

## Контрольная работа № 3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

### 1. Характеристики молекул

Найти массу молекулы и число молекул в 1 г вещества:

- |                   |                     |               |
|-------------------|---------------------|---------------|
| 1) водорода;      | 7) кислорода;       | 13) кремния;  |
| 2) гелия;         | 8) метана;          | 14) углерода; |
| 3) ртути;         | 9) этилового спирта | 15) титана;   |
| 4) аргона;        | 10) водяного пара;  | 16) кадмия;   |
| 5) водяного пара; | 11) аммиака         | 17) йода;     |
| 6) азота;         | 12) золота          | 18) германия  |

### 2. Энергия теплового движения молекул

1. Определите суммарную энергию вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кмоль кислорода при температуре 30 °С.
2. Сколько степеней свободы имеет молекула, обладающая средней энергией поступательного движения  $9,7 \cdot 10^{-21}$  Дж при температуре 10°С?
3. Энергия диссоциации молекул водорода равна 419 кДж/моль. При какой температуре газа средняя энергия поступательного движения его молекул достаточна для их расщепления на атомы?
4. Найдите среднюю энергию поступательного движения молекулы одноатомного, двухатомного и многоатомного газов при температуре 1000°С.
5. Газ занимает объем 2 л под давлением 0,5 МПа. Найдите суммарную кинетическую энергию его молекул.
6. Герметичная камера содержит кислород массой 100 г при температуре 280 К. Найдите среднюю энергию поступательного движения и суммарную кинетическую энергию молекул газа.
7. Найдите среднюю энергию поступательного движения и суммарную кинетическую энергию молекулы водяного пара при температуре 473 К.
8. Давление газа 1 МПа, концентрация его молекул  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Найдите среднюю энергию поступательного движения молекулы этого газа.
9. Сравните кинетическую энергию, приходящуюся в среднем на одну степень свободы молекулы азота при температурах 200 и 1000°С.
10. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного и вращательного движения молекулы аргона при температуре 1,8 кК.
11. Определите среднее значение полной кинетической энергии молекулы гелия при температуре 2000 К.
12. Давление газа равно 1 мПа, концентрация его молекул равна  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Определите среднюю энергию поступательного движения молекул газа.
13. Определите суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул, содержащихся в 0,5 кг углеводорода при температуре 300°С.

### 3. Характерные скорости молекул

1. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул углекислого газа равна первой космической скорости вблизи поверхности Земли?
2. Найдите среднюю арифметическую скорость молекул кислорода при температуре 300 К.
3. При какой температуре средняя арифметическая скорость молекул гелия равна второй космической скорости вблизи поверхности Земли?
4. При давлении 20 кПа в 1 дм<sup>3</sup> находится 5 г кислорода. Найдите среднюю арифметическую скорость движения его молекул.

5. Найдите наиболее вероятную скорость молекул азота при температуре 6000 К, когда все молекулы диссоциированы на атомы.
6. При какой температуре молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость, что и молекулы водорода при 100 К?
7. Найти среднюю квадратичную скорость молекул газа, если средняя арифметическая скорость их движения равна 1 км/с.
8. Во сколько раз среднеквадратичная скорость молекул водорода больше среднеквадратичной скорости молекул кислорода при той же температуре?
9. При давлении 80 кПа в 1 см<sup>3</sup> находится  $5 \cdot 10^{19}$  молекул азота. Найдите наиболее вероятную скорость их движения.
10. Найдите среднюю арифметическую скорость молекул кислорода при 0°C.
11. Найдите температуру, при которой наиболее вероятная скорость молекул азота равна первой космической скорости вблизи поверхности Земли.
12. Какова средняя арифметическая скорость молекул аргона при 727 °С?
13. При какой температуре наиболее вероятная скорость молекул газа хлора равна второй космической скорости вблизи поверхности Земли?
14. В сосуде объёмом 3 м<sup>3</sup> при атмосферном давлении находится 500 г азота. Найдите среднюю квадратичную скорость их движения.
15. Найдите среднюю арифметическую скорость молекул кислорода при температуре 5000 К, когда все молекулы диссоциированы на атомы.
16. Найдите температуру, при которой молекулы аргона имеют такую же среднюю арифметическую скорость, что и молекулы гелия при 300 К.
17. Найдите среднюю арифметическую скорость молекул газа, если наиболее вероятная скорость их движения равна 600 м/с.
18. Во сколько раз средняя арифметическая скорость молекул гелия больше средней арифметической скорости молекул аргона при той же температуре?
19. При давлении 30 кПа концентрация молекул пропана  $5 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>. Найдите наиболее вероятную скорость их движения.

