

I. Основы молекулярно-кинетической теории

1. Сколько степеней свободы имеет молекула, обладающая кинетической энергией $9,7 \cdot 10^{-21}$ Дж при 7°C ?

2. Вычислить энергию вращательного и поступательного движения молекул, содержащихся в 1 кг кислорода при температуре 7°C .

3. Сколько молекул кислорода содержится в объеме 2,10 м при температуре 17°C и давлении $2,026 \cdot 10^5$ Па?

4. Чему равна энергия теплового движения молекул двухатомного газа, заключенного в сосуд объемом $5 \cdot 10^{-3}$ м³ и находящегося под давлением $2,63 \cdot 10^5$ Па?

5. Двухатомный газ массой 2 кг находится под давлением $5 \cdot 10^5$ Па и имеет плотность 4 кг/м³. Найти энергию теплового движения молекул газа при этих условиях.

6. Определить концентрацию молекул идеального газа при температуре 20°C и давлении $0,1013$ Па.

7. При температуре 27°C и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па в парнике находится $2,45 \cdot 10^{27}$ молекул воздуха. Вычислить объем парника.

8. Баллон содержит водород массой 10 кг при температуре 7°C . Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения и полную энергию всех молекул газа.

9. Определить температуру газа, если средняя кинетическая энергия поступательного движения его молекул $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

10. Сколько молекул идеального газа содержится в баллоне емкостью $2 \cdot 10^{-2}$ м³ при температуре 20°C и давлении $5,065 \cdot 10^6$ Па?

11. В закрытом сосуде емкостью 2 м³ находится 1,2 кг углекислого газа и 4,8 кг воды. Найти давление в сосуде

при температуре 510°C , считая, что вся вода при этой температуре превратится в пар.

12. Определить кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы аммиака (NH_3) при температуре 120°C , а также полную кинетическую энергию молекул, содержащихся в одном моле аммиака при той же температуре.

13. В 10 л азота при температуре 22°C содержится $2 \cdot 10^{24}$ молекул. Найти давление газа при данных условиях.

14. Сколько степеней свободы имеет молекула, обладающая кинетической энергией $9,7 \cdot 10^{-21}$ Дж при температуре 17°C ?

15. Найти число молекул в единице объема азота и его плотность при давлении $1,33$ нПа и температуре 17°C .

16. Определить концентрацию молекул идеального газа при температуре 20°C и давлении 1013 Па.

17. При температуре 21°C в сосуде содержится 10^{24} молекул. Определить кинетическую энергию поступательного движения молекул.

18. Определить среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы гелия, кислорода, водяного пара при температуре 400K .

19. В баллоне емкостью $0,05$ м³ находится $1,2 \cdot 10^2$ молей газа при давлении $6 \cdot 10^3$ кПа, определить среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул газа.

20. Найти среднюю квадратичную, наиболее вероятную и среднюю арифметическую скорости молекул метана при 0°C .

21. Сколько молекул содержится в 1 кг кислорода, находящегося при температуре 17°C и давлении $2,026 \cdot 10^5$ Па?

22. Кинетическая энергия поступательного движения молекул кислорода, выделенного растениями в процессе

фотосинтеза за день, равна 5 кДж. Средняя квадратичная скорость этих молекул 470 м/с. Какова масса выделенного растениями кислорода?

23. Газ находится при температуре 17°C и давлении $5,065 \cdot 10^5$ Па. Какое давление потребуется для того, чтобы увеличить плотность газа в два с половиной раза, если его температура доведена до 100°C ?

24. Определить число киломолей и число молекул газа, содержащегося в колбе емкостью 240 см^3 , если температура газа 20°C и давление $5,054 \cdot 10^4$ Па.

25. Давление газа $1,33 \cdot 10^4$ Па, концентрация молекул равна 10^9 см^{-3} . Найти среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы и температуру газа.

26. Баллон содержит азот массой 2 г при температуре 7°C . Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения всех молекул газа.

27. Найти кинетическую энергию поступательного движения молекулы водяного пара при температуре 300°C . Найти полную кинетическую энергию всех молекул одного киломоля пара.

28. Теплота диссоциации (теплота, необходимая для расщепления молекул на атомы) водорода равна $4,19 \cdot 10^6$ Дж/кмоль. При какой температуре средняя кинетическая энергия поступательного движения достаточна для их расщепления?

29. Какова плотность насыщенного водяного пара, содержащегося в воздухе теплицы для выращивания огурцов при температуре 27°C , если давление пара при этой температуре $35,55 \text{ кПа}$?

30. При температуре 47°C и давлении $5,065 \cdot 10^5$ Па плотность газа $0,0061 \text{ г/см}^3$. Определить массу моля газа.

31. В сосуде находится $m_1=3,2 \cdot 10^{-12}$ кг кислорода и $m_2=2,8 \cdot 10^{-10}$ кг азота. Температура смеси $T=300 \text{ К}$. Давление в сосуде $p=0,15 \text{ Па}$. Определить объем V сосуда и концентрацию n молекул смеси в нем.

32. Найти давление p смеси газа в сосуде объемом $V=5 \text{ л}$, если в нем находится $N_1=2 \cdot 10^{15}$ молекул кислорода, $N_2=8 \cdot 10^{15}$ молекул азота и $m=1,0$ нкг аргона. Температура смеси $t=17^{\circ}\text{C}$.

33. В сосуде находится $m_1=2 \text{ г}$ водорода и $m_2=12 \text{ г}$ азота при температуре $t=17^{\circ}\text{C}$ и давлении $p=0,18 \text{ МПа}$. Найти концентрацию n_1 молекул водорода в смеси.

34. Определить концентрации n_1 и n_2 неона и аргона, если при давлении $p=0,16 \text{ МПа}$ и температуре $t=47^{\circ}\text{C}$ плотность их смеси $\rho=2,0 \text{ кг/м}^3$.

35. В сосуде объемом $V=1 \text{ л}$ находится $m=2 \text{ г}$ паробразного йода при температуре $T=1200 \text{ К}$. Давление в сосуде $p=90 \text{ кПа}$. Найти степень диссоциации α молекул йода.

36. Плотность некоторого газа при температуре $t=14^{\circ}\text{C}$ и давлении $p=4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ равна $0,68 \text{ кг/м}^3$. Определить молярную массу M этого газа.

37. В баллоне объемом $V=20 \text{ л}$ находится газ под массой $m=6 \text{ г}$ при температуре $T=300 \text{ К}$. Найти плотность ρ и давление p водорода.

38. Определить наименьший объем V_{\min} баллона, вмещающего $m=6 \text{ кг}$ кислорода, если его стенки при температуре $t=27^{\circ}\text{C}$ выдерживают давление $p=15 \text{ МПа}$.

39. В сосуде А объемом $V_1=2 \text{ л}$ находится газ под давлением $p_1=3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а в сосуде В объемом $V_2=4 \text{ л}$ находится тот же газ под давлением $p_2=1 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Температура обоих сосудов одинакова и постоянная. Под каким давлением p будет находиться газ после соединения сосудов А и В трубкой. Объемом соединительной трубки пренебречь.

40. В баллоне находится $m_1=8$ г водорода и $m_2=12$ г азота при температуре $t=17^\circ\text{C}$ и под давлением $p=1,8 \cdot 10^5$ Па. Определить молярную массу M смеси и объем V баллона.

41. Определить удельный объем V_0 смеси углекислого газа массой $m_1=10$ и азота массой $m_2=15$ г при давлении $p=0,15$ МПа и температуре $T=300$ К.

42. Определить концентрацию n молекул кислорода и его плотность ρ при давлении $p=5$ нПа и температуре $t=20^\circ\text{C}$.

43. Определить плотность ρ водорода и концентрацию n его молекул при температуре $t=17^\circ\text{C}$ и давлении $p=0,29$ МПа.

Физические основы термодинамики

44. При изобарическом сжатии азота была совершена работа 12 кДж. Определить затраченное количество тепла и изменение внутренней энергии.

45. Определить работу расширения 7 кг водорода при постоянном давлении и количество теплоты, переданное водороду, если в процессе нагревания температура газа повышается на 200°C .

46. Какое количество теплоты нужно сообщить 15 г кислорода, чтобы нагреть его на 100°C при постоянном объеме?

47. Какое количество азота подвергалось изотермическому расширению при температуре 23°C от давления $2,53 \cdot 10^5$ Па до $1,013 \cdot 10^5$ Па, если при этом совершена работа 720 Дж?

48. Газ объемом 2 м^3 при изотермическом расширении изменяет давление от $12 \cdot 10^5$ до $2 \cdot 10^5$ Па. Определить работу расширения.

49. Какое количество водяного пара можно нагреть от 20°C до 100°C при постоянном давлении количеством теплоты, равным 220 Дж? На сколько изменится при этом его внутренняя энергия?

50. Один моль азота нагревают при постоянном давлении от 10°C до 110°C . Найти изменение его внутренней энергии, работу, совершаемую при расширении, количество теплоты, сообщаемое газу.

51. Газ при постоянном давлении был нагрет от 7°C до 107°C . Определить работу изобарического расширения газа, если в начале нагревания газ занимал объем 8 м^3 при давлении 0,5 МПа.

