

Глава 14. Магнетика

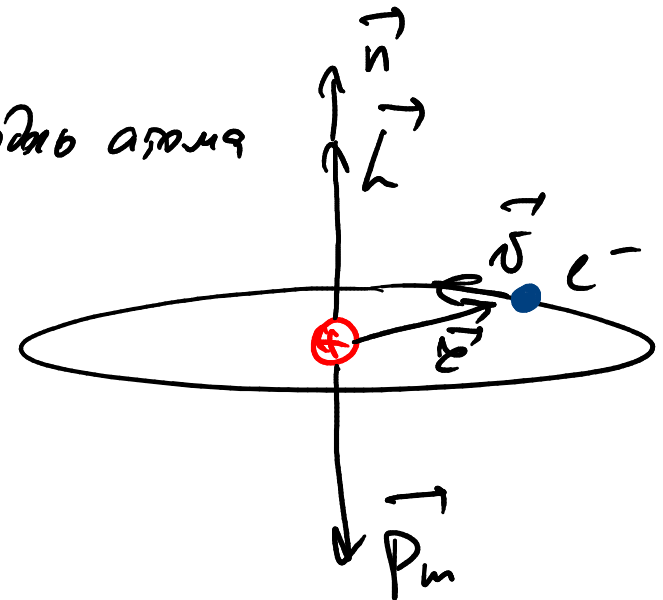
14.1. Орбитальный момент электрона.

Резерфорд (1907-11) - планетарная модель атома

Бор (1913) - теория H

мех. момент, $\vec{L} = [\vec{v} \vec{r}]$.

магн. момент, $\vec{P}_m = I \vec{S} \cdot \vec{n}$.



Отношение: $\frac{P_m}{L}$ — самостоятельно. | Савельев Т.2.
гл. 9 § 51.

Для
орб.
Виз.

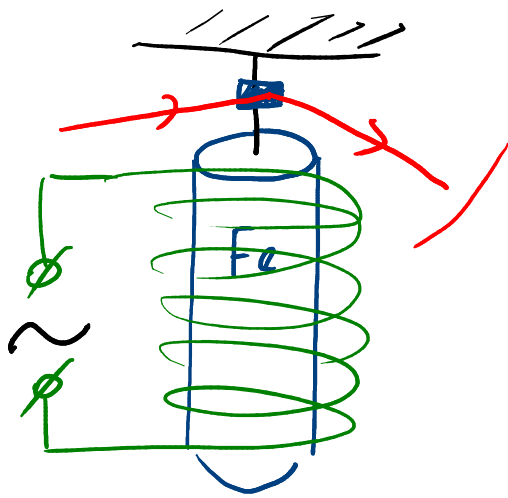
$$\left| \frac{P_m}{L} = g \frac{e}{2m} \right| ;$$

$g = 1$;
↓
для орб.
момента.

g — гиромагнитное отношение.

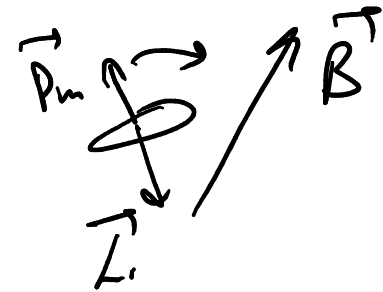
14.2. Силы

Опыт Эйнштейна - де Лааза



$$\frac{P_m}{L}$$

$$\vec{L} = 0 = \vec{L}_e + \vec{L}_i$$



При включении магн. поле, цилиндр как целое приобретает момент вращения,

\sim т.е. с частотой, равной собственной частоте колебаний системы, \Rightarrow резонанс для усиления эффекта.

Оказалось, что

$$\underline{\frac{\mu_m}{L} = \frac{e}{m} = g_s \frac{e}{2m} \Rightarrow \underline{\underline{g_s = 2}}}$$

Опыт Барнетта



Быстро вращал стержень
и измерил намагниченность.

