$\bar{\varepsilon} = \frac{i}{2}kT$ $\quad v_{кв} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ $\quad p = nkT$ $\quad p = \sum_i p_i$

§ Вн. эн. тела. Теор. о равнораспр. эн. Число степ. свободы. Внутр. эн. ид. газа.

Вн. эн. тела – ...

Пусть при $T = const$: E_k – сум. кин. эн. всех молек. тела
E_p – сум. пот. эн. всех молек.

$\Rightarrow$ 1) $E_k << E_p \Rightarrow$ тело – твёрдое
2) $E_k \approx E_p \Rightarrow$ тело – жидкость
3) $E_k >> E_p \Rightarrow$ тело – газ

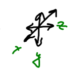
Состояние вещ-ва → „фаза"
жидк. фаза; газообр. фаза; твёрд. фаза.

В общ. случае;
$U = E_k + E_p$ – вн. эн.

Для ид. газа: $E_p \to 0 \Rightarrow U = E_k = N \cdot \bar{\varepsilon}$ $\quad \bar{\varepsilon}$ – сред. кин. эн. 1 ой молек.

Кин. не склад. только из поступ. эн. мол-л
+ вращат. и колебат. эн-я молекул.

Ранее: молекула - мат. точка; для поступ. движ-я: $\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2}k \cdot T \Rightarrow$ 3 вида движ-я



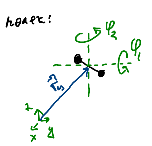
$\Rightarrow$ на $\forall$ вид движ-я: $\bar{\varepsilon}_1 = \frac{1}{2}k \cdot T$

Больцман обобщил:
[... на $\forall$ степень свободы приходится один. кол-во эн.] – Теор. Б. о равнораспред. эн-и.

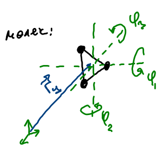
Число степ. своб. (i) – это ...

Одноатомн. молек; $\vec{r} = (x, y, z) \Rightarrow i = 3$

Двухатомн. молек: $\vec{r}_y = (x_y; y_y; z_y) \Rightarrow i = 5$
$+ \varphi_1; \varphi_2$

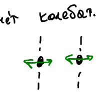


Трёхатомн. молек: $\Rightarrow i = 6$



Для молек. с i-степенями свободы:
$\bar{\varepsilon}_i = i \cdot \frac{1}{2}kT = \frac{i}{2}kT$ $\quad \bar{\varepsilon}_i = \frac{i}{2}kT$

Учёт колебат. движ-я



каждое колеб. движ-е = кин. эн + пот. эн. вз-я

$\Rightarrow$ на $\forall$ колеб. движ-е приходится $i_{кол} = 2$ ($2^е$ степ. свободы)

Для 2-атом молек., с учёт. колеб. движ-я:
$i = 5 + 2 = 7$

Внутр. эн. ид. газа:

$U = E_k = N \cdot \bar{\varepsilon} = \frac{m}{\mu} \cdot N_A \cdot \frac{i}{2}k \cdot T = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot T$

$\Rightarrow$ $U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T$!
– внутр. эн. ид. газа

§ Газ Ван-дер-Ваальса

Для ид. газа: $p\cdot V=\frac{m}{\mu}RT=\nu\cdot R\cdot T \Rightarrow p\cdot\frac{V}{\nu}=RT \Rightarrow p\cdot V_\mu=R\cdot T$

реальн. газ: $p = 1000$ атм. $\Rightarrow$ $p\cdot V_\mu = 2\cdot RT \ne R\cdot T$ „газ сильно сжат"

Что не учтено?

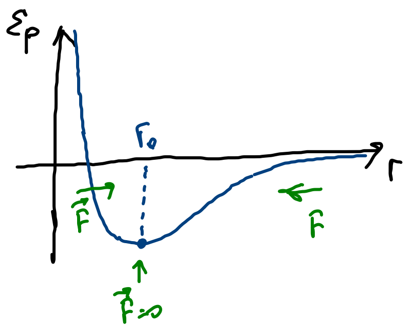
– собственный объём молекул → # норм. усл-я: $V_0 \equiv V_{собств} \sim 0{,}07\%$ объёма сосуда

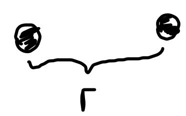
– взаим-е м/у молек. $p = 100$ атм.: $V_0 \sim 70\%$ объём сосуда

V_0 – собствен-й объём молекул

↓

Пот. эн. вз-я м/у молек. (ε_p)





Сила вз-я: $\vec F = -\vec\nabla \varepsilon_p = -\frac{\partial\varepsilon_p}{\partial \vec r}$

– в сторону убыли пот. эн.