52. Водород массой 100 г был изобарически нагрет так, что объем его увеличился в 3 раза. Затем водород изохорически охлаждали так, что давление его уменьшилось в 3 раза. Найти изменение энтропии.

53. Одноатомному газу сообщено 41,9 Дж теплоты. При этом газ расширяется, сохраняя постоянное давление. Найти работу расширения газа.

54. Определить работу расширения 7 кг водорода при постоянном давлении и количество теплоты, переданное водороду, если в процессе нагревания его температура повысилась на 200°C .

55. Атомарный кислород, молекулярный кислород O_2 и озон O_3 отдельно друг от друга расширяются адиабатически, при этом расходуется некоторое количество теплоты. Определить, какая доля тепла расходуется: 1) на работу расширения; 2) на изменение внутренней энергии O_3 .

56. Азот массой 200 г расширяется изотермически при температуре 7°C , причем объем газа увеличивается в 2 раза. Найти: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) совершенную при расширении газа работу; 3) теплоту, полученную газом.

57. Один киломоль воздуха при давлении 10^6 Па и температуре 390 К изохорически изменяет давление так, что его внутренняя энергия изменяется на -71,7 кДж, затем изобарически расширяется и совершает работу 745 кДж. Определить параметры воздуха (считать теплоемкость равной 721 Дж/кг·К). Дать диаграмму процесса.

58. При нормальных физических условиях 1,25 кг азота подвергается изотермическому сжатию. Вычислить работу, необходимую для сжатия азота, если в результате сжатия объем его уменьшился в 3 раза.

59. Многоатомный газ, находившийся под давлением $1,5 \cdot 10^5$ Па при температуре 7°C был нагрет на 50°C , в результате чего он занял объем $1,2 \cdot 10^{-2}$ м³. Определить количество теплоты, переданное газу, если давление газа не изменилось.

60. Два моля газа изобарически нагреваются от 20°C до 600°C , при этом газ поглощает $2 \cdot 10^7$ Дж энергии. Определить число степеней свободы молекул газа, приращение внутренней энергии и работу, совершенную газом при расширении.

61. Определить работу изотермического расширения 20 г водорода, если процесс протекал при температуре 27°C и объем газа увеличился в 2 раза. Чему равно изменение внутренней энергии водорода при этом процессе?

62. Чему равна работа расширения 320 г кислорода, если процесс протекал при постоянной температуре 27°C и давление газа увеличилось в 3 раза? Чему равно изменение внутренней энергии кислорода в этом процессе?

63. Азот массой 280 г нагревается при постоянном давлении на 50°C . Найти изменение его внутренней энергии, работу расширения и количество тепла, сообщенного газу.

64. При адиабатическом сжатии давление воздуха было увеличено от $p_1=50$ кПа до $p_2=0,5$ МПа. Затем при неизменном объеме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление p_3 газа в конце процесса.

65. Кислород массой $m=200$ г занимает объем $V_1=100$ л и находится под давлением $p_1=200$ кПа. При нагревании газ расширился при постоянном давлении до объема $V_2=300$ л, а затем его давление возросло до $p_3=500$ кПа при неизменном объеме. Найти изменение внутренней энергии ΔU газа, совершенную им работу A и теплоту Q , переданную газу. Построить график процесса.

66. Объем водорода при изотермическом расширении увеличился в $n=3$ раза. Определить работу A , совершенную газом, и теплоту Q , полученную им при этом. Масса m водорода равна 200 г.

67. Водород массой $m=40$ г, имевший температуру $T=300$ К, адиабатически расширился, увеличив объем в $n_1=3$ раза. Затем при изотермическом сжатии объем газа уменьшился в $n_2=2$ раза. Определить полную работу A , совершенную газом, и конечную температуру T газа.

68. Азот массой $m=0,1$ кг был изобарически нагрет от температуры $T_1=200$ К до температуры $T_2=400$ К. Определить работу A , совершенную газом, полученную им теплоту Q и изменение ΔU внутренней энергии азота.

69. Кислород массой $m=250$ г, имевший температуру $T_1=200$ К, был адиабатически сжат. При этом была совершена работа $A=25$ кДж. Определить конечную температуру T газа.

70. Во сколько раз увеличится объем водорода, содержащий количество вещества $\nu=0,4$ моль при изотермическом расширении, если при этом газ получит теплоту $Q=800$ Дж? Температура водорода $T=300$ К.

71. В баллоне при температуре $T_1=145$ К и давлении $p_1=2$ МПа находится кислород. Определить температуру T_2 и давление p_2 кислорода после того, как из баллона будет очень быстро выпущена половина газа.

72. Определить работу A_2 изотермического сжатия газа, совершающего цикл Карно, к.п.д. которого $\eta=0,4$, если работа изотермического расширения равна $A_1=8$ Дж.

73. Газ, являясь рабочим веществом в цикле Карно, получил от нагревателя теплоту $Q_1=4,38$ кДж и совершил работу $A=2,4$ кДж. Определить температуру нагревателя, если температура охладителя $T_2=273$ К.

74. Газ, совершающий цикл Карно, $3/4$ теплоты, полученной от нагревателя, отдает холодильнику. Температура холодильника 0°C . Определить температуру нагревателя.

75. Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в 3 раза выше абсолютной температуры холодильника. Какую долю теплоты, получаемой за один цикл от нагревателя, газ отдает холодильнику?

76. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, имеет температуру нагревателя 227°C , температуру холодильника 127°C . Во сколько раз нужно увеличить температуру нагревателя, чтобы КПД машины увеличился в 3 раза?

77. Температура нагревателя тепловой машины, работающей по циклу Карно, 427°C , холодильника 227°C , причем холодильник этой тепловой машины служит нагревателем другой тепловой машины. У какой из машин КПД больше и во сколько раз, если разность температур нагревателя и холодильника у обеих машин одинакова?

78. КПД паровой машины составляет 50% от КПД идеальной тепловой машины, которая работает по циклу Карно в том же интервале температур. Температура пара, поступающего из котла в паровую машину, 227°C , темпера-

тура в конденсаторе 77°C . Определить мощность паровой машины, если она за 1 ч потребляет уголь массой 200 кг с теплотворной способностью 31 МДж/кг.

79. В идеальной холодильной машине, работающей по обратному циклу Карно, совершается перенос теплоты от тела с температурой -20°C к воде, имеющей температуру 10°C . Определить, какое количество теплоты будет отнято от охлаждаемого тела за один цикл, если известно, что данная холодильная машина приводится в действие с помощью тепловой машины, которая работает в интервале температур $202-107^\circ\text{C}$ и передает за каждый цикл холодильнику 504 кДж теплоты.

80. Холодильник мощностью P за время τ превратил в лед n литров воды, которая первоначально имела температуру $t^\circ\text{C}$. Какое количество теплоты выделилось в комнате за это время?

81. Домашний холодильник потребляет ток средней мощностью 40 Вт. Какое количество теплоты выделится в комнате за сутки, если холодильный коэффициент $\varepsilon=9$?

82. Вычислить КПД цикла Карно, совершаемого трехатомным газом, состоящим из жестких (объемных) молекул, если при адиабатическом расширении объем его увеличивается от 6 до 7 дм^3 .

83. Двухатомный газ совершает цикл Карно. Определить КПД цикла, если известно, что на каждый моль этого газа при его адиабатическом сжатии затрачивается работа 2,0 кДж. Температура нагревателя 127°C .

84. Наименьший объем газа, совершающего цикл Карно, 12 дм^3 . Определить наибольший объем, если объем газа в конце изотермического расширения 60 дм^3 , в конце изотермического сжатия - 19 дм^3 .

85. Газ, совершающий цикл Карно, КПД которого 25% при изотермическом расширении производит работу

240 Дж. Какова работа, совершаемая газом при изотермическом сжатии?

86. На рисунке 3 показаны диаграммы V, T двух круговых процессов. В каком из них газ совершает большую работу в процессе 1-2-3-1 или в процессе 1-3-4-1?

87. На рисунке 4 показаны два замкнутых термодинамических цикла, проведенных с идеальным одноатомным газом. 1-2-3-4-1 и 1-5-6-4-1. У какого из циклов КПД выше и во сколько раз?

88. Идеальный газ в количестве 1 моль совершает цикл Карно, состоящий из двух изохор и двух изобар (рис.5). Температура газов в точках 1 и 3 равна соответственно T_1 и T_3 . Определить работу, совершаемую газом за цикл, если известно, что точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

89. Идеальный двухатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, причем наибольшее давление в 3 раза больше наименьшего, а наибольший объем в 5 раз больше наименьшего. Определить КПД цикла.

90. Воздух массой 1,0 кг совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар (рис.6). Начальный объем газа 80 дм^3 , давление изменяется от 1,2 до 1,4 МПа, температура $t_3=150^\circ\text{C}$. Определить: 1) координаты пересечения изохор и изобар; 2) работу, совершаемую газом за один цикл; 3) количество теплоты, полученной от нагревателя за цикл; 4) КПД цикла; 5) какой КПД имел бы цикл Карно, изотермы которого соответствовали бы наибольшей и наименьшей температурам рассматриваемого цикла.

