МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КЕМЕРОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кафедра физики

**Молекулярная физика и термодинамика**

Методические указания по физике для самостоятельной работы и контроля знаний студентов всех форм обучения

Кемерово 2015

*Составители:*

**Л.С. Каминская**, ст. преподаватель;

**О.Ю. Лапшакова**, канд. тех. наук, ст. преподаватель;

**О.С. Оболонская**, канд. тех. наук, ст. преподаватель;

**О.Т. Сташкова**, ст. преподаватель

*Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры физики*

*Протокол № 9 от 02.07.2015 г*

*Рассмотрено методической комиссией технологического факультета*

*Протокол\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

Представлены методические указания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов при изучении дисциплины «Общая физика», раздела «Молекулярная физика и термодинамика», контрольные задания, тестовые задания, рекомендуемая литература.

Методические указания предназначены для студентов технических вузов, могут использоваться учащимися старших классов и техникумов, а также преподавателями в учебном процессе.

**Предисловие**

Цель настоящих методических указаний – оказать помощь студентам инженерно-технических и технологических направлений пищевого профиля всех форм обучения в изучении молекулярной физики и термодинамики – раздела общей физики.

Учебно – методическое пособие предназначено для контроля знаний и самостоятельной работы студентов.

Учебный материал в пособии разделен на несколько разделов, в каждом из которых даны примеры решения типовых задач, задачи для самостоятельного решения, тестовые задания. Все задачи снабжены ответами, наиболее трудные – расчетными формулами и подробными пояснениями. Уделено внимание проблеме поиска и обоснованию способа решения разнообразных задач – от достаточно простых до наиболее сложных. Тестовые задания приводятся без ответа. В конце пособия приведены некоторые справочные данные, необходимые для решения задач.

**Физические основы молекулярно-кинетической теории и термодинамики.**

Идеальные газы подчиняются уравнению состояния:

,

где *р* - давление газа,

*V*- его объем,

*Т*- термодинамическая температура,

*М* -молярная масса газа,

*R*=8,31441 Дж/(моль·К)-газовая постоянная;

*ν* = *m/M* - количество вещества.

По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме их парциальных давлений, т.е. тех давлений, которые имел бы каждый из газов в отдельности, если бы он при данной температуре один заполнял весь объем.

Основное уравнение кинетической теории газов имеет вид.

,

где *n*- число молекул в единице объема,

– средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы,

*m0* - масса молекулы,

<*2*>- средняя квадратичная скорость молекул.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы

;

Средняя квадратичная скорость молекул

,

причем *m0* =

Внутренняя энергия газа

,

где *i*-число степеней свободы молекул.

Связь между молярной *С* и удельной с теплоемкостями:

*С* = *М с.*

Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме:

.

Молярная теплоемкость при постоянном давлении:

*СР* = *СV+R.*

Закон распределения молекул по скоростям (закон Максвелла) позволяет найти число молекул Δ*N*, относительные скорости которых лежат в интервале от u до *u+*Δu*:*

.

Здесь *u* = - относительная скорость,

*υ* - данная скорость

=- наиболее вероятная скорость молекул

Δ*u*-интервал относительных скоростей, малый по сравнению со скоростью *u*.

Средняя арифметическая скорость молекул

υар =

Барометрическая формула дает закон убывания давления газа с высотой в поле силы тяжести:

.

Здесь *р* - давление газа на высоте *h*,

*p0* - давление на высоте *h* = 0,

*g* = 9,8 м/с2 – ускорение свободного падения.

Средняя длина свободного пробега молекул газа

;

*d* - эффективный диаметр молекулы,

*n* - число молекул в единице объема (концентрация молекул).

Общее число столкновений всех молекул в единице объема за единицу времени.

,

где *z* - среднее число столкновений каждой молекулы с остальными в единицу времени.

Масса, перенесенная за время Δ*t* при диффузии,

Δ

где - градиент плотности в направлении, перпендикулярном к площадке ΔS.

*D* = - коэффициент диффузии, υар - средняя арифметическая скорость, - средняя длина свободного пробега молекул.

Сила внутреннего трения *Fтр* в газе:

Fтр = ∙ΔS,

где - градиент скорости течения газа в направлении, перпендикулярном к площадке *ΔS*,

*η* = - динамическая вязкость.

Количество теплоты, перенесенное за время  вследствие теплопроводности, определяется формулой:

,

где  - градиент температуры в направлении, перпендикулярном к площадке ΔS,

*χ =*  – коэффициент теплопроводности.

Первое начало термодинамики может быть записано в виде:

,

где  *dQ* - количество теплоты, полученное газом,

*dU* - приращение внутренней энергии газа,

*dA* = *pdV*.-.работа, совершаемая газом.

Внутренняя энергия газа:

,

где *Т* - термодинамическая температура. Полная работа, совершаемая газом:

.

Работа, совершаемая при изотермическом процессе:

.

Давление и объем газа связаны при адиабатическом процессе уравнением Пуассона:

,

где показатель адиабаты . Уравнение Пуассона может быть записано еще в таком виде:

 или .

Работа, совершаемая при адиабатическом процессе, может быть найдена по формуле:



где *р 1*и *V1* – давление и объем газа при температуре *Т1* .

Уравнение политропического процесса имеет вид:

,

где *n* – показатель политропы (*0<n<*).

Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины

,

где *Q1* – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя,

*Q2* – количество теплоты, отданное холодильнику.

Для цикла Карно

,

где *Т1* и *Т2* – термодинамические температуры нагревателя и холодильника.

Разность энтропий *SВ-SА* двух состояний *В* и *А* определяется формулой:

.

1. **УРАВНЕНИЕ ГазовОГО СОСТОЯНИЯ.**

1 . В трех сосудах объёмами V1, V2, V3 находятся газы при одинаковых температурах и давлениях P1, P2, P3. Сосуды соединяют между собой тонкими трубками. Найдите установившееся давление в сосудах.

Решение: Каждый газ расширяется в остальные сосуды. Парциальные давления газов из закона Бойля – Мариотта будут равны

Р1V1 = P1ʹ (V1 + V2 + V3),

Р2V2 = Р2ʹ (V1 + V2 + V3),

Р3 V3 = Р3ʹ (V1 + V2 + V3),

По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме их парциальных давлений.

Рсмеси = Р1ʹ + Р2ʹ + Р3ʹ

Ответ: Рсмеси = .

2. 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 361К. Сколько молей газа находится в каждой части цилиндра, если поршень находится на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня пренебречь.

Решение. Запишем уравнения состояния для газа в верхней и нижней частях сосуда:

Р1V1 =νRT,

Р2V2 = νRT,

где V1 и V2 объемы соответственно верхней нижней частей.

V1 = S (H – h),

V2 = S h,

где S – сечение поршня,

Н – высота сосуда,

h – высота, на которой находится поршень.

Условие равновесия поршня:

Р1S + mg – Р2S = 0.

Подставляя данные задачи, получим количество молей.

Ответ: ν = 0,022 моль.

3. Три сферы радиусами 4 см, 8 см, 10 см заполнены газом и соединены тонкими трубками, перекрытыми кранами. Давление газа в левой сфере 0,2 МПа, давление газа в средней сфере 0,4 МПа, давление газа в правой сфере 0,8 МПа. Каким станет давление газа, если оба крана открыть?

Решение. Когда краны откроют, газы перемешиваются, и каждый газ займет объем, равный V1 + V2 + V3. Согласно закону Дальтона давление смеси газов Р равно сумме парциальных давлений Р1, Р2, Р3 каждого газа в этой смеси:

Р = Р1 + Р2 + Р3.

Поскольку температура и масса каждого газа не менялись, для нахождения их парциальных давлений применим закон Бойля-Мариотта:

Р01 V1 = Р1 (V1 + V2 + V3),

Р02 V2 = Р2 (V1 + V2 + V3),

Р03 V3 = Р3 (V1 + V2 + V3),

Выразим из данных уравнений Р1, Р2, Р3 и их значения подставим в первое уравнение для нахождения давления смеси. При этом объем каждого шара найдем по формуле:

V = .

Подставим числа и вычислим давление смеси Р = 0,65Мпа

Ответ: 0,65Мпа.

4. Молярная масса газа у поверхности планеты 0,04, температура у ее поверхности 427˚С и давление составляет 80 земных атмосфер. Считая температуру у поверхности Земли равной 27˚С, найти, во сколько раз плотность газа у поверхности планеты больше плотности воздуха у поверхности Земли. Молярная масса воздуха 0,029.

Решение:

Р1V1 = ν1RT1; Р1 = RT1,

P2V2 = ν2RT2 RT2.

Поделим первое уравнение на второе

= = 47

Ответ: = 47.

5. Рабочий объем цилиндра поршневого насоса 0,5л. Насос соединен с баллоном вместимостью 3л, содержащим воздух при давлении 1∙105 Па. Найдите давление воздуха в баллоне после пяти рабочих ходов поршня в случае работы в разрежающем режиме.

Решение: Если в начале первого рабочего хода поршня воздух в баллоне занимал объем V2 = 3∙10-3 м3 при давлении Р0, то в разрежающем режиме к концу первого хода поршня та же масса воздуха займет объем V2 + V1 при давлении Р1. Так как изменение температуры не учитывается , то по закону Бойля-Мариотта:

Р0V2.= P1(V1 + V2),

откуда

Р1 = P0.

В начале второго хода поршня объем и давление газа в баллоне соответственно V2 и Р1 , в конце хода они равны V2 + V1 и Р2, откуда

Р2 = P1,

или

Р2 = P0.

Продолжая те же рассуждения, находим, что к концу n-го рабочего хода

Рn = (P0.

Подставляя числовые значения, получаем Рn = 48кПа.

Ответ: 48кПа.

6. Воздушный шар объемом 2500м3 и массой 400кг 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 200кг? Температура окружающего воздуха 7˚С, его плотность – 1,2. Оболочку шара считать нерастяжимой.

Решение: Запишем второй закон Ньютона в проекциях на вертикаль:

Fш+г + Fш = Fa

или

(М + m)g + mшg = mag,

где М 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:

(М + m) + mш = ma.

При нагревании воздуха в шаре его давление Р и объем V не меняются. Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева,

PV = RTш = RTа,

где – средняя молярная масса воздуха,

Тш и Та – его температура внутри и вне шара

mш = ma = V ;

ma - mш = V (1 - );

M + m =V (1 - ).

Следовательно,

( 1 - ) =

Tш = 350К.

Ответ: 350К

7. Идеальный газ сначала нагревался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объеме, затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения.

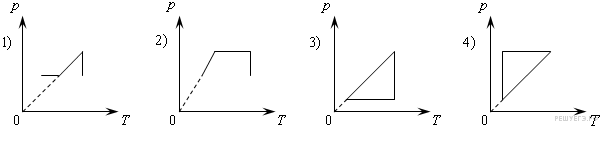
Какой из графиков в координатных осях p—Т на рисунке соответствует этим изменениям состояния газа?

1) 1

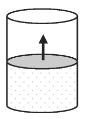
2) 2

3) 3

4) 4

Решение. Изменению температуры газа при постоянном давлении на диаграмме p—Т соответствует горизонтальная линия. Поскольку газ нагревался, точка, изображающая состояние газа, двигалась вдоль этой линии направо. При постоянном объеме для идеального газа выполняется закон Шарля, согласно которому = , то есть линия, изображающая процесс на координатной плоскости P - T лежит на прямой, проходящей через начало координат. Наконец, уменьшению давления газа при постоянной температуре на диаграмме P - Т соответствует вертикальная линия. Таким образом, из всего этого заключаем, что описанная последовательность изменений состояния газа соответствует графику 1.

Ответ: 1

8. В цилиндре с тонкими, но прочными металлическими стенками, находится воздух. Придерживая цилиндр, поршень медленно поднимают вверх. Какое из приведённых ниже уравнений точнее всего описывает процесс, происходящий при этом с воздухом под поршнем?

1) = const

2) = const

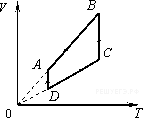
3) T∙P = const

4) V∙P = const

Решение. Воздух в цилиндре можно приближенно считать идеальным газом. Поскольку поршень поднимается медленно, а стенки цилиндра не теплоизолированны, то в любой момент времени успевает установиться тепловое равновесие между газом внутри и окружающей средой. Следовательно, расширение происходит при постоянной температуре. Согласно закону Бойля-Мариотта: PV = const

Ответ: 4

9. На рисунке показан цикл, осуществляемый с идеальным газом. Изобарному нагреванию соответствует участок

1) AB

2) ВС

3) CD

4) DA

Решение. Изобарным называется процесс при постоянном давлении. Согласно закону Гей-Люссака, для идеального газа при изобарном процессе выполняется = const, то есть линия, изображающая этот процесс на диаграмме V - T лежит на прямой, проходящей через начало координат. На диаграмме есть два таких участка: AB и CD. Однако нас интересует изобарное нагревание, а значит, температура на искомом участке должна увеличиваться. Таким образом, изобарному нагреванию на рисунке соответствует участок цикла .

Ответ: 1

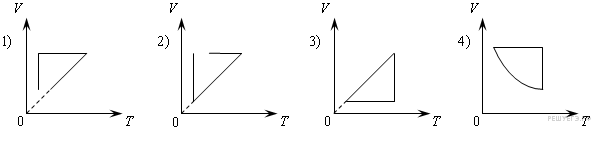
10. Идеальный газ сначала нагревался при постоянном давлении, потом его давление уменьшалось при постоянном объеме, затем при постоянной температуре объем газа уменьшился до первоначального значения. Какой из графиков на рисунке в координатных осях V - Т соответствует этим изменениям состояния газа?

1) 1

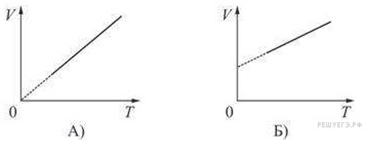
2) 2

3) 3

4) 4

Решение. Для идеального газа при постоянном давлении выполняется закон Гей-Люссака, согласно которому = const, то есть линия, изображающая процесс на диаграмме V - Т должна лежать на прямой, проходящей через начало координат. Поскольку газ нагревался, точка, изображающая состояние газа, удалялась вдоль этой линии от начала координат. Уменьшению давления при постоянном объеме на плоскости V - Т соответствует горизонтальная линия, а уменьшению объема при постоянной температуре - вертикальная. Таким образом, из всего этого заключаем, что описанная последовательность изменений состояния газа соответствует графику 1.

