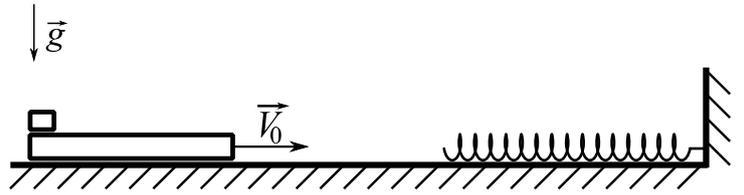


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

1. Длинная доска массой $M = 2$ кг, на одном конце которой лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, движется по горизонтальной гладкой поверхности со скоростью $V_0 = 2$ м/с. В некоторый момент доска начинает сжимать лежащую на поверхности легкую достаточно длинную пружину с коэффициентом жёсткости $k = 27$ Н/м, которая одним концом упирается в стенку (см. рис.). Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Число «пи» в расчётах можете считать равным $\pi \approx 3$. Брусок и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

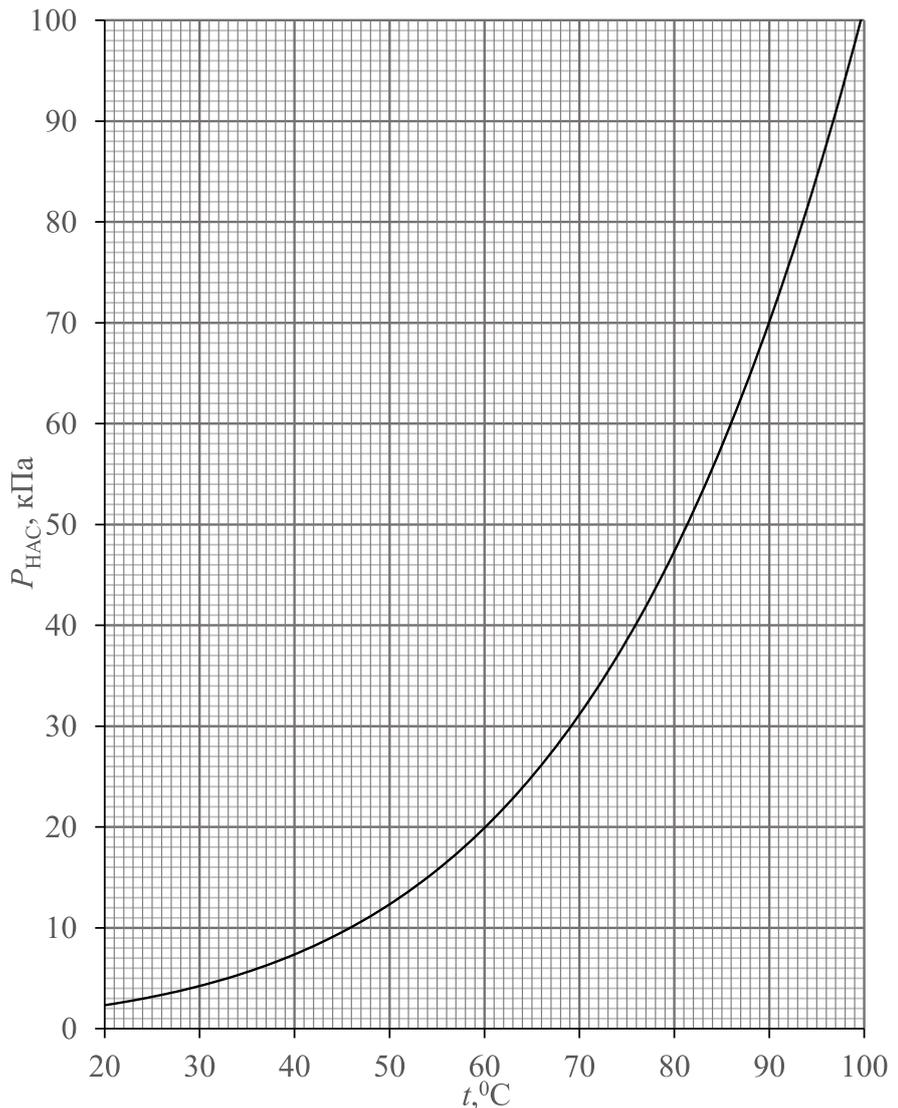


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

2. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем находится влажный воздух при давлении $p_0 = 150$ кПа, температуре $t_0 = 86$ °С и относительной влажности $\varphi_0 = 2/3$ (66,7%). Содержимое цилиндра постепенно остывает до температуры $t = 46$ °С. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти парциальное давление пара P_1 при 86 °С.
- 2) Найти температуру t^* , при которой начнётся конденсация пара.
- 3) Найти отношение объёмов содержимого цилиндра V/V_0 в конце и в начале остывания.

Объёмом жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.

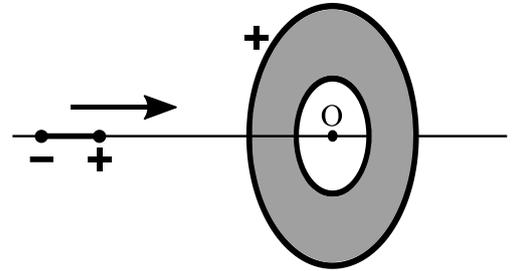


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-01

*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.*

3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется с некоторой начальной скоростью из бесконечно удаленной точки вдоль оси симметрии диска и пролетает через отверстие. Заряды диполя находятся на маленьких шариках, на диполь действуют только силы электрического поля диска, диск закреплен, при пролете диполь не отклоняется от оси диска. Минимальная начальная скорость диполя, необходимая для пролета, равна V_0 . Диполью сообщают начальную скорость $2V_0$.

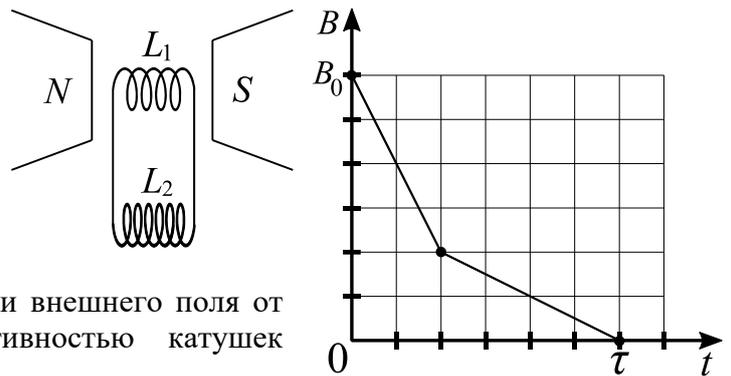


необходимая для пролета, равна V_0 .

1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.

2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

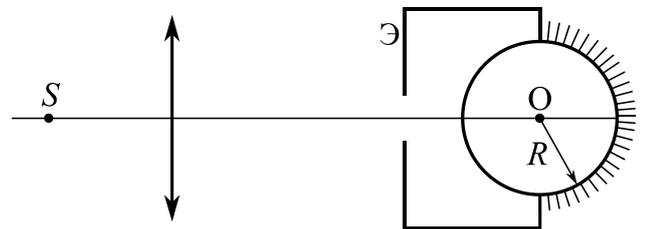
4. Катушка индуктивностью $L_1 = L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 4L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Изначально тока в катушках нет. Внешнее поле выключают в течение времени τ . Зависимость индукции внешнего поля от времени показана на рисунке. Взаимной индуктивностью катушек пренебречь.



1) Найти ток I_0 через катушку L_1 в конце выключения внешнего поля.

2) Найти заряд, протекший через катушку L_1 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F расположены центр O прозрачного шара и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 1,5F$ (см. рис.). На поверхность шара, противоположную поверхности входа лучей, нанесено идеально отражающее зеркальное покрытие. С шаром жестко скреплен непрозрачный экран \mathcal{E} с небольшим круглым отверстием. Если шар расположен так, что расстояние от центра линзы до ближайшей к нему точки шара равно $b = 8F/3$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



1) Найти радиус R шара.

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от шара до центра линзы увеличилось на $\Delta = 2F$, изображение источника снова совпало с самим источником.

2) Найти показатель преломления вещества шара.

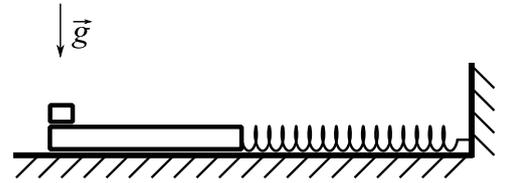
Отражение света от наружной поверхности шара пренебрежимо мало. Экран \mathcal{E} обеспечивает малость углов α лучей (падающих на шар) с оптической осью и справедливость приближения $\sin \alpha \approx \alpha$.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-02

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

1. Длинную доску массой $M = 2$ кг удерживают на горизонтальной гладкой поверхности. На одном конце доски лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, а в другой конец упирается легкая сжатая пружина жёсткостью $k = 50$ Н/м, прикрепленная к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. Доску отпускают, она начинает движение, а брусок начинает двигаться относительно доски. Начальное сжатие пружины подобрано так, что в момент, когда ускорение доски почти достигает нуля первый раз, относительное движение бруска по доске прекращается. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Число «пи» в расчётах можете считать равным $\pi \approx 3$. Брусок и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

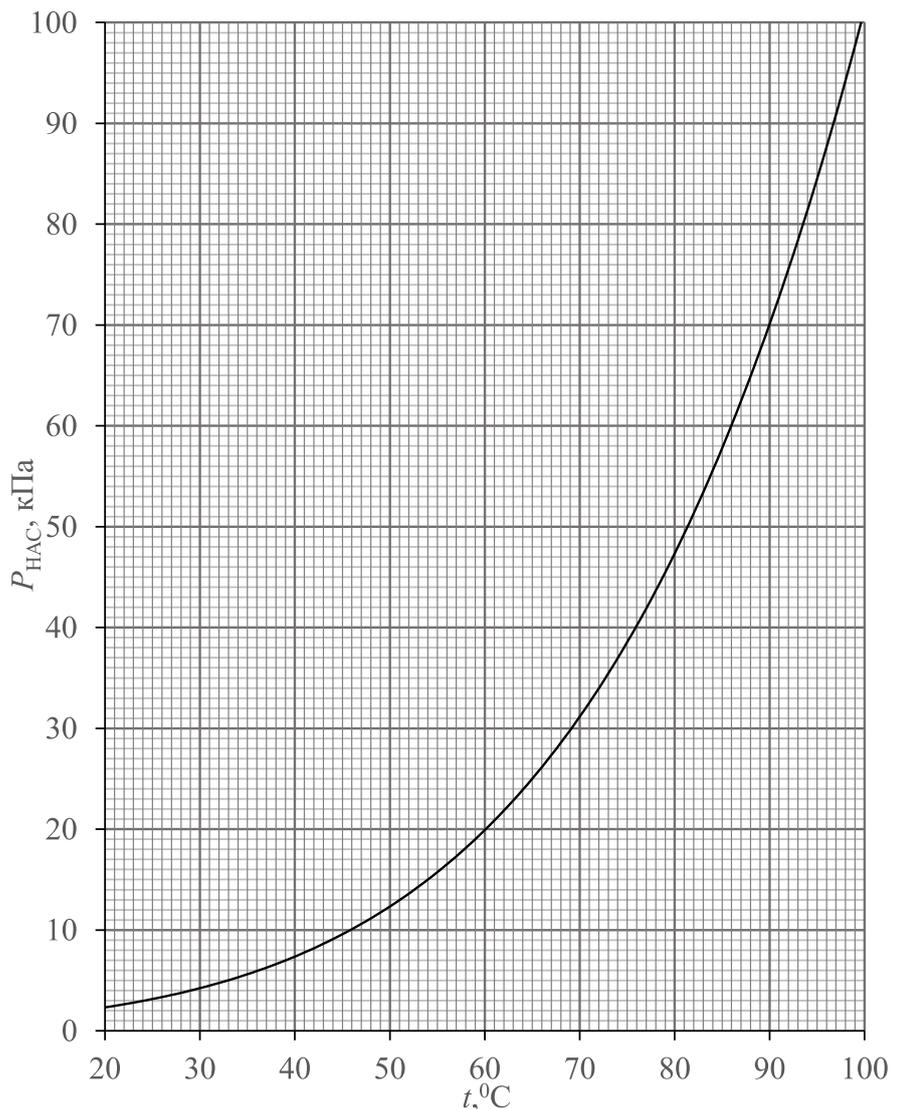


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.

2. В сосуде постоянного объема находятся в равновесии влажный воздух при температуре $t_0 = 27$ °С и жидкая вода. Масса жидкой воды в 11 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 97$ °С. В результате вся вода превращается в пар. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти отношение масс пара в конце и в начале нагревания.
- 2) Найти температуру t^* , при которой прекратится испарение воды.
- 3) Найти относительную влажность φ в конце нагревания.

Объёмом жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.