#### 4. Явления переноса

1. Средняя длина свободного пробега атомов гелия при нормальных условиях равна 180 нм. Определите коэффициенты диффузии, внутреннего трения и теплопроводность гелия.
2. Коэффициент диффузии кислорода при температуре 0 °С равен 0,19 см<sup>2</sup>/с. Определите среднюю длину свободного пробега молекул кислорода.
3. При нормальных условиях динамическая вязкость азота равна 17 мкПа · с. Определите среднюю длину свободного пробега молекул азота.
4. При нормальных условиях коэффициент диффузии водорода равен 0,91 см<sup>2</sup>/с. Определите теплопроводность этого газа.
5. Определите коэффициент диффузии, теплопроводность и динамическую вязкость кислорода при нормальных условиях.
6. Определите коэффициент диффузии водорода при некоторых условиях, если коэффициент диффузии гелия при этих условиях равен 92 мм<sup>2</sup>/с.
7. Коэффициент диффузии кислорода при нормальных условиях равен 14,1 мм<sup>2</sup>/с. Определите этот коэффициент при температуре 50 °С, если нагревание газа происходило при постоянном объеме.
8. Во сколько раз изменится коэффициент диффузии двухатомного газа при уменьшении давления в 2 раза в результате изотермического расширения?
9. Коэффициент диффузии углекислого газа при нормальных условиях равен 10 мм<sup>2</sup>/с. Определите коэффициент внутреннего трения углекислого газа при этих условиях.
10. Во сколько раз изменится коэффициент диффузии двухатомного газа при увеличении давления в 2 раза в результате адиабатического сжатия?

11. Вычислите коэффициенты диффузии и внутреннего трения азота при давлении 0,1 МПа и температуре 7 °С.
12. Коэффициент внутреннего трения гелия при температуре 0 °С равен 16,3 мкПа·с. Определите эффективный диаметр его молекул.
13. Определите коэффициент внутреннего трения воздуха при температуре 100 °С и давлении 200 кПа, если при нормальных условиях он равен 17,2 мкПа·с.

### 5. Первый закон термодинамики

1. Водород массой 4 кг занимает объем 3 м<sup>3</sup> и находится под давлением 0,9 МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема 8 м<sup>3</sup>, а затем при постоянном объеме до 10 МПа. Постройте график процесса. Найдите совершенную газом работу.
2. Азот массой 2 кг был нагрет на 150 К при постоянном объеме. Найдите количество теплоты, сообщенное газу, изменение его внутренней энергии и совершенную газом работу.
3. При давлении 100 кПа водород занимал объем 10 м<sup>3</sup>. В результате нагревания при постоянном объеме его давление возросло до 300 кПа. Найдите количество теплоты, сообщенное газу, изменение его внутренней энергии и совершенную газом работу.
4. Водород массой 5 кг, нагретый на 250 К, сохранил неизменный объем. Найдите работу, совершенную газом.
5. Баллон емкостью 20 л содержит водород при температуре 300 К и давлении 0,4 МПа. Как изменится температура и давление газа, если ему сообщить количество теплоты 6 кДж?
6. Кислород был нагрет при постоянном давлении 80 кПа. При этом его объем изменился от 1 до 3 м. Найдите количество теплоты, сообщенное газу, изменение его внутренней энергии и совершенную газом работу.
7. Азоту при постоянном давлении сообщено количество теплоты 21 кДж. Найдите изменение его внутренней энергии и совершенную газом работу.
8. Гелий массой 1 г был нагрет на 100 К при постоянном давлении. Найдите количество теплоты, сообщенное газу, изменение его внутренней энергии и совершенную газом работу.
9. Кислород массой 160 г был нагрет на 12 К. Для этого ему было сообщено количество теплоты 1,76 кДж. Как протекал процесс: при постоянном давлении или при постоянном объеме?
10. Азот массой 600 г при температуре 560К занимал объем 1,2 м<sup>3</sup>. В результате изотермического расширения объем газа увеличился на 3 м<sup>3</sup>. Найдите количество теплоты, сообщенное газу, изменение его внутренней энергии и совершенную газом работу.
11. Кислород массой 2 кг занимает объем 1 м<sup>3</sup> и находится под давлением 0,2 МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема 3 м<sup>3</sup>, а затем при постоянном объеме до 0,5 МПа. Постройте график процесса. Найдите изменение внутренней энергии газа.
12. Кислород, занимавший объем 1 л при давлении 1,2 МПа, адиабатически расширился в 10 раз. Найдите совершенную газом работу.
13. Азот массой 2 кг имел температуру 300 К. В результате адиабатического сжатия его объем уменьшился в 5 раз. Найдите конечную температуру газа и совершенную газом работу.
14. Расширяясь, водород совершил работу 1 кДж. Какое количество теплоты было сообщено газу, если газ расширялся изобарически?
15. Кислород массой 10 кг, нагретый на 200 К, сохранил неизменный объем. Найдите изменение внутренней энергии и количество теплоты, сообщенное газу.
16. Из баллона, содержащего водород под давлением 100 кПа и температуре 300 К, выпустили половину газа. Найдите конечную температуру газа и совершенную газом работу.
17. При адиабатическом расширении кислорода с начальной температурой 320 К внутренняя энергия газа уменьшилась на 8,2 кДж. Определите массу газа, если его объем увеличился в 10 раз.
18. Расширяясь, азот совершил работу 6 кДж. Какое количество теплоты было сообщено газу, если газ расширялся изотермически.

