

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Косенок Сергей Михайлович  
Должность: ректор  
Дата подписания: 18.06.2024 12:45:20  
Уникальный программный ключ:  
e3a68f3eaa1e62674b54f4998099d3d6bfdcf836

## Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине

*Термодинамика и статистическая физика, 6 семестр*

Код, направление подготовки	03.03.02
Направленность (профиль)	Цифровые технологии в геофизике
Форма обучения	очная
Кафедра-разработчик	Кафедра экспериментальной физики
Выпускающая кафедра	Кафедра экспериментальной физики

### Типовые задания для контрольной работы:

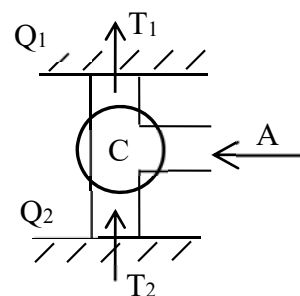
1. Термодинамические коэффициенты и связи между ними.
2. Изотермическая и адиабатическая недостижимость по Каратеодори.
3. Энтропия и температура.
4. Первое начало термодинамики; теплоёмкость.
5. Политропический процесс.
6. Второе начало термодинамики.
7. Циклические процессы.
8. КПД тепловой машины.
9. Цикл Карно. Теорема Карно и её следствия.
10. Теорема Клаузиуса.
11. Термодинамическое определение энтропии.
12. Термодинамические потенциалы и их свойства.
13. Химический потенциал.
14. Типы контактов термодинамических систем.
15. Второе начало термодинамики и процессы выравнивания.
16. Условия равновесия.
17. Понятие о фазах и фазовых переходах.
18. Условие равновесия фаз.
19. Критическая температура и критическое состояние.
20. Зависимость энтропии идеального газа от числа частиц.
21. Процессы смешивания для идеальных газов.
22. Парадокс Гиббса.
23. Равновесие фаз в многокомпонентных системах. Правило фаз Гиббса.
24. Общее определение устойчивости термодинамического состояния.
25. Критерии устойчивости.
26. Метастабильные состояния в теории Ван-дер-Ваальса.
27. Третье начало термодинамики.
28. Термодинамические коэффициенты при низких температурах.

РАЗДЕЛЫ I – IV

1. Пользуясь уравнением состояния для газа Ван-дер-Ваальса, определить зависимость внутренней энергии от объёма (т.е. найти  $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$ ), основываясь на общих термодинамических соотношениях. Сделать вывод о физическом смысле полученного результата.
2. Свободная энергия газа из «твёрдых сфер» (с объёмом  $v_0$  каждая) описывается формулой Карнахана-Старлинга:  $F = Nk_B T(4bV - 3b^2)/(V - b)^2$ ,  $b = v_0 N$ . Показать, что в этой системе возможно состояние, в котором изотермическая сжимаемость газа обращается в ноль. На что указывает этот факт? Возможно ли в этой системе состояние, в котором эта сжимаемость равна бесконечности?
3. Найти уравнение спинодали в переменных  $(T, V)$  для газа Ван-дер-Ваальса. (Спинодаль – это множество состояний, в которых сжимаемость газа обращается в бесконечность). Построить график спинодали на плоскости  $(T, V)$ , т.е. график зависимости  $T(V)$ . Учесть, что  $V \geq b$ .

б.

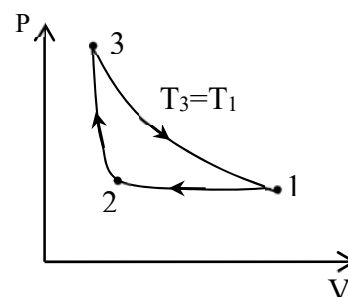
1. Вычислить изотермическую сжимаемость и изобарический коэффициент температурного расширения газа, уравнение состояния которого совпадает с уравнением Клаузиуса  $\left(p + \frac{a}{T(V+c)^2}\right)(V-b) = RT$ ,  $a, b, c$  – постоянные.



2. Тепловая машина Карно используется в качестве холодильной машины (т.е. цикл Карно совершается в обратном направлении) для поддержания температуры некоторого резервуара при температуре  $t_2 = -3^{\circ}C$ . Температура окружающего воздуха  $t_1 = 27^{\circ}C$ . Какая механическая работа требуется для выполнения одного цикла машины, если от оболочки резервуара отводится количество тепла  $Q_2 = 900$  кал?

3. Вычислить коэффициент Джоуля-Томсона для газа Ван-дер-Ваальса и для газа Бергтро.

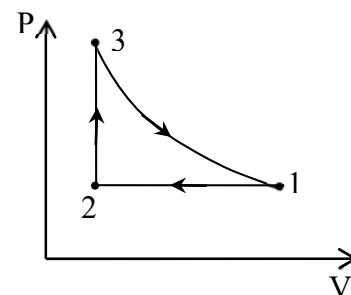
4. Тепловая машина с идеальным газом в качестве рабочего вещества совершает обратимый цикл, состоящий из изобары 12, адиабаты 23 и изотермы 31. Найти к.п.д. машины как функцию максимальной  $T_1$  и минимальной  $T_2$  температур.