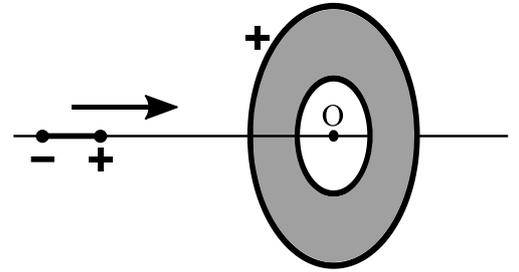


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-02

*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.*

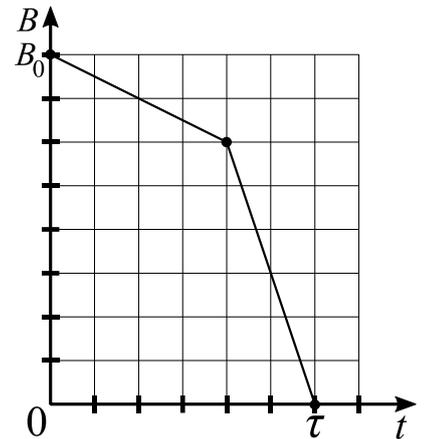
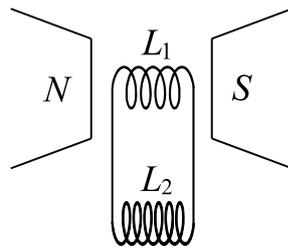
3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется с некоторой начальной скоростью из бесконечно удаленной точки вдоль оси симметрии диска и пролетает через отверстие. Заряды диполя находятся на маленьких шариках, на диполь действуют только силы электрического поля диска, диск закреплен, при пролете диполь не отклоняется от оси диска. Минимальная начальная скорость диполя, необходимая для пролета, равна V_0 . Заряды диполя уменьшают по модулю в 2 раза и сообщают диполью начальную скорость V_0 .



1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.

2) Найти разность максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

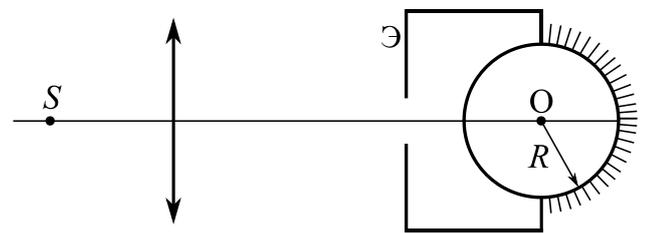
4. Катушка индуктивностью $L_1 = L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 6L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Изначально тока в катушках нет. Внешнее поле выключают в течение времени τ . Зависимость индукции внешнего поля от времени показана на рисунке. Взаимной индуктивностью катушек пренебречь.



1) Найти ток I_0 через катушку L_2 в конце выключения внешнего поля.

2) Найти заряд, протекший через катушку L_2 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы расположены центр O прозрачного шара радиуса R и точечный источник S (см. рис.). Расстояние между источником S и центром линзы $a = 2R$. На поверхность шара, противоположную поверхности входа лучей, нанесено идеально отражающее зеркальное покрытие. С шаром жестко скреплен непрозрачный экран \mathcal{E} с небольшим круглым отверстием. Если шар расположен так, что расстояние от центра линзы до ближайшей к нему точки шара равно $b = 7R$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



1) Найти фокусное расстояние линзы F .

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от шара до центра линзы уменьшилось на $\Delta = 4R$, изображение источника снова совпало с самим источником.

2) Найти показатель преломления вещества шара.

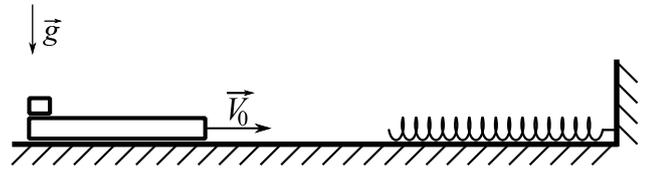
Отражение света от наружной поверхности шара пренебрежимо мало. Экран \mathcal{E} обеспечивает малость углов α лучей (падающих на шар) с оптической осью и справедливость приближения $\sin \alpha \approx \alpha$.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

1. Длинная доска массой $M = 2$ кг, на одном конце которой лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, движется по горизонтальной гладкой поверхности со скоростью $V_0 = 1$ м/с. В некоторый момент доска начинает сжимать лежащую на поверхности легкую достаточно длинную пружину с коэффициентом жёсткости $k = 36$ Н/м, которая одним концом упирается в стенку (см. рис.). Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,3$. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Число «пи» в расчётах можете считать равным $\pi \approx 3$. Брусок и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

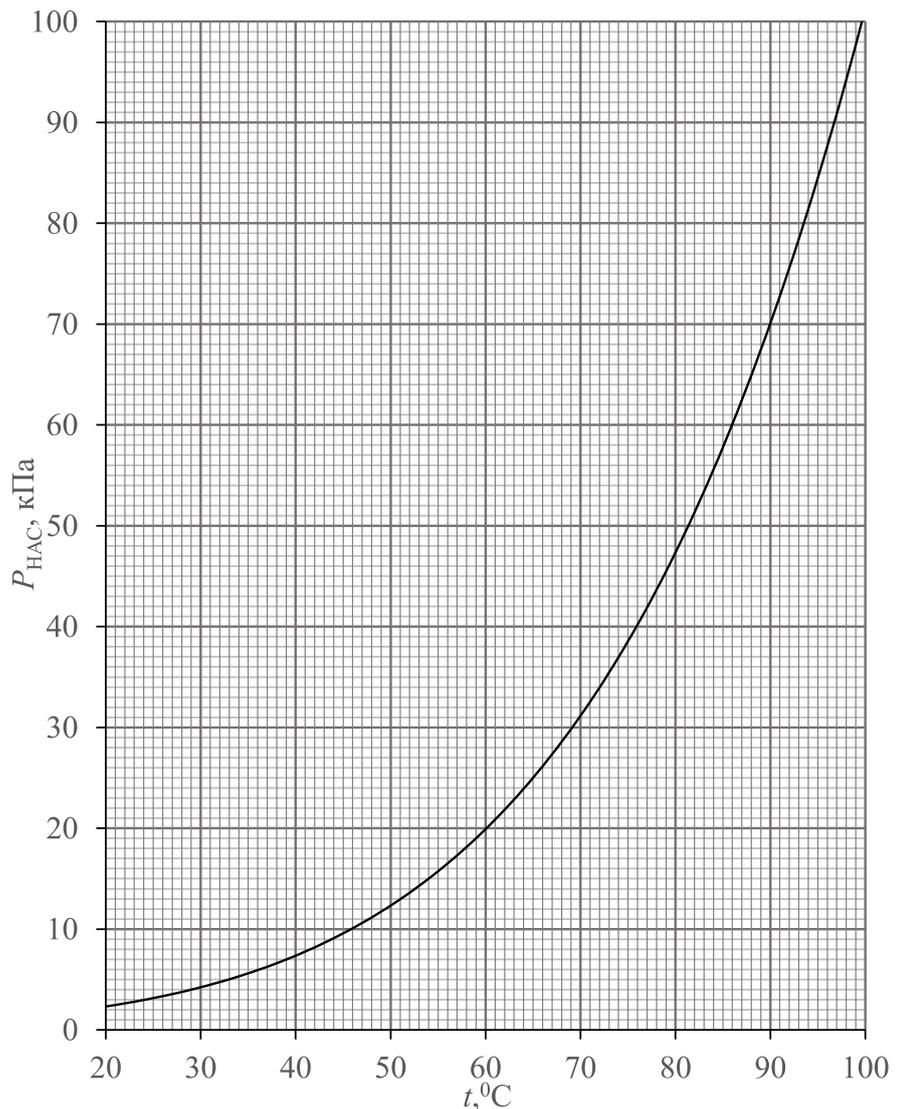


- 1) Найдите сжатие пружины в тот момент, когда начнётся относительное движение бруска и доски.
- 2) Найдите промежуток времени с момента начала сжатия пружины до момента начала относительного движения бруска и доски.
- 3) Найдите ускорение доски в момент максимального сжатия пружины.

2. В вертикальном цилиндре с гладкими стенками под массивным поршнем находится влажный воздух при давлении $p_0 = 105$ кПа, температуре $t_0 = 97$ °С и относительной влажности $\varphi_0 = 1/3$ (33,3%). Содержимое цилиндра постепенно остывает до температуры $t = 33$ °С. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти парциальное давление пара P_1 при 97 °С.
- 2) Найти температуру t^* , при которой начнётся конденсация пара.
- 3) Найти отношение объёмов содержимого цилиндра V/V_0 в конце и в начале остывания.

Объёмом жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.

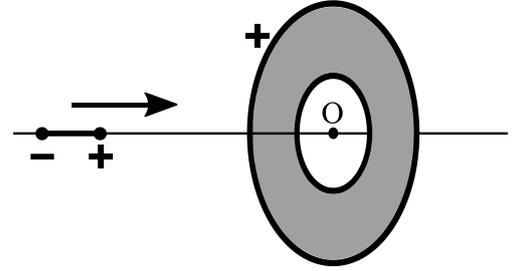


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-03

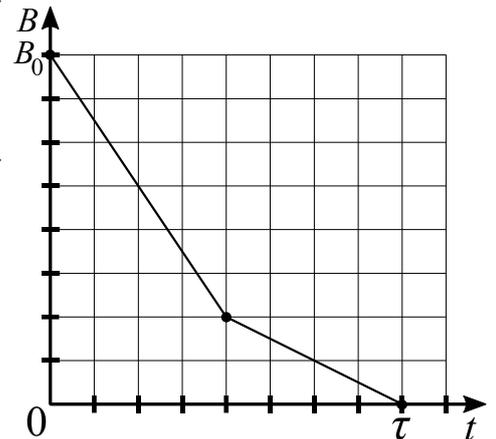
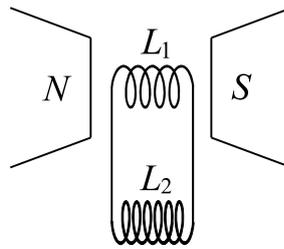
*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.*

3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется с некоторой начальной скоростью из бесконечно удаленной точки вдоль оси симметрии диска и пролетает через отверстие. Заряды диполя находятся на маленьких шариках, на диполь действуют только силы электрического поля диска, диск закреплен, при пролете диполь не отклоняется от оси диска. Минимальная начальная скорость диполя, необходимая для пролета, равна V_0 . Диполь сообщают начальную скорость $\frac{3}{2}V_0$.



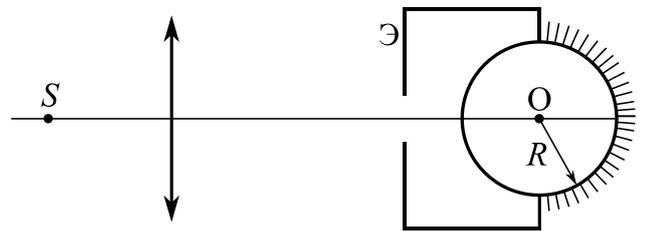
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

4. Катушка индуктивностью $L_1 = L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 3L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Изначально тока в катушках нет. Внешнее поле выключают в течение времени τ . Зависимость индукции внешнего поля от времени показана на рисунке. Взаимной индуктивностью катушек пренебречь.



- 1) Найти ток I_0 через катушку L_1 в конце выключения внешнего поля.
- 2) Найти заряд, протекший через катушку L_1 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F расположены центр O прозрачного шара и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 1,1F$ (см. рис.). На поверхность шара, противоположную поверхности входа лучей, нанесено идеально отражающее зеркальное покрытие. С шаром жестко скреплен непрозрачный экран \mathcal{E} с небольшим круглым отверстием. Если шар расположен так, что расстояние от центра линзы до ближайшей к нему точки шара равно $b = 10,5F$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.



- 1) Найти радиус R шара.

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от шара до центра линзы увеличилось на $\Delta = 5,5F$, изображение источника снова совпало с самим источником.

- 2) Найти показатель преломления вещества шара.

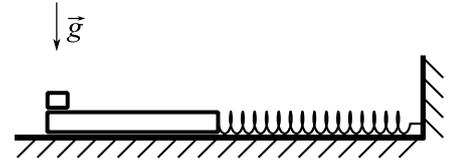
Отражение света от наружной поверхности шара пренебрежимо мало. Экран \mathcal{E} обеспечивает малость углов α лучей (падающих на шар) с оптической осью и справедливость приближения $\sin \alpha \approx \alpha$.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.

1. Длинную доску массой $M = 4$ кг удерживают на горизонтальной гладкой поверхности. На одном конце доски лежит небольшой брусок массой $m = 1$ кг, а в другой конец упирается легкая сжатая пружина жёсткостью $k = 100$ Н/м, прикрепленная к стенке. Коэффициент трения скольжения бруска по доске $\mu = 0,4$. Доску отпускают, она начинает движение, а брусок начинает двигаться относительно доски. Начальное сжатие пружины подобрано так, что в момент, когда ускорение доски почти достигает нуля первый раз, относительное движение бруска по доске прекращается. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Число «пи» в расчётах можете считать равным $\pi \approx 3$. Брусок и доска всё время движутся в одной вертикальной плоскости.