Ответ: 1

11. Два ученика, желая привести примеры изобарного процесса, изобразили графики зависимости объёма V идеального газа от его абсолютной температуры . Эти графики показаны на рисунках А) и Б). Какой из рисунков является правильным?

1) только А)

2) только Б)

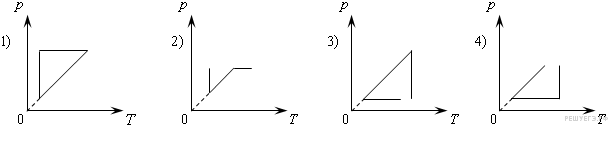
3) и А), и Б)

4) ни А), ни Б)

Решение. Согласно закону Гей-Люссака, при изобарном процессе отношение абсолютной температуры идеального газа к занимаемому им объему должно оставаться постоянным: = const. Таким образом, на диаграмме V – T изобарный процесс изображается прямой, проходящей через начало координат. Следовательно, правильный график изображен только на рисунке А)

Ответ: 1

12. Идеальный газ сначала охлаждался при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объеме, затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения.

Какой из графиков в координатных осях P - Т на рисунке соответствует этим изменениям состояния газа?

1) 1

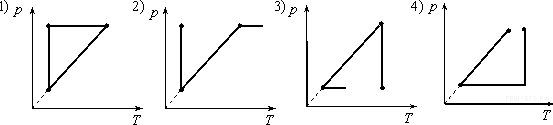
2) 2

3) 3

4) 4

Решение. Изменению температуры газа при постоянном давлении на диаграмме P - Т соответствует горизонтальная линия. Поскольку газ охлаждался, точка, изображающая состояние газа, двигалась вдоль этой линии налево. Для идеального газа при постоянном объеме выполняется закон Шарля, согласно которому = , то есть линия, изображающая процесс на координатной плоскости P - Т лежит на прямой, проходящей через начало координат. Наконец, уменьшению давления при постоянной температуре на диаграмме P - Т соответствует вертикальная линия. Таким образом, из всего этого заключаем, что описанная последовательность изменений состояния газа соответствует графику 3.

Ответ: 3

13. Один моль идеального газа сначала сжимается при постоянной температуре, затем нагревается при постоянном давлении и, наконец, охлаждается при постоянном объеме до первоначальной температуры. Какой из графиков в координатах P - T соответствует этим изменениям?

1) 1

2) 2

3) 3

4) 4

Решение. Изменению объема газа при постоянной температуре на диаграмме P - Т соответствует вертикальная линия. Поскольку газ сжимается, точка, изображающая состояние газа, согласно закону Бойля-Мариотта, двигалась вдоль этой линии вверх. Нагреванию при постоянно давлении на координатной плоскости P - Т соответствует горизонтальная линия. Наконец, при постоянном объеме для идеального газа выполняется закон Шарля, согласно которому = , то есть линия, изображающая процесс на координатной плоскости P – T лежит на прямой, проходящей через начало координат. Таким образом, из всего этого заключаем, что описанная последовательность изменений состояния газа соответствует графику 1.

Ответ: 1

14. Порции идеального газа сообщили некоторое количество теплоты. При этом газ совершил положительную работу. В результате внутренняя энергия порции газа

1) увеличилась

2) уменьшилась

3) не изменилась

4) могла и увеличиться, и уменьшиться, и остаться неизменной

Решение. Согласно первому началу термодинамики, переданное газу тепло идет на изменение его внутренней энергии и на совершение газом работы против внешних сил:

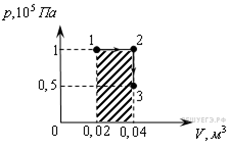
Q = ΔU + A

Отсюда для изменения внутренней энергии имеем:

ΔU = Q - A

Следовательно, изменение внутренней энергии газа может и увеличиться (Q ˃ A), и уменьшиться (Q ˂ A), и остаться неизменной (Q = A).

Ответ: 4

15. При переходе из состояния 1 в состояние 3 газ совершает работу

1) 2 кДж

2) 4 кДж

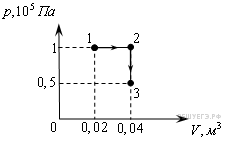
3) 6 кДж

4) 8 кДж

Решение. На диаграмме p—V работе, совершаемой газом при переходе из начального состояния в конечное, соответствует площадь под линией, изображающей процесс перехода.

Для процесса 1—2—3 эта площадь показана на рисунке штриховкой. Таким образом, при переходе из состояния 1 в состояние 3 газ совершает работу

Ответ: 1

16. В процессе эксперимента газ отдал окружающей среде количество теплоты, равное 3 кДж. При этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 13 кДж. Следовательно, газ расширился, совершив работу

1) 3 кДж

2) 10 кДж

3) 13 кДж

4) 16 кДж

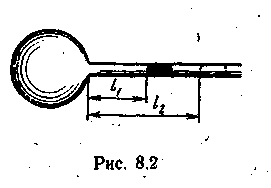
Решение. Согласно первому началу термодинамики, тепло, переданное системе, идет на изменение внутренней энергии и совершение работы против внешних сил: Q = ΔU + A. Отсюда находим работу газа:

A = Q - ΔU = - 3 кДж + 13 кДж = 10 кДж

Ответ: 2

17.При нагревании идеального газа на ΔТ = 1К при постоянном давлении объем его увеличился на 1/350 первоначального объема. Найти начальную температуру *Т* газа.

Ответ: 350К

18.Газовый термометр состоит из шара с припаянной к нему горизонтальной стеклянной трубкой. Капелька ртути, помещенная в трубку, отделяет объем шара от внешнего пространства (см рисунок). Площадь S поперечного сечения трубки равна 0,1 см2. При температуре *Т1* = 273 К капелька находилась на расстоянии *l1* = 30 см от поверх­ности шара, при температуре *Т2* = 278 К - на расстоянии *l*2 = 50 см. Найти объем *V* шара.

Ответ: 106см3

19. Баллон объемом *V* = 12 л содержит углекислый газ. Давление *р* газа равно 1 МПа, температура *Т =* 300 К. Определить массу *m* газа в баллоне.

Ответ: 0,212кг.

20. Какой объем *V* занимает идеальный газ, содержащий количество вещества *v* = 1 кмоль при давлении *р* = 1 МПа и температуре *Т* = 400 К?

Ответ:3,32м3

21. Баллон объемом *V =* 20 л содержит углекислый газ массой *m* = 500 г под давлением *р* = 1,3 МПа. Определить температуру *Т* газа.

Ответ: 276К

22. Оболочка воздушного шара имеет объем *V* = 1600 м3. Найти подъемную силу *F* водорода, наполняющего оболочку, на высоте, где давление *р* = 60 кПа и температура *Т* = 280 К. При подъеме шара водород может выходить через отверстие в нижней части шара.

Ответ: 10,9кН

23. В баллоне объемом *V =* 25 л находится водород при температуре *Т* = 290 К. После того как часть водорода израсходовали, давление в баллонепонизилось на Δ*р =* 0,4МПа. Определить массу *т* израсходованного водорода.

Ответ: 8,3г.

24. Оболочка аэростата объемом *V* = 1600 м3, находящегося на поверхности Земли, на *k* = 7/8 наполнена водородом при давлении *р* = 100 кПа и температуре *Т* = 290 К. Аэростат подняли на некоторую высоту, где давление *р1* = 80кПа и температура *Т2* = 280 К. Определить массу *m* водорода, вышедшего из оболочки аэростата при его подъеме.

Ответ: 6,2кг.

25. В баллонах объемом *V1* = 20 л и *V2* = 44 л содержится газ. Давление в первом баллоне *р1* = 2,4 МПа, во втором — *р2* = 1,6 МПа. Определить общее давление *р* и парциальные *р'1* и *р'2* после соединения баллонов, если температура газа осталась прежней.

Ответ: 0,76 МПа; 1,12 МПа; 1,88 МПа

26. На изделие, имеющее форму круглой пластинки диаметром *d = 2* см, нанесен слой меди толщина *h* = 2 мкм. Найти число атомов меди *N* , содержащих в этом покрытии. Плотность меди *p* = 8,9 ∙ 10кг/м3, молярная масса меди *M =* 0,064кг/моль*.*

Ответ: *N*= 5 ∙ 1019 .

27. Принимая, что воздух состоит в основном из азота и кислорода, определить процентное содержание этих газов в нем. Молярная масса воздуха М = 0,029 кг/моль, молярная масса азота М1 = 0,028 кг/моль, молярная масса кислорода М2 = 0,032 кг/моль.

Ответ:

1. **МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГАЗОВ.**

1.В цилиндре, разделённом на две части незакреплённым поршнем массой m, находится воздух. В одной из частей цилиндра кратковременно повышают давление, после чего предоставляют систему самой себе. Какие процессы будут происходить в цилиндре? Что произойдет, если масса поршня увеличится?

Решение. Повышение давления приводит к смещению поршня. После снятия давления поршень возвращается к положению равновесия, но по инерции проскакивает его. Возникает разность давлений в частях цилиндра, тормозящая поршень, а затем возвращающая его к положению равновесия. Возвращающийся поршень опять проскакивает положение равновесия. Возникают колебания поршня. С увеличением массы поршня увеличивается его инерция и возрастает период возникающих колебаний.

2. Температура воздуха в комнате T1.. Как изменится внутренняя энергия воздуха в комнате, если температуру повысить до T2?

Решение: Давление воздуха останется прежним. Энергия одной молекулы

Еk =.k T.

Давление

P = n k T, n = ;

а общее число молекул

N = V n = .

Внутренняя энергия воздуха

U = N∙Ek = P V

Из данной формулы следует что внутренняя энергия воздуха в комнате не зависит от температуры.

Ответ: не изменится.

3. Средняя кинетическая энергия поступательного теплового движения молекул разреженного газа увеличилась в 2 раза, а концентрация его молекул уменьшилась в 2 раза. При этом давление газа

1) увеличилось в 4 раза

2) увеличилось в 2 раза

3) уменьшилось в 4 раза

4) не изменилось

Решение. Давление идеального газа пропорционально произведению концентрации молекул газа и средней кинетической энергии теплового движения:

При одновременном увеличении средней кинетической энергии теплового движения в два раза и уменьшении концентрации молекул в два раза давление идеального газа не изменилось.

Ответ: 4

5. При повышении температуры газа в запаянном сосуде давление газа увеличивается. Это изменение давления объясняется тем, что

1) увеличивается объем сосуда за счет нагревания его стенок

2) увеличивается энергия теплового движения молекул газа

3) увеличиваются размеры молекул газа при его нагревании

4) увеличивается энергия взаимодействия молекул газа друг с другом

Решение. Молекулы газа непрерывно ударяются о стенки сосуда, оказывая на них давление. Чем больше средняя кинетическая энергия теплового движения молекул, тем быстрее молекулы двигаются и тем больший импульс передают стенкам сосуда в единицу времени, оказывая тем самым большее давление. С другой стороны, температура является мерой энергии теплового движения молекул: . Отсюда заключаем, что при повышении температуры газа в запаянном сосуде давление газа увеличивается вследствие увеличения энергии теплового движения молекул.

Ответ: 2

6. Броуновским движением называется

1) упорядоченное движение слоев жидкости (или газа)

2) упорядоченное движение твердых частиц вещества, взвешенных в жидкости (или газе)

3) конвекционное движение слоев жидкости при ее нагревании

4) хаотическое движение твердых частиц вещества, взвешенных в жидкости (или газе)

Решение. Броуновским движением называется беспорядочное движение микроскопических, частиц твёрдого вещества (пылинки, крупинки взвеси, частички пыльцы растения и так далее), вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа.

Ответ: 4

7. Какое из утверждений справедливо для кристаллических тел?

1) во время плавления температура кристалла изменяется

2) в расположении атомов кристалла отсутствует порядок

3) атомы кристалла расположены упорядоченно

4) атомы свободно перемещаются в пределах кристалла

Решение. Кристалл — это агрегатное состояние вещества, которое характеризуется строгим порядком расположения атомов. Атомы в кристаллах не могут свободно перемещаться, колеблясь около узлов кристаллической решетки. Во время плавления температура кристалла не меняется, вся поступающая энергия идет на разрушение кристаллической решетки.

Ответ: 3

8. Каково будет изменение температуры идеального газа, если в ходе процесса = const его объем уменьшился в 2 раза?

1) увеличится в 2 раза

2) уменьшится в 2 раза

3) не изменится

4) увеличится в 4 раза

Решение. В процессе = const при уменьшении объема в 2 раза давление возрастает в 4 раза:

Идеальный газ подчиняется уравнению Клапейрона-Менделеева.

Выпишем это уравнение для начального и конечного состояний:

Следовательно,

= 2

Таким образом, температура увеличится в 2 раза.

Ответ: 1

9. При плавлении льда вода переходит из кристаллического состояния в жидкое. При этом переходе

1) возрастает температура, уменьшается внутренняя энергия

2) возрастает температура, не изменяется внутренняя энергия

3) возрастает и температура, и внутренняя энергия

4) возрастает внутренняя энергия, не меняется температура

Решение. Как показывает опыт, кристаллизация и плавление происходят при постоянной температуре. С другой стороны, при плавлении поглощается тепло, а значит, внутренняя энергия увеличивается.

Ответ: 4

10. Броуновское движение мелких частиц может наблюдаться

1) только в жидкостях

2) только в газах

3) только в жидкостях и в газах

4) в жидкостях, газах и в твёрдых телах

Решение. Броуновское движение частиц вызвано их столкновением с движущимися частицами вещества. Такого рода движение может происходить только в жидкостях и газах.

Ответ: 3

11. Смесь кислорода и азота при температуре Т = 290К и давлении p = 5,8 кПа имеет плотность ρ = 0,4кг/м3. Определите концентрацию молекул кислорода n1 в смеси.

Решение: При решении данной задачи воспользуемся следующими формулами:

P = n k T,

μ = m0NA, m0 =

ρ = n m0.

ρ = n1 + n2;

P1 = n1 k T,

P2 = n2 k T,

n1 + n2 = ;

n2 = – n1;

= n1 1 + ( – n1 ) μ2;

n1 = .

Ответ: n1 = .

