План практических занятий.

Номера задач по: |№№..|- *Гречко Л.Г. и др.*, [Т№ .., С№..]- *Кубо*, **[КЛ]**- консп. лекций, {№№…}-*Кронин и др.*, (П.№ …)- *Румер, Рывкин,* **Д: №,№ - домашнее задание.**

Термодинамика: 5 занятий.

1. Первое начало [**для реального процесса**], работа, теплота, политропические процессы. T, P, ρ , в различных моделей атмосферы. $\Delta Q = \Delta U + \Delta A \Leftrightarrow \delta Q = dU + \delta A, \delta A = PdV, \delta Q = C_\varphi dT$. ,

(1) Принимая для идеал. газа $PV = RT$, что $(\partial U / \partial V)_T = 0$, вывести ф-лу Майера: $C_P = C_V(T) + R$.

(2) Теплоемкость моля идеального газа под поршнем с пружиной k, $x_0 = 0$, $C_V \neq const$.

(3) 1 моль идеального совершенного газа, $C_V = const$, сжимают поршнем в k раз так, что выделяемое им тепло $(\delta Q)_\varphi$ все время равно изменению внутренней энергии $-dU$. Начальная температура T_0. Найти теплоемкость процесса, уравнение процесса, и работу на сжатие.

(4) Уравнения адиабатических процессов для **системы с** $PV = \lambda U$. Примеры -- для идеал. газа в различных переменных *(T,V), (P,V), (T,P)+* $K_T = \gamma K_Q$, $\alpha_P = P\beta_V K_T$. |№ 65, 66|. (**и ее** K_Q)*.

(5) Найти теплоемкость газа под тяжелым поршнем за счет внутренней энергии газа U и потенциальной энергии поршня в поле g , а затем теплоемкость и центр тяжести бесконечного столба воздуха в атмосфере при *T=const* и сравнить с барометрической формулой |№ 42|.

(6) Найти градиент температуры в атмосфере за счет адиабатического расширения с высотой идеал. газа, и условие устойчивости по отношению к конвекции. |№ 95, 96|, [Т: I. зз. 5, 8]

(7) Найти уравнения состояния систем с заданными: (a) $-VK_T = 1/\omega(T)$, $P\beta_V = B(V)$;

(b) $-K_T = b(P)$, $\alpha_P = a(T)$; (c) $-K_T = \kappa(T)$, $\alpha_P = A(P)$; и их явный вид, где возможно.

(8*) 1 моль ид. газа под поршнем. Пружина свободна. Затем: $V_1 = V \to 2V = V_2$. Найти T_2 и P_2.

(9*) Из атмосферы, при постоянных T_0 .и P_0 , в сосуд с вакуумом через очень малое отверстие врывается идеальный газ, $C_V = const$. Найти температуру газа в сосуде после сравнивания давления ($\tau_P << \tau_T$) в нем с P_0 . Закрыв его, найти давление в нем после сравнивания температуры газа с T_0 . (П. 23). **Д: |№ 65, 66, 69, 74, 84, 85, 95, 96|**

2. Второе начало [для виртуального обратимого процесса и/или равновесного состояния] и его следствия. Энтропия и ее вычисление, к.п.д. тепловых машин, Метод якобианов.

(1) $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = ?, dU(T,V) = ?\left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_T = ?, \left(\frac{\partial C_V}{\partial V}\right)_T = ?, \left(\frac{\partial C_P}{\partial P}\right)_T = ?, C_P - C_V = -T\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T\left(\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V\right)^2 = ?,$

(2) Энтропия, внутр. энергия, урав. адиаб. проц. реального газа В. д. В-са $(P + a/V^2)(V - b) = \nu RT$.

(3) Энтропия, внутр. энергия, урав. адиаб. проц. идеального газа $PV = \nu RT$, -- при *a=b=0.*

(4*) Энтропия и внутренняя энергия тела с $P = P_0(1 + \alpha T - \beta V)$, $C_V = const$.

(5) Уравнения политропических и адиабатических процессов в переменных *(T,S), (T,V), (P,V)*?

(6) Термическое, калорическое уравнения состояния и энтропия для системы с $PV = \lambda U$.

