

Задания заключительного этапа Олимпиады школьников СПбГУ по физике 2021-2022 гг.

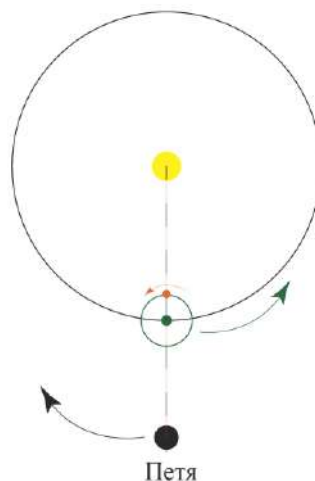
Участникам заключительного этапа предлагался к решению вариант, состоящий из 5 задач. Вариант для каждого участника выбирался случайным образом из заранее заготовленных.

8 класс, Вариант 1

Задача 1

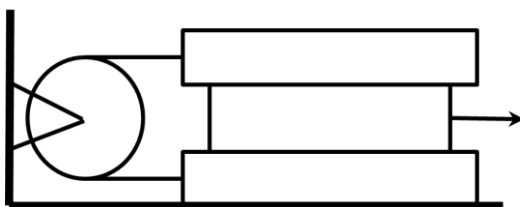
Группа восьмиклассников пришла в научный музей на экскурсию, где им на упрощенной модели продемонстрировали явление «сизигии» – выравнивание трёх или более астрономических тел в пределах одной звездной системы на одной прямой. Модель состояла из неподвижной звезды и вращающейся вокруг нее планеты со спутником. Планета совершала полный оборот вокруг звезды за время $T_1=12.5$ минут, а спутник совершал полный оборот вокруг планеты за время $T_2=55$ с. Вращение планеты вокруг звезды и спутника вокруг планеты происходит против часовой стрелки. Скорости спутника и планеты постоянны, орбиты – круговые, лежащие в одной плоскости.

1. Если вести наблюдения от момента сизигий, сколько всего раз за один оборот планеты вокруг звезды в этой модели будет наблюдаться сизигия?
2. Петя, увлеченный демонстраций, решает обойти модель по кругу радиуса $R=20$ м по часовой стрелке, представляя себя еще одной планетой в системе (см. рисунок). Петя начинает движение ровно в тот момент, когда он, звезда, планета и спутник находились на одной прямой. С какой постоянной скоростью должен двигаться Петя, чтобы в момент следующей сизигии снова оказаться на одной прямой с небесными телами?



Задача 2

В системе, показанной на рисунке, масса верхнего бруска 1 кг, а нижнего 2 кг. Верхний и нижний бруски соединены непровисающей невесомой нитью, перекинутой через прикрепленный к стене идеальный неподвижный блок. Средний брусок начинают аккуратно тянуть вправо так, что он движется с постоянной скоростью. При этом верхний и нижний бруски остаются неподвижными. При какой наибольшей массе среднего бруска такая ситуация возможна? Коэффициент трения между верхним и средним брусками 0.5, между средним и нижним брусками 0.5, а между нижним бруском и полом 0.3. Ускорение свободного падения считайте равным 10 Н/кг.

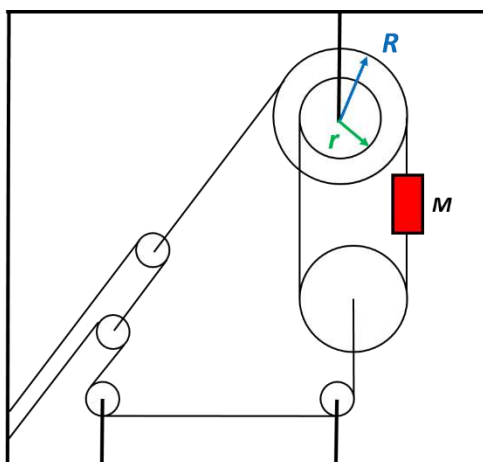


Задача 3

В камере, заполненной воздухом при давлении $p_0 = 20$ кПа, находятся два одинаковых сосуда высотой $H = 30$ см и площадью основания $S = 100$ см². Сосуды соединены тонкой трубкой, расположенной у дна; один из них плотно закрыт неподвижной тонкой пробкой. Определите, какой объем воды с плотностью $\rho = 1000$ кг/м³ нужно влить в открытый сосуд, чтобы она начала переливаться через край? Так как температура в камере не изменяется, то состояние воздуха в замкнутом объеме описывается соотношением $pV = const$. Объем налитой воды считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом камеры.