12. Колба вместимостью *V* = 0,5л содержит газ при нормальных условиях. Средняя кинетическая энергия поступательного теплового движения молекул разреженного газа увеличилась в 2 раза, а концентрация его молекул уменьшилась в 2 раза. При этом давление газа

1) увеличилось в 4 раза

2) увеличилось в 2 раза

3) уменьшилось в 4 раза

4) не изменилось

Решение. Давление идеального газа пропорционально произведению концентрации молекул газа и средней кинетической энергии теплового движения:

При одновременном увеличении средней кинетической энергии теплового движения в два раза и уменьшении концентрации молекул в два раза давление идеального газа не изменилось.

Ответ: 4

13. При повышении температуры газа в запаянном сосуде давление газа увеличивается. Это изменение давления объясняется тем, что

1) увеличивается объем сосуда за счет нагревания его стенок

2) увеличивается энергия теплового движения молекул газа

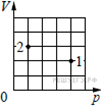
3) увеличиваются размеры молекул газа при его нагревании

4) увеличивается энергия взаимодействия молекул газа друг с другом

Решение. Молекулы газа непрерывно ударяются о стенки сосуда, оказывая на них давление. Чем больше средняя кинетическая энергия теплового движения молекул, тем быстрее молекулы двигаются и тем больший импульс передают стенкам сосуда в единицу времени, оказывая тем самым большее давление. С другой стороны, температура является мерой энергии теплового движения молекул: . Отсюда заключаем, что при повышении температуры газа в запаянном сосуде давление газа увеличивается вследствие увеличения энергии теплового движения молекул.

Ответ: 2

14. В сосуде находится некоторое количество идеального газа. Как изменится температура газа, если он перейдёт из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок)?

1)

2)

3)

4)

Решение. Напишем уравнение Менделеева-Клапейрона для первого и второго случаев, выразим температуру из этих уравнений.

Из графика видно, что , следовательно,

Ответ: 3

15. Сколько атомов содержат газы массой *m* = 1 г каждый:

а) гелий, б) углерод, в) фтор, г) полоний?

Ответ: а) 1,5·1023; б) 5,01·1022; в) 3,17·1022;г) 2,87·1021.

16. В баллоне вместимостью *V* = 5 л содержится кислород массой *m* = 20 г. Определить концентрацию *n* молекул в баллоне.

Ответ: 7,52·1019

17. Одна треть молекул азота массой *m* = 10 г распалась на атомы. Определить полное число *N* частиц, находящихся в таком газе.

Ответ: 2,86·1020

18. Определить молярную массу *М* и массу *m0* одной молекулы следующих газов: а) кислорода, б) азота, в) окиси азота NO.

Ответ: а) 32·103кг/моль, 5,30·10-26кг; б) 28·10-3кг/моль, 4,65·10-26кг; в) 30·103кг/моль, 4,99·10-26кг.

19. В баллоне вместимостью *V* = 3 л находится кислород массой *m* = 4 г. Определить количество вещества *ν* газа и концентрацию *n* его молекул.

Ответ: 0,125моль, 2,51·1025м-3.

20. В сосуде вместимостью *V* = 2,24л при нормальных условиях находится кислород. Определить количество вещества *ν* и массу *m* кислорода, а также концентрацию *n* его молекул в сосуде.

Ответ: 0,1моль; 3,2 г; 2,68·1025м-3 .

21. Определить среднее значение ‹ε› полной кинетической энергии одной молекулы гелия, кислорода и водяного пара при температуре *Т* = 400 К.

Ответ: 8,28·10-21 Дж;13,8·10-21 Дж; 16,6·10-21 Дж.

22. Определить кинетическую энергию ‹ε1›, приходящуюся в среднем на одну степень свободы молекулы азота, при температуре *Т* = 1 кК, а также среднюю кинетическую энергию ‹εn› поступательного движения, ‹εB› вращательного движения и среднее значение полной кинетической энергии ‹ε› молекулы.

Ответ: 6,9·10-21Дж; 20,7·10-21Дж; 13,8·10-21Дж;

34,5·10-21Дж.

23. При какой температуре *Т* средняя квадратичная скорость атомов гелия станет равной второй космической скорости = 11,2 км/с?

Ответ: 20,1 кК.

24. Определить наиболее вероятную скорость молекул водорода при температуре *Т* = 400 К.

Ответ: 1,82 км/с.

25. Найти импульс *mυ* молекулы водорода при температуре *t* = 20°С. Скорость молекулы считать равной средней квадратичной скорости.

Ответ: 6,3∙10-24кг∙м/с.

26. Найти внутреннюю энергию *W* массы *m* = 1 г воздуха при температуре *t* = 15°С. Молярная масса воздуха

*M* = 0,029 кг/моль.

Ответ: 210 Дж.

26. Найти энергию вращательного движения молекул, содержащихся в массе *m* = 1 кг азота при температуре *t* = 7°С.

Ответ: 83 кДж.

27. Найти внутреннюю энергию *W* двухатомного газа, находящегося в сосуде объемом *V* = 2 л под давлением

*р* = 150 кПа.

Ответ: 750Дж.

27. При какой температуре *Т* энергия теплового движения атомов гелия будет достаточна для того, чтобы атомы гелия преодолели земное тяготение и навсегда покинули земную атмосферу

Ответ: 2∙104 К.

28. Какое число молекул *N* двухатомного газа содержит объем *V* = 10 см3 при давлении *р* = 5,3 кПа и температуре *t* = 27°С? Какой энергией теплового движения *W* обладают эти молекулы?

Ответ: 1,3∙1019; 0,133 Дж.

1. **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БОЛЬЦМАНА.**

1. Какой процент молекул углекислого газа при 0˚С обладает скоростями от 85,5м/с до 95,5м/с?

Решение. Запишем распределение Максвелла:

.

Здесь ΔN – число молекул, относительные скорости которых лежат в интервале от u до Δu,

N – все число молекул углекислого газа,

e – основание натурального логарифма,

u = – относительная скорость молекул,

Δu = ,

υ – скорость молекул в данных условиях,

υв – наиболее вероятная скорость в данных условиях

υв = . = 321м/с.

Отсюда

= u2 Δu

Тогда относительная скорость u = м/с = 0,27,

а u2 = 0,07 и = 2,7-0,07 = 0,9.

Интервал скоростей

Δυ = υ2 – υ1 = 95,5м/с – 85,5м/с = 10м/с.

С учетом этого Δu = = 0,03

Произведем вычисления:

= 0,43%

Ответ: = 0,43%

2. Какая часть молекул кислорода при *t* = 0°С обладает скоростямиот 100 до 110 м/с?

Ответ: 0,4%

1. Какая часть молекул азота при *t* = 150°С обладает скоростями от 300 до 325 м/с?

Ответ: 2,8%

1. Энергию заряженных частиц часто выражают в электронвольтах: 1 эВ – энергия, которую приобретает электрон, пройдя в электрическом поле разность потенциалов 1В, причем 1 эВ = 1,60219·10-19 Дж. При какой температуре *Т0* средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул равна ‹*ε*› = 1 эВ? При какой температуре 50% всех молекул имеет кинетическую энергию поступательного движения, превышающую энергию ‹*ε›* = 1эВ?

Ответ: 7730 К; 9600 К.

1. Молярная энергия, необходимая для ионизации атомов калия, *ε* = 418,68 кДж/моль. При какой температуре *Т* газа 10% всех молекул имеют молярную кинетическую энергию поступательного движения, превышающую энергию *ε*?

Ответ: 1,57·104 К.

1. На какой высоте *h* давление воздуха составляет 75% от давления на уровне моря? Температуру воздуха считать постоянной и равной *t* = 0°С.

Ответ: 2,3 км.

1. Пассажирский самолет совершает полеты на высоте *h1* = 8300 м. Чтобы не снабжать пассажиров кислородными масками, в кабине при помощи компрессора поддерживается постоянное давление, соответствующее высоте *h2* = 2700 м. Найти разность Δ*p* давлений внутри и снаружи кабины. Температуру наружного воздуха считать равной *t1* = 0°C.

Ответ: 36,6 кПа.

1. **длина свободного пробега *λ* и число столкновений молекул.**
2. Одним из компонентов топлива в двигателе ракеты является жидкий водород, плотность которого в момент закипания достигла ρ = 7кг/м3. Определить среднюю длину свободного пробега молекул водорода λ при этом, если эффективный диаметр молекул водорода равен dэф = 0,23нм. Молярная масса водорода М = 0,002кг/моль. Газ считать идеальным.

Решение. Средняя длина свободного пробега молекул определяется формулой

λ = ,

n = концентрация молекул водорода.

m0 –масса одной молекулы водорода

М – молярная масса

m0 = ,

тогда

λ =

Подставим числа и произведем вычисления: λ = 2∙10-9м.

Ответ: λ = 2∙10-9м.

2. Эффективное сечение молекулы азота Sэф = 4,3∙10-19м2, давление азота в сосуде Р = 1,52∙105 Па, средняя длина свободного пробега его молекул λ = 2∙10-7 м. Найти температуру Т азота в сосуде.

Решение. Воспользуемся формулой средней длины свободного пробега молекулы λ:

λ = .

Эффективное сечение молекулы определяется по формуле:

Sэф = π,

где dэф – эффективный диаметр молекулы.

Выразим концентрацию n из основного уравнения кинетической теории идеального газа,

n = ,

где k – постоянная Больцмана.

Значение концентрации подставим в формулу длины свободного пробега молекул и найдем температуру:

Т = ∙.

Произведем вычисления: Т = 1,3∙103К.

Ответ: Т = 1,3∙103К.

1. Найти среднюю длину свободного пробега *λ* молекул водорода при давлении *р* = 0,1 Па и температуре *Т* = 100 К.

Ответ: 6,4 см

1. При каком давлении *р* средняя длина свободного пробега *λ* молекул азота равна 1 м, если температура *Т* газа равна 300 К?

Ответ: 3,5 мПа

1. Баллон вместимостью *V* = 10 л содержит водород массой *m*= 1 г. Определить среднюю длину свободного пробега *λ* молекул.

Ответ: 1,55 нм.

1. Можно ли считать вакуум с давлением *р* = 100 мкПа высоким, если он создан в колбе диаметром *d* = 20 см, содержащей азот при температуре *Т* = 280 К?

Ответ: Можно, так как длина свободного пробега *λ* = 97 м много больше диаметра *d* колбы.

1. Определить плотность *ρ* разреженного водорода, если средняя длина свободного пробега *λ* молекул равна 1 см.

Ответ: 1,55 мг/м3.

1. Найти среднее число *z* столкновений, испытываемых в течение *t* = 1 с молекулой кислорода при нормальных условиях.

Ответ: 3,7•109 с-1.

1. Найти число *Z* всех соударений, которые происходят в течение *t* = 1с между всеми молекулами водорода, занимающего при нормальных условиях объем *V* = 1 мм3.

Ответ: 1,57•1021

1. Найти среднюю продолжительность *τ* свободного пробега молекул кислорода при температуре *Т* = 250 К и давлении *р* = 100 Па.

Ответ: 288 нс.

1. Найти зависимость средней длины свободного пробега *λ* молекул идеального газа от давления *р* при следующих процессах: а) изохорическом; б) изотермическом.

Ответ: а) не зависит; б) *λ*~1/*р*.

1. Найти зависимость средней длины свободного пробега *λ* молекул идеального газа от температуры *Т* при следующих процессах: а) изохорическом; б) изобарическом.

Ответ: а) не зависит; б) *λ*~*Т*.

1. Найти зависимость среднего числа столкновений *z* молекулы идеального газа в 1 с от давления *р* при следующих процессах: а) изохорическом; б) изотермическом.

Ответ: а) *z*~; б) *z*~*р*.

14.Давление газа изотермически уменьшили в три раза. Во сколько раз уменьшится число столкновений его молекул в единицу времени и увеличится их средняя длина свободного пробега?

Ответ: среднее число столкновений в единицу времени уменьшится в 3 раза, а средняя длина свободного пробега молекул увеличится тоже в 3 раза.

1. **Явления переноса.**

1.Давление атомарного водорода в космическом пространстве примерно равно Р = 1,7∙10-15 Па при температуре Т = 125К, эффективный диаметр его молекул d = 0,22нм. Найти, сколько времени t в среднем движется молекула между последовательными столкновениями. Молярная масса водорода М = 0,002кг/моль.

Решение. Время между последовательными столкновениями можно найти, разделив среднюю длину свободного пробега молекулы λ на ее среднюю арифметическую скорость υар:

t = .

Теперь запишем формулы средней длины свободного пробега и средней арифметической скорости:

λ = ,

и

υар = .

Получили расчетную формулу:

t = .

Произвели вычисления t = 4∙109с.

Ответ: t = 4∙109с.

2. В сосуде находится кислород при нормальных условиях. Найти среднее число столкновений молекул Z в этом объеме за время t = 2с. Эффективный диаметр πмолекулы кислорода dэф = 0,27нм. Молярная масса кислорода М = 0,032кг/моль.

Решение. Среднее число столкновений молекул Z за время t можно определить, умножив среднее число столкновений молекул в единицу времени z на время t:

Z = z t.

Среднее число столкновений молекул в единицу времени определяется формулой

z = πnυар

Концентрация молекул n связана с давлением кислорода Р соотношением

Р = nkT,

откуда

n =.

Средняя арифметическая скорость молекул кислорода

υар = .

Тогда среднее число столкновений за время t

Z = 4.

Подставим числа и произведем вычисления: Z = 7∙109

Ответ: Z = 7∙109.

3. Найти массу кислорода, перенесенную вследствие диффузии за время t = 8с через площадку S = 1м2 при градиенте плотности в направлении, перпендикулярном площадке, = 1,4кг/м4. Температура кислорода 17˚С, молярная масса 0,032кг/моль. Средняя длина пробега молекул кислорода λ = 5мкм.

Решение. Запишем уравнение переноса массы:

Δ

Знак « - » свидетельствует о том, что перенос кислорода происходит в направлении уменьшения его плотности.

Коэффициент диффузии D определяется выражением

D = υарλ.

Среднюю арифметическую скорость определим по формуле

υар = .

С учетом этого коэффициент диффузии

D = λ.

Подставим правую часть этого выражения в первую формулу, найдем массу кислорода:

Δm = - ∙∙.

Знак « - » при вычислениях можно опустить.

Произведем вычисления: Δm = 8,2г.

Ответ: Δm = 8,2г.

