

Учреждение образования  
«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»

Кафедра общей и теоретической физики

# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Методические указания  
для студентов специальностей  
«*Компьютерная физика*»,  
«*Физика и информатика*»  
физико-математического факультета университета

Брест  
БрГУ имени А.С. Пушкина  
2016



Начало

Содержание



Страница 1 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

УДК 536.7:539.1  
ББК 22.3

*Рекомендовано редакционно-издательским советом  
Учреждения образования  
«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»*

*Составитель*

доктор физико-математических наук, профессор

**А. Ф. Ревинский**

*Рецензент*

кандидат физико-математических наук, доцент

**В. С. Секержицкий**

**Молекулярная физика и термодинамика** : методические указания для студ. специальностей «Компьютерная физика», «Физика и информатика» физико-математич. фак-та ун-та / Сост. А. Ф. Ревинский, Брест. гос. ун-т. – Брест : Изд-во БрГУ, 2016. – 45 с.

В методических указаниях, предназначенных для практических занятий по курсу общей физики (раздел «Молекулярная физика и термодинамика») и составленных в соответствии с действующей программой для каждого занятия указаны контрольные вопросы, изучение которых необходимо при подготовке к очередному занятию. Предлагаемые задачи планируется решать частично в аудитории, а некоторые – в домашних условиях.

Адресуются студентам физико-математического факультета университета.

УДК 531.7:539.1

ББК 22.3

© УО «Брестский государственный университет  
имени А.С. Пушкина», 2016



Начало

Содержание



Страница 2 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

## СОДЕРЖАНИЕ

Занятие № 1. Тема: Законы идеального газа . . . . .	5
Занятие № 2. Тема: Уравнение состояния идеального газа . . . . .	7
Занятие № 3. Тема: Законы идеального газа применительно к смесям газов . . . . .	9
Занятие № 4. Тема: Кинетическая теория газов . . . . .	10
Занятие № 5. Тема: Распределение Максвелла . . . . .	11
Занятие № 6. Тема: Распределение Больцмана. Барометрическая формула . . . . .	12
Занятие № 7. Тема: Средняя длина свободного пробега и среднее число столкновений молекул . . . . .	14
Занятие № 8. Тема: Законы идеального газа . . . . .	15
Занятие № 9. Тема: Теплоемкость . . . . .	17
Занятие № 10. Тема: Теплообмен . . . . .	18
Занятие № 11. Тема: Первый закон термодинамики . . . . .	20
Занятие № 12. Тема: Первый закон термодинамики . . . . .	22
Занятие № 13. Тема: Цикл Карно. Обратимые и необратимые процессы	24
Занятие № 14. Тема: Двигатели внутреннего сгорания. Холодильные машины . . . . .	26
Занятие № 15. Тема: Расчет изменения энтропии. Принцип возрастания энтропии . . . . .	28
Занятие № 16. Тема: Реальный газ . . . . .	30
Занятие № 17. Тема: Жидкости (поверхностное натяжение) . . . . .	31
Занятие № 18. Тема: Жидкости (капиллярные явления) . . . . .	33
Занятие № 19. Тема: Насыщенный и ненасыщенный пар. Влажность . . . . .	35
Занятие № 20. Тема: Основы симметрии кристаллов. Кристалльные решетки . . . . .	37



Начало

Содержание



Страница 3 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть

Занятие № 21. Тема: Фазовые превращения . . . . . 39  
Список используемой литературы . . . . . 45



*Начало*

*Содержание*



*Страница 4 из 45*

*Назад*

*На весь экран*

*Закреть*

## Занятие № 1

### Тема: Законы идеального газа

#### Вопросы:

1. Какой газ называется идеальным?
2. Сформулировать законы Бойля-Мариотта, Шарля и Гей-Люссака.
3. Представить данные законы графически.

#### Задачи:

1. Цилиндрическая пипетка длиной  $l$  наполовину погружена в ртуть. Ее закрывают пальцем и вынимают. Часть ртути вытекает. Какой длины столбик останется в пипетке? Атмосферное давление  $P_0$ .
2. Посередине откачанного и запаянного с обоих концов горизонтального капилляра находится столбик ртути длиной  $l = 0,2\text{м}$ . Если капилляр поставить вертикально, то столбик ртути переместится на  $x = 10\text{см}$ . До какого давления был откачан капилляр? Длина капилляра  $L = 1\text{м}$ .
3. Объем пузырька воздуха по мере всплывания его со дна озера на поверхность увеличивается в 3 раза. Какова глубина озера?
4. При нагревании газа при постоянном объеме на  $1\text{К}$  давление увеличилось на  $0,2\%$ . При какой начальной температуре находился газ?
5. Запаянная с одного конца цилиндрическая трубка длиной  $L$  погружается в воду до тех пор, пока ее запаянный конец не окажется на одном уровне с поверхностью воды (**рисунок 1**). Когда температура воздуха в трубке и воды уравнилась, оказалось, что вода в трубке поднялась на высоту  $2/3 L$ . Найти начальную температуру воздуха в трубке, если температура воды  $T$ , а атмосферное давление  $P_0$ .



Начало

Содержание



Страница 5 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

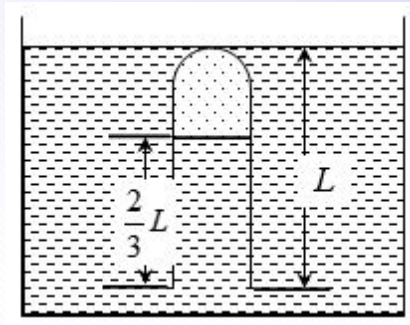


Рисунок 1

6. При нагревании газа на  $\Delta t = 1^\circ$  при постоянном давлении объем его увеличился в два раза. В каком интервале температур происходило нагревание?
7. Фабричная труба высотой  $l = 50\text{м}$  выносит дым при температуре  $t_1 = 60\text{С}$ . Определить статическое давление  $\Delta P$ , производящее тягу в трубе. Температура воздуха  $t_2 = -10\text{С}$ . Плотность воздуха при  $t = 0\text{С}$ ,  $\rho_0 = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ .
8. Газ нагрет от температуры  $t_1 = 27^\circ$  до  $t_2 = 39^\circ\text{С}$ . На сколько процентов увеличился объем, если давление осталось неизменным?



Начало

Содержание



Страница 6 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

## Занятие № 2

### Тема: Тема: Уравнение состояния идеального газа

#### Вопросы:

1. Получить уравнение состояния идеального газа при использовании объединенного газового закона.
2. Дать определение моля газа.
3. Как определить массу моля любого вещества?

#### Задачи:

1. В барометрическую трубку при нормальных условиях попал воздух, вследствие чего барометр показал давление  $0,1 \text{ МПа}$ . Какова плотность воздуха над ртутью?
2. В баллоне находилось  $10 \text{ кг}$  газа при  $P = 10^5 \text{ Па}$ . Найти, какую массу газа взяли из баллона, если окончательное давление стало равным  $0,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Температура постоянная.
3. Рассчитать плотность пропана ( $C_3H_8$ ) при нормальных условиях. Сравнить полученную плотность с плотностью воздуха для тех же условий. В какой части дома будет собираться пропан в случае утечки?
4. Тонкостенный химический стакан вместимостью  $300 \text{ см}^3$  и массой  $100 \text{ г}$  погружают в воду, держа его вверх дном. На какой минимальной глубине он перестанет всплывать и начнет погружаться? Атмосферное давление нормальное, изменение температуры воды с глубиной не учитывать.
5. Вычислить массу воздуха в учебной аудитории  $50 \text{ м} \times 40 \text{ м} \times 5 \text{ м}$  при нормальных условиях. Сколько молекул воздуха находится в аудитории?
6. Газ при температуре  $t = 10^\circ \text{C}$  и под давлением  $P = 200 \text{ кПа}$  имеет плотность  $\rho = 0,34 \text{ кг/м}^3$ . Какой это газ? См. Табл. 1
7. Современные вакуумные насосы создают разрежение с давлением  $P = 9 \cdot 10^{-14} \text{ атм}$ . Найти концентрацию разреженного газа при  $t = 0^\circ \text{C}$ .