Из результатов ; $\frac{\mu_m}{L} = \frac{e}{m} \Rightarrow \underline{\underline{g = 2}}$

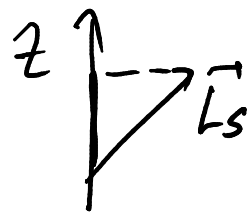
Т.е. (по крайней мере для Fe) магн. свойства от-се не орб. движ. e^- .

Спин — собственный момент импульса (мех. мом) ^{элементарная} частица.

Для e^- : $\vec{P}_{ms} = -g_s \frac{e}{2m} \vec{L}_s$; $g_s = 2$.

Ⓜ По совр. представлению спин — такое же неотъемлемое свойство частицы, как масса, заряд и с.д.

Рассм L_{sz} ; $L_{sz} = \hbar m_s$; $m_s = \pm \frac{1}{2}$ для e^- .

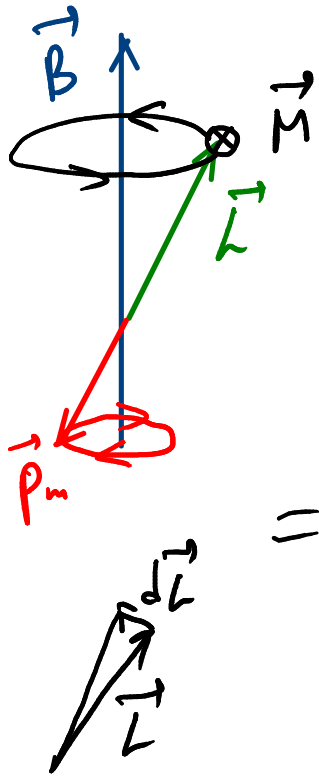


$\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, конст. Планка.

$P_{ms} = -\frac{e}{m} \hbar m_s = \pm \frac{e\hbar}{2m} = \pm \mu_B$; $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 9,27 \cdot 10^{-24} \frac{Дж}{Тл}$
магнетон Бора

14.3. Динамизм

Поместим e^- , с орб. мом. \vec{L} , в магн. поле \vec{B}



Рассм. силы, действ. на атом ;
момент сил:

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}]$$

$$\vec{p}_m = -\frac{e}{2m} \vec{L}$$

Ур. Движ. : $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$ | (ф. $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$)

$$\Rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{p}_m \vec{B}] = -\left[\frac{e}{2m} \vec{L} \vec{B}\right] = \left[\frac{e\vec{B}}{2m}, \vec{L}\right]$$

Анализ : гироскоп во внешнем поле сил —
— прецессия.

Т.о. магн. момент атома, возникающий в результате ларморовой прецессии, и соотв. намагниченность ($\vec{M} = \frac{1}{\Delta V} \sum \vec{p}_m$), направлен противоположно вектору внешнего магн. поля \vec{B}

Диамагнетизм

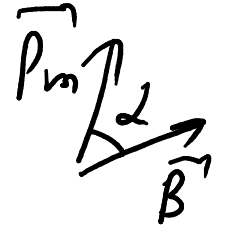
④ Диамагнетизм присущ в той или иной степени всём.

N_2, H_2, Bi, Cu, H_2O и т.д.

$$\underline{\chi_g \sim 10^{-5}}$$

14.4. Парамagnetизм

Парамagnetики — в-ва, молекулы которых обладают постоянным магн. мом.

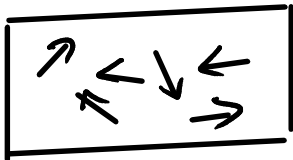


Энергия атома с \vec{p}_m в поле \vec{B} : $W = -\vec{p}_m \vec{B} = -p_m B \cos \alpha$

Энергия минимальна при $\alpha = 0$, т.е. $\vec{p}_m \parallel \vec{B}$.

\Rightarrow При внесении парамagnetика во внешнее поле \vec{B} возникнет преимущественное направление \vec{p}_m вдоль \vec{B} .

$B=0$

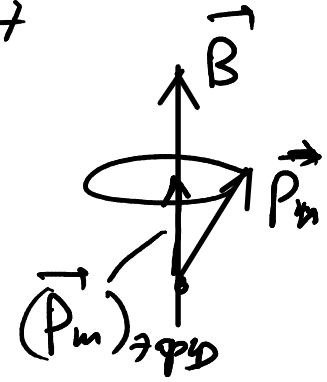


$\vec{B} \neq 0 \rightarrow$



У отдельного атома угол α между \vec{P}_m и \vec{B} остается const
 \vec{P}_m прецессирует вокруг \vec{B} .

