

Магнитные свойства вещества

Магнитные моменты электронов и атомов

Магнетики - вещества, способные намагничиваться (создавать собственное магнитное поле) во внешнем магнитном поле.

$\mu = 1$ вакуум

$$\gamma = e\hbar$$

e - заряд электрона, $\hbar$ - постоянная Планка
эл-н вращается по орбите

$\mu > 1$ парамагнетики

$$\vec{p}_e = \gamma S \vec{n}$$

S - площадь орбиты

$\mu < 1$ диамагнетики

m - масса электрона

$\mu \gg 1$ ферромагнетики

$$L_e = mvr$$

L_e - момент импульса эл-на (механический момент)

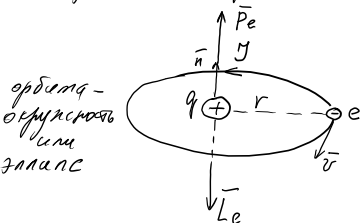
$$L_e = m \frac{2\pi r}{T} \cdot r =$$

T - период вращения

$$= m 2\pi r v \cdot r = 2m v S ; S = \pi r^2$$

$$\frac{p_e}{L_e} = - \frac{\gamma S}{2m v S} = - \frac{e \hbar S}{2m v S} = - \frac{e}{2m} \quad p_e = - \frac{e}{2m} L_e$$

$$\vec{p}_e = - \frac{e}{2m} \vec{L}_e ; \quad \vec{p}_e = -g \vec{L}_e ; \quad g = \frac{e}{2m} - \text{гиромагнитное отношение}$$



g - гиромагнитное отношение орбитальных моментов, связанных с движением электрона по орбите в атоме.

Эксперимент показал, что гиромагнитное отношение в два раза больше $g = \frac{e}{2m}$

$$g_e = \frac{e}{m}$$

спин - spin

Кроме орбитальных моментов (магнитного и механического)

электрон в атоме обладает собственным механическим моментом

Собственный механический момент (спин) - L_{es}
Спи́ну электрона соответствует собственный спи́новый магнитный момент $\vec{p}_{es}$

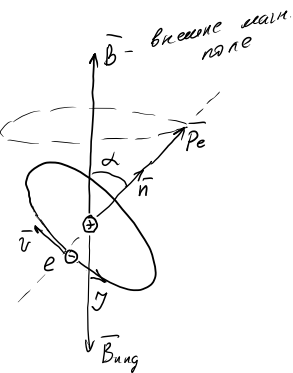
$$\vec{p}_{es} = -g_s L_{es} ; g_s - \text{гиромагнитное отношение для спинового момента}$$

В общем случае магн. момент ядра электрона складывается из орбитального магнитного момента и спинового магн. момента. Это верно и для

магнитный момент атома складывается из магн. моментов всех эл-нов в атоме.

Итак: общий магн. момент равен векторной сумме магн. моментов, орбитальных и спинных), входящих в состав атома эл-нов.

$$\vec{p}_a = \sum \vec{p}_{se} + \sum \vec{p}_e$$



Диамагнетики и парамагнетики

Ось вращения π -ка в магн. поле будет совершать движение, которое называется прецессией. Концы вектора p_e двигаются по окружности вокруг вектора B .

Электрон участвует при наличии внешнего магн. поля B в двух движениях: движении по орбите, орбита π -ка прецессирует.

эквивалентно положительному круговому току - индуцированный ток - возникает доп. индуцированное магн. поле $B_{\text{инд}}$ направление определяется по правилу Ленца

$B_{\text{инд}} \uparrow \downarrow B$ Диамагнитный эффект, наблюдается во всех телах.

Такие тела или вещества называются диамагнетиками

Все — " — " — являются диамагнетиками.

Bi, Ag, Au, Cu, C

соль, органические
соединения

Магн. момент атома складывается из орбит. магн. моментов и
собственных магн. моментов электронов и атом.

Если суммар. магн. момент атома равен нулю, то в магн. поле проявляется диамагнитный эффект, вещество или тело во внешнем магн. поле намагничивается, создает доп. магн. поле за счет диамагнитного эффекта.

$\rho_t, A_e, \dots$ У парамагнетиков в магн. внешнем поле возникает дополн. поле, совпадающее по направлению с внешним магнитным полем. У парамагнетиков суммарный магн. момент атома не равен нулю. В отсутствие магн. поле магн. моменты ориентированы хаотично (тепловое движение) и магн. момент тела в целом $\neq 0$. В магн. поле магн. моменты атомов выстраиваются вдоль поля возникает дополнительное магн. поле, $\vec{B}_{\text{доп}} \uparrow \uparrow \vec{B}$

Магнитное поле в веществе, характеристика

$\vec{B}_0$ - внешнее магн. поле

$\vec{B}'$ - магн. поле вещества (микротоков, магн. моменты атомов)

V - объем вещества (магнетика)

$\vec{P}$ - суммарный магнитный момент магнетика объема V

$\vec{J} = \frac{\vec{P}}{V}$ - намагниченность магнетика

Можно показать $\vec{B}' = \mu_0 \vec{J}$; $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$ $\vec{H}$ - вектор напряженности магнитного поля

Результирующее поле $\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}' = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{J}$

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad \frac{\vec{B}}{\mu_0} = \vec{H} + \vec{J} \quad \text{Для несильных полей} \quad \vec{J} = \chi \vec{H}$$

