

## Дисциплина «Молекулярная физика»

Специальность 5В071000- Материаловедение и технологии новых материалов

2018-2019

### Часть 1

1. Давление. Дайте вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов и проанализируйте его..
2. Раскройте физический смысл температуры. Объясните, из чего складывается внутренняя энергия идеального газа и от какого параметра состояния она зависит. Сформулируйте закон Больцмана о равномерном распределении энергии по степеням свободы.
3. Расскажите о модели идеального газа. Запишите уравнение состояния идеального газа. Запишите уравнения и дайте графики изопараметрических процессов.
4. Дайте определение случайной величины, случайного события и вероятности появления случайного события. Нормировка вероятности. Докажите теоремы сложения и умножения вероятностей. Как вводится понятие плотности вероятности?
5. Запишите формулу распределения Максвелла для модуля скорости и изобразите график этой функции. Расскажите о характеристических скоростях распределения Максвелла, запишите для них формулы.
6. Запишите формулы и изобразите графики функций распределения Максвелла для компоненты скорости и вектора скорости. Дайте вывод функции распределения молекул по относительным скоростям и изобразите график этой функции.
7. Выведите барометрическую формулу, дайте её анализ. Сформулируйте закон распределения Больцмана. Дайте понятие об отрицательных температурах. Запишите формулу для функции распределения Максвелла - Больцмана.
8. Сформулируйте первое начало термодинамики. Объясните, какие функции являются функциями процесса, а какие - функциями состояния.
9. Дайте определения удельной и молярной теплоёмкости, дайте формулу связи между ними, укажите их единицы измерения в СИ. Получите формулы для молярной теплоёмкости идеального газа при постоянном объёме и при постоянном давлении. Запишите формулу Майера. Какой физический смысл имеет универсальная газовая постоянная  $R$ ? Расскажите о недостатках классической теории теплоёмкости.
10. Запишите уравнения, изобразите графики, приведите формулы для теплоёмкости и работы в изохорном, изобарном, изотермическом процессах.
11. Дайте определение адиабатного процесса. Выведите уравнение Пуассона, изобразите график адиабатного процесса. Получите формулу для работы в адиабатном процессе.
12. Дайте определение политропного процесса, выведите уравнение политропы. Получите формулу для теплоёмкости политропного процесса как функции показателя политропы. Получите формулу для работы в политропном процессе.
13. Дайте определение циклического процесса и КПД цикла. Расскажите о цикле Карно, получите формулу для КПД цикла Карно. Дайте формулировки второго начала термодинамики, данные Клаузиусом, Планком и Кельвином.
14. Дайте определение энтропии, расскажите о её свойствах. Получите формулы для изменения энтропии в процессах идеального газа. Изобразите энтропийные диаграммы.

15. Сформулируйте и докажите теоремы Карно. Расскажите о термодинамической шкале температуры.
16. Получите формулу для неравенства Клаузиуса. Расскажите об изменении энтропии при необратимых процессах. Раскройте статистический характер второго начала термодинамики.

## Часть 2

1. Расскажите о силах и потенциалах межмолекулярного взаимодействия, изобразите графики некоторых потенциалов.
2. Дайте определение и получите формулы для средней частоты столкновений, средней длины и среднего времени свободного пробега молекул газа.
3. Расскажите, какие явления относятся к явлениям переноса, чем они обусловлены, при каких условиях они наблюдаются. Выведите общее уравнение переноса.
4. Расскажите о процессе самодиффузии в газах. Выведите уравнение, описывающее это явление (первый закон Фика), запишите формулу для коэффициента диффузии в газах. Рассмотрите зависимость коэффициента диффузии от температуры и давления.
5. Расскажите о явлении вязкости (внутреннего трения) в газах. Каким уравнением описывается это явление? Запишите формулу для коэффициента вязкости в газах, рассмотрите его зависимость от температуры и давления.
6. Расскажите о процессе теплопроводности в газах. Выведите уравнение, описывающее это явление (первый закон Фурье), запишите формулу для коэффициента теплопроводности в газах. Рассмотрите зависимость коэффициента теплопроводности от температуры и давления.
7. Рассмотрите экспериментальные изотермы реального газа (изотермы Эндрюса). Дайте элементарный вывод уравнения Ван-дер-Ваальса.
8. Изобразите изотерму Ван-дер-Ваальса в переменных ( $p$ ,  $V$ ). Проанализируйте этот график. Укажите области стабильного, метастабильного и неустойчивого состояний вещества.
9. Дайте определение критического состояния вещества. Каким условиям подчиняется уравнение Ван-дер-Ваальса в критическом состоянии? Какими свойствами обладает вещество в критическом состоянии? Расскажите об экспериментальных методах определения критических параметров
10. Получите связь между критическими параметрами и постоянными в уравнении Ван-дер-Ваальса.
11. Получите уравнение Ван-дер-Ваальса в приведённых переменных. Сформулируйте закон соответственных состояний, расскажите о теории термодинамического подобия (ТТП).
12. Расскажите, из каких составляющих складывается внутренняя энергия любой термодинамической системы, от каких параметров состояния она зависит. Получите формулу для внутренней энергии газа Ван-дер-Ваальса. Расскажите об эффекте Джоуля – Томсона.
13. Расскажите об особенностях жидкого состояния вещества. О характере теплового движения молекул в жидкостях. Запишите формулу Френкеля и объясните её. Расскажите о явлениях вязкости и диффузии в жидкостях..

