1. 常见磁性材料中激发的磁子能量对应的电磁波频率

铁磁体：GHz 频段

反铁磁体 (NiO,Cr_2O_3)：可达到 THz 频段

2. 手推久保公式

Kubo 公式：描述体系物理量对外界扰动的响应.

$$\hat H = \hat H_0 + \hat V(t) \quad (\hat V(t) \text{ 为扰动}).$$

$\langle \hat A\rangle_0 = Tr(\rho_0 \hat A)$. 其中 ρ_0 为 $\hat H_0$ 对应的密度矩阵，即 $\rho_0 = \frac{e^{-\beta \hat H_0}}{Tr(e^{-\beta \hat H_0})}$

$$\langle \hat A\rangle = Tr(\rho \hat A), \quad \rho = \frac{e^{-\beta \hat H}}{Tr\, e^{-\beta \hat H}}$$

$$i\hbar\frac{\partial \rho}{\partial t} = [H, \rho]$$
$$= [H_0, \rho] + [V, \rho].$$
$$\rho(t) = \rho_0 + \int_{t_0}^{t} dt_1 \frac{1}{i\hbar}[H,\rho]\, dt_1$$

$\cancel{\approx \rho_0}$

考虑相互作用表象

$$\rho_I(t) = |\psi\rangle_I\langle\psi|.$$

$$i\hbar\frac{\partial|\psi\rangle_I}{\partial t} = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}e^{\frac{i\hat H_0 t}{\hbar}}|\psi\rangle = i\hbar\left(\frac{i\hat H_0}{\hbar}|\psi\rangle_I + e^{\frac{i\hat H_0 t}{\hbar}}\cdot\hat H|\psi\rangle\right)$$
$$= \hat V_I|\psi\rangle_I$$

$$\Rightarrow i\hbar\frac{\partial \rho_I(t)}{\partial t} = [\hat V_I(t), \rho_I(t)]$$
$$\rho_I(t) = \rho_I(t_0) + \int_{t_0}^{t}\frac{1}{i\hbar}[\hat V_I(t_1), \rho_I(t_1)]\,dt_1$$
$$\approx \rho_I(t_0) + \int_{t_0}^{t}\frac{1}{i\hbar}[\hat V_I(t_1), \rho_I(t_0)]\,dt_1.$$
$$\therefore \rho(t) \approx \rho(t_0) + \frac{1}{i\hbar}\int_{t_0}^{t}[\hat V(t_1), \rho(t_0)]\,dt_1$$

代入 $\rho(t_0) = \rho_0$

$$\Rightarrow \rho(t) \approx \rho_0 + \frac{1}{i\hbar}\int_{t_0}^{t}[\hat V(t_1), \rho_0]\,dt_1.$$
$$\langle\hat A\rangle - \langle\hat A\rangle_0 = \frac{1}{i\hbar}\int_{t_0}^{t} Tr\left(\hat V(t_1)\rho_0 - \rho_0\hat V(t_1)\right)\hat A(t)\,dt_1$$
$$= \frac{1}{i\hbar}\int_{t_0}^{t} Tr\left[\hat V(t_1)\cdot(\rho_0\hat A(t) - \hat A(t)\rho_0)\right]dt_1$$
$$= \frac{1}{i\hbar}\int_{t_0}^{t} Tr\left[\rho_0(\hat A(t)\hat V(t_1) - \hat V(t_1)\hat A(t))\right]dt_1$$
$$= \frac{1}{i\hbar}\int_{t_0}^{t}\langle[\hat A(t), \hat V(t_1)]\rangle\,dt_1.$$

$$\boxed{G^R(t,t_0)} \equiv -i\,\theta(t-t_0)\langle[\hat A(t), \hat V(t_0)]\rangle$$

$$\Rightarrow \underbrace{\Delta\hat A}_{\text{响应}} \equiv \langle\hat A\rangle - \langle\hat A\rangle_0.$$
$$= \frac{1}{\hbar}\int_{-\infty}^{t}\underbrace{G^R(t,t_1)}_{\text{扰动}}.\,dt_1.$$

3. 巨正则系综哈密顿量为什么要减去 μN？

微正则系综：孤立系统就是一个理想模型！给定的宏观条件就是具有确定的粒子数 N，体积 V 和能量 E。整个系综分布恒定，每个子状态对应巨正则系综中的一部分，对应玻尔兹曼分布 $e^{-\alpha-\beta E}$，其中 E 为一个子状态的能量。

正则系综：与大热源接触而达到平衡的系统！具有确定粒子数 N，体积 V 和温度 T。整个系综对应分布 $e^{-\beta E_s}$，其中 E_s 为系综整体的能量。

巨正则系综：同时与大热源和大粒子源接触而达到平衡的而系统！具有确定体积 V，温度 T 和化学式 μ。整个系综对应分布 $e^{-\alpha N_s-\beta E_s}$，其中 N_s 为系综整体粒子数。

巨正则系综配分函数 $\rho = e^{-\alpha N_s-\beta E_s}/\Xi$，$dS = \frac{dU}{T} + \frac{p}{T}dV - \frac{\mu}{T}dN, \alpha = -\frac{\mu}{T}, \beta = \frac{1}{k_B T}$，所以巨正则系综的哈密顿量减去 μN 后消去了粒子数的贡献，便于分析体系内粒子的性质。