

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

“Основы физики реального газа и жидкости”

Часть 1

1. Термические свойства. Изотермический коэффициент сжимаемости. Адиабатный коэффициент сжимаемости. Коэффициент объёмного расширения. Термический коэффициент давления. Записать формулы, дать определения, указать единицы измерения в СИ.

2. Калорические свойства. Внутренняя энергия. Энтальпия. Свободная энергия. Изобарно-изотермический потенциал (потенциал Гиббса). Теплоёмкость. Записать формулы. От каких независимых переменных зависит каждый из термодинамических потенциалов? Найти частные производные по этим независимым переменным. При рассмотрении каких процессов используются эти потенциалы?

3. Компонент системы. Фаза. Условия термодинамического равновесия. Химический потенциал. Условия термодинамической устойчивости. Записать и объяснить условия механического, термического и химического равновесия. Дать определение химического потенциала. От каких переменных он зависит? Найти частные производные от химического потенциала по этим переменным. Записать условия механической и термической устойчивости.

4. Равновесные фазовые переходы. Дать определение равновесных фазовых переходов. Соотношение, объединяющее три условия фазового равновесия. Следствия из этого соотношения для однокомпонентной двухфазной системы.

5. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Дать вывод в дифференциальной форме уравнения Клапейрона-Клаузиуса, связывающего давление и температуру на линии фазового перехода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса для фазовых переходов первого рода.

6. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Фазовые переходы первого рода. Экспериментальные данные и их соответствие принятой классификации.

7. Фазовый переход жидкость-пар. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Получить в явном виде связь между давлением и температурой на линии равновесия насыщенный пар – жидкость, проинтегрировав уравнение Клапейрона-Клаузиуса при некоторых упрощающих предположениях. Привести диаграмму состояний, прокомментировав её.

8. Фазовый переход твёрдое тело - пар. Связь между температурой и давлением на линии фазового перехода. Получить в явном виде связь между давлением и температурой на линии равновесия твёрдое тело - пар, проинтегрировав уравнение Клапейрона-Клаузиуса при некоторых упрощающих предположениях. Привести диаграмму состояний, прокомментировав её.

9. Фазовый переход твёрдое тело – жидкость. Связь между температурой и давлением на линии фазового перехода. Получить в явном виде связь между давлением и температурой на линии равновесия твёрдое тело - жидкость, проинтегрировав уравнение Клапейрона-Клаузиуса при некоторых упрощающих предположениях. Привести диаграмму состояний, прокомментировав её.

10. Диаграмма состояний для нормальных и аномальных веществ. Привести диаграммы состояний для нормальных и аномальных веществ, прокомментировав её. Указать области существования вещества в твёрдом, жидком и газообразном состояниях. Что такое тройная точка, критическая точка?

11. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Фазовые переходы второго рода. Экспериментальные данные и их соответствие принятой классификации.

12. Соотношения Эренфеста. Вывод соотношений на основе уравнения Клапейрона-Клаузиуса для фазовых переходов второго рода, анализ.

13. Уравнение состояния вещества и его роль в науке. Какую информацию можно получить с помощью уравнения состояния? Требования, предъявляемые к уравнению состояния.

14. Жидкое состояние вещества. Ближний порядок в строении жидкостей. “Дырки”. Тепловое движение молекул в жидкостях. Время “осёдлой жизни”, энергия активации. Формула Френкеля. Эмпирические уравнения состояния жидкостей.

15. Отступления от законов идеального газа. Экспериментальные изотермы идеального и реального газа в переменных $pV = f(p)$. Изотермы Эндрюса, их анализ.

16. Элементарный вывод уравнения Ван-дер-Ваальса с учётом перескока импульса. Физический смысл поправок в уравнении Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса для одного моля и для произвольной массы газа. Единицы измерения поправок Ван-дер-Ваальса в СИ.

Часть 2

17. Анализ уравнения Ван-дер-Ваальса. Представить уравнение Ван-дер-Ваальса в виде уравнения третьей степени относительно объёма, дать график изотермы в переменных (pV) . Провести на графике линию конденсации, указать критическую точку, построить бинадаль, спинодаль,

18. Правило фаз Максвелла. Правило "рычага". Используя правило фаз Максвелла, указать на изотерме Ван-дер-Ваальса точки начала и окончания конденсации. По правилу "рычага" определить содержание жидкой и паровой фазы на линии конденсации.

