

Кафедра общей и технической физики

ФИЗИКА
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА
И ТЕРМОДИНАМИКА

*Методические указания и контрольные задания
для самостоятельной работы*

Требования к оформлению контрольных работ и порядок их представления на рецензию для студентов заочной формы обучения

Работа выполняется чернилами в обычной тетради. На титульном листе указать фамилию и инициалы студента, шифр и домашний адрес, наименование дисциплины, номер контрольной работы.

Условия задач своего варианта переписывать полностью. Каждую задачу начинать на новой странице. Исходные данные задачи можно выписать отдельно. Для замечаний рецензента оставлять поля. Привести список учебной литературы, используемой при выполнении контрольной работы.

Выполненные контрольные работы должны быть высланы студентом-заочником по почте или лично переданы в деканат заочного отделения в сроки, указанные в плане обучения.

После получения рецензии на контрольную работу студент обязан учесть замечания рецензента и внести исправления в работу.

Если контрольная работа не зачтена, студент должен заново решить те задачи, по которым были получены ошибочные результаты, и представить контрольную работу на повторное рецензирование.

Зачтенные контрольные работы предъявляются преподавателю кафедры физики, и до экзамена студент-заочник должен дать пояснения к решению задач.

В контрольные работы включены задачи четырех разделов:

1. Физические основы механики;
2. Молекулярная физика и термодинамика;
3. Электричество и магнетизм;
4. Элементы физической оптики, квантовой физики атомов, молекул и твердых тел.

Для студентов, планами обучения которых предусмотрены четыре контрольные работы, определение варианта задания проводится по единой для всех четырех контрольных работ таблице вариантов (табл.1). Номер контрольной работы соответствует номеру раздела, из которого необходимо решить задачи, указанные

в строке соответствующего варианта. В контрольную работу №2 включены задачи из раздела «Молекулярная физика и термодинамика». Каждый вариант содержит восемь задач. Студент-заочник должен решать задачи того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой шифра его зачетной книжки.

Таблица 1

Вариант	Номера задач контрольной работы №2							
	1	11	21	31	41	51	61	71
1	1	11	21	31	41	51	61	71
2	2	12	22	32	42	52	62	72
3	3	13	23	33	43	53	63	73
4	4	14	24	34	44	54	64	74
5	5	15	25	35	45	55	65	75
6	6	16	26	36	46	56	66	76
7	7	17	27	37	47	57	67	77
8	8	18	28	38	48	58	68	78
9	9	19	29	39	49	59	69	79
0	10	20	30	40	50	60	70	80

Например, студент, у которого последняя цифра шифра зачетной книжки 8, решает в контрольной работе 2 задачи из раздела «Молекулярная физика и термодинамика» под номерами 8, 18, 28, 38, 48, 58, 68, 78.

Для студентов тех специальностей, учебными планами которых предусмотрены две контрольные работы, номер варианта определяется так же по последней цифре шифра его зачетной книжки, а номера задач по таблице 2 в соответствии с вариантом. В таблицу 2 включены номера задач из двух разделов: раздел 1 «Физические основы механики» и раздел 2 «Молекулярная физика и термодинамика».

$$\Delta S_p = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta Q_{\text{пл}}}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p dT}{T} = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = C_p \ln \frac{V_2}{V_1};$$

$$\Delta S_V = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta Q_{\text{пл}}}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_V dT}{T} = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} = C_V \ln \frac{P_2}{P_1};$$

$$\Delta S_T = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{dA}{T} = \int_1^2 \frac{PdV}{T} = \int_1^2 \frac{RTdV}{TV} = R \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Проверка размерности:

$$[\Delta S_p] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \ln \frac{\text{М}^3}{\text{М}^3} = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}};$$

$$[\Delta S_V] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \ln \frac{\text{Па}}{\text{Па}} = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}};$$

$$[\Delta S_T] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \ln \frac{\text{М}^3}{\text{М}^3} = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

Ответ: изменение энтропии одного моля газа при изобарном, изохорном и изотермическом процессах соответственно

$$C_p \ln \frac{V_2}{V_1}, C_V \ln \frac{P_2}{P_1} \text{ и } R \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

8. Задачи для выполнения вариантов контрольных работ

1. Среднеквадратическая скорость частиц пыли при нормальных условиях равна 480 м/с. Сколько молекул содержит 1 г этой пыли?
2. При какой температуре средняя квадратическая скорость молекул кислорода больше их наиболее вероятной скорости на 100 м/с.
3. Найти наиболее вероятную, среднюю арифметическую и среднеквадратическую скорость молекул азота при 27 °С.
4. Определить наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет 0,35 кг/м³.

