МКТ. ЗАДАЧИ

На диаграмме (см. рисунок) показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Опираясь на свои знания по молекулярной физике, объясните, как меняется температура газа по мере его перехода из состояния 1 в состояние 2.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| 1. Температура газа будет постоянно повышаться.     1. Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, давление идеального газа обратно пропорционально его объему и прямо пропорционально температуре: , где ν —количество вещества (газа). На рисунке пунктирными линиями проведены изотермы идеального газа, проходящие через точки 1, 2 и точку перелома исходной диаграммы. Чем дальше от начала координат р и V проходит изотерма, тем более высокой температуре она соответствует. Так что Т1 < Т2 < Т3. 2. По мере перемещения вправо вдоль диаграммы точки, показывающей состояние газа, эта точка перемещается к изотермам со всё более высокой температурой. Следовательно, в данном процессе температура газа монотонно возрастает. |

На *VТ*-диаграмме показано, как изменялись объём и температура некоторого постоянного количества разреженного газа при его переходе из начального состояния 1 в состояние 4. Как изменялось давление газа *р* на каждом из трёх участков 1–2, 2–3, 3–4: увеличивалось, уменьшалось или же оставалось неизменным? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали для объяснения.

1

2

*V*

*Т*

0

3

4

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| 1) Давление газа на участке 1–2 увеличивалось, на участке 2–3 не изменялось, на участке 3–4 увеличивалось.  2) На участке 1–2 процесс изотермический. По закону Бойля – Мариотта (*pV = const*) при уменьшении объёма давление увеличивается. На участке 2–3 процесс изобарный; значит, давление остаётся неизменным. На участке 3–4 процесс изохорный. По закону Шарля () при увеличении температуры давление увеличивается. |

В сосуде под поршнем находится воздух при влажности 100% и немного воды. Поршень медленно поднимают, увеличивая занимаемый воздухом объем и поддерживая его температуру постоянной. Опираясь на свои знания по молекулярной физике, объясните, как с течением времени будет изменяться влажность воздуха в сосуде.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| 1. Влажность воздуха будет оставаться равной 100% до того момента, когда вся вода испариться. По мере дальнейшего увеличения объема воздуха его влажность будет снижаться. 2. Влажность воздуха определяется отношением концентрации молекул воды в воздухе к концентрации молекул насыщенного водяного пара при той же температуре: ϕ = . 3. Концентрация молекул воды в паре над жидкостью определяется скоростью испарения жидкости и скоростью конденсации пара. При динамическом равновесии обе эти скорости равны, водяной пар в воздухе является насыщенным, а влажность воздуха равна 100%. 4. Если объем, занимаемый воздухом и паром, повысить, концентрация молекул воды в паре снизится. Поскольку скорость конденсации пара зависит от концентрации его молекул, то эта скорость тоже уменьшится, станет меньше скорости испарения жидкости при данной температуре. Испарение станет преобладать, и концентрация молекул воды в паре станет увеличиваться до тех пор, пока пар не станет насыщенным при новом значении его объема. 5. Медленное увеличение объема воздуха (и пара) при проведении опыта приводит к тому, что в этом процессе динамическое равновесие между паром м жидкостью успевает восстанавливаться, то есть пар все время остается практически насыщенным. Соответственно, пока в сосуде есть жидкость, влажность воздуха остается равной 100%. Когда же жидкости не останется, вызванное увеличением объема пара дальнейшее снижение концентрации молекул воды в паре не будет компенсироваться испарением. Поэтому влажность воздуха начнет уменьшаться по мере увеличения его объема. |

В цилиндре, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ. На рисунке показана диаграмма, иллюстрирующая изменение внутренней энергии *U* газа и передаваемое ему количество теплоты *Q*. Опишите изменение объема газа при его переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Свой ответ обоснуйте, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения.



|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| 1) В процессе 1 → 2 газ получает некоторое количество теплоты, но его внутренняя энергия не меняется. Следовательно, согласно первому началу термодинамики, газ отдает получаемую энергию, совершая работу, т.е. в данном процессе его объем увеличивается.  2) В процессе 2 → 3 теплообмена газа с внешней средой нет, но его внутренняя энергия уменьшается. Следовательно, и этот процесс связан с расширением газа, поскольку он совершает работу.  3) Ответ: переход газа из состояния 1 в состояние 3 все время сопровождается увеличением его объема. |