(7) C_φ=?, $\varphi(T,V), \varphi(S,V), \varphi(T,S), \varphi(T,P), \varphi(P,V) - ?$, $dS(T,P) = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T dP$,(П. 11), [КЛ]

(8*) Найти к.п.д. цикла тепловой машины состоящего из изотермы, адиабаты и политропы, с максимальной и минимальной температурами. $T_1 > T_2$ (два варианта). Сравнить с кпд Карно.

(9*) Как изменяется температура при изменении плотности жидкости в звуковой волне, групповая скорость которой $= v_0$? **Д: |№ 71, 73, 75, 77, 81, 83, 86, 87, 89, 92 |.**

3. Неравновесные процессы, Гей-Люс. Дж.-Томп. Термодинамические потенциалы *U*, *H*. Нернст.

(4) Два одинаковых тела с постоянными теплоемкостями *C* и температурами $T_1 > T_2$ вместе адиабатически изолированы. Найти равновесные температуры T_a, T_b , если переход к равновесию происходит: (a) необратимо (теплопередача), (b) обратимо (Как именно?). Найти увеличение энтропии в случае (a), и максимальную работу в случае (b).

(1) Найти термическое уравнение состояния для газа с *U=U(T), H=U+PV=H(T).*

(2) Доказать, что: $C_P - C_V = \left[V - \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T\right]\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$ где энтальпия $H = U + PV$, $H(*,*)$? |№ 81|.

(3) **Процессы** и коэфф-ты: Гей-Л-ка: $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U = \frac{\partial(T,V)}{\partial(V,U)} \cdot \frac{\partial(T,U)}{\partial(T,V)} = \frac{1}{C_V}\left(P - T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V\right)$; и Дж-Томп.:

$\Delta U = \Delta A', \mapsto dH \equiv d(U+PV) \equiv TdS + VdP, \mapsto \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{\partial(T,P)}{\partial(P,H)} \cdot \frac{\partial(T,H)}{\partial(T,P)} = \frac{1}{C_P}\left(T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V\right)$,

(Идеализация). Знак эффекта. Точка инверсии, $C_P - C_V = ?$ в ней. И все для Ван дер Ваальса.

(5) Найти уравнения состояния, если потенциал Гиббса: $\Phi(T,P) = aT(b - \ln T) + RT\ln P - TS_0$

(6) Найти $C_P - C_V$ при *T→0*, если:, (a) $C_V \to \alpha T^n$, ➔ (b) $S \to \alpha T^n$. **Д: |№ 80, 81, 83, 90, 91|**

(7) Определить термодинамические потенциалы в переменных *P,H* и *T,F*, и уравн. состояния.

4. <u>Потенциалы Гельмгольца и Гиббса. Излучение. Фазовые переходы. Поверхность раздела.</u>

(1) Каков общий вид уравнений состояний системы с потенциалом Гиббса $\Phi(T,P) \equiv F + PV = 0$?

$F = -PV,\ dF \equiv -SdT - PdV,\ P = P(T),\ d\Phi \equiv -SdT + VdP = 0,\ S = Vs(T),\ U \equiv F + TS = Vu(T)$.

(2) Излучение:*P(T)=(1/3)u(T)*: *S(T,V),U(T,V),F(T,V),*$C_{V,P}$ $K_{T,S}$ =?, уравнения адиабаты и политропы?.

(4) Определить кривую возгонки, $P\overline{V}_2 = RT$, кристалла при: (a) $\lambda = \lambda_0$, (b) $\lambda = \lambda(T), C_{P2} = (5/2)R$,

если: $C_{P1} = bR,\ b \to ?$ или: $C_{P1} = aT^3$, *(T→0)*. **Д: |№ 93, 94, 100, 107, 108, 111, 113, 115|**

(5) Найти критический радиус зародыша-капли жидкости с μ_0 при конденсации пересыщенного пара с $\mu_1 > \mu_0$. Имеем: $\Delta F(T,\Sigma,N_0,N_1) = \sigma\Delta\Sigma + \mu_0\Delta N_0 + \mu_1\Delta N_1 \mapsto \sigma\Sigma + (\mu_0 - \mu_1)N_0$. |№ 115|.

(6) Для ид-го газа $PV = NkT = \nu RT$, $C_V(T) = Nf(T)$. Найти: $S(T,V,N), F(T,V,N), U(T,V,N)$,

$\mu(T,\overline{n}) \equiv \mu(T,P),\ \Phi(T,P,N) = N\mu$, где: $\overline{n} \equiv N/V$., -- плотность числа частиц [Т.III.п.7].