Начало

Содержание



Страница 7 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

8. Определить наименьшее возможное давление идеального газа в процессе, происходящем по закону  $T = T_0 + \alpha V^2$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  – положительные постоянные,  $V$  – объем одного моля газа. См. Табл. 2
9. В учебной аудитории  $7\text{ м} \times 3\text{ м} \times 2,5\text{ м}$  при неаккуратном измерении был разбит ртутный термометр. При этом испарилось  $2\text{ г}$  ртути. Найти концентрацию паров ртути в лаборатории.
10. В лазерном термоядерном синтезе крошечная таблетка дейтерия сжимается до концентрации  $n = 10^{33}\text{ м}^{-3}$  при температуре  $T = 5 \cdot 10^7\text{ К}$ . Найти давление дейтерия внутри таблетки.



Начало

Содержание



Страница 8 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть



## Занятие № 3

### Тема: Законы идеального газа применительно к смесям газов

#### Вопросы:

1. Дать определение парциального давления.
2. Сформулировать закон Дальтона.

#### Задачи:

1. Гремучим газом называется смесь одной весовой части водорода и восьми весовых частей кислорода. Определить плотность гремучего газа при нормальных условиях. В какой части помещения собирается данный газ? См. Табл. 1
2. Приняв, что воздух по весу состоит из 76% азота, 23% кислорода и 1% аргона, найти массу 1 кмольа воздуха. См. Табл. 1
3. Баллон объемом  $V = 30\text{ л}$  содержит смесь водорода и гелия при температуре  $T = 300\text{ К}$  и давлении  $P = 828\text{ кПа}$ . Масса смеси равна 24 г. Определить массу водорода и гелия. См. Табл. 1
4. В баллоне объемом  $14\text{ дм}^3$  находится 64г смеси гелия с кислородом при температуре  $7\text{ С}$  и давлении  $1.2\text{ МПа}$ . Найти парциальные давления гелия и кислорода.
5. Газовая смесь, состоящая из кислорода и азота, находится в баллоне под давлением  $P = 10\text{ атм}$ . Считая, что масса кислорода составляет 20% от массы смеси, определить парциальные давления  $P_1$  и  $P_2$  отдельных газов. См. Табл. 1
6. Известно, что частично диссоциированный двухатомный газ представляет собой смесь одноатомной и двухатомной компонент. Получить зависимость степени диссоциации данного газа  $\eta$  от величин масс  $m_1$  и  $m_2$  указанных компонент.
7. Какое число частиц находится в одном грамме кислорода, если степень его диссоциации составляет 50%? См. Табл. 1
8. В сосуде объемом  $V = 80\text{ л}$  при температуре  $T = 900\text{ К}$  находится  $m = 100\text{ г}$  газообразного фтора, степень диссоциации которого составляет 20%. Найти парциальные давления атомарного  $F$  и молекулярного  $F_2$  фтора соответственно.



Начало

Содержание



Страница 9 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

## Занятие № 4

### Тема: Кинетическая теория газов

#### Вопросы:

1. Сформулировать основные положения молекулярно-кинетической теории.
2. Записать основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
3. Дать определение средней квадратичной, средней арифметической и наиболее вероятной скоростей. Записать выражения для данных скоростей.
4. Сформулировать физический смысл давления.

#### Задачи:

1. Давление и плотность двух газов равны соответственно:  $P_1 = 600 \text{ кПа}$ ,  $\rho_1 = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $P_2 = 400 \text{ кПа}$ ,  $\rho_2 = 0,8 \text{ кг/м}^3$ . Сравнить средние квадратичные скорости данных газов.
2. Во сколько раз средняя квадратичная скорость пылинок, взвешенных в воздухе, меньше средней квадратичной скорости молекул азота? Масса пылинки  $m = 10^{-8} \text{ г}$ . См. Табл. 1
3. Найти число молекул  $n$  водорода в единице объема сосуда при давлении  $p = 266,6 \text{ Па}$ , если средняя квадратичная скорость его молекул  $\sqrt{v^2} = 2,4 \text{ км/с}$ .
4. Найти импульс  $mv$  молекулы водорода при температуре  $t = 20^\circ \text{C}$ . Скорость молекулы считать равной средней квадратичной скорости.
5. Полностью ионизованная термоядерная плазма водорода находится при температуре  $T = 10 \text{ кэВ}$ . Концентрация электронов  $n = 10^{21} \text{ м}^{-3}$ . а). Найти средние арифметические скорости протонов и электронов. б). Рассчитать парциальное давление электронного газа. в). Рассмотреть случаи дейтерия и трития.
6. От чего зависит показание термометра, прикрепленного снаружи к спутнику с его теневой стороны?
7. Найти парциальное давление электронного газа, а также значения средних скоростей ( $C, \bar{V}, V_H$ ) для электронной подсистемы ионосферной плазмы. При температуре  $T = 1 \text{ эВ}$  концентрация электронов  $n = 10^{13} \text{ м}^{-3}$ .



Начало

Содержание



Страница 10 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

## Занятие № 5

### Тема: Распределение Максвелла

#### Вопросы:

1. Дать определение функции распределения.
2. Как рассчитать средние значения физических величин при помощи функции распределения?
3. Записать распределение Максвелла.
4. Записать формулы для наиболее вероятной и средней арифметической скоростей.

#### Задачи:

1. Преобразовать функцию распределения Максвелла, перейдя от переменной  $V$  к переменной  $U = V/V_H$ , где  $V_H$  – наиболее вероятная скорость.
2. Получить, используя распределение Максвелла, приближенную формулу расчета относительного числа частиц, скорости которых находятся в интервале от  $V_1$  до  $V_2$ .
3. Какая часть молекул азота при  $150\text{C}$  обладает скоростями от  $300\text{м/с}$  до  $325\text{м/с}$ ?
4. Температура термоядерной водородной плазмы составляет  $10^9\text{K}$ . Пороговая скорость, начиная с которой происходит слияние двух протонов,  $V_g = 10^7\text{м/с}$ . Оценить относительное число протонов, участвующих в термоядерном синтезе.
5. При какой температуре  $T$  средняя квадратичная скорость молекул азота больше их наиболее вероятной скорости на  $\Delta v = 50\text{м/с}$ ?
6. Зная функцию распределения молекул по скоростям, найти функцию распределения молекул: а) по импульсам; б) по энергиям.



Начало

Содержание



Страница 11 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

## Занятие № 6

### Тема: Распределение Больцмана. Барометрическая формула

#### Вопросы:

1. Записать распределение Больцмана.
2. Вывести барометрическую формулу.

#### Задачи:

1. У поверхности Земли молекул гелия почти в  $10^5$  раз меньше, чем молекул азота. На какой высоте число молекул гелия будет равно числу молекул азота?  $t_{cp} = 0C$ . См. Табл. 1
2. При наблюдении в микроскоп взвешенных частиц гуммигута обнаружено, что среднее число их в слоях, расстояние между которыми  $h = 40\text{ мкм}$ , отличается друг от друга в  $n = 2$  раза. Температура среды  $T = 290K$ . Диаметр частиц  $d = 0,4\text{ мкм}$  и их плотность на  $\Delta\rho = 0,2\text{ г/см}^3$  больше плотности окружающей жидкости. Найти число Авогадро.
3. Закрытую с обоих торцов горизонтальную трубку длины  $l = 1\text{ м}$  перемещают с постоянным ускорением  $a$ , направленным вдоль ее оси. Внутри трубки находится аргон при температуре  $T = 330K$ . При каком значении  $a$  концентрации аргона вблизи торцов трубки будут отличаться друг от друга на  $\eta = 1\%$ .
4. Пассажирский самолет совершает полеты на высоте  $8300\text{ м}$ . Чтобы не снабжать пассажиров кислородными масками, в кабинах при помощи компрессора поддерживается постоянное давление, соответствующее высоте  $2700\text{ м}$ . Найти разность давлений внутри и снаружи кабины. Среднюю температуру наружного воздуха считать равной  $0C$ .
5. Обсерватория расположена на высоте  $h = 3250\text{ м}$  над уровнем моря. Найти давление  $p$  воздуха на этой высоте. Температуру воздуха считать постоянной и равной  $t = 5^{\circ}C$ . Молярная масса воздуха  $\mu = 0,029\text{ кг/моль}$ . Давление воздуха на уровне моря  $p_0 = 101,3\text{ кПа}$ .



