Определение какой энергии соответствует температура твердого тела и вычисление на этой основе динамической вязкости

Якубовский Е.Г.

e-mail yakubovski@rambler.ru

Температура газа соответствует кинетической энергии молекул этого газа. Чему соответствует температура жидкости и твердого тела? Оказалось, она соответствует мнимой части энергии молекул. Мнимая часть энергии молекул зависит от их динамической вязкости. Откуда можно определить зависимость вязкости газа от температуры. Для твердого тела и жидкости получены пределы изменяемости динамической вязкости. Динамическая вязкость твердого тела соответствует сгруппировавшимся частицам вакуума.

Выведем формулу для зависимости динамической вязкости от температуры. Согласно принципу равновесия температура простейшей модели, для которой имеются формулы собственной энергии - атому водорода, должна равняться мнимой части энергии. Температура в газе определяется кинетической энергией дисперсии скорости, и значит является мнимой, см. определение комплексных параметров [1] стр. 74. Вычислим мнимую часть энергии одноатомной молекулы для атома водорода

$$\operatorname{Im} E = -\operatorname{Im}\frac{m_e e^4}{2(\hbar - i m_e \mu/\rho_e)^2} = -\operatorname{Im}\frac{m_e e^4[\hbar^2 - (m_e\mu/\rho_e)^2 + 2i\hbar m_e \mu/\rho_e]}{2[\hbar^2 + (m_e\mu/\rho_e)^2]^2} = kT \ .(1)$$

Действительный объем электрона определяется по формуле

$$V_e = \frac{(\hbar^2 - \mu^2 V_e^2)^3}{m_e^3 e^6}.$$

Откуда имеем формулу для объема электрона

$$\frac{\mu^2 V_e^2}{\hbar^2} = 1 - \sqrt[3]{V_e}/a_0, a_0 = \frac{\hbar^2}{m_e e^2}. \qquad (2)$$

Тогда формула (1) запишется в виде

$$\begin{gathered}\frac{\sqrt{1-\sqrt[3]{V_e}/a_0}}{(2-\sqrt[3]{V_e}/a_0)^2} = \frac{kT\hbar^2}{m_e e^4} = \frac{T}{T_{\max}} = \alpha << 1,\\ T_{\max} = \frac{m_e e^4}{k\hbar^2} = \frac{e^2}{ka_0} = 3.4\cdot 10^{5\circ} K\end{gathered} \qquad (3)$$

Откуда имеем $\sqrt[3]{V_e}/a_0 = 1-\alpha^2$ и значит из (2) получаем значение динамической вязкости для атома водорода при температуре $20°C$

$$\mu = \frac{\hbar T(1+\alpha^2)^2}{a_0^3 T_{\max}(1-\alpha^2)^3} = 6.9\cdot 10^{-6} g/(cm\cdot s).$$

Вычислена динамическая вязкость при нормальных условиях, для произвольной температуры имеем $\mu\sqrt{\frac{T}{T_{\max}}} = \frac{\hbar T(1+\alpha^2)^2}{a_0^3 T_{\max}(1-\alpha^2)^3}$. Для произвольной температуры имеем формулу $\mu = \frac{\hbar\sqrt{T}(1+\alpha^2)^2}{a_0^3\sqrt{T_{\max}}(1-\alpha^2)^3} = 2.37\cdot 10^{-4} g/(cm\cdot s)$.

При экспериментальном значении динамической вязкости молекул водорода $8.8\cdot 10^{-5} g/(cm\cdot s)$ при одинаковых температурах, равных $20°C$. Отметим, что спектр молекул водорода не совпадает со спектром атома водорода.

Линейная зависимость от температуры кинематической вязкости обусловлена формулой Эйнштейна для коэффициента диффузии, совпадающей с кинематической вязкостью $D = kTB$, где величина B константа, совпадающая с подвижностью газа. Зависимость динамической вязкости водорода от времени почти линейная в диапазоне $[-220,1000]°C$ см. [2].