Герметично закрытый сосуд с жесткими стенками разделен на две равные части пористой перегородкой. Сквозь перегородку могут проходить молекулы водорода, а молекулы азота проходить не могут. В начале опыта в левой части сосуда находился водород, а в правой — азот (см. рисунок); температура и давление этих газов были одинаковы. Опираясь на свои знания по молекулярной физике, объясните, как с течением времени будет изменяться давление в левой и правой частях сосуда. Считайте, что газы идеальные, температура не меняется.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| 1. В левой части сосуда давление будет постепенно снижаться и стабилизируется на уровне половины первоначального давления водорода. В правой части сосуда давление будет повышаться до значения, равного 3/2 первоначального. 2. Вследствие хаотичности теплового движения молекулы водорода будут залетать в правую часть сосуда, перемешиваясь с молекулами азота. В результате концентрация молекул газов в правой части сосуда будет увеличиваться, а в левой — уменьшаться. Это процесс будет происходить до тех пор, пока половина молекул водорода не перейдет в правую часть сосуда. В этот момент времени концентрация молекул водорода в обеих частях сосуда сравняется, и наступит динамическое равновесие: число молекул водорода, проникших в правую часть сосуда, будет практически равняться числу молекул водорода «вернувшихся» за этот промежуток времени обратно. 3. Давление идеального газа при неизменной температуре пропорционально концентрации молекул: p = nkT. В начале опыта и давление р0 , и температура газов были одинаковы; следовательно, были одинаковы и концентрации n0 молекул газов. Поскольку с течением времени концентрация молекул в левой части сосуда снижается до половины первоначального значения, то и давление водорода в этой части сосуда снизится до значения р0. В правой же части сосуда концентрация смеси молекул будет постепенно возрастать до ; соответственно и давление увеличится в полтора раза. |

В опыте, иллюстрирующем зависимость температуры кипения от давления воздуха (рис. ***а***), кипение воды под колоколом воздушного насоса происходит уже при комнатной температуре, если давление достаточно мало.

Используя график зависимости давления *насыщенного пара* от температуры (рис. ***б***), укажите, какое давление воздуха нужно создать под колоколом насоса, чтобы вода закипела при 40 °С. Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения.

|  |  |
| --- | --- |
| С1(1208)_рис-а  **(*а*)** | 401_С1  **(*б*)** |

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| 1. Кипением называется парообразование, которое происходит не только с поверхности жидкости, граничащей с воздухом, но и с поверхности пузырьков насыщенного пара, образующихся в толще жидкости, что резко увеличивает количество испарившейся жидкости. Всплывающие пузырьки вызывают интенсивное перемешивание жидкости.  2. Образование пузырьков пара в жидкости возможно только в том случае, когда давление этого пара *p* равно давлению столба жидкости: . В сосуде , поэтому условие возникновения кипения . Следовательно, чтобы вода закипела при 40 °С, в соответствии с графиком давление воздуха под колоколом необходимо снизить до 70 гПа. |

Три одинаковых сосуда, содержащих разреженный газ, соединены друг   
с другом трубками малого диаметра: первый сосуд – со вторым, второй –   
с третьим. Первоначально давление газа в сосудах было равно соответственно *р*, 3*р* и *р*. В ходе опыта сначала открыли и закрыли кран, соединяющий второй и третий сосуды, а затем открыли и закрыли кран, соединяющий первый сосуд со вторым. Как изменилось в итоге (уменьшилось, увеличилось или осталось неизменным) количество газа   
в первом сосуде? (Температура газа оставалась в течение всего опыта неизменной.)