Начало

Содержание



Страница 12 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

6. Найти давление воздуха в шахте глубиной  $10\text{ км}$ . На поверхности Земли давление  $760\text{ мм рт.ст.}$ . Температура воздуха не зависит от высоты и равна  $0\text{ C}$ .
7. Найти давление и плотность воздуха на вершине горы Эверест ( $8848\text{ м}$ ), если температура равна  $-20\text{ C}$ . У подножия горы давление считается нормальным. Оценить парциальное давление кислорода на вершине Эвереста.



Начало

Содержание



Страница 13 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

## Занятие № 7

### Тема: Средняя длина свободного пробега и среднее число столкновений молекул

#### Вопросы:

1. Дать определение эффективного диаметра молекул.
2. Что такое длина свободного пробега.
3. Записать формулу для средней длины свободного пробега молекул.

#### Задачи:

1. Баллон вместимостью  $V = 10\text{ л}$  содержит водород массой  $m = 1\text{ г}$ . Определить среднюю длину свободного пробега молекул. **См. Табл. 1**
2. Найти среднюю продолжительность свободного пробега молекул кислорода при давлении  $2\text{ мм рт.ст}$  и при  $27\text{ С}$ . **См. Табл. 1**
3. Определить число всех столкновений между молекулами, которые произойдут в течение  $1\text{ с}$  в  $1\text{ см}^3$  азота при нормальных условиях.
4. Какое давление нужно создать в колбе диаметром  $0,1\text{ м}$ , содержащей азот при температуре  $20\text{ С}$ , чтобы получить вакуум? **См. Табл. 1**
5. Найти зависимость средней длины свободного пробега молекул от температуры при следующих процессах: 1) изохорическом; 2) изобарическом. Изобразить эти зависимости на графиках.
6. Найти среднюю длину свободного пробега  $\bar{\lambda}$  атомов гелия, если известно, что плотность гелия  $\rho = 0,021\text{ кг/м}^3$ . **См. Табл. 1**
7. В сферическом сосуде диаметром  $d = 0,4\text{ м}$  находится азот при температуре  $20\text{ С}$ . При каком давлении молекулы азота не будут сталкиваться друг с другом?
8. В баллоне диаметром  $1\text{ м}$  находится  $4\text{ кг}$  гелия при температуре  $300\text{ К}$ . Какова частота соударений каждой молекулы со стенкой? **См. Табл. 1**



Начало

Содержание



Страница 14 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

## Занятие № 8

### Тема: Законы идеального газа

#### Вопросы:

1. Объяснить механизм теплопроводности в идеальном газе.
2. Записать формулу для количества теплоты, переносимого вследствие теплопроводности.
3. Объяснить механизм внутреннего трения и диффузии в жидкостях и газах.
4. Записать выражение для коэффициентов теплопроводности, внутреннего трения и диффузии.

#### Задачи:

1. Сколько нужно сжечь каменного угля в печи, к.п.д. которой 70%, чтобы восполнить потерю тепла за сутки через кирпичную стену площадью  $20\text{ м}^2$  и толщиной  $0,2\text{ м}$ , если температура внутренней поверхности стены  $20\text{ С}$ , а внешней  $-10\text{ С}$ . Коэффициент теплопроводности кирпича равен  $\chi = 0,48\text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ , удельная теплота сгорания угля  $\lambda = 3,1 \cdot 10^7\text{ Дж/кг}$ . См. Табл. 3
2. Найти коэффициент теплопроводности водорода, если известно, что коэффициент внутреннего трения при этих условиях равен  $\eta = 8,6 \cdot 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с}$ .
3. Найти коэффициент теплопроводности воздуха при температуре  $10\text{ С}$  и давлении  $10^5\text{ Па}$ . Диаметр молекулы воздуха принять равным  $3\text{ А}$ .
4. Для гелия коэффициент вязкости при  $0\text{ С}$  равен  $16,3\text{ мкПа}\cdot\text{с}$ . Определить диаметр молекул гелия. См. Табл. 1
5. В сосуде объемом  $V = 2\text{ л}$  находится  $N = 4 \cdot 10^{22}$  молекул двухатомного газа. Теплопроводность газа  $\chi = 14\text{ мВт/(м}\cdot\text{К)}$ . Найти коэффициент диффузии  $D$  газа.
6. Найти зависимость коэффициента теплопроводности от температуры при следующих процессах: 1) изобарическом; 2) изохорическом. Изобразить данные зависимости на графиках.
7. Найти коэффициент диффузии  $D$  гелия при нормальных условиях.



Начало

Содержание



Страница 15 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть

8. Теплопроводность газа, как известно, не зависит от концентрации молекул газа. Объяснить, зачем из пространства между двойными стенками сосуда Дьюара выкачивают воздух?
9. Почему металл и дерево одной и той же температуры на ощупь кажутся неодинаково нагретыми? Почему бумага, плотно намотанная на металлический стержень, на огне не загорается?



*Начало*

*Содержание*



*Страница 16 из 45*

*Назад*

*На весь экран*

*Закреть*



## Занятие № 9

### Тема: Теплоемкость

#### Вопросы:

1. Дать определение теплоемкости.
2. Что такое степени свободы? Определить число степеней свободы для разных молекул.
3. Сформулировать теорему о равнораспределении.
4. Записать формулы для теплоемкостей идеального газа.
5. Записать уравнение Майера.

#### Задачи:

1. Определить удельные теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме следующих газов: 1) аргона, 2) кислорода, 3) углекислого газа, 4) аммиака ( $NH_3$ ).
2. Плотность некоторого газа при нормальных условиях  $1,25 \text{ кг/м}^3$ . Отношение теплоемкостей 1,4. Определить удельные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  этого газа.
3. Определить  $\gamma$  для газовой смеси, состоящей из  $4g$  гелия и  $22g$  углекислого газа.
4. Определить удельные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  смеси, состоящей из  $1 \text{ кмоль}$  азота,  $4 \text{ кмоль}$  гелия и  $8 \text{ кг}$  аргона.
5. Чему равна степень диссоциации кислорода, если удельная теплоемкость его при постоянном давлении равна  $1050 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$ ?
6. Чему равна энергия вращательного движения молекул, содержащихся в  $1 \text{ кг}$  азота при температуре  $7C$ ?
7.  $1 \text{ кг}$  двухатомного газа находится под давлением  $P = 8 \cdot 10^4 \text{ Па}$  и имеет плотность  $\rho = 4 \text{ кг/м}^3$ . Найти энергию поступательного и вращательного движения молекул газа при этих условиях.
8. Газ, состоящий из жестких двухатомных молекул, находится при температуре  $T = 300 \text{ К}$ . Вычислить среднюю квадратичную угловую скорость вращения молекулы, если ее момент инерции  $I = 2,1 \cdot 10^{-39} \text{ г} \cdot \text{см}^2$ .



Начало

Содержание



Страница 17 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

## Занятие № 10

### Тема: Теплообмен

#### Вопросы:

1. Дать определение удельной теплоты испарения и плавления,
2. Записать уравнение теплового баланса.