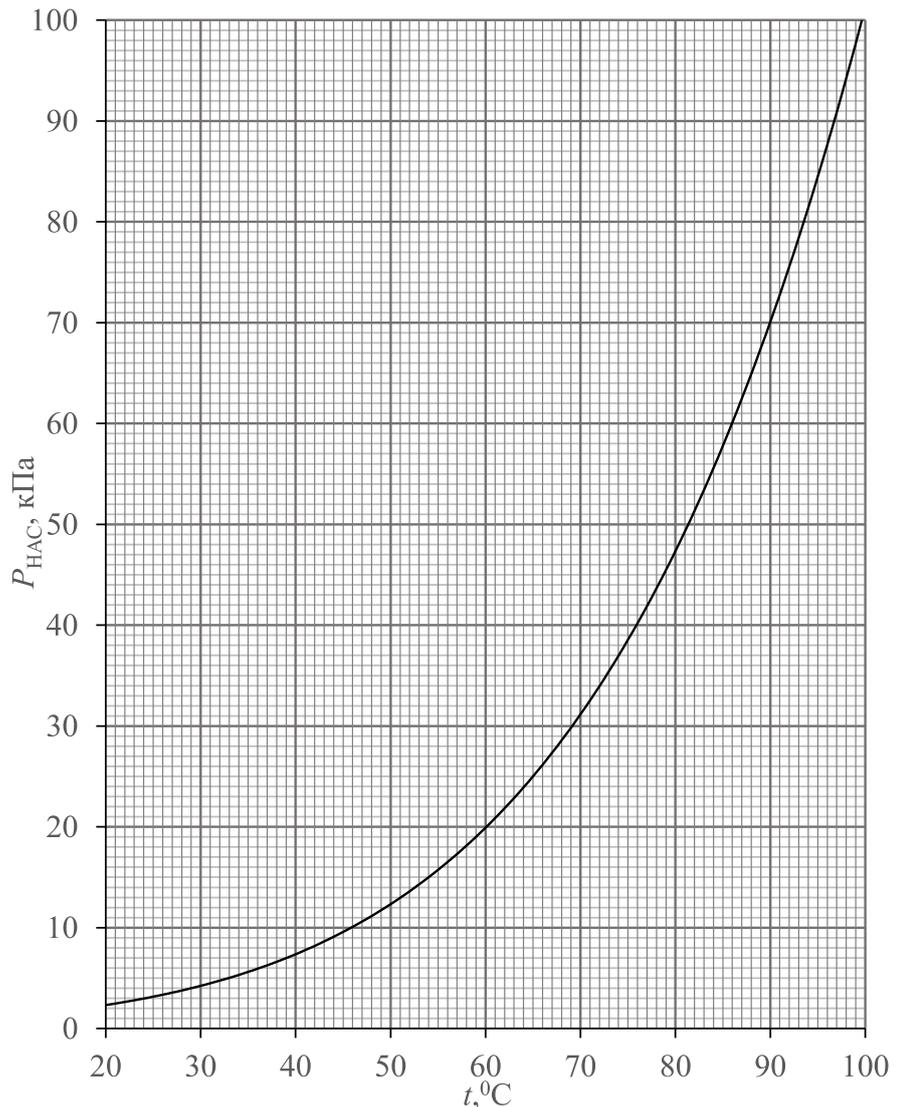


- 1) Найдите сжатие пружины в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.
- 2) Найдите ускорение доски сразу после начала движения.
- 3) Найдите скорость доски в момент времени, когда относительное ускорение бруска и доски станет равным нулю, впервые после начала движения.

2. В сосуде постоянного объема находятся в равновесии влажный воздух при температуре $t_0 = 27$ °С и жидкая вода. Масса жидкой воды в 7 раз больше массы пара. Содержимое сосуда постепенно нагревают до температуры $t = 90$ °С. В результате вся вода превращается в пар. Известен график зависимости давления насыщенного пара воды от температуры.

- 1) Найти отношение масс пара в конце и в начале нагревания.
- 2) Найти температуру t^* , при которой прекратится испарение воды.
- 3) Найти относительную влажность φ в конце нагревания.

Объёмом жидкости по сравнению с объёмом газа можно пренебречь. Пар считать идеальным газом.

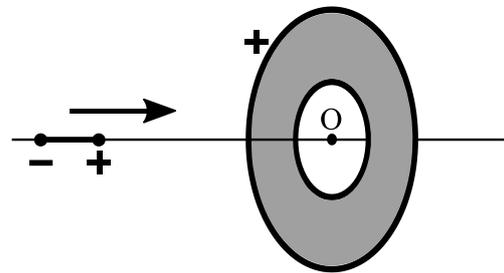


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-04

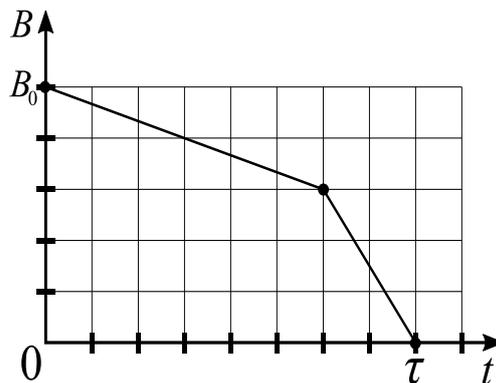
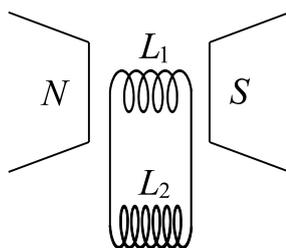
*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.*

3. В плоском тонком диске в форме круга имеется круглое отверстие (см. рис.). Центры диска и отверстия совпадают в точке O . Диск имеет однородно распределенный по поверхности положительный заряд. Система из двух жестко связанных равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов (диполь) движется с некоторой начальной скоростью из бесконечно удаленной точки вдоль оси симметрии диска и пролетает через отверстие. Заряды диполя находятся на маленьких шариках, на диполь действуют только силы электрического поля диска, диск закреплен, при пролете диполь не отклоняется от оси диска. Минимальная начальная скорость диполя, необходимая для пролета, равна V_0 . Заряды диполя уменьшают по модулю в 3 раза и сообщают диполью начальную скорость V_0 .



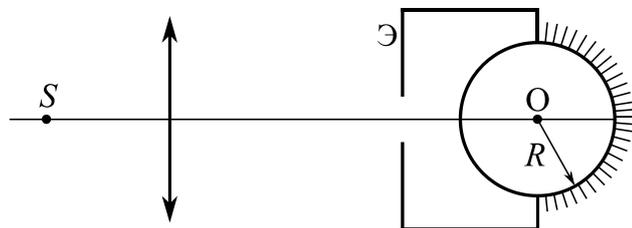
- 1) Найти скорость диполя при пролете центра диполя через центр отверстия.
- 2) Найти отношение максимальной и минимальной скоростей диполя при пролете.

4. Катушка индуктивностью $L_1 = 5L$ с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля перпендикулярны плоскости каждого витка. Вторая катушка индуктивностью $L_2 = 8L$ находится вне поля (см. рис.). Сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Изначально тока в катушках нет. Внешнее поле выключают в течение времени τ . Зависимость индукции внешнего поля от времени показана на рисунке. Взаимной индуктивностью катушек пренебречь.



- 1) Найти ток I_0 через катушку L_2 в конце выключения внешнего поля.
- 2) Найти заряд, протекший через катушку L_2 за время выключения внешнего поля.

5. На главной оптической оси тонкой собирающей линзы расположены центр O прозрачного шара радиуса R и точечный источник S , удаленный от линзы на расстояние $a = 4,5R$ (см. рис.). На поверхность шара, противоположную поверхности входа лучей, нанесено идеально отражающее зеркальное покрытие. С шаром жестко скреплен непрозрачный экран \mathcal{E} с небольшим круглым отверстием.



Если шар расположен так, что расстояние от центра линзы до ближайшей к нему точки шара равно $b = 8R$, то изображение источника в системе «линза-шар» совпадает с самим источником при любом показателе преломления вещества шара.

- 1) Найти фокусное расстояние линзы F .

После того, как центр шара переместили вдоль оптической оси так, что расстояние от шара до центра линзы уменьшилось на $\Delta = 3R$, изображение источника снова совпало с самим источником.

- 2) Найти показатель преломления вещества шара.

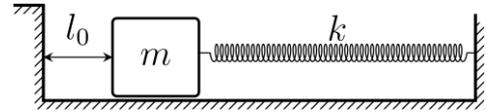
Отражение света от наружной поверхности шара пренебрежимо мало. Экран \mathcal{E} обеспечивает малость углов α лучей (падающих на шар) с оптической осью и справедливость приближения $\sin \alpha \approx \alpha$.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-05

*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.*

1. Покоящееся на гладкой горизонтальной поверхности тело массой m прикреплено к стене легкой достаточно длинной пружиной жесткостью k . На расстоянии l_0 от тела находится вертикальный уступ, как показано на рисунке. Сжимая пружину на $11l_0/4$, тело придвигают к стене и отпускают

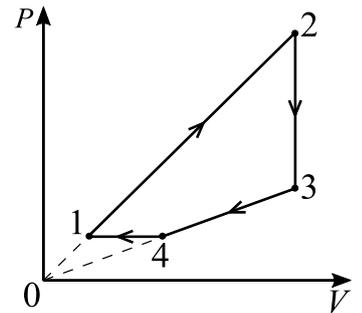


без начальной скорости. После первого удара тела о уступ максимальное сжатие пружины оказалось $5l_0/2$. Все удары о уступ считать частично упругими, при которых отношение кинетических энергий после удара и до удара можно считать постоянным. Каждая точка тела движется вдоль одной горизонтальной прямой.

- 1) Определите скорость тела при прохождении положения равновесия перед первым ударом.
- 2) Определите величину максимального сжатия пружины после второго удара.
- 3) Сколько времени прошло между моментом отпускания тела и моментом максимального сжатия пружины после первого удара?

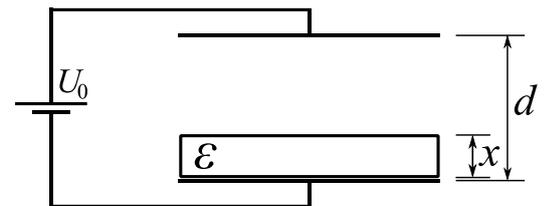
В ответе допустимы обратные тригонометрические функции.

2. Рабочим телом тепловой машины, работающей по циклу 1-2-3-4-1, является идеальный газ (см. рис.). Участки цикла 1-2 и 3-4 лежат на прямых, проходящих через начало координат, 2-3 – изохора, 4-1 – изобара. На каждом из участков 2-3 и 4-1 от газа было отведено количество теплоты Q ($Q > 0$). Молярная теплоёмкость газа в процессе 3-4 равна $C = 3R$, R – универсальная газовая постоянная. Отношение температур $T_4/T_1 = 5/2$.

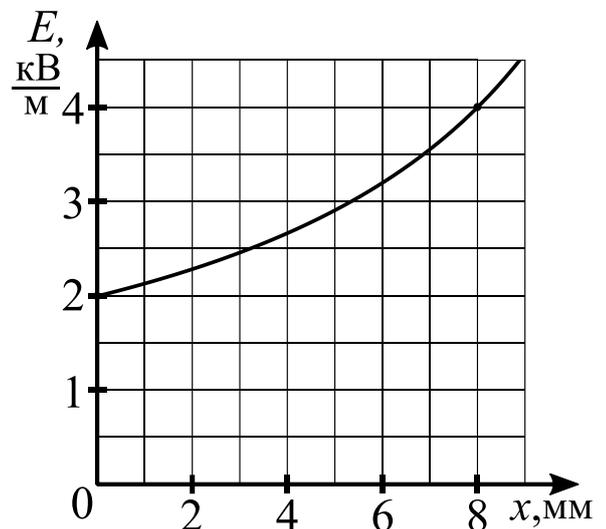


- 1) Найти молярную теплоёмкость газа в процессе 4-1.
- 2) Найти работу газа за цикл.
- 3) Найти КПД цикла.

3. Плоский конденсатор подсоединен к источнику постоянного напряжения. Расстояние между обкладками $d = 12$ мм (см. рис.). В конденсатор вставляется пластина из диэлектрика толщиной x (пластина занимает часть объема конденсатора, равную x/d). Известна часть графика зависимости напряженности электрического поля в воздушном зазоре от толщины пластины x (см. рис.). Диэлектрическую проницаемость воздуха принять равной единице.



- 1) Найти напряжение U_0 источника.
- 2) Найти диэлектрическую проницаемость ϵ диэлектрика.

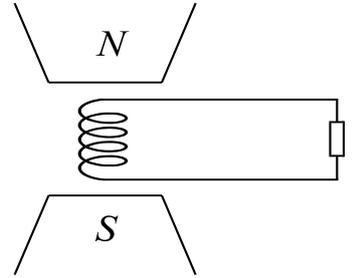


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-05

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

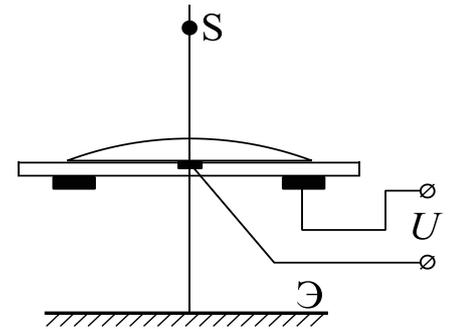
4. Катушка с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле с индукцией B_0 . Силовые линии поля направлены перпендикулярно плоскости каждого витка (см. рис.). Концы катушки замкнуты на резистор сопротивлением R . Внешнее поле выключают в течение времени τ . За время выключения ток в катушке возрастает линейно от нуля до I_1 .



- 1) Найти скорость возрастания тока через время $\tau/3$ от начала выключения.
- 2) Найти заряд q , протекший через резистор от момента начала выключения поля до момента, когда ток через резистор станет нулевым.
- 3) Найти индуктивность L катушки.

Сопротивлением катушки и соединительных проводов пренебречь.