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| 1. В итоге количество газа в первом сосуде увеличилось  2. В соответствии с законами Дальтона и Бойля−Мариотта (применёнными  к парциальным давлениям газов во втором и третьем сосудах), суммарное давление этих газов после закрывания второго крана равно 3*р*/2 + *р*/2 = 2*р*.  3. Аналогично этому давление в первом и втором сосудах после закрывания первого крана равно *р*/2 + 2*р*/2 = 1,5*р*. Это означает, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, что количество газа в первом сосуде в итоге увеличилось. |

|  |
| --- |
| *p*  0 *V*0 6*V*0 *V* |

В цилиндре под поршнем при комнатной температуре *t*0 долгое время находится только вода и её пар. Масса жидкости в два раза больше массы пара. Первоначальное состояние системы показано точкой на  
*pV*-диаграмме. Медленно перемещая поршень, объём *V* под поршнем изотермически увеличивают от *V*0 до 6*V*0.

Постройте график зависимости давления *p* в цилиндре от объёма *V* на отрезке от *V*0 до 6*V*0. Укажите, какими закономерностями Вы при этом воспользовались.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| |  | | --- | | *p*  0 *V*0 6*V*0 *V* |   1. На участке от *V*0 до 3*V*0 давление под поршнем постоянно (давление насыщенного пара на изотерме). На участке от 3*V*0 до 6*V*0 давление под поршнем подчиняется закону Бойля–Мариотта.  На участке от *V*0 до 3*V*0 график *p*(*V*) – горизонтальный отрезок прямой, на участке от 3*V*0 до 6*V*0 – фрагмент гиперболы (для экспертов: отсутствие названий не снижает оценку, названия помогают оценке графика, сделанного от руки).  2. В начальном состоянии над водой находится насыщенный водяной пар, так как за длительное время в системе установилось термодинамическое равновесие.  3. Пока в цилиндре остается вода, при медленном изотермическом расширении пар остается насыщенным. Поэтому график *p*(*V*) будет графиком константы, т. е. отрезком горизонтальной прямой. Количество воды в цилиндре при этом убывает. При комнатной температуре концентрация молекул воды в насыщенном паре ничтожна по сравнению с концентрацией молекул воды в жидком агрегатном состоянии. Масса воды в два раза больше массы пара. Поэтому, во-первых, в начальном состоянии насыщенный пар занимает объём, практически равный *V*0. Во-вторых, чтобы вся вода испарилась, нужно объём под поршнем увеличить ещё на 2*V*0. Таким образом, горизонтальный отрезок описывает зависимость *p*(*V*) на участке от *V*0 до 3*V*0.  4. При *V* > 3*V*0 под поршнем уже нет жидкости, все молекулы воды образуют уже ненасыщенный водяной пар, который можно на изотерме описывать законом Бойля–Мариотта: *pV* = const, т. е. *p* ~ 1/*V*. Графиком этой зависимости служит гипербола. Таким образом, на участке от 3*V*0 до 6*V*0 зависимость *p*(*V*) изображается фрагментом гиперболы. |

На рисунке представлен график изменения температуры вещества в калориметре с течением времени. Теплоемкостью калориметра и тепловыми потерями можно пренебречь и считать, что подводимая к сосуду мощность постоянна. Рассчитайте удельную теплоемкость вещества в жидком состоянии. Удельная теплота плавления вещества равна 100 кДж/кг. В начальный момент времени вещество находилось в твердом состоянии.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения (рисунок не обязателен) |
| На временном интервале от 1 до 3 мин. температура вещества остается постоянной, хотя к телу подводится теплота, что свидетельствует о плавлении вещества в течение этого времени. За это время (τ1 = 2 мин.) вещество в калориметре получит от нагревателя количество теплоты Q1 = Pτ1 (P– мощность нагревателя), равное теплоте плавления Q1 = mλ  В течение минуты после окончания плавления (τ2 = 1 мин) температура возрастает на ΔT = 40°, поскольку вещество получает Q2 = Pτ2 теплоты от нагревателя, а изменение температуры пропорционально количеству полученной теплоты Q1 = mc⋅ΔT.  Уравнения теплового баланса на участке плавления и на участке нагревания образуют систему: , решение которой определяет удельную теплоемкость жидкости: .  Ответ: с = 1,25 кДж/(кг·К). |

