

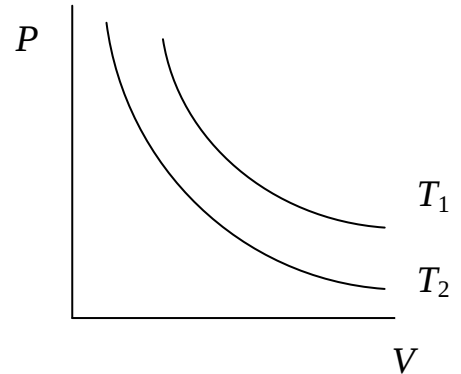
Лекция №2

Некоторые примеры использования законов идеального газа

Пример 1.

Изобразить две изотермы при температурах T_1 и T_2 для одного и того же газа если $T_1 > T_2$.

Из уравнения Клайперона-Менделеева $PV = \nu RT$ следует, что в первом случае $PV = \nu RT_1 = \text{const}_1$, во втором $PV = \nu RT_2 = \text{const}_2$. Так как по условию задачи количество вещества ν одно и то же, а $T_1 > T_2$ то $\text{const}_1 > \text{const}_2$. Следовательно, первая изотерма будет идти выше в осях (P, V) .

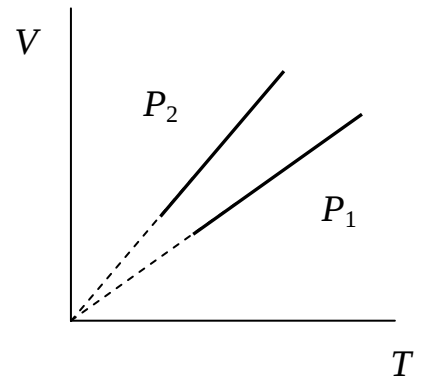


Пример 2.

Изобразить две изобары при давлениях P_1 и P_2 для одного и того же газа если $P_1 > P_2$.

Перепишем уравнение Клайперона-Менделеева в виде $V = \frac{\nu R}{P} T = \text{const} \cdot T$. Отсюда, очевидно, в переменных (V, T) график изобары представляет собой прямую проходящую через начало координат с наклоном $\frac{\nu R}{P} = \text{const}$ к оси T . По условию задачи

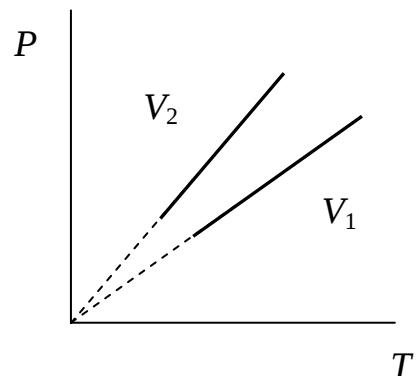
количество вещества ν одно и то же, а $P_1 > P_2$ то наклон будет тем больше, чем меньше P , т.е. $\text{const}_1 < \text{const}_2$. Следовательно, первая изобара будет сильнее наклоняться к оси T .



Пример 3.

Изобразить две изохоры при объемах V_1 и V_2 для одного и того же газа если $V_1 > V_2$.

По аналогии с предыдущим пунктом уравнение Клайперона-Менделеева запишем в виде $P = \frac{\nu R}{V} T = \text{const} \cdot T$, т.е. прямая, проходящая через начало координат в координатах (P, T) . Наклон к оси T есть $\frac{\nu R}{V} = \text{const}$. При заданных условиях $V_1 > V_2$ первая изохора будет сильнее наклоняться к оси T .



Пример 4.

Качественно изобразить в осях P, V , V, T и P, T случай когда газ изотермически сжимается до некоторого состояния, а затем изобарно охлаждается.

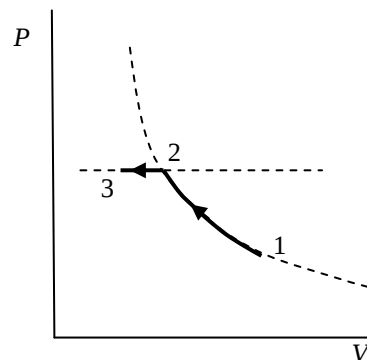
В данном случае мы имеем три состояния:

- 1) первое состояние, которое характеризуется P_1, V_1, T_1 ,
- 2) второе состояние с P_2, V_2, T_2 ,
- 3) второе состояние с P_3, V_3, T_3 .

И два процесса:

- 1) из 1 в 2 – изотермический;
- 2) из 2 в 3 – изобарный.