Задача 4

На рисунке изображена система идеальных блоков, соединенных друг с другом невесомыми нерастяжимыми нитями, в которой подвешен груз массой M так, как показано на рисунке. Верхние соосные блоки радиусами $R = 15$ см и $r = 12$ см жестко скреплены друг с другом и могут вращаться вокруг своей оси. Конец нити, намотанной на блок радиуса r , закреплен на этом блоке. Все нити в системе одинаковые, не провисают, не проскальзывают и могут выдерживать максимальную силу натяжения $T_{max} = 110$ Н. Определите максимальную массу груза M , которого можно подвесить таким образом, чтобы при этом ни одна из нитей не оборвалась. Трение в осях блоков отсутствует. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ Н/кг.



Задача 5

Плотно закрытый теплоизолированный сосуд заполнен воздухом с относительной влажностью 90% и температурой 20 °С. Через специальный шлюз в сосуд поместили тонкую металлическую пластинку, причем воздух не выходил из сосуда и не входил в него. Спустя некоторое время на пластинке выпала роса. Температура воздуха в сосуде после установления теплового равновесия равна 17 °С. Какова была начальная температура пластинки? Зависимость плотности насыщенного водяного пара от температуры приведена в таблице. Считайте удельную теплоту испарения постоянной и равной 2465 кДж/кг. Удельная теплоемкость сухого воздуха равна 1005 Дж/(кг·°С), его плотность 1205 г/м³, теплоемкость пластинки 420 Дж/°С. Объем сосуда равен 0,2 м³, объемы пластинки и конденсата пренебрежимо малы. Теплотой, выделившейся при остывании пара и воды, можно пренебречь.

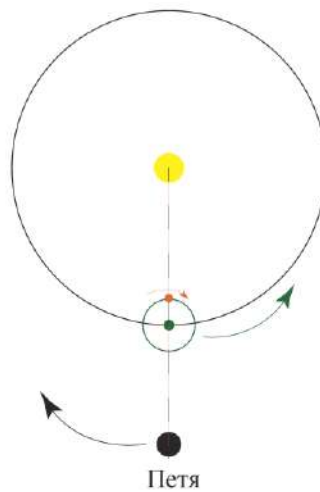
Т, °С	ρ, г/м ³
15	12,8
16	13,6
17	14,5
18	15,4
19	16,3
20	17,3

Вариант 2

Задача 1

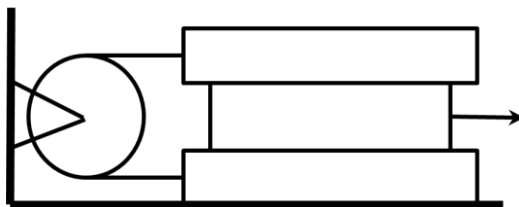
Группа восьмиклассников пришла в научный музей на экскурсию, где им на упрощенной модели продемонстрировали явление «сизигии» – выравнивание трёх или более астрономических тел в пределах одной звездной системы на одной прямой. Модель состояла из неподвижной звезды и вращающейся вокруг нее планеты со спутником. Планета совершала полный оборот вокруг звезды за время $T_1=12.5$ минут, а спутник совершал полный оборот вокруг планеты за время $T_2=55$ с. Вращение планеты вокруг звезды происходит против часовой стрелки, спутника вокруг планеты – по часовой. Скорости спутника и планеты постоянны, орбиты – круговые, лежащие в одной плоскости.

1. Если вести наблюдения от момента сизигии, сколько всего раз за один оборот планеты вокруг звезды в этой модели будет наблюдаться сизигия?
2. Петя, увлеченный демонстраций, решает обойти модель по кругу радиуса $R=20$ м по часовой стрелке, представляя себя еще одной планетой в системе (см. рисунок). Петя начинает движение ровно в тот момент, когда он, звезда, планета и спутник находились на одной прямой. С какой постоянной скоростью должен идти Петя, чтобы в момент следующей сизигии снова оказаться на одной прямой с небесными телами?