14. Объясните, чем обусловлено поверхностное натяжение в жидкостях. Запишите формулу для добавочного давления под искривленной поверхностью жидкости. (формулу Лапласа). Расскажите о капиллярных явлениях.
15. Расскажите об особенностях кристаллического состояния вещества. Дайте классификацию кристаллов. Расскажите о физических типах кристаллов. Расскажите о теплоёмкости твёрдых тел. Сформулируйте закон Дюлонга и Пти. Дайте график зависимости  $C$  от  $T$ .
16. Расскажите о фазовых превращениях первого и второго рода. Какие экспериментальные факты характерны для этих фазовых переходов? Изобразите диаграмму состояний трёхфазной системы. Выведите уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Как зависит давление насыщенных паров от температуры?
17. Изобразите диаграмму состояний гелия и объясните её. Расскажите о свойствах жидкого гелия.

### Часть 3

1. Сколько нужно энергии, чтобы расплавить 10 кг льда, взятого при температуре 263 К? Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,4 \cdot 10^5$  Дж/кг, удельная теплоёмкость льда  $c = 2095$  Дж/кг·К.
2. На сколько градусов температура воды у основания водопада с высотой  $H = 20$  м больше, чем у вершины? Считать, что вся механическая энергия воды идёт на её нагревание. Удельную теплоёмкость воды принять равной  $c = 4200$  Дж/кг·К.
3. Кусок свинца массой 1 кг расплавился наполовину при сообщении ему тепла  $Q = 54 \cdot 10^3$  Дж. Какова была начальная температура  $T_0$  свинца? Удельная теплота плавления свинца  $\lambda = 2,4 \cdot 10^4$  Дж/кг, его удельная теплоёмкость  $c = 130$  Дж/кг·К, Температура плавления  $T_{пл} = 600$  К.
4. На площади  $100 \text{ м}^2$  толщина снега при температуре 273 К равна 30 см. Температура воды, полученной при таянии снега, равнялась 278 К. Какое количество теплоты сообщено снегу? Плотность снега  $0,25 \text{ г/см}^3$ . удельная теплота плавления снега равна  $33 \cdot 10^4$  Дж/кг, удельная теплоёмкость воды  $4190$  Дж/кг·К.
5. В цилиндре под поршнем находится воздух при давлении  $p_1 = 2 \cdot 10^5$  Па и температуре  $T_1 = 300$  К. Какой груз  $F$  нужно положить на поршень после нагревания воздуха до температуры  $T_2 = 327$  К, чтобы объём воздуха в цилиндре был равен первоначальному? Площадь поршня  $S = 30 \text{ см}^2$ .
6. Баллон, содержащий  $V_1 = 0,04 \text{ м}^3$  воздуха под давлением  $p_1 = 2 \cdot 10^4$  Па, соединяют с баллоном ёмкостью  $V_2 = 0,08 \text{ м}^3$ , в котором находится воздух под давлением  $p_2 = 5 \cdot 10^2$  Па. Найти давление, установившееся в сосудах. Температура постоянная.
7. Температура нагревателя идеальной тепловой машины 400 К, а температура холодильника 260 К. Машина получает от нагревателя  $60 \cdot 10^4$  Дж/с тепла. Вычислить КПД машины и мощность.
8. Температура нагревателя идеальной тепловой машины равна 373 К. Какова температура холодильника, если  $3/4$  теплоты, полученной от нагревателя, газ отдаёт холодильнику?
9. В идеальной тепловой машине за счёт каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа 300 Дж. Определить КПД машины и температуру нагревателя, если температура холодильника 280 К.