на расст-ях r_0 нет вз-я м/у молек-ми.

В-д-В ввёл поправки:

1) $p\to p+p_0$ где: $p_0=\frac{a}{V_\mu^2}$ – внутр. давление

p – давление на стенку сосуда

2) $V_\mu\to V_\mu-V_0$; $V_0\equiv b$ – поправка на собствен. объём молекул

$\Rightarrow$ Ур. ид. газа $p\cdot V_\mu=RT$ → Ур. реального газа: $\boxed{\left(p+\frac{a}{V_\mu^2}\right)\left(V_\mu-b\right)=R\cdot T}$ – ур. Ван-дер-Ваальса

где: a, b – постоянные В-д-В

Внут. эн. реального газа: $\boxed{U=\frac{i}{2}\cdot\frac{m}{\mu}\cdot R\cdot T-\frac{m}{\mu}\cdot\frac{a}{V}}$ – зависит от объёма сосуда

$\Rightarrow$ с ростом V температура газа уменьш-ся.

$\Rightarrow$ – сжижение газа

§ Газ в поле сил тяжести. Барометрическ. ф-ла.

Газ у пов-ти Земли ⇒ действ-т 2 фактора: – темпер. и хаот. движ. ; – сила тяжести } ⇒ устан-ся завис-ть давления от высоты ⇒ Барометрич. ф-ла

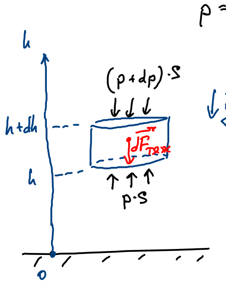
Упрощения (Модель):

1. $g = const$
т.к. давление на высоте $\Delta h = 100 \sim 200$ км $\to 0$; $R_{земли} = 6400$ км
$\Leftrightarrow \Delta h \ll R_{земли}$ ⇒ сила тяж. не меняется

2. Воздух – ид. газ

3. $T = const$

$p = \frac{F}{S}$



Рассм. цилиндр. возд. слой ; S – площадь осн-я
– заключен м/у h и $h+dh$

Найдем баланс сил, дейс-х на этот слой

$h \to p$

$h+dh \to p+dp$

$d\vec{F}_{тяж}$ – сила тяж. самого воздуш. слоя

$dF_{тяж} = dm\cdot g = m_0 \cdot dN \cdot g = m_0 \cdot n \cdot dV \cdot g = m_0 \cdot n \cdot S \cdot dh \cdot g$
где: m_0 – масса 1ой молек.

n – концентр-я молекул на высоте h

Условие баланса сил на нижнее основ-е:

$(\cancel{p}+dp)\cdot S + dF_{тяж} - \cancel{pS} = 0$

$\Rightarrow \cancel{S}\,dp + m_0 \cdot n \cdot \cancel{S} \cdot dh \cdot g = 0$

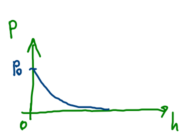
$\Rightarrow dp = -m_0 \cdot n \cdot g \, dh = \left[p = n\cdot k\cdot T \right] = -m_0\, g \cdot \frac{p}{kT} \cdot dh$

$\Rightarrow \frac{dp}{p} = -\frac{m_0 g}{kT} \cdot dh$

$\Rightarrow \int\limits_{p_0}^{p} \frac{dp}{p} = -\frac{m_0 g}{kT} \cdot \int\limits_0^h dh \Rightarrow \ln\frac{p}{p_0} = -\frac{m_0 g}{kT} h \Rightarrow p = p_0 \cdot e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}$

! $\boxed{p = p_0 \cdot e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}}$ – Барометрич. ф-ла

где: p_0 – давление на высоте $h = 0$



§ Распредел-е Больцмана.

– распред. частиц (молекул) по потенц. эн-и

$p = p_0 \cdot e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}$, $p = n\cdot k \cdot T$ ⇒ $n \cdot \cancel{k T} = n_0 \cdot \cancel{kT} \cdot e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}$

$\Rightarrow n = n_0 \cdot e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}$

$m_0 g h = \varepsilon_p(h)$ – потенц. эн. 1ой молекулы на высоте h

$\Rightarrow \boxed{n = n_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_p}{kT}}}$ – распред. Больц. по потенц. эн-и в поле сил тяжести

Больцман: – это распр-е справедл. для любых молекул, нахар-ся в сколь-м поле с потенц-й эн-ей ε_p

$\Rightarrow \boxed{n = n_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon_p}{kT}}}$!