91. Идеальный трехатомный газ из жестких (объемных) молекул нагревают при постоянном объеме так, что его давление возрастает в 2 раза. После этого газ изотермически расширяется до начального давления и затем изобар-

но сжимается до начального объема. Определить КПД цикла.

92. Идеальный трехатомный газ с жесткими (объемными) молекулами нагревают при постоянном объеме так, что его давление возрастает в 2 раза. После этого газ адиабатно расширяется

93. На рисунке 8 изображен цикл карбюраторного четырехтактного двигателя внутреннего сгорания, состоящий из двух изохор 1-4 и 2-3 и двух адиабат 1-2 и 3-4. Степень сжатия горючей смеси, которую можно считать

идеальным газом с показателем адиабаты γ , $n = \frac{V_1}{V_2}$. Определить КПД цикла.

94. В цикле двигателя внутреннего сгорания, рассмотренном в предыдущей задаче, горючая смесь, которую можно считать двухатомным газом с жесткими молекулами, сжимается до объема $2,0 \text{ дм}^3$. Ход и диаметр поршня равны соответственно 40 и 15 см. Определить КПД цикла.

95. Сравнить КПД двух тепловых машин, циклы работы которых изображены на рисунке 9. Первый цикл состоит из двух адиабат 1-2 и 3-4, изобары 2-3 и изохоры 4-1, второй - из двух адиабат 1-2 и 3-4 и двух изобар 2-3 и 4-1. Участки 2-3 у обоих циклов одинаковы.

96. На рисунке 10 изображен цикл четырехтактного двигателя Дизеля, состоящий из изобары 2-3, изохоры 4-1 и двух адиабат 1-2 и 3-4. Степень адиабатного сжатия

$n = \frac{V_1}{V_2}$, а степень изобарного расширения $k = \frac{V_3}{V_2}$. Определить КПД цикла. Рабочее вещество - идеальный газ с показателем адиабаты γ .

97. На рисунке 11 изображен цикл проточного воздушнореактивного двигателя, состоящего из двух адиа-

бат 1-2 и 3-4 и двух изобар 4-1 и 2-3. Степень повышения давления при адиабатном сжатии $\delta = p_2/p_1$. Определить КПД цикла. Рабочее вещество - идеальный газ с показателем адиабаты γ .

98. Найти КПД (η) цикла, состоящего из двух изохор и двух изобар. Известно, что в пределах цикла максимальные значения объема и давления газа в два раза больше минимальных значений. Газ считать двухатомным, идеальным.

99. Идеальная холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает за один цикл работу $A=20$ кДж. Машина получает количество теплоты Q_2 от тела с температурой $T_2=260$ К и отдает количество теплоты Q_1 телу с температурой $T_1=295$ К. Найти: а) КПД (η); б) количество теплоты Q_2 , отнятого от охлаждаемого тела за цикл; в) количество теплоты Q_1 , переданное горячему телу за цикл.

100. Во сколько раз увеличится коэффициент полезного действия η цикла Карно при повышении температуры нагревателя от $T'_1=380$ К до $T''_1=560$ К? Температура охладителя $T_2=280$ К.

101. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. Температура T_1 нагревателя равна 500 К, температура охладителя $T_2=250$ К. Определить термический к.п.д. η цикла, а также работу A_1 , совершенную рабочим веществом при изотермическом расширении, если при изотермическом сжатии совершена работа $A_2=70$ Дж.

102. Газ, совершающий цикл Карно, получает теплоту $Q_1=84$ кДж. Какую работу A совершает газ, если температура T_1 нагревателя в три раза выше температуры T_2 охладителя?

103. Совершая цикл Карно, газ получил от нагревателя теплоту $Q_1=500$ Дж и совершил работу $A=100$ Дж.

Температура нагревателя $T_1=400$ К. Определить температуру T_2 охладителя.

Элементы статистической физики

104. На какой высоте h давление воздуха составляет 80% давления на уровне моря? Температуру считать постоянной по высоте и равной $t=7^\circ$ С.

105. Давление воздуха у поверхности Земли $p=100$ кПа. Считая температуру воздуха постоянной и равной $T=270$ К. Определить концентрацию молекул n воздуха: а) у поверхности Земли; б) на высоте $h=8$ км.

106. На какой высоте h концентрация молекул водорода составляет 50% концентрации на уровне моря? Температуру считать постоянной и равной 273 К. Ускорение свободного падения постоянно и равно $9,8$ м/с².

107. В кабине вертолета барометр показывает давление $p_1=86$ кПа. На какой высоте h летит вертолет, если у поверхности Земли давление равно $p_2=0,10$ МПа. Считать, что температура воздуха постоянна и равна 280 К.

108. На какой высоте h содержание водорода в воздухе по сравнению с содержанием углекислого газа увеличится вдвое? Среднюю по высоте температуру воздуха считать $T=300$ К.

109. Определить число молекул в единице объема n воздуха на высоте $h=2$ км над уровнем моря. Температуру считать постоянной и равной 10° С. Давление на уровне моря $p_0=101$ кПа.

110. Для вычисления числа Авогадро N_A Перрен определял с помощью микроскопа распределение по высоте шарообразных частиц в слоях, отстоящих друг от друга на расстояние $l=38$ мкм, равно $\alpha=2,08$. Плотность гуммигута $\rho=1,2 \cdot 10^3$ кг/м³, радиусы его частиц $R=0,212$ мкм. Темпера-

тура воды $t=18^\circ\text{C}$. Используя эти данные найти число Авогадро.

111. Найти, на какой высоте h_c находится центр тяжести вертикального цилиндрического столба воздуха. Температуру T , молярную массу M и ускорение свободного падения g считать известными и не зависящими от h .

112. Пользуясь распределением Максвелла и понятием относительной скорости u как отношения скорости молекул v к наиболее вероятной скорости v_v , получить то же распределение в приведенном виде:

$$dN(u) = N \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 du.$$

113. Какая часть молекул азота при температуре 7°C обладает скоростями в интервале от 500 до 510 м/с?

114. Какая часть молекул кислорода обладает скоростями, отличающимися от наиболее вероятной не больше чем на 10 м/с, при температурах 0 и 300°C ?

115. Определить отношение числа молекул водорода, обладающих скоростями в интервале от 2,0 до 2,01 км/с, к числу молекул, обладающих скоростями от 1,0 до 1,01 км/с, если температура водорода 0°C .

116. Определить высоту горы, если давление на ее вершине равно половине давления на уровне моря. Температуру считать всюду одинаковой и равной 0°C .

117. На поверхности Земли барометр показывает 101 кПа. Каково будет показание барометра при подъеме его на Останкинскую телевизионную башню, высота которой 540 м? Температуру считать одинаковой и равной 7°C .

118. Подъеме вертолета на некоторую высоту барометр, находящийся в его кабине, изменил свое показание на 11 кПа. На какой высоте летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал 0,1 МПа? Температуру воздуха считать всюду одинаковой и равной 17°C .

119. Каковы давление и число молекул в единице объема воздуха на высоте 2,0 км над уровнем моря? Давление на уровне моря 101 кПа, а температура 10°C . Изменением температуры с высотой пренебречь.

120. Пылинки массой 1 аГ взвешены в воздухе. Определить толщину слоя воздуха, в пределах которого концентрация пылинок различается не более чем на 1,0%. Температуру воздуха во всем объеме считать одинаковой и равной 27°C .

121. У поверхности Земли молекул водорода почти в $1,0 \cdot 10^6$ раз меньше, чем молекул азота. На какой высоте число молекул водорода будет равно числу молекул азота? Среднюю температуру водорода принять равной 0°C .

122. Написать выражение для среднего числа dN молекул газа, кинетические энергии которых заключены между ϵ и $\epsilon+d\epsilon$.

123. Найти наиболее вероятное значение кинетической энергии ϵ поступательного движения молекул газа, т.е. такое значение ϵ_m , при котором в фиксированный интервал энергии $d\epsilon$ в газе находится максимальное число молекул.

124. При каком значении температуры число молекул находящихся в пространстве скоростей в фиксированном интервале $(v, v+dv)$, максимально?

125. Найти отношение числа молекул водорода n_1 скорости которых лежат в пределах от 3000 до 3010 м/с, к числу молекул n_2 , имеющих скорости в пределах от 1500 до 1510 м/с, если температура водорода 300°C .

126. Исходя из распределения Максвелла, найти средний квадрат x -компоненты скорости молекул газа. Найти отсюда среднюю кинетическую энергию, приходящуюся на одну степень свободы поступательного движения молекулы газа.

127. Вычислить скорость $v_{1/2}$ теплового движения молекулы газа, определяемую условием, что половина молекул движется со скоростью, меньшей, чем $v_{1/2}$, а другая половина - со скоростью, большей, чем $v_{1/2}$.

128. Считая атмосферу изотермической, а ускорение свободного падения не зависящим от высоты, вычислить давление а) на высоте 5 км, б) на высоте 10 км, в) в шахте на глубине 2 км. Расчет произвести для $T=293$ К. Давление на уровне моря принять равным p_0 .

