1* Равновесные состояния термодинамических систем удобно описывать небольшим количеством так называемых макропараметров: давление (P), объём (V), температура (T, мы будем пользоваться абсолютной температурой $T = t + 273{,}15$) и др. Для не слишком холодного и не слишком сжатого газа (то есть в ситуации, когда взаимодействие молекул не должно играть заметной роли) с хорошей точностью выполняется соотношение $PV = NkT$ (уравнение Клапейрона — Менделеева), где $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$Дж/К — постоянная Больцмана.

   Рассмотрите газ маленьких не взаимодействующих между собой шариков (так называемый идеальный газ) и получите для него соотношение между давлением, объёмом и скоростью шариков. Сравнив результат с уравнением Клапейрона — Менделеева, объясните молекулярно-кинетический смысл температуры.

2. Какой объём занимали бы вы сейчас, если бы вы были азотом?

3. Герметично закрытая литровая банка до краёв заполнена водой. Оцените, какое давление установилось бы в банке, если бы силы взаимодействия между молекулами воды внезапно исчезли.

4. Объясните закон Авогадро: при заданных объёме и температуре производимое газом давление зависит только от общего количества частиц и не зависит от того, какие это частицы.

5. Сколько атомов в одном грамме водорода?

6. Определить плотность смеси, содержащей 4 г водорода и 32 г кислорода при температуре 27°C и общем давлении 10^5 Па.

7. В сосуде находится смесь газов — гелия и кислорода. При температуре 27°C и давлении 1 атм плотность этой смеси 0,91 г/л. Каким станет давление в сосуде, если из него удалить половину молекул кислорода?

8. Найти формулу некоторого соединения углерода с водородом, если известно, что 26 г этого вещества в газообразном состоянии создает в объёме 25 л при температуре 27°C давление 10^5 Па.

9. В сосуде находится 4 г молекулярного водорода при температуре 300 К и давлении 1 Атм. При повышении температуры до 3000 К происходит частичная диссоциация молекул водорода и давление возрастает в 15 раз. Какая часть молекул водорода диссоциировала на атомы?

10. В сосуде находится смесь азота и водорода. При температуре T, когда азот полностью диссоциировал на атомы, а диссоциацией водорода еще можно пренебречь, давление в сосуде равно P. При температуре $2T$, когда оба газа полностью диссоциировали, давление в сосуде равно $3P$. Каково отношение чисел атомов азота и водорода в смеси?

11. Оцените скорость молекул в помещении, в котором вы сейчас находитесь.

12. Найдите внутреннюю энергию газа (суммарную кинетическую энергию всех молекул), пользуясь моделью из задачи 1.

13. Найдите внутреннюю энергию двухатомного газа, пользуясь законом *равнораспределения энергии по степеням свободы*: в тепловом равновесии выравниваются не просто средние кинетические энергии целых молекул, но и средние кинетические энергии, приходящиеся на каждую степень свободы.

14. Процессы, протекающие настолько медленно, что в каждый момент времени систему можно считать находящейся в равновесии, называют равновесными или *квазистатическими*. В квазистатическом процессе в каждый момент времени можно говорить об определённых давлении и температуре, которые, вообще говоря, не определены для неравновесных состояний. Покажите, что работа совершаемая газом в квазистатическом процессе может быть найдена по формуле $A = \int P dV$

15. Первым началом термодинамики называется закон сохранения энергии, утверждающий, что подводимое к системе тепло идёт на изменение внутренней энергии и совершение работы: $Q = \Delta U + A$. Покажите, что, в отличие от внутренней энергии, ни тепло ни работа не являются *функциями состояния*, то есть, например, полученное в процессе тепло нельзя трактовать как разность тепла конечного и тепла начального.

16. Теплоёмкостью газа в данном процессе называют производную $C = \frac{\delta Q}{dT}$, вычисленную в данном процессе. Так как теплоёмкость, очевидно, пропорциональна количеству вещества, удобнее пользоваться *молярной* теплоёмкостью $c = C/\nu$. Может ли теплоёмкость быть отрицательной? Нулевой? Бесконечной? Приведите примеры.

