким и тонким поршнем. Над поршнем налита жидкость, которая доходит до краёв сосуда. Система находится в равновесии. Известны полная высота сосуда H и его площадь S , начальный уровень жидкости $h = 7H/8$ и ее плотность ρ , количество молей газа ν . Параметры задачи таковы, что атмосферное давление $P_0 = \rho g H/2$. К газу начинают медленно подводить тепло.



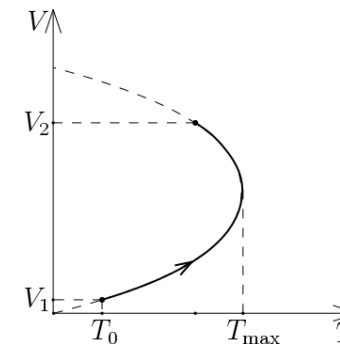
- 1) Нарисуйте процесс в VT -координатах.
 - 2) Найдите максимальную температуру газа T_{\max} в ходе этого процесса.
 - 3) Сколько тепла Q_1 нужно передать газу, чтобы из сосуда вылилась вся жидкость?
- Трением поршня о стенки пренебречь, теплоемкостью жидкости и сосуда пренебречь.

Ответ:

1) $T = \frac{\rho g}{\nu R} \left(\frac{3}{2} H V - \frac{V^2}{S} \right)$, её графиком является парабола $T(V)$ (см. рис.);

2) $T_{\max} = \frac{9}{16} \frac{\rho g S H^2}{\nu R};$

3) $Q_1 = \frac{169}{128} \rho g S H^2 \approx 1.32 \rho g S H^2.$



4. В длинном вертикальном цилиндре содержится некоторое количество идеального газа, отделенное от окружающего вакуума с верхней стороны тонкой упругой прозрачной мембраной, а с нижней – перемещаемым поршнем. Мембрана под действием давления газа деформируется, принимая форму сферической поверхности. Можно считать, что радиус кривизны этой поверхности обратно пропорционален давлению. Сверху мембраны налито небольшое количество воды так, что вода полностью покрывает мембрану, но толщина получившегося слоя воды много меньше остальных расстояний в данной

задаче. На расстоянии a от получившейся линзы на оси цилиндра расположен точечный источник света S . В начальный момент времени поршень находился на расстоянии L_0 от мембраны, при этом изображение источника оказалось на расстоянии $a/2$ от нее. Поршень начинают передвигать произвольным образом вдоль цилиндра.

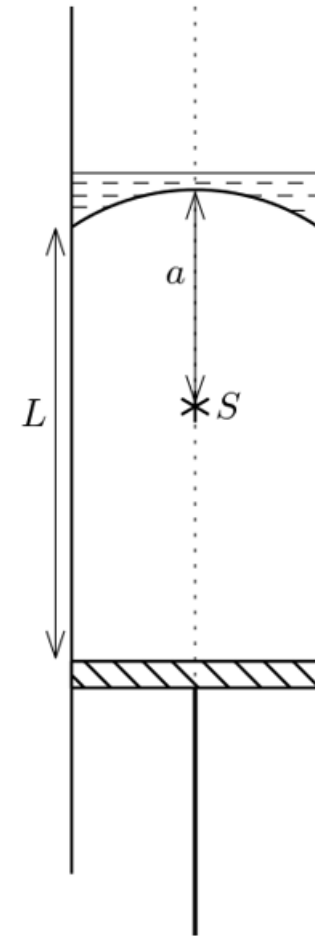
- 1) Определить расстояние b от изображения до мембраны как функцию расстояния от мембраны до поршня L .
- 2) При каком значении L_2 расстояние между источником и изображением будет максимальным?
- 3) При каком значении L_3 расстояние между источником и изображением будет минимальным?

Температура газа остается постоянной при всех перемещениях поршня. Считать, что вода не испаряется и не конденсируется, а радиус кривизны мембраны всегда остается много больше диаметра цилиндра, так что изменением расстояния от мембраны для источника и изменением объема газа, связанными с деформацией мембраны, можно пренебречь. Размеры системы таковы, что справедливо параксиальное приближение.

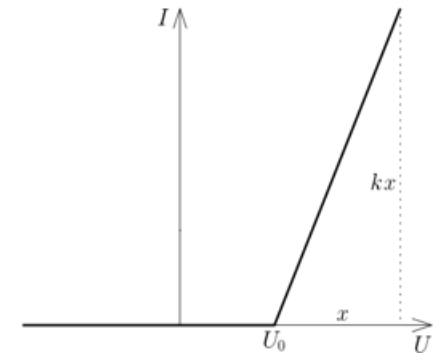
Комментарий: фокусное расстояние F тонкой сферической линзы может быть найдено из

формулы $\frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$, где F – фокусное расстояние линзы, n – коэффициент преломления материала линзы, R_1 и R_2 – радиусы кривизны сферических поверхностей, образующих линзу.

Ответ: 1) $|b| = \frac{aL}{L_0 + L}$; 2) $L_2 = 0$; 3) $L_3 = \infty$.