129. Вблизи поверхности Земли отношение объемных концентраций кислорода (O_2) и азота (N_2) в воздухе $\eta_0=20,95/78,08=0,268$. Полагая температуру атмосферы не зависящей от высоты и равной 0°C , определить это отношение η на высоте $h=10$ м.

131. Закрытая с одного конца труба длины $l=1,00$ м вращается вокруг перпендикулярной к ней вертикальной оси, проходящей через открытый конец трубы, с угловой скоростью $\omega=62,8$ рад/с. Давление окружающего воздуха $p_0=1,00\cdot 10^5$ Па, температура $t=20^\circ\text{C}$. Найти давление воздуха в трубе вблизи закрытого конца.

132. Имеется N частиц, энергия которых может принимать лишь два значения E_1 и E_2 . Частицы находятся в равновесном состоянии при температуре T . Чему равна суммарная энергия E всех частиц в этом состоянии?

133. При какой температуре T воздуха средние скорости молекул азота (N_2) и кислорода (O_2) отличаются на 300 м/с?

134. Преобразовать функцию распределения Максвелла, перейдя от переменной v к переменной $u=v/v_{\text{вер}}$, где $v_{\text{вер}}$ - наиболее вероятная скорость молекул.

135. В запаянном стеклянном баллоне заключен моль одноатомного идеального газа при температуре $T=293$ К.

Какое количество теплоты Q нужно сообщить газу, чтобы средняя скорость его молекул увеличилась на 1%?

136. Вычислить наиболее вероятную, среднюю и среднеквадратичную скорости молекул кислорода (O_2) при 20°C .

137. Моль азота (N_2) находится в равновесном состоянии при $T=300$ К. Чему равна а) сумма x -вых компонент скоростей всех молекул Σv_x , б) сумма скоростей всех молекул Σv , в) сумма квадратов скоростей всех молекул Σv^2 , г) сумма модулей скоростей всех молекул Σv ?

138. Найти среднее значение модуля x -вой компоненты скорости молекул газа, находящегося в равновесном состоянии при температуре T . Масса молекулы равна m .

139. Найти сумму модулей импульсов молекул, держащихся в моле азота (N_2), при температуре 200 К.

140. Определить, исходя из классических представлений, среднеквадратичную угловую скорость $\sqrt{\langle \omega^2 \rangle}$ вращения молекул азота (N_2) при $T=300$ К. Расстояние между ядрами молекулы $l=3,7\cdot 10^{-10}$ м.

141. Некоторый газ находится в равновесном состоянии. Какой процент молекул газа обладает скоростями отличными от наиболее вероятной не более чем на 1%.

142. Написать выражение, определяющее относительную долю η молекул газа, обладающих скоростями превышающими наиболее вероятную скорость.

143. Средняя энергия молекул гелия (He) $\varepsilon=3,92\cdot 10^{-21}$ Дж. Определить среднюю скорость молекул гелия при тех же условиях.

144. Азот (N_2) находится в равновесном состоянии при $T=421$ К.

1. Найти наиболее вероятную скорость молекулы.

2. Определить относительное число $\Delta N/N$ молекул скорости которых заключены в пределах: а) от $499,9$ до

145. Вычислить среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул 1) водорода, 2) азота, 3) кислорода при 0°C .

146. Масса крупной молекулы органического вещества $m=10^{-18}$ г. Найти полную среднюю кинетическую энергию движения такой молекулы, взвешенной в воздухе при температуре 27°C . Найти также среднюю квадратичную скорость молекулы при этой температуре.

147. Найти средний квадратичный импульс молекулы H_2 при температуре 27°C .

148. Найти зависимость между средней квадратичной скоростью теплового движения молекулы газа \bar{v}_e и скоростью звука в нем $c_{зв}$.

149. Найти наиболее вероятную v_m , среднюю v и среднюю квадратичную \bar{v}_e скорости молекул хлора при температуре 227°C .

150. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул кислорода равна таковой же скорости молекул азота при температуре 100°C ?

151. Показать, что если за единицу скорости молекул газа принять наиболее вероятную скорость, то число молекул, абсолютные значения скоростей которых лежат между v и $v+dv$, не будет зависеть от температуры газа.

152. Как зависит от давления средняя скорость молекул идеального одноатомного газа при адиабатическом сжатии или расширении?

153. Плотность некоторого угля $\rho=3 \cdot 10^{-2}$ кг/м³. Найти давление p газа, которое он оказывает на стенки сосуда, если средняя квадратичная скорость молекул газа равна 500 м/с.

154. Вычислить среднюю квадратичную энергию поступательного движения $\langle W \rangle_{\text{пост}}$ и полную среднюю кинетическую

энергию $\langle W \rangle$ молекулы азота при температуре $T=300 \text{ K}$. Молекулу азота считать жесткой.

155. Вычислить среднюю энергию поступательного $\langle W \rangle_{\text{пост}}$, вращательного $\langle W_{\text{вр}} \rangle$ и колебательного $\langle W_{\text{кол}} \rangle$ движений двухатомной молекулы газа при температуре $T=3 \cdot 10^3 \text{ K}$.

156. Определить отношение η средней квадратичной скорости молекулы газа к скорости распространения звука в нем при одной и той же температуре. Газ взять двухатомный, молекулы газа считать жесткими.

157. Найти относительное число молекул $\Delta n/n$, скорости которых отличаются от наиболее вероятной не более чем на 10 м/с, при температурах газа: а) $T_1=300 \text{ K}$, б) $T_2=600 \text{ K}$.

158. Найти относительное число молекул $\Delta n/n$ гелия, скорости которых лежат в интервале от $v_1=990$ м/с до $v_2=1010$ м/с при температурах: а) $T_1=300 \text{ K}$, б) $T_2=600 \text{ K}$.

160. Найти отношение η числа гелия, движущихся со скоростями в интервале от $v_1=2000$ м/с до $v_2=2010$ м/с, к числу молекул, скорости которых лежат в интервале от $v_3=1000$ м/с до $v_4=1010$ м/с. Температура гелия $T=600 \text{ K}$.

161. Какая часть $\Delta n/n$ молекул азота при температуре $t=230^\circ \text{C}$ обладает скоростями в интервале от $v_1=290$ м/с до $v_2=310$ м/с, б) от $v_3=690$ м/с до $v_4=710$ м/с.

162. При какой температуре T наиболее вероятная скорость молекул азота меньше средней квадратичной скорости на 50 м/с?

163. Найти относительное число молекул $\Delta n/n$ газа, скорости которых отличаются не более чем на одну сотую наиболее вероятной скорости, б) средней арифметической скорости, в) средней квадратичной скорости.

164. Найти среднюю длину свободного пробега $\lambda_{\text{ср}}$ молекул воздуха при температуре $T=300 \text{ K}$ и давлении

$p=0,15$ МПа. Эффективный диаметр молекул воздуха $d_{эф}=0,30$ нм.

165. Найти среднюю продолжительность τ свободного пробега молекул кислорода при температуре $T=300$ К и давлении $p=150$ МПа. Эффективный диаметр молекулы кислорода $d_{эф}=0,27$ нм.

166. Определить концентрацию n молекул водорода, при которой среднее расстояние между молекулами в сто раз меньше длины свободного пробега молекул. Эффективный диаметр молекулы водорода $d_{эф}=0,23$ нм.

167. Средняя длина свободного пробега электрона в газе приблизительно в 5,7 раз больше, чем средняя длина свободного пробега молекул газа. Найти среднюю длину пробега $\langle\lambda_{эл}\rangle$ электронов в разрядной трубке, содержащей водород при температуре $t=127^{\circ}\text{C}$ и давлении $p=1,2$ Па. Эффективный диаметр молекулы водорода $d_{эф}=0,23$ нм.

168. Расстояние между стенками дьюаровского сосуда $l=10$ мм. Оценить, при каком давлении p теплопроводность воздуха, находящегося между стенками сосуда, начнет уменьшаться при его откачке? Температура воздуха $t=20^{\circ}\text{C}$. Эффективный диаметр молекулы воздуха $d_{эф}=0,30$ нм.

169. Динамическая вязкость аргона при нормальных условиях $\eta=22$ мкПа·с. Вычислить длину свободного пробега λ молекулы аргона и коэффициент диффузии D аргона при нормальных условиях.

170. Между двумя пластинами, расположенными на расстоянии $l=2$ мм друг от друга, находится воздух при нормальных условиях. Между пластинами поддерживается разность температур $\Delta T=20$ К. Площадь каждой пластины $S=150$ см². Найти количество теплоты Q , передаваемое от одной пластины к другой за $\tau=0,5$ ч. Эффективный диаметр молекулы воздуха $d=0,30$ нм.

171. Кислород и углекислый газ находятся при одинаковых температуре и давлении. Эффективные диаметры молекул этих газов соответственно равны 0,35 нм и 0,40 нм. Найти для этих газов отношения: а) коэффициентов диффузии D_1/D_2 ; б) коэффициентов внутреннего трения η_1/η_2 .

172. Коэффициент диффузии кислорода при 0°C равен $0,19$ см²/с. Определить длину свободного пробега молекул кислорода.