5. Найти отношение среднеквадратических скоростей молекул гелия и азота при одинаковых температурах.

6. Каково число молекул водорода в 1 см³, если давление равно 200 мм рт. ст., а среднеквадратическая скорость его молекул при данных условиях 24 м/с?

7. Какое давление оказывает газ на стенки сосуда, если его плотность 0,01 кг/м³, а среднеквадратическая скорость молекул 480 м/с?

8. Алюминиевый цилиндр повесили на крючок динамометра. Динамометр показал 2,7 Н. Какое количество вещества алюминия содержится в цилиндре? Молярная масса алюминия равна 0,027 кг/моль.

9. Найти полную кинетическую энергию, а также кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы аммиака NH₃ при температуре 27 °С.

10. Кристалл алмаза содержит 1,76 · 10²³ атомов углерода. Плотность алмаза $\rho = 3,5 \text{ г/см}^3$. Найти объем кристалла.

11. Как изменится температура газа при изобарном нагревании, если его объем увеличился в 2 раза по сравнению с объемом при 0 °С?

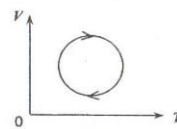


Рис.1

12. Как меняется давление идеального газа в ходе процесса, график которого изображен на рис.1? Указать точки на графике, соответствующие минимальному и максимальному давлению.

13. В сосуде объемом 1,0 л находится азот массой 0,28 г. Азот нагрет до температуры 1500 °С, при которой 30 % всех молекул азота диссоциируют на атомы. Определить давление в сосуде.

14. При температуре 7 °С 12 г газа занимают объем 4 · 10⁻³ м³. После нагревания газа при постоянном давлении его плотность стала равной 6 · 10⁻⁴ г/см³. До какой температуры нагрели газ?

15. Построить графики процесса, происходящего с идеальным газом (рис.2) в координатах P – T и P – V. Масса газа постоянна.

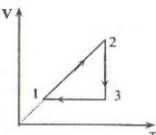


Рис.2

16. В баллоне вместимостью 15 л находится азот под давлением 100 кПа при температуре 27 °С. После того как из баллона выпустили азот массой 14 г, температура газа понизилась до 17 °С. Найти давление азота, оставшегося в баллоне.

17. В закрытом сосуде происходит полное сгорание кусочка угля с образованием углекислого газа. Затем сосуд охлаждают до первоначальной температуры. Сравнить конечное давление в сосуде с начальным давлением. Объем кусочка угля мал по сравнению с объемом сосуда.

18. Одноатомный газ при нормальных условиях занимает объем $V = 5$ л. Вычислить молярную теплоемкость этого газа при постоянном объеме.

19. Нагревается или охлаждается газ, расширяющийся по закону: а) $PV^2 = \text{const}$; б) $P = \text{const}$; в) $P / V = \text{const}$?

20. Точки А и В (рис.3) лежат на одной адиабате. В каком из состояний: А или В выше температура? Ответ обосновать.

21. В процессе изохорного нагревания кислорода объемом $V=20$ л его давление изменилось на $\Delta P=100$ кПа. Определить количество теплоты, сообщенное газу.

22. Некоторый газ при нормальных условиях имеет удельный объем $V_{уд} = 0,7$ м³/кг. Определить удельные теплоемкости C_V и C_P . Какой это газ?

23. Идеальный двухатомный газ ($\nu=2$ моль) нагревают при постоянном объеме до температуры 289 К. Определить количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его давление в $n = 3$ раза.

24. Идеальный двухатомный газ ($\nu=2$ моль) нагревают при постоянном объеме до температуры 289 К. Определить количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его давление в $n = 3$ раза.

25. Для нагревания $m=2,0$ кг неизвестного газа на $\Delta T = 5,0$ К при постоянном давлении требуется количество теплоты $Q_p=9,1$ кДж, а для нагревания при постоянном объеме требуется $Q_V=6,5$ кДж. Какой это может быть газ?

26

абсолютная температура газа увеличилась в τ раз. Показатель политропы n . Найти приращение энтропии в данном процессе.

37. Определить показатель адиабаты для смеси газов, содержащей 8 г гелия и 2 г водорода.

38. Определить, во сколько раз возрастёт длина свободного пробега молекул двухатомного газа, если в результате адиабатного расширения давление падает вдвое.

39. Некоторый газ массой 5 г изотермически расширяется от объема V_1 до объема $V_2=2V_1$. Работа расширения 1 кДж. Определить среднюю квадратическую скорость молекул газа.