1. Сосуд емкостью 2 л содержит азот при температуре *t* = 27ºС и давлении *p* = 0,5 атм. Найти число молекул в сосуде *N*, число столкновений между всеми молекулами *Z* за 1 с, среднюю длину свободного пробега молекул *λ*.

Ответ: 2,45∙1022; 3,04∙1031 с-1; 1,92∙10-7 м.

1. Найти число молекул азота *n* в 1 м3, если давление *p* равно 3,69 атм, а средняя квадратичная скорость молекул равна 2400м/с.

Ответ: 4,2∙1024 м-3.

1. При каком давлении *p* средняя длина свободного пробега молекул водорода *λ* = 2,5 см при температуре *t* = 68ºС? Диаметр молекул водорода принять равным *d* = 2,3∙10-10 м.

Ответ: 0,8 Па.

1. Определить коэффициент внутреннего трения для водорода *η*, имеющего температуру *t* = 27ºС.

Ответ: 8,4∙10-6 кг/(м•с)

1. Вычислить коэффициент внутреннего трения *η* и коэффициент диффузии кислорода *D*, находящегося при давлении *p* = 0,2 МПа и температуре *Т* = 280 К.

Ответ: 2∙10-5 кг/(м∙с); 7,4∙10-6 м2/с.

1. Определить коэффициент диффузии *D* и коэффициент внутреннего трения азота *η*, находящегося при температуре *Т* = 300 К и давлении *p* = 105 Па.

Ответ: 1,54∙10-5 м2/с; 1,73∙10-5 кг/(м∙с).

1. Наружная поверхность кирпичной стены площадью 25 м2 и толщиной 37 см имеет температуру 259 К, а внутренняя поверхность *T* = - 293 К. Помещение отапливается электроплитой. Определить ее мощность *N*, если температура в помещении поддерживается постоянной. Теплопроводность кирпича *χ* = 0,4 Вт/(м∙К)

Ответ: 0,92 кВт

1. Средняя длина свободного пробега *λ* атомов гелия при нормальных условиях равна 180 нм. Определить диффузию *D* гелия.

Ответ: 7,23∙10-5 м2/с

1. Определить зависимость диффузии *D* от давления *р* при следующих процессах: а) изотермическом; б) изохорическом.

Ответ: а) *D*~1/*р*; б) *D*~.

1. Вычислить динамическую вязкость *η* кислорода при нормальных условиях.

Ответ: 18 мкПа•с.

1. Найти среднюю длину свободного пробега *λ* молекул азота при условии, что его динамическая вязкость *η* = 17 мкПа•с.

Ответ: 90 пм

1. **ТЕПЛОЕМКОСТЬ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА.**

1. Одноатомный идеальный газ неизменной массы совершает положительную работу в изотермическом процессе. Как изменяются в этом процессе объем, давление и внутренняя энергия газа? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличивается;

2) уменьшается;

3) не изменяется.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Объём газа | Давление газа | Внутренняя энергия газа |
|  |  |  |

Решение. Поскольку газ совершает положительную работу, его объем увеличивается. Процесс изменения состояния газа изотермический, а значит, согласно закону Бойля-Мариотта, величина PV должна оставаться постоянной. Таким образом, давление газа уменьшается в ходе этого процесса. Наконец, внутренняя энергия одноатомного идеального газа пропорциональна его температуре:

,

следовательно, внутренняя энергия в этом процессе не изменяется.

Ответ: 123

2. На рисунке показан процесс изменения состояния одного моля одноатомного идеального газа (U - внутренняя энергия газа; V - занимаемый им объём). Как изменяются в ходе этого процесса давление, абсолютная температура и теплоёмкость газа?

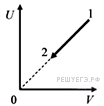
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличивается

2) уменьшается

3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Давление газа | Температура газа | Теплоёмкость газа |
|  |  |  |

Решение. 1) Т. к. U связано с температурой линейно, зависимость T от V линейна, следовательно, T =const. Сравнивая полученное выражение с уравнением Менделеева-Клапейрона для одного моля

= T,

получаем, что давление газа не изменилось.

2) Внутренняя энергия одного моля одноатомного идеального газа зависит только от температуры, ее изменение определяется выражением:

.

Таким образом, внутренняя энергия уменьшается с уменьшением температуры. Из приведенного графика видно, что ΔU 0, значит, абсолютная температура уменьшилась.

3) Теплоёмкость газа определяется выражением

теплоёмкость постоянна.

Ответ: 323

3. Одному килограмму воды, находящейся в твёрдом состоянии при температуре 0°C, сообщают количество теплоты 330 кДж. Как в результате этого изменяются следующие физические величины: температура воды, объём воды, внутренняя энергия воды? (Удельная теплота плавления льда 3,3∙105Дж/кг).

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличится;

2) уменьшится;

3) не изменится.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины.

Цифры в ответе могут повторяться.

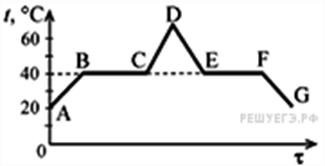
|  |  |
| --- | --- |
| ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА | ЕЁ ИЗМЕНЕНИЕ |
| А) температура воды  Б) объём воды  В) внутренняя энергия  воды | 1) увеличится  2) уменьшится  3) не изменится |

Запишите в ответ цифры, расположив их в порядке, соответствующем буквам: А, Б, В.

Решение. При сообщении твёрдому телу тепла его температура будет возрастать, пока не достигнет точки плавления, в этот момент подвод тепла перестанет увеличивать температуру тела, вся энергия будет расходоваться на плавление тела, внутренняя энергия воды будет возрастать. Пока всё тело не перейдёт в жидкое состояние температура смеси изменяться не будет; пусть 𝜆 - теплота плавления воды. Найдём массу расплавившейся воды:

То есть вся вода перейдёт в жидкое состояние, но на повышение температуры энергии не останется. Плотность льда меньше плотности воды, поэтому при плавлении объём воды уменьшится.

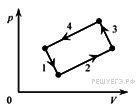
Ответ: 321

4. В начальный момент в сосуде под лёгким поршнем находится только жидкий эфир. На рисунке показан график зависимости температуры t эфира от времени его нагревания τ и последующего охлаждения. Установите соответствие между процессами, происходящими с эфиром, и участками графика.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

|  |  |
| --- | --- |
| Процессы | Участки графика |
| А) Охлаждение паров эфира  Б) Кипение эфира | 1) BC  2) CD  3) DE  4) EF |

Решение. Опыт показывает, что процессы кипения и конденсации происходят при постоянной температуре, а значит, участки BC и EF графика соответствуют превращению жидкости в пар и пара в жидкость соответственно (Б — 1). Таким образом, охлаждение паров эфира отвечает участок графика DE (А — 3).

Ответ: 31

5 На рисунке изображена диаграмма четырёх последовательных изменений состояния 2 моль идеального газа. Какие процессы связаны с наименьшим положительным значением работы газа и наибольшим положительным значением работы внешних сил?

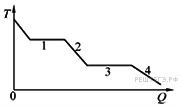
Установите соответствие между такими процессами и номерами процессов на диаграмме. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

|  |  |
| --- | --- |
| Процессы | Номера процессов |
| А) Работа газа положительна и минимальна  Б) Работа внешних сил положительна и максимальна | 1  2  3  4 |

Решение. На диаграмме P – V работе соответствует площадь под графиком процесса. При этом, если газ расширяется, то он совершает положительную работу, внешние силы совершают отрицательную работу. При сжатии газа наоборот: газ совершает отрицательную работу, внешние силы совершают положительную работу.

Отсюда сразу же получаем ответ. Процессу с минимальной положительной работой газа соответствует процесс, в ходе которого газ расширяется, а площадь под графиком минимальна (из рисунка ясно, что это процесс 1). Максимальную же положительную работу внешние силы совершают при сжатии, когда площадь под графиком максимальна (это процесс 4).

Ответ: 14

6. На рисунке показан график изменения температуры Т вещества при постоянном давлении по мере выделения им количества теплоты Q. В начальный момент времени вещество находилось в газообразном состоянии. Какие участки графика соответствуют конденсации пара и остыванию вещества в твёрдом состоянии?

Установите соответствие между тепловыми процессами и участками графика. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

|  |  |
| --- | --- |
| Процессы | Номера процессов |
| А) Конденсация пара  Б) Остывание твёрдого вещества | 1  2  3  4 |

Решение. Опыт показывает, что процесс конденсации и кристаллизации происходит при постоянных температурах, а значит, участки 1 и 3 графика соответствуют превращению пара в жидкость и жидкости в твердое тело, следовательно (А — 1). Остыванию твёрдого вещества отвечает участок графика под номером 4 (Б — 4).

Ответ: 14

7. Какое количество теплоты необходимо сообщить куску льда массой 2 кг, находящемуся при температуре -50˚С, чтобы превратить его в пар?

Решение: Лед нужно нагреть до температуры плавления, расплавить, воду нагреть до кипения и превратить воду в пар.

Ответ: 6,3 МДж.

1. Найти удельную теплоемкость *с* кислорода для: а) *V* = const; б) *р* = const.

Ответ: а) 650 Дж/(кг∙К); б) 910 Дж/(кг∙К).

1. Найти удельную теплоемкость *сР*: а) хлористого водорода; б) неона

Ответ: а) 800 Дж/(кг∙К); б) 1025 Дж/(кг∙К);

1. Удельная теплоемкость некоторого двухатомного газа *сР* = 14,7 кДж/(кг∙К). Найти молярную массу *M* этого газа.

Ответ: 0,002 кг/моль.

1. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях *ρ* = 1,43кг/м3. Найти удельные теплоемкости *сV* и *сР* этого газа.

Ответ: 650 Дж/(кг∙К); 910 Дж/(кг∙К).

1. **ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ.**

1. В вертикальном цилиндре с площадью поперечного сечения S под поршнем, масса которого равна М, находится 1 моль идеального газа. В некоторый момент времени под поршнем включается нагреватель, передающий газу за единицу времени количество теплоты q. Определите установившуюся скорость v движения поршня при условии, что давление газа над поршнем постоянно и равно P0; газ под поршнем теплоизолирован.

Решение: По первому закону термодинамики

Q = ΔU + А

Можем записать

При p = const газ совершает работу против внешних сил

A = P∙ΔV = P∙S∙Δx

где Δx - перемещение поршня.

Давление газа под поршнем

Из уравнения Клапейрона – Менделеева следует

P∙ΔV=R∙ΔT.

Тогда далее

За время Δt нагреватель передает газу количество теплоты

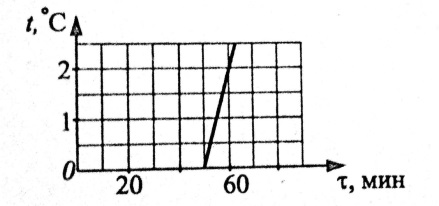
Q = q∙Δt.

Окончательно получим

Ответ:

2. В стакане с водой плавает кусок льда. Изменится ли уровень воды в стакане, если весь лёд растает?

Решение: Если весь лёд растает, то масса образовавшейся воды останется равной массе плавающего куска льда. Вода при этом займет точно тот же объём, который занимала погруженная часть льда. Уровень воды не изменится.

3. В ведре находится смесь воды со льдом массой m = 10кг. Ведро внесли в комнату и сразу же начали измерять температуру смеси. Получившаяся зависимость температуры смеси от времени изображена на рисунке. Удельная теплоёмкость воды Cв = 4,2 кДж/(кг∙К), удельная теплота плавления льда λ = 340 кДж/кг. Определите массу льда в ведре, когда его внесли в комнату. Теплоёмкостью ведра пренебречь.

Решение: Из графика видно, что первые Δτ1 = 50 мин. температура смеси оставалась равной 0˚С; таял лед, и на это шла вся подводимая к смеси теплота. Далее за Δτ2 = 10 мин температура воды поднималась на Δt = 2˚С. Эти данные позволяют выразить скорость подвода теплоты

Qʹ = CВ ∙m∙Δt˚∙Δτ2

и количество теплоты, израсходованное на плавление льда,

Q = Qʹ Δτ1 = CB ∙m∙Δt∙Δτ1 ∙Δτ2

Поскольку

Q = mЛ λ,

то

mЛλ -= CB m Δt Δτ1 Δτ2,

mЛ = 1,23.

Ответ: 1,23кг

4. В вертикальном цилиндре с площадью поперечного сечения S под поршнем, масса которого равна М, находится 1 моль идеального одноатомного газа. В некоторый момент времени под поршнем включается нагреватель, передающий газу за единицу времени количество теплоты q. Определите установившуюся скорость υ движения поршня при условии, что давление газа над поршнем постоянно и равно P0; газ под поршнем теплоизолирован.

Решение: По первому закону термодинамики Изменение внутренней энергии 1 моль идеального газа

ΔU = kΔTNA = RΔT.

При постоянном давлении газ совершает против внешних тел работу

А = PΔV = PSΔx

где Δx - перемещение поршня.

Давление газа под поршнем

P = P0 + .

Из уравнения Клапейрона – Менделеева следует, что

PΔV = RΔT,

поэтому

Q = PΔV = PSΔx.

За время Δt, соответствующее перемещению поршня на Δx, нагреватель передает газу количество теплоты Q = qΔt. Таким образом, скорость движения поршня

υ = .

Ответ: υ = .

5. Определите, какой будет температура в комнатах, объём которых 44 м3 и 33 м3, если между ними открывается дверь. Первоначальное давление в комнатах 100 кПа и 90 кПа, а температура 27˚С и 20˚С соответственно.

Решение: Так как отсутствует теплообмен с окружающей средой, то

U1 + U2 = U

или

= -ν1 RT1 + ν2RT2

откуда,

ν1T1 + ν2T2= (ν1 + ν2)T,

T =

Согласно уравнению состояния идеального газа

P2V2 = ν2RT2,

Р1V1 = ν1RT1,

Из этих уравнений определим ν1 и ν2, их значения подставим в основное уравнение, найдем температуру T

Ответ: T = 297К

6. 1 моль идеального одноатомного газа совершает процесс, в котором давление растет пропорционально объёму

Р = 0,1V (Мпа). Какое количество теплоты получает газ, если он расширяется от объёма 2 м3 до объёма 5 м3?