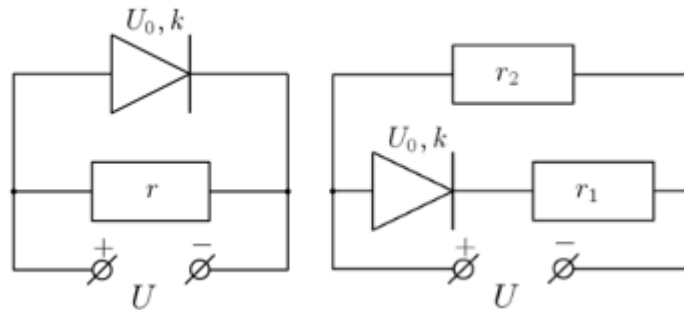


5. Вольт-Амперная характеристика (ВАХ) неидеального диода изображена на рисунке: диод открывается при некотором напряжении U_0 , и в открытом режиме тангенс угла наклона ВАХ равен k . Положительным током в диоде считается ток, текущий по направлению стрелки диода, а положительным напряжением – то, при котором электрический потенциал уменьшается в направлении стрелки диода.



1) Найдите зависимость тока от внешнего напряжения U и нарисуйте ВАХ для диода и резистора r , соединённых параллельно.

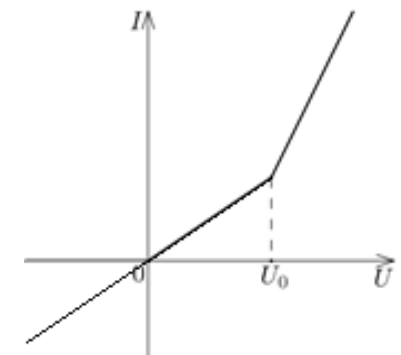
2) Найдите зависимость тока от внешнего напряжения U и нарисуйте ВАХ для последней схемы.



Величины U_0 , k , r , r_1 и r_2 считайте известными.

Ответ:

$$1) \quad I = I_d + \frac{U}{r} = \begin{cases} \frac{U}{r} & U < U_0; \\ k(U - U_0) + \frac{U}{r} & U > U_0. \end{cases} \quad 2) \quad I = \begin{cases} \frac{U}{r_2} & U < U_0; \\ \frac{U}{r_2} + \frac{k(U - U_0)}{1 + kr_1} & U > U_0. \end{cases}$$



**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА УЧАСТНИКА
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ
2018–2019**

Заключительный этап

Предмет (комплекс предметов) Олимпиады

ФИЗИКА (10 КЛАСС)

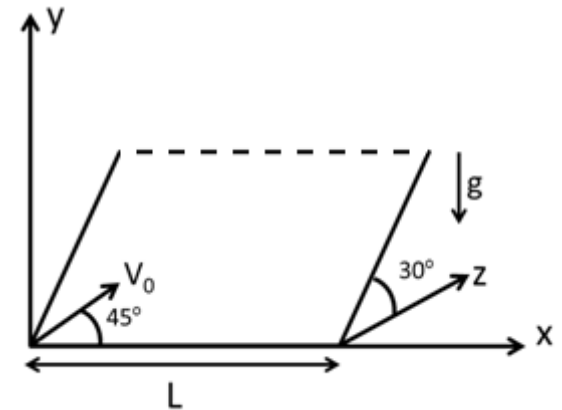
Пример варианта 2

Задача	1	2	3	4	5	Всего
Макс. Балл	20	20	20	20	20	100

1. Имеется наклонная плоскость, расположенная под углом **30** градусов к оси z (см рисунок). На этой наклонной плоскости запускают шайбу под углом **45** градусов к оси x со скоростью V_0 . Однако, наклонная плоскость имеет конечную длину L вдоль оси x (протяженность плоскости в направлении перпендикулярном оси x достаточно большая). Когда шайба долетает до конца наклонной плоскости, она слетает с неё без изменения скорости и продолжает падение. Трением и сопротивлением воздуха пренебречь.

1) Каким должно быть значение скорости V_{\min} для того, чтобы шайба прошла через точку $(L, 0, 0)$?

2) За какое время шайба упадёт на землю после окончания движения по наклонной плоскости, если начальная скорость будет $V_0 = 2 \cdot V_{\min}$?

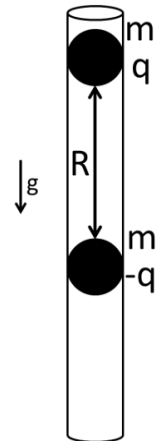


3) Укажите координаты шайбы (x, y, z) в момент падения на землю (плоскость xz), если начальная скорость будет $V_0 = 2 \cdot V_{\min}$?

Ответ: 1) $V_{\min} = \sqrt{\frac{gL}{2}}$; 2) $t_2 \approx 1.15 \sqrt{\frac{L}{g}}$; 3) (2.15 L; 0; 1.15 L).

2. Два проводящих шарика одинаковой массы m , радиуса r , с противоположными зарядами q и $-q$ находятся в бесконечно длинной трубе. Диаметр трубы равен диаметру шариков, поэтому при движении шарик касаются стенок трубы, и на них действует сила трения. Известно, что при движении шариков относительно трубы сила трения скольжения равна F . Труба находится в вакууме, а её стенки не проводят электричество.

