Термодинамические потенциалы:

$$E = E(S,V,N) \qquad dE = TdS - PdV + \mu dN$$

$$F = E - TS \qquad dF = -SdT - PdV + \mu dN$$

$$\Phi = E + PV - TS \qquad d\Phi = -SdT + VdP + \mu dN$$

$$W = E + PV \qquad dW = TdS + VdP + \mu dN$$

$$\Omega = F - \mu N \qquad d\Omega = -SdT - PdV - N d\mu$$

HydroDynamics

- continuity $\quad \dfrac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \cdot \vec{v}) = 0$

динамическая вязкость — электромагнитная сила

- dynamic $\quad \rho\left(\dfrac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v}\cdot\nabla)\vec{v}\right) = -\nabla p + \eta \Delta \vec{v} + \vec{F}$ (Navier-Stokes classic)

- diffusion $\quad \rho\left(\dfrac{\partial c}{\partial t} + \vec{v}\cdot\nabla c\right) = \underbrace{\rho \dot{c}_{хим}}_{\text{источник}} + \underbrace{\nabla\cdot(\rho D \nabla c)}_{\text{поток диффузии}}$

- temperature (теплопроводность) $\quad \rho c_p\left(\dfrac{\partial T}{\partial t} + \vec{v}\cdot\nabla T\right) = \underbrace{\nabla\cdot(\lambda\nabla T)}_{\text{Fourier}} - \nabla\cdot \vec{q}_R + Q$

радиационный тепловой поток энергии (radiation)

электромагнитное энерговыделение (Joule)

Def Поток тепла = поток кинетической энергии частиц.

Note Закон Fourier — следствие кинетической теории.

Note II начало ТД $\Rightarrow$ ур-ие теплопроводности

ElectroDynamics $(\varepsilon \simeq 1, \mu \simeq 1)$

Maxwell:

$$\begin{cases} \nabla\cdot\vec{E} = 4\pi\rho_* & \text{(источник электрич. поля — заряды)} \\ \nabla\cdot\vec{H} = 0 & \text{(отсутствие магнитных зарядов)} \\ \nabla\times\vec{E} = -\dfrac{1}{c}\dfrac{\partial \vec{H}}{\partial t} & \text{(переменное магнитное поле генерирует электрическое поле)} \\ \nabla\times\vec{H} = \dfrac{4\pi}{c}\vec{j} + \dfrac{1}{c}\dfrac{\partial\vec{E}}{\partial t} & \text{(источник магнитного поля — ток)} \end{cases}$$

Интеграл Bernoulli в MHD

Предположения: $\rho = \rho(p)$ — баротропное приближение,
$\vec{f} = -\nabla\varphi$, φ — потенциал ЭМ силы

$$\frac{v^2}{2} + \int\frac{dp}{\rho(p)} + \varphi = const$$

Для несжимаемой жидкости: $\rho = const$; $\varphi = gz$; $\rho\dfrac{v^2}{2} + p + \rho g z = const$.

Magneto-HydroDynamics = HydroDynamics + магнитное поле.

Система уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla\cdot\rho\vec{v} = 0 \\ \rho\left(\dfrac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v}\cdot\nabla)\vec{v}\right) = -\nabla(\underbrace{p + \dfrac{H^2}{8\pi}}_{\text{магнитное давление}}) + \eta\Delta\vec{v} + \dfrac{(\vec{H}\cdot\nabla)\vec{H}}{4\pi} \\ \rho = \rho(p, T) \\ \rho c_p\left(\dfrac{\partial T}{\partial t} + \vec{v}\cdot\Delta T\right) = \nabla\cdot(\lambda\nabla T) - \nabla\vec{q}_R + \left(\dfrac{c}{4\pi}\right)^2\dfrac{1}{\sigma}(\nabla\times\vec{H})^2 \\ \dfrac{\partial \vec{H}}{\partial t} = \dfrac{c^2}{4\pi\sigma}\Delta\vec{H} + \nabla\times\vec{v}\times\vec{H} \end{cases}$$

ν_m, магнитная вязкость

коэф-т электропроводности

Assumptions МГД:

1) Закон Ома (Ohm):

$$\begin{cases} \vec{j} = \sigma\vec{E}^* \\ \vec{E}^* = \vec{E} + \dfrac{1}{c}\vec{v}\times\vec{H} \end{cases}$$

электрич. поле в сопутствующей СК

2) Пренебрежение током смещения

$$\underbrace{\frac{4\pi}{c}\vec{j}}_{\text{ток проводимости}} \gg \underbrace{\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}}_{\text{ток смещения}}$$

3) Электронейтральность:

$\rho^* = 0$ (плазма)

Равновесное излучение.

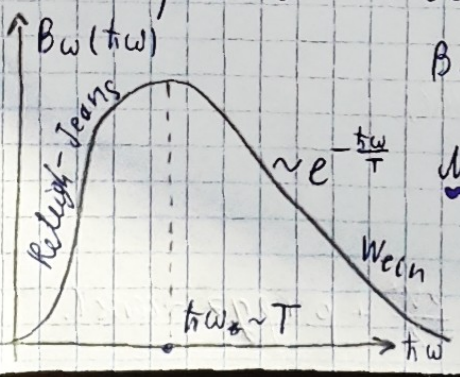
Полное число фотонов: $N = \sum\limits_{(p,r)} \langle n_\omega\rangle g = \int f_\omega^{(0)} d\omega$

Спектральная концентрация: $f_\omega^{(0)} = \dfrac{\omega^3}{\pi^2 c^3 (e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1)}$ (Planck)

$f^{(0)}$ — равновесная функция распределения

<u>Def</u> Равновесная спектр. интенсивность излучения = равновесный спектр. поток энергии фотонов в ед. телесного угла

$B_\omega = \dfrac{\hbar\omega c}{4\pi} f_\omega^{(0)}$; $\int B_\omega d\omega \to$ УФ катастрофа



Мощность излучения с ед. поверхности:

$S = \sigma_{SB} T^4$ (Stefan-Boltzmann)