Задача 2

В системе, показанной на рисунке, масса верхнего бруска 2 кг, среднего 1 кг, а нижнего 5 кг. Верхний и нижний бруски соединены невисающей невесомой нитью, перекинутой через прикрепленный к стене идеальный неподвижный блок. Средний брусок начинают аккуратно тянуть вправо так, что он движется с постоянной скоростью. При этом верхний и нижний бруски остаются неподвижными. При каком наименьшем коэффициенте трения между нижним бруском и полом такая ситуация возможна? Коэффициент трения между верхним и средним брусками 0.5, между средним и нижним брусками 0.2. Ускорение свободного падения считайте равным 10 Н/кг .

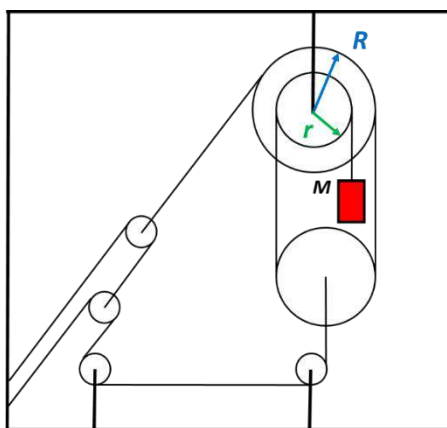


Задача 3

В камере, заполненной воздухом при давлении $p_0 = 25 \text{ кПа}$, находятся два одинаковых сосуда высотой $H = 50 \text{ см}$ и площадью основания $S = 200 \text{ см}^2$. Сосуды соединены тонкой трубкой, расположенной у дна; один из них закрыт тонкой пробкой. Определите, какой объем жидкости с плотностью $\rho = 820 \text{ кг/м}^3$ нужно влить в открытый сосуд (жидкость не переливается через край), чтобы пробка вылетела? Максимальная величина силы трения покоя, действующей на пробку, равна $F = 30 \text{ Н}$. Так как температура в камере не изменяется, то состояние воздуха в замкнутом объеме описывается соотношением $pV = \text{const}$. Объем налитой жидкости считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом камеры. Массой пробки можно пренебречь.

Задача 4

На рисунке изображена система невесомых блоков, соединенных друг с другом невесомыми нерастяжимыми нитями, в которой подвешен груз массой M так, как показано на рисунке. Верхние соосные блоки радиусами R и r жестко скреплены друг с другом и могут вращаться вокруг своей оси. Все нити в системе одинаковые, не провисают, не проскальзывают и могут выдерживать максимальную силу натяжения $T_{max} = 105.35$ Н. Определите максимальную массу груза M , которого можно подвесить таким образом, чтобы при этом ни одна из нитей не оборвалась. Трение в осях блоков отсутствует. Ускорение свободного падения примите равным $g = 9.8$ Н/кг.



Задача 5

Плотно закрытый теплоизолированный сосуд заполнен воздухом с относительной влажностью 90% и температурой 20°C . Через специальный шлюз в сосуд поместили тонкую металлическую пластинку, причем воздух не выходил из сосуда и не входил в него. Спустя некоторое время на пластинке выпала роса. Температура воздуха в сосуде после установления теплового равновесия равна 17°C . Какова была начальная температура пластинки? Зависимость плотности насыщенного водяного пара от температуры приведена в таблице. Считайте удельную теплоту испарения постоянной и равной 2465 кДж/кг. Удельная теплоемкость сухого воздуха равна 1005 Дж/(кг \cdot °C), его плотность 1205 г/м 3 , теплоемкость пластинки 420 Дж/°C. Объем сосуда равен $0,2$ м 3 , объемы пластинки и конденсата пренебрежимо малы. Теплотой, выделившейся при остывании пара и воды, можно пренебречь.