173. Коэффициент теплопроводности кислорода при 100°C равен $3,25 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К. Вычислить коэффициент вязкости кислорода при этой температуре.

174. Сколько молекул содержится в 1 см³ водорода, находящегося при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па и температуре 27°C ? Чему равна средняя арифметическая скорость этих молекул? Сколько соударений в секунду испытывает молекула, если ее эффективный диаметр равен $2,3 \cdot 10^{-8}$ см?

175. За сколько времени 720 мг углекислого газа продиффундирует из чернозема в атмосферу через 1 м² его поверхности при среднем градиенте плотности азота в направлении, перпендикулярном площади, равном $0,5 \cdot 10^{-6}$ г/см⁴? Коэффициент диффузии принять равным $0,04$ см²/с.

176. Найти количество азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 10 см² за время 5 с, если градиент плотности азота в направлении, перпендикулярном площади, равен $1,26 \cdot 10^{-3}$ г/см⁴. Коэффициент диффузии $1,42$ см²/с.

177. Вычислить среднюю длину свободного пробега молекул хлора (Cl_2) при температуре 0°C и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па. Эффективный диаметр молекулы принять равным $3,5 \cdot 10^{-10}$ м.

178. За сутки через 1 м² поверхности дерева из подзолистой почвы продиффундировало 145 г углекислого газа. Определить коэффициент диффузии углекислого газа, если градиент плотности равен $1,4 \cdot 10^{-5}$ г/см⁴.

179. Коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях равен $0,91 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить коэффициент теплопроводности водорода при этих условиях.

180. Какова плотность разреженного водорода, если средняя длина свободного пробега его молекул равна $0,1 \text{ м}$. Эффективный диаметр молекулы водорода принять равным $2,3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.

181. Какое количество теплоты теряется ежедневно через двойную парниковую раму за счет теплопроводности воздуха, заключенного между его полиамидными пленками? Площадь каждой пленки 4 м^2 , расстояние между ними 30 см , температура в парнике 5°C , а наружный воздух имеет температуру -10°C . Температуру воздуха между пленками считать равной средней арифметической этих температур. Радиус молекулы воздуха $1,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, масса моля воздуха $0,029 \text{ кг/моль}$.

182. Эффективный диаметр молекулы аргона $2,7 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Определить коэффициент внутреннего трения для аргона при 50°C .

183. При каком давлении средняя длина свободного пробега молекул водорода $2,5 \text{ см}$? Температура водорода 68°C , а эффективный диаметр молекулы $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

184. Найти среднее число столкновений в секунду молекулы углекислого газа при 100°C , если средняя длина свободного пробега молекул $8,7 \cdot 10^{-2} \text{ см}$.

185. При нормальных условиях коэффициент внутреннего трения азота равен $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Найти среднюю длину свободного пробега молекул азота.

186. Сколько молекул содержится в 1 см^3 кислорода, находящегося при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и температуре 27°C ? Чему равна средняя арифметическая скорость этих молекул? Сколько соударений в секунду испытывает молекула, если ее эффективный диаметр $2,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}$?

187. Определить среднюю длину свободного пробега молекул кислорода при нормальных условиях. Эффективный диаметр молекулы кислорода принять равным $2,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

188. Найти среднюю длину свободного пробега молекул углекислого газа, если его плотность равна $1,7 \text{ кг/м}^3$, а эффективный диаметр молекул равен $3,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

189. Найти коэффициент внутреннего трения гелия при нормальных условиях, если при этом средняя длина свободного пробега его молекул равна $0,184 \text{ мкм}$.

190. Найти коэффициент внутреннего трения водорода при нормальных условиях, если коэффициент диффузии для него при этих условиях равен $0,91 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

191. Коэффициент внутреннего трения и коэффициент диффузии азота соответственно равны $1,78 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$ и $1,42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$. Найти при этих условиях плотность азота, среднюю длину свободного пробега и среднюю арифметическую скорость его молекул.

192. Найти коэффициент теплопроводности кислорода, если известно, что коэффициент внутреннего трения для него при этих условиях равен $1,88 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

193. Какова плотность разреженного водорода, если средняя длина свободного пробега его молекул 1 см , а эффективный диаметр молекулы $2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$?

Энтропия

194. Азот массой $m=0,28 \text{ кг}$ нагревается от температуры $t_1=7^\circ\text{C}$ до температуры $t_2=100^\circ\text{C}$ при постоянном давлении. Найти приращение энтропии азота.

195. Вычислить приращение энтропии ΔS при переходе одного моля кислорода от объема $V_1=50 \text{ л}$ при температуре $T_1=300 \text{ К}$ к объему $V_2=200 \text{ л}$ при температуре $T_2=500 \text{ К}$.

196. Вычислить приращение энтропии ΔS при переходе 12 г гелия от объема $V_1=40$ л при давлении $p_1=100$ кПа к объему $V_2=160$ л при давлении $p_2=80$ кПа.

197. Один моль двухатомного газа расширяется изобарически до удвоения его объема. Вычислить приращение энтропии ΔS газа.

198. Вычислить приращение энтропии ΔS при изотермическом расширении 3 молей идеального газа от давления $p_1=100$ кПа до давления $p_2=25$ кПа.

199. Кислород массой 12 г изотермически расширяется от объема $V_1=20$ л до объема $V_2=50$ л. Вычислить приращение энтропии ΔS кислорода.

200. Один моль одноатомного идеального газа переходит из начального состояния, характеризуемого давлением p и объемом V , к конечному состоянию при давлении $2p$ и объеме $2V$. Определить приращение энтропии ΔS газа. Рассмотреть следующие способы перехода газа из начального в конечное состояние: а) газ расширяется изотермически до объема $2V$ и потом изохорически переходит в конечное состояние; б) газ сжимается изотермически до давления $2p$ и потом изобарически переводится в конечное состояние.

201. В двух одинаковых по объему баллонах находятся различные идеальные газы с молярными массами M_1 и M_2 . Соответственно массы газов в баллонах m_1 и m_2 . Давления газов и их температуры одинаковы. Сосуды соединили друг с другом. Определить приращение энтропии ΔS , которое произойдет вследствие диффузии газов.

202. Используя понятие энтропии и соотношения Максвелла, получить выражение для разности теплоемкостей $C_p - C_v$.

203. Найти изменение энтропии ΔS 5 г водорода, изотермически расширившегося от объема 10 л до объема 25 л.

204. В двух сосудах одного и того же объема находятся различные идеальные газы. Масса газа в первом сосуде M_1 , во втором M_2 , давления газов и температуры их одинаковы. Сосуды соединили друг с другом, и начался процесс диффузии. Определить суммарное изменение ΔS энтропии рассматриваемой системы, если относительная молекулярная масса первого газа μ_1 , а второго μ_2 .

205. Два баллона с объемами $V=1$ л каждый соединены трубкой с краном. В одном из них находится водород при давлении 1 атм и температуре $t_1=20^\circ\text{C}$, в другом - гелий при давлении 3 атм и температуре $t_2=100^\circ\text{C}$. Найти изменение энтропии системы ΔS после открытия крана и достижения равновесного состояния. Стенки баллона и трубки обеспечивают полную теплоизоляцию газов окружающей Среды.

206. Найти изменение энтропии ΔS вещества при нагревании, если его удельная теплоемкость c постоянна, а коэффициент объемного расширения равен нулю.

207. Приводимые в тепловой контакт одинаковые массы вещества имеют разные температуры T_1 и T_2 . Считая, что $C_p = \text{const}$, найти приращение энтропии в результате установления теплового равновесия при $p = \text{const}$.

208. Найти выражение для энтропии ν молей идеального газа.

209. Найти изменения энтропии моля идеального газа при изохорическом, изотермическом и изобарическом процессах.

210. Энтропия моля кислорода при 25°C и давлении $1,00 \cdot 10^5$ Па равна $S_1=204,8$ Дж/(моль·К). В результате изотермического расширения объем, занимаемый газом, увеличился в два раза. Определить энтропию S_2 кислорода в конечном состоянии.

211. Найти приращение энтропии ΔS_m моля одноатомного идеального газа при нагревании его от 0 до 273°C в случае, если нагревание происходит:

- а) при постоянном объеме,
- б) при постоянном давлении.

212. Идеальный газ, расширяясь изотермически (при $T=400\text{ K}$), совершает работу $A=800\text{ Дж}$. Что происходит при этом с энтропией газа?

213. В ходе обратимого изотермического процесса, протекающего при температуре $T=350\text{ K}$, тело совершает работу $A=80\text{ Дж}$, а внутренняя энергия тела получает приращение $\Delta U=7,5\text{ Дж}$. Что происходит с энтропией тела?

214. Найти приращение энтропии ΔS при превращении массы $m=200\text{ г}$ льда, находившегося при температуре $t_1=-10,7^\circ\text{C}$, в воду при $t_2=0^\circ\text{C}$. Теплоемкость льда считать не зависящей от температуры. Температуру плавления принять равной 273 K .