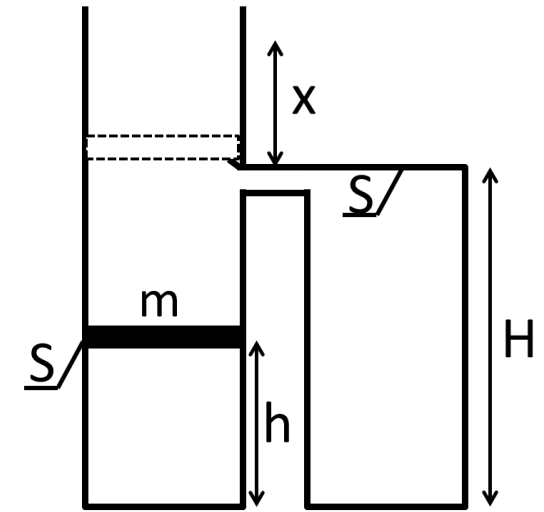
Шарики зафиксированы на расстоянии $R \gg r$, затем шарик отпускают. Найдите ускорения шариков в первый момент времени и нарисуйте зависимость этих ускорений от расстояния R между их центрами, указав характерные точки зависимости. Решите задачу для случая $F < mg$.



Ответ:

$$a_{1y} = \begin{cases} -\frac{kq^2}{mR^2} - g + \frac{F}{m}, & R > 2r \\ -g + \frac{F}{m}, & R = 2r \end{cases} \quad a_{2y} = \begin{cases} \frac{kq^2}{mR^2} - g + \frac{F}{m}, & R > R_2 \\ 0, & R_1 \leq R \leq R_2 \\ \frac{kq^2}{mR^2} - g - \frac{F}{m}, & 2r < R < R_1 \\ -g + \frac{F}{m}, & R = 2r \end{cases}$$

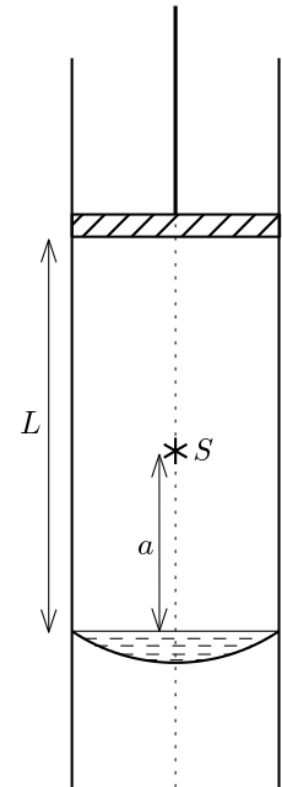
3. К прямоугольному открытому сосуду большой высоты и площади поперечного сечения S справа примыкает через тонкую перемычку сосуд такой же площади и высоты H (см рис). Идеальный одноатомный газ при температуре T_0 находится под поршнем массы m , который изначально расположен ниже перемычки на высоте h . Система помещена в вакуум. В начальный момент времени поршень находится в равновесии. Левый сосуд начинают медленно нагревать, пока поршень не поднимется до уровня перемычки. Выше перемычки имеется зажим, который не позволяет поршню опускаться вниз, как только перемычка приоткрывается, но при этом не оказывает сопротивления движению вверх. После того, как газ распространился во второй сосуд, к нему снова начинают медленно подводить теплоту. Теплопотерями, теплоемкостью сосудов и трением пренебречь.



- 1) Какова будет температура газа T_2 после того, как он распространился во второй сосуд, но до того, как ему начали снова передавать теплоту;
- 2) Какова будет температура газа T_3 в тот момент, когда поршень начнет двигаться после открытия перемычки;
- 3) Какое количество теплоты Q нужно подвести к газу с начала процесса, чтобы поршень поднялся на высоту x над перемычкой.

Ответ: 1) $T_2 = \frac{H}{h}T_0$; 2) $T_3 = \frac{2H}{h}T_0$; 3) $Q = mg \left[4H + \frac{5}{2}(x - h) \right]$.

4. В длинном вертикальном цилиндре содержится некоторое количество идеального газа, отделенное от окружающего вакуума с нижней стороны тонкой упругой прозрачной мембраной, а с верхней – перемещаемым тонким прозрачным поршнем. Мембрана под действием давления газа деформируется, принимая форму сферической поверхности. Можно считать, что радиус кривизны этой поверхности обратно пропорционален давлению. Сверху мембраны налито небольшое количество воды. На расстоянии a от получившейся линзы на оси цилиндра расположен точечный источник света S . В начальный момент времени поршень находился на расстоянии L_0 от мембраны, при этом действительное изображение источника оказалось на расстоянии $a/2$ от нее. Поршень начинают передвигать произвольным образом вдоль цилиндра.



1) Определить расстояние b от изображения до мембраны как функцию расстояния от мембраны до поршня L .

2) При каком значении L_2 расстояние между источником и изображением будет максимальным?

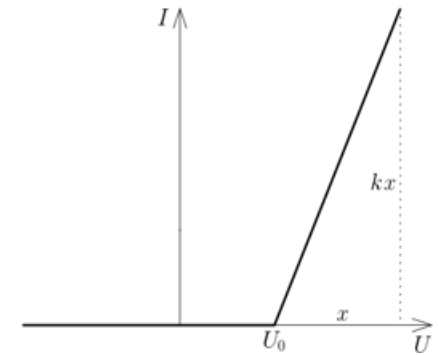
3) При каком значении L_3 расстояние между источником и изображением будет минимальным?