χ - магнитная восприимчивость (безразмерная величина)

$\chi < 0$ Дيامагнетики

$\chi > 0$ Парамагнетики

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi \vec{H} = \mu_0 (1 + \chi) \vec{H} = \mu_0 \mu \vec{H} ; \quad \mu = 1 + \chi - \text{магнитная проницаемость среды}$$

$$\left. \begin{array}{l} \mu > 1 \text{ Парамагнетики} \\ \mu < 1 \text{ Дيامагнетики} \end{array} \right\} \mu \approx 1$$

$\mu \gg 1$ Ферромагнетики

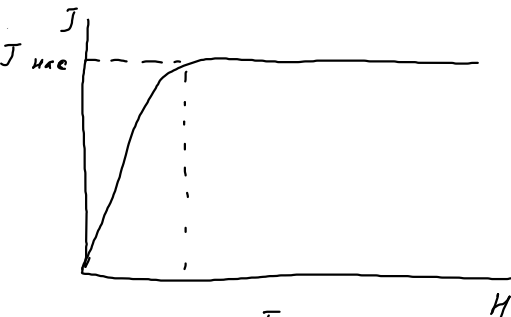
ферромагнетики

Диалектики и парамагнетики - слабомagneticные вещества. ферромагнетики - сильномагнитные вещества, они обладают спонтанной намагниченностью, т.е. намагнитены в отсутствие внешнего магнитного поля, являются источником собственного магнитного поля. Co, Ni, Ga, Fe, их сплавы и соединения - примеры ферромагнитных веществ.

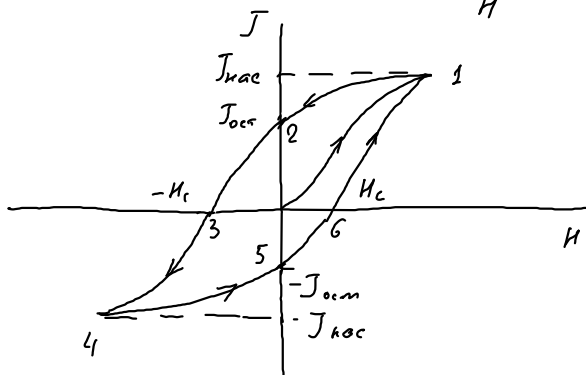
Для слабомagneticных веществ $J \sim H$ (зависимость линейная), т.е. $\bar{J} = \chi \bar{H}$, χ - магнитная восприимчивость.

Для ферромагнетиков зависимость J от H нелинейная и при некотором H наступает насыщение.

$\mu \approx 5000$ для железа, а для сплава перманент? $\mu \approx 800000$.



Характерная особенность ферромагнетиков - зависимость B от H определяется присутствием намагниченных ферромагнетиков, проявляется магнитный гистерезис (см. рисунок)



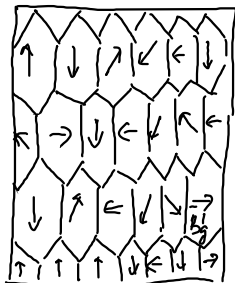
При $H = 0$ наблюдается остаточное намагничение B отп. (с этим связаны и свойства постоянных магнитов)
 $B = 0$ только при H_c , изменении направления, противоположного полю, вызывающему намагничивание. H_c - coercitive сила. Кривая "1-2-3-4-5-6" носит название - петля гистерезиса.

Для каждого ферромагнетика имеется определенная температура, при которой он теряет магнитные свойства — носит название "точка Кюри". При нагревании ферромагнетика выше точки Кюри он превращается в парамагнетик. Процесс намагничивания ферромагнетика сопровождается изменением его размеров и объема. Явление носит название магнитострикции.

Природа магнитных свойств ферромагнетика заключается в следующем. Ферромагнетик разбит на микродомены, которые называются магнитными доменами. Результирующий магнитный момент в домене не равен нулю, когда внешнее поле отсутствует, $\vec{B} = 0$, т.е. каждый домен имеет собственный магнитный момент за счет того, что магнитные моменты атомов ориентированы одинаково. Но магнитные моменты доменов ориентированы хаотично — частично или полностью за счет тепловых движений.

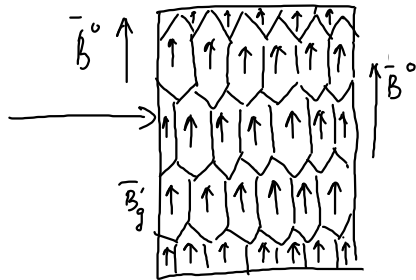
Когда ферромагнетик находится во внешнем магнитном поле, магнитные моменты доменов ориентируются вдоль поля и результирующее магн. поле в ферромагнетике $\bar{B} = \bar{B}_0 + \bar{B}'$ и $B \gg B_0$; $\bar{B}'$ - суммарное магнитное поле (магнитная индукция) магнитных доменов, расположенных упорядоченно.

$$\bar{B}_0 = 0$$



Магнитные моменты доменов ориентированы хаотично и $\bar{B}' = \sum \bar{B}_g = 0$

$$\bar{B}_0 \neq 0$$



Магнитные моменты доменов ориентированы упорядоченно и $\bar{B} \neq 0$

Если $\bar{B}_0 = 0$, то магнитные моменты доменов могут быть ориентированы хаотично или упорядоченно, тогда возникает намагниченность $\bar{B}' \neq 0$