5. Капля электропроводящей прозрачной жидкости с показателем преломления $n = 1,4$ покоится на тонкой смачиваемой прозрачной горизонтальной диэлектрической подложке (см. рис.). Капля используется в качестве тонкой плосковыпуклой линзы для получения изображения маленького светящегося шарика-светодиода S на экране \mathcal{E} . Источник S можно перемещать вдоль главной оптической оси линзы. Плоскость экрана перпендикулярна оси и находится на расстоянии $b = 6$ см от линзы. Расстояние от источника до линзы значительно больше диаметра пучка света, проходящего через линзу. Если под каплей соосно расположить два электрода, так что небольшой центральный электрод непосредственно контактирует с жидкостью, а периферийный (кольцо) изолирован от неё, то можно изменять радиус R кривизны верхней поверхности линзы по линейному закону в зависимости от напряжения U , прикладываемого к электродам. Если светодиод на высоте $a_1 = 12$ см над каплей, то изображение на экране при $U_1 = 1$ В. Если светодиод на высоте $a_2 = 18$ см, то изображение на экране при напряжении $U_2 = 2$ В.



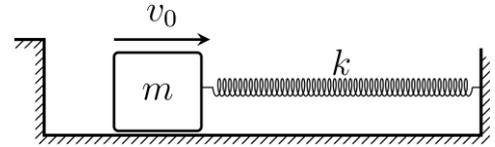
- 1) Выведите формулу для фокусного расстояния F плосковыпуклой тонкой линзы в зависимости от радиуса кривизны R и показателя преломления n .
- 2) Определите радиус кривизны R_0 капли при нулевом напряжении.
- 3) Считая, что светодиод излучает одинаковую световую мощность по всем направлениям, определите отношение средних освещённостей E_1/E_2 первого и второго изображений. Поглощением света в подложке пренебречь. Освещённость — энергия света, падающего на единицу площади в единицу времени.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-06

*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.*

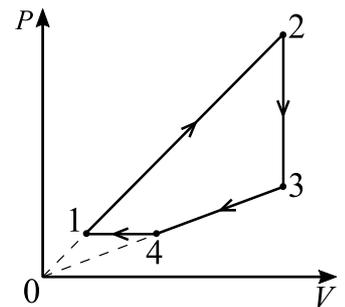
1. Покоящееся на гладкой горизонтальной поверхности тело массой m прикреплено к стене легкой достаточно длинной пружиной жесткостью k (см. рис.). Уступ находится на таком расстоянии от тела, что если тело прижать к уступу и отпустить без начальной скорости, то положение равновесия тело пройдет со скоростью v_0 . В момент времени $t_0 = 0$ телу в положении равновесия придают скорость $23v_0/9$, направленную к стене. После первого удара тела о уступ тело проходит положение равновесия со скоростью $7v_0/3$. Все удары о уступ считать частично упругими, при которых отношение кинетических энергий после удара и до удара можно считать постоянным. Каждая точка тела движется вдоль одной горизонтальной прямой.



- 1) Определите максимальное сжатие пружины до первого удара.
- 2) Определите скорость прохождения телом положения равновесия после второго удара.
- 3) В какой момент времени t_1 тело пройдет положение равновесия после первого удара?

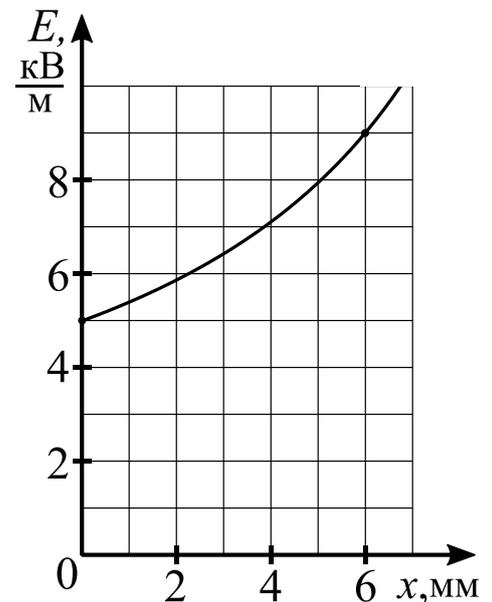
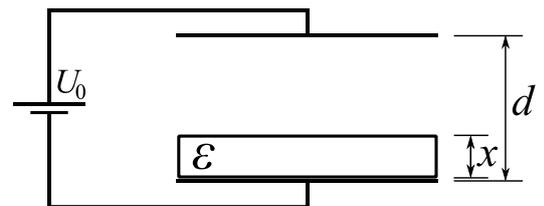
В ответе допустимы обратные тригонометрические функции.

2. Рабочим телом тепловой машины, работающей по циклу 1-2-3-4-1, является идеальный газ (см. рис.). Участки цикла 1-2 и 3-4 лежат на прямых, проходящих через начало координат, 2-3 – изохора, 4-1 – изобара. На каждом из участков 2-3 и 4-1 от газа было отведено количество теплоты Q ($Q > 0$). Молярная теплоёмкость газа в процессе 1-2 равна $C = 7R/2$, R – универсальная газовая постоянная. Отношение температур $T_2/T_3 = 12/5$.



- 1) Найти молярную теплоёмкость газа в процессе 2-3.
- 2) Найти работу газа за цикл.
- 3) Найти КПД цикла.

3. Плоский конденсатор подсоединен к источнику постоянного напряжения. Расстояние между обкладками $d = 9$ мм (см. рис.). В конденсатор вставляется пластина из диэлектрика толщиной x (пластина занимает часть объема конденсатора, равную x/d). Известна часть графика зависимости напряженности электрического поля в воздушном зазоре от толщины пластины x (см. рис.). Диэлектрическую проницаемость воздуха принять равной единице.



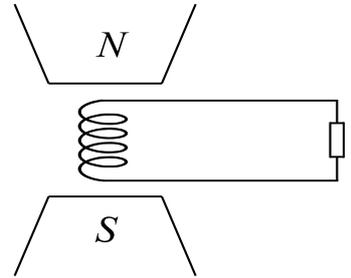
- 1) Найти напряжение U_0 источника.
- 2) Найти диэлектрическую проницаемость ϵ диэлектрика.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2025

Вариант 11-06

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

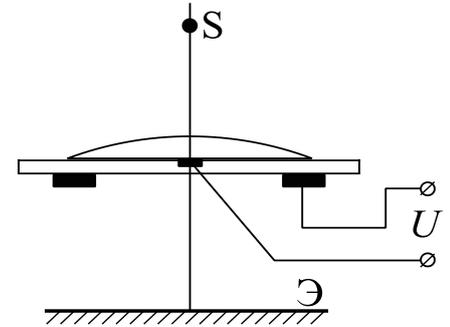
4. Катушка индуктивностью L с числом витков n и площадью каждого витка S_1 находится во внешнем однородном магнитном поле, направленном перпендикулярно плоскости каждого витка (см. рис.). Концы катушки замкнуты на резистор сопротивлением R . Внешнее поле выключают в течение времени τ . За время выключения ток в катушке возрастает линейно от нуля до I_1 .



- 1) Найти скорость возрастания тока через время $\tau/4$ от начала выключения.
- 2) Найти заряд q , протекший через катушку от момента, когда ток в катушке был I_1 , до момента, когда ток через катушку станет нулевым.
- 3) Найти начальную индукцию B_1 внешнего магнитного поля.

Сопротивлением катушки и соединительных проводов пренебречь.

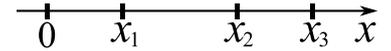
5. Капля электропроводящей прозрачной жидкости с показателем преломления $n = 4/3$ покоится на тонкой смачиваемой прозрачной горизонтальной диэлектрической подложке (см. рис.). Капля используется в качестве тонкой плосковыпуклой линзы для получения изображения маленького светящегося шарика-светодиода S на экране \mathcal{E} . Источник S можно перемещать вдоль главной оптической оси линзы. Плоскость экрана перпендикулярна оси и находится на расстоянии $b = 24$ см от линзы. Расстояние от источника до линзы значительно больше диаметра пучка света, проходящего через линзу. Если под каплей соосно расположить два электрода, так что небольшой центральный электрод непосредственно контактирует с жидкостью, а периферийный (кольцо) изолирован от неё, то можно изменять радиус R кривизны верхней поверхности линзы по линейному закону в зависимости от напряжения U , прикладываемого к электродам. При нулевом напряжении радиус кривизны $R_0 = 2$ см. При напряжении U_1 на экране получено изображение светодиода с увеличением $\Gamma_1 = 5/3$, а при напряжении U_2 получено изображение с увеличением $\Gamma_2 = 1/3$.



- 1) Выведите формулу для фокусного расстояния F плосковыпуклой тонкой линзы в зависимости от радиуса кривизны R и показателя преломления n .
- 2) Определите U_2/U_1 .
- 3) Считая, что светодиод излучает одинаковую световую мощность по всем направлениям, определите отношение средних освещённостей E_1/E_2 первого и второго изображений. Поглощением света в подложке пренебречь. Освещённость — энергия света, падающего на единицу площади в единицу времени.

1. Пусть x - деформация пружины. При максимальном сжатии будет x_3 , при начале относительного движения будет x_2 .

$$1) \frac{kx_2}{M+m} = \frac{\mu mg}{m}. \quad x_2 = \frac{\mu(M+m)g}{k} = \frac{1}{3} \text{ м.}$$



$$2) \text{ При } 0 < x < x_2 \quad x = A_0 \sin \omega_0 t, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M+m}}, \quad A_0 = V_0 / \omega_0.$$

$$x_2 = \frac{V_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t_2. \quad t_2 = \frac{1}{\omega_0} \arcsin \frac{x_2 \omega_0}{V_0} = \sqrt{\frac{M+m}{k}} \arcsin \left(\frac{\mu g}{V_0} \sqrt{\frac{M+m}{k}} \right) = \frac{\pi}{18} \text{ с} \approx \frac{1}{6} \text{ с}.$$

3) При $x_2 < x < x_3$ доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 ($kx_1 = \mu mg$) с амплитудой $A = x_3 - x_1$ и циклической частотой $\omega = \sqrt{k/M}$. При x_3 ускорение максимально: $a_m = A\omega^2$.

Найдем A . При x_2 скорость V_2 . $\left(\frac{x_2 - x_1}{A}\right)^2 + \left(\frac{V_2}{A\omega}\right)^2 = 1$. Отсюда $A = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + \left(\frac{V_2}{\omega}\right)^2}$. Найдем V_2 .

$$\frac{1}{2}(M+m)V_0^2 = \frac{1}{2}(M+m)V_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2. \quad \text{Отсюда } V_2^2 = V_0^2 - \frac{k}{M+m}x_2^2. \quad a_m = \sqrt{\frac{k}{M} \left(V_0^2 - \frac{\mu^2 g^2 m}{k} \right)} = \frac{3}{2} \sqrt{22} \text{ м/с}^2.$$

Удобно находить a_m последовательно в единицах СИ: $x_1 = 1/9$, $x_2 = 1/3$, $\omega = \sqrt{k/M} = \sqrt{27/2}$. $V_2^2 = 3$, $A = \sqrt{22}/9$.

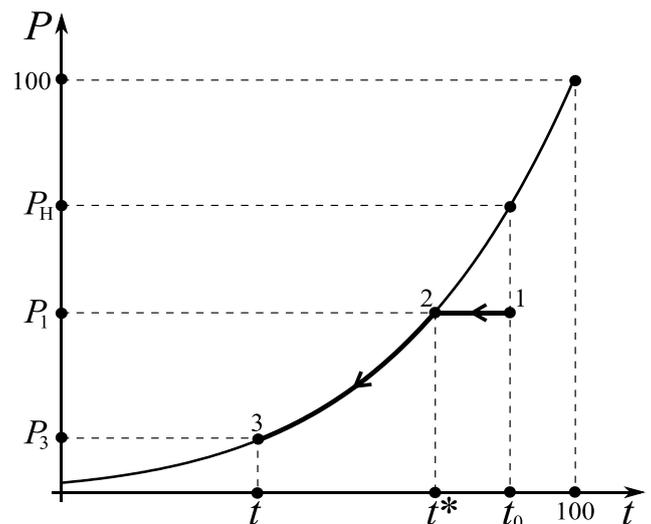
Замечание. Можно сначала найти x_3 из ЗСЭ, а затем a_m .

2. 1) Из графика условия при t_0 давление насыщенного пара $P_H = 60$ кПа. При t_0 парциальное давление $P_1 = \varphi_0 P_H = 40$ кПа. Допустимые пределы (39-41).

2) Парциальное давление пара будет оставаться постоянным, пока не начнется конденсация, так как остается постоянным давление смеси. На рисунке кривая 1-2-3 - зависимость давления пара от температуры в сосуде. Используя график условия, находим $t^* = 76$ °С. Допустимые пределы (75-77).

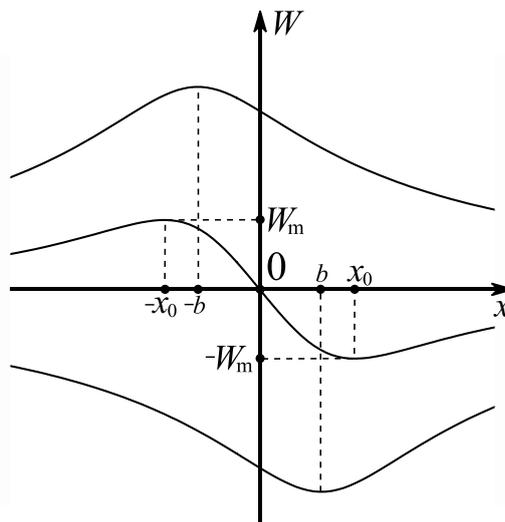
3) Из графика условия при t давление пара $P_3 = 10$ кПа. Допустимые пределы (9-11). Для сухого воздуха $\frac{(P_0 - P_1)V_0}{T_0} = \frac{(P_0 - P_3)V}{T}$. Отсюда $\frac{V}{V_0} = \frac{(P_0 - P_1)T}{(P_0 - P_3)T_0} \approx 0,7$.