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{г/м}^3$
15	12,8
16	13,6
17	14,5
18	15,4
19	16,3
20	17,3

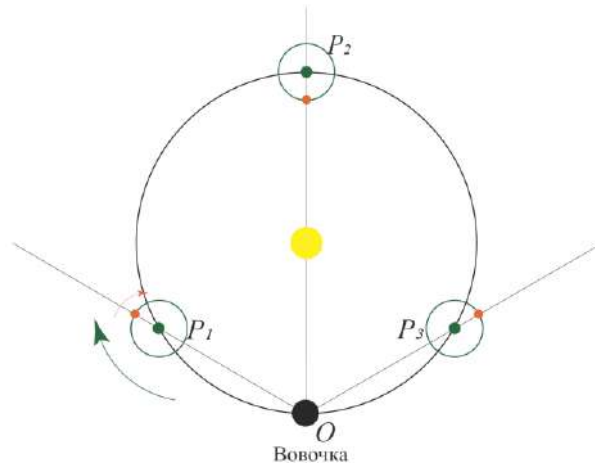
Вариант 3

Задача 1

Вовочка надел очки виртуальной реальности и оказался в симуляции космического пространства. На уровне его глаз находится уменьшенная копия звездной системы – неподвижной звезды и вращающейся вокруг нее планеты со спутником. Вовочка подходит к орбите планеты вплотную и спустя несколько оборотов планеты замечает, что каждую треть оборота планеты вокруг звезды спутник оказывается полностью закрыт от его взгляда. В двух из этих трех случаев спутник закрыт планетой, и один раз – звездой, причем в тот момент, когда звезда находится на прямой между мальчиком и планетой, а

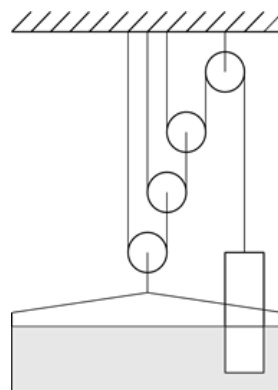
спутник – между звездой и планетой. При каком соотношении периодов обращения T_1/T_2 может наблюдаться описанная ситуация? T_1 – период обращения планеты, T_2 – период обращения спутника. Вовочка стоит неподвижно, планета вращается с постоянной скоростью по часовой стрелке вокруг звезды, а спутник – по часовой стрелке вокруг планеты. Орбиты небесных тел круговые и лежат в одной плоскости (в реальности небесные тела движутся по эллиптическим орбитам, но в нашей виртуальной реальности модель упрощенная).

[Период обращения – время, за который тело, движущееся по окружности, совершает полный оборот]



Задача 2

Ванночка с водой подвешена к системе идеальных блоков, уравновешенной цилиндрическим грузом массой 250 г и плотностью 2.5 г/см^3 . Груз погружен в воду на треть своего объема (см. рисунок) и не касается дна. Определите массу ванночки с водой. Ускорение свободного падения считайте равным 10 Н/кг .

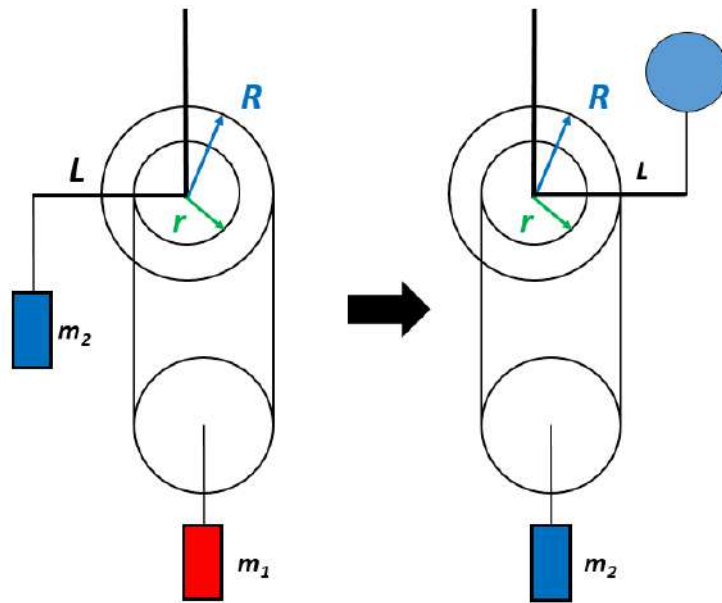


Задача 3

В камере, заполненной воздухом при давлении $p_0 = 20 \text{ кПа}$, находятся два одинаковых сосуда высотой $H = 1 \text{ м}$ и площадью основания $S = 680 \text{ см}^2$. Сосуды соединены тонкой трубкой, расположенной у дна; один из них плотно закрыт неподвижной тонкой пробкой. В открытый сосуд вливают некоторое количество воды с плотностью $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, после чего в закрытом сосуде ее уровень устанавливается на высоте $h_1 = 20 \text{ см}$. Затем систему нагревают и поддерживают при постоянной температуре и том же давлении воздуха в камере p_0 , при этом уровень воды в закрытом сосуде изменяется на $\Delta h = 5 \text{ см}$. Вода из открытого сосуда не выливается. Найдите отношение конечной и начальной температур в камере T/T_0 . Состояние воздуха в замкнутом объеме описывается соотношением $pV/T = \text{const}$. Объем налитой воды считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом камеры, тепловым расширением жидкости пренебречь.