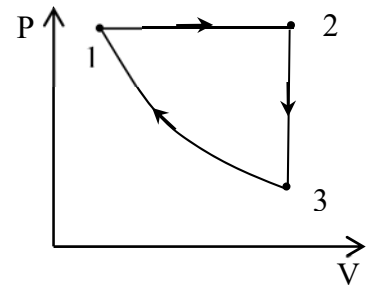
5. Найти калорическое уравнение состояния и выражение для энтропии фотонного газа, у которого термическое уравнение состояния имеет вид:  $p = \frac{1}{3} \sigma_{SB} T^4$  ( $\sigma_{SB}$  – постоянная

Стефана-Больцмана). Принять, что внутренняя энергия фотонного газа обращается в нуль при  $V=0$ .

6. Тепловая машина с идеальным газом в качестве рабочего вещества совершает обратимый цикл, состоящий из изобары 12, изохоры 23 и изотермы 31. Найти к.п.д. машины как функцию максимальной  $T_1$  и минимальной  $T_2$  температур.



7. Определить КПД цикла, совершаемого тепловой машиной с фотонным газом в качестве рабочего тела, если цикл состоит из изобары 12, изохоры 23 и адиабаты 31. Изменится ответ, если звено 12 цикла заменить изотермическим процессом? Ответ выразить через температуры  $T_1$  и  $T_3$ . [Уравнения состояния фотонного газа имеют вид:  $P = \frac{1}{3}\sigma T^4$ ;  $U = 3PV$  ]



8. Предполагая, что удельный объем в газообразной фазе  $\tilde{V}_g \gg \tilde{V}_l$  ( $\tilde{V}_l$  - удельный объем жидкости), а так же, что для газообразной фазы справедливо уравнение состояния идеального газа, найти вид зависимости давления насыщенного пара от температуры. Скрытую теплоту парообразования считать постоянной, не зависящей от температуры.
9. Найти выражение для работы, совершаемой фотонным газом при адиабатическом расширении.
10. Доказать, что термическим уравнением состояния газа, термодинамический потенциал которого имеет вид  $G = RT \ln(p/p_0) - TS_0 + \alpha T(1 - \ln T/T_0)$ , является уравнение Клапейрона – Менделеева. ( $T_0, \alpha, S_0, p_0$  – постоянные). При каком значении  $\alpha$  теплоёмкость этого газа совпадает с теплоёмкостью идеального газа, молекулы которого имеют  $i$  степеней свободы?
11. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону  $PV^2 = const$  ?
12. Свободная энергия газа «твёрдых сфер» даётся формулой Карнахана – Старлинга:  $F = Nk_B T(4bV - 3b^2)/(V - b)^2, b = v_0 N$ . Найти уравнение состояния газа, т.е. уравнение вида  $f(P, T, V, N) = 0$ , и выяснить, существует ли в этой системе критическая точка.

### Типовые вопросы к зачёту с оценкой

1. Основные понятия термодинамики (термодинамические параметры и их классификация, состояние, уравнения состояния, равновесные и неравновесные процессы, примеры). Термодинамические коэффициенты и связи между ними.
2. Изотермическая и адиабатическая недостижимость по Каратеодори. Эмпирические энтропия и температура. Основное термодинамическое тождество и абсолютная шкала температуры.
3. Первое начало термодинамики; теплоёмкость. Политропический процесс. Уравнение политропы в случае идеального газа. Примеры политропических процессов.
4. Метод якобианов. Получение общих термодинамических соотношений для  $C_p - C_V$  и  $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$ .
5. Второе начало термодинамики. Циклические процессы. КПД тепловой машины. Цикл Карно. Теорема Карно и её следствия.
6. Теорема Клаузиуса. Термодинамическое определение энтропии. Температура как интегрирующий множитель.
7. Термодинамические потенциалы и их свойства. Зависимость термодинамических потенциалов от числа частиц (числа молей). Химический потенциал.

8. Типы контактов термодинамических систем. Экстремальные свойства термодинамических потенциалов. Второе начало термодинамики и процессы выравнивания. Условия равновесия.
9. Процесс Джоуля – Томсона. Коэффициент Джоуля – Томсона и его вычисление для газа Ван-дер-Ваальса. Температура инверсии.
10. Понятие о фазах и фазовых переходах. Условие равновесия фаз. Классификация фазовых переходов по П. Эренфесту. Уравнение Клапейрона –Клаузиуса и его получение методом термодинамических потенциалов и методом бесконечно малых циклов.
11. Модель Ван-дер-Ваальса фазовых переходов первого рода. Правило площадей Максвелла и его физический смысл. Критическая температура и критическое состояние.
12. Зависимость энтропии идеального газа от числа частиц. Процессы смешивания для идеальных газов. Парадокс Гиббса.
13. Реакция 2-х фазной системы на внешнее возмущение. Анализ устойчивости равновесного состояния в 2-х фазной системе. Принцип Ле-Шателье.
14. Равновесие фаз в многокомпонентных системах. Правило фаз Гиббса. Тройная точка. Примеры.
15. Общее определение устойчивости термодинамического состояния. Критерии устойчивости. Метастабильные состояния в теории Ван-дер-Ваальса.
16. Третье начало термодинамики. Термодинамические коэффициенты при низких температурах.
17. Процессы вторжения. Образование и условия устойчивости зародыша новой фазы при фазовых переходах первого рода.