Температура газа остается постоянной при всех перемещениях поршня. Считать, что вода не испаряется и не конденсируется, а радиус кривизны мембраны всегда остается много больше диаметра цилиндра, так что изменением расстояния от мембраны для источника и изменением объема газа, связанными с деформацией мембраны, можно пренебречь. Размеры системы таковы, что справедливо параксиальное приближение.

Комментарий: фокусное расстояние F тонкой сферической линзы может быть найдено из формулы $1/F = (n-1)(1/R_1 + 1/R_2)$, где F – фокусное расстояние линзы, n – коэффициент преломления материала линзы, R_1 и R_2 – радиусы кривизны сферических поверхностей, образующих линзу.*

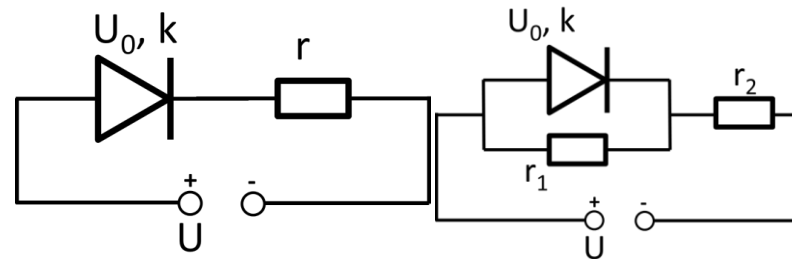
Ответ: 1) $|b| = \frac{aL}{|3L_0 - L|}$; 2) $L_2 = 3L_0$; 3) $L_3 = \infty$.

5. Вольт-Амперная характеристика (ВАХ) неидеального диода изображена на рисунке: диод открывается при некотором напряжении U_0 , и в открытом режиме тангенс угла наклона ВАХ равен k . Положительным током в диоде считается ток, текущий по направлению стрелки диода, а положительным напряжением - то, при котором электрический потенциал уменьшается в направлении стрелки диода.



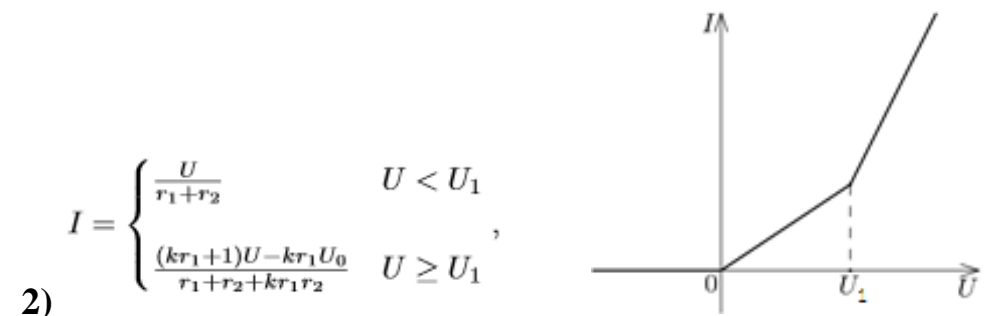
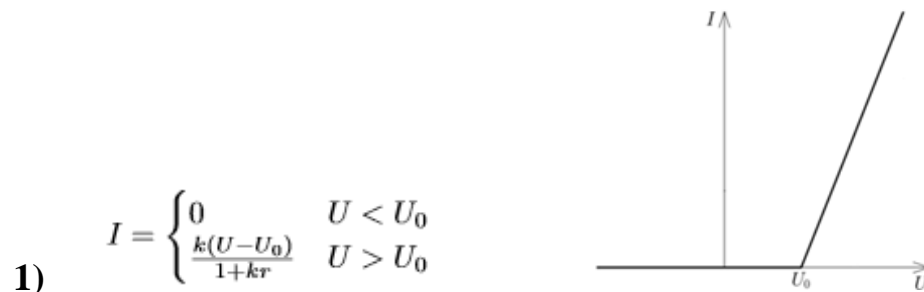
1) Найдите зависимость тока от внешнего напряжения U и нарисуйте ВАХ для диода и резистора r , соединённых последовательно;

2) Найдите зависимость тока от внешнего напряжения U и нарисуйте ВАХ для последней схемы.



Величины U_0 , k , r , r_1 и r_2 считайте известными.

Ответ: обозначим $U_1 = U_0(1 + r_2/r_1)$



**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА УЧАСТНИКА
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ
2019–2020**

Заключительный этап

Предмет (комплекс предметов) Олимпиады

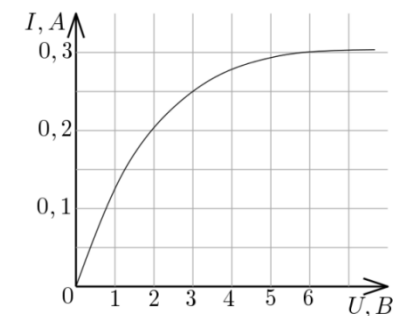
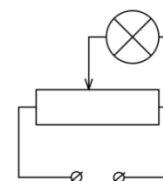
ФИЗИКА (9 КЛАСС)

Пример варианта 1

Задача	1	2	3	4	5	Всего
Макс. Балл	20	20	20	20	20	100

1. Схему, показанную на первом рисунке, подключили к источнику постоянного напряжения 14,75 В. Найдите, в каком отношении скользящий контакт делит реостат с полным сопротивлением 7 Ом, если напряжение на лампочке равно 3 В. Вольт-амперная характеристика лампочки показана на втором рисунке.

