Электричество и магнетизм

Лекция 12-2

Ферромагнетики

24 ноября 2021 года

Лектор: доцент НИЯУ МИФИ,
Ольчак Андрей Станиславович

Магнетики

Магнетики: вещества, способные в той или иной степени намагничиваться во внешнем магнитном поле и менять величину этого поля. .

Внешнее поле $\boldsymbol{B_0}$ может *намагнитить* вещество, заставить его создать собственное магнитное поле $\boldsymbol{B'}$

$\boldsymbol{B' = \chi B}$; $\boldsymbol{B = B_0 + B' = \mu B_0}$;

χ - магнитная восприимчивость;

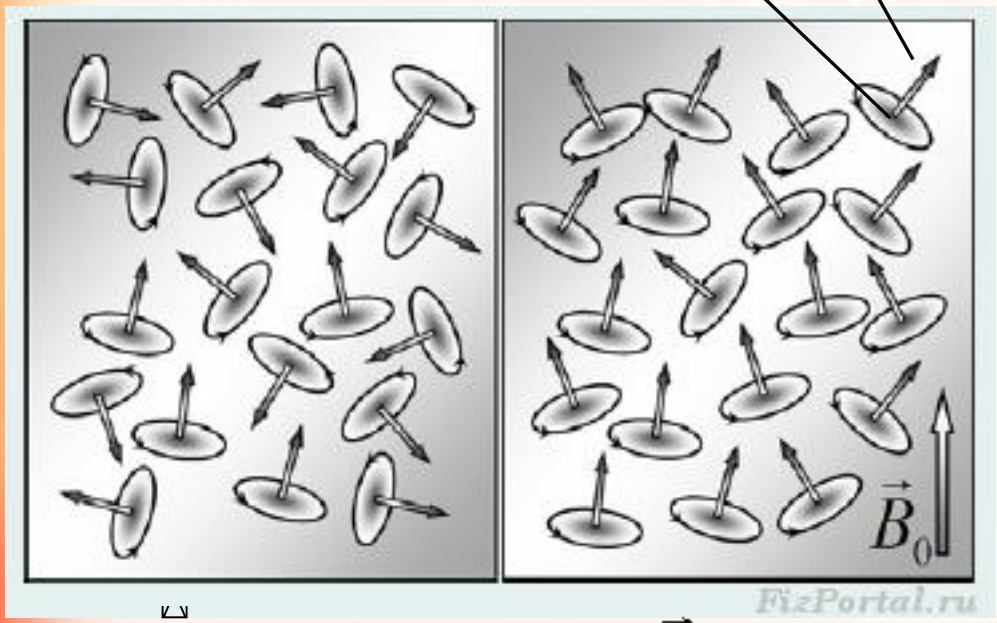
$\mu = 1 + \chi$ - магнитная проницаемость

Что именно внешнее поле $\boldsymbol{B}$ может делать с атомами среды, если каждый атом = точечный магнитный диполь (или сумма нескольких совмещенных диполей?

Природа пара-магнетизма

Парамагнетики - вещества, у которых собственный магнитный момент атомов не равен нулю. Внешнее поле пытается повернуть моменты атомов в свою сторону.

$l_{мол}$ $\vec{\mathbf{p}}_m$



$\vec{\mathbf{B}}_0 = 0$ $\vec{\mathbf{B}}_0 \neq 0$

Магнитная восприимчивость парамагнетиков зависит от температуры. Для газов (опыт Кюри):

$$\Rightarrow \quad J = \chi H \qquad \chi = \frac{n p_m^2 \mu_0}{3kT}$$

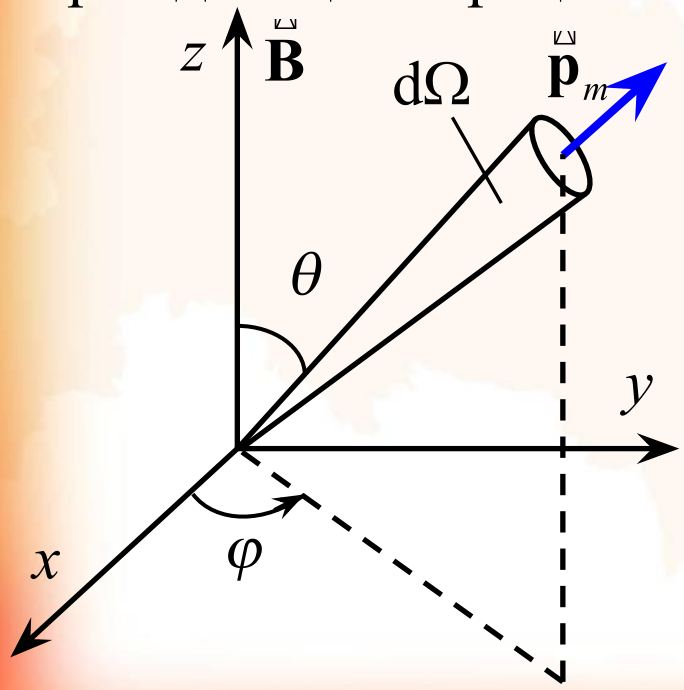
Для конденс. сред: $\chi \sim 10^{-4}$

Закон Кюри – Вайса :

$$\chi_{\text{пара}} = \frac{C}{T - T_0}$$

Природа диа-магнетизма

Диамагнетики - вещества, у которых собственный магнитный момент атомов равен нулю. Внешнее поле может заставить их прецессировать подобно «гироскопам» вокруг направления вектора ***B***. Поле прецессирующих волчков направлено против порождающего прецессию поля, которое в среде ослабнет)



Магнитная восприимчивость диамагнетиков не зависит от температуры (П. Кюри, 1895).