Данное уравнение имеет другое решение в случае отрицательного объема. Отрицательный объем построен на отрицательных координатах и равен их произведению. Физический смысл имеет модуль отрицательного объема. Отрицательный объем получается аналогично комплексному объему. Приведем уравнение (3) к виду

$$\frac{\sqrt{1-\sqrt[3]{V_e}/a_0}}{(1-\sqrt[3]{V_e}/2a_0)^2}=4\frac{kT\hbar^2}{m_e e^4}=\frac{4T}{T_{\max}}=\alpha\,.$$

Оно имеет решение $\sqrt[3]{V_e}/a_0=\dfrac{\alpha^2-1}{c}$ при отрицательном объеме. Следовательно, динамическая вязкость равна $\mu=\dfrac{\hbar}{a_0^3}\dfrac{1-3\alpha^2}{c^3}\sqrt{\dfrac{c+1-\alpha^2}{c}}$. Вязкость вычислена при нормальных условиях. Для пересчета для произвольной температуры, надо умножить на величину $\rho/\rho_0=\dfrac{pT_0}{p_0T}$, что является приближенным результатом. В данном случае температура T_0 и давление P_0 соответствуют началу турбулентного режима течения см. далее по тексту. Получим формулу

$$\mu=\frac{pT_0}{p_0T}\frac{\hbar}{a_0^3}\frac{1-3\alpha^2}{c^3}\sqrt{\frac{c+1-\alpha^2}{c}}\,. \qquad (4)$$

Решение уравнения Навье-Стокса имеет вид

$$R=\frac{Va}{\nu}=R_{cr}-\sqrt{R_{cr}^2-T\alpha}$$

Где величина T это безразмерное давление, R_{cr} критическое число Рейнольдса. Ламинарное значение скорости потока, или числа Рейнольдса потока равно $R=T\alpha/2R_{cr}$. При повышении давления решение становится комплексным с постоянной действительной частью. В случае турбулентного потока температура становится комплексной, определяясь по формуле

$$\sqrt{\frac{kT_{\Sigma}}{m}} = \left| \sqrt{\frac{k(T_{\Sigma} - T_n)}{m}} + i\sqrt{\frac{kT_n}{m}} \right| = \left| \sqrt{\frac{2kT_0}{m}} + i\sqrt{\frac{kT_n}{m}} \right|, T_0 = const; T_{\Sigma} = T_0 + T_n .$$

Измеряется модуль температуры T_{Σ}, но действительная часть температуры в турбулентном режиме является константой. Меняется только мнимая часть температуры. Турбулентному режиму соответствует начало возбуждения колебательных и вращательных степеней свободы, что соответствует переходу к квантовому решению. Теплоемкость определяется по формуле

$$c_v = \frac{3R}{2\mu}\left(1 + \sqrt{\frac{T_{n1}}{T_{\Sigma}}} + \sqrt{\frac{T_{n2}}{T_{\Sigma}}}\right) = \frac{3R}{2\mu}\left(1 + \sqrt{1 - \frac{T_{01}}{T_{01} + T_{n1}}} + \sqrt{1 - \frac{T_{02}}{T_{02} + T_{n2}}}\right).$$

При температуре вращательных и колебательных степеней свободы равной нулю, теплоемкость определяется, как у одноатомного газа. При большой температуре вращательных и колебательных степеней свободы, получаем учет их теплоемкостей.

При учете турбулентных эффектов текущую температуру в формуле (4) надо заменить на величину $T = T_{\Sigma} + \sqrt{T_{\Sigma} T_{n1}} + \sqrt{T_{\Sigma} T_{n2}}$, где величина температуры колебательных и вращательных степеней свободы подключается в случае турбулентного режима.