215. Найти приращение энтропии ΔS при конденсации массы $m=1,0\text{ кг}$ пара, находившегося при температуре $t_1=100^\circ\text{C}$, в воду и последующем охлаждении воды до температуры $t_2=20^\circ\text{C}$. Теплоемкость воды считать не зависящей от температуры. Конденсация происходит при давлении, равном 1 атм .

216. В ограниченном интервале температур приращение энтропии некоторого вещества оказывается пропорциональным приращению температуры: $\Delta S=\alpha\Delta T$. Как зависит от температуры теплоемкость C вещества в том же интервале?

217. Найти зависимость энтропии S_m моля идеального газа (γ - известно) от объема V_m для процесса, при котором давление газа пропорционально его объему.

218. Моль идеального газа ($\gamma=1,40$) совершает обратимый процесс, в ходе которого энтропия газа изменяется

пропорционально термодинамической температуре. В результате внутренняя энергия газа изменяется от $U_1=6,00\text{ кДж/моль}$ до $U_2=7,00\text{ кДж/моль}$. Энтропии в исходном состоянии $S_1=200\text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$. Найти работу A , совершаемую газом в ходе процесса.

219. $1,000\text{ г}$ кислорода первоначально заключен в объеме $V_1=0,200\text{ л}$ под давлением $p_1=500\text{ Па}$. Затем газ расширился, в результате чего объем газа стал равным $V_2=0,500\text{ л}$, а давление - равным $p_2=200\text{ Па}$. Считая газ идеальным, определить:

- а) приращение энтропии газа ΔS ,
- б) приращение внутренней энергии газа ΔU .

220. Сосуд разделен на две равные части перегородкой с закрытым пробкой отверстием. В одной из половин сосуда содержится моль идеального газа, в другой половине сосуда - вакуум. Пробку удаляют, и газ распространяется на весь объем. Считая процесс адиабатическим, определить

- а) приращение внутренней энергии газа ΔU_m ,
- б) приращение энтропии газа ΔS_m .

221. Энтропия 1 г азота при 25°C и давлении 10^5 Па равно $S_1=6,84\text{ Дж/(моль}\cdot\text{K)}$. Определить энтропию 2 г азота при температуре 100°C и давлении $2\cdot 10^5\text{ Па}$.

222. Найти изменение энтропии ΔS 30 г льда при превращении его в пар, если начальная температура льда - 40°C , и температура пара 100°C . Теплоемкости воды и льда считать постоянными, а все процессы - происходящими при атмосферном давлении. Удельная теплоемкость льда $c=2,09\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.

223. Найти суммарное изменение энтропии ΔS (воды и железа) при погружении 100 г железа, нагретого до 300°C , в воду при температуре 15°C . Удельная теплоемкость железа $c=0,46\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.

Свойства твердых тел

224. Найти среднюю энергию линейного одномерного квантового осциллятора при температуре $T = \theta_E$, где характеристическая температура Эйнштейна $\theta_E = 200$ К.

225. Найти энергию системы, состоящей из $N = 10^{25}$ квантовых трехмерных независимых осцилляторов, при температуре $T = \theta_E$, где характеристическая температура Эйнштейна $\theta_E = 300$ К.

226. Найти частоту колебаний атомов серебра по теории теплоемкости Эйнштейна, если для серебра характеристическая температура $\theta_E = 165$ К.

227. Пользуясь теорией теплоемкости Эйнштейна, определить изменение молярной внутренней энергии кристалла при нагревании его от нуля до $T_1 = 0,1\theta_E$, где характеристическая температура для данного кристалла $\theta_E = 300$ К.

228. Вычислить по теории Эйнштейна молярную нулевую энергию кристалла цинка. Характеристическая температура для цинка $\theta_E = 230$ К.

229. Вычислить энергию нулевых колебаний, приходящуюся на один грамм меди, дебаевская температура которой $\theta_D = 330$ К.

230. Определить максимальную частоту ω_{\max} собственных колебаний в кристалле золота, дебаевская температура которого $\theta_D = 180$ К.

231. Показать, что молярная теплоемкость кристалла при температуре $T \ll \theta_D$, где θ_D - дебаевская температура,

определяется соотношением
$$C = \frac{12}{5} \pi^4 R \left(\frac{T}{\theta} \right)^3.$$

232. Найти энергию E фонона, соответствующего максимальной частоте ω_{\max} Дебая, если дебаевская температура $\theta_D = 250$ К.

233. Длина волны λ фонона, соответствующего частоте $\omega = 0,01\omega_{\max}$, равна 52 нм. Пренебрегая дисперсией звуковых волн, определить дебаевскую температуру, если усредненная скорость звука в кристалле $v = 4,8$ км/с.

234. Найти связь между давлением и средней плотностью энергии для квантового бозе-газа в нерелятивистском случае.

235. Показать, что для распределения Бозе-Эйнштейна производная химического потенциала по температуре всегда отрицательна.

236. Как зависит число фононов dn с частотами от ω до $\omega + d\omega$, возбуждаемых при данной температуре в некотором кристаллическом образце, от числа N атомов в этом образце?

237. Как зависит полное число n фононов всех частот, возбуждаемых при данной температуре в некотором кристаллическом образце, от числа N атомов в этом образце?

238. Какое число $\langle n_m \rangle$ фононов максимальной частоты возбуждается в среднем при температуре $T = 400$ К в кристалле, дебаевская температура которого $\theta_E = 200$ К?

239. Приняв для серебра значение температуры Дебая $\theta = 208$ К, определить

а) максимальное значение энергии ε_m фонона,

б) среднее число $\langle n_m \rangle$ фононов с энергией ε_m при температуре $T = 300$ К.

240. Определить температуру Дебая θ для одномерного химически простого кристалла, т.е. цепочки одинаковых атомов, совершающих колебания вдоль прямой линии,

на которой они размещаются. Концентрация атомов (число их, приходящееся на единицу длины) $n=5,00 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$, скорость волн в кристалле $V=3000 \text{ м/с}$.

241. Определить температуру Дебая θ для двумерного кристалла, состоящего из атомов одного сорта. Атомы могут колебаться в плоскости, на которой они размещаются. Равновесные положения атомов находятся в вершинах прямоугольных кристаллических ячеек. Концентрация атомов (число их, приходящееся на единицу площади) $n=2,50 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-2}$, скорость поперечных и продольных волн в кристалле одинакова и равна $V=3000 \text{ м/с}$.

242. Определить температуру Дебая θ для трехмерного кристалла, состоящего из атомов одного сорта. Равновесные положения атомов находятся в вершинах прямоугольных кристаллических ячеек. Концентрация атомов (число их, приходящееся на единицу объема) $n=1,25 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$. Скорость поперечных и продольных волн в кристалле одинакова и равна $V=3000 \text{ м/с}$.

243. Скорость поперечных упругих волн в алюминии $V_{\perp}=3130 \text{ м/с}$, продольных волн $V_{||}=6400 \text{ м/с}$. Определить температуру Дебая θ для алюминия.

244. Определить энергию U_0 нулевых колебаний охлажденного до затвердевания моля аргона (температура Дебая $\theta=92 \text{ К}$).

245. При давлении $p=1013 \text{ ГПа}$ аргон затвердевает при температуре, равной 84 К . Температура Дебая для аргона $\theta=92 \text{ К}$. Экспериментально установлено, что при $T_1=4,0 \text{ К}$ молярная теплоемкость аргона $C_1=0,174 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$. Определить значение молярной теплоемкости аргона C_2 при $T_2=2,0 \text{ К}$.

246. Входящий в дебаевское выражение для тепло-

емкости интеграл $\int_0^{x_m} \frac{e^x x^4 dx}{(e^x - 1)^2}$ при $x_m \rightarrow \infty$ принимает зна-

чение, равное $4\pi^4/15$. С учетом этого определить примерное значение молярной теплоемкости C аргона ($\theta=92 \text{ К}$) при $T=4,0 \text{ К}$.

247. Найти максимальную энергию ϵ_m фонона, который может возбуждаться в кристалле, характеризуемом температурой Дебая $\theta_E=300 \text{ К}$. Фонон какой длины волны λ обладал бы такой же энергией?

248. Атомная масса серебра $A_r=107,9$, плотность $\rho=10,5 \text{ г/см}^3$. Исходя из этих данных, оценить максимальное значение p_m импульса фонона в серебре.

249. Воспользовавшись уравнением Эйнштейна для молярной теплоемкости кристаллов, получить выражение для теплоемкости при низких температурах.

250. Найти молярную энергию нулевых колебаний кристалла, для которого характеристическая температура Дебая $\theta_D=320 \text{ К}$.

251. Характеристическая температура Дебая для хлорида калия $\theta'_D=230 \text{ К}$, а для хлорида натрия $\theta'_D=280 \text{ К}$. Во сколько раз удельная теплоемкость KCl больше удельной теплоемкости NaCl при температуре 40 К ?

252. Какова вероятность того, что электрон при температуре 27°C займет состояние, лежащее на $0,1 \text{ эВ}$ выше уровня Ферми?

253. Энергия Ферми при абсолютном нуле для натрия равна $3,15 \text{ эВ}$. Найти число свободных электронов, приходящихся на один атом натрия.