Ответ: примерно 1:3,46.



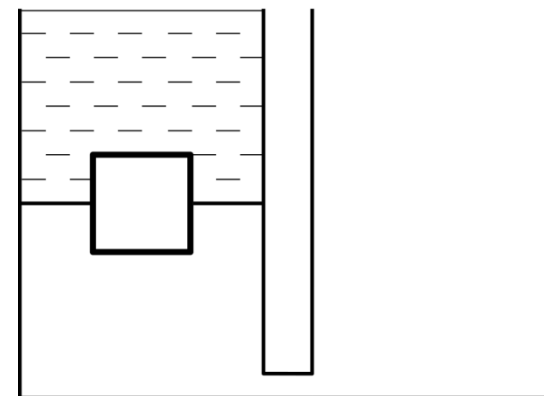
2. Пассажирский катер отбывает из Энска в 13:20 и должен прибыть в располагающийся выше по течению Эмск в 15:15. В пути мотор катера вышел из строя. Команда чинила двигатель полчаса, всё это время катер сносило течением. Чтобы успеть в Эмск вовремя, пришлось включить двигатель на полную мощность, утроив собственную скорость катера. А вот если бы кто-нибудь сообразил бросить якорь, когда сломался двигатель, катер бы не сносило течением. И хватило бы удвоения собственной скорости. Во сколько раз собственная скорость катера (до поломки) была больше скорости течения реки?

Ответ: в два раза больше.

3. Юный экспериментатор хочет испарить как можно больше воды из кастрюли, затратив 943 кДж энергии. У него есть два способа это сделать. Первый — передать эту энергию воде напрямую, нагревая кастрюлю (КПД такого процесса 60%). Второй — нагреть тонкий очень хорошо проводящий тепло противень и постепенно лить на него воду (КПД нагрева противня 36,4%). При какой минимальной теплоемкости противня второй способ заведомо хуже первого? Теплоемкостью кастрюли можно пренебречь. В кастрюле 1 кг воды. Теплота парообразования воды 2,3 МДж/кг, ее удельная теплоемкость 4,2 кДж/(кг·°C). Начальная температура воды и противня 20°C.

Ответ: $\approx 998,5$ кДж/°C.

4. Имеются два одинаковых сообщающихся сосуда с площадью основания 50 см². Высота левого сосуда 20 см. Он разделён пополам горизонтальной перегородкой. В перегородке имеется отверстие, заткнутое бакелитовой пробкой. Площадь отверстия 20 см², высота пробки 5 см, она вставлена ровно до середины. В верхнюю часть сосуда почти до краёв налит спирт. Известно, что сила трения между пробкой и перегородкой равна половине от силы трения скольжения.



Плотность бакелита 1300 кг/м^3 , плотность спирта 920 кг/м^3 . Трением между поршнем и стенками сосуда пренебречь. Считайте, что поршень не доходит до дна сосуда.

5. На горизонтально расположенную ось электромотора насажены три жестко скрепленные друг с другом катушки с радиусами $r_1 < r_2 < r_3$. На катушки намотаны невесомые нерастяжимые нити, к которым подвешены подвижные блоки (см. рисунок). Двигатель выдает 1200 оборотов в минуту. При этом подвешенный к нижнему блоку грузик неподвижен.

Примечание: Длина окружности вычисляется по формуле $L = 2\pi r$, где $\pi \approx 3,14$.

A diagram of a pulley system. At the top, there are three concentric circles representing pulleys of different sizes. A rope is attached to the top of the largest pulley, goes down to a small pulley, then up to the middle pulley, then down to another small pulley, and finally up to the smallest pulley. A weight is attached to the bottom of the smallest pulley.

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА УЧАСТНИКА
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ
2019–2020**

Заключительный этап

Предмет (комплекс предметов) Олимпиады

ФИЗИКА (9 КЛАСС)

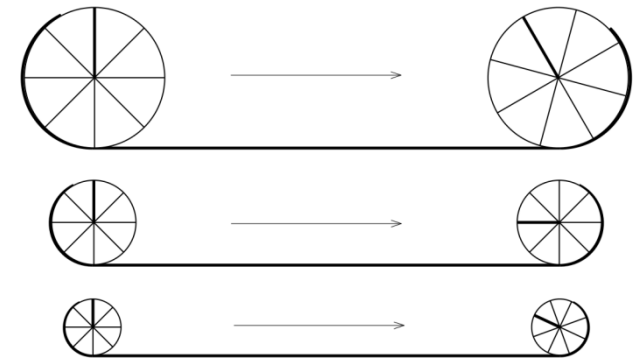
Пример варианта 2

Задача	1	2	3	4	5	Всего
Макс. Балл	20	20	20	20	20	100

1. Трус, Балбес и Бывалый задумали покупать кипятильники, заменять в них нихромовую проволоку диаметром 2,2 мм на стальную и перепродавать кипятильники по старой цене, а всю вытащенную проволоку сдавать в металлолом. В продаже имеется только стальная проволока диаметром 1,2 мм по 100 р/кг, а нихром принимают в цветмет по 250 р/кг. Если мощность кипятильника в результате их злодейских действий повысится более чем на 20%, то перегорит предохранитель, которых в продаже нет, и работать кипятильник перестанет. Прибыльно ли это предприятие, и если да, то сколько получает троица с каждого кипятильника, если в нём 100 г проволоки? При рабочей температуре кипятильника удельные сопротивления нихрома и стали составляют 1,15 мкОм·м и 0,19 мкОм·м, соответственно, а их плотности — 8400 кг/м³ и 7832 кг/м³.

