

8 Определяне на съотношението C_p/C_v за въздух по метода на Клеман и Дезорм

Теоретична обосновка

Състоянието на всеки газ се характеризира с три параметъра – налягане p , обем V и температура T . Изменението на един от тях води, в общия случай, до промяна и на другите два. По тази причина за газовете се дефинират два вида моларен топлинен капацитет. Моларен топлинен капацитет при постоянно налягане C_p е количеството топлинна енергия, необходима за изменение на температурата на 1 mol от даден газ с 1 K при постоянно налягане, т. е. - при *изобарен* процес. Моларен топлинен капацитет при постоянен обем C_v е количеството топлинна енергия, необходима за изменение на температурата на 1 mol от даден газ с 1 K при постоянен обем, т. е. - при *изохорен* процес.

Непосредственото определяне на C_v , обаче, е трудно и неточно поради това, че малко количество газ заема голям обем, а топлинният капацитет на съда е няколко пъти по-голям от топлинния капацитет на газа. Ето защо често се определя отношението C_p/C_v , което се означава обикновено с γ . То играе роля при *адиабатните* процеси, които се описват с уравнението на Поасон

$$pV^\gamma = \text{const.}$$

(*Адиабатен* е процес, който протича без топлообмен с околната среда.) От величината γ зависи и скоростта на звука в газовете, течението на газове по тръби със звукова скорост, както и достигането на свръхзвукова скорост в разширяващи се тръби.

Най-прост метод за определяне стойността на C_p/C_v е този на Клеман и Дезорм, чиято теория се основава на законите, описващи три последователно протичащи процеса, които се осъществяват най-често с въздух: изотермичен, адиабатен и изохорен. (*Изотермичен* е този процес, който протича при постоянна температура.) Тези процеси са изобразени условно на p - V – диаграмата, показана на фиг. 14.1, а опитната постановка е предназначена за определяне на C_p/C_v за въздух.

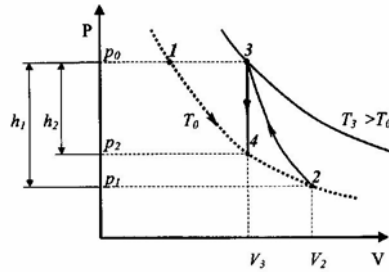
Преди започване на опита в някакъв съд е затворен въздух с налягане, равно на атмосферното (p_0) и стайна температура (T_0) – точка 1 от p - V диаграмата. След *изотермично* изменение обема на въздуха, той се привежда в състоянието, изобразено с точка 2, характеризиращо се с налягане $p_2 = p_0 - h_1$, обем V_2 (обема на съда) и температура $T_2 = T_0$. Това състояние се явява изходно за целите на измерването. По-нататък намиращият се в съда въздух се подлага на адиабатно свиване до състоянието, изобразено с точка 3, чиито параметри са: $p_3 = p_0$, $V_3 < V_2$ и

$T_3 > T_0$. Като се приложат уравненията, описващи трите гореспоменати процеса, можем да запишем:

$$\rho_0 V_0 = \rho_2 V_2 \quad (14.1)$$

$$\rho_2 V_2^\gamma = \rho_0 V_3^\gamma \quad (14.2)$$

$$\rho_4 V_3 = \rho_2 V_2 \quad (14.2)$$



Фиг. 14.1.

След това газът, оставен сам на себе си, се охлажда до температурата на околната среда, като процесът протича *изохорно*. Налягането също се понижава, а съответното състояние е изобразено на фиг. 14.1 с точка 4 и се характеризира с параметри: $p_4 = p_0 - h_2$; $V_4 = V_3$; $T_4 = T_0$. От (14.1) и (14.2) лесно се получават съотношенията:

$$\left(\frac{V_2}{V_3}\right)^\gamma = \frac{p_0}{p_2} \quad (14.3)$$

$$\frac{V_2}{V_3} = \frac{p_4}{p_2} \quad (14.4)$$

Ако повдигнем (14.4) на степен γ и приравним дясната му част с тази на (14.3), ще получим:

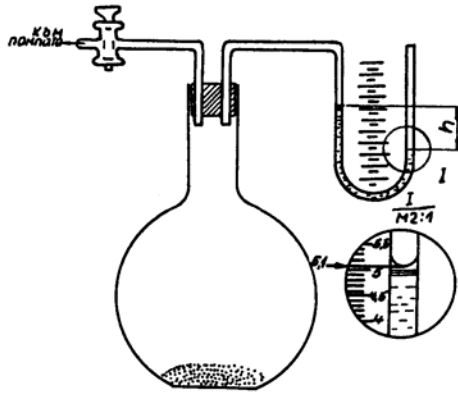
$$\left(\frac{p_4}{p_2}\right)^\gamma = \frac{p_0}{p_2} \Rightarrow \gamma(\ln p_4 - \ln p_2) = \ln p_0 - \ln p_2 \Rightarrow \gamma = \frac{\ln p_0 - \ln p_2}{\ln p_4 - \ln p_2}$$

Взимайки предвид приблизителната формула $\ln(1 + \varepsilon) \approx \varepsilon$ при $\varepsilon \rightarrow 0$ за γ се получава:

$$\gamma = \frac{p_0 - p_2}{p_4 - p_2} = \frac{h_1}{h_1 - h_2}, \quad (14.5)$$

понеже $p_2 = p_0 - h_1$ и $p_4 = p_0 - h_2$, както се вижда от фиг. 14.1.

Опитна постановка



Фиг. 14.2.

Опитната постановка (фиг.14.2) се състои от стъклена колба със запушалка, през която минават две стъклени тръби. Едната е свързана с отворен воден манометър, чрез който се измерва разликата в налягането h на въздуха вътре и вън от колбата в милиметри воден стълб (mmH_2O). Другата през кран, е свързана с ръчна вакуумна помпа. За изсушаване на въздуха на дъното на колбата е поставено хигроскопично вещество (CaCl_2).

Задача и указания за изпълнението и

Да се определи стойността на $\gamma = C_p/C_v$ за въздух.

С помпата се понижава налягането на въздуха в колбата, при което се понижава и температурата му. За достигане състояние 2 (фиг. 14.1) е необходимо да се изчака няколко минути, за да се извърши топлообмен с околната среда и температурата на въздуха да се изравни със стайната. Тогава нивото на течността в манометъра престава да се променя и се отчита разликата между нивата в двете колена на манометъра h_1 , която представлява разликата в наляганията, изразена в милиметри воден стълб.

Следващият процес на адиабатно свиване се осъществява като чрез крана се свърже за кратко време вътрешността на колбата с околния въздух – до изравняване на налягането с атмосферното. При това въздухът, който е бил в колбата, се свива до обем $V_3 < V_2$, поради което температурата му се повишава. Но тъй като липсва топлинна изолация, за няколко минути се извършва изохорно охлаждане, докато температурата на въздуха спадне до стайната, а налягането му се понижава. Това състояние е изобразено на фиг. 14.1 с точка 4. Когато нивото на течността в двете колена на манометъра престане да се променя, отчита се новата разлика в наляганията h_2 и по формула (14.5) се пресмята γ .

Опитът се повтаря многократно и за да се отчете големината на случайната грешка, получените резултати се подреждат в подходяща таблица и се обработват.