    Покажите, что для процесса, начинающегося в точке P_0, V_0, надлежащим выбором направления в плоскости PV можно получить любую теплоёмкость.

17. Молярные теплоёмкости при постоянном объёме и при постоянном давлении обозначают соответственно c_p и c_v. Докажите, что для идеального газа верна формула Майера: $c_p = c_v + R$.

18. Разреженный газ нагревают в сосуде постоянного объема, при этом его удельная теплоемкость оказывается равной 740 Дж/(кг·К). Что это за газ?

19. Найдите теплоёмкость идеального газа, расширяющегося по закону $PV^n = const$.

20. Квазистатический процесс, происходящий без подвода или отвода тепла называется *адиабатическим*, а изображающая его (обычно в координатах PV) линия — *адиабатой*. Покажите, что уравнение адиабаты идеального газа имеет вид: $PV^\gamma = const$ где $\gamma = c_p/c_v$.

21.* При пересечении изотермы с адиабатой наклон адиабаты в γ раз больше:

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{\text{ад}} = \frac{c_p}{c_v}\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$$

Проверьте это соотношение для идеального газа и докажите, что оно верно для произвольного вещества.

22. Квазистатический процесс, в котором теплоёмкость остаётся постоянной, называется *политропическим*, а изображающая его кривая — *политропой*. Покажите, что уравнение политропы для идеального газа имеет вид: $PV^n = const$ где $n = \frac{c-c_p}{c-c_v}$.

23. Равные массы гелия He и водорода H_2 находятся в теплоизолированном цилиндре под поршнем. Объем цилиндра $V_0 = 1$ л, давление в нем $P_0 = 9$ атм. При адиабатическом расширении смесь газов совершает работу $A = 650$ Дж. Найти относительное изменение температуры смеси.

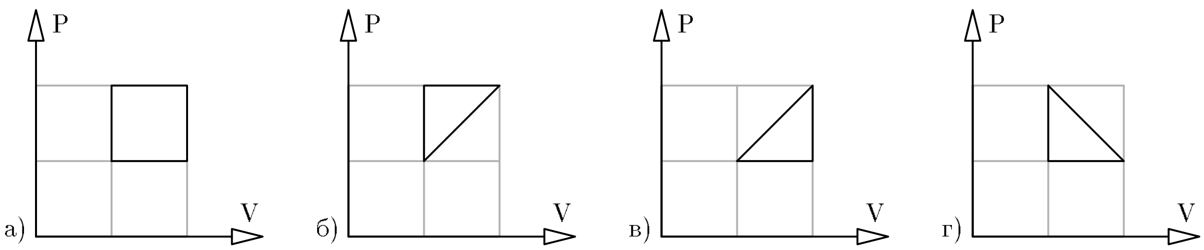
24.* Найдите уравнение адиабаты в переменных PV для смеси равных масс гелия и кислорода.

25.* Внутри откачанной до глубокого вакуума установки находится герметичный теплоизолированный цилиндрический сосуд, заполненный идеальным одноатомным газом. Сосуд закрыт сверху теплонепроницаемым поршнем. Газ занимает при этом объем V. На поршень ставят гирю той же массы, что и масса поршня. Найти объем газа в новом положении равновесия.

26. Моль идеального газа совершает замкнутый цикл, состоящий из трех процессов: адиабатического расширения, изотермического сжатия и изохорического нагревания. Какая работа была совершена газом в адиабатическом процессе, если в процессе изохорического нагревания газу подвели $Q = 10$ кДж тепла?

27. Моль идеального одноатомного газа совершает цикл, состоящий из трех процессов: адиабатического расширения, изобарического расширения и изотермического сжатия. Найдите работу газа в изобарическом процессе, если в процессе адиабатического расширения газ совершил работу $A = 150$ Дж.

28. Коэффициентом полезного действия циклического процесса называют отношение $\eta = \frac{A}{Q_+}$, показывающее, какую часть полученного тепла удалось в итоге превратить в механическую работу. Найдите КПД циклов а–г, проводимых с идеальным одноатомным газом.



29. Тепловой цикл, проводимый с идеальным одноатомным газом, состоит из двух изохор и двух изобар. Найдите максимальный КПД такого цикла.