Ответ: максимальная прибыль с одного кипятильника 20 р. 84 коп.

2. Три колеса с радиусами 1 м, 60 см и 40 см катятся по трем желобам. У каждого колеса одна из спиц помечена, изначально все они направлены вертикально вверх. Самое большое колесо не успело завершить тринадцатый оборот к концу дистанции, а среднее остановилось так, что крашенная спица расположилась горизонтально слева от центра колеса (см. рисунок). Под каким углом к вертикали остановилась крашенная спица самого маленького колеса, если отсчитывать угол по часовой стрелке от направления вверх? Начальный и конечный участки каждого желоба представляют собой дуги окружностей, радиусы которых совпадают с радиусами колес. Прямые участки желобов имеют одинаковую длину.

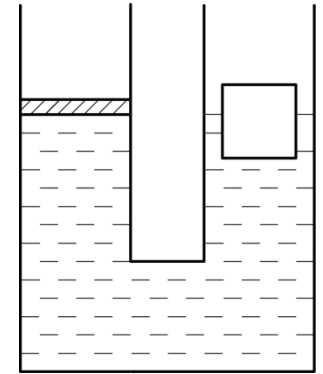


Ответ: 45° .

3. Денис разбирается в сортах чая и ответственно относится к его приготовлению. Вечером он решил выпить мелколистного зеленого чая, который следует заваривать при 80°C . Для этого он налил в чайник воду комнатной температуры и кипяток (100°C) в отношении 1:4 и накрыл его теплонепроницаемым колпаком. Ранним утром Денис захотел зеленого чая, выращенного в тени, который надо заваривать в воде с температурой 70°C . Он уже вылил в чайник привычный объем кипятка, когда обнаружил, что чистой холодной воды у него нет. Не растерявшись, он достал из морозилки лед (-18°C), и, мгновенно проделав в уме несколько вычислений, добавил несколько кубиков в чайник, после чего накрыл его колпаком. В результате вода оказалась нужной температуры. Во сколько раз масса кипятка превышала массу льда? Удельные теплоемкости воды и льда равны $4,2 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ и $2,1 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, соответственно, удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг . Комнатная температура постоянна и равна 20°C .

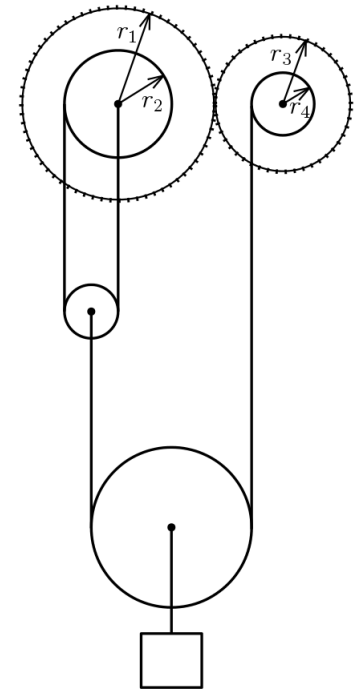
Ответ: $\approx 6,1$.

4. В одинаковые сообщающиеся сосуды с площадью основания $0,025 \text{ м}^2$, один из которых закрыт невесомым плотно прилегающим к стенкам поршнем, налита ртуть. В открытый сосуд поместили кубик хром-ванадиевой стали с ребром 10 см . После установления равновесия в коленах сосуда кубик, не вынимая из жидкости, аккуратно переместили в другой сосуд и снова дождались установления равновесия. На сколько изменилось расстояние от дна сосуда до нижней грани кубика по сравнению с первым равновесным положением? Плотность стали составляет 7810 кг/м^3 , а ртути — 13600 кг/м^3 . Трение поршня о стенки сосуда пренебрежимо мало. Атмосферное давление равно 10^5 Па .



Ответ: уменьшилось примерно на 2,6 см.

5. В показанной на рисунке системе шестеренка радиуса r_1 жестко соединена с катушкой радиуса r_2 , шестеренка радиуса r_3 жестко соединена с катушкой радиуса r_4 . Они насажены на горизонтальные оси, так что шестеренки сцеплены. На катушки намотаны длинные нити, к которым через систему блоков подвешен груз. Оказывается, что при вращении шестеренок груз остается неподвижным. Чему равен радиус r_4 , если $r_1 = 5 \text{ см}$, $r_2 = 3 \text{ см}$, $r_3 = 4 \text{ см}$? Длина окружности радиусом r равна $L = 2\pi r$, где $\pi \approx 3,14$. Зубчики шестеренок очень маленькие.



Ответ: 1,2 см.

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА УЧАСТНИКА
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ
2019–2020**

Заключительный этап

Предмет (комплекс предметов) Олимпиады

ФИЗИКА (8 КЛАСС)

Пример варианта 1

Задача	1	2	3	4	5	Всего
Макс. Балл	20	20	20	20	20	100

1. Между двух параллельных стенок со скоростью, перпендикулярной стенкам и равной 7 м/с , катается тележка, упруго соударяясь с ними. В какой-то момент стенки начинают раздвигаться, скорость каждой равна 1 м/с . Какое расстояние пройдет тележка от первого соударения с движущейся стенкой до последнего? В момент первого удара тележки о движущуюся стенку расстояние между стенками было 10 м . Массу стенок считайте много больше массы тележки.