Допустимые пределы (0,68-0,72).



3. 1) При пролете центра диполя через центр отверстия энергия взаимодействия равна нулю. По ЗСЭ скорость диполя будет $2V_0$.

2) Обозначим через x координату центра диполя. Начало координат поместим в центр диска. Пусть расстояние между зарядами диполя равно $2b$. На рисунке верхняя кривая - зависимость от x энергии электростатического взаимодействия положительного заряда диполя с зарядами диска, нижняя кривая - для отрицательного заряда диполя. Суммарная энергия W взаимодействия диполя с диском - средняя кривая. При $-\infty < x < -x_0$ диполь тормозится, при $-x_0 < x < x_0$ разгоняется, при $x_0 < x < \infty$ тормозится. Если диполь преодолевает координату $-x_0$, то он пролетает через диск. Минимальная скорость при $-x_0$, максимальная скорость при x_0 . По ЗСЭ $\frac{1}{2}mV_0^2 = W_m$, $\frac{1}{2}m(2V_0)^2 = \frac{1}{2}mV_{\min}^2 + W_m$,



при x_0 . По ЗСЭ $\frac{1}{2}mV_0^2 = W_m$, $\frac{1}{2}m(2V_0)^2 = \frac{1}{2}mV_{\min}^2 + W_m$,

$$\frac{1}{2}m(2V_0)^2 = \frac{1}{2}mV_{\max}^2 - W_m. \text{ Отсюда } V_{\min} = V_0\sqrt{3}, V_{\max} = V_0\sqrt{5}, V_{\max} - V_{\min} = V_0(\sqrt{5} - \sqrt{3}).$$

4. $-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = I \cdot 0$, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{nS_1}{L_1 + L_2} \frac{\Delta B}{\Delta t}$, $I = \frac{(B_0 - B)nS_1}{L_1 + L_2}$. Здесь $I = I(t)$, $B = B(t)$.

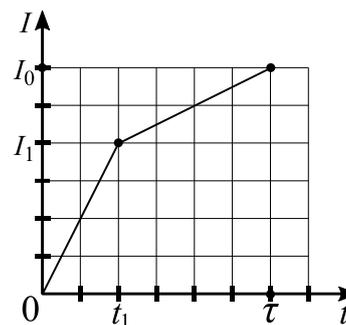
1) $I_0 = I(\tau) = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{1}{5} \frac{B_0 n S_1}{L}$. Получить ответ можно и из сохранения

суммы магнитных потоков.

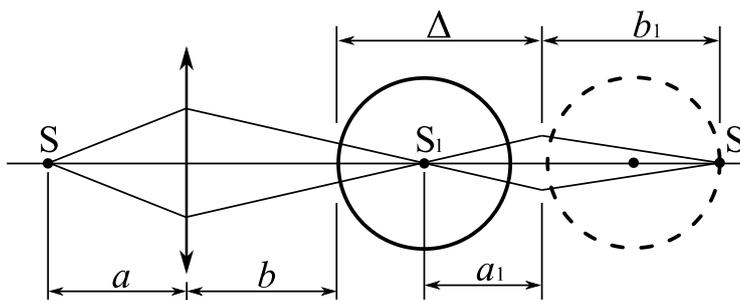
2) Из условия $t_1 = \tau/3$, $B_1 = B_0/3$. Зависимость тока от времени показана

на рисунке. $I_1 = \frac{2}{15} \frac{B_0 n S_1}{L} = \frac{2}{3} I_0$, $q_1 = \frac{0 + I_1}{2} t_1 = \frac{1}{9} I_0 \tau = \frac{1}{45} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$,

$$q_2 = \frac{I_1 + I_0}{2} (\tau - t_1) = \frac{5}{9} I_0 \tau = \frac{1}{9} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}. \quad q = q_1 + q_2 = \frac{2}{15} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}.$$



5. 1) Если изображение S_1 от S в линзе попадает в центр шара (см. рис.), то лучи в шаре идут вдоль радиуса шара при любом показателе преломления, падают на зеркало и отражаются строго в обратном направлении. В результате изображение в системе попадает в S . $\frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} = \frac{1}{F}$. Так как $a = 1,5F$, $b = 8F/3$, то $R = F/3$.



2) После перемещения шара S_1 служит источником для левой сферической поверхности шара, изображение в которой S_2 . Если S_2 попадает на сферическое зеркало, то отраженные от зеркала лучи идут симметрично (относительно оптической оси) падающим. Это приводит к тому, что изображение в системе попадает в S . По формуле преломления на сферической поверхности $\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = (n-1) \frac{1}{R}$. Имеем

$$a_1 = \Delta - R = 5F/3. \quad b_1 = 2R = 2F/3. \quad \text{Тогда } n = 2,4.$$

Замечание. Вместо готовой формулы преломления на сферической поверхности можно для луча, идущего под малым углом к оптической оси, применить закон преломления.

Олимпиада «Физтех». 2025 г. Физика. Решения. Вариант 11-02

1. Пусть x - деформация пружины. При максимальном сжатии будет x_3 , при нулевом относительном ускорении будет x_2 .

1) Когда относительное ускорение впервые станет нулевым, брусок еще будет двигаться по доске.



$$\frac{kx_2 - \mu mg}{M} = \frac{\mu mg}{m}. \quad x_2 = \frac{\mu(M+m)g}{k} = 0,18 \text{ м.}$$

2) В начале движения доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 ($kx_1 = \mu mg$) с амплитудой $A = x_3 - x_1$ и циклической частотой $\omega = \sqrt{k/M}$. Пока брусок движется по доске, ускорение доски $a = \frac{kx - \mu mg}{M}$. Ускорение станет нулевым при $x = \frac{\mu mg}{k}$, т.е. совпадает с x_1 ! Итак, при $x_1 < x < x_3$

брусок движется по доске и доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 . При прохождении x_1 скорость доски V_1 равна скорости бруска: $V_1 = \mu g \frac{T}{4} = \mu g \frac{1}{4} \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{2} \pi \mu g \sqrt{\frac{M}{k}}$. Ускорение доски в начале движения $a_m = V_1 \omega = \frac{1}{2} \pi \mu g \approx \frac{3}{2} \cdot 3 \text{ м/с}^2 = 4,5 \text{ м/с}^2$.

$$3) \left(\frac{x_2 - x_1}{A} \right)^2 + \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 = 1. \quad A = V_1 / \omega. \text{ Отсюда}$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - (x_2 - x_1)^2 \omega^2} = \mu g \sqrt{\frac{M}{k} \left(\frac{1}{4} \pi^2 - 1 \right)} = \frac{3}{10} \sqrt{\pi^2 - 4} \approx \frac{3}{10} \sqrt{5} \text{ м/с.}$$

Удобно находить V_2 последовательно в единицах СИ: $x_1 = 0,06$, $x_2 = 0,18$, $\omega = \sqrt{k/M} = 5$. $V_1 = 0,3\pi$.
Замечание. V_2 можно найти и из ЗСЭ.

2. 1) Отношение масс пара в конце и в начале нагревания равно 12.

2) Найдем связь парциального давления P пара и температуры T после окончания испарения.

$$P_1 V = \frac{m}{\mu} R T_0, \quad P V = \frac{12m}{\mu} R T. \text{ Отсюда } P = \frac{12P_1}{T_0} T. \text{ Так как } T_0$$

= 300 К и из графика $P_1 = 3,5$ кПа, то строим на рисунке условия прямую 3-4 согласно зависимости

$$P = \frac{14}{100} (273 + t). \text{ Здесь } P \text{ в кПа. На рисунке кривая 1-2-3-4}$$

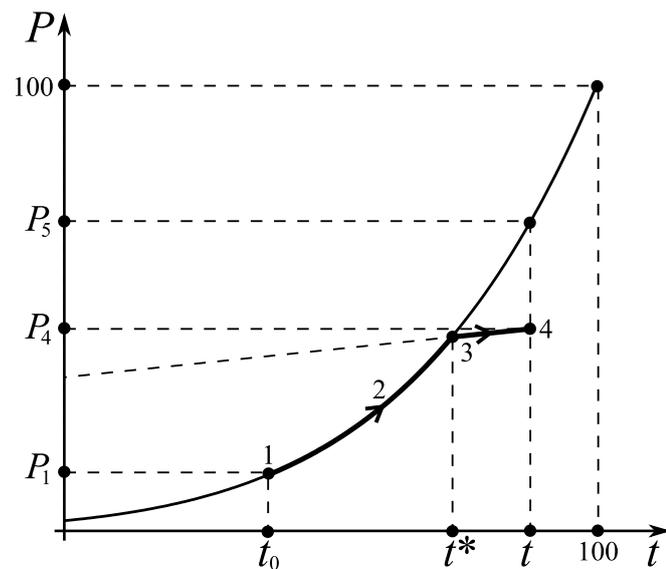
– зависимость давления пара от температуры в сосуде.

Точка 3 пересечения графиков дает $t^* = 81$ °С. Допустимые пределы (77-85).

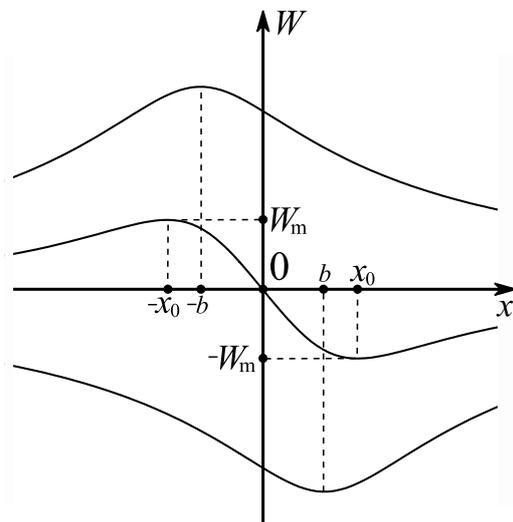
3) Из графика условия находим давление насыщенного пара при температуре $t = 97$ °С: $P_5 = 90$ кПа. При $T = (273+97)\text{К} = 370$ К давление ненасыщенного пара

$$P = P_4 = \frac{14}{100} 370 \approx 52 \text{ кПа. Относительная влажность } \varphi =$$

$$P_4/P_5 = 52/90 \approx 0,57. \text{ Допустимые пределы } (0,51-0,64).$$



3. 1) При пролете центра диполя через центр отверстия энергия взаимодействия равна нулю. По ЗСЭ скорость диполя будет V_0 .
 2) Обозначим через x координату центра диполя. Начало координат поместим в центр диска. Пусть расстояние между зарядами диполя равно $2b$. На рисунке верхняя кривая - зависимость от x энергии электростатического взаимодействия положительного заряда диполя с зарядами диска, нижняя кривая - для отрицательного заряда диполя. Суммарная энергия W взаимодействия диполя с диском - средняя кривая. При $-\infty < x < -x_0$ диполь тормозится, при $-x_0 < x < x_0$ разгоняется, при $x_0 < x < \infty$ тормозится. Если диполь преодолевает координату $-x_0$, то он пролетает через диск. Минимальная скорость при $-x_0$, максимальная скорость при x_0 . При уменьшении зарядов диполя в 2 раза, уменьшается и энергия взаимодействия в 2 раза.



По ЗСЭ $\frac{1}{2}mV_0^2 = W_m$,

$\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}mV_{\min}^2 + \frac{1}{2}W_m$, $\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}mV_{\max}^2 - \frac{1}{2}W_m$. Отсюда $V_{\min} = V_0 / \sqrt{2}$, $V_{\max} = V_0 \sqrt{3/2}$,

$V_{\max} - V_{\min} = V_0 \frac{\sqrt{6} - \sqrt{2}}{2}$.

4. $-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = I \cdot 0$, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{nS_1}{L_1 + L_2} \frac{\Delta B}{\Delta t}$, $I = \frac{(B_0 - B)nS_1}{L_1 + L_2}$.

Здесь $I = I(t)$, $B = B(t)$.

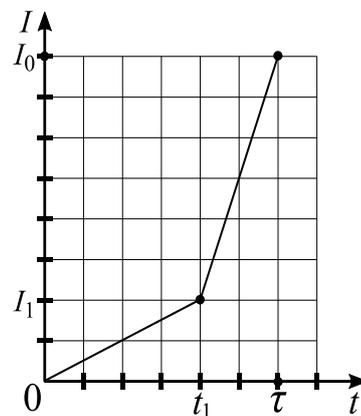
1) $I_0 = I(\tau) = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{1}{7} \frac{B_0 n S_1}{L}$. Получить ответ можно и из сохранения

суммы магнитных потоков.