Электрический ток в газах

254. Объем газа, заключенного между электродами ионизационной камеры, $V=0,8$ л. Газ ионизируется рентгеновскими лучами. Сила тока насыщения $I_{\text{нас}}=6$ нА. Сколько пар ионов образуется за время $t=1$ в объеме $V_1=1$ см³ газа? Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

255. На расстоянии $d=1$ см друг от друга расположены две пластины площадью $S=400$ см² каждая. Водород между пластинами ионизируют рентгеновскими лучами. При напряжении $U=100$ В между пластинами идет далекий от насыщения ток силой $I=2$ мкА. Определить концентрацию n ионов одного знака между пластинами. Заряд каждого иона считать равным элементарному заряду.

256. Посередине между электронами ионизационной камеры пролетела α -частица, двигаясь параллельно электродам, и образовала на своем пути цепочку ионов. Спустя какое время τ после пролета α -частицы ионы дойдут до электродов, если расстояние между электродами $d=2$ см, разность потенциалов $U=6$ кВ и подвижность ионов в обоих знаках в среднем равна $1,5$ см²/(В·с).

257. Найти сопротивление трубки длиной $l=0,5$ м и площадью поперечного сечения $S=5$ мм², если она наполнена азотом, ионизированным так, что в объеме $V=1$ см³ его находится при равновесии $n=10^8$ пар ионов. Ионы однозарядны.

258. К электродам разрядной трубки, содержащей водород, приложена разность потенциалов $U=10$ В. Расстояние l между электродами равно 25 см. Ионизатор создает в объеме $V=1$ см³ водорода $n=10^7$ пар ионов в секунду. Найти плотность тока δ в трубке. Определить также, какая часть силы тока создается движением положительных ионов.

259. Воздух ионизируется рентгеновскими лучами. Определить удельную проводимость σ воздуха, если в объ-

еме $V=1$ см³ газа находится в условиях равновесия $n=10^8$ пар ионов.

260. Азот между плоскими электродами ионизационной камеры ионизируется рентгеновскими лучами. Сила тока, текущего через камеру, $I=1,5$ мкА. Площадь каждого электрода $S=200$ см², расстояние между ними $d=1,5$ см, разность потенциалов $U=150$ В. Определить концентрацию n ионов между пластинами, если ток далек от насыщения. Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

261. Газ, заключенный в ионизационной камере между плоскими пластинами, облучается рентгеновскими лучами. Определить плотность тока насыщения $\delta_{\text{нас}}$, если ионизатор образует в объеме $V=1$ см³ газа $n=5 \cdot 10^6$ пар ионов в секунду. Принять, что каждый ион несет на себе элементарный заряд. Расстояние между плоскими пластинами камеры $d=2$ см.

262. Аргон, находящийся между пластинами конденсатора площадью 300 см² каждая с расстоянием между ними 5 см, ионизируется внешним ионизатором. Найти число пар ионов, которые образуются за 1 с в аргоне объемом 1 см³, если сила тока насыщения между пластинами 4 пА.

263. Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии 5,0 друг от друга, за 1 с в воздухе объемом 1 см³ образуется $6,6 \cdot 10^6$ пар ионов под действием внешнего ионизатора. Найти площадь пластины конденсатора, если сила тока насыщения 3,0 пА.

264. Найти число пар ионов, образующихся в атмосфере в объеме 1 см³ при нормальных условиях за 1 с между пластинами плоского конденсатора площадью 250 см² каждая, если при расстоянии между пластинами 5 см сила тока насыщения 1 фА.

265. Согласно опытным данным, искровой разряд в воздухе при нормальных условиях наступает при напря-

женности поля 30 кВ/см. Найти длину свободного пробега электрона, обладающего энергией 15 аДж при данных условиях.

266. При какой разности потенциалов между электродами зажигается неоновая лампа, если энергия ионизации неона $A=21,5$ эВ, а среднее расстояние между двумя последовательными столкновениями электрона с атомами газа равно 0,4 нм? Electroды имеют вид больших пластин, расположенных на расстоянии $d=3,0$ мм друг от друга.

267. Разность потенциалов между облаком и Землей в момент разряда (молнии) достигает 10МВ, а протекший заряд 30 Кл. Найти энергию разряда и напряженность поля, если высота облаков 4 км.

268. Электрон проходит путь 10 см в поле напряженностью 10 МВ/м. Сколько атомов кислорода может ионизовать он на своем пути?

269. В газоразрядной трубке между плоскими электродами ($S=10$ см²), отстоящими друг от друга на расстоянии $d=10$ см, ток насыщения $I_{\text{нас}}=10^{-6}$ А. Ионы в трубке возникают под действием постороннего ионизатора (несамостоятельный разряд). Какое количество q элементарных зарядов того и другого знака создается каждую секунду в 1 см³?

270. Между двумя пластинами площадью S каждая, находящимися на расстоянии d и образующими плоский конденсатор в вакууме, приложена разность потенциалов V . При освещенности катода ультрафиолетовыми лучами между пластинами идет ток силы I , который достигает своего значения насыщения I_n при $V=V_0$. Найти подвижность электронов u .

271. Некоторый ионизатор (например, рентгеновы лучи) создает в единице объема газа в единицу времени q пар однозарядных ионов разных знаков. Коэффициент рекомбинации ионов равен α . Определить концентрацию n

пар ионов в момент времени t , если ионизатор был включен в момент $t=0$, а концентрация ионов в этот момент была равна нулю.

272. В момент времени $t=0$ начинает действовать ионизатор, создающий в единице объема газа в единицу времени q пар, положительных и отрицательных ионов. предполагая, что $q=\text{const}$, найти выражение для концентрации пар ионов во все последующие моменты времени.

273. В начальный момент в газе была создана ионизация с начальной концентрацией n_0 пар ионов в единице объема. Как будет меняться во времени t концентрация n тех же пар, если коэффициент рекомбинации равен α .

274. Между плоскими электродами площадью $S=100$ см² каждый, находящимися на расстоянии $l=5$ см друг от друга, создана ионизация воздуха рентгеновыми лучами и наблюдается ток насыщения $I_{\text{нас}}=10^{-7}$ А. Определить число пар ионов q , создаваемых ионизатором в 1 см³ в течение одной секунды, а также концентрацию этих пар n в установившемся состоянии. Коэффициент рекомбинации для воздуха $\alpha=1,67 \cdot 10^{-6}$ см³/с.

275. В атмосферном воздухе у поверхности Земли из-за радиоактивности почвы и ионизации космическими лучами в среднем образуется $q=5$ ионов в 1 см³ в одну секунду. Определить ток насыщения, текущий благодаря этой естественной ионизации в плоском воздушном конденсаторе с площадью каждой обкладки $S=100$ см² и расстоянием между обкладками $l=5$ см.

276. Определить время разрядки конденсатора в условиях предыдущей задачи, если первоначально он был заряжен до разности потенциалов $V=300$ В.

277. Через какое время τ после выключения ионизатора число ионов в камере, наполненной воздухом уменьшится: 1) в 2 раза; 2) в 4 раза? Начальная концентрация пар

ионов $n_0=10^7 \text{ см}^{-3}$. Коэффициент рекомбинации для воздуха $\alpha=1,67 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{с}$.

278. Определить эффективное сечение σ рекомбинации положительного молекулярного иона воздуха с отрицательным при комнатной температуре, если коэффициент рекомбинации для воздуха $\alpha=1,67 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$.

279. Азот ионизируется рентгеновским излучением. Определить проводимость G азота, если в каждом кубическом сантиметре газа находится в условиях равновесия $n_0=10^7$ пар ионов. Подвижность положительных ионов $b_+=1,27 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и отрицательных $b_- = 1,81 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

280. Воздух между плоскими электродами ионизационной камеры ионизируется рентгеновским излучением. Сила тока I , текущего через камеру, равна $1,2 \text{ мкА}$. Площадь S каждого электрода равна 300 см^2 , расстояние между ними $d=2 \text{ см}$, разность потенциалов $U=100 \text{ В}$. Найти концентрацию n пар ионов между пластинами, если ток далек от насыщения. Подвижность положительных ионов $b_+=1,4 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ и отрицательных $b_- = 1,9 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

281. Объем V газа, заключенного между электродами ионизационной камеры, равен $0,5 \text{ л}$. Газ ионизируется рентгеновским излучением. Сила тока насыщения $I_{\text{нас}}=4 \text{ нА}$. Сколько пар ионов образуется в 1 с в 1 см^3 газа? Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

282. Найти силу тока насыщения между пластинами конденсатора, если под действием ионизатора в каждом кубическом сантиметре пространства между пластинами конденсатора каждую секунду образуется $n_0=10^8$ пар ионов, каждый из которых несет один элементарный заряд. Расстояние

d между пластинами конденсатора равно 1 см , площадь S пластины равна 100 см^2

283. В ионизационной камере, расстояние d между плоскими электродами которой равно 5 см , проходит ток насыщения плотностью $j=16 \text{ мкА/м}^2$. Определить число n пар ионов, образующихся в каждом кубическом сантиметре пространства камеры в 1 с .