Ответ: 35 м.

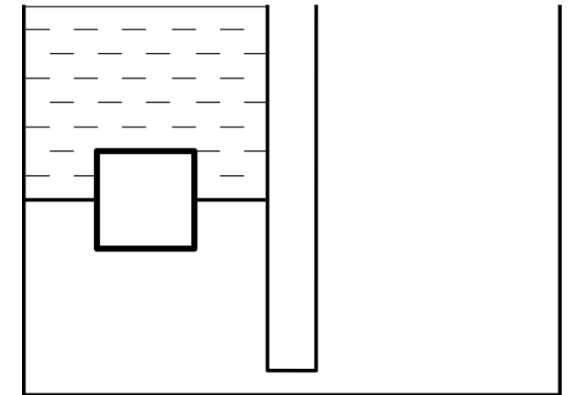
2. Пассажирский катер отбывает из Энска в $13:20$ и должен прибыть в располагающийся выше по течению Эмск в $15:15$. В пути мотор катера вышел из строя. Команда чинила двигатель полчаса, всё это время катер сносило течением. Чтобы успеть в Эмск вовремя, пришлось включить двигатель на полную мощность, утроив собственную скорость катера. А вот если бы кто-нибудь сообразил бросить якорь, когда сломался двигатель, катер бы не сносило течением. И хватило бы удвоения собственной скорости. Во сколько раз собственная скорость катера (до поломки) была больше скорости течения реки?

Ответ: в два раза больше.

3. Юный экспериментатор хочет испарить как можно больше воды из кастрюли, затратив 943 кДж энергии. У него есть два способа это сделать. Первый — передать эту энергию воде напрямую, нагревая кастрюлю (КПД такого процесса 60%). Второй — нагреть тонкий очень хорошо проводящий тепло противень и постепенно лить на него воду (КПД нагрева противня 36,4%). При какой минимальной теплоемкости противня второй способ заведомо хуже первого? Теплоемкостью кастрюли можно пренебречь. В кастрюле 1 кг воды. Теплота парообразования воды 2,3 МДж/кг, ее удельная теплоемкость 4,2 кДж/(кг·°C). Начальная температура воды и противня 20°C.

Ответ: $\approx 998,5$ кДж/°C.

4. Имеются два одинаковых сообщающихся сосуда с площадью основания 50 см². Высота левого сосуда 20 см. Он разделён пополам горизонтальной перегородкой. В перегородке имеется отверстие, заткнутое бакелитовой пробкой. Площадь отверстия 20 см², высота пробки 5 см, она вставлена ровно до середины. В верхнюю часть сосуда почти до краёв налит спирт. Известно, что сила трения между пробкой и перегородкой равна половине от силы трения скольжения.



В правый сосуд помещают гладкий поршень, плотно прилегающий к его стенкам, и аккуратно придерживают, пока он опускается, предотвращая резкое падение. Какой должна быть его масса, чтобы пробка сдвинулась?

Плотность бакелита 1300 кг/м³, плотность спирта 920 кг/м³. Трением между поршнем и стенками сосуда пренебречь. Считайте, что поршень не доходит до дна сосуда.

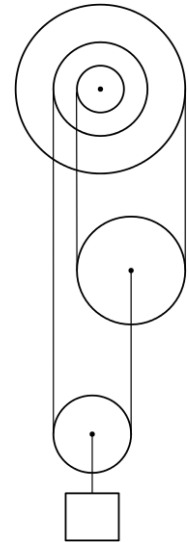
Ответ: 2,01 кг.

5. На горизонтально расположенную ось электромотора насажены три жестко скрепленные друг с другом катушки с радиусами $r_1 < r_2 < r_3$. На катушки намотаны невесомые нерастяжимые нити, к которым подвешены подвижные блоки (см. рисунок). Двигатель выдает 1200 оборотов в минуту. При этом подвешенный к нижнему блоку грузик неподвижен.

Какое соотношение связывает три радиуса катушек?

Примечание: Длина окружности вычисляется по формуле $L = 2\pi r$, где $\pi \approx 3,14$.

Ответ: $2r_2 = r_3 - r_1$.



**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА УЧАСТНИКА
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ
2019–2020**

Заключительный этап

Предмет (комплекс предметов) Олимпиады

ФИЗИКА (8 КЛАСС)

