**Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы**

Соотношение

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *p* = *nkT*, |  |

связывающее давление газа с его температурой и концентрацией молекул, получено в [§3.2](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph2/theory.html) для модели идеального газа, молекулы которого взаимодействуют между собой и со стенками сосуда только во время упругих столкновений. Это соотношение может быть записано в другой форме, устанавливающей связь между макроскопическими параметрами газа – объемом *V*, давлением *p*, температурой *T* и количеством вещества ν. Для этого нужно использовать равенства

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218105418-1.gif |  |

Здесь *N* – число молекул в сосуде, *N*A – постоянная Авогадро, *m* – масса газа в сосуде, *M* – молярная масса газа. В итоге получим:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218105481-2.gif |  |

Произведение постоянной Авогадро *N*A на [постоянную Больцмана](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph2/theory.html#15) *k* называется ***универсальной газовой постоянной*** и обозначается буквой *R*. Ее численное значение в СИ есть:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *R* = 8,31 Дж/моль·К. |  |

Соотношение

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218105559-3.gif | | (\*) |

называется ***уравнением состояния идеального газа***.

Для одного моля любого газа это соотношение принимает вид:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | *pV*=*RT*. | |  |

Если температура газа равна *T*н = 273,15 К (0 °С), а давление *p*н = 1 атм = 1,013·105 Па, то говорят, что газ находится ***при нормальных условиях***. Как следует из уравнения состояния идеального газа, один моль любого газа при нормальных условиях занимает один и тот же объем *V*0, равный

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *V*0 = 0,0224 м3/моль = 22,4 дм3/моль. |  |

Это утверждение называется ***законом Авогадро***.

Для смеси невзаимодействующих газов уравнение состояния принимает вид

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | *pV* = (ν1 + ν2 + ν3 + ...)*RT*, | |  |

где ν1, ν2, ν3 и т. д. – количество вещества каждого из газов в смеси.

Уравнение, устанавливающее связь между давлением, объемом и температурой газа было получено в середине XIX века французским физиком [Б. Клапейроном](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/scientist/clapeyron.html), в форме (\*) оно было впервые записано [Д. И. Менделеевым](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/scientist/mendeleev.html). Поэтому уравнение состояния газа называется ***уравнением Клапейрона–Менделеева***.

Следует отметить, что задолго до того, как уравнение состояния идеального газа было теоретически получено на основе молекулярно-кинетической модели, закономерности поведения газов в различных условиях были хорошо изучены экспериментально. Поэтому уравнение (\*) можно рассматривать как обобщение опытных фактов, которые находят объяснение в молекулярно-кинетической теории.

Газ может участвовать в различных тепловых процессах, при которых могут изменяться все параметры, описывающие его состояние (*p*, *V* и *T*). Если процесс протекает достаточно медленно, то в любой момент система близка к своему равновесному состоянию. Такие процессы называются **квазистатическими**. В привычном для нас масштабе времени эти процессы могут протекать и не очень медленно. Например, разрежения и сжатия газа в звуковой волне, происходящие сотни раз в секунду, можно рассматривать как квазистатический процесс. Квазистатические процессы могут быть изображены на ***диаграмме состояний*** (например, в координатах *p*, *V*) в виде некоторой траектории, каждая точка которой представляет равновесное состояние.

Интерес представляют процессы, в которых один из параметров (*p*, *V* или *T*) остается неизменным. Такие процессы называются **изопроцессами**.