10. Масса  $m = 6,5$  г водорода, находящегося при температуре  $t = 27^\circ\text{C}$ , расширяется вдвое при  $p = \text{const}$ . Найти работу  $A$  расширения газа, изменение его внутренней энергии  $\Delta U$  и количество теплоты  $Q$ , сообщённое газу.
11. Количество  $\nu = 1$  кмоль многоатомного газа нагревается на  $\Delta T = 100$  К в условиях свободного расширения. Найти количество теплоты  $Q$ , сообщённое газу, изменение его внутренней энергии  $\Delta U$  и работу  $A$  расширения газа.
12. В комнате объёмом в  $30 \text{ м}^3$  температура поднялась с  $15^\circ\text{C}$  до  $25^\circ\text{C}$ . На сколько при этом изменилась масса воздуха в комнате, если атмосферное давление  $p = 10^5$  Па? Эффективная молярная масса воздуха  $M = 29 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.
13. В закрытом сосуде находится масса  $m_1 = 20$  г азота и масса  $m_2 = 32$  г кислорода. Найти изменение внутренней энергии  $\Delta U$  смеси газов при охлаждении её на  $\Delta T = 28$  К.
14. Закрытый сосуд объёмом  $V = 2$  л наполнен воздухом при нормальных условиях. В сосуд вводится диэтиловый эфир  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$ . После того, как весь эфир испарился, давление в сосуде стало равным  $0,14$  МПа. Какая масса  $m$  эфира была введена в сосуд?
15. Какая доля количества теплоты, подводимой к идеальному газу при изобарическом процессе, расходуется на увеличение внутренней энергии газа и какая доля – на работу расширения? Рассмотреть случаи одноатомного, двухатомного и многоатомного газов.
16. Найти коэффициент самодиффузии гелия при нормальных условиях. Диаметр атомов гелия принять равным  $2 \cdot 10^{-10}$  м.
17. Конец стеклянной капиллярной трубки радиуса  $r = 0,05$  см опущен в воду на глубину  $h = 2$  см. Какое давление необходимо, чтобы выдуть пузырёк воздуха через нижний конец трубки? Коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma = 0,073$  Н/м.
18. В запаянном сосуде находится вода, занимающая объём, равный половине объёма сосуда. Найти давление и плотность водяного пара при температуре  $400^\circ\text{C}$ , зная, что при этой температуре вся вода обращается в пар.
19. Найти изменение энтропии при нагревании  $100$  г воды от  $0^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$  и последующем превращении её в пар той же температуры. Удельная теплоёмкость воды  $c = 4,19 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К), удельная теплота испарения воды  $r = 2,26 \cdot 10^6$  Дж/кг.
20. Азот, имевший температуру  $27^\circ\text{C}$ , был адиабатически сжат так, что его объём уменьшился в  $10$  раз. Масса газа  $2$  г. Определить конечную температуру газа и работу в этом процессе.
21. Средняя длина свободного пробега молекулы углекислого газа при нормальных условиях равна  $4 \cdot 10^{-6}$  см. Какова средняя арифметическая скорость молекул? Сколько столкновений в секунду испытывает молекула?
22. Разность уровней жидкости U-образной трубки  $23$  мм. Диаметры каналов в коленах трубки  $2$  мм и  $0,4$  мм. Плотность жидкости  $0,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости. Дать чертёж.
23. Найти коэффициент диффузии  $D$  и вязкость  $\eta$  воздуха при давлении  $101,3$  кПа и температуре  $10^\circ\text{C}$ . Диаметр молекул воздуха  $d = 0,3$  нм.
24. условиях.
25. Масса  $m = 1$  кг двухатомного газа находится под давлением  $p = 80$  кПа и имеет плотность  $\rho = 4$  кг/м<sup>3</sup>. Найти энергию теплового движения молекул газа при этих условиях. В сосуде находится углекислый газ, плотность которого  $\rho = 1,7$  кг/м<sup>3</sup>. Средняя

- длина свободного пробега его молекул  $\langle l \rangle = 79$  нм. Найти диаметр  $d$  молекул углекислого газа.
26. Найти изменение  $\Delta S$  энтропии при переходе массы  $m = 8$  г кислорода от объёма  $V_1 = 10$  л при температуре  $t_1 = 80^\circ\text{C}$  к объёму  $V_2 = 40$  л при температуре  $t_2 = 300^\circ\text{C}$ .
27. Во сколько раз плотность воздуха в пузырьке, находящемся на глубине  $h = 5$  м под водой, больше плотности воздуха при атмосферном давлении  $p_0 = 101,3$  кПа? Радиус пузырька воздуха  $r = 0,5$  мкм, коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma = 0,073$  Н/м.
28. На какой глубине под водой находится пузырёк воздуха, если известно, что плотность воздуха в нём  $\rho = 2$  кг/м<sup>3</sup>? Диаметр пузырька  $d = 15$  мкм, температура  $t = 20^\circ\text{C}$ , атмосферное давление  $p_0 = 101,3$  кПа, коэффициент поверхностного натяжения воды  $\sigma = 0,073$  Н/м.
29. Какую работу против сил поверхностного натяжения нужно совершить, чтобы выдуть мыльный пузырь диаметром  $d = 4$  см? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора  $\sigma = 0,043$  Н/м.
30. При адиабатическом сжатии количества  $\nu = 1$  кмоль двухатомного газа была совершена работа  $A = 146$  кДж. На сколько увеличилась температура газа при сжатии?