## 6. Теплоемкость газов

. Вычислите молярную и удельную теплоемкости газов при постоянном объеме  $C_V$  и при постоянном давлении  $C_p$ , пренебрегая колебательными степенями свободы:

- |                      |                  |                    |
|----------------------|------------------|--------------------|
| 1) водорода;         | 6) оксида азота; | 11) угарного газа; |
| 2) гелия;            | 7) аргона;       | 12) паров хлора;   |
| 3) углекислого газа; | 8) кислорода;    | 13) паров ртути;   |
| 4) азота;            | 9) метана;       | 14) сероводорода;  |
| 5) водяного пара;    | 10) аммиака      | 15) паров брома.   |

## 7. Тепловые машины

1. В результате кругового процесса газ совершил работу 1 Дж и передал охладителю количество теплоты 4,2 Дж. Определить термический КПД цикла.
2. Совершая замкнутый процесс, газ получил от нагревателя количество теплоты 4 кДж. Определить работу газа при протекании цикла, если его термический КПД 0,1.
3. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества 1 моль, совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Наименьший объем 10 л, наибольший 20 л, наименьшее давление 246 кПа, наибольшее 410 кПа. Определить температуру газа для характерных точек цикла и его термический КПД.
4. Идеальный многоатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, причем наибольшее давление газа в два раза больше наименьшего, а наибольший объем в четыре раза больше наименьшего. Определить термический КПД цикла.
5. Идеальный газ, совершающий цикл Карно,  $2/3$  количества теплоты, полученного от нагревателя, отдает охладителю. Температура охладителя равна 280 К. Определить температуру нагревателя.
6. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура  $T_2$  охладителя равна 290 К. Во сколько раз увеличится КПД цикла, если температура нагревателя повысится от 400 К до 600 К?
7. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя в три раза выше температуры охладителя. Нагреватель передал газу количество теплоты  $Q_1 = 42$  кДж. Какую работу совершил газ?
8. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя равна 470 К, температура охладителя равна 280 К. При изотермическом расширении газ совершает работу 100 Дж. Определить термический КПД цикла, а также количество теплоты  $Q_2$ , которое газ отдает охладителю при изотермическом сжатии.
9. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура  $T_1$  нагревателя в четыре раза выше температуры  $T_2$  охладителя. Какую долю количества теплоты, получаемого за один цикл от нагревателя, газ отдает охладителю?
10. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, получив от нагревателя количество теплоты 4,2 кДж, совершил работу 590 Дж. Найти термический КПД этого цикла. Во сколько раз температура нагревателя больше температуры охладителя?
11. Идеальный газ совершает цикл Карно. Работа  $A_1$  изотермического расширения газа равна 5 Дж. Определить работу  $A_2$  изотермического сжатия, если термический КПД цикла равен 0,2.
12. Наименьший объем  $V_1$  газа, совершающего цикл Карно, равен 153 л. Определить наибольший объем  $V_3$ , если объем  $V_2$  в конце изотермического расширения и объем  $V_4$  в конце изотермического сжатия равны соответственно 600 и 189 л.
13. Идеальный двухатомный газ совершает цикл Карно 1–2–3–4. Объемы газа в состояниях 2 и 3 соответственно  $V_2 = 12$  л и  $V_3 = 16$  л. Найти термический КПД цикла.
14. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу 2,94 кДж и отдаёт холодильнику количество теплоты 13,4 кДж. Найти КПД цикла