В случае твердого тела мнимая часть энергии определяется частицами вакуума и равна излученной энергии, образованной частицами вакуума. Заряд частицы вакуума равен $q = e\sqrt{l_{\gamma} / r_{\gamma}}$ Плотность частиц вакуума в атоме увеличилась на величину $m_e / (\rho_{\gamma} a_0^3) = 10^{27}$ по сравнению со свободным пространством, где величина $\rho_{\gamma} = 10^{-29} g / (cm \cdot s)$ плотность вакуума. Итого надо умножить $m_e e^4$ в формуле (3) на величину $[l_{\gamma} \sqrt[3]{m_e / (\rho_{\gamma} a_0^3)} / r_{\gamma}]^2$.

$$\frac{\sqrt{1-\sqrt[3]{V_e}Z/na_0}}{(2-\sqrt[3]{V_e}Z/na_0)^2}=\frac{V_e}{a_0^3}\frac{n^2a_0^3kT\hbar^2}{Z^2m_ee^4[l_\gamma\sqrt[3]{m_e/(\rho_\gamma a_0^3)}/r_\gamma]^2}=$$

$$=\frac{V_e}{a_0^3}\frac{n^2a_0^3kT\hbar^2}{Z^2m_ee^4[\sqrt[3]{m_e/(\rho_\gamma a_0^3)}]^2(\frac{m_\gamma}{m_e})^2}=\frac{V_en^2}{Z^2a_0^3}4.61\cdot 10^5T.$$

Где использовали $l_\gamma\sqrt[3]{m_e/(\rho_\gamma a_0^3)}/r_\gamma=\frac{m_\gamma}{m_e}\sqrt[3]{m_e/(\rho_\gamma a_0^3)};\frac{l_\gamma}{m_\gamma}=\frac{c^2r_\gamma^2}{e^2},r_\gamma=\frac{e^2}{m_ec^2}$.

Величина $m_\gamma=0.84\cdot 10^{-54}g$. Откуда имеем для значения объема, занимаемого электроном $\frac{V_e}{a_0^3}=5.43\cdot 10^{-7}Z^2/(Tn^2)$. При условии $T=0$ имеем $V_e=\frac{n^3a_0^3}{Z^3}$ и динамическая вязкость равна $\mu=\frac{\hbar Z^3}{n^3a_0^3}$.

Тогда величина динамической вязкости определится из формулы $\frac{\mu^2V_e^2}{\hbar^2}=1-\sqrt[3]{V_e}Z/na_0$, т.е. для атома водорода величина $\frac{V_e}{a_0^3}<1$. Откуда получаем динамическую вязкость твердого водорода $\mu=\frac{\hbar}{a_0^3}\frac{Tn^2}{5.43\cdot 10^{-7}Z^2}=\frac{1.47\cdot 10^4Tn^2}{Z^2}=2.06\cdot 10^5g/(cm\cdot s)$ при температуре $14°K$. В [4] приводится вязкость твердого водорода при высоком давлении ~10MPa, которая равна $2.7\cdot 10^4g/(cm\cdot s)$ при температуре $13°K$. В случае железа при температуре $1000°K$ вязкость равна $\mu=2.47\cdot 10^5g/(cm\cdot s)$.

Определение вязкости по мнимой части собственной энергии позволяет определить динамическую вязкость без приближения классической механики о модели молекул в виде круглых шаров и точечных частиц. Такое определение динамической вязкости позволяет учесть энергию ионизации и другие квантовые эффекты и применить принцип детального равновесия для квантовых систем, тем самым определяя, какой энергии соответствует температура в твердом теле.

Литература

1. *Якубовский Е.Г.* ЧАСТИЦЫ ВАКУУМА, ОПИСЫВАЮЩИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ПОЛЯ Реферативный журнал «Научное обозрение» 2016,т.2, стр.58-80, http://science-review.ru/abstract/pdf/2016/2/662.pdf
2. Динамическая вязкость газов и паров. «Электронный ресурс», http://thermalinfo.ru/svojstva-gazov/gazy-raznye/dinamicheskaya-vyazkost-gazov-i-parov
3. Виняр И.В., Лукин А.Я. Шнековый экструдер твердого водорода. Журнал Технической физики, 2000, том 70, вып.1, стр.107-112