2) Из условия $t_1 = 2\tau/3$, $B_1 = 3B_0/4$. Зависимость тока от времени

показана на рисунке. $I_1 = \frac{1}{28} \frac{B_0 n S_1}{L} = \frac{1}{4} I_0$, $q_1 = \frac{0 + I_1}{2} t_1 = \frac{1}{12} I_0 \tau = \frac{1}{84} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$,

$q_2 = \frac{I_1 + I_0}{2} (\tau - t_1) = \frac{5}{24} I_0 \tau = \frac{5}{168} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$. $q = q_1 + q_2 = \frac{7}{24} I_0 \tau = \frac{1}{24} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$.



5. 1) Если изображение S_1 от S в линзе попадает в центр шара (см. рис.), то лучи в шаре идут вдоль радиуса шара при любом показателе преломления, падают на зеркало и отражаются строго в обратном направлении. В результате изображение в системе попадает в S .

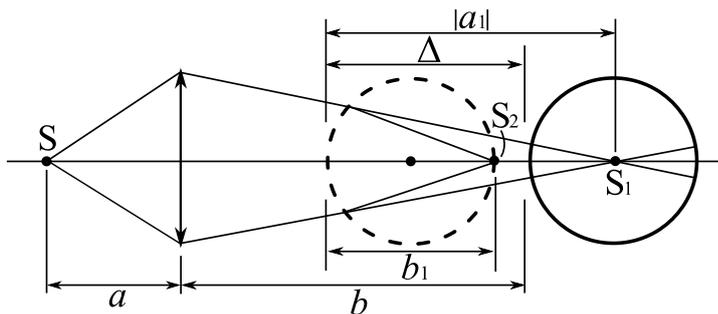
$\frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} = \frac{1}{F}$. Так как $a = 2R$, $b = 7R$,

то $F = 8R/5$.

2) После перемещения шара S_1 служит мнимым источником для левой сферической поверхности шара, изображение в которой S_2 . Если S_2 попадает на сферическое зеркало, то отраженные от зеркала лучи идут симметрично (относительно оптической оси) падающим. Это приводит к тому, что изображение в системе попадает в S . По формуле преломления на сферической поверхности $\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = (n-1) \frac{1}{R}$. Имеем

$|a_1| = \Delta + R = 5R$. $a_1 = -5R < 0$, $b_1 = 2R$. Тогда $n = 1,6$.

Замечание. Вместо готовой формулы преломления на сферической поверхности можно для луча, идущего под малым углом к оптической оси, применить закон преломления.



1. Пусть x - деформация пружины. При максимальном сжатии будет x_3 , при начале относительного движения будет x_2 .

$$1) \frac{kx_2}{M+m} = \frac{\mu mg}{m}. \quad x_2 = \frac{\mu(M+m)g}{k} \approx \frac{1}{4} \text{ м.}$$



$$2) \text{ При } 0 < x < x_2 \quad x = A_0 \sin \omega_0 t, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M+m}}, \quad A_0 = V_0 / \omega_0.$$

$$x_2 = \frac{V_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t_2. \quad t_2 = \frac{1}{\omega_0} \arcsin \frac{x_2 \omega_0}{V_0} = \sqrt{\frac{M+m}{k}} \arcsin \left(\frac{\mu g}{V_0} \sqrt{\frac{M+m}{k}} \right) = \frac{\pi \sqrt{3}}{18} \text{ с} \approx \frac{\sqrt{3}}{6} \text{ с.}$$

3) При $x_2 < x < x_3$ доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 ($kx_1 = \mu mg$) с амплитудой $A = x_3 - x_1$ и циклической частотой $\omega = \sqrt{k/M}$. При x_3 ускорение максимально: $a_m = A\omega^2$.

Найдем A . При x_2 скорость V_2 . $\left(\frac{x_2 - x_1}{A}\right)^2 + \left(\frac{V_2}{A\omega}\right)^2 = 1$. Отсюда $A = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + \left(\frac{V_2}{\omega}\right)^2}$. Найдем V_2 .

$$\frac{1}{2}(M+m)V_0^2 = \frac{1}{2}(M+m)V_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2. \quad \text{Отсюда } V_2^2 = V_0^2 - \frac{k}{M+m}x_2^2. \quad a_m = \sqrt{\frac{k}{M} \left(V_0^2 - \frac{\mu^2 g^2 m}{k} \right)} = \frac{3}{2} \sqrt{6} \text{ м/с}^2.$$

Удобно находить a_m последовательно в единицах СИ: $x_1 = 1/12$, $x_2 = 1/4$, $\omega = \sqrt{k/M} = \sqrt{18}$. $V_2^2 = 1/4$, $A = \sqrt{6}/12$.

Замечание. Можно сначала найти x_3 из ЗСЭ, а затем a_m .

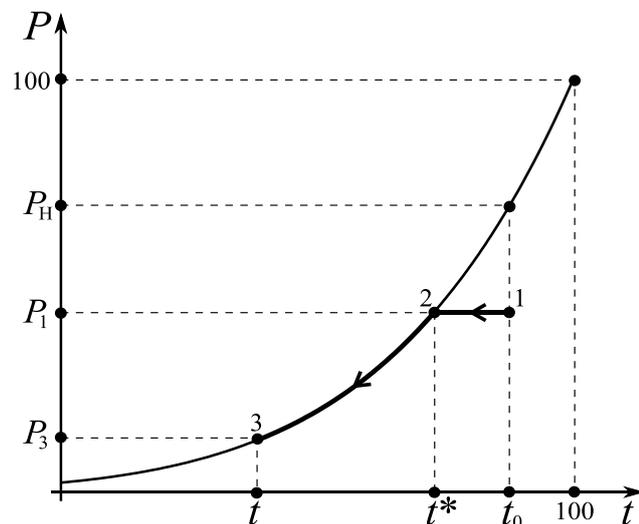
2. 1) Из графика условия при t_0 давление насыщенного пара $P_H = 90$ кПа. При t_0 парциальное давление $P_1 = \varphi P_H = 30$ кПа. Допустимые пределы (29-31).

2) Парциальное давление пара будет оставаться постоянным, пока не начнется конденсация, так как остается постоянным давление смеси. На рисунке кривая 1-2-3 – зависимость давления пара от температуры в сосуде. Используя график условия, находим $t^* = 69$ °С. Допустимые пределы (68-70).

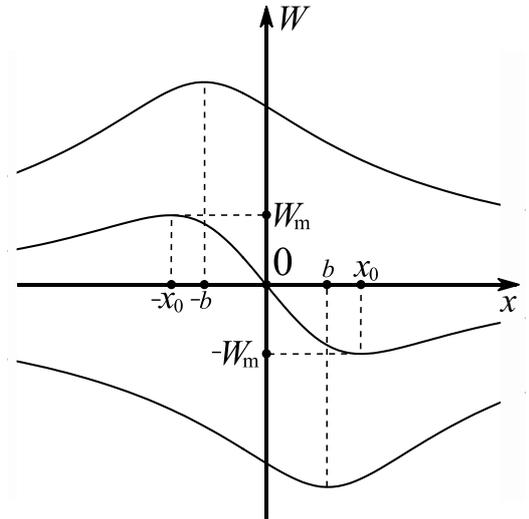
3) Из графика условия при t давление пара $P_3 = 5$ кПа.

Допустимые пределы (4-6). Для сухого воздуха $\frac{(P_0 - P_1)V_0}{T_0} = \frac{(P_0 - P_3)V}{T}$. Отсюда $\frac{V}{V_0} = \frac{(P_0 - P_1)T}{(P_0 - P_3)T_0} \approx 0,62$.

Допустимые пределы (0,60-0,64).



3. 1) При пролете центра диполя через центр отверстия энергия взаимодействия равна нулю. По ЗСЭ скорость диполя будет $3V_0/2$.
 2) Обозначим через x координату центра диполя. Начало координат поместим в центр диска. Пусть расстояние между зарядами диполя равно $2b$. На рисунке верхняя кривая - зависимость от x энергии электростатического взаимодействия положительного заряда диполя с зарядами диска, нижняя кривая - для отрицательного заряда диполя. Суммарная энергия W взаимодействия диполя с диском - средняя кривая. При $-\infty < x < -x_0$ диполь тормозится, при $-x_0 < x < x_0$ разгоняется, при $x_0 < x < \infty$ тормозится. Если диполь преодолевает координату $-x_0$, то он пролетает через диск. Минимальная скорость при $-x_0$, максимальная скорость при x_0 .



По ЗСЭ $\frac{1}{2} mV_0^2 = W_m$, $\frac{1}{2} m(3V_0/2)^2 = \frac{1}{2} mV_{\min}^2 + W_m$,

$\frac{1}{2} m(3V_0/2)^2 = \frac{1}{2} mV_{\max}^2 - W_m$. Отсюда $V_{\min} = \frac{\sqrt{5}}{2} V_0$, $V_{\max} = \frac{\sqrt{13}}{2} V_0$,

$\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \sqrt{\frac{13}{5}}$.

4. $-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = I \cdot 0$, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{nS_1}{L_1 + L_2} \frac{\Delta B}{\Delta t}$, $I = \frac{(B_0 - B)nS_1}{L_1 + L_2}$. Здесь $I = I(t)$, $B = B(t)$.

1) $I_0 = I(\tau) = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{1}{4} \frac{B_0 n S_1}{L}$. Получить ответ можно и из сохранения

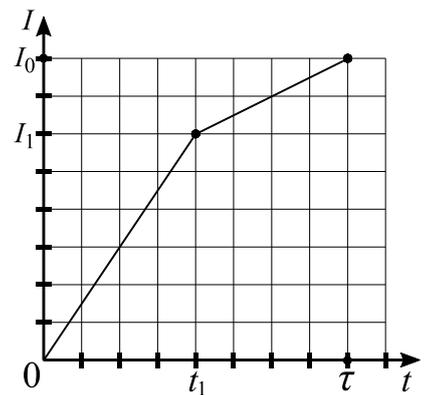
суммы магнитных потоков.

2) Из условия $t_1 = \tau/2$, $B_1 = B_0/4$. Зависимость тока от времени

показана на рисунке. $I_1 = \frac{3}{16} \frac{B_0 n S_1}{L} = \frac{3}{4} I_0$,

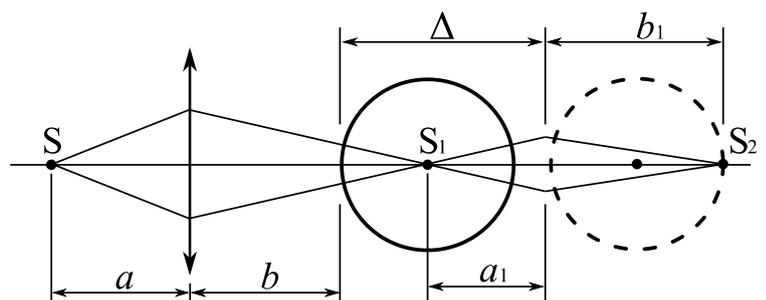
$q_1 = \frac{0 + I_1}{2} t_1 = \frac{3}{16} I_0 \tau = \frac{3}{64} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$,

$q_2 = \frac{I_1 + I_0}{2} (\tau - t_1) = \frac{7}{16} I_0 \tau = \frac{7}{64} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$. $q = q_1 + q_2 = \frac{5}{8} I_0 \tau = \frac{5}{32} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$.



5. 1) Если изображение S_1 от S в линзе попадает в центр шара (см. рис.), то лучи в шаре идут вдоль радиуса шара при любом показателе преломления, падают на зеркало и отражаются строго в обратном направлении. В результате изображение в системе попадает в S .

$\frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} = \frac{1}{F}$. Так как $a = 1,1F$, $b = 10,5F$, то $R = F/2$.



2) После перемещения шара S_1 служит источником для левой сферической поверхности шара, изображение в которой S_2 . Если S_2 попадает на сферическое зеркало, то отраженные от зеркала лучи идут симметрично (относительно оптической оси) падающим. Это приводит к тому, что изображение в системе попадает в S . По формуле преломления на сферической поверхности $\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = (n-1) \frac{1}{R}$. Имеем

$a_1 = \Delta - R = 5F$. $b_1 = 2R = F$. Тогда $n = 2,2$.

Замечание. Вместо готовой формулы преломления на сферической поверхности можно для луча, идущего под малым углом к оптической оси, применить закон преломления.

1. Пусть x - деформация пружины. При максимальном сжатии будет x_3 , при нулевом относительном ускорении будет x_2 .

1) Когда относительное ускорение впервые станет нулевым, брусок еще будет двигаться по доске.



$$\frac{kx_2 - \mu mg}{M} = \frac{\mu mg}{m}. \quad x_2 = \frac{\mu(M+m)g}{k} = 0,2 \text{ м.}$$

2) В начале движения доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 ($kx_1 = \mu mg$) с амплитудой $A = x_3 - x_1$ и циклической частотой $\omega = \sqrt{k/M}$. Пока брусок движется по доске, ускорение доски $a = \frac{kx - \mu mg}{M}$. Ускорение станет нулевым при $x = \frac{\mu mg}{k}$, т.е. совпадает с x_1 ! Итак, при $x_1 < x < x_3$

брусок движется по доске и доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 . При прохождении x_1 скорость доски V_1 равна скорости бруска: $V_1 = \mu g \frac{T}{4} = \mu g \frac{1}{4} \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{2} \pi \mu g \sqrt{\frac{M}{k}}$. Ускорение

доски в начале движения $a_m = V_1 \omega = \frac{1}{2} \pi \mu g = 2\pi \approx 6 \text{ м/с}^2$.