Решение: Согласно первому закону термодинамики

Q = ΔU + A,

где

ΔU = ν RΔT

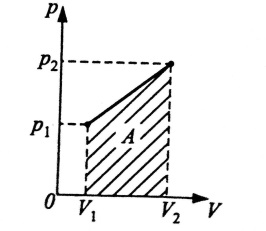
Запишем уравнение состояния идеального газа для начального и конечного состояний:

Р1V1 = ν1RT1,

P2V2 = ν2RT2,

тогда

ΔU = (P2V2-P1V1).

Работу , совершенную газом, можно найти как площадь под графиком процесса в координатах (V, Р). Сделаем рисунок.- Работа газа

А = (Р1 + Р2) (V2 – V1 )

Получаем

Q = 2 (P2V2-P1V1) + (Р1V2 – Р2V1) = 4,2 МДж.

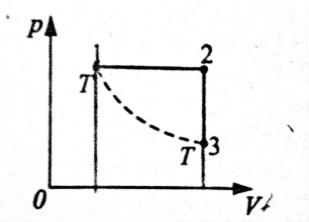
Ответ:4,2МДж.

7. Моль идеального газа, имевший первоначальную температуру Т, расширяется изобарически до тех пор, пока его объём не возрастает в n раз. Затем газ охлаждается изохорически до первоначальной температуры Т. Определите:

а) приращение внутренней энергии

б) работу А, совершаемую газом

в) количество полученного газом тепла Q

Решение: Сделаем рисунок

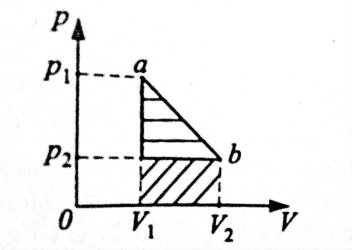
а)ΔU = 0, так как процесс 13 изотермический ΔT13 = 0,

б) А = А1 + А2,

на участке 23 ΔV = 0, то А2 = 0.

А = Р ( V2 – V1 ) = νRT( n – 1 ), V2 = n V1

в) Q = ΔU + A; ΔU = 0; Q = νRT(n – 1).

8.Найдите работу пара по перемещению поршня на расстояние h = 40см, если давление пара равномерно убывает при перемещении поршня от p1 = 2,2 МПа до Р2 = 0,2 кПа. Площадь поршня S = 300см2.

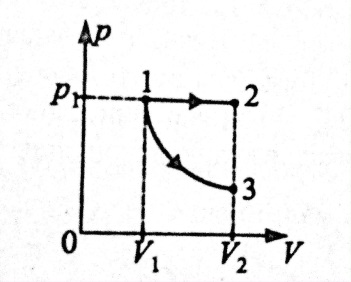
Решение: Сделаем рисунок.

При перемещении поршня объём изменился на ΔV = V2 – V1 = S∙h

Работа пара может быть рассчитана как площадь под графиком:

А = + P2S h = =14,4кДж.

Ответ: А = 14,4кДж.

9. Некоторое количество одноатомного идеального газа расширяется из одного и того же начального состояния (Р1, V1) до одного и того же конечного объёма V2 первый раз по изобаре, а второй – по адиабате (см. рисунок). Отношение работы газа на изобаре A12 к работе газа на адиабате A13 равно = 2. Чему равно отношение k количества теплоты Q12, полученного газом на изобаре от нагревателя, к модулю изменения внутренней энергии газа ׀ U3 – U1׀ на адиабате?

Решение: Количество теплоты, полученное газом на изобаре от нагревателя

Q12 = ΔU12 + А12,

где

ΔU12 = ν RΔT12

и

А12 = Р ( V2 – V1 ) = νRT12.

Получим

Q12 = ν RΔT12 = A12

Для адиабатного процесса 1

A13 = -ΔU13 = ׀ U3 – U1 ׀.

Тогда

k = = 5

Ответ:k = 5.

10. Одноатомный идеальный газ постоянной массы совершает циклический процесс, показанный на рисунке (см. рисунок). За цикл от нагревателя газ получает количество теплоты 8 кДж. Какую работу совершают внешние силы при переходе газа из состояния 2 в состояние 3?

Решение: Работа над газом при переходе из состояния 2 в состояние 3 на диаграмме P(V) равна площади трапеции (V0323V0).

A23 = 2V0 = 3P0V0. (1)

Количество теплоты, полученное от нагревателя

Qн = Q31 + Q12 (2)

Процесс 3 ∙1 изохорный, следовательно, учтем, что газ одноатомный

Q31 = ΔU31 = = ν RΔT31. (3)

Процесс 12 изобарный, следовательно,

Q12 = ΔU12 + A12, (4)

где

ΔU12 = ν RΔT12

и

А12 = νRΔT12

Поставив эти выражения в формулу (4) получим:

Q12 = ν RΔT12.

Для нахождения температур запишем уравнение Клапейрона –Менделеева для каждой точки цикла:

Точка 3 р0V0 = νRT3.

точка 1 2р0V0 = νRT1.

точка 2 6р0V0 = νRT2.

Откуда легко получить: T1 = 2T3,T2 = 6T3, тогда ΔТ31 = Т3, а ΔТ12 = 4Т3. Подставив эти значения в (3) и (5), а затем в (2), получим

Qн = р0V0 = 8кДж,

решая совместно с (1), получим А23 =2,1 кДж.

Ответ: А23 = 2,1кДж

11. Между двумя поршнями с m1 = m2 в длинной трубе сечением S в объёме V0 находится идеальный одноатомный газ под давлением Р0. Поршни отпускают. Найдите расстояние, которое пройдет каждый поршень, если сила трения скольжения поршня о стенки трубы равна F. Система в целом теплоизолирована, число молей газа ν. Труба горизонтальна и находится в вакууме.

Решение: Энергия системы в начальном состоянии (внутренняя энергия газа) равна

U =νRT0 = P0V0.

В конечном состоянии, после того, как каждый поршень сдвинется на расстояние L, газ расширяется до объёма

V = V0 + 2LS,

его давление P находим из условия, что

PS = F (поршни находятся в покое),

так что изменение энергии системы равно работе сил трения при движении поршней:

(P0V0 – РV) = 2FL.

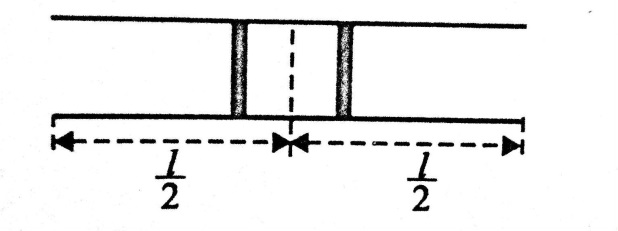
Подставляя выражения для V и P, получаем:

P0V0 = (V0 + 2LS) = FL.

Выразим

L = ( P0V0 - ).

Ответ: L = ( P0V0 - ).

20. В трубе длиной Ɩ идеальный одноатомный газ массой m сжат до давления P0 в объёме V0 двумя поршнями с массами m1 (см. рисунок). Какова должна быть сила трения F поршней о стенки трубы, чтобы после того, как поршни отпускают, ни один из них не вылетел из трубы? Толщиной поршней можно пренебречь; система в целом теплоизолирована; исходно середина трубы совпадает с центром масс газа, масса газа m пренебрежимо мала по сравнению с массами поршней. Труба закреплена горизонтально в вакууме.

Решение: Законы сохранения энергии и импульса для системы ≪газ + поршни≫ имеют вид:

Р0V0 = +

υ2 = ;

Здесь

Р0V0 = νRT0 = U0

U0 - внутренняя энергия газа.

Отсюда кинетические энергии поршней

;

,

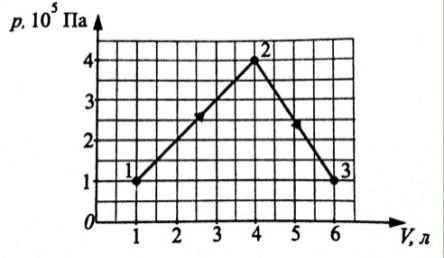
Т.е. Т2 ˃ Т1, поэтому условие невылетания поршня из трубы означает:

L ≤ ,

Где L находится из условия Т2 = FL, т.е.

или

Ответ:

21. Идеальный одноатомный газ совершил процесс, график которого изображен на рисунке. Определите, какое количество теплоты получил газ.

Решение.

1) Запишем первый закон термодинамики:

Q = ΔU + А.

Для изменения внутренней энергии можно записать

ΔU =νRΔT = ( P3V3-P1V1 ) = Р1 ( V3 – V1 ) = 750 Дж

Работа А равна площади под графиком функции Р (V ): А= 1250Дж.

Окончательно имеем Q = 2кДж.

Ответ: 2 кДж.

1. Многоатомный газ, находящийся под давлением 0,10 МПа при температуре 7°С, был изобарно нагрет на 40 К, в результате чего он занял объем 8,0 дм3. Определить количество теплоты, переданное газу.

Ответ: 0,40 кДж.

1. В закрытом сосуде вместимостью 20 дм3 содержится одноатомный газ, плотность которого 0,20 кг/м3. Количество теплоты, необходимое для нагревания газа на 80 К при этих условиях, равно 997 Дж. Найти молярную массу этого газа.

Ответ: 0,004 кг/моль.

1. Газ, для которого = 4/3, находится под давлением *p* = 0,20 МПа и занимает объем *V1* = 3,0 дм3. В результате изобарного нагревания объем его увеличился в 3 раза. Определить количество теплоты, переданное газу.

Ответ: = 4,8 кДж.

1. Закрытый баллон вместимостью 0,80 м3 заполнен азотом под давлением 2,3 МПа при температуре 20°С. Количество теплоты, переданное газу, равно 4,6 МДж. Определить температуру и давление газа в конце процесса.

Ответ: 586 К; 4,6 Мпа.

1. Двухатомный газ находится в закрытом баллоне вместимостью 5,0 дм3 под давлением 0,20 МПа. После нагревания давление в баллоне увеличилось в 4 раза. Определить количество теплоты, переданное газу.

Ответ: 7,5 кДж.

1. В цилиндре диаметром *d* = 40 см содержится двухатомный газ объемом *V* = 80 дм3. На сколько следует увеличить нагрузку поршня при подводе количества теплоты *Q* = 84 Дж, чтобы поршень не пришел в движение?

Ответ: ΔF= 53 Н

1. Изобразить для идеального газа примерные графики изохорного, изобарного, изотермического и адиабатического процессов на диаграммах: а) *p,V*; б) *p,T*; в) *V,T*.
2. Двухатомный газ, находящийся при температуре 250°С, сжимают изотермически так, что его объем уменьшается в 3 раза. Затем газ расширяется адиабатно до начального давления. Найти температуру газа в конце адиабатного расширения.

Ответ: 382 K.

1. В каком случае идеальный газ при одинаковом увеличении объема совершает большую работу: при изобарном, изотермическом или адиабатном процессе?

Ответ: *AP>AT>AS, -* где *AS,*- работа, совершаемая газом при адиабатном процессе.

1. В каком случае над идеальным газом при одинаковой степени его сжатия *n* = совершается большая работа: при изобарном, изотермическом или адиабатном процессе?

Ответ: AS>AT>AP.

1. Кислород массой 64 г нагрели на 20 К при постоянном давлении. Найти работу, совершенную газом.

Ответ: 0,33 кДж.

1. На рисунке 1 даны графики пяти изопроцессов в координатах p, V. Как изменяется внутренняя энергия идеального газа в ходе каждого из процессов?

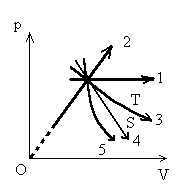
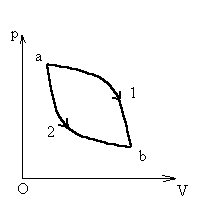
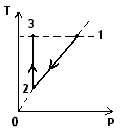


Рис.1

Ответ: 1 и 2 – растет; 3 – постоянна; 4 и 5 - убывает.

34. Идеальный газ некоторой массы переходит из состояния *а* в состояние *b* двумя различными способами: 1 и 2 (см. рис.2). Одинаковы ли в каждом процессе: а) работа, совершаемая газом; б) приращение его внутренней энергии; в) сообщенное газу количество теплоты?

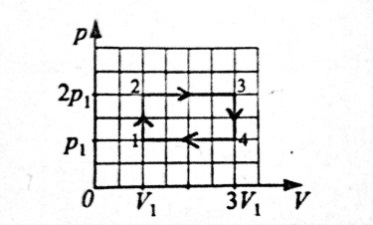
Ответ: а) *А'1>А'2*; б) *ΔU1*= *ΔU2*, в) *Q1*>*Q2* Рис.2.

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

Ответ: 2,5 кДж

Рис.3.

1. **Цикл Карно. КПД цикла Карно.**

1. Найдите КПД цикла, изображенного на рисунке для идеального одноатомного газа.

Решение: КПД цикла

η = -,

где работа определяется как площадь прямоугольника

А= (2Р1- Р1)∙(3V1 – V!) = 2P1V1

Для нахождения затраченного количества теплоты нужно определить, в каких процессах газ получал теплоту. Для этого воспользуемся первым законом термодинамики, формулой для внутренней энергии и уравнением состояния идеального газа: -

Q = ΔU + А.

ΔU = ν RΔT

Р1V1 = ν1RT1,

Процесс 1-2:

ΔU12 ˃ 0, А12  = 0, Q12 ˃ 0

Q12 = ΔU12 = (2P1V1 - P1V1) = Р1V1.

Процесс 2-3:

ΔU23 ˃ 0, А23 ˃ 0, Q23 ˃ 0.

Q23 = (2Р1 3V1 - 2 P1V1) + 2P1 (3V1 – V1) = 10 P1V1.

Процесс 3-4:

ΔU34 ˂ 0, А34  = 0, Q34 0

Процесс 4-1:

ΔU41 ˂ 0, А41  ˂ 0, Q41 0.

Тогда

Q = Q12 + Q23, Q = P1V1.

Искомый КПД = 17%

Ответ: 17%.

2. С одноатомным идеальным газом совершают замкнутый цикл, состоящий из двух изобар (Р1, Р2) и двух изохор (V1, V2).

Чему равен коэффициент полезного действия цикла?

Р2

Р1

V2

Р

V1

V

Решение: Цикл представлен на рисунке. Коэффициент полезного действия замкнутого цикла

η = = .