Задача 4

На рисунке изображена система невесомых блоков, соединенных друг с другом невесомыми нерастяжимыми нитями. К нижнему блоку прикреплен груз 1 массой $m_1 = 560$ г. Верхние соосные блоки радиусами $R = 20$ см и $r = 18$ см жестко скреплены друг с другом и могут вращаться вокруг своей оси. Концы нитей закреплены на этих блоках. К этой же оси прикреплена ручка длиной $L = 80$ см, к концу которой подвешен груз 2 неизвестной массы. Система находится в равновесии. Затем, груз 2 снимают с ручки и подвешивают вместо груза 1, а ручку переводят в диаметрально противоположное положение и прикрепляют к ней шарик, заполненный гелием. Каким должен быть объем шарика, чтобы система осталась в равновесии? Трение в осях блоков отсутствует, массой пустого шарика пренебречь. Плотность воздуха равна $\rho_{\text{возд}} = 1.3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, плотность гелия $\rho_{\text{He}} = 0.18 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



Задача 5

Плотно закрытый теплоизолированный сосуд заполнен влажным воздухом с температурой 20°C . Через специальный шлюз в сосуд поместили металлическую пластинку с температурой 14°C , причем воздух не выходил из сосуда и не входил в него. Спустя некоторое время на пластинке выпала роса. Температура воздуха в сосуде после установления теплового равновесия равна 17°C . Определите начальную влажность воздуха. Зависимость плотности насыщенного водяного пара от температуры приведена в таблице. Считайте удельную теплоту испарения постоянной и равной 2465 кДж/кг. Удельная теплоемкость сухого воздуха равна 1005 Дж/(кг \cdot °C), плотность при начальной температуре 1205 г/м 3 , теплоемкость пластинки 420 Дж/°C. Объем сосуда равен $0,2$ м 3 , объемы пластинки и конденсата пренебрежимо малы. Теплотой, выделившейся при остывании пара и воды, можно пренебречь.