3) $\left(\frac{x_2 - x_1}{A}\right)^2 + \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = 1. \quad A = V_1 / \omega$. Отсюда

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - (x_2 - x_1)^2 \omega^2} = \mu g \sqrt{\frac{M}{k} \left(\frac{1}{4} \pi^2 - 1\right)} = \frac{2}{5} \sqrt{\pi^2 - 4} \approx \frac{2}{5} \sqrt{5} \text{ м/с.}$$

Удобно находить V_2 последовательно в единицах СИ: $x_1 = 0,04$, $x_2 = 0,2$, $\omega = \sqrt{k/M} = 5$. $V_1 = 0,4\pi$.
Замечание. V_2 можно найти и из ЗСЭ.

2. 1) Отношение масс пара в конце и в начале нагревания равно 8.

2) Найдем связь парциального давления P пара и температуры T после окончания испарения.

$$P_1 V = \frac{m}{\mu} R T_0, \quad P V = \frac{8m}{\mu} R T. \quad \text{Отсюда } P = \frac{8P_1}{T_0} T. \quad \text{Так}$$

как $T_0 = 300 \text{ К}$ и из графика в условии $P_1 = 3,5 \text{ кПа}$, то строим на рисунке условия прямую 3-4 согласно

зависимости $P = \frac{7}{75}(273 + t)$. Здесь P в кПа. На

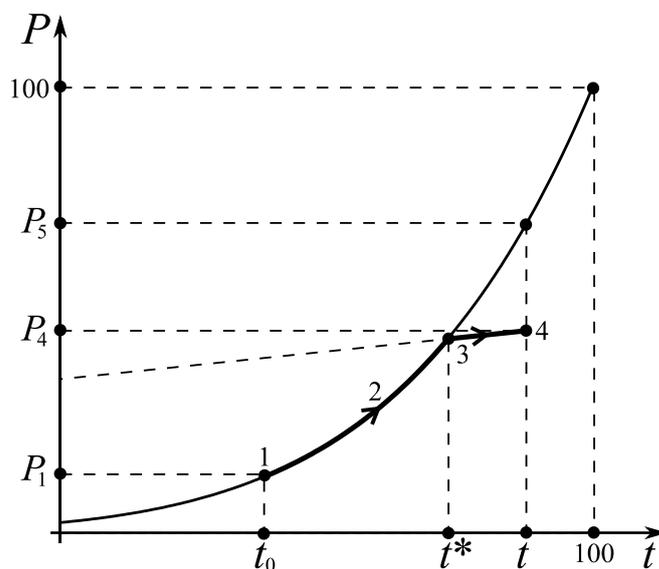
рисунке кривая 1-2-3-4 – зависимость давления пара от температуры в сосуде. Точка 3 пересечения графиков дает $t^* = 71 \text{ }^\circ\text{С}$. Допустимые пределы (67-75).

3) Из графика условия находим давление насыщенного пара при температуре $t = 90 \text{ }^\circ\text{С}$: $P_5 = 70 \text{ кПа}$. При $T = (273 + 90)\text{К} = 363 \text{ К}$ давление

ненасыщенного пара $P = P_4 = \frac{7}{75} 363 \approx 34 \text{ кПа}$.

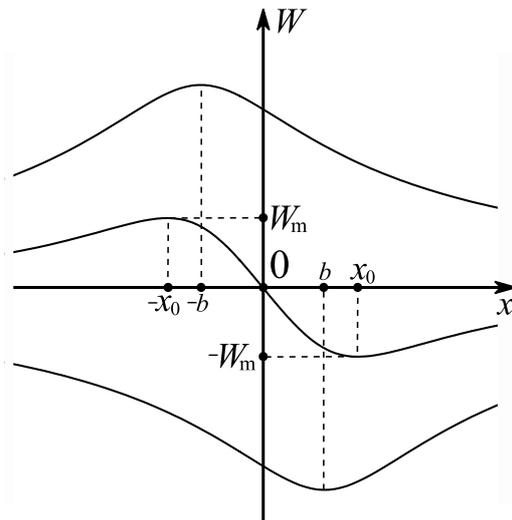
Относительная влажность $\varphi = P_4/P_5 = 34/70 \approx 0,49$.

Допустимые пределы (0,43-0,55).



3. 1) При пролете центра диполя через центр отверстия энергия взаимодействия равна нулю. По ЗСЭ скорость диполя будет V_0 .

2) Обозначим через x координату центра диполя. Начало координат поместим в центр диска. Пусть расстояние между зарядами диполя равно $2b$. На рисунке верхняя кривая - зависимость от x энергии электростатического взаимодействия положительного заряда диполя с зарядами диска, нижняя кривая - для отрицательного заряда диполя. Суммарная энергия W взаимодействия диполя с диском - средняя кривая. При $-\infty < x < -x_0$ диполь тормозится, при $-x_0 < x < x_0$ разгоняется, при $x_0 < x < \infty$ тормозится. Если диполь преодолевает координату $-x_0$, то он пролетает через диск. Минимальная скорость при $-x_0$, максимальная скорость при x_0 . При уменьшении зарядов диполя в 3 раза, уменьшается и энергия взаимодействия в 3 раза.



По ЗСЭ $\frac{1}{2}mV_0^2 = W_m$, $\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}mV_{\min}^2 + \frac{1}{3}W_m$,

$\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}mV_{\max}^2 - \frac{1}{3}W_m$. Отсюда $V_{\min} = V_0 \cdot \sqrt{2/3}$, $V_{\max} = 2V_0 / \sqrt{3}$, $\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \sqrt{2}$.

4. $-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = I \cdot 0$, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{nS_1}{L_1 + L_2} \frac{\Delta B}{\Delta t}$, $I = \frac{(B_0 - B)nS_1}{L_1 + L_2}$.

Здесь $I = I(t)$, $B = B(t)$.

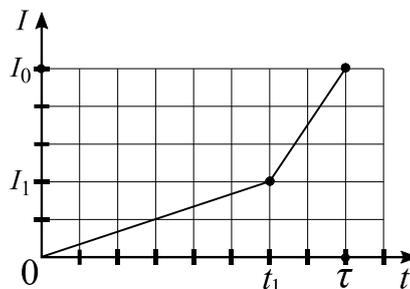
1) $I_0 = I(\tau) = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{1}{13} \frac{B_0 n S_1}{L}$. Получить ответ можно и из сохранения

суммы магнитных потоков.

2) Из условия $t_1 = 3\tau/4$, $B_1 = 3B_0/5$. Зависимость тока от времени

показана на рисунке. $I_1 = \frac{2}{65} \frac{B_0 n S_1}{L} = \frac{2}{5} I_0$, $q_1 = \frac{0 + I_1}{2} t_1 = \frac{3}{20} I_0 \tau = \frac{3}{260} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$,

$q_2 = \frac{I_1 + I_0}{2} (\tau - t_1) = \frac{7}{40} I_0 \tau = \frac{7}{520} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$. $q = q_1 + q_2 = \frac{13}{40} I_0 \tau = \frac{1}{40} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$.



5. 1) Если изображение S_1 от S в линзе попадает в центр шара (см. рис.), то лучи в шаре идут вдоль радиуса шара при любом показателе преломления, падают на зеркало и отражаются строго в обратном направлении. В результате изображение в системе попадает в S . $\frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} = \frac{1}{F}$. Так как $a = 4,5R$,

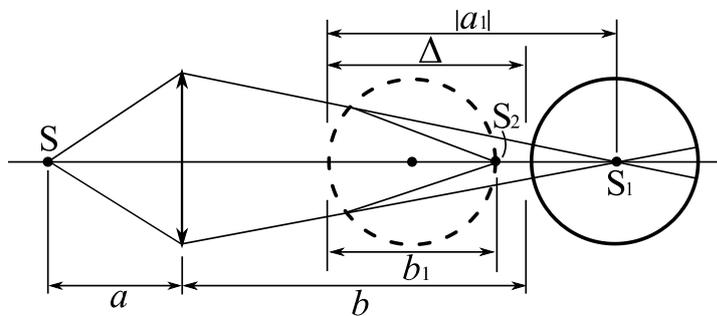
$b = 8R$, то $F = 3R$.

2) После перемещения шара S_1 служит мнимым источником для левой сферической поверхности шара, изображение в которой S_2 . Если S_2 попадает на сферическое зеркало, то отраженные от зеркала лучи идут симметрично (относительно оптической оси) падающим. Это приводит к тому, что изображение в системе попадает в S . По формуле преломления на сферической поверхности

$\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = (n-1) \frac{1}{R}$. Имеем $|a_1| = \Delta + R = 4R$.

$a_1 = -4R < 0$, $b_1 = 2R$. Тогда $n = 1,5$.

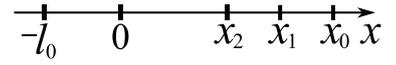
Замечание. Вместо готовой формулы преломления на сферической поверхности можно для луча, идущего под малым углом к оптической оси, применить закон преломления.



Олимпиада «Физтех». 2025 г. Физика. Решения. Вариант 11-05

1. Пусть x - деформация пружины, равная координате ее левого конца. $x_0 = 11l_0/4$. $x_1 = 5l_0/2$ и x_2 - максимальные сжатия пружины после первого и второго ударов.

1) По ЗСЭ $\frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mV_0^2$. $V_0 = x_0\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{11}{4}l_0\sqrt{\frac{k}{m}}$.



2) Обозначим кинетические энергии непосредственно перед первым

ударом через W_1 , а сразу после первого и второго ударов через W_2 и W_3 . По ЗСЭ $\frac{1}{2}kx_0^2 = W_1 + \frac{1}{2}kl_0^2$,

$\frac{1}{2}kx_1^2 = W_2 + \frac{1}{2}kl_0^2$, $\frac{1}{2}kx_2^2 = W_3 + \frac{1}{2}kl_0^2$. По условию $\frac{W_2}{W_1} = \frac{W_3}{W_2}$. С учетом выражений для x_0 и x_1 получаем

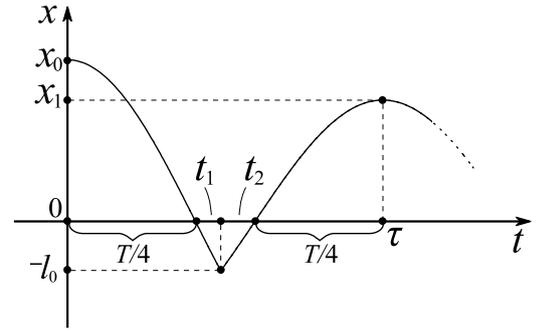
$$x_2 = \sqrt{\frac{26}{5}}l_0.$$

3) На рисунке показана зависимость x от времени.

$$\tau = \frac{1}{4}T + t_1 + t_2 + \frac{1}{4}T. \quad T = 2\pi\sqrt{m/k}, \quad \omega = \sqrt{k/m}. \quad x_0 \sin \omega t_1 = l_0,$$

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{l_0}{x_0} = \sqrt{\frac{m}{k}} \arcsin \frac{4}{11}. \quad x_1 \sin \omega t_2 = l_0,$$

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{l_0}{x_1} = \sqrt{\frac{m}{k}} \arcsin \frac{2}{5}. \quad \tau = \sqrt{\frac{m}{k}} \left(\pi + \arcsin \frac{4}{11} + \arcsin \frac{2}{5} \right).$$



2. 1) Для любого процесса, где $P = \alpha V$ ($\alpha = const$), $\alpha V^2 = \nu RT$. Отсюда $2\alpha VdV = \nu RdT$.

$\nu C dT = \nu C_V dT + \alpha VdV$, $\nu C dT = \nu C_V dT + \frac{1}{2}\nu RdT$. $C = C_V + \frac{1}{2}R$. Итак, $C_{34} = C_{12} = C_V + \frac{1}{2}R$. Для 3-4

$$3R = C_V + \frac{1}{2}R, \quad C_V = \frac{5}{2}R. \quad C_{41} = C_P = C_V + R = \frac{7}{2}R.$$

2) $A = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = \nu 3R(T_2 - T_1) - Q + \nu 3R(T_4 - T_3) - Q = -2Q + \nu 3R(T_2 - T_3 + T_4 - T_1)$. Так как

$$Q = \nu C_V(T_2 - T_3) = \nu C_P(T_4 - T_1), \text{ то } A = -2Q + \nu 3R \left(\frac{Q}{\nu C_V} + \frac{Q}{\nu C_P} \right) = \frac{2}{35}Q.$$

3) $\eta = \frac{A}{Q_{12}}$, $Q_{12} = \nu 3R(T_2 - T_1)$. Найдем T_2 и T_1 . $\frac{T_4}{T_1} = \frac{5}{2}$ (1). $T_4 - T_1 = \frac{Q}{\nu C_P} = \frac{2}{7} \frac{Q}{\nu R}$ (2).

$T_2 - T_3 = \frac{Q}{\nu C_V} = \frac{2}{5} \frac{Q}{\nu R}$ (3). Из (1) и (2) $T_1 = \frac{4}{21} \frac{Q}{\nu R}$. Из уравнений $\frac{P_3}{P_1} = \frac{V_2}{V_4}$, $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1}$, $P_1 V_1 = \nu R T_1$,

$P_2 V_2 = \nu R T_2$, $P_3 V_2 = \nu R T_3$, $P_1 V_4 = \nu R T_4$ следует $\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3}$. Итак, $\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3} = \frac{5}{2}$ (4). Из (3) и (4) $T_2 = \frac{2}{3} \frac{Q}{\nu R}$.