Работа за цикл

А = (Р2-Р1) (V2-V1 )

Температура в начале цикла

Р1V1 = ν1RT1 ,

а в конце

P2V2 = ν2RT2

Изменение внутренней энергии

ΔU = ν RΔT = (P2V2-P1V1).

Тогда η = 40%.

Ответ: 40%.

3. Температура нагревателя тепловой машины 900 К, температура холодильника на 300 К меньше, чем у нагревателя. Максимально возможный КПД машины равен

1) 3)

2) 4)

Решение. Температура холодильника равна

Тх = Тн – 300К = 900К – 300К = 600К

Максимально возможный КПД тепловой машины равен КПД машины Карно

Ответ: 2

4. В таблице приведена зависимость КПД идеальной тепловой машины от температуры ее нагревателя при неизменной температуре холодильника. Чему равна температура холодильника этой тепловой машины?

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тн, К | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 |
| η, % | 10 | 28 | 40 | 55 | 64 |

1) 360 К

2) 300 К

3) 320 К

4) 380 К

Решение. КПД идеальной машины связан с температурами нагревателя и холодильника соотношением

Отсюда для температуры холодильника имеем:

Используя любой столбик из таблицы, получаем значение температуры

В качестве проверки, можно рассчитать температуру холодильника еще для одной точки:

Результаты совпадают.

Ответ: 1

5. Температура холодильника тепловой машины 400 К, температура нагревателя на 100 К больше, чем у холодильника. Максимально возможный КПД машины равен

1) 3)

2) 4)

Решение. Температура нагревателя равна

Тн = Тх + 100К = 400К + 100К = 500К

Максимально возможный КПД тепловой машины равен КПД машины Карно

Ответ: 1

6. На рисунке схематически показано направление передачи теплоты при работе двух идеальных тепловых машин. У какой из них КПД больше?

1) у первой

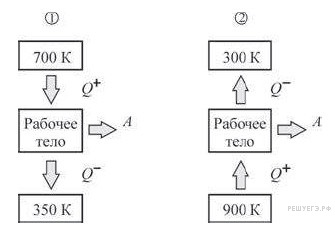
2) у второй

3) у обеих машин КПД одинаков

4) однозначно ответить нельзя

Решение. КПД идеальной тепловой машины зависит только от температур нагревателя и холодильника и дается выражением:

Для первой машины нагреватель схематически изображен сверху, а для второй - снизу.



Таким образом, КПД первой машины равен

КПД второй идеальной тепловой машины:

Таким образом, КПД больше у второй машины.

Ответ: 2

7. Идеальная тепловая машина с КПД = 40% за цикл работы получает от нагревателя 100 Дж. Какую полезную работу машина совершает за цикл?

1) 40 Дж

2) 60 Дж

3) 100 Дж

4) 160 Дж

Решение. КПД тепловой машины связано с количеством теплоты, полученным от нагревателя, и полезной работой за цикл соотношением

Отсюда находим работу, которую машина совершает за цикл:

Ответ: 1

8. Идеальный газ отдал количество теплоты 300 Дж и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 100 Дж. Работа, совершенная газом равна

1) 400 Дж

2) 200 Дж

3) - 400 Дж

4) 200 Дж

Решение. Согласно первому началу термодинамики, тепло, переданное системе, идет на изменение внутренней энергии и совершение работы против внешних сил: Q = ΔU + A. Отсюда находим работу, совершенную газом:

A = Q – ΔU = -300 Дж - 100 Дж = -400 Дж

Ответ: 3

9. Температура нагревателя тепловой машины 900 К, температура холодильника в 3 раза меньше, чем у нагревателя. Максимально возможный КПД машины равен

1) 3)

2) 4)

Решение. Температура холодильника равна

.

Максимально возможный КПД тепловой машины равен КПД машины Карно

Ответ: 4

1. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу *А* = 1,5•105 Дж. Температура нагревателя *Т1* = 400 К, температура холодильника *Т2* = 260К. Найти КПД машины *η*, количество теплоты *Q1*, получаемое машиной за один цикл от нагревателя, и количество теплоты *Q2*, отдаваемое за один цикл холодильнику.

Ответ: 35 %; 429 кДж; 279 кДж.

1. Температура нагревателя тепловой машины *Т1* = 500 К. Температура холодильника *Т2* = 400 К. Определить КПД тепловой машины *η*, работающей по циклу Карно, и полезную мощность машины *N*, если нагреватель ежесекундно передает ей 1675 Дж теплоты.

Ответ: 0,2; 335 Вт.

1. Тепловая машина работает по обратимому циклу Карно. Температура нагревателя Т1 = 227К Определить термический КПД цикла *η* и температуру охладителя тепловой машины *Т2*, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от нагревателя, машина совершает работу 350 Дж.

Ответ: 35%; 325 К.

1. Кислород массой *m* = 1 кг совершает цикл Карно. При изотермическом расширении газа его объем увеличивается в 2 раза, а при последующем адиабатическом расширении совершается работа *А1* = 3000 Дж. Определить работу *А2*, совершенную за цикл.

Ответ: 831,6 Дж

1. Тепловая машина работает по циклу Карно. При изотермическом расширении двухатомного газа его объем увеличивается в 3 раза, а при последующем адиабатическом расширении – в 5 раз. Определить КПД цикла *η*. Какую работу *А* совершает 1 кмоль газа за один цикл, если температура нагревателя *Т1* = 300 К? Какое количество теплоты *Q1*получит от холодильника машина, если она будет совершать тот же цикл в обратном направлении, и какое количество теплоты *Q2*будет передано нагревателю?

Ответ: 47,5%; 1,3 МДж; 2,74 МДж; 1,44 МДж.

1. Тепловая машина работает по циклу Карно. Температура нагревателя *t1* = 127 ºС, холодильника *t2* = 15 ºС. На сколько надо изменить температуру нагревателя (при неизменной температуре холодильника), чтобы увеличить КПД машины в 2 раза?

Ответ: на 255 К.

1. Идеальный газ совершает цикл Карно при температурах теплоприемника *Т2*= 290 К и теплоотдатчика *Т1* = 400 К. Во сколько раз увеличится коэффициент полезного действия *η* цикла, если температура теплоотдатчика возрастет до *Т1****’***= 600 К?

Ответ: 1,87.

1. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура *Т1*теплоотдатчика в четыре раза (*n* = 4) больше температуры теплоприемника *Т2*. Какую долю *ω* количества теплоты, полученного за один цикл от теплоотдатчика, газ отдаст теплоприемнику?

Ответ: 0,75.

1. Определить работу *А2* изотермического сжатия газа, совершающего цикл Карно, КПД которого *η* = 0,4, если работа изотермического расширения равна *А1* = 8 Дж.

Ответ: 4,8 Дж

1. **Энтропия. Второе начало термодинамики**

1. Найти изменение энтропии ΔS при превращении массы m = 10г льда (Т1 = 253К) в пар (Т2 = 373К).

Решение: Изменение энтропии определяется формулой

ΔS = SB – SA = ,

где SA и SB – энтропия в первом и во втором состояниях.

Общее изменение энтропии в данном случае складывается из изменений ее в отдельных процессах.

При нагревании массы m льда от температуры Т1 до температуры Т0 = 273К имеем

dQ = mcлdT,

где сл = 2,1кДж/(кг∙К) – удельная теплоемкость льда, и

ΔS1 = m∙cл∙ln( )

При плавлении массы m льда при температуре Т0 имеем

ʃdQ = mL,

где L = 0,33 МДж/кг – удельная теплота плавления, и

ΔS2 = .

При нагревании массы m воды от температурыТ0 до температуры Т2 имеем

ΔS3 = m∙c∙ln(),

где с =4190Дж/(кг∙К) – удельная теплоемкость воды.

При испарении массы m воды при температуре Т2 имеем

ΔS4 = ,

где r = 2,26МДж/кг – удельная теплота парообразования.

Общее изменение энтропии:

ΔS = m cл∙ln( ) + + m∙c∙ln() + = 88 Дж

Ответ: 88 Дж.

2. Найти изменение энтропии ΔS при переходе массы

m = 8г кислорода от объема V1 = 10л при температуре Т1=353К к объему V2 = 40л при температуре Т2 = 573К.

Решение: Имеем

ΔS = SB – SA = .

По первому закону термодинамики

dQ = + PdV

и уравнению Менделеева – Клапейрона

РV = νRT,

запишем изменение энтропии

ΔS = +

ΔS = R ln + R ln = 5,4Дж/К.

Ответ: 5,4 Дж/К.

1. В результате изотермического расширения объем 8 г кислорода увеличился в 2 раза. Определить ΔS изменение энтропии газа.

Ответ: 1,44 Дж/град.

1. Горячая вода некоторой массы отдает теплоту холодной воде такой же массы, и температуры их становятся одинаковыми. Показать, что энтропия при этом увеличивается.

Ответ: ΔS>0]

1. Как изменится энтропия 2 г водорода, занимающего объем 40 л при температуре 270 К, если давление увеличить вдвое при постоянной температуре и затем повысить температуру до 320 К?

Ответ: (-2,28 Дж/К).

1. При температуре *Т* = 250 К и давлении *р* = 1,013•105 Па двухатомный газ занимает объем *V* = 80 л. Как изменится энтропия газа, если давление увеличить вдвое, а температуру повысить до 300 К?

Ответ: (-1,82 Дж/К)

1. Лед массой *m* = 2 кг, находящийся при температуре *t1* = -13 ºС, нагрели до *t2* = 0 ºС и расплавили. Определить ΔS изменение энтропии.

Ответ: 2,66•103 Дж/К.

1. Лед массой *m* = 2 кг, находящийся при температуре *t* = -10 ºС, нагрели и превратили в пар. Определить ΔS изменение энтропии.

Ответ: 1,73•104 Дж/К

1. Струя водяного пара при температуре *tвп* = 100 ºС, направленная на глыбу льда, масса которого *m1* = 5 кг и температура *tл*= 0ºС, растопила ее и нагрела получившуюся воду до температуры *tв* = 50ºС. Найти массу израсходованного пара *m2*и изменение энтропии ΔSпри описанных процессах.

Ответ: 1,1 кг; 2,337•103 Дж/К.

1. Определить изменение энтропии ΔS при изотермическом расширении водорода массой *m* = 1 г, если объем газа увеличился в 3 раза.

Ответ: 4,56 Дж/К.

1. При изобарном расширении гелия массой *m* = 2 г его объем изменился в 10 раз. Каково изменение энтропии ΔS?

Ответ: 23,9 Дж/К.

1. Найти изменение ΔS энтропии при превращении массы *m* = 10 г льда (*t* = - 20 °С) в пар (*tп*= 100 °С).

Ответ: 88 Дж/К.

1. **НАСЫЩЕННЫЕ И НЕНАСЫЩЕННЫЕ ПАРЫ. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА**

1. В сосуд объёмом V = 10 дм3, наполненный сухим воздухом при давлении P0 = 105 Па и температуре T0 = 273 К, вводят m = 3 г воды. Сосуд нагревают до температуры Т = 373К. Каково давление влажного воздуха в сосуде при этой температуре?

Решение: Давление P влажного воздуха складывается из давлений воздуха и водяного пара:

P = Pв + Рп

В закрытом сосуде давление воздуха пропорционально температуре, т. е.

.

Предположим, что введенная вода вся испарилась, найдем, считая пар идеальным газом, давление паров воды при температуре Т:

Рп = .

Для проверки правильности предположения нужно рассчитать Рп и сравнить полученное значение с давлением насыщенного пара при этой же температуре Т. В нашем случае

Рп = = 5,1∙104 Па,

что меньше Рнас = Р0 = 105 Па. Таким образом, пар не насыщен и давление влажного воздуха

+ Рп = 1,88∙105 Па.

2. В теплоизолированном сосуде находится m = 230г воды при t1 = 20˚С и её насыщенные пары. Из сосуда начали откачивать водяные пары, в результате чего вода закипела и её температура понизилась до t2 = 10˚С. Найдите массу испарившейся воды. При решении задачи считать, что удельная теплота парообразования воды не зависит от температуры, масса испарившейся воды много меньше исходной. Теплоёмкостью сосуда пренебречь.

Решение. Теплота, выделившаяся при охлаждении воды:

Q = m∙c∙(t1- t2).

Теплота, затраченная на испарение воды,

Q = mr

Ответ: 4,2г.

3. Температура некоторой массы воздуха t1 = 20, точка росы t2  = 10˚C. Какова относительная влажность воздуха?

Решение. При охлаждении плотность ρ водяного пара остается постоянной вплоть до начала конденсации, то есть до точки росы. Следовательно,

ρ = ρн2

и

φ = ∙100 = 54

4.В теплой кухне развешено выстиранное белье. На улице моросит холодный осенний дождь. Имеет ли смысл открыть форточку, чтобы белье высохло быстрее?

Решение. Скорость высыхания белья зависит от относительной влажности φ в кухне. На первый взгляд, величина φ увеличится после открывания форточки – ведь снаружи водяной пар близок к насыщению. Однако следует учесть, что в кухне температура существенно выше, а относительная влажность высока. Поэтому здесь парциальное давление пара намного выше, чем снаружи (давление насыщенного пара очень быстро растет с повышением температуры). Значит, при открытой форточке пар будет выходить из кухни и белье будет сохнуть быстрее.

5.При =30˚C относительная влажность воздуха =80%. Какой станет относительная влажность этого же воздуха, если его нагреть при постоянном объеме до = 50˚C?

Решение. Относительная влажность определяется по формуле

φ = ∙100%,

где р –парциальное давление водяного пара при температуре t,

а – давление насыщенного пара при той же температуре.

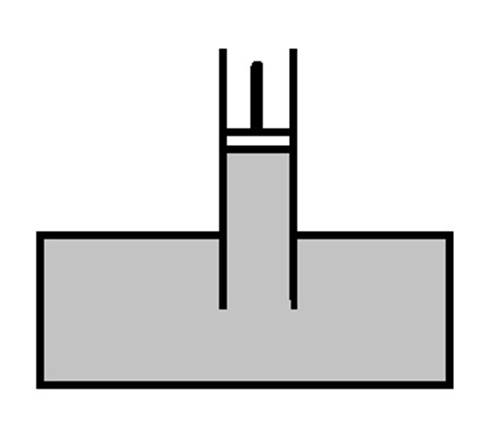
Ненасыщенный водяной пар с хорошей точностью описывается уравнением Менделеева - Клапейрона, поэтому при V = const получаем

*= .*

Отсюда

φ2 = ∙∙= 29%.