Угол α изм. только за счет тепл. движ.



1896г. П. Кюри

$$\chi_n = \frac{C}{T}$$

C - конст. ^{опр-на} для разных материалов.

$$\chi_n \sim 10^{-3}$$

\Rightarrow у парамагнетиков
 магн. восприимчивость
 можно пренебречь

1905г. Ланжевэн.

% Al, Pt, другие металлы, O₂, NO и т.д.

14.6. Ферромагнетики

— особый класс магнетиков.

Для них характерны 2 свойства:

2) Намагниченность σ_m зависит от предшесторки

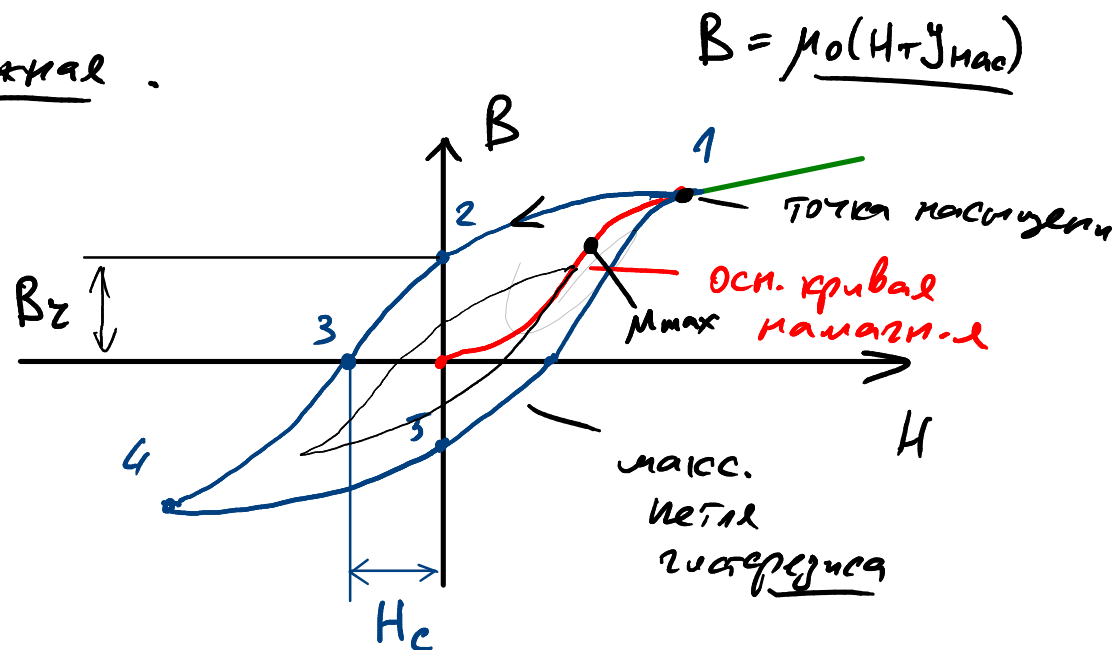
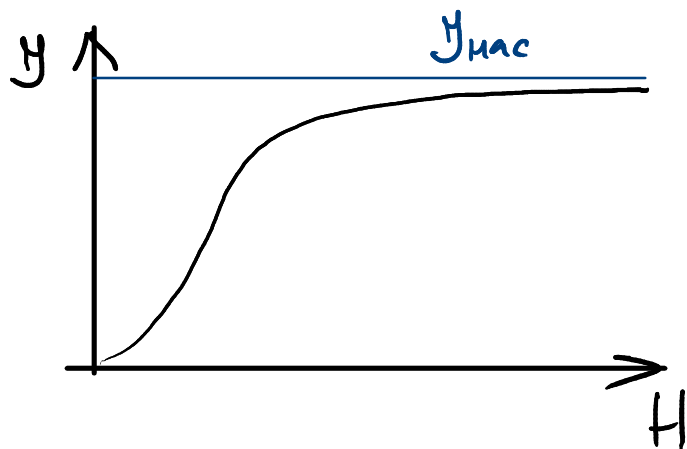
и может быть (\neq) 0 при отсутствии внешнего поля.

