

**Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского**  
**Кафедра нелинейной физики**

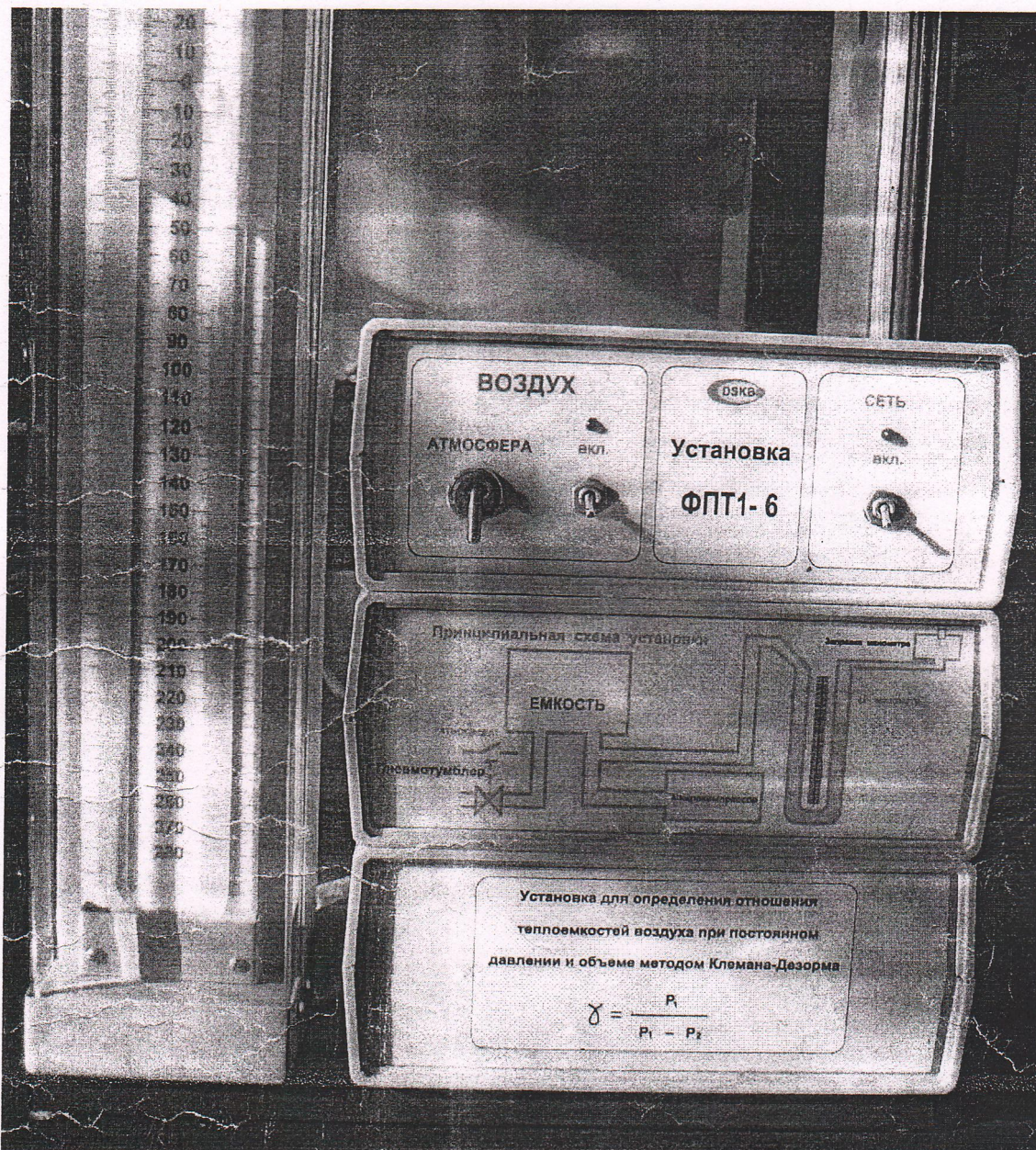
**ПРАКТИКУМ  
ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ  
И ТЕРМОДИНАМИКЕ**

**(Комплекс ФТП1-6)**

**Определение показателя адиабаты методом Клемана-Дезорма**

Учебно-методическое пособие к лабораторной работе  
в интегрированном учебно-научном практикуме  
«Методика, технология и информационное обеспечение  
физического эксперимента»

**2012 г.**



(Комплекс ФТП1-6)  
Определение показателя адиабаты  
методом Клемана-Дезорма

Цель: Познакомится с методом Клемана-Дезорма, его теоретическим обоснованием и провести измерение показателя адиабаты  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  для воздуха на лабораторной установке.

