

# СТРОГОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ. 10. УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

А.В. Бармасов, А.М. Бармасова, Т.Ю. Яковлева

Санкт-Петербургский государственный университет  
Российский государственный гидрометеорологический университет  
Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет

Строгость и корректность определений в курсе общей физики стала особенно актуальной в последнее время, когда начала активно применяться тестовая система оценки знаний учащихся (например, в рамках Единого государственного экзамена в школах, письменных экзаменов или тестирования остаточных знаний в ВУЗах) [1].

Ранее мы уже обсудили применение в курсе общей физики таких терминов, как идеальный и реальный газы [2]. Теперь рассмотрим использование названий законов, описывающих состояние идеального газа. Проблема в том, что нет не только чёткого соответствия между русскоязычными и международными названиями, но даже в отечественной литературе по-разному называются одни и те же законы (и, наоборот, одинаково называются разные законы).

Итак, *«Уравнение состояния выражает зависимые параметры состояния через независимые; например, давление является функцией температуры и объёма»* [3].

Для изменения объёма газа  $V$  при постоянной температуре необходимо соответственно изменить давление  $p$ . Изменяя это давление в сравнительно ограниченных пределах, английский (ирландский) физик Р. Бойль в 1662 г., а французский физик Э. Мариотт в 1676 г., экспериментально установили следующую зависимость, описывающую изотермический процесс и называемую **законом Бойля–Мариотта**:

$$pV = \text{const при } m = \text{const и } T = \text{const.}$$

Эксперименты по определению зависимости давления газа  $p$  от температуры  $T$  при условии неизменного объёма  $V$  определённой массы  $m$  газа впервые были произведены только в 1787 г. французским учёным Ж. Шарлем. Шарль получил **закон Шарля**:

$$V = \text{const} \Rightarrow \frac{p}{T} = \text{const.}$$

В 1802 г. французский физик Ж. Гей-Люссак сформулировал закон **Гей-Люссака** (закон идеального газа, согласно которому объём данной массы газа при постоянном давлении пропорционален абсолютной температуре газа):

$$p = \text{const} \Rightarrow \frac{V}{T} = \text{const.}$$

Законы Бойля–Мариотта, Шарля и Гей-Люссака (называемые **экспериментальными газовыми законами**) оказались справедливы для достаточно разрежённых газов.

Также для идеального газа можно ввести **объединённый закон Бойля–Мариотта и Гей-Люссака**:

$$\frac{pV}{T} = \text{const при } m = \text{const.}$$

Французский физик Б. Клапейрон в 1834-1840 гг. нашёл теоретически, что константа в объединённом законе должна быть пропорциональна массе:

$$pV = BT,$$

где коэффициент  $B$  зависит от массы и природы газа. Именно это уравнение и называется **уравнением Клапейрона**.

Профессор Петербургского университета Д.И. Менделеев в 1874 г. для 1 моля идеального газа вывел **уравнение Менделеева**:

$$pV = RT,$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная. В англоязычной литературе это уравнение называется без упоминания фамилии Менделеева просто **уравнением состояния идеального газа** (equation of state of an ideal gas).

Из уравнения Менделеева уже легко можно получить следующее соотношение:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$

где  $\mu$  – молярная масса газа. Поэтому это уравнение и логично называть **уравнением Менделеева–Клапейрона** (или **уравнением Клапейрона–Менделеева**), а не уравнением Клапейрона, как это иногда ошибочно практикуется. В англоязычной литературе это уравнение было бы логично называть «Clapeyron–Mendeleev’s equation», однако оно также называется **уравнением состояния идеального газа** (equation of state of an ideal gas). Уравнение Менделеева–Клапейрона носит универсальный характер. Газ, подчиняющийся уравнению Менделеева–Клапейрона, является идеальным газом [3].

1. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 1. Материальная точка / В материалах Совещания заведующих кафедрами физики ВУЗов России: «Актуальные проблемы преподавания физики в ВУЗах России». – М., 29 июня – 2 июля 2009 г.
2. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 3. Идеальный и реальный газы / В кн.: «Тезисы докладов Совещания заведующих кафедрами физики вузов России» (Москва, 2009 г.) / Под ред. проф. Г.Г. Спирина. – М.: АПР, 2009. – 344 с. – С. 56-58.
3. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Молекулярная физика и термодинамика / Под ред. А.П. Бобровского. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009 и 2012. – 512 с.