В калориметре находился 1 кг льда. Какой была первоначальная температура льда, если после добавления в калориметр 15 г воды, имеющей температуру 20°С, в калориметре установилось тепловое равновесие при −2°С? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| Количество теплоты, необходимое для нагревания льда, находящегося в калориметре, до температуры *t*:  (1)  Количество теплоты, отдаваемое водой при охлаждении ее до 0°С:  (2)  Количество теплоты, выделяющееся при отвердевании воды при 0°С:  (3)  Количество теплоты, выделяющееся при охлаждении льда, полученного из воды, до температуры *t*:  (4)  Уравнение теплового баланса: . (5)  Объединяя (1) – (5), получаем:  . |

В теплоизолированном сосуде длительное время находилась вода с плавающим в ней куском льда. В воду через трубку медленно впустили порцию водяного пара, имеющего температуру 100 0С (так, чтобы пузырьки пара не достигали поверхности воды). В результате масса куска льда уменьшилась на 100 грамм. Определите массу впущенного пара.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения (рисунок не обязателен) |
| Длительность нахождения куска льда в воде означает, что и лёд, и вода имеют температуру 0 0С. Тот факт, что к концу опыта лед растаял не весь, свидетельствует, что равновесная температура воды и льда тоже равна 0 0С.  Впускаемый в воду пар массой mп конденсируется, отдавая количество теплоты Q1 = λmп (здесь λ — удельная теплота парообразования воды). Далее конденсировавшаяся вода той же массы остывает от t0 = 100 0С до 0 0С, отдавая количество теплоты Q2 = c mпt0, где с — удельная теплоемкость воды. Так что в сумме пар и образовавшаяся из него вода отдали количество теплоты  Q = λmп + c mпt0.  Поскольку сосуд теплоизолированный, а температура воды не изменилась, то это количество теплоты пошло на таяние mл кг льда при температуре его плавления, так что Q = Lmл, где L — удельная теплота плавления льда.  Следовательно, λmп + c mпt0 = Lmл., и mп =  = 12⋅10 – 3 кг  Ответ: mп = 12 г |

Какую массу воды можно нагреть до кипения при сжигании в костре  
1,8 кг сухих дров, если в окружающую среду рассеивается 95% тепла от их сжигания? Начальная температура воды10 оС, удельная теплота сгорания сухих дров λ = 8,3 ⋅ 106 Дж/кг.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Количество теплоты, выделяющееся при сжигании дров:  *Q* = λ*m*. (1)  На нагрев воды расходуется количество теплоты  *Q*п = (1 − η)*Q*, (2)  где η − относительная доля количества теплоты *Q*, рассеянная в окружающую среду.  Количество теплоты, необходимое для нагревания воды до кипения:  *Q*п = *cM*(*t*к – *t*0). (3)  Объединяя соотношения (1) – (3), получим  .  Ответ: *M* ≈ 2 кг. |

Необходимо расплавить лёд массой 0,2 кг, имеющий температуру 0 ºС. Выполнима ли эта задача, если потребляемая мощность нагревательного элемента 400 Вт, тепловые потери составляют 30%, а время работы нагревателя не должно превышать 5 минут?

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| Согласно первому началу термодинамики, количество теплоты, необходимое для плавления льда, Δ*Q*1 = λ*m*, где λ – удельная теплота плавления льда. С другой стороны, Δ*Q*2 – подведённое джоулево тепло: Δ*Q*2 = η*Pt*. В соответствии с заданными условиями Δ*Q*1 = 66 кДж и Δ*Q*2 = 84 кДж, а значит, Δ*Q*1 < Δ*Q*2 и поставленная задача выполнима. |

Относительная влажность воздуха при *t* = 36 oC составляет 80%. Давление насыщенного пара при этой температуре *p*н = 5945 Па. Какая масса пара содержится в 1 м3 этого воздуха?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Пар в воздухе подчиняется уравнению Клапейрона–Менделеева  ,  где *m* – масса пара, *p* – парциальное давление, *T* = *t* + 273 – абсолютная температура воздуха, а  – молярная масса пара.  Учитывая, что относительная влажность , подставим в уравнение  и вычислим массу пара:    Подставляя сюда значения физических величин, найдём  .  Ответ: . |