T, °C	ρ , г/м 3
15	12,8
16	13,6

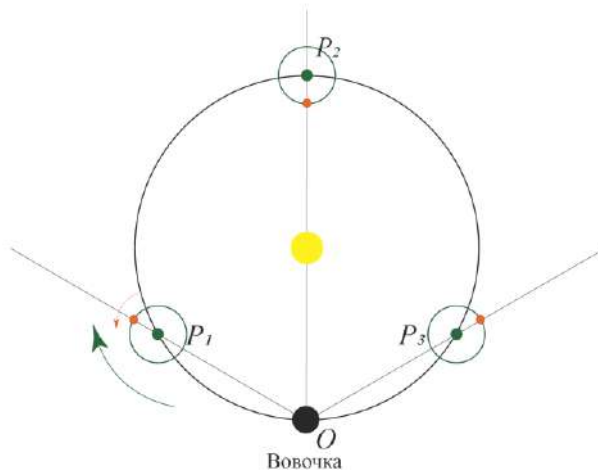
17	14,5
18	15,4
19	16,3
20	17,3

Вариант 4

Задача 1

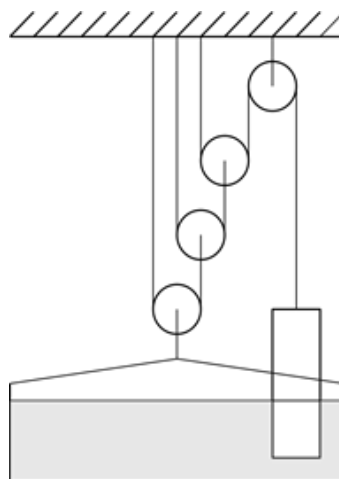
Вовочка надел очки виртуальной реальности и оказался в симуляции космического пространства. На уровне его глаз находится уменьшенная копия звездной системы – неподвижной звезды и вращающейся вокруг нее планеты со спутником. Вовочка подходит к орбите планеты вплотную и спустя несколько оборотов планеты замечает, что каждую треть оборота планеты вокруг звезды спутник оказывается полностью закрыт от его взгляда. В двух из этих трех случаев спутник закрыт планетой, и один раз – звездой, причем в тот момент, когда звезда находится на прямой между мальчиком и планетой, а спутник – между звездой и планетой. При каких соотношениях периодов обращения T_1/T_2 может наблюдаться описанная ситуация? T_1 – период обращения планеты, T_2 – период обращения спутника. Вовочка стоит неподвижно, планета вращается с постоянной скоростью по часовой стрелке вокруг звезды, а спутник – против часовой стрелки вокруг планеты. Орбиты небесных тел круговые и лежат в одной плоскости (в реальности небесные тела движутся по эллиптическим орбитам, но в нашей виртуальной реальности модель упрощенная).

[Период обращения – время, за который тело, движущееся по окружности, совершает полный оборот]



Задача 2

Ванночка с водой массой 1.8 кг подвешена к системе идеальных блоков, уравновешенной цилиндрическим грузом массой 300 г. Груз погружен в воду на 0.6 своего объема (см. рисунок) и не касается дна. Определите плотность материала, из которого сделан груз. Ускорение свободного падения считайте равным 10 Н/кг

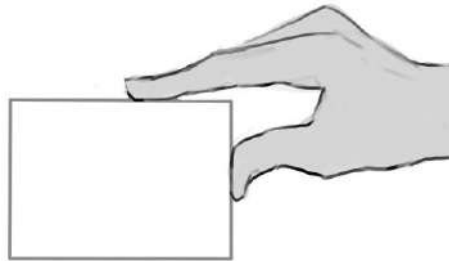


Задача 3

В камере, заполненной воздухом при давлении $p_0 = 20$ кПа, находятся два одинаковых сосуда высотой $H = 1$ м и площадью основания $S = 100$ см². Сосуды соединены тонкой трубкой, расположенной у дна; один из них плотно закрыт тонкой пробкой. В открытый сосуд вливают некоторое количество воды плотностью $\rho = 1000$ кг/м³, после чего в закрытом сосуде устанавливается уровень жидкости высотой $h_1 = 17$ см. Затем систему нагревают до некоторой температуры, поддерживая давление воздуха в камере на прежнем уровне p_0 (вода из открытого сосуда не выливается), после чего пробка вылетает из сосуда. Максимальная величина силы трения покоя, действующей на пробку, равна $F = 50$ Н. Найдите отношение конечной и начальной температур в камере T/T_0 . Состояние воздуха в замкнутом объеме описывается соотношением $pV/T = const$. Объем налитой воды считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом камеры, тепловым расширением жидкости пренебречь. Массой пробки можно пренебречь.

Задача 4

Мальчик удерживает небольшую легкую прямоугольную коробку на весу, взяв ее одной рукой: большой палец касается боковой грани, а остальные – верхней грани коробки. При этом пальцы не проскальзывают, грани коробки не прогибаются, а основание коробки параллельно полу. При каких условиях на коэффициенты трения между пальцами и гранями коробки это возможно?



Задача 5

Плотно закрытый теплоизолированный сосуд заполнен влажным воздухом с температурой 20 °С. Через специальный шлюз в сосуд поместили металлическую пластинку с температурой 14 °С, причем воздух не выходил из сосуда и не входил в него. Спустя некоторое время на пластинке выпала роса. Температура воздуха в сосуде после установления теплового равновесия равна 17 °С. Определите начальную влажность воздуха. Зависимость плотности насыщенного водяного пара от температуры приведена в таблице. Считайте удельную теплоту испарения постоянной и равной 2465 кДж/кг. Удельная теплоемкость сухого воздуха равна 1005 Дж/(кг·°С), плотность при начальной температуре 1205 г/м³, теплоемкость пластинки 420 Дж/°С. Объем сосуда равен $0,2$ м³, объемы пластинки и конденсата пренебрежимо малы. Теплотой, выделившейся при остывании пара и воды, можно пренебречь.

$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ г/м}^3$
15	12,8
16	13,6
17	14,5
18	15,4
19	16,3
20	17,3