1) Намагниченность σ_m при том же внешнем поле гораздо выше, чем для $\sigma(u)$ -м

$$\frac{\mu_f}{\mu_n} \sim 10^{10}$$

Примеры: Fe, Ni, Co, Gd, сплавы, соедин. (Mn Al Cu) и т.д.

Зависимость $\vec{J}(\vec{B})$ - сложная.

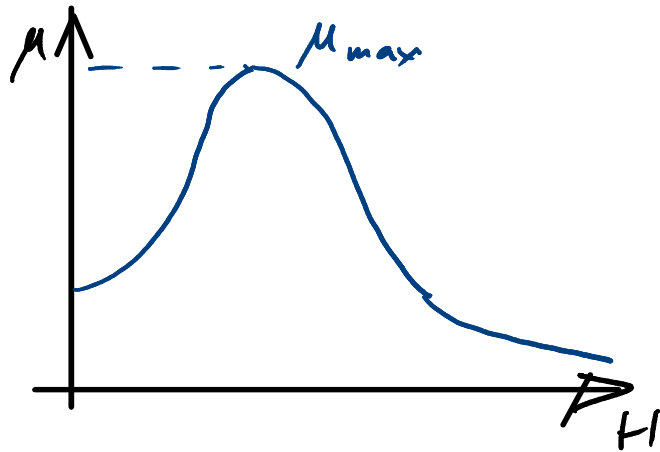


B_r - остаточная намагниченность. ($B = B_r$ при $H = 0$)

H_c - коэрцитивная (задерживающая) сила ($B = 0$ при $H = H_c$)

1880_2 Варбур. гистерезис: намагниченность зависит от предыстории.

18 787. Столбов $\mu = \mu(H)$ (осн. кривая намагнич.)



$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$$

$$(\mu_{\max})_{Fe} = \underline{5000}$$

Ферромагнетизм

мягкие

μ - большая
 H_c - малая

Тр-рм
26из.

жесткие

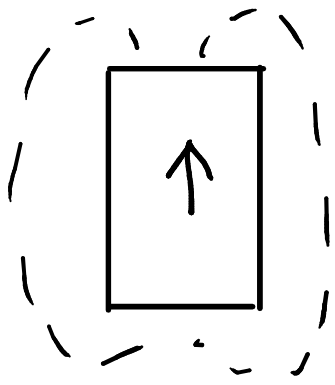
μ - малая
 H_c - большая

пост.
магн.

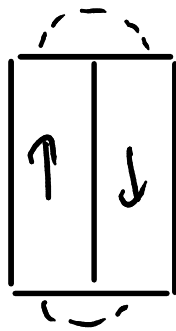
Теория ф-м - чисто ф.в.

Причина возникновения ф-м: В перес. в-вах энерг. выгодно из-за обменного в-за состояние с ↑ спинами

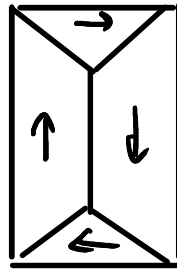
Т.к. в целом для тела это не выгодно \Rightarrow формируется Домены -
- область с ↑↑ спинами.



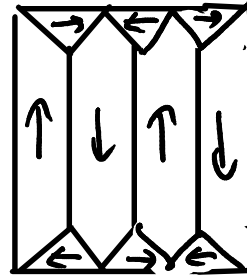
внеш. поле
велико



внеш. поле
у верх. и ниж.
эквипотенци



поле
внутри



поле внутри
Домены
мелкие -

В ф-м $\exists T_c$ - Температура Кюри, при которой происходит фазовый переход ф-м \rightarrow п-м.

При $T < T_c$ - ф-м;
 $T > T_c$ - п-м;

при $T > T_c$

$$\chi = \frac{C}{T - T_c} \quad |$$

Закон Кюри-Вейсса.