Теплоизолированный сосуд объемом V = 2 м3 разделен теплоизолирующей перегородкой на две равные части. В одной части сосуда находится 2 моль He, а в другой – такое же количество моль Ar. Температура гелия Т1 = 300 К, а температура аргона Т2 = 600 К. Определите парциальное давление аргона в сосуде после удаления перегородки.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| До удаления перегородки суммарная внутренняя энергия газов U1 =  = , где  – число молей и аргона, и гелия.  После удаления перегородки температура газов станет одинаковой и равной некоему значению Т. Тогда внутренняя энергия смеси газов U2 =  = . Поскольку сосуд теплоизолированный, выполняется закон сохранения энергии: U1 = U2,  = ;  отсюда: Т = .  Парциальное давление аргона определяется на основе закона Дальтона из уравнения Клапейрона-Менделеева:  = . Отсюда:  = 3735 Па.  Ответ: рAr = 3735 Па. |

Теплоизолированный цилиндр разделён подвижным теплопроводящим поршнем на две части. В одной части цилиндра находится гелий, а в другой – аргон. В начальный момент температура гелия равна 300 К, а аргона – 900 К, объёмы, занимаемые газами, одинаковы, а поршень находится в равновесии. Во сколько раз изменится объём, занимаемый гелием, после установления теплового равновесия, если поршень перемещается без трения? Теплоёмкостью цилиндра и поршня пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Гелий и аргон можно описывать моделью идеального одноатомного газа, для которого применимо уравнение Клапейрона–Менделеева .  Поршень в цилиндре находится в состоянии механического равновесия, так что давление газов в любой момент одинаково. В начальный момент объёмы газов одинаковы и равны *V*, и уравнение Клапейрона–Менделеева приводит к связи между начальными температурами гелия и аргона *Т*1 и *Т*2 и числом молей этих газов ν1 и ν2: .  После установления теплового равновесия температура газов равна *Т*, а объёмы гелия и аргона изменились и стали равны *V*1 и *V*2 соответственно. Уравнения Клапейрона–Менделеева в этот момент приводят к соотношению . Поскольку суммарный объём цилиндра остался неизменным: , получаем, что . Учитывая, что , получим . |

На рисунке изображено изменение состояния 1 моль идеального одноатомного газа. Начальная температура газа 27°С. Какое количество теплоты сообщено газу в этом процессе?



|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| В состоянии 1: *pV*0 = *RT*1, в состоянии 2: *p*3*V*0 = *RT*2. Отсюда *Т*2 = 3 *Т*1.  Количество теплоты, получаемое системой в изобарном процессе:  *Q*12 = *U*12 + *A*12 = *R**T* + *p**V* = *R*(*T*2 – *T*1) = 5*RT*1  12,5 кДж.  Ответ: *Q*12  12,5 кДж. |

9.

1 моль идеального одноатомного газа сначала охладили, а затем нагрели до первоначальной температуры 300 К, увеличив объем газа в 3 раза (см. рисунок). Какое количество теплоты отдал газ на участке 1 − 2?



**Ответ**:

|  |
| --- |
| **Образец возможного решения (рисунок не обязателен)** |
| Первый закон термодинамики ΔU = Q + Aвн.с.. Учитывая, что на участке 1 − 2 : А12 = 0, получим Q12 = − ΔU12.  Формула расчета изменения внутренней энергии: ΔU12 = νR(Т2 − Т1).  Применив закон Гей-Люссака для состояний 2 и 3:  =  и получим соотношение Т2 = .  Проведя преобразования, получим формулу расчета количествa теплоты и числовое значение: Q12 = νRТ1. Q12 = 2,5 кДж. |

Идеальный одноатомный газ расширяется сначала адиабатно, а затем изобарно. Конечная температура газа равна начальной (см. рисунок). За весь процесс 1 − 2 − 3 газом совершена работа, равная 5 кДж. Какую работу совершил газ при изобарном расширении?



