

$p_m$  - магнитный момент;

$L$  - момент инерции

$$p_m = IS$$

$$M = p_m B \sin \alpha$$

$$\frac{\Delta L}{\Delta t} = M$$

$\Delta \theta$  - угол, на который повернется  $\Delta L$ .

$$\Delta \theta = \frac{\Delta L}{L \cdot \sin \alpha}$$

$$\Omega_L = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{\Delta t \cdot L \cdot \sin \alpha} = \frac{M \cdot \Delta t}{\Delta t \cdot L \cdot \sin \alpha} = \frac{p_m B \sin \alpha}{L \cdot \sin \alpha} = \frac{p_m}{L} \cdot B$$

Чем больше  $B$ , тем больше частота прецессии.



$\frac{e}{T}$  - заряд, проходящий в единицу времени.

$$\frac{e}{T} = \frac{e \omega}{2\pi} = I$$

$$p_m = I \cdot S = \frac{e \omega}{2\pi} \cdot \pi r^2 = \frac{e \omega r^2}{2}$$

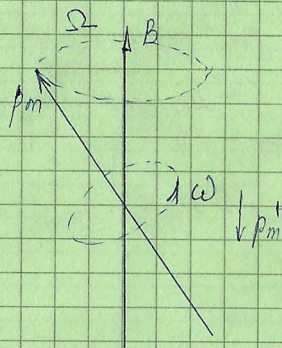
маг. момент, создаваемый движением  $e$ -нов во время вращения по орбите.

$$L = m v r^2 = m \omega r^2$$

$$\Omega = \frac{p_m}{L} \cdot B = \frac{e \omega r^2}{2 L} \cdot B = \frac{e \omega r^2}{2 m \omega r^2} \cdot B = \left( \frac{e}{2m} \right) \cdot B$$

гиромагнитное отношение.





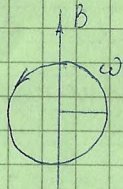
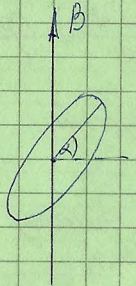
$$p_m' = \frac{e}{T_{\text{прец.}}} \cdot \pi (r')^2$$

$r'$  — расстояние (расстояние до оси в данный момент).

$$T_{\text{прец.}} = \frac{2\pi}{\Omega}$$

$$p_m' = \frac{e\Omega}{2\pi} \cdot \pi (r')^2 = \frac{e\Omega (r')^2}{2}$$

$$p_m' = \frac{e^2 B \cdot (r')^2}{4m}$$



$$\langle r'^2 \rangle = \frac{r^2}{2}$$

$$\langle r'^2 \rangle = \frac{2}{3} r^2$$

$$p_m' = \frac{e^2}{4m} B \cdot \frac{2}{3} r^2 = \frac{e^2}{6m} r^2 B$$

Можно вычислить намагниченность.

$$M = N_A \cdot \sum p_m'$$

$$\chi = \frac{M}{H} \quad \text{магнитная восприимчивость} ; \quad \mu = 1 + \chi ; \quad \mu \leq 1.$$

↑  
намагниченность  
и.п.

Парамагнетизм:

$$\chi > 0 ; \quad \mu \geq 1$$

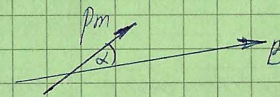
У  $e$ -на есть собствен. спиновый момент и орбитальный момент.

В вакуум, в которых есть неспаренные  $e$ -ны, парамагнетизм преобладает над диамагнетизмом.

Парамагнетизм:

- 1) свободные  $e$ -ны, ионы;
- 2) переходные металлы с незаполн. d-оболочками, некоторые РЗЭ;
- 3) радикалов и др. квант. св-ва в квант.  $e$ -ном на внешней оболочке.

Теория Ланжевена.