#### Задачи:

1. В калориметре смешали два объема воды с массами  $m_1$  и  $m_2$ , имеющими начальную температуру соответственно  $t_1$  и  $t_2$ . Найти температуру смеси в состоянии равновесия.
2. Смесь, состоящую кг воды ( $m_1$ ) и льда ( $m_2$ ), находящихся при  $0C$ , нужно нагреть до температуры  $Q$  путем пропускания пара, температура которого  $t = 100^{\circ}C$ . Определить необходимое количество пара. См. Табл. 2 и 3
3. На электроплитке с к.п.д.  $\eta = 78\%$  нагревалась медная кастрюля с водой. Масса кастрюли  $m_1 = 800g$ , масса воды  $m_2 = 2,1kg$ . Какова мощность электроплитки, если процесс нагревания до кипения длился  $40min$  и при этом  $15\%$  воды испарилось? Начальная температура воды  $t_1 = 15C$ . См. Табл. 2 и 3
4. В электрический чайник налили холодную воду ( $t_1 = 10C$ ). Через время  $\tau = 10min$  после включения чайника вода закипела. Через какое время она полностью испарится? Потерями теплоты пренебречь. См. Табл. 2
5. В калориметр, содержащий  $0,5kg$  воды и  $0,5kg$  льда при  $0C$ , вливают воды при температуре  $50C$ . Какая температура установится в нем? См. Табл. 2 и 3
6. Железный шарик радиусом  $R$ , нагретый до температуры  $t_1$ , положили на лед, температура которого  $t_2 = 0C$ . На какую глубину погрузится шарик в лед? Нагреванием воды пренебречь. Считать, что шарик погрузился в лед полностью.
7. Для измерения температуры воды, имеющей массу  $m_1 = 7,3g$ , в нее погрузили термометр, который показал  $t_1 = 32,4^{\circ}C$ . Какова действительная температура  $t_x$  воды, если теплоемкость термометра  $c = 1,9 Дж/град$  и перед погружением в воду он показал температуру помещения  $t_2 = 17,8^{\circ}C$ . См. Табл. 2



Начало

Содержание



Страница 18 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

8. В сосуде находилось  $0,4\text{ кг}$  воды при температуре  $4^\circ\text{C}$ . В него влили  $20\text{ дм}^3$  спирта при температуре  $10^\circ\text{C}$  и  $100\text{ мл}$  эфира при температуре  $10^\circ\text{C}$ . Определить температуру смеси. Нагреванием сосуда пренебречь. См. Табл. 2
9. Определить количество энергии, выделенное человеческим организмом за  $8\text{ ч}$ , если масса человека  $50\text{ кг}$  (теплопродукция человеческого тела равна  $1,6\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{сек})$ ; по данным физиологии).



Начало

Содержание



Страница 19 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

## Занятие № 11

### Тема: Первый закон термодинамики

$$(P=const, V=const)$$

#### Вопросы:

1. Дать определение внутренней энергии термодинамической системы.
2. Определить понятия количества теплоты и работы как формы передачи энергии.
3. Является ли бесконечно малое приращение количества тепла в математическом отношении полным дифференциалом?
4. В чем состоит содержание первого закона термодинамики?

#### Задачи:

1. Двухатомному газу сообщено  $500 \text{ Дж}$  тепла. При этом газ расширяется при  $P=const$ . Найти работу и изменение внутренней энергии.
2. В сосуде под поршнем находится  $1 \text{ г}$  азота. Какое количество тепла надо затратить, чтобы нагреть азот на  $10 \text{ К}$ ? На сколько при этом поднимется поршень? Масса поршня  $1 \text{ кг}$ , площадь  $10 \text{ см}^2$ . Давление над поршнем  $10^5 \text{ Па}$ .
3. Во время изобарического сжатия при начальной температуре  $100 \text{ С}$  объем  $10 \text{ кг}$  кислорода уменьшился в  $1,25$  раза. Определить работу сжатия и количество отведенной теплоты.
4. В цилиндре диаметром  $d=40 \text{ см}$  содержится  $V = 80 \text{ дм}^3$  двухатомного газа. На сколько следует увеличить нагрузку поршня при подводе  $84 \text{ Дж}$  теплоты, чтобы поршень не пришел в движение?
5. Моль трехатомного газа, имевший первоначальную температуру  $T_1 = 290 \text{ К}$ , расширяется изобарически до тех пор, пока его объем не возрастет в  $2$  раза. Затем газ охлаждается изохорически до первоначальной температуры  $T_2$ . Определить работу, изменение внутренней энергии и количество теплоты, переданное системе.



Начало

Содержание



Страница 20 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

6. Один пончик содержит  $2g$  белков,  $17g$  углеводов и  $7g$  жиров. Энерговывделение при расщеплении указанных веществ равно  $4\text{ккал}/g$ ,  $4\text{ккал}/g$  и  $9\text{ккал}/g$  соответственно. Во время марафона бегун потребляет в среднем  $510\text{ккал}/\text{час}$ . На какое время спортсмену «хватит» одного пончика?
7. Кислород находится в закрытом металлическом баллоне объемом  $20\text{л}$  при давлении  $5\text{атм}$ . Под действием солнечных лучей газ нагрелся так, что давление увеличилось на  $10\%$ . Найти количество теплоты, поглощенной кислородом.
8. В закрытом сосуде находится масса  $m_1 = 20g$  азота и масса  $m_2 = 32g$  кислорода. Найти изменение  $\Delta W$  внутренней энергии смеси газов при охлаждении ее на  $\Delta T = 28K$ . См. Табл. 1
9. В цилиндре под тяжелым поршнем находится  $m = 20g$  углекислого газа. Газ нагревается от температуры  $t_1 = 20^\circ C$  до  $t_2 = 108^\circ C$ . Какую работу он при этом совершит?
10. Какое количество теплоты  $Q$  требуется для того, чтобы воздух массой  $m=5g$  от температуры  $t_1 = 17^\circ C$  нагреть при постоянном давлении настолько, чтобы его объем  $V_1$  увеличился в два раза? Удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении  $c_p = 1018\text{Дж}/\text{кг} \cdot K$ .



Начало

Содержание



Страница 21 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Занятие № 12

### Тема: ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

$$(T = \text{const}, Q = 0)$$

#### Вопросы:

1. Дать определение адиабатического процесса.
2. Записать уравнение Пуассона.
3. Как рассчитать величину работы при изотермическом и адиабатическом процессах?
4. Почему первый закон термодинамики эквивалентен утверждению о невозможности построения вечного двигателя первого рода?

#### Задачи:

1. При адиабатическом сжатии кислорода массой  $m_1 = 1 \text{ кг}$  совершена работа  $A = 100 \text{ кДж}$ . Определить конечную температуру  $T_2$  газа, если до сжатия кислород находился при температуре  $T_1 = 300 \text{ К}$ .
2. Масса  $m = 10,5 \text{ г}$  азота изотермически расширяется при температуре  $t = -23^\circ \text{C}$ , причем его давление изменяется от  $p_1 = 250 \text{ кПа}$  до  $p_2 = 100 \text{ кПа}$ . Найти работу  $A$ , совершенную газом при расширении. См. Табл. 1
3. При адиабатическом сжатии газа его объем уменьшился в  $n = 10$  раз, а давление увеличилось в  $k = 21,4$  раза. Определить  $\gamma$ .
4. Волейбольный мяч массой  $200 \text{ г}$  и объемом  $8 \text{ дм}^3$  накачан до избыточного давления  $20 \text{ кПа}$ . Мяч был подброшен на высоту  $20 \text{ м}$  и после падения на твердый грунт подскочил на ту же высоту. Определить максимальную температуру воздуха в мяче в момент удара о грунт. Температура наружного воздуха  $300 \text{ К}$ .
5. В цилиндре под поршнем находится  $1 \text{ кмоль}$  двухатомного газа при  $t_1 = 20^\circ \text{C}$ . Сначала газ расширялся адиабатически так, что его объем увеличился в 5 раз, а затем сжимался изотермически до первоначального объема. Определить произведенную работу.