|  |  |
| --- | --- |
| **Содержание верного решения задачи и указания по оцениванию**  (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла) | **Баллы** |
| Элементы ответа:  1) Записаны формулы расчета работы: А23 = νR(Т3 – Т2),  А123 = А12 + А23.  2) Применен первый закон термодинамики для адиабатного процесса, использована формула расчета изменения внутренней энергии, учтено равенство температур Т1 = Т3 и получена формула расчета А12:  А12  = − ΔU12, ΔU12 =  νR(Т2 – Т1). А12  =  νR(Т3– Т2).  3) Проведены преобразования, получена формула расчета работы газа при изобарном расширении и рассчитано числовое значение: (Т3– Т2) =  , А23 =  А123,  А23 = 2 кДж. |  |

Один моль одноатомного идеального газа переводят из состояния 1   
в состояние 2 таким образом, что в ходе процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объёму. В результате плотность газа уменьшается в α = 2 раза. Газ в ходе процесса получает количество теплоты *Q* = 20 кДж. Какова температура газа в состоянии 1?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| |  | | --- | |  |   1. Изобразим процесс на *pV*-диаграмме и обозначим давления и объёмы газа в состояниях 1 и 2 через (*p*1, *V*1) и (*p*2, *V*2) соответственно. Температуру газа в состоянии 1 обозначим через *T*1, а  в состоянии 2 – через *T*2.  2. Из первого закона термодинамики следует, что полученное газом количество теплоты идёт на увеличение внутренней энергии газа и на совершение им работы: .  3. Используем термодинамическую модель одноатомного идеального газа:  Изменение его внутренней энергии равно .  4. Совершённая газом работа численно равна площади трапеции под графиком процесса на *pV*-диаграмме, т. е. разности площадей треугольников: .  5. С учётом этого получаем . Из графика процесса следует, что . Поэтому  и выражение для количества теплоты приобретает вид  .  6. Заметим, что искомое отношение плотностей газа массой *m*  в состояниях 1 и 2 равно .  Поэтому , откуда .  Подставляя в полученную формулу числовые данные, находим .  Ответ:  ≈ 400 К. |

С одноатомным идеальном газом неизменной массы происходит циклический процесс, показанный на рисунке. За цикл газ совершает работу *A*ц = 5 кДж. Какое количество теплоты газ получает за цикл от нагревателя?



|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| За цикл количество теплоты, полученное от нагревателя:  *Q*н = *Q*12 + *Q*31 = (*U*2 – *U*3) + *A*12 = (*νRT*2 – *νRT*3) + 2*p*0 2*V*0 =  = (2*p*0 3*V*0 – *p*0*V*0) + 4*p*0*V*0 = *p*0*V*0.  Работа газа за цикл *A*ц =  = *p*0*V*0.  Отсюда *Q*н = Aц = 57,5 кДж.  Ответ: *Q*н = 57,5 кДж. |

С разреженным азотом, который находится в сосуде с поршнем, провели два опыта. В первом опыте газу сообщили, закрепив поршень, количество теплоты *Q*1 = 742 Дж, в результате чего его температура изменилась на некоторую величину Δ*Т*. Во втором опыте, предоставив азоту возможность изобарно расширяться, сообщили ему количество теплоты *Q*2 = 1039 Дж, в результате чего его температура изменилась также на Δ*Т*. Каким было изменение температуры Δ*Т* в опытах? Масса азота *m* = 1 кг.

**Ответ**:

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| Согласно первому началу термодинамики, *Q1 =* Δ*U,* (1)  *Q2 =* Δ*U + Α,* (2)  где Δ*U* – приращение внутренней энергии газа (одинаковое в двух опытах), *Α* − работа газа во втором опыте. Работа *Α* совершалась газом в ходе изобарного расширения, так что *Α = рΔV* , (3)  *(ΔV* – изменение объема газа).  С помощью уравнения Клапейрона – Менделеева эту работу можно выразить через приращение температуры газа: *р*Δ*V = R*Δ*T.*  (4)  Решая систему уравнений (1) – (4), будем иметь: .  Ответ: Δ*Т* ≈ 1К*.* |

Воздушный шар, оболочка которого имеет массу *М* = 145 кг и объем *V* = 230 м3, наполняется горячим воздухом при нормальном атмосферном давлении и температуре окружающего воздуха *t*0 = 0оС. Какую минимальную температуру *t* должен иметь воздух внутри оболочки, чтобы шар начал подниматься? Оболочка шара нерастяжима и имеет в нижней части небольшое отверстие.