19. Метастабильные состояния вещества – переохлаждённый пар, перегретая жидкость. Указать на изотерме Ван-дер-Ваальса участки этих метастабильных состояний. Где они используются?

20. Метастабильное состояние вещества - растянутая жидкость Указать на изотерме Ван-дер-Ваальса область существования жидкости под отрицательным давлением. Получить связь между постоянными Ван-дер-Ваальса и температурой и объёмом, при которых жидкость будет находиться при давлении, равном нулю.

21. Критическое состояние. Свойства вещества в критическом состоянии: явление критической опалесценции, гидростатический эффект, восприимчивость системы к внешним воздействиям.

22. Первое и второе критические условия. Связь между критическими параметрами и постоянными в уравнении Ван-дер-Ваальса. Сформулировать первое и второе критические условия. Используя эти условия, получить связь между критическими параметрами и постоянными в уравнении Ван-дер-Ваальса.

23. Способы определения критических параметров вещества – метод ампулы, метод прямолинейного диаметра, метод касательной.

24. Уравнение Ван-дер-Ваальса в приведённых переменных. Закон соответственных состояний. Используя в качестве масштаба критические параметры, получить уравнение Ван-дер-Ваальса и безразмерном виде, дать график изотермы в безразмерных переменных. Сформулировать закон соответственных состояний, рассказать о теории термодинамического подобия.

25. Отступления уравнения Ван-дер-Ваальса от эксперимента. Обзор некоторых уравнений состояния реального газа (уравнения Клаузиуса, Бертелло, Дитеричи и других).

26. Уравнение состояния в вириальной форме. Записать уравнение состояния в вириальной форме, раскрыть физический смысл. вириальных коэффициентов.

27. Силы межмолекулярного взаимодействия. Причины, вызывающие появление межмолекулярных сил. Перечислить причины, вызывающие появление межмолекулярных сил.

28. Выбор направления межмолекулярных сил. Связь между силой и потенциалом межмолекулярного взаимодействия. Дать график зависимости сил и потенциалов притяжения и отталкивания от расстояния между молекулами.

29. Составляющие межмолекулярных потенциалов. Рассказать об электростатической, индукционной, дисперсионной составляющих межмолекулярных потенциалов.

30. Требования, предъявляемые к потенциалам межмолекулярного взаимодействия. Исследования, на основании которых определяются параметры потенциалов межмолекулярного взаимодействия.

31. Обзор некоторых потенциалов межмолекулярного взаимодействия. Представить в виде графиков потенциалы абсолютно твёрдой сферы, точечного центра отталкивания, точечного центра притяжения, прямоугольной потенциальной ямы, потенциала Сюзерленда, потенциала Леннарда-Джонва.

32. Зависимость эффективного диаметра молекул от температуры для потенциалов Сюзерленда и (12-6) Леннарда-Джонса.

Часть 3

33. Какому давлению необходимо подвергнуть углекислый газ при температуре $T=300\text{ К}$, чтобы его плотность оказалась равной $\rho = 500 \frac{\text{г}}{\text{л}}$? Расчёт провести как для идеального газа, так и для

ван-дер-ваальсовского. Постоянные Ван-дер-Ваальса: $a = 0,367 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^2}; b = 43 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$.

34. Один моль некоторого газа находится в сосуде объёмом $V=0,250\text{ л}$. При температуре $T_1 = 300\text{ К}$ давление газа равно $p_1 = 90\text{ атм}$, а при $T_2 = 350\text{ К}$ давление $p_2 = 110\text{ атм}$. Найти постоянные Ван-дер-Ваальса для этого газа.

35. Найти работу, совершаемую одним молем ван-дер-ваальсовского газа при изотермическом расширении его от объёма V_1 до V_2 при температуре T .

36. Один моль кислорода расширили от объёма $V_1 = 1,00\text{ л}$ до $V_2 = 5,0\text{ л}$ при постоянной температуре $T = 280\text{ К}$. Вычислить количество поглощённого газом тепла. Газ считать ван-дер-

ваальсовским. Для кислорода постоянная Ван-дер-Ваальса $b = 32 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$.