Начало

Содержание



Страница 22 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

6. Газ расширяется адиабатически, причем объем его увеличивается вдвое, а термодинамическая температура падает в 1,32 раза. Какое число степеней свободы  $i$  имеют молекулы этого газа?
7. В четырехтактном двигателе дизеля засосанный атмосферный воздух в объеме  $10\text{ л}$  подвергается 12-кратному сжатию. Предполагая процесс сжатия адиабатным, определить конечное давление, конечную температуру и работу сжатия, если начальное давление и температура равны  $1\text{ атм}$  и  $10\text{ С}$ .
8. В сосуде под поршнем находится гремучий газ, занимающий при нормальных условиях объем  $V_1 = 0,1\text{ л}$ . При быстром сжатии газ воспламеняется. Найти температуру  $T$  воспламенения гремучего газа, если известно, что работа сжатия  $A = 46,35\text{ Дж}$ .
9. Необходимо сжать воздух от объема  $V_1 = 10\text{ л}$  до  $V_2 = 2\text{ л}$ . Как выгоднее его сжимать (адиабатически или изотермически)?



Начало

Содержание



Страница 23 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Занятие № 13

### Тема: Цикл Карно. Обратимые и необратимые процессы

#### Вопросы:

1. Как работает машина Карно.
2. Сформулировать теорему Карно.
3. Дать определение обратимого и необратимого процессов.
4. Как вычислить к.п.д. тепловой машины.

#### Задачи:

1. Паровая машина мощностью в  $14,7 \text{ кВт}$  потребляет за  $1 \text{ ч}$  работы  $8,1 \text{ кг}$  угля с теплотворной способностью  $3,3 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$ . Температура котла  $200^\circ\text{C}$ , температура холодильника  $58^\circ\text{C}$ . Найти фактический к.п.д. машины  $\eta_1$  и сравнить его с к.п.д.  $\eta_2$ , тепловой машины, работающей по циклу Карно между теми же температурами.
2. Идеальный газ, совершающий цикл Карно,  $2/3$  количества теплоты, полученного от нагревателя, отдает холодильнику. Температура холодильника равна  $280 \text{ K}$ . Определить температуру нагревателя.
3. Идеальный двухатомный газ совершает цикл Карно. Объем газа в начале и конце адиабатического расширения равны соответственно  $V_1$  и  $V_2$ . Найти к.п.д. цикла.
4. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу  $A = 2,94 \text{ кДж}$  и отдает за один цикл холодильнику количество теплоты  $Q_2 = 13,4 \text{ кДж}$ . Найти к.п.д.  $\eta$  цикла.
5. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу  $A = 73,5 \text{ кДж}$ . Температура нагревателя  $t_1 = 100^\circ\text{C}$ , температура холодильника  $t_2 = 0^\circ\text{C}$ . Найти к.п.д.  $\eta$  цикла, количество теплоты  $Q_1$ , получаемое машиной за один цикл от нагревателя, и количество теплоты  $Q_2$ , отдаваемое за один цикл холодильнику.



Начало

Содержание



Страница 24 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть





6. Над молекул идеального двухатомного газа совершают цикл из двух изобар и двух изохор (рисунок 2). Температуры в точках 1 и 3 равны соответственно  $T_1$  и  $T_3$ . Определить количество теплоты, полученной газом за цикл, если известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.
7. Показать существование т.н. «золотого сечения» в цикле Карно, если к.п.д. цикла Карно  $\eta$  равен холодильному коэффициенту  $\lambda$  этого же цикла.

Примечание: «золотое сечение для произвольного отрезка длиной  $a+b$  определяется из условия:

$$\frac{a}{b} = \frac{b}{a+b}, \text{ где } \frac{a}{b} \approx 0,618.$$

8. К.п.д. атомной электростанции равен 0,3. Обогащенный уран содержит 98% изотопов  ${}_{92}\text{U}^{238}$  и 2% изотопов  ${}_{92}\text{U}^{235}$ . Расщепляется только изотоп  ${}_{92}\text{U}^{235}$ . В процессе деления всех ядер в  $1\text{кг}$   ${}_{92}\text{U}^{235}$  в реакторе выделяется энергия  $Q = 8 \cdot 10^{13} \text{Дж}$ . Рассчитать мощность электростанции, если критическая масса современных реакторов равна  $190\text{т}$  (масса загруженного обогащенного урана). Данное топливо «выгорает» в течение 3 лет.

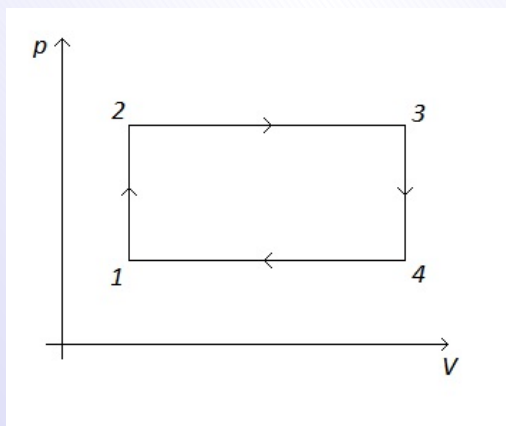


Рисунок 2

Начало

Содержание



Страница 25 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

## Занятие № 14

### Тема: Двигатели внутреннего сгорания. Холодильные машины

#### Вопросы:

1. Дать определение тепловой машины.
2. Назвать основные элементы любой тепловой машины.
3. Как рассчитать к.п.д. любой тепловой машины?

#### Задачи:

1. Какую работу совершают внешние силы в идеальной холодильной машине, работающей по обратному циклу Карно, чтобы унести из холодильника, температура которого  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $100\text{кДж}$  теплоты? Температура охлаждающей воды  $10^{\circ}\text{C}$ .
2. Холодильник мощностью  $P$  за время  $\tau$  превратил в лед  $n$  литров воды, которая первоначально имела температуру  $t^{\circ}\text{C}$ . Какое количество теплоты выделилось в комнате за это время?
3. Кондиционер забирает в помещении за одну минуту  $8,9 \cdot 10^4\text{Дж}$  тепла и отдает внешней среде  $1,67 \cdot 10^5\text{Дж}$  тепла. Вычислить мощность компрессора кондиционера.
4. Найти выражение для к.п.д. карбюраторного четырехтактного двигателя внутреннего сгорания, работающего по циклу Отто, состоящему из двух адиабатических и двух изохорических процессов (рисунки 3). Параметром цикла является величина  $\varepsilon = V_1/V_2$  – степень сжатия горючей смеси, которую можно считать идеальным газом.



Начало

Содержание



Страница 26 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

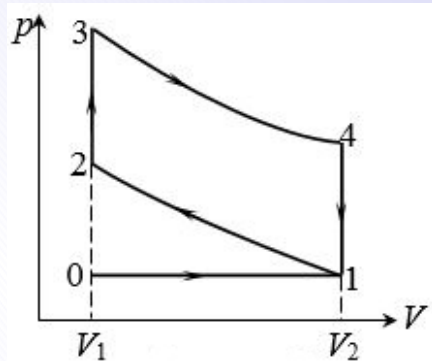


Рисунок 3

5. Цикл четырехтактного двигателя Дизеля (рисунок 4) состоит из следующих процессов: 1) всасывание в цилиндр воздуха; 2) адиабатическое сжатие воздуха до давления  $P_2$ , в конце сжатия впрыскивается топливо; 3) сгорание топлива с расширением при постоянном давлении; 4) адиабатическое расширение продуктов горения; 5) изохорический отвод тепла из цилиндра – выхлоп. Найти к.п.д. этого цикла в зависимости от степени сжатия  $\varepsilon = V_1/V_2$  и степени предварительного расширения  $\rho = V_3/V_2$ .

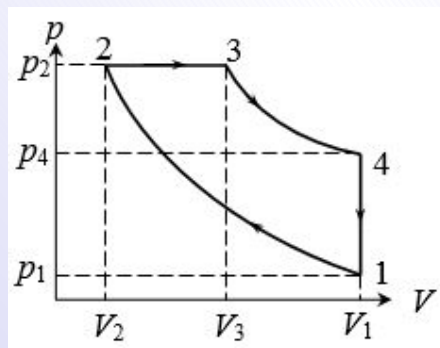


Рисунок 4



Начало

Содержание



Страница 27 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Занятие № 15

### Тема: Расчет изменения энтропии. Принцип возрастания энтропии

#### Вопросы:

1. Дать статистическую интерпретацию энтропии.
2. Является ли энтропия функцией состояния?
3. Записать выражение для изменения энтропии идеального газа.
4. В чем суть принципа возрастания энтропии?