Электрические и магнитные свойства вещества

284. Поляризуемость α молекулы водорода можно принять равной $1,0 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$. Определить диэлектрическую восприимчивость χ водорода для двух состояний: 1) газообразного при нормальных условиях; 2) жидкого, плотность ρ которого равна $70,8 \text{ кг/м}^3$.

285. Диэлектрическая восприимчивость χ газообразного аргона при нормальных условиях равна $5,54 \cdot 10^{-4}$. Определить диэлектрические проницаемости ϵ_1 и ϵ_2 жидкого ($\rho_1=1,40 \text{ г/см}^3$) и твердого ($\rho_1=1,65 \text{ г/см}^3$) аргона.

286. Система состоит из двух одинаковых по значению и противоположных по знаку зарядов $|Q|=0,1 \text{ нКл}$, связанных квазиупругими силами. Коэффициент k упругости системы зарядов равен 1 мН/м . Определить поляризуемость α системы.

287. Вычислить поляризуемость α атома водорода и диэлектрическую проницаемость ϵ атомарного водорода при нормальных условиях. Радиус r электронной орбиты принять равным 53 пм .

288. Атом водорода находится в однородном электрическом поле напряженностью $E=100 \text{ кВ/м}$. Определить электрический момент p и плечо l индуцированного диполя. Радиус r электронной орбиты равен 53 пм .

289. Диэлектрическая проницаемость ϵ аргона при нормальных условиях равна 1,00055. Определить поляризуемость α атома аргона.

290. Атом ксенона (поляризуемость $\alpha=5,2 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$) находится на расстоянии $r=1 \text{ нм}$ от протона. Определить индуцированный в атоме ксенона электрический момент p .

291. Какой максимальный электрический момент p_{max} , будет индуцирован у атома неона, находящегося на расстоянии $r=1 \text{ нм}$ от молекулы воды? Электрический момент p молекулы воды равен $6,2 \cdot 10^{-30} \text{ Кл}\cdot\text{м}$. Поляризуемость α атома неона равна $4,7 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3$.

292. Криптон при нормальных условиях находится в однородном электрическом поле напряженностью $E=2 \text{ МВ/м}$. Определить объемную плотность энергии w поляризованного криптона, если поляризуемость α атома криптона равна $4,5 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$.

293. Определить поляризуемость α атомов углерода в алмазе. Диэлектрическая проницаемость ϵ алмаза равна 5,6, плотность $\rho=3,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

294. Показатель преломления n газообразного кислорода при нормальных условиях равен 1,000272. Определить электронную поляризуемость α_e молекулы кислорода.

295. Показатель преломления n газообразного хлора при нормальных условиях равен 1,000768. Определить диэлектрическую проницаемость ϵ жидкого хлора, плотность ρ которого равна $1,56 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

296. При нормальных условиях показатель преломления n углекислого газа CO_2 равен 1,000450. Определить диэлектрическую проницаемость ϵ жидкого CO_2 , если его плотность $\rho=1,19 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

297. Показатель преломления n жидкого сероуглерода CS_2 равен 1,62. Определить электронную поляризуемость α_e молекул сероуглерода, зная его плотность.

298. Поляризуемость α атома аргона равна $2,03 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$. Определить диэлектрическую проницаемость ϵ и показатель преломления n жидкого аргона, плотность ρ которого равна $1,44 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

299. Определить показатель преломления n_1 жидкого кислорода, если показатель преломления n_2 газообразного кислорода при нормальных условиях равен 1,000272. Плотность ρ_1 жидкого кислорода равна $1,19 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

300. Вычислить ориентационную поляризуемость $\alpha_{\text{ор}}$ молекул воды при температуре $t=27^\circ\text{C}$, если электрический момент p молекулы воды равен $6,1 \cdot 10^{-30} \text{ Кл}\cdot\text{м}$.

301. Зная, что показатель преломления n водяных паров при нормальных условиях равен 1,000252 и что молекула воды обладает электрическим моментом $p=6,1 \cdot 10^{-30} \text{ Кл}\cdot\text{м}$, определить, какую долю от общей поляризуемости (электронной и ориентационной) составляет электронная поляризуемость молекулы.

302. Электрический момент p молекул диэлектрика равен $5 \cdot 10^{-30} \text{ Кл}\cdot\text{м}$. Диэлектрик ($\epsilon=2$) помещен в электрическое поле напряженностью $E_{\text{лок}}=100 \text{ МВ/м}$. Определить температуру T , при которой среднее значение проекции $\langle p_E \rangle$ электрического момента на направление вектора $E_{\text{лок}}$ будет равно $\frac{1}{2} p$.

303. Диэлектрик, молекулы которого обладают электрическим моментом $p=5 \cdot 10^{-30} \text{ Кл}\cdot\text{м}$, находится при температуре $T=300 \text{ К}$ в электрическом поле напряженностью $E_{\text{лок}}=100 \text{ МВ/м}$. Определить, во сколько раз число молекул, ориентированных “по полю” ($0^\circ \leq \vartheta \leq 1^\circ$), больше числа молекул, ориентированных “против поля” ($179^\circ \leq \vartheta \leq 180^\circ$). Угол ϑ образован векторами p и $E_{\text{лок}}$.

304. Магнитная восприимчивость χ алюминия равна $2,1 \cdot 10^{-5}$. Определить его удельную магнитную $\chi_{уд}$ и молярную χ_m восприимчивости.

305. Висмутовый шарик радиусом $R=1$ см помещен в однородное магнитное поле ($B_0=0,5$ Тл). Определить магнитный момент p_m , приобретенный шариком, если магнитная восприимчивость χ висмута равна $-1,5 \cdot 10^{-4}$.

306. Напряженность H магнитного поля в меди равна 1 МА/м. Определить намагниченность J меди и магнитную индукцию B , если известно, что удельная магнитная восприимчивость $\chi_{уд}=-1,1 \cdot 10^{-9}$ м³/кг.

307. Молярная магнитная восприимчивость χ_m оксида хрома Cr_2O_3 равна $5,8 \cdot 10^{-8}$ м³/моль. Определить магнитный момент μ_m молекулы Cr_2O_3 (в магнетонах Бора), если температура $T=300$ К.

308. Удельная парамагнитная восприимчивость $\chi_{уд}$ трехоксида ванадия (V_2O_3) при $t=17^0C$ равна $1,89 \cdot 10^{-7}$ м³/кг. Определить магнитный момент μ_m (в магнетонах Бора), приходящийся на молекулу V_2O_3 , если плотность ρ трехоксида ванадия равна $4,87 \cdot 10^3$ кг/м³.

309. Молекула кислорода имеет магнитный момент $\mu_m=2,8\mu_B$ (где μ_B - магнетон Бора). Определить намагниченность J газообразного кислорода при нормальных условиях в слабом магнитном поле ($B_0=10$ мТл) и в очень сильном поле.

310. Кусок стали внесли в магнитное поле напряженностью $H=1600$ А/м. Определить намагниченность J стали. Указание: необходимо воспользоваться графиком на рис.12.

Рис.12

311. Прямоугольный ферромагнитный брусок объемом $V=10$ см³ приобрел в магнитном поле напряженностью $H=800$ А/м магнитный момент $p_m=0,8$ А·м². Определить магнитную проницаемость μ ферромагнетика.

312. Вычислить среднее число $\langle n \rangle$ магнетонов Бора, приходящихся на один атом железа, если при насыщении намагниченность железа равна $1,84$ МА/м.

313. На один атом железа в незаполненной $3d$ -оболочке приходится четыре неспаренных электрона. Определить теоретическое значение намагниченности $J_{нас}$ железа при насыщении.

№ варианта	Номера задач									
	11	52	72	104	156	164	194	224	254	284
2	12	53	73	105	157	165	195	225	255	285
3	13	54	74	106	158	166	196	226	256	286
4	14	55	75	107	159	167	197	271	257	287

5	15	56	76	108	160	168	198	228	258	288
6	16	57	77	109	161	169	199	229	259	289
7	17	58	78	110	162	170	200	230	260	290
8	18	59	79	111	163	171	201	232	261	291
9	19	60	80	112	135	172	205	233	262	292
10	20	61	81	113	136	173	206	234	263	293
11	21	62	82	114	137	174	207	238	264	294
12	22	63	83	115	138	175	209	239	265	295
13	23	64	84	116	139	176	210	240	266	296
14	24	65	85	117	140	177	211	241	267	297
15	25	66	86	118	141	178	212	242	268	298
16	26	67	87	119	142	179	213	243	269	299
17	27	68	88	120	143	180	214	244	270	300
18	28	69	89	121	144	181	215	245	278	301
19	29	70	90	122	145	182	216	246	272	302
20	30	71	91	123	146	183	217	247	273	303
21	31	44	92	124	147	184	218	248	274	304
22	32	45	93	125	148	185	219	249	275	305
23	33	46	94	126	149	186	220	250	276	306
24	34	47	95	127	150	187	221	251	277	307
25	36	48	96	128	151	188	222	252	278	308
26	37	49	97	129	152	189	223	253	279	309
27	38	50	98	131	153	190	203	231	280	310
28	39	51	99	132	154	191	204	224	281	311
29	40	60	100	133	155	192	207	227	282	312
30	41	61	101	134	152	193	214	236	283	313