Тогда $Q_{12} = \frac{10}{7}Q$, $\eta = \frac{1}{25}$.

3. 1) Из графика при $x = 0$ $E(0) = 2$ кВ/м. $U_0 = E(0)d = 24$ В.

2) $U_0 = E(d - x) + \frac{E}{\epsilon}x$. Отсюда $\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} = \frac{d - U_0/E}{x}$. Из графика при $x = 8$ мм $E = 4$ кВ/м. $\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} = \frac{3}{4}$. $\epsilon = 4$.

Допустимые пределы $3,6 < \epsilon < 4,4$.

4. 1) $\frac{dI}{dt} = \frac{I_1}{\tau}$.

2) Зависимость тока от времени показана на рисунке.

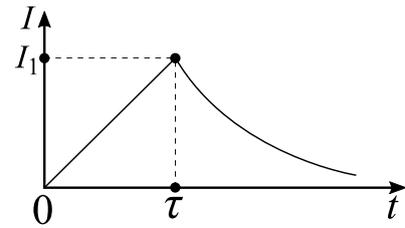
$-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR$ - в любой момент времени.

$-nS_1 \Delta B - L \Delta I = (I \Delta t) R$. $-nS_1 \Delta B - L \Delta I = R \Delta q$.

$-nS_1 \sum \Delta B - L \sum \Delta I = R \sum \Delta q$. За время от начала выключения поля до нулевого тока

$-nS_1(0 - B_0) - L(0 - 0) = Rq$. $q = \frac{nB_0 S_1}{R}$. Заметим, что этот ответ можно записать сразу,

воспользовавшись законом электромагнитной индукции в форме Фарадея.



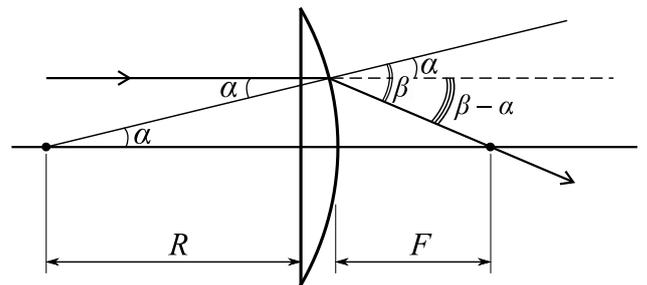
3) При $0 < t < \tau$ $-nS_1(0 - B_0) - L(I_1 - 0) = Rq_1$, $q_1 = \frac{1}{2} I_1 \tau$. Отсюда $L = \frac{nB_0 S_1}{I_1} - \frac{1}{2} R \tau$.

5) 1) Удобно пустить луч, параллельный главной оптической оси, на плоскую поверхность линзы. $n \sin \alpha = 1 \cdot \sin \beta$. Так как углы малы, то $n\alpha = \beta$,

$R\alpha = F(\beta - \alpha)$. Отсюда $\frac{1}{F} = (n-1) \frac{1}{R}$.

2) $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b} = (n-1) \frac{1}{R_0 + kU_1}$, $\frac{1}{a_2} + \frac{1}{b} = (n-1) \frac{1}{R_0 + kU_2}$.

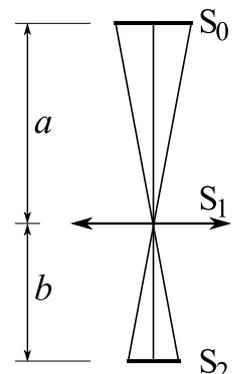
Удобно подставить числа и решать систему уравнений. $R_0 = 1,4$ см.



3) Пусть W_0 - мощность источника, S_0 - его площадь в поперечном сечении, S_1 - площадь линзы, S_2 - площадь изображения, a и b - расстояния от источника и изображения до линзы. Падающая на линзу мощность $W = \frac{W_0}{4\pi a^2} S_1$. Площадь

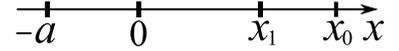
изображения $S_2 = S_0 \left(\frac{b}{a}\right)^2$. Освещенность изображения $E = \frac{W}{S_2} = \frac{W_0}{4\pi b^2} \frac{S_1}{S_0}$ - не

зависит от a ! Поэтому $E_1 / E_2 = 1$.



Олимпиада «Физтех». 2025 г. Физика. Решения. Вариант 11-06

1. Пусть x - деформация пружины, равная координате ее левого конца. x_0 и x_1 - первое и второе максимальные сжатия. $V_1 = 23V_0/9$, $V_2 = 7V_0/3$. Пусть a - расстояние от бруска до уступа.



1) По ЗСЭ $\frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mV_1^2$. $x_0 = \frac{23}{9}\sqrt{\frac{m}{k}}V_0$.

2) Обозначим кинетические энергии непосредственно перед первым ударом через W_1 , а сразу после первого и второго ударов через W_2 и W_3 . По ЗСЭ $\frac{1}{2}mV_1^2 = W_1 + \frac{1}{2}ka^2$, $\frac{1}{2}mV_2^2 = W_2 + \frac{1}{2}ka^2$,

$\frac{1}{2}mV_3^2 = W_3 + \frac{1}{2}ka^2$. По условию $\frac{W_2}{W_1} = \frac{W_3}{W_2}$, $\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}ka^2$. С учетом выражений для V_1 и V_2 получаем

$$V_3 = \sqrt{\frac{32}{7}}V_0.$$

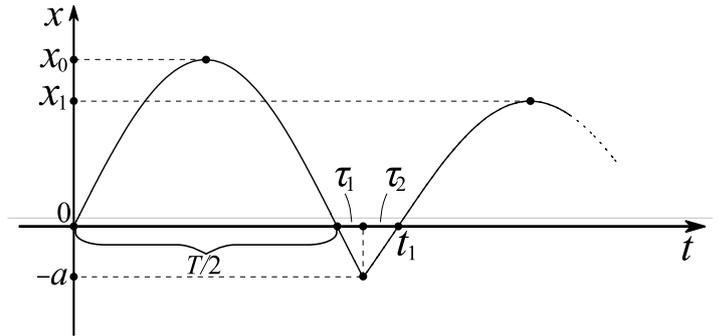
3) На рисунке показана зависимость x от времени.

$$t_1 = \frac{1}{2}T + \tau_1 + \tau_2. \quad T = 2\pi\sqrt{m/k}, \quad \omega = \sqrt{k/m}.$$

$$a = x_0 \sin \omega\tau_1, \quad \tau_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{a}{x_0} = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{9}{23}.$$

$$a = x_1 \sin \omega\tau_2, \quad \tau_2 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{a}{x_1}. \quad \text{Найдем } x_1 \text{ из ЗСЭ:}$$

$$\frac{1}{2}mV_2^2 = \frac{1}{2}kx_1^2. \quad \text{Тогда } \tau_2 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{3}{7}. \quad t_1 = \sqrt{\frac{m}{k}} \left(\pi + \arcsin \frac{9}{23} + \arcsin \frac{3}{7} \right).$$



2. 1) Для любого процесса, где $P = \alpha V$ ($\alpha = const$), $\alpha V^2 = \nu RT$. Отсюда $2\alpha VdV = \nu RdT$.

$$\nu C dT = \nu C_V dT + \alpha VdV, \quad \nu C dT = \nu C_V dT + \frac{1}{2}\nu R dT. \quad C = C_V + \frac{1}{2}R. \quad \text{Итак, } C_{34} = C_{12} = C_V + \frac{1}{2}R. \quad \text{Для 1-2}$$

$$\frac{7}{2}R = C_V + \frac{1}{2}R, \quad C_V = 3R. \quad C_P = C_V + R = 4R. \quad C_{23} = C_V = 3R.$$

2) $A = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = \nu \frac{7}{2}R(T_2 - T_1) - Q + \nu \frac{7}{2}R(T_4 - T_3) - Q = -2Q + \nu \frac{7}{2}R(T_2 - T_3 + T_4 - T_1)$. Так как

$$Q = \nu C_V(T_2 - T_3) = \nu C_P(T_4 - T_1), \quad \text{то } A = -2Q + \nu \frac{7}{2}R \left(\frac{Q}{\nu C_V} + \frac{Q}{\nu C_P} \right) = \frac{1}{24}Q.$$

3) $\eta = \frac{A}{Q_{12}}$, $Q_{12} = \nu \frac{7}{2}R(T_2 - T_1)$. Найдем T_2 и T_1 . $\frac{T_2}{T_3} = \frac{12}{5}$ (1). $T_4 - T_1 = \frac{Q}{\nu C_P} = \frac{1}{4} \frac{Q}{\nu R}$ (2).

$$T_2 - T_3 = \frac{Q}{\nu C_V} = \frac{1}{3} \frac{Q}{\nu R} \quad (3). \quad \text{Из (1) и (3)} \quad T_2 = \frac{4}{7} \frac{Q}{\nu R}. \quad \text{Из уравнений } \frac{P_3}{P_1} = \frac{V_2}{V_4}, \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1}, \quad P_1 V_1 = \nu R T_1,$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2, \quad P_3 V_2 = \nu R T_3, \quad P_1 V_4 = \nu R T_4 \quad \text{следует } \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3}. \quad \text{Итак, } \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3} = \frac{12}{5} \quad (4). \quad \text{Из (2) и (4)} \quad T_1 = \frac{5}{28} \frac{Q}{\nu R}.$$

$$\text{Тогда } Q_{12} = \frac{11}{8}Q, \quad \eta = \frac{1}{33}.$$

3. 1) Из графика при $x = 0$ $E(0) = 5$ кВ/м. $U_0 = E(0)d = 45$ В.

2) $U_0 = E(d - x) + \frac{E}{\epsilon}x$. Отсюда $\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} = \frac{d - U_0/E}{x}$. Из графика при $x = 6$ мм $E = 9$ кВ/м. $\frac{\epsilon - 1}{\epsilon} = \frac{2}{3}$. $\epsilon = 3$.

Допустимые пределы $2,7 < \epsilon < 3,3$.

4. 1) $\frac{dI}{dt} = \frac{I_1}{\tau}$.

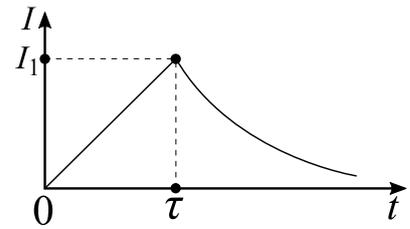
2) Зависимость тока от времени показана на рисунке.

$-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR$ - в любой момент времени.

$-nS_1 \Delta B - L \Delta I = (I \Delta t) R$. $-nS_1 \Delta B - L \Delta I = R \Delta q$.

$-nS_1 \sum \Delta B - L \sum \Delta I = R \sum \Delta q$. От момента, когда ток I_1 , до нулевого тока $0 - L(0 - I_1) = Rq$. $q = \frac{LI_1}{R}$.

Заметим, что этот ответ можно записать сразу, воспользовавшись законом электромагнитной индукции в форме Фарадея.

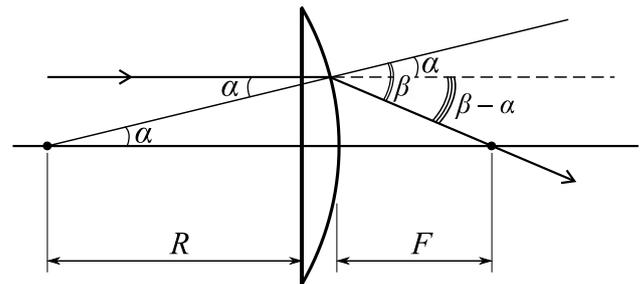


3) При $0 < t < \tau$ $-nS_1(0 - B_1) - L(I_1 - 0) = Rq_1$, $q_1 = \frac{1}{2} I_1 \tau$. Отсюда $B_1 = \frac{(L + R\tau/2) I_1}{nS_1}$.

5) 1) Удобно пустить луч, параллельный главной оптической оси, на плоскую поверхность линзы.

$n \sin \alpha = 1 \cdot \sin \beta$. Так как углы малы, то $n\alpha = \beta$,

$R\alpha = F(\beta - \alpha)$. Отсюда $\frac{1}{F} = (n-1) \frac{1}{R}$.



2) $\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b} = (n-1) \frac{1}{R_0 + kU_1}$, $\frac{1}{a_2} + \frac{1}{b} = (n-1) \frac{1}{R_0 + kU_2}$,

$\Gamma_1 = \frac{b}{a_1}$, $\Gamma_2 = \frac{b}{a_2}$. Исключая из системы уравнений a_1 и a_2 , получим $\frac{1}{b}(\Gamma_1 + 1) = \frac{n-1}{R_0 + kU_1}$,

$\frac{1}{b}(\Gamma_2 + 1) = \frac{n-1}{R_0 + kU_2}$.

Удобно подставить числа и решать последнюю систему уравнений. $\frac{U_2}{U_1} = 4$.

3) Пусть W_0 - мощность источника, S_0 - его площадь в поперечном сечении, S_1 - площадь линзы, S_2 - площадь изображения, a и b - расстояния от источника и изображения до линзы. Падающая на линзу мощность $W = \frac{W_0}{4\pi a^2} S_1$. Площадь

изображения $S_2 = S_0 \left(\frac{b}{a}\right)^2$. Освещенность изображения $E = \frac{W}{S_2} = \frac{W_0}{4\pi b^2} \frac{S_1}{S_0}$ - не

зависит от a ! Поэтому $E_1 / E_2 = 1$.