6. На какую высоту можно поднять кипящую воду поршневым насосом? Считайте, что вода при подъеме не остынет.



Ра

Ра

Решение. Когда поршень поднимают, между ним и поверхностью жидкости образуется разрежение, и вода поднимается под действием атмосферного давления.

При высокой температуре воды, давлением насыщенного пара пренебрегать нельзя, потому что при повышении температуры его давление быстро возрастает и при кипении становится равным атмосферному. Поэтому кипящую воду насос не поднимет вообще - под поршнем не возникнет разрежение.

7. В помещение нужно подать V = 10000м3  с температурой t1 = 18˚C и относительной влажностью φ1 = 50%.Воздух снаружи имеет температуру t2 = 10˚C и относительной влажностью φ2 = 60%. Осушать или увлажнять придется наружный воздух? Сколько воды придется при этом сконденсировать или испарить?

Решение. Масса водяного пара в помещении

m1 = ρ1V,

в забираемом снаружи воздухе

m2 = ρ2V2,

где V2 – объем забираемого снаружи воздуха равен

V2 = .

При температуре t1 и t2 плотности соответственно равны ρ1 и ρ2. Массу пара в забираемом воздухе следует изменить на

Δm = m1 – m2.

Используя соотношение

φ = ∙100%,

найдем Δm, подставив числа и произведя вычисления.

Δm = 22кг воды нужно испарить, чтобы увлажнить наружний воздух.

Если окажется, что Δm воздух надо не увлажнять, а осушать.

8. В цилиндре под поршнем находится воздух, имеющий температуру t1 = 10˚C и относительную влажность φ1 = 60%.Какой станет относительная влажность этого воздуха после нагревания его до температуры t2 = 100˚C и уменьшения объема втрое? Как изменится ответ, если t1 = 90˚C?

Решение. Поскольку t2 совпадает с температурой кипения воды при нормальном атмосферном давлении ра, давление насыщенного водяного пара при этой температуре рн2 = ра = 101кПа. Из уравнения состояния идеального газа следует:

Р2 = 3р1 ,

где р1 и р2 – начальное и конечное значения парциального давления водяного пара.

Используя дважды соотношение

φ = ∙100%,

находим

φ = φ1 = 2,9%.

При более сильном сжатии или при более высокой начальной температуре полученный по этой формуле ответ может превысить 100%, что на самом деле имеет место при t1 = 90˚C. Это означает, что на самом деле φ = 100% и произошла частичная конденсация пара.

9. При сжатии некоторой порции влажного воздуха его объем уменьшился в четыре раза, а давление возросло в три раза. Когда воздух сжали еще в два раза, давление стало в пять раз больше первоначального. Температура при сжатии оставалась постоянной. Какова была относительная влажность воздуха φ в самом начале?

Решение. Уже при первом сжатии давление выросло менее, чем в четыре раза, - значит, пар стал насыщенным и произошла частичная его конденсация. Поэтому давление пара рн после первого и второго сжатия одинаково. Обозначим начальное парциальное давление пара рп,, а воздуха рв. Парциальное давление воздуха изменялось при изотермическом сжатии обратно пропорционально объему: после первого сжатия оно стало равным4рв, а после второго 8рв. Полное давление влажного воздуха сначала равнялось рп + рв, после первого сжатия стало рн + 4рв, а после второго рн + 8рв. Согласно условию

рн + 4рв = 3рп + 3рв,

рн + 8рв = 5рп + 5рв.

Исключая из этих уравнений рв, находим рн = 2рп.

Отсюда

φ = ∙100%, = 50%

Ответ: 50%

10. При одинаковой температуре 100˚С давление насыщенных паров воды равно 105Па, аммиака - 59∙105 Па и ртути – 37Па. В каком из вариантов ответа эти вещества расположены в порядке убывания температуры их кипения в открытом сосуде?

Решение. Жидкость кипит при условии, что давление насыщенных паров равно атмосферному давлению.

Давление паров воды равно атмосферному давлению, значит, она кипит при заданной температуре.

Давление паров аммиака значительно больше атмосферного, следовательно, его температура кипения ниже заданной

Давление паров ртути ниже атмосферного, поэтому температура ее кипения будет выше заданной.

11. Как изменится давление насыщенного пара при повышении его абсолютной температуры в 2 раза?

а) увеличится в 2 раза

б) уменьшится в 2 раза

в) не изменится

г) увеличится более чем в 2 раза.

Ответ: увеличится более чем в 2 раза, так как при нагревании насыщенного пара увеличивается как температура, так и концентрация молекул. Это следует из выражения:

Р = nkT

12. Насыщенный пар сжали, уменьшив его объем в 2 раза при постоянной температуре. При этом давление насыщенного пара

а) уменьшилось в 2 раза

б) увеличилось в 2 раза

в) увеличилось более чем в 2 раза

г) не изменилось

Ответ: не изменилось, так как при уменьшении объема часть пара конденсируется, и концентрация пара не изменяется.

13. 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.

Решение:

1. Влажность воздуха будет оставаться равной 100% до того момента, когда вся вода испарится. По мере дальнейшего увеличения объема воздуха его влажность будет снижаться.

2. Влажность воздуха определяется отношением концентрации молекул воды к концентрации насыщенного водяного пара при той же температуре:

.

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 (пара) при проведении опыта приводит к тому, что в этом процессе динамическое равновесие между паром 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.

14. В сосуде с подвижным поршнем находятся вода и её насыщенный пар. Объём пара изотермически уменьшили в 2 раза. Концентрация молекул пара при этом

1) уменьшилась в 2 раза

2) не изменилась

3) увеличилась в 2 раза

4) увеличилась в 4 раза

Решение. Насыщенный пар — это пар, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью того же состава. Равновесие устанавливается, когда среднее количество молекул, покидающих жидкость в единицу времени, сравнивается с средним числом молекул, конденсирующих обратно. При этом концентрация насыщенного пара зависит только от вещества и от температуры системы. Поэтому в результате изотермического уменьшения объема в два раза половина пара сконденсирует в жидкость. Концентрация же насыщенного пара останется неизменной.

Ответ: 2

15. Давление пара в помещении при температуре 5˚С равно 756 Па. Давление насыщенного пара при этой же температуре равно 880 Па. Относительная влажность воздуха равна (ответ округлить до целых)

1) 1%

2) 60%

3) 86%

4) 100%

Решение. Относительная влажность воздуха определяется следующим образом:

где Р - давление пара в помещении,

а Рн.п. — давление насыщенного пара при той же температуре (эта величина зависит только от температуры воздуха в сосуде).

Таким образом, относительная влажность воздуха в помещении равна

Ответ: 3

16. В закрытом сосуде находятся водяной пар и некоторое количество воды. Как изменятся при изотермическом уменьшении объема сосуда следующие три величины: давление в сосуде, масса воды, масса пара? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличится;

2) уменьшится;

3) не изменится.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Давление в сосуде | Масса воды | Масса пара |
|  |  |  |

Пояснение. Ключом к пониманию этого задания является определение понятия насыщенного водяного пара. По определению это такой пар, который находится в динамическом равновесии с жидкостью. При изотермическом уменьшении объема сосуда с водяным паром динамическое равновесие сохранится, но при этом часть водяного пара сконденсируется.

Решение. В закрытом сосуде над поверхностью жидкости находится насыщенный водяной пар, то есть пар, который находится в динамическом равновесии с жидкостью. Процесс испарения с поверхности жидкости уравновешен обратным процессом конденсации пара. Концентрация насыщенного водяного пара определяется только температурой. При изотермическом процессе динамическое равновесие сохранится. Так как температура не изменяется, концентрация пара будет оставаться постоянной. Поскольку объем уменьшается, часть пара сконденсируется. Следовательно, в результате уменьшения объема сосуда масса пара уменьшится, а масса воды увеличится. Насыщенный пар можно считать идеальным газом, а значит для него выполняется уравнение состояния *P = nkT*. Поскольку ни температура, ни концентрация не изменяются, не будет изменяться и давление в сосуде.

Ответ: 312

17. Относительная влажность воздуха в цилиндре под поршнем равна 50%. Воздух изотермически сжали, уменьшив его объем в 3 раза. Относительная влажность воздуха стала

1) 150%

2)100%

3)50%

4) 25%.

18. Определить плотность *ρ* насыщенного водяного пара в воздухе при температуре *Т =* 300 К. Давление *р* насыщенного водяного пара при этой температуре равно 3,55 кПа.

Ответ: 25,6 г/м3.

19. Какому внешнему воздействию подвергнут насыщенный пар, если он стал ненасыщенным?

Решение. Так как насыщенный пар стал ненасыщенным, то под действием внешнего воздействия:

а) его объем увеличился (давление уменьшилось);

б) его температура повысилась;

в) одновременно увеличился его объем и повысилась температура.

20. Какому внешнему воздействию нужно подвергнуть ненасыщенный пар, чтобы он стал насыщенным?

Решение. Чтобы ненасыщенный пар стал насыщенным, необходимо:

а) уменьшить его объем (увеличить давление);

б) понизить его температуру;

в) одновременно уменьшить его объем и понизить температуру.

21.Почему давление насыщенного пара зависит от температуры?

Решение. Давление газа или пара зависит от скорости движения молекул. При повышении температуры пара увеличивается кинетическая энергия его молекул и, следовательно, увеличивается давление пара. Это следует из основного уравнения кинетической теории газа Р = knT. Однако эта зависимость не прямо пропорциональная, так как при повышении температуры одновременно увеличивается плотность и, следовательно, увеличивается концентрация молекул пара. Таким образом, при повышении температуры давление насыщенного пара растет не только из-за увеличения кинетической энергии молекул, но и вследствие увеличения концентрации молекул пара.

22. Почему давление насыщенного пара при постоянной температуре не зависит от его объема?

Решение. Концентрация молекул в единице объема насыщенного пара данной жидкости постоянная при неизменной температуре. Необходимым условием одновременного существования двух фаз жидкость-пар является динамическое равновесие числа молекул, переходящих из жидкости в пар и из пара в жидкость. При увеличении объема насыщенного пара нарушается динамическое равновесие, увеличивается число молекул, переходящих из жидкости в пар до тех пор, пока не установится динамическое равновесие и не восстановится прежняя концентрация молекул пара в единице объема. В этом случае жидкость испаряется, ее масса уменьшается.

При уменьшении объема насыщенного пара также происходит нарушение динамического равновесия, но в этом случае увеличивается число молекул, переходящих из пара в жидкость до тех пор, пока не восстановится прежняя концентрация молекул пара в единице объема. В этом случае пары конденсируются, масса жидкости увеличивается. Итак, при изменении объема насыщенного пара концентрация его молекул остается постоянной и, следовательно, остается постоянным давление Р = n∙k∙T, потому что k, n, T- постоянные параметры. Отсюда следует, что давление насыщенных паров не зависит от их объемов.

23. Смешали V1 = 2м3 воздуха с относительной влажностью 30% с V2 = 4м3 воздуха с относительной влажностью = 50%. Образовавшуюся смесь поместили в сосуд объемом V = 5м3. Определить относительную влажность образовавшейся смеси. Процесс изотермический.

Ответ: 52%.

24. Влажный термометр психрометра Августа показывает = 10˚C, а сухой показывает = 14˚C. Найти парциальное давление Р водяного пара в комнате и плотность этого пара ρ(то есть абсолютную влажность в этой комнате).

Ответ: Р = 960Па, ρ = 7,26г/м3.

25. Температура воздуха вечером была = 16˚C, а относительная влажность = 65%. Ночью температура воздуха понизилась до = 4˚C. Была ли роса? Если была, то какая масса m водяного пара сконденсировалась при понижении температуры до 4˚С из объема V = 4м3 воздуха?

Пояснение: в задаче просят найти точку росы . Потому что, определив точку росы, то есть температуру, при которой водяной пар, бывший при 16˚С ненасыщенным, становится насыщенным, мы сможем сравнить эту точку росы с температурой = 4˚C, до которой ночью остыл воздух. И если точка росы окажется ниже 4˚С, значит, в воздухе пар еще не остыл до состояния насыщения и росы не было. А если точка росы выше 4˚С, то пар сконденсировался и выпал в виде росы.

Ответ: роса была, m = 9,76 г

1. **поверхностное натяжение.**

1. Найдите давление воздуха внутри мыльного пузыря радиусом R. Давление воздуха вне пузыря Р0, поверхностное натяжение мыльной пленки σ.

Решение. Давление внутри мыльной пленки (смотрите рисунок, на котором толщина пленки намеренно преувеличена)

R-h

P

P1

P0

R

Р1 = Р0 + ;

давление же внутри пузыря

Р = Р1 + .

Толщина h стенки мыльного пузыря ничтожно мала, поэтому

Р = Р0 + .

Избыточное давление в мыльном пузыре вдвое больше, чем внутри воздушного пузырька того же радиуса в мыльной воде, потому что в мыльном пузыре избыточное давление создается двумя поверхностями: внешней и внутренней.

2. Изменится ли высота подъема воды в капилляре, если его внести в безвоздушное пространство?

Решение. В этом случае над водой не будет водяных паров и усиленное испарение понизит температуру воды. Поверхностное натяжение увеличится, и уровень воды в капилляре повысится.

3. Действительно ли нельзя носить воду в решете? Пусть тонкие нити решета протянуты на расстоянии d = 1,0мм друг от друга. Сколько воды можно унести в таком круглом решете радиусом r = 10cм? Считайте, что нити водой не смачиваются.

Решение. Вода не будет выливаться из решета, если равнодействующая сил поверхностного натяжения компенсирует силу тяжести. Рассмотрим столб воды, в основании которого- квадратик, образованный нитями решета. При максимально возможной высоте h слоя воды силы поверхностного напряжения направлены вверх, и их равнодействующая равна 4σd. Она уравновешивает силу тяжести столба воды ρd2gh. Отсюда

h = = 3см,

тогда масса воды

m = πr2hρ .1(кг)

4.Стеклянная капиллярная трубка с очень тонкими стенками подвешена вертикально к чашке рычажных весов. Весы уравновешены. К трубке подносят снизу сосуд с водой так, что поверхность воды касается капилляра. Чтобы восстановить равновесие, пришлось увеличивать груз на другой чашке весов на m = 0,14г. Найдите радиус r = .капилляра Решение. Силы поверхностного натяжения тянут капиллярную трубку вниз. Они приложены к внутренней и внешней поверхностям по окружностям радиуса r, поэтому полная длина линии, вдоль которой действует сила поверхностного натяжения F, равная 4πr. Следовательно,

F = 4πr∙σ.