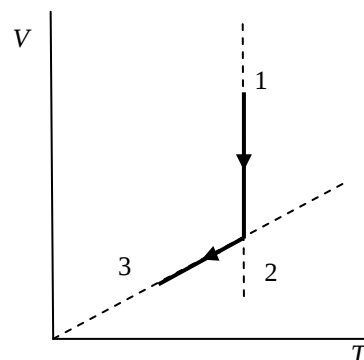
Рассмотрим данные процессы в осях P, V . Так как из первого состояния во второе газ переходит изотермически, то $P_1 V_1 = P_2 V_2$, что соответствует гиперболе. А так как газ сжимается, то $V_1 > V_2$, следовательно, из первого состояния во второе газ «движется» по этой кривой влево. Из второго в третье состояние газ переходит изобарно, следовательно, в осях P, V имеем прямую линию параллельную оси V . Осталось определить в какую сторону ее рисовать влево или вправо. Из уравнения изобары $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$



находим $V_3 = \frac{T_3}{T_2} V_2$, так как газ изобарно охлаждается, то

$T_3 < T_2$, следовательно $V_3 < V_2$, т.е. рисуем линию влево.

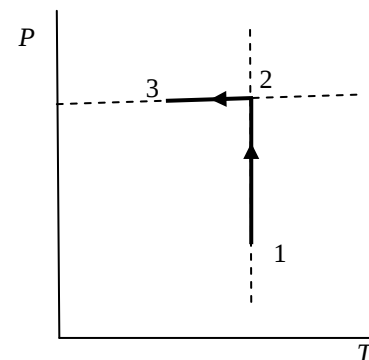
В осях V, T изотермический процесс изображается линией параллельной оси V . Так как газ сжимается, т.е. $V_2 < V_1$, следовательно, мы должны опустить линию из точки 1 в точку 2. Из второго в третье состояние газ переходит изобарно, следовательно, в осях V, T рисуем пунктирную прямую линию, которая проходит через начало координат и точку 2. Осталось определить в какую сторону по этой линии «пойдет» газ. Так как газ изобарно охлаждается, т.е. $T_3 < T_2$, следовательно третья точка будет находиться левее от второй.



В осях P, T изотермический процесс изображается линией параллельной оси P . Так как газ сжимается, т.е.

$V_2 < V_1$, то из $P_1 V_1 = P_2 V_2$ следует, что $P_2 = \frac{V_1}{V_2} P_1$ или $P_2 > P_1$,

значит газ «движется» по этой прямой в сторону увеличения давления. Из второго в третье состояние газ переходит изобарно, следовательно, в осях P, T рисуем пунктирную прямую линию, которая проходит через точку 2 параллельно оси T . Осталось определить в какую сторону по этой линии «пойдет» газ. Так как газ изобарно охлаждается, т.е. $T_3 < T_2$, следовательно, третья точка будет находиться левее от второй.



ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Термодинамика, или общая теория теплоты, – один из важнейших разделов физики. Термодинамика как наука возникла из потребностей практики, когда перед человеком встала задача создания устройства, преобразующего энергию сжигаемого топлива в механическую работу. В самом общем смысле слова термодинамика есть наука об энергии и ее свойствах, откуда следует, что она должна иметь отношение ко всем разделам физики, быть применима к явлениям молекулярным и к явлениям, происходящим во Вселенной, – вообще к материи, существующей, как известно, в виде вещества и в виде поля.

Термодинамика построена на двух *принципах* или *началах*, являющихся обобщением опытных фактов. Для науки об энергии и ее свойствах первое начало термодинамики есть не что иное, как принцип сохранения энергии. Устройство, совершающее непрерывно работу без затраты энергии, называется вечным двигателем (*perpetuum mobile*) первого рода (для отличия от *perpetuum mobile* второго рода, с которым мы познакомимся позже). Поэтому первое начало можно сформулировать так: *perpetuum mobile* первого рода невозможно.

Внутренняя энергия идеального газа и количество теплоты

Внутренняя энергия U является одной из *функций состояния* термодинамической системы, рассматриваемых в термодинамике. С точки зрения кинетической теории, внутренняя энергия тела – это энергия движения и взаимодействия атомов или молекул, из которых состоит тело.

Наиболее просто найти внутреннюю энергию идеального газа. Поскольку молекулы идеального газа не взаимодействуют друг с другом на расстоянии, а столкновения их упругие, внутренняя энергия газа равна сумме кинетических энергий его молекул и зависит только от температуры. Внутреннюю энергию называют еще *тепловой*.