$$\vec{\mathbf{J}} = \chi \vec{\mathbf{H}}$$

$$\boxed{\chi = -\frac{\mu_0 n e^2}{6 m_e} \sum_{i=1}^{Z} \left\langle R_i^2 \right\rangle}$$

Классификация магнетиков

Парамагнетики – вещества, приобретающие магнитный момент, сонаправленный с внешним магнитным полем и усиливающий его

$\mu_{пара} > 1$ (~1,000xxx); $0 < \chi_{пара} << 1$ ($\sim 10^{-(4-5)}$)

Диамагнетики – вещества, приобретающие в поле магнитный момент, направленный против внешнего магнитного поля

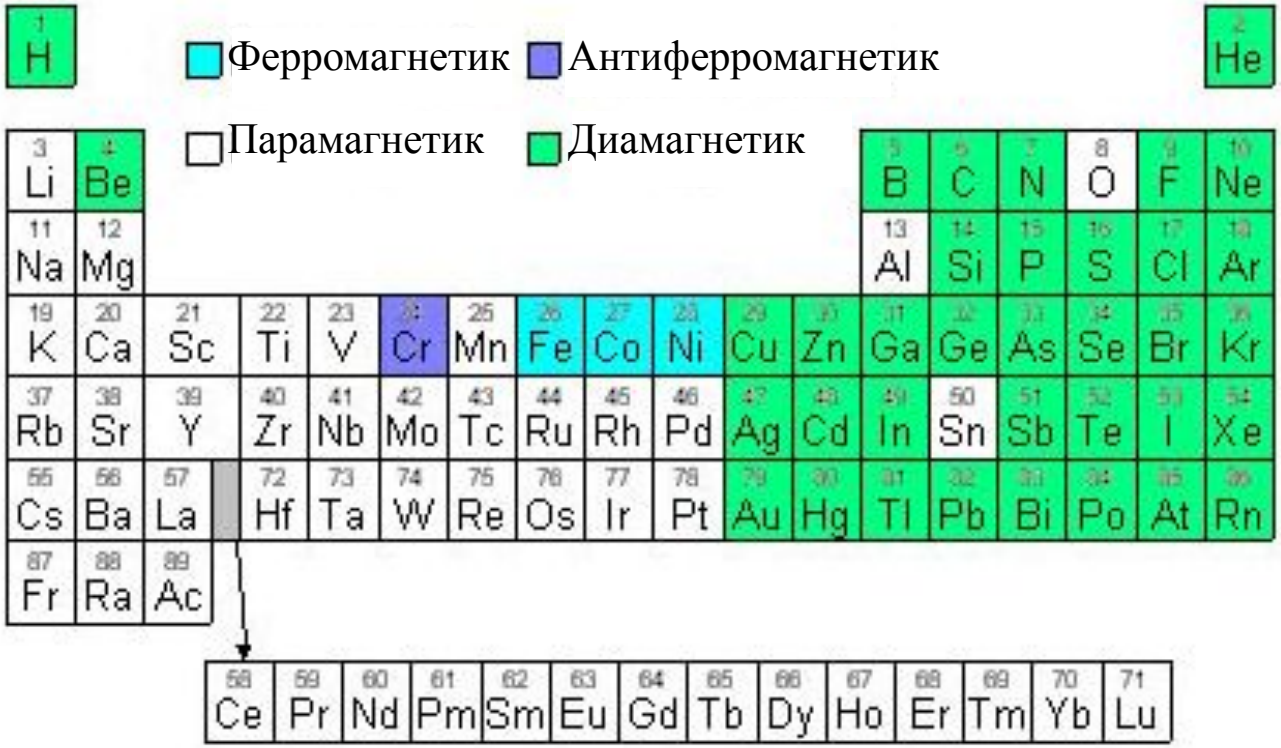
$\mu_{диа} < 1$ (~0, 999xxx)

$\chi_{диа} < 0$ $|\chi_{диа}| << 1$ ($\sim 10^{-(4-5)}$)

Особый случай - **ферромагнетики**

и антиферромагнетики

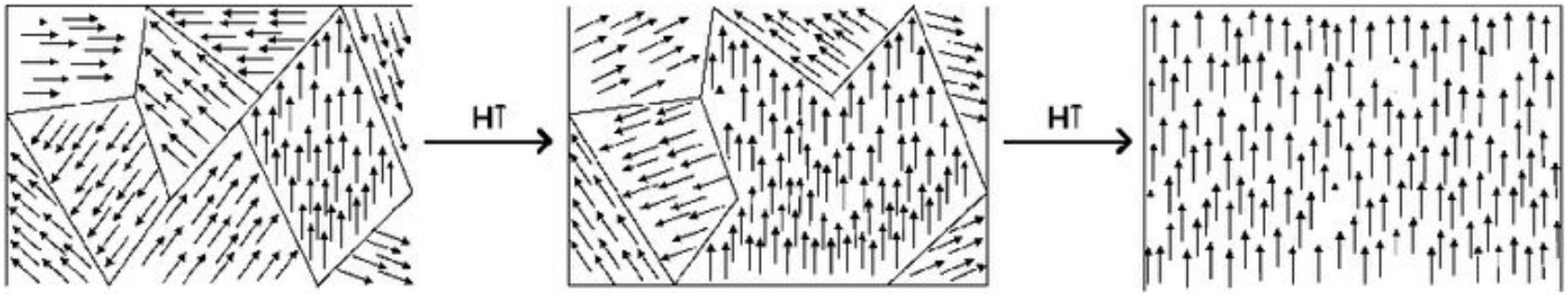
Магнетики



Периодическая таблица элементов и различные типы намагничивания при комнатной температуре.