***Изотермический процесс (T = const)***

***Изотермическим процессом*** называют квазистатический процесс, протекающий при постоянной температуре *T*. Из уравнения (\*) состояния идеального газа следует, что при постоянной температуре *T* и неизменном количестве вещества ν в сосуде произведение давления *p* газа на его объем *V* должно оставаться постоянным:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | *pV* = const. | |  |

|  |
| --- |
| [http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/models/screensh/isothermicProcess.jpg](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/models/isothermicProcess.html) |
| Модель. Изотермический процесс. |

На плоскости (*p*, *V*) изотермические процессы изображаются при различных значениях температуры *T* семейством гипербол *p* ~ 1 / *V*, которые называются **изотермами**. Так как коэффициент пропорциональности в этом соотношении увеличивается с ростом температуры, изотермы, соответствующие более высоким значениям температуры, располагаются на графике выше изотерм, соответствующих меньшим значениям температуры (рис. 3.3.1). Уравнение изотермического процесса было получено из эксперимента английским физиком [Р. Бойлем](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/scientist/boyle.html) (1662 г.) и независимо французским физиком [Э. Мариоттом](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/scientist/mariotte.html) (1676 г.). Поэтому это уравнение называют **законом Бойля–Мариотта**.

|  |
| --- |
| http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph3/images/3-3-1.gif |
| Рисунок 3.3.1.  Семейство изотерм на плоскости (*p*, *V*). *T*3 > *T*2 > *T*1. |

***Изохорный процесс (V = const)***

***Изохорный процесс*** – это процесс квазистатического нагревания или охлаждения газа при постоянном объеме *V* и при условии, что количество вещества ν в сосуде остается неизменным.

Как следует из уравнения (\*) состояния идеального газа, при этих условиях давление газа *p* изменяется прямо пропорционально его абсолютной температуре: *p* ~ *T* или

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218105872-4.gif | |  |

|  |
| --- |
| [http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/models/screensh/isochoricProcess.jpg](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/models/isochoricProcess.html) |
| Модель. Изохорный процесс. |

На плоскости (*p*, *T*) изохорные процессы для заданного количества вещества ν при различных значениях объема *V* изображаются семейством прямых линий, которые называются **изохорами**. Большим значениям объема соответствуют изохоры с меньшим наклоном по отношению к оси температур (рис. 3.3.2).

|  |
| --- |
| http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph3/images/3-3-2.gif |
| Рисунок 3.3.2.  Семейство изохор на плоскости (*p*, *T*). *V*3 > *V*2 > *V*1. |

Экспериментально зависимость давления газа от температуры исследовал французский физик Ж. Шарль (1787 г.). Поэтому уравнение изохорного процесса называется **законом Шарля**.

Уравнение изохорного процесса может быть записано в виде:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218105934-5.gif | |  |

где *p*0 – давление газа при *T* = *T*0 = 273,15 К (т. е. при температуре 0 °С). Коэффициент α, равный (1/273,15) К–1, называют **температурным коэффициентом давления**.

***Изобарный процесс (p = const)***

***Изобарным процессом*** называют квазистатический процесс, протекающий при неизменным давлении *p*.

Уравнение изобарного процесса для некоторого неизменного количества вещества ν имеет вид:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218106231-6.gif | |  |

где *V*0 – объем газа при температуре 0 °С. Коэффициент α равен (1/273,15) К–1. Его называют **температурным коэффициентом объемного расширения газов**.

|  |
| --- |
| [http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/models/screensh/isobaricProcess.jpg](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/models/isobaricProcess.html) |
| Модель. Изобарный процесс. |

На плоскости (*V*, *T*) изобарные процессы при разных значениях давления *p* изображаются семейством прямых линий (рис. 3.3.3), которые называются **изобарами**.

|  |
| --- |
| http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph3/images/3-3-3.gif |
| Рисунок 3.3.3.  Семейство изобар на плоскости (*V*, *T*). *p*3 > *p*2 > *p*1. |

Зависимость объема газа от температуры при неизменном давлении была экспериментально исследована французским физиком [Ж. Гей-Люссаком](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/scientist/gay-lussac.html) (1862 г.). Поэтому уравнение изобарного процесса называют **законом Гей-Люссака**.

Экспериментально установленные законы Бойля–Мариотта, Шарля и Гей-Люссака находят объяснение в молекулярно-кинетической теории газов. Они являются следствием уравнения состояния идеального газа.