Введение

Как известно, газ не обладает фиксированной теплоемкостью. В значительной степени это связано с тем, что объем газа зависит от внешних условий. Действительно, тепловые процессы в твердых телах и жидкостях часто происходят в условиях практически постоянного объема, который немного изменяется, лишь при фазовых переходах. Поэтому вполне можно считать, что теплоемкость в достаточно широком интервале температур определяется лишь изменением внутренней энергии и имеет фиксированное значение  $C_v$ . Напротив, тепловые процессы в газах зачастую сопровождаются не только изменением внутренней энергии, но также изменением объема (совершением работы). В результате теплоемкость газа определяется, согласно первому началу термодинамики, двумя составляющими:

$$C = \frac{\delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U + A}{\Delta T} \quad \text{и может иметь как}$$

фиксированное значение (политропические процессы), так и значения, изменяющиеся в широких пределах: от нуля (адиабатический процесс) до бесконечности (изотермический).

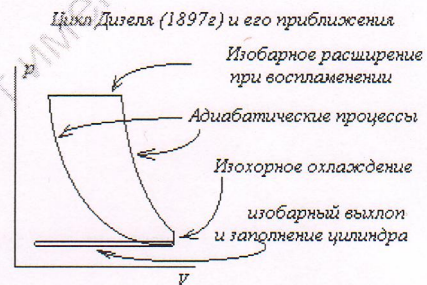
В данной работе нас будет интересовать адиабатический процесс<sup>1</sup>, происходящий в соответствии с уравнением Пуассона:  $pV^\gamma = \text{Const}$ , или

$$\frac{(P)^\gamma}{(T)^\gamma} = \text{Const}, \quad \text{где } \gamma = \frac{C_p}{C_v} \text{ - показатель адиабаты.}$$

При проведении реальных процессов, происходящих с конечной скоростью, именно степень приближения к адиабатическому процессу или удаленности от него является своеобразной характеристикой сложного процесса. Например, измеряя показатель адиабаты, можно судить о степени адиабатичности данного процесса.

Величина  $\gamma$  для данного газа может быть оценена теоретически в соответствии с классическими представлениями о степенях свободы молекул [1]. Например, для одноатомных газов вычисление по формуле  $\gamma = \frac{i+2}{i}$  дает значение 1,66 ( $i=3$ ), а для двухатомных 1,4 ( $i=5$ ). Сложнее оценивается значение показателя адиабаты для смеси газов, в присутствии сложных молекул. Таким образом, необходим независимый метод экспериментального измерения показателя адиабаты.

Известно, также, что с одной стороны адиабатический процесс реализуется либо в условиях тщательной изоляции газового объема от внешней среды, либо кратковременность протекания процесса, причем, параметром кратковременности вполне может служить время распространения звука в исследуемом объеме. Оба этих

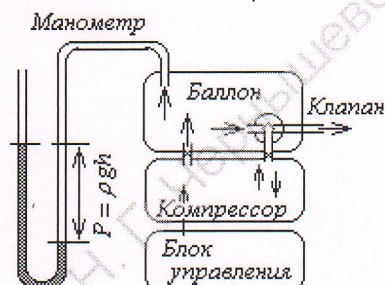


<sup>1</sup> Адиабатический, адиабатный - от греч. *adiabatos* – непреходимый. Сейчас это прилагательное употребляют не только для обозначения тепловых газовых процессов, происходящих без теплообмена, но и для характеристики любых процессов, протекающих быстро по сравнению с характерным временем релаксации.

обстоятельства делают адиабатический процесс сложным для экспериментального изучения. Однако, нельзя исключить принципиальную возможность определить показатель адиабаты путем сравнения состояния газа непосредственно до - и после окончания адиабатического процесса. Именно такой метод предложили Клеман и Дезорм в 1819г.

#### Установка и метод измерения:

В экспериментальной части метод Клемана-Дезорма для определения показателя адиабаты заключается в следующем. Емкость объемом несколько литров, заполняется исследуемым газом (в нашем случае это атмосферный воздух, нагнетаемый микрокомпрессором) до избыточного давления около 15-20мм водяного столба. Измерения давления проводятся по жидкостному манометру в экспериментальной установке. После выключения микропроцессора следует немного подождать, пока температура газа сравняется с температурой окружающего воздуха. При этом уровень жидкости в манометре будет несколько уменьшаться. В этом нет ничего удивительного, и не следует искать причину в неисправности установки. Через некоторое время после окончания процесса заполнения емкости (совершения работы по сжатию газа) температура в емкости сравнивается с температурой в лаборатории. Измерим давление в баллоне  $P_1$  – это будет первый отсчет для данного метода.