С другой стороны, согласно условию

F = mg,

отсюда

r = .= 1,5мм.

5. Оцените максимальный размер капель воды, которые могут висеть на потолке.

Решение. Для грубой оценки можно принять, что висящая на потолке капля имеет форму полушара радиусом r.Тогда удерживающая каплю сила поверхностного натяжения равна σ∙2πr,а сила тяжести капли

mg = ρ) r2g,

откуда r = 4,7мм.

6. Почему падающая струя воды всегда разрывается на капли? Нельзя ли, устранив возможные сотрясения, неограниченно увеличивать длину струи?

Решение. Из-за увеличения скорости воды при падении струя воды будет становиться все тоньше. Но когда она станет слишком тонкой, силы поверхностного натяжения в стремлении уменьшить площадь поверхности разорвут струю на отдельные капли.

7. Для удаления жирных пятен материю проглаживают утюгом, подложив под неё лист бумаги. Почему расплавленный жир впитывается в бумагу, а не расходится по материи? Решение. Жир смачивает материю и бумагу. Поэтому расплавленный горячим утюгом жир втягивается в капилляры- тем сильнее, чем тоньше эти капилляры. В бумаге же капилляры тоньше, чем в материи. Кроме того, играет роль и то, что бумага нагрета меньше, чем ткань.

8. Найти добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром d = 10 см. Какую работу нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь?

Решение. Пленка мыльного пузыря имеет две сферические поверности: внешнюю и внутреннюю. Обе поверхности оказывают давление на воздух, заключенный внутри пузыря. Так как толщина пленки чрезвычайно мала, то диаметры обеих поверхностей практически одинаковы. Поэтому добавочное давление

Р = 2∙,

где r – радиус пузыря.

Так как

r =,

то

Р = .

Работу, которую нужно совершить, чтобы растягивая пленку, увеличить ее поверхность на ΔS, выражается формулой

А =

А = 0).

В данном случае S – общая площадь двух сферических поверхностей пленки мыльного пузыря;

S0 – общая площадь двух поверхностей плоской пленки, затягивавшей отверстие трубки до выдувания пузыря.

Пренебрегая S0, получаем

А = = 2d2,

Произведем вычисления: Р = 3,2 Па, А = 2,5мДж.

Ответ: Р = 3,2Па; А = 2,5мДж.

1. Как изменится высота поднятия спирта между двумя пластинками, погруженными в спирт, если расстояние между ними уменьшить с 1 мм до 0,5 мм? Смачивание пластинок считать полным.

Ответ: 5,61•10-3 м.

1. Из капиллярной трубки с радиусом канала *r* = 0,2 мм по капле вытекает жидкость. Масса 100 капель равна *m* = 0,282 г. Определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

Ответ: 2,2•10-2 Н/м.

1. Найти добавочное давление *p* внутри мыльного пузыря диаметром *d* = 10 см. Какую работу *А* нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь?

Ответ: 3,2 Па; 2,5•10-3 Дж

1. Определить коэффициент поверхностного натяжения *σ* масла, плотность которого *ρ* = 910 кг/м3, если при пропускании масла через пипетку объемом *V* = 4,0•10-6 м3 получилось 304 капли. Диаметр шейки пипетки *d* = 1,2•10-3м.

Ответ: 3,1•10-2 Н/м.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Трофимова Т.И. Краткий курс физики: учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 2009. - 352 с.
2. Бахтин Н.А. Физика: учебное пособие. Часть 1: Механика Н.А. Бахтин, А.М. Осинцев; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2008. – 176с.
3. Чертов А. Г. Задачник по физике: учеб. пособие для втузов / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2006. – 640 с.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособие для втузов. – М.: СпецЛит, 2001. - 166 с.
5. Касаткина И. Л. Практикум по общей физике: Ростов-на-Дону,Феникс, 2009 -557 с.
6. Гельфгат И. М. Решения ключевых задач по физике для профильной школы: – Москва: Илекса, 2013 -287 с.

7. Монастырский Л.М. Физика. Подготовка к ЕГЭ – 2014.Ростов – на – Дону: Легион. 2014 – 303с.

8. Бахтин Н.А., Осинцев А.М. Физика: курс лекций для студентов вузов. Часть 3. Строение и свойства вещества. Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2012. – 191с.

Приложение

Таблица 1

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Множитель | Приставка | | Пример | Множитель | Приставка | | Пример |
| наименование | обозначение | наименование | обозначение |
| 1018 | экса | Э | Эксаметр Эм | 10-1 | деци | д | Дециметр дм |
| 1015 | пета | П | Петагерц ПГц | 10-2 | санти | с | Сантиметр см |
| 1012 | тера | Т | Тераджоул ТДж | 10-3 | милли | м | Миллиампер мА |
| 109 | гига | Г | Гиганьютон ГН | 10-6 | микро | мк | Микровольт мкВ |
| 106 | мега | М | Мегаом МОм | 10-9 | нано | н | Наносекунда нс |
| 103 | кило | К | Километр км | 10-12 | пико | п | Пикофарад пф |
| 102 | гекто | Г | Гектоватт гВ | 10-15 | фемто | ф | Фемтограмм фг |
| 101 | дека | Да | Декалитр дал | 10-18 | атто | а | Аттокулон аКл |

Таблица 2

Фундаментальные физические константы

|  |  |
| --- | --- |
| Гравитационная постоянная | *G*=6,6720∙10-11Н∙м2/кг2 |
| Скорость света в вакууме | *с*=2,99792458∙108м/с |
| Магнитная постоянная | μ0=12,5663706144∙10-7Гн/м |
| Электрическая постоянная | ε0=8,85418782∙10-12Ф/м |
| Постоянная Планка | *h*=6,626176∙10-34Дж∙с |
| Масса покоя электрона | *me*=9,109534∙10-31кг |
| Масса покоя протона | *mP*=1,6726485∙10-27кг |
| Масса покоя нейтрона | *mn*=1,6749543∙10-27кг |
| Отношение массы протона к массе электрона | *mP/me*=1836,15152 |
| Элементарный заряд | *e*=1,6021892∙10-19Кл |
| Отношение заряда электрона к его массе | *e/me*=1,7588047∙1011Кл/кг |
| Атомная единица массы | 1 *а.е.м*.=1,6605655∙10-27кг |
| Постоянная Авогадро | *NА*=6,022045∙1023моль-1 |
| Постоянная Фарадея | *F*=96,48456∙103Кл/моль |
| Молярная газовая постоянная | *R*=8,31441Дж/(моль∙К) |
| Молярный объем идеального газа | *V0*=22,41383∙10-3м3/моль |
| Постоянная Больцмана | *k*=1,380662∙10-23Дж/К |

Таблица 3

Астрономические постоянные

|  |  |
| --- | --- |
| Радиус Земли | 6,378164∙106м |
| Средняя плотность Земли | 5,518∙103кг/м3 |
| Масса Земли | 5,976∙1024кг |
| Радиус Солнца | 6,9599∙108м |
| Масса Солнца | 1,989∙1030кг |
| Радиус Луны | 1,737∙106м |
| Масса Луны | 7,35∙1022кг |
| Среднее расстояние до Луны | 3,844∙108м |
| Среднее расстояние до Солнца  (астрономическая единица) | 1,49598∙1011м |
| Период обращения Луны вокруг Земли | 27сут 7ч 43мин |
| Средняя плотность Солнца | 1,41∙103 кг/м3 |

Таблица 4

Критические значения *ТК* и *рК*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вещество | ТК, К | рК, МПа | Вещество | ТК, К | рК, МПа |
| Водяной пар | 647 | 22,0 | Азот | 126 | 3,4 |
| Углекислый газ | 304 | 7,38 | Водород | 33 | 1,3 |
| Кислород | 154 | 5,07 | Гелий | 5,2 | 0,23 |
| Аргон | 151 | 4,87 |  |  |  |

Таблица 5

Давление водяного пара, насыщающего пространство при разных температурах

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, OC | pn, Па | t, OC | pn, Па | t, OC | pn, Па |
| -5 | 400 | 8 | 1070 | 40 | 7335 |
| 0 | 609 | 9 | 1145 | 50 | 12302 |
| 1 | 656 | 10 | 1225 | 60 | 19817 |
| 2 | 704 | 12 | 1396 | 70 | 31122 |
| 3 | 757 | 14 | 1596 | 80 | 47215 |
| 4 | 811 | 16 | 1809 | 90 | 69958 |
| 5 | 870 | 20 | 2328 | 100 | 101080 |
| 6 | 932 | 25 | 3165 | 150 | 486240 |
| 7 | 1025 | 30 | 4229 | 200 | 1549890 |

Таблица 6

Удельная теплота парообразования воды при разных температурах

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *t,* OC | 0 | 50 | 100 | 200 |
| r, МДж/кг | 2,49 | 2,38 | 2,26 | 1,94 |

Таблица 7

Эффективный диаметр молекул, динамическая вязкость и теплопроводность газов при нормальных условиях

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Эффективный диаметр *d* нм | Динамическая вязкость *η* мкПа∙с | Теплопроводность  *χ*, мВт/(м∙К) |
| Азот | 0,38 | 16,6 | 24,3 |
| Аргон | 0,35 | 21,5 | 16,2 |
| Водород | 0,28 | 8,66 | 168 |
| Воздух | 0,27 | 17,2 | 24,1 |
| Гелий | 0,22 | 18,9 | 142 |
| Кислород | 0,36 | 19,8 | 24,4 |
| Пары воды | 0,30 | 8,32 | 15,8 |

Таблица 8

Критические параметры и поправки Ван-дер-Ваальса

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Газ | Критическая температура *Т*кр, *К* | Критическое давление *р*кр, МПа | Поправки Ван-дер-Ваальса | |
| *а,*  Н∙м4 /моль2 | *b*, 10-5 м3/моль |
| Азот | 126 | 3,39 | 0,135 | 3,86 |
| Аргон | 151 | 4,86 | 0,134 | 3,22 |
| Водяной пар | 647 | 22,1 | 0,545 | 3,04 |
| Кислород | 155 | 5,08 | 0,136 | 3,17 |
| Неон | 44,4 | 2,72 | 0,209 | 1,70 |
| Углекислый газ | 304 | 7,38 | 0,361 | 4,28 |
| Хлор | 417 | 7,17 | 0,650 | 5,62 |

Таблица 9

Свойства некоторых жидкостей (при 200С)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Плотность, 103кг/м3 | Удельная теплоемкость, Дж/(кг∙К) | Поверхностное натяжение, Н/м |
| Бензол | 0,88 | 1720 | 0,03 |
| Вода | 1,00 | 4190 | 0,073 |
| Глицерин | 1,20 | 2430 | 0,064 |
| Продолжение таблицы 9 | | | |
| Свойства некоторых жидкостей (при 200С) | | | |
|  | | | |
| Вещество | Плотность, 103кг/м3 | Удельная теплоемкость, Дж/(кг∙К) | Поверхностное натяжение, Н/м |
| Касторовое масло | 0,90 | 1800 | 0,035 |
| Керосин | 0,80 | 2140 | 0,03 |
| Ртуть | 13,60 | 138 | 0,5 |
| Спирт | 0,79 | 2510 | 0,02 |

Таблица 10

Свойства некоторых твердых тел

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Плотность, 103кг/м3 | Температура плавления, 0С | Удельная теплоемкость, Дж/(кг∙К) | Удельная теплота плавления, кДж/кг | Температурный коэффициент лишнего расширения, 10-5, К-1 |
| Алюминий | 2,6 | 659 | 896 | 322 | 2,3 |
| Железо | 7,9 | 1530 | 500 | 272 | 1,2 |
| Латунь | 8,4 | 900 | 386 |  | 1,9 |
| Лед | 0,9 | 0 | 2100 | 335 |  |
| Медь | 8,6 | 1100 | 395 | 176 | 1,6 |
| Олово | 7,2 | 232 | 230 | 58,6 | 2,7 |
| Платина | 21,4 | 1770 | 117 | 113 | 0,89 |
| Пробка | 0,2 |  | 2050 |  |  |
| Свинец | 11,3 | 327 | 126 | 22,6 | 2,9 |
| Серебро | 10,5 | 960 | 234 | 88 | 1,9 |
| Сталь | 7,7 | 1300 | 460 |  | 1,06 |
| Цинк | 7,0 | 420 | 391 | 117 | 2,9 |

Таблица 11

Плотность *ρ* газов при нормальных условиях (кг/м3)

|  |  |
| --- | --- |
| Азот | 1,25 |
| Аргон | 1,78 |
| Водород | 0,09 |
| Воздух | 1,29 |
| Гелий | 0,18 |
| Кислород | 1,43 |

Таблица 12

Динамическая вязкость жидкостей при 20ºС (мПа∙с)

|  |  |
| --- | --- |
| Вода | 1,00 |
| Глицерин | 1480 |
| Масло касторовое | 987 |
| Масло машинное | 100 |
| Ртуть | 1,58 |

Таблица 13

Коэффициент поверхностного натяжения *σ* жидкостей при 20ºС (мН/м)

|  |  |
| --- | --- |
| Вода | 73 |
| Глицерин | 62 |
| Мыльная вода | 40 |
| Ртуть | 5,0 102 |
| Спирт | 22 |

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| Предисловие…………………………………………………..  Физические основы молекулярно-кинетической теории и термодинамики……………………………………………...   1. Уравнение газового состояния…………………….…… 2. Молекулярно-кинетическая теория газов…………… 3. Распределение Больцмана………………………........ 4. Длина свободного пробега *λ* и число столкновений молекул……………………………………………………… 5. Явления переноса…....................................................... 6. Теплоемкость идеального газа……………………….. 7. Первое начало термодинамики………………………. 8. Цикл Карно. КПД цикла Карно…………………….... 9. Энтропия. Второе начало термодинамики…………. 10. Насыщенные и ненасыщенные пары.   Влажность воздуха ……………………………………..…..   1. Поверхностное натяжение………………………….....   Список рекомендуемой литературы………………………...  Приложение………………………………………………….. | 3  4  10  23  32  34  37  41  47  60  60  68  71  83  87  88 |