37. Вычислить постоянные Ван-дер-Ваальса для углекислого газа, если его критическая температура $T_{кр} = 304\text{ К}$ и критическое давление $p_{кр} = 73\text{ атм}$.

38. Какую часть объёма сосуда должен занимать жидкий эфир при комнатной температуре, чтобы при достижении критической температуры он оказался в критическом состоянии? Для эфира $T_{кр} = 467\text{ К}$, $p_{кр} = 35,5\text{ атм}$, $M = 74 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$. Плотность жидкого эфира при комнатной температуре $\rho = 0,72 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$.

39. Вода со своим насыщенным паром находится в сосуде объёмом $V = 6,0\text{ л}$ при температуре 250°С и давлении 40 атм . Удельный объём пара при этих условиях $\nu = 50 \frac{\text{л}}{\text{кг}}$. Масса системы (воды с паром) $m = 5,0\text{ кг}$. Найти массу и объём пара.

40. На какую величину возросло бы давление воды на стенки сосуда, если бы исчезли силы притяжения между её молекулами? Для воды постоянная Ван-дер-Ваальса $a = 0,554 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^2}$.

41. Пространство в цилиндре под поршнем, имеющее объём $V_0 = 5,0\text{ л}$, занимает один насыщенный водяной пар, температура которого $t = 100^\circ\text{С}$. Найти массу жидкой фазы, образовавшейся в результате изотермического уменьшения объёма под поршнем до $V = 1,6\text{ л}$. Насыщенный пар считать идеальным газом.

42. Давление p насыщенного пара ртути зависит от температуры T по закону $\ln p = -\frac{a}{T} - b \ln T + c$, где a, b, c – постоянные. Найти молярную теплоту испарения ртути как функцию температуры $q(T)$.

43. Найти давление насыщенного пара как функцию температуры, если при температуре T_0 его давление P_0 . Считать, что удельная теплота парообразования q не зависит от T , удельный объём жидкости пренебрежимо мал по сравнению с удельным объёмом пара, насыщенный пар

подчиняется уравнению состояния идеального газа. При каких условиях эти упрощения допустимы?

44. Записать уравнение Ван-дер-Ваальса в приведённых параметрах π, ω, τ , приняв за единицы давления, объёма и температуры соответствующие критические величины. Используя полученное уравнение, найти, во сколько раз температура газа больше его критической температуры, если давление газа в 12 раз больше критического, а объём газа вдвое меньше критического.

45. Лёд с начальной температурой $t_1 = 0^\circ\text{C}$ в результате нагревания превратился сначала в воду, а затем в пар при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Найти приращение удельной энтропии системы.

Удельная теплота плавления льда $q_{пл} = 3,33 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$, удельная теплоёмкость воды $c = 4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, удельная теплота парообразования воды $q_{пар} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

46. Сколько нужно энергии, чтобы расплавить 10 кг льда, взятого при температуре 263 К?

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$, удельная теплоёмкость льда $c = 2095 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$.

47. Кусок свинца массой 1 кг расплавился наполовину при сообщении ему тепла $Q = 54 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Какова была начальная температура T_0 свинца? Удельная теплота плавления свинца $\lambda = 2,4 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$, его удельная теплоёмкость $c = 130 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$, температура плавления $T_{пл} = 600 \text{ K}$.

48. На площади 100 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 $\rho = 0,25 \text{ г/см}^3$, удельная теплота плавления снега $\lambda = 33 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$, удельная теплоёмкость воды $c = 4190 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}$.

49. Зная постоянные Ван-дер-Ваальса, найти:

- а) наибольший объём, который может занимать вода массы $m = 1,00 \text{ кг}$ в жидком состоянии;
- б) наибольшее давление насыщенных паров воды.

Поправки Ван-дер-Ваальса для воды: $a = 0,554 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^6}{\text{моль}^2}$, $b = 30 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$

50. Воду массы $m = 1,00 \text{ кг}$ нагрели от температуры $t_1 = 10^\circ\text{C}$ до $t_2 = 100^\circ\text{C}$, при которой она вся превратилась в пар. Найти приращение энтропии системы. Удельная теплоёмкость

воды $c = 4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, удельная теплота парообразования воды $q_{пар} = 2,25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.