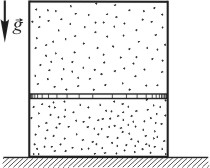
|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| Условие подъема шара: ,  где *М* – масса оболочки, *m* – масса воздуха внутри оболочки, отсюда  ,  где  – плотность окружающего воздуха,  – плотность воздуха внутри оболочки, *V* – объем шара.  Для воздуха внутри шара: , или , где *p* – атмосферное давление, *Т* – температура воздуха внутри шара. Соответственно, плотность воздуха снаружи: , где *T*0 – температура окружающего воздуха.  ⇒  ⇒ ,  К = 265°С. |

Сферическую оболочку воздушного шара делают из материала, квадратный метр которого имеет массу 1 кг. Шар наполняют гелием при атмосферном давлении 105 Па. Определите минимальную массу оболочки, при которой шар начнет поднимать сам себя. Температура гелия и окружающего воздуха одинакова и равна 0оС. (Площадь сферы *S* = 4π*r*2, объем шара *V* = π*r*3.)

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| II закон Ньютона в проекциях на вертикаль: .  Силы выражены через радиус *r*:  .  Получен радиус: , где *b* – отношение массы оболочки к ее площади.  Плотности гелия и воздуха вычисляются с использованием уравнения Клапейрона–Менделеева: ,  , .  Ответ для радиуса:  (м).  Масса оболочки .  Ответ:  кг. |

Воздушный шар объемом 2500 м3  и массой оболочки 400 кг имеет внизу отверстие, через которое воздух в шаре нагревается горелкой. До какой минимальной температуры нужно нагреть воздух в шаре, чтобы он взлетел вместе с грузом (корзиной и воздухоплавателем) массой 200 кг? Температура окружающего воздуха 70С, его плотность 1,2 кг/м3. Оболочку шара считать нерастяжимой.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения (рисунок не обязателен) |
| Шар поднимет груз при условии: (М + m)g + mшg = mаg, где M и m — масса оболочки шара и груза, mш и ma — масса воздуха в шаре и такого же по объему воздуха вне шара. Сокращая на g, имеем: M + m = ma – mш.  При нагревании воздуха в шаре его давление р и объем не меняются. Следовательно, согласно уравнению Клапейрона-Менделеева,  pV =  = , где μ — средняя молярная масса воздуха, Тш и Та — его температура внутри и вне шара. Отсюда: mш = ma = ρV;  ma – mш. = ρV(1 – ); M + m = ρV(1 – ). Следовательно,  (1 – ) =  =  = 0,2;  = 1 – 0,2 = 0,8;  Тш =  =  = 350 К.  Ответ: Тш = 770С. |

Вертикальный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделен подвижным поршнем весом 110 Н на две части, в каждой из которых содержится одинаковое количество идеального газа при температуре 361 К. Сколько молей газа находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня пренебречь.

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| Уравнения состояния для газа в верхней и нижней частях сосуда:  (1)  где  и  – объемы верхней и нижней частей.  Объемы: , , где *S* – сечение поршня, *Н* – высота сосуда, *h* – высота, на которой находится поршень.  Условие равновесия поршня: , (2)  т.к. *mg* = *P*, где *P –* вес поршня, *m* – его масса.  Подставляя выражения (1) в (2), получим для количества молей газа  0,022 моль. |