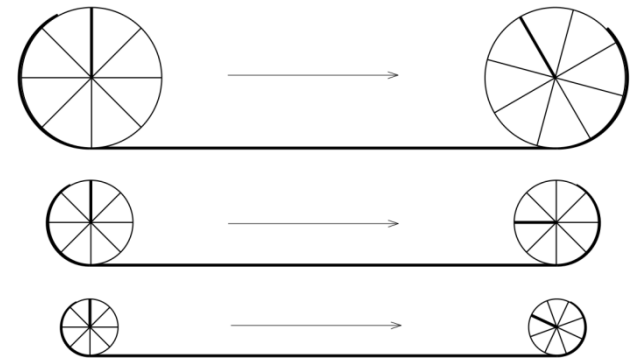
Пример варианта 2

Задача	1	2	3	4	5	Всего
Макс. Балл	20	20	20	20	20	100

1. Бомбардировщик производит бомбометание в горизонтальном полете. Бомбы сбрасываются по одной через промежутки времени, равные друг другу и времени падения каждой бомбы. Из-за уменьшения массы скорость бомбардировщика при сбрасывании увеличивается на 5% от текущей (между сбрасыванием бомб скорость самолета постоянна). Вследствие неисправности сброс третьей бомбы задержался на 15 с, и она вместо своей цели попала в цель, предназначенную для следующей бомбы. Найдите начальную скорость бомбардировщика и время падения бомбы, если наименьшее расстояние между целями составляет 1,5 км. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: начальная скорость самолета 100 м/с, время падения бомбы $\approx 13,6$ с.

2. Три колеса с радиусами 1 м, 60 см и 40 см катятся по трем желобам. У каждого колеса одна из спиц помечена, изначально все они направлены вертикально вверх. Самое большое колесо не успело завершить тринадцатый оборот к концу дистанции, а среднее остановилось так, что крашенная спица расположилась горизонтально слева от центра колеса (см. рисунок). Под каким углом к вертикали остановилась крашенная спица самого маленького колеса, если отсчитывать угол по часовой стрелке от направления вверх? Начальный и конечный участки каждого желоба представляют собой дуги окружностей, радиусы которых совпадают с радиусами колес. Прямые участки желобов имеют одинаковую длину.

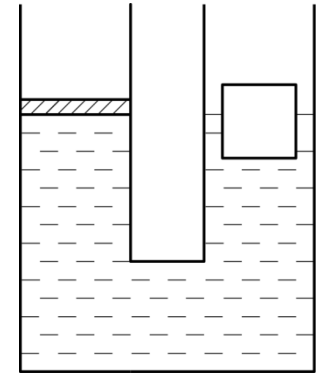


Ответ: 45° .

3. Денис разбирается в сортах чая и ответственно относится к его приготовлению. Вечером он решил выпить мелколистного зеленого чая, который следует заваривать при 80°C . Для этого он налил в чайник воду комнатной температуры и кипяток (100°C) в отношении 1:4 и накрыл его теплонепроницаемым колпаком. Ранним утром Денис захотел зеленого чая, выращенного в тени, который надо заваривать в воде с температурой 70°C . Он уже вылил в чайник привычный объем кипятка, когда обнаружил, что чистой холодной воды у него нет. Не растерявшись, он достал из морозилки лед (-18°C), и, мгновенно проделав в уме несколько вычислений, добавил несколько кубиков в чайник, после чего накрыл его колпаком. В результате вода оказалась нужной температуры. Во сколько раз масса кипятка превышала массу льда? Удельные теплоемкости воды и льда равны $4,2 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ и $2,1 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, соответственно, удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг . Комнатная температура постоянна и равна 20°C .

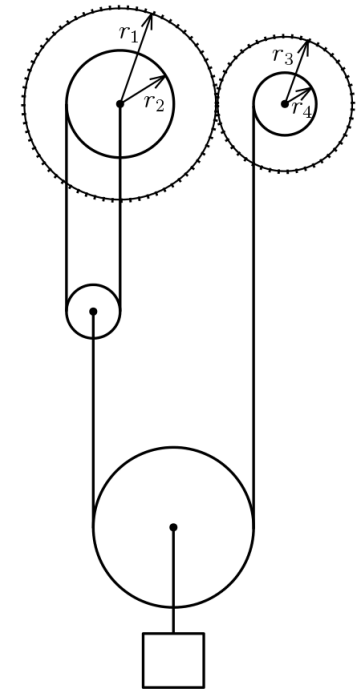
Ответ: $\approx 6,1$.

4. В одинаковые сообщающиеся сосуды с площадью основания $0,025 \text{ м}^2$, один из которых закрыт невесомым плотно прилегающим к стенкам поршнем, налита ртуть. В открытый сосуд поместили кубик хром-ванадиевой стали с ребром 10 см. После установления равновесия в коленах сосуда кубик, не вынимая из жидкости, аккуратно переместили в другой сосуд и снова дождались установления равновесия. На сколько изменилось расстояние от дна сосуда до нижней грани кубика по сравнению с первым равновесным положением? Плотность стали составляет 7810 кг/м^3 , а ртути — 13600 кг/м^3 . Трение поршня о стенки сосуда пренебрежимо мало. Атмосферное давление равно 10^5 Па .



Ответ: уменьшилось примерно на 2,6 см.

5. В показанной на рисунке системе шестеренка радиуса r_1 жестко соединена с катушкой радиуса r_2 , шестеренка радиуса r_3 жестко соединена с катушкой радиуса r_4 . Они насажены на горизонтальные оси, так что шестеренки сцеплены. На катушки намотаны длинные нити, к которым через систему блоков подвешен груз. Оказывается, что при вращении шестеренок груз остается неподвижным. Чему равен радиус r_4 , если $r_1 = 5 \text{ см}$, $r_2 = 3 \text{ см}$, $r_3 = 4 \text{ см}$? Длина окружности радиусом r равна $L = 2\pi r$, где $\pi \approx 3,14$. Зубчики шестеренок очень маленькие.



Ответ: 1,2 см.