(7*) Доказать, что, $\overline{n} = \left(\frac{\partial P}{\partial \mu}\right)_T$, $\left(\frac{\partial \overline{n}}{\partial \mu}\right)_T = K_T\overline{n}^2$, где: $K_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_{T,N} = \frac{1}{\overline{n}}\left(\frac{\partial \overline{n}}{\partial P}\right)_{T,N}$, (П.22), [КЛ].

5. <u>Пленки. (Ленты). Пружины. Стержни. Магнетики. Диэлектрики. Химические реакции, растворы..</u>

(1) Найти кол-во тепла $q_T = (\Delta Q)_T/\Delta\Sigma$ при изотермическом растяжении 1-цы поверхности Σ тонкой пленки при $\sigma = \sigma(T,\Sigma)$. Какова работа $\Delta A_T(T,\Sigma)$.при таком растяжении и $\sigma = \sigma(T)$? Имеем, т.к. $dF = -SdT + \sigma d\Sigma$, то $(S'_\Sigma)_T = -(\sigma'_T)_\Sigma$, $(\Delta Q)_T = T(\Delta S)_T$. И: $F(T,\Sigma) \Rightarrow F(T,0) + \sigma\Sigma$.

(2**)** Пружина при заданной температуре T подчиняется закону Гука $f = k(T)x$. Найти $F(T,x)$, $S(T,x), U(T,x), \Phi(T,f), \Delta Q_T(T,x), \Delta A_T(T,x)$,--тепло и работу при изотермическом растяжении.

(3**)** Стержень с начальной длиной l_1 и сечением σ растягивают силой f. Найти $F(T,l), \Delta A_T(T,l)$,

$\Phi(T,f),\ S(T,f)$, если $\frac{x}{l_1} \equiv \frac{l - l_1}{l_1} = \frac{f}{E\sigma}$**,** $\frac{l_1 - l_0}{l_0} = \alpha(T - T_0)$, где: $l_0 \equiv l(T_0,0),\quad l_1 \equiv l(T,0),\quad l \equiv l(T,f)$.

$T_0 = 273.15K$, $\alpha(T - T_0) << 1$, E, -- модуль Юнга. Т.е. найти работу и тепло по растяжению при $T = const$, .$\Delta Q_T(T,f),\ U(T,l)$, (П.14). **Д: |№ 70-ошибка!, 72 82, 88, 97, 98, 99, 109, 110, 114, 116|**

(4**)** Найти магнитную восприимчивость $\chi_m(T)$ парамагнетика $M = \chi_m(T)H$, если его теплоемкость C_M не зависит от намагниченности M. Так как $dU^* = TdS + HdM$, то

$\left(\frac{\partial C_M}{\partial M}\right)_T = T\left(\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial(S,T)}{\partial(M,T)}\right)\right)_M = T\left(\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\partial(H,M)}{\partial(M,T)}\right)\right)_M = -T\left(\frac{\partial^2 H}{\partial T^2}\right)_M$. Откуда $\frac{1}{\chi_m(T)} = \frac{T - \Theta_C}{\Theta}$.

(5**)** Диэлектрик с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(T)$ вдвинут в плоский конденсатор с электрическим полем E до объема $V = abx$. Найти: (a) $\Phi^*(T,E), S(T,E)$ диэлектрика в поле E; (b) тепло ΔQ_T, выделившееся (?) в конденсаторе с диэлектриком при изотермическом возрастании поля от 0 до E; (c) силу с которой диэлектрик втягивается (?) в конденсатор; (d) плотность (собственной) внутренней энергии диэлектрика $\overline{u}^*(T,E)$. Рассмотреть полярный: $\varepsilon(T) = 1 + 4\pi\kappa(T) \mapsto 1 + \tilde{\Theta}/T$, неполярный: $\varepsilon(T) = const$, и ланжевеновский диэлектрики.

(6**)** Найти малое относительное изменение скорости звука $1 >> (v_H - v_0)/v_0$ в идеальном магнитном газе: $M = \chi_m(T)H$, $P = (\rho/\mu)RT$, при наложении слабого магнитного поля H. Рассмотреть случаи и парамагнетика $\chi(T) = \Theta/T$, и диамагнетика $\chi(T) = const$. {№ 7. 19}

(План доц. Коренблита С.Э.) **<u>Выбор задач на усмотрение преподавателя!</u>**