#### Задачи:

1. Найти изменение энтропии при превращении  $10\text{г}$  льда при  $-20\text{C}$  в пар при  $100\text{C}$ . См. Табл. 2 и 3
2. Смешивают  $4\text{кг}$  воды при  $80\text{C}$  и  $6\text{кг}$  воды при  $20\text{C}$ . Определить изменение энтропии при этом процессе. См. Табл. 2
3. Водород массой  $100\text{г}$  был изобарически нагрет так, что объем его увеличился в 3 раза, затем водород был изохорически охлажден так, что давление его уменьшилось в 3 раза. Найти изменение энтропии в ходе указанных процессов.
4. Два баллона с объемами  $V=1\text{л}$  каждый соединены трубкой с краном. В одном из них находится водород при давлении  $P_1 = 1\text{атм}$  и температуре  $t_1 = 20\text{C}$ , а в другом – гелий при давлении  $P_2 = 3\text{атм}$  и температуре  $t_2 = 100\text{C}$ . Найти изменение энтропии системы  $\Delta S$  после открытия крана и достижения равновесного состояния.
5.  $1\text{кг}$  кислорода при давлении  $0,5\text{МПа}$  и температуре  $127\text{C}$ , изобарически расширяясь, увеличивает свой объем в 2 раза, а затем сжимается изотермически до давления  $4\text{МПа}$ . Определить суммарное изменение энтропии.
6. Кусок меди массы  $m_1 = 300\text{г}$  при температуре  $t_1 = 97\text{C}$  поместили в калориметр, где находится вода массы  $m_2 = 100\text{г}$  при температуре  $t_2 = 7\text{C}$ . Найти приращение энтропии системы к моменту выравнивания температур.



Начало

Содержание



Страница 28 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

7. Найти изменение  $\Delta S$  энтропии при переходе массы  $m=8g$  кислорода от объема  $V_1 = 10л$  при температуре  $t_1 = 80^\circ C$  к объему  $V_2 = 40л$  при температуре  $t_2 = 300^\circ C$ .
8. Объем  $V_1 = 1м^3$  воздуха, находящегося при температуре  $t_1 = 0^\circ C$  и давлении  $p_1 = 98кПа$ , изотермически расширяется от объема  $V_1$  до объема  $V_2 = 2V_1$ . Найти изменение  $\Delta S$  энтропии при этом процессе.



Начало

Содержание



Страница 29 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

## Занятие № 16

### Тема: Реальный газ

#### Вопросы:

1. В чем отличие реального газа от идеального?
2. Записать уравнение состояния реального газа. В чем физический смысл внесенных поправок?
3. Представить графически изотермы реального и идеального газов и объяснить различие.
4. Дать определение критического состояния.

#### Задачи:

1.  $4g$  аргона занимают объем  $0,1 dm^3$  под давлением  $2,5 MPa$ . Найти температуру газа, считая идеальным, реальным. См. Табл. 4
2. Найти внутреннее давление одного киломоля азота, находящегося при нормальных условиях.
3.  $20 kg$  кислорода адиабатически расширяются в пустоту от  $V_1 = 1 m^3$  до  $V_2 = 2 m^3$ . Найти понижение температуры при этом расширении. См. Табл. 4
4. Объем  $4g$  водорода увеличивается от 1 до  $5 dm^3$ . Рассматривая газ как реальный, найти работу внутренних сил при этом расширении.
5. Определить плотность азота в критическом состоянии. См. Табл. 4
6. Давление кислорода равно  $7 MPa$ , его плотность  $\rho = 100 kg/m^3$ . Найти температуру кислорода.
7. Определить наибольший объем, который может занимать  $1 моль$  воды.
8. Найти постоянные  $a$  и  $b$  в уравнении Ван-дер-Ваальса для углекислого газа, если для него  $T_K = 304 K$  и  $p_K = 73 атм$ .
9. Найти плотность водорода в критическом состоянии по известным для него значениям критической температуры  $T_K = 33 K$  и давления  $P_K = 1,3 MPa$ .



Начало

Содержание



Страница 30 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть

## Занятие № 17

### Тема: Жидкости (поверхностное натяжение)

#### Вопросы:

1. Чем обусловлено наличие поверхностного натяжения в жидкостях?
2. Дать физический смысл коэффициента поверхностного натяжения жидкости.
3. Записать формулу Лапласа. При каких условиях существует перепад давлений, который рассчитывается по данной формуле?

#### Задачи:

1. Какую силу нужно приложить к горизонтальному алюминиевому кольцу высотой  $h=10\text{мм}$ , внутренним диаметром  $d_1 = 50\text{мм}$  и внешним диаметром  $d_2 = 52\text{мм}$ , чтобы оторвать его от поверхности воды? См. Табл. 6
2. Какую работу против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы выдуть мыльный пузырь диаметром  $4\text{см}$ ?
3. Найти, на какой глубине под водой находится пузырек воздуха, если известно, что плотность воздуха в нем равна  $2\text{кг}/\text{м}^3$ . Диаметр пузырька  $0,015\text{мм}$ , температура  $20^\circ\text{C}$  и атмосферное давление  $760\text{мм рт.ст.}$  См. Табл. 6
4. На сколько нагреется капля ртути, полученная от слияния двух капель радиусом  $1\text{мм}$  каждая? См. Табл. 2 и 6
5. Какое количество воды можно налить в решето диаметром  $d$ , если радиус отверстий в дне равен  $r$ . Решето считать несмачиваемым.
6. Насекомое водомерка бежит по поверхности воды. Найти массу водомерки, если под каждой из шести лапок насекомого образуется ямка, равная полусфере с радиусом  $0,1\text{мм}$ .
7. Определить работу, необходимую для превращения  $1\text{г}$  воды в туман, т.е. для распыления ее в капельки диаметром  $0,2\text{мкм}$ .
8. Определить диаметр капли золота в момент ее отрыва при плавлении золотой проволоки диаметром  $0,2\text{мм}$ . Коэффициент поверхностного натяжения расплава золота  $\sigma = 0,61\text{Н}/\text{м}$ . См. Табл. 3



Начало

Содержание



Страница 31 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

9. Найти силу притяжения двух параллельных стеклянных пластинок, отстоящих друг от друга на расстоянии  $h=0,1\text{ мм}$ , после того, как между ними ввели каплю воды массы  $m=70\text{ мг}$ . Смачивание считать полным. См. Табл. 6



Начало

Содержание



Страница 32 из 45

Назад

На весь экран

Закреть



## Занятие № 18

### Тема: Жидкости (капиллярные явления)

#### Вопросы:

1. Объяснить причину поднятия смачивающей жидкости в капиллярах.
2. Почему несмачивающая жидкость опускается в капиллярах?
3. Записать формулу Жюрена.

#### Задачи:

1. На какую высоту поднимется под действием капиллярных сил вода в образовавшихся в почве капиллярах диаметром  $0,3\text{ мм}$  и в стеблях ржи, имеющих средний диаметр пор  $20\text{ мкм}$ ? См. Табл. 6
2. Какую ошибку мы допускаем при измерении атмосферного давления по высоте ртутного столба, если внутренний диаметр барометрической трубки  $6\text{ мм}$ ?
3. В воду опущена на очень малую глубину стеклянная трубка с диаметром  $d$  внутреннего канала, равным  $1\text{ мм}$ . Найти массу вошедшей в трубку воды.
4. На какую высоту  $h$  поднимется вода между параллельными друг другу стеклянными пластинами, если расстояние  $d$  между ними равно  $0,2\text{ мм}$ ?
5. Найти разность уровней ртути в двух сообщающихся вертикальных капиллярах, диаметры которых  $d_1 = 0,5\text{ мм}$  и  $d_2 = 1\text{ мм}$ , если краевой угол  $\theta = 138^\circ$ .
6. Вертикальный капилляр длины  $l$  с запаянным верхним концом привели в соприкосновение с поверхностью жидкости, после чего она поднялась на высоту  $h$ . Плотность жидкости  $\rho$ , диаметр внутреннего канала капилляра  $d$ , краевой угол  $\theta$ , атмосферное давление  $P_0$ . Найти поверхностное натяжение жидкости.
7. Вертикальный капилляр привели в соприкосновение с поверхностью воды. Какое количество тепла выделится при поднятии воды по капилляру? Смачивание считать полным, поверхностное натяжение равно  $\sigma$ .
8. Чтобы стряхнуть ртуть в медицинском термометре, нужно ускорение  $\alpha \sim 10g$ . Оценить диаметр перетяжки в капилляре термометра. Длина столбика ртути



Начало

Содержание



Страница 33 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

выше перетяжки  $h \sim 5\text{ см}$ . Поверхностное натяжение и плотность ртути равны соответственно  $\sigma = 0,49\text{ Н/м}$ ,  $\rho = 13,6 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$ .

