Вопрос по выбору: “Эффект Джоуля-Томпсона”

РАБОТУ ПОДГОТОВИЛ
СТУДЕНТ ГРУППЫ Б04-904
БАБУРИН ОЛЕГ

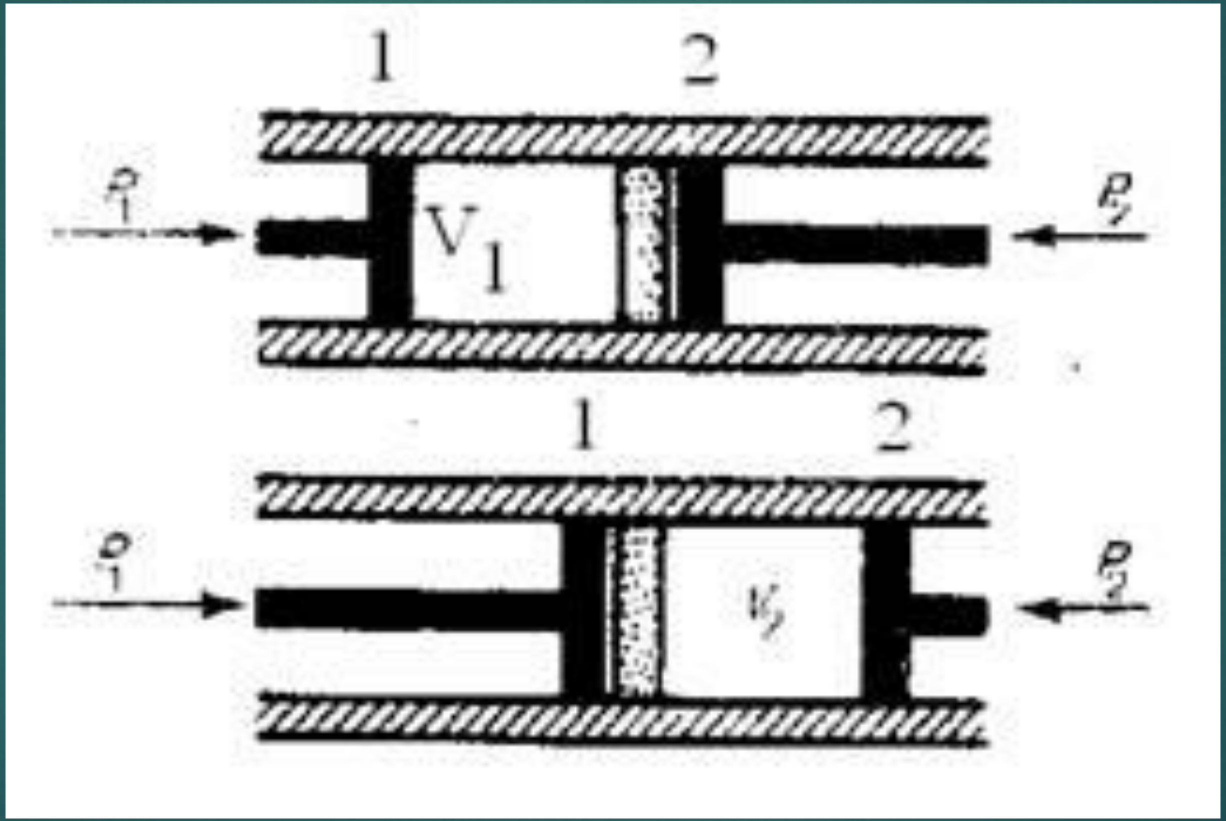
2019-2020 УЧЕБНЫЙ ГОД

1. Описание эффекта

- **Эффе́ктом Джо́уля — То́мсона** называют изменение температуры газа или жидкости при стационарном адиабатическом дросселировании — медленном протекании газа под действием постоянного перепада давлений сквозь дроссель (пористую перегородку). Назван в честь открывших его Джеймса Джоуля и Уильяма Томсона. Данный эффект является одним из методов получения низких температур.

2. Наглядный чертеж установки.

1, 2 – подвижные поршни



3. Термодинамика в эффекте.

Термодинамика процесса Джоуля-Томсона

1) Интегральный и дифф. Эффекты

Запишем для левой и правой части газа уравнение Бернулли

$i_1+U^2_1/2=i_2+U^2_2/2$, где величины

$U^2_1 <= i_1$ и $U^2_2 <= i_2 => I_1=I_2$ (1)

Имеем равенство энтальпий:

* $I_1= U_1+p_1V_1= Cv*T_1- (a/T_1)+p_1V_1$ (2)

- тут подразумевается, что в левой части цилиндра – газ Ван-Дер-Ваальса

$I_2=U_2+p_2V_2= Cv*T_2+RT_2= Cp*T_2$ (3)

Воспользуемся равенством (1) и выражениями (2) и (3)=>

$=>(R + Cv)T= CpT_2= CvT_1- (a/T_1)+p_1V_1$, где

$(p_1+(a/V^2_1))(V-b)= RT$, тогда запишется след.

$T_2 -T_1= ((Rb/V_1-b)*T_1- (2a/V_1))* (1/R+Cv)$

Обозначим за величину

$Тинв= (2a/ Rb) * (V_1-b/ V_1)$, тогда

$T_1 <$ Тинв – охлаждение. $T_1 >$ Тинв – нагрев

Некоторые промежуточные выкладки

а) Вывод уравнения внутренней энергии газа Ван-Дер-Ваальса

$$\left(p + \frac{\nu^2 a}{V^2}\right)(V - \nu b) = \nu R T$$

дата страница

$$dU = TdS - p\,dV$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T - p \quad \Rightarrow \left(p + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T\right)$$ не надо!

Из соотношений Максвелла

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V = \frac{\nu R}{V - \nu b}$$, тогда

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\cdot\frac{\nu R}{V-\nu b} - p = \frac{\nu R T - p(V - \nu b)}{V - \nu b} = +a\frac{\nu^2}{V^2}$$

~~Запишем~~ $\cancel{dU(V,T) = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT}$

Запишем $dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV =$

$= \nu C_V\,dT + a\frac{\nu^2}{V^2}\,dV$, тогда

$$U = \nu C_V T - \frac{a}{V}\nu^2$$ — внутр. эн. для газа В-д-В

Дифференциальный эффект Джоуля-Томсона

Из равенства энт. $I_1 = I_2 = C \Rightarrow dI = 0$; $dI = TdS + Vdp$

$\left(\frac{\Delta T}{\Delta p}\right)_I = ?$ — нужно определить

$$dI = \left(\frac{\partial I}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial I}{\partial p}\right)_T dp = 0$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_I = -\frac{(\partial I/\partial p)_T}{(\partial I/\partial T)_p} = -\frac{\left(\frac{\partial I}{\partial p}\right)_T}{C_p}; \quad C_p = (\partial I/\partial T)_p$$

Определим величину

$$\left(\frac{\partial I}{\partial p}\right)_T = T\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T + V, \quad \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_I = \frac{1}{C_p\cdot\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T}\left(\frac{bRT}{V-b} - \frac{2a}{V^3}\right)$$

$$T_{инв} = \frac{2a}{Rb}\left(\frac{V-b}{V}\right)^2$$