Как показывает опыт, изменить температуру, а следовательно, и внутреннюю энергию какого-нибудь тела, можно двумя способами – совершая над ним механическую работу или приводя его в контакт с горячим или холодным телом. В первом случае тело можно нагреть с помощью трения о другое тело, а газ, как мы увидим ниже, – еще и путем совершения работы при его сжатии.

Изменение внутренней энергии при втором – контактном – способе происходит без совершения работы благодаря теплообмену – передаче энергии теплового движения молекул “горячего” тела молекулам “холодного”. В силу исторических причин в этом случае говорят, что к телу подводится или от него отводится некоторое *количество теплоты* Q . Количество теплоты представляет собой *энергию, передаваемую от одного тела к другому при их контакте*, и тоже является одной из термодинамических функций. В

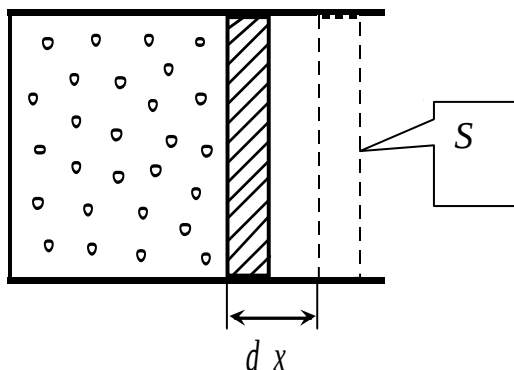


Рис. 1

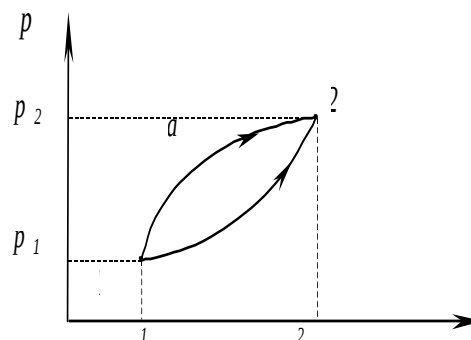


Рис. 2

отличие от внутренней энергии количество теплоты Q , передаваемое газу, зависит от вида совершаемого газом процесса, т.е. определяется не однозначно.

Работа, внутренняя энергия и количество теплоты измеряются в одних и тех же единицах – в СИ в *джоулях* (Дж).

В тепловых измерениях в качестве единицы количества теплоты раньше использовалась особая единица энергии – *калория* (кал), равная количеству теплоты, необходимому для нагревания 1 грамма воды на один градус (точнее, от 19,5 до 20,5°C). Опытным путем установлен *механический эквивалент теплоты* – соотношение между калорией и джоулем:

$$1 \text{ кал} = 4,2 \text{ Дж}.$$

Первое начало термодинамики выражает закон сохранения энергии для тепловых процессов. Оно гласит, что *количество теплоты δQ , сообщенное телу путем теплообмена, идет на увеличение его внутренней энергии dU и на совершение этим телом работы δA против внешних сил:*

$$\delta Q = dU + \delta A.$$

Внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры и является функцией его состояния. Работа, совершаемая газом при расширении или сжатии, в термодинамике выражается через изменение объема газа и зависит от вида происходящего в нем процесса.

Рассмотрим газ, находящийся в цилиндре с подвижным поршнем (рис.1). Пусть давление газа p , объем V , площадь поршня S . Тогда сила, действующая на поршень со стороны газа $F = pS$, а работа, совершаемая газом при перемещении поршня на расстояние dx :

$$\delta A = F dx = pS dx = p dV.$$

При расширении газа от объема V_1 до объема V_2 работа равна интегралу

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

Численно она равна площади криволинейной трапеции на Vp -диаграмме, форма которой определяется видом процесса, совершаемого газом (рис. 2). Так, при переходе газа из состояния 1 в состояние 2 по верхней кривой $1a2$ совершаемая работа больше, чем при переходе из состояния 1 в состояние 2 по нижней кривой $1b2$, поскольку площадь фигуры V_11a2V_2 больше площади фигуры V_11b2V_2 . Следовательно, работа зависит от формы пути на Vp -диаграмме. Чтобы отметить это обстоятельство, работу и количество теплоты при бесконечно малом изменении объема мы обозначили греческой буквой δ (дельта).

С учетом вышеизложенного уравнение, выражающее первое начало термодинамики, можно записать в виде:

$$\delta Q = dU + p dV.$$