- В прямоугольную ванночку, длина которой  $20\text{ мм}$ , ширина  $15\text{ мм}$ , налит керосин. Определить энергию поверхностного слоя керосина. Коэффициент поверхностного натяжения керосина равен  $0,03\frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
- На **рисунке 5** представлена модель вечного двигателя. Вода под действием капиллярных сил поднимается вверх через фитиль. Затем капли воды падают обратно вниз, приводя при этом во вращение колесо. Объяснить несостоятельность данной модели.

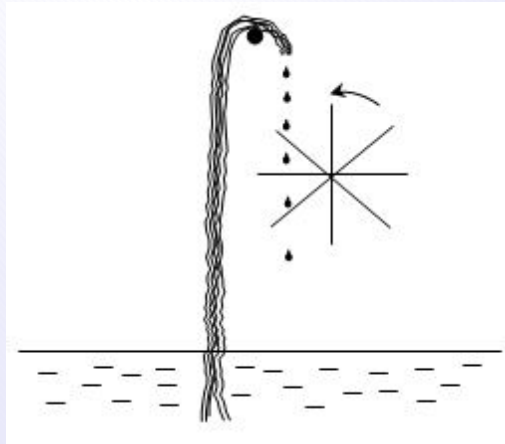


Рисунок 5



Начало

Содержание



Страница 34 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

## Занятие № 19

### Тема: Насыщенный и ненасыщенный пар. Влажность

#### Вопросы:

1. Какой пар называется насыщенным?
2. Как зависит давление насыщенного пара от температуры? Представить данную зависимость графически.
3. Определить на данном графике условия выпадения росы. Что такое точка росы? От каких величин она зависит?

#### Задачи:

1. Сколько молекул водяного пара содержится в комнате объемом  $150\text{ м}^3$  при температуре  $20\text{ C}$  и относительной влажности  $30\%$ ? См. Табл. 5
2.  $1\text{ м}^3$  воздуха находится при температуре  $17\text{ C}$  и относительной влажности  $50\%$ . Какое количество росы выпадет, если, не меняя температуру воздуха, уменьшить его объем в 3 раза? См. Табл. 5
3. Найти массу  $1\text{ м}^3$  влажного воздуха при температуре  $29\text{ C}$ , относительной влажности  $60\%$  и нормальном атмосферном давлении.
4. Температура комнаты  $18\text{ C}$ , относительная влажность  $50\%$ . В металлический чайник налили холодную воду. Какова температура воды, при которой чайник перестанет запотевать? См. Табл. 5
5. В комнате объема  $V = 50\text{ м}^3$  относительная влажность воздуха  $\varphi_1 = 40\%$ . Если испарить дополнительно массу воды  $m = 60\text{ г}$ , то относительная влажность воздуха увеличится до  $50\%$ . Какова при этом будет абсолютная влажность?
6. Смешали  $1\text{ м}^3$  воздуха с влажностью  $20\%$  и  $2\text{ м}^3$  воздуха с влажностью  $30\%$ . При этом обе порции были взяты при одинаковых температурах. Смесь занимает объем  $3\text{ м}^3$ . Определить ее относительную влажность.
7. В герметически закрытом ящике при  $t_1 = 50\text{ C}$  находится воздух с влажностью  $\varphi = 40\%$ . В ящик введен змеевик, который можно охлаждать потоком воды.



Начало

Содержание



Страница 35 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть



- Сколько воды сконденсируется на змеевике, если через него пропускать воду температуры  $t_2 = 20^\circ\text{C}$ , а ящик поддерживать при  $50^\circ\text{C}$ ? Объем ящика  $1\text{ м}^3$ .
8. Под колоколом насоса находится стакан, содержащий  $20\text{ г}$  воды. Скорость от качки насоса  $50\text{ л/мин}$ . Через сколько времени вся вода испарится, если установившаяся температура воды  $5^\circ\text{C}$ ?
  9. Выдыхаемый воздух имеет относительную влажность  $98\%$  и температуру  $36^\circ\text{C}$ . Приняв, что вдыхаемый воздух имеет относительную влажность  $60\%$  и температуру  $20^\circ\text{C}$ , найти, сколько воды испаряется организмом человека в сутки с выдыхаемым воздухом. Объем обмениваемого воздуха считать равным  $9,4\text{ м}^3/\text{сутки}$ .
  10. На улице целый день моросит холодный осенний дождь. В комнате развешено выстиранное белье.

Начало

Содержание



Страница 36 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

## Занятие № 20

### Тема: Основы симметрии кристаллов. Кристалльные решетки

#### Вопросы:

1. Дать определение кристаллической сингонии, класса.
2. Что такое элементарная ячейка?
3. Привести примеры кубических решеток.

#### Задачи:

1. Плотность меди, имеющей гранецентрированную кубическую решетку, равна  $8,962/\text{см}^3$ . Вычислить объем элементарной ячейки.
2. Принимая во внимание гранецентрированную кубическую структуру золота, вычислить постоянную решетки. Плотность золота равна  $19,32/\text{см}^3$ .
3. У кристаллического сильвина ( $KCl$ ), имеющего структуру каменной соли, постоянная решетки равна  $6,29\text{Å}$ . Оценить плотность вещества.
4.  $\alpha$ -железо при температуре, ниже  $910^\circ\text{C}$  имеет ОЦК структуру ( $\alpha = 2,86\text{Å}$ ). При нагревании свыше  $910^\circ\text{C}$   $\alpha$ -железо переходит в  $\gamma$ -модификацию, приобретающая ГЦК структуру ( $\alpha = 3,56\text{Å}$ ). Как изменится плотность железа в указанном превращении?
5. Для ОЦК структуры соединения  $CsCl$  ( $\alpha = 4,1\text{Å}$ ) определить молярный объем.
6. Решетку алмаза можно рассматривать как комбинацию двух вставленных друг в друга подрешеток со структурой ГЦК. У одной подрешетки начало координат лежит в точке  $0,0,0$ , а у другой сдвинуто вдоль пространственной диагонали куба на четверть ее длины. Найти ближайшее межатомное расстояние для атомов углерода, если плотность алмаза равна  $3,522/\text{см}^3$ .
7. Вычислить объем элементарной ячейки в кристалле гексагональной сингонии с постоянными  $a$  и  $c$ .



Начало

Содержание



Страница 37 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

8. Графит имеет гексагональную сингонию  $\left( a = 2,46\overset{0}{\text{Å}}, c = 6,71\overset{0}{\text{Å}} \right)$ . Вычислить отношение плотностей графита и алмаза, используя данные задачи № 6.



*Начало*

*Содержание*



*Страница 38 из 45*

*Назад*

*На весь экран*

*Закреть*

## Занятие № 21

### Тема: Фазовые превращения

#### Вопросы:

1. Дать определение фазы и химического потенциала.
2. Сформулировать условие равновесия фаз.
3. Каковы особенности фазовых переходов 1-го рода?
4. Записать уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
5. Дать определение диаграммы состояния и тройной точки.
6. Почему даже в сильные морозы реки не замерзают до дна?
7. Как получить "горячий" лед с температурой  $t \sim 80^\circ\text{C}$ ?
8. На какую величину возросло бы давление воды на стенки сосуда, если бы исчезли силы притяжения между ее молекулами?