В горизонтальном цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится одноатомный идеальный газ. Давление окружающего воздуха *p* = 105 Па. Трение между поршнем и стенками сосуда пренебрежимо мало.   
В процессе медленного охлаждения от газа отведено количество теплоты  = 75 Дж. При этом поршень передвинулся на расстояние *x* = 10 см. Чему равна площадь поперечного сечения поршня?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| 1. При медленном охлаждении газа его можно всё время считать равновесным, поэтому можно пользоваться выражением для внутренней энергии одноатомного идеального газа  и уравнением Клапейрона–Менделеева .  Отсюда .  2. Поршень движется медленно, сил трения между поршнем и стенками сосуда нет, поэтому давление газа равно давлению окружающего воздуха (процесс изобарен).  3. Первое начало термодинамики для описания изобарного сжатия газа:  *A*внешн = Δ*U* + |*Q*|,  где *A*внешн = *pSx* – работа внешних сил,  – изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа при его изобарном сжатии,  |*Q*| – количество теплоты, отведённое от газа при его охлаждении.  Отсюда , , .  Ответ: *S* = 30 cм2. |

В горизонтальной трубке постоянного сечения, запаянной с одного конца, помещен столбик ртути длиной 15 см, который отделяет воздух в трубке от атмосферы. Трубку расположили вертикально запаянным концом вниз и нагрели на 60 К. При этом объем, занимаемый воздухом, не изменился. Давление атмосферы в лаборатории – 750 мм рт. ст. Какова температура воздуха в лаборатории?

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| Условие механического равновесия столбика ртути определяет давление воздуха в вертикальной трубке: , где  – давление атмосферы. Здесь  мм.  Поскольку нагревание воздуха в трубке происходит до температуры *Т* и первоначального объема, то по уравнению Клапейрона–Менделеева: , . Отсюда .  Ответ:  К. |

C3

В цилиндр объемом 0,5 м3 насосом закачивается воздух со скоростью 0,002 кг/с. В верхнем торце цилиндра есть отверстие, закрытое предохранительным клапаном. Клапан удерживается в закрытом состоянии стержнем, который может свободно поворачиваться вокруг оси в точке А (см. рисунок). К свободному концу стержня подвешен груз массой 2 кг. Клапан открывается через 580 с работы насоса, если в начальный момент времени давление воздуха в цилиндре было равно атмосферному. Площадь закрытого клапаном отверстия 5⋅10–4 м2, расстояние АВ равно 0,1 м. Температура воздуха в цилиндре и снаружи не меняется и равна 300 К. Определите длину стержня, если его считать невесомым.



|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| Клапан откроется, когда избыточная сила *F* давления воздуха на клапан изнутри цилиндра сравняется с силой давления стержня на этот клапан. Если превышение давления воздуха в цилиндре над атмосферным Δ*р*, а площадь клапана *s*, то *F* = *s*⋅Δ*p*. Сила действия стержня на клапан равна *m*g⋅, где *m*, *L* и  соответственно масса груза, длина стержня и длина его участка АВ. Итак, должно выполняться условие *s*⋅Δ*p* ≥ *m*g⋅.  Дополнительное давление воздуха определяется увеличением массы Δ*m*в воздуха в цилиндре. Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева, , где *М* — молярная масса воздуха. Поэтому условие открытия клапана имеет вид: ≥ *m*g⋅, или .  Если насос закачивает каждую секунду *w* кг воздуха, то массу Δ*m*в он закачает в цилиндр за время *t* = . Следовательно, клапан откроется в момент, когда выполнится равенство .  Ответ: *L* ≈ 0,5 м. |

7. В вакууме закреплен горизонтальный цилиндр. В цилиндре находится 0,1 моль гелия, запертого поршнем. Поршень массой 90 г удерживается упорами и может скользить влево вдоль стенок цилиндра без трения. В поршень попадает пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, и застревает в нем. Как изменится температура гелия в момент остановки поршня в крайнем левом положении? Считать, что за время движения поршня газ не успевает обменяться теплом с сосудом и поршнем.



**Ответ**:

|  |
| --- |
| Образец возможного решения |
| Закон сохранения импульса при неупругом соударении:  mv0 = (m + M)vп; Отсюда: vп=где m и М — соответственно масса пули и масса поршня, v0 — скорость пули, vп — скорость поршня после попадания пули.  Для расчета внутренней энергии одноатомного идеального газа:  U = νRT .  Поскольку газ сжимается адиабатно, механическая энергия поршня с пулей превратится во внутреннюю энергию гелия. Поэтому:  ΔU = νRΔT = .  Отсюда: ΔT = .  Ответ: ΔT ≈ 64 К. |