40. В результате политропного сжатия от давления 0,2 МПа до давления 1,4 МПа объем газа уменьшился в пять раз. Определите показатель политропы.

41. Лед массой 0,2 кг, находящийся при температуре -30°C , превращается в пар. Определить изменение энтропии.

42. Определить изменение энтропии, происходящее при смешивании 2 кг воды при температуре 250 К и 4 кг воды при температуре 300 К.

43. Найти изменение энтропии 1 кг воздуха, если его давление увеличилось от 0,2 до 1,0 МПа, а температура понизилась от 327°С до 127°С.

44. При изобарном расширении водорода массой 20 г его объем увеличивается в три раза. Определить изменение энтропии водорода при этом процессе.

45. Определить изменение энтропии при изотермическом сжатии 1 моля кислорода от объема V до объема $V/3$.

46. Определить изменение энтропии 2 кг расплавленного свинца при охлаждении его от 327°С до 10°С. Температура плавления свинца 327°С.

47. Определить изменение энтропии при изобарном нагревании 0,1 кг азота от 17°С до 97°С.

48. Найти изменение энтропии при нагревании и плавлении 1 кг олова. Первоначальная температура олова 25°С.

49. Определить изменение энтропии 1 моля идеального газа при изохорном, изобарном и изотермическом процессах.

50. Найти приращение энтропии воды массой $m = 0,1$ кг при

28

26. При адиабатном сжатии газа его объем уменьшился в $n=10$ раз, а давление увеличилось в $k=21,4$ раза. Определить отношение C_P/C_V теплоемкостей газов.

27. Найти изменение внутренней энергии, совершаемую работу и количество теплоты, поглощаемой водородом массой $m=0,2$ кг при нагревании его от температуры $t_1 = 0^\circ\text{C}$ до $t_2 = 100^\circ\text{C}$ при постоянном давлении.

28. Газ расширяется адиабатически, причём объем его увеличивается вдвое, а термодинамическая температура падает в 1,32 раза. Какое число степеней свободы i имеют молекулы этого газа?

29. При адиабатном сжатии кислорода массой 1 кг совершена работа $A = 100$ кДж. Определить конечную температуру T_2 газа, если до сжатия кислород находится при температуре $T_1 = 300$ К.

30. В цилиндрическом сосуде диаметром 28 см находится 20 г азота, сжатого поршнем, на котором лежит груз массой 75 кг. Температура газа 17°С. Какую работу совершит газ, если его нагреть до 250°С? На сколько поднимется груз? Процесс считать изобарным, нагреванием сосуда и внешним давлением пренебречь.

31. Какова должна быть степень сжатия воздуха, чтобы его температура возросла с 15°С до 700°С? Сжатие считать адиабатным.

32. Двухатомный идеальный газ совершает процесс, в ходе которого молярная теплоемкость C газа остается постоянной и равной $(7/2)R$. Определить показатель политропы этого процесса.

33. При адиабатном расширении кислорода с начальной температурой $T_1 = 320$ К внутренняя энергия уменьшилась на $\Delta U = 8,4$ кДж, а его объем увеличился в $n = 5$ раз. Определить массу m кислорода.

34. Идеальный газ расширяется по закону $P=\alpha V$, где α – постоянный коэффициент. Найдите работу, произведенную газом и изменение его внутренней энергии при увеличении объема газа от V_1 до V_2 .

35. Какое количество тепла надо сообщить азоту при изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу $A = 2,0$ Дж?

36. Один моль идеального газа с показателем адиабаты γ совершает политропический процесс, в результате которого

27

нагревании ее от температуры $t_1 = 0^\circ\text{C}$ до температуры $t_2 = 100^\circ\text{C}$ и последующем превращении воды в пар.

51. Найти коэффициент полезного действия цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, если температуры характерных точек равны 370 К, 600 К, 500 К и 350 К.

52. Совершая прямой цикл Карно, газ отдал холодильнику 25% теплоты, полученной от нагревателя. Определить температуру холодильника, если температура нагревателя 500 К.

53. Тепловая машина работает по циклу Карно, КПД которого 0,2. Каким будет холодильный коэффициент этой машины, если она совершит тот же цикл в обратном направлении?

54. Холодильная машина работает по обратному циклу Карно, холодильный коэффициент которого 300%. Каков будет термический КПД тепловой машины, работающей по прямому циклу Карно?

55. Температура нагревателя тепловой машины, работающей по циклу Карно, 480 К, температура холодильника 390 К. Какой должна быть температура нагревателя при неизменной температуре холодильника, чтобы увеличить КПД машины в два раза?

56. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества $\nu=1$ моль, совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Наименьший объем $V_{\min}=10$ л, наибольший $V_{\max}=20$ л, наименьшее давление $P_{\min}=246$ кПа, наибольшее $P_{\max}=410$ кПа. Построить график цикла. Определить температуру T газа для характерных точек цикла и его термический КПД η .

57. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_2 холодильника равна 290 К. Во сколько раз увеличится КПД цикла, если температура нагревателя повысится от $T_1=400$ К до $T_1=600$ К?

58. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя в три раза выше температуры T_2 холодильника. Нагреватель передал газу количество теплоты 42 кДж. Какую работу совершил газ?

59. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя в четыре раза выше температуры T_2 холодильника. Какую долю количества теплоты, получаемого за один цикл от нагревателя, газ отдает холодильнику?

29

60. Идеальный двухатомный газ совершает цикл Карно. Объемы газа в конце изотермического расширения и адиабатного расширения равны соответственно $V_1 = 12$ л и $V_2 = 16$ л. Найти термический КПД цикла.

61. Определить, во сколько раз отличаются коэффициенты диффузии азота и углекислого газа, если оба газа находятся при одинаковых температуре и давлении. Эффективные диаметры молекул этих газов считать одинаковыми.

62. Водород находится при нормальных условиях. Найти число столкновений, испытываемых в среднем каждой молекулой за 1 с.

63. Водород находится при нормальных условиях. Найти число столкновений, испытываемых в среднем каждой молекулой за 1 с.

64. Найти коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега $\langle \lambda \rangle = 0,16$ мкм.

65. Каков коэффициент диффузии водорода в некоторых условиях, если коэффициент диффузии гелия в этих условиях $92 \text{ мм}^2/\text{с}$?

66. При каком давлении отношение коэффициента вязкости некоторого газа к коэффициенту его диффузии $\eta/D = 0,3 \text{ кг/м}^3$, а среднеквадратическая скорость его молекул $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 632 \text{ м/с}$?

67. При каком давлении отношение коэффициента вязкости некоторого газа к коэффициенту его диффузии $\eta/D = 0,3 \text{ кг/м}^3$, а средняя квадратическая скорость его молекул $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 632 \text{ м/с}$?

68. Определить коэффициент теплопроводности азота, если его коэффициент динамической вязкости при тех же условиях равен $11 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$.

69. Как изменятся коэффициенты диффузии и теплопроводности газа при изохорическом процессе, идущем с увеличением давления?

70. Углекислый газ и азот находятся при одинаковых температурах и давлениях. Найти отношения коэффициентов вязкости этих газов, коэффициентов диффузии и коэффициентов теплопроводности. Диаметры молекул газов считать одинаковыми.

71. Углекислый газ массой $2,2 \text{ кг}$ находится при температуре 290 К в сосуде вместимостью 30 л . Определить давление газа, если: 1) газ реальный; 2) газ идеальный.

72. Плотность азота $\rho = 140 \text{ кг/м}^3$, его давление $P = 10 \text{ МПа}$. Определить температуру газа, если: 1) газ реальный; 2) газ идеальный.

73. Для некоторого газа поправка в уравнении Ван-дер-Ваальса $a = 0,453 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$, а критическая температура $T_{\text{кр}} = 282,7 \text{ К}$. Вычислить эффективный диаметр молекулы газа.

74. Какую массу углекислого газа надо поместить в объем 2 см^3 , чтобы при критической температуре 304 К газ имел критическое давление 73 атм ?

75. Какова плотность водяных паров в критическом состоянии?

76. Какое давление будет иметь хлор при критической температуре $144 \text{ }^\circ\text{C}$, если критическое давление хлора 76 атм , объем сосуда 50 см^3 и масса газа $3,5 \text{ г}$?

77. В баллоне вместимостью 10 л находится азот массой $0,25 \text{ кг}$. Найти внутреннее давление газа и собственный объем молекул.

78. Кислород ($\nu = 10 \text{ моль}$) находится в сосуде объемом $V = 5 \text{ л}$. Определите внутреннее давление газа и собственный объем молекул.

79. При какой температуре 1 кмоль аргона будет при давлении 30 атм занимать объем 1 м^3 ?

80. Для определения констант Ван-дер-Ваальса a и b было измерено давление 100 г кислорода при двух температурах. Результаты измерений: при 300 К $P_1 = 7,27 \cdot 10^6 \text{ Па}$, при 350 К $P_2 = 8,72 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Объем газа 1000 см^3 . Вычислить a и b .