#### Задачи:

1. Соблюдая необходимые предосторожности, удалось "переохладить"  $m=1\text{кг}$  воды вплоть до  $t_1 = -10^\circ\text{C}$  при нормальном давлении. Сколько льда образуется, если в этой воде в условиях, исключая теплообмен с окружающей средой, все же начнется кристаллизация? Сколько теплоты надо отнять у этой воды, чтобы превратить ее в лед с  $t_2 = -10^\circ\text{C}$  полностью?
2. Из полусферического аквариума радиусом  $R$ , наполненного водой, с единицы поверхности воды в единицу времени испаряется объем жидкости  $V_0$ . Через какое время вся вода испарится?
3. Найти приращение температуры плавления льда вблизи  $0^\circ\text{C}$  при повышении давления на  $\Delta P = 1\text{атм}$ , если удельный объем льда на  $\Delta v = 0,091\text{см}^3/\text{г}$  больше удельного объема воды.
4. Вблизи тройной точки давление  $P$  насыщенного пара двуокиси углерода зависит от температуры  $T$  как  $\lg P = a - b/T$ , где  $a$  и  $b$  – постоянные. Если  $P$  измерять в атмосферах, то для процесса сублимации  $a = 9,05$ ,  $b = 1,8 \cdot 10^3\text{К}$ . Найти удельную теплоту сублимации.



Начало

Содержание



Страница 39 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

5. Лед, находившийся при нормальных условиях, подвергли сжатию до давления  $P=640 \text{ атм}$ . Считая, что понижение температуры плавления льда в данных условиях линейно зависит от давления, найти, какая часть льда растаяла. Удельный объем воды на  $\Delta v = 0,091 \text{ см}^3/\text{г}$  меньше удельного объема льда.



Начало

Содержание



Страница 40 из 45

Назад

На весь экран

Закреть



Таблица 1 – Физические параметры газов

Газ	$M$	$\gamma$	$\chi$ мВт/м·К	$\eta$ мкПа·с	$\sigma$ , А°
He	4	1,63	141,5	18,9	2,0
Ar	40	1,67	16,2	22,1	3,5
H <sub>2</sub>	2	1,41	168,4	8,4	2,7
N <sub>2</sub>	28	1,40	24,3	16,7	3,7
O <sub>2</sub>	32	1,40	24,4	19,2	3,5
CO <sub>2</sub>	44	1,30	23,2	14,0	4,0
H <sub>2</sub> O	18	1,32	15,8	9,0	3,0
Воздух	29	1,40	24,1	17,2	3,5

Примечание –  $M$  – относительная молекулярная масса,  
 $\gamma = C_p/C_v$ ,  $\chi$  – коэффициент теплопроводности,  
 $\eta$  – динамическая вязкость,  $\sigma$  – диаметр молекулы

Таблица 2 – Физические параметры жидкостей

Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C$ С, Дж/кг·К	$T_k$ , С	$r$ , кДж/кг
Вода	998	4190	100	2260
Глицерин	1260	2410	290	825
Спирт (эт.)	789	2510	78,3	846
Ртуть	13600	138	356	284

Примечание – ( $P = 0,1 \text{ МПа}, t = 20 \text{ С}$ )  $\rho$  – плотность,  
 $C$  – удельная теплоемкость,  $t_k$  – температура кипения,  
 $r$  – удельная теплота парообразования



Начало

Содержание



Страница 41 из 45

Назад

На весь экран

Закрыть

Таблица 3 – Физические параметры твердых тел

Вещество	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$C$ , Дж/кг·К	$T_n$ , С	$\lambda$ , кДж/кг
Алюминий	2600	896	660	387
Железо	7900	460	1535	272
Золото	19300	130	1063	66,6
Лед	900	2100	0	334
Медь	8600	395	1063	174
Свинец	11300	131	327	25
Серебро	10500	235	960	89
Углерод: 1. Алмаз 2. Графит	3520, 2270	525, 735	3427, 4492 (104 атм)	–

Примечание –  $\rho$  – плотность,  $C$  – удельная теплоемкость (20С),  
 $t_n$  – температура плавления (0,1 МПа),  
 $\lambda$  – удельная теплота плавления

Таблица 4 – Коэффициенты уравнения состояния

Вещество	$a$ , Н·м <sup>3</sup> /моль	$b$ , см <sup>3</sup> /моль
Азот	0,135	38,6
Аргон	0,134	32,2
Водяной пар	0,545	30,4
Водород	0,024	26,6
Гелий	0,003	23,6
Кислород	0,136	31,7
Углекислый газ	0,36	42,8

Примечание –  $a$  и  $b$  – постоянные Ван-дер-Ваальса



Начало

Содержание



Страница 42 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

Таблица 5 – Плотность насыщенного водяного пара

t, 0C	$\rho$ , г/м <sup>3</sup>	t, 0C	$\rho$ , г/м <sup>3</sup>	t, 0C	$\rho$ , г/м <sup>3</sup>
-30	0,33	-2	4,13	26	24,4
-29	0,37	-1	4,47	27	25,8
-28	0,41	0	4,48	28	27,2
-27	0,46	1	5,22	29	28,7
-26	0,51	2	5,60	30	30,3
-25	0,55	3	5,98	31	31,9
-24	0,66	4	6,40	32	35,7
-23	0,68	5	6,84	33	35,7
-22	0,73	6	7,3	34	37,6
-21	0,80	7	7,8	35	39,6
-20	0,85	8	8,3	36	41,8
-19	0,96	9	8,8	37	44,0
-18	1,05	10	9,4	38	46,3
-17	1,15	11	10,0	39	48,7
-16	1,27	12	10,7	40	51,2
-15	1,38	13	11,4	45	65,4
-14	1,51	14	12,1	50	83,0
-13	1,65	15	12,8	55	104,3
-12	1,90	16	13,5	60	130
-11	1,96	17	14,5	65	161
-10	2,14	18	15,4	70	198
-9	2,33	19	16,3	75	242
-8	2,54	20	17,3	80	293
-7	2,76	21	18,3	85	354
-6	2,99	22	19,4	90	424
-5	3,24	23	20,6	95	505
-4	3,51	24	21,8	100	598
-3	3,81	25	23,0		



Начало

Содержание



Страница 43 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть

Таблица 6 – Коэффициенты поверхностного натяжения жидкостей  
(при 20С)

Вещество	Коэффициент поверхностного натяжения, $\sigma$ мН/м
Анилин	43
Вода	73
Вода (70 С)	64
Золото (распл., 1070 С)	610
Керосин	30
Мыльный раствор воды	45
Ртуть	500
Серебро (распл., 960 С)	780
Спирт	22



Начало

Содержание



Страница 44 из 45

Назад

На весь экран

Закреть

## Список используемой литературы

1. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – М., Наука. – 1985. – 381 с.
2. Куликов, А.С. Сборник задач по общей физике / А.С. Куликов, Н.И. Рогова, А.С. Сериков, О.Д. Стоценко –М., Высшая школа. – 1964. – 196 с.
3. Буховцев, Б.Б. Сборник задач по элементарной физике / Б.Б. Буховцев, В.Д. Кривченков, Г.Я. Мякишев, В.П. Шальнов. – М., Наука. – 1966. – 439 с.
4. Young, H.D. University Physics / H.D. Young, R.A. Freedman. – 11th ed. – 1975. – 1714 s.
5. Ravinski, A. Zbiór zadań z fizyki / A. Ravinski. – Białystok. Poland. – 2011. – 66 s.
6. Ревинский, А.Ф. Молекулярная физика и термодинамика. / А.Ф. Ревинский // Методические указания для студентов специальностей «Физика», «Физика и информатика», «Физика и математика» физического факультета университета. – Брест, БрГУ им. А.С. Пушкина. – 2008. – 30 с.



Начало

Содержание



Страница 45 из 45

Назад

На весь экран

Заккрыть