После проведения первого измерения установка подготавливается ко второму измерению. При этом на короткое время открывают кран, соединяющий баллон с атмосферой. В нашем случае это делается включением и выключением пневмотумблера. Процесс сопровождается характерным звуком выходящего газа и нужно успеть выключить пневмотумблер до прекращения этого звука. За это время происходит адиабатическое расширение газа, сопровождающееся охлаждением, а давление газа в емкости сравнивается с атмосферным.

Далее, некоторое время (около одной минуты) охлажденный газ нагревается посредством теплообмена с окружающей средой и температура выравнивается. При этом оставшийся в баллоне газ изохорно нагревается, что сопровождается ростом давления до некоторой величины. Измерение этого давления - обозначим его  $P_2$  – будет вторым отсчетом для данного метода.

Располагая всего двумя измерениями показатель адиабаты вычисляется по следующей формуле, получению которой уделим внимание в следующем пункте описания:

$$\gamma = \frac{P_1}{P_1 - P_2},$$

причем, в формулу входит отношение давлений, поэтому безразлично в каких единицах производится отсчет. Проще всего давления измерять в миллиметрах шкалы манометра.

#### Обоснование метода

Метод Клемана-Дезорма можно отнести к числу самых изящных методов экспериментальной физики. Действительно, как уже отмечалось, непосредственная реализация адиабатического процесса сопряжена с техническими трудностями. К их числу можно отнести либо необходимость осуществления идеальной теплоизоляции газового объема, либо, например, преодоление значительных механических напряжений и утечек газа при быстром движении поршня, сжимающего или расширяющего газовый объем. Впрочем, существуют методы определения адиабатического показателя методом

истечения газа из сопла. Однако, и такие методы имеют достаточно высокую стоимость в сравнении с методом Клемана-Дезорма.

В данном методе, по сути, имеется и цилиндр, и поршень, быстро расширяющий газ. Очевидно, цилиндром является баллон со сжатым газом. Для того, чтобы выделить элемент, выступающий в роли поршня, разделим мысленно исходный газ в баллоне на две части: главную часть, которая останется в баллоне после того, как часть газа будет выпущена; и второстепенная часть газа, предназначенная для выпуска. Сразу скажем, что недостающие сведения о соотношении объемов и масс этих частей не будут востребованы в дальнейшем. После открывания клапана эта второстепенная часть газа будет выпущена, а главная часть адиабатически расширится от своего первоначального объема до объема всего баллона. Таким образом, второстепенная часть газа сыграет роль виртуального поршня, который первоначально ограничивал объем главной части воздуха. Теперь, для получения рабочей формулы мы можем сравнить уравнения состояний для одной и той же массы газа, которую мы выше назвали главной.

Итак, приступим к записи уравнений состояний для постоянной массы главной части газа в процессе, изображенном на рисунке.

$$\text{Процесс } 1 - 1': \frac{(P_1)^{\gamma-1}}{(T)^{\gamma}} = \frac{(P_0)^{\gamma-1}}{(T')^{\gamma}}$$

$$\text{Процесс } 1' - 2: \frac{P_0}{T'} = \frac{P_2}{T}$$



Отсюда нетрудно получить выражение вида:  $\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\gamma} = \frac{P_1}{P_0}$ , вполне достаточное для

определения показателя адиабаты.

Логарифмируя выражение и учитывая, что  $P = P_0 + \rho gh$ , и  $\rho gh \ll P_0$ , получаем рабочую формулу в виде, удобном для практического использования:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

Отметим, что параметры состояния 1' не входят в расчет на его завершающем этапе. Здесь показатель адиабатного процесса определяется без измерений на стадиях реализации самого процесса!

#### Рекомендации к выполнению работы

Точность измерения показателя адиабаты этим методом обычно невысока; во-первых, из-за довольно большого времени открывания клапана; во-вторых из-за неучета в расчетной формуле процесса теплопроводности внутри газа и в стенках сосуда. Рекомендуется перед началом измерений проделать несколько "холостых" опытов (чтобы прогреть стенки сосуда), и далее усреднить значение показателя адиабаты не менее чем по 10-ти измерениям.

#### Литература

1. И.Е. Иродов. Физика макросистем. Основные законы. - М-СПб, Физматлит, 2001, Гл.1.
2. А.Н. Матвеев. Молекулярная физика – М.:Высшая школа, 1981, Гл. 2