$W = p_m \cdot B \cdot \cos \alpha$  — энергия, которой обладает виток с током в магн. поле.

$$\alpha \rightarrow \alpha + d\alpha$$

$$\text{вер-ть попадания в } \sim e^{-\frac{p_m B \cos \alpha}{kT}}$$

$$\langle p_m \rangle = \int_0^\pi p_m e^{-\frac{p_m B \cos \alpha}{kT}} d\alpha \cdot \left[ \int_0^\pi e^{-\frac{p_m B \cos \alpha}{kT}} d\alpha \right]^{-1}$$

$$\chi = \frac{p_m B}{kT}$$

$$\langle p_m \rangle = p_m \cdot \underset{\substack{\uparrow \\ \text{функция Ланжевена}}}{L(\chi)} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{интеграл Ланжевена}}}{\coth(\chi)} - \frac{1}{\chi}$$



$$\mu_B B \gg kT$$

$$\langle \mu_m \rangle \approx \frac{\chi}{\beta}$$

Явление парамагнетизма сильно зависит от температуры.

$$\chi = n \cdot \frac{\chi}{\beta} = \frac{\mu_m \cdot B \cdot n}{3kT}$$

$$\chi_m = \frac{N_A \cdot \mu_m \cdot B}{3kT}$$

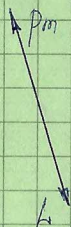
$$\chi = \frac{\chi_m}{H} = \frac{N_A \cdot \mu_m \cdot B}{3N \cdot k \cdot T} = \frac{N_A \cdot \mu_m \cdot \mu_0 \cdot H}{3N \cdot k \cdot T} = \frac{N_A \cdot \mu_m \mu_0}{3kT} = \frac{C}{T}$$

$$\chi = \frac{C}{T} \quad \text{з-н Кюри}$$

Эффект Зеемана.

При прилож. внеш. м.п. спектральная линия, соотв. переходу в атоме, расширяется на 3 линии.

$$L = \hbar \sqrt{l(l+1)}$$



$$\mu_m = -\frac{e}{2m} L = -\frac{e\hbar}{2m} \sqrt{l(l+1)} = -\mu_B \sqrt{l(l+1)}$$

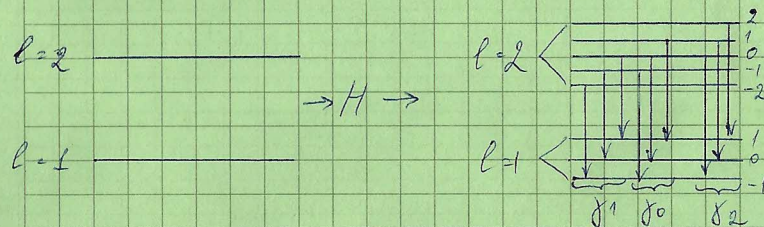
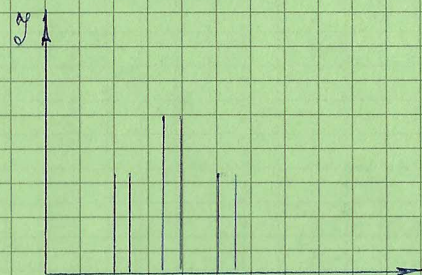
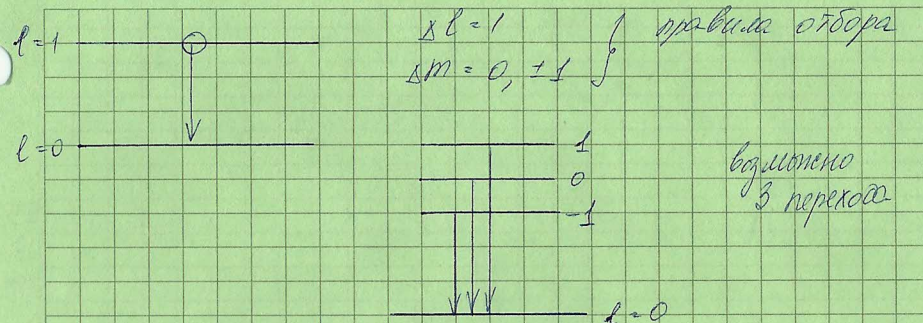
$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} \quad \text{магнетон Бора}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$m = l, l-1, \dots, -l \quad (2l+1) \text{ значений}$$

$$\Delta W = -g_L \mu_m \cdot H$$

фактор Ланде



$$\Delta W = g_L \mu_B H m_L$$

$$g_L = 2, \quad j = l + s; \quad l = 0, \dots, n-1; \quad s = \pm 1/2$$

$$g = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)}$$

$$m_j = \sqrt{j(j+1)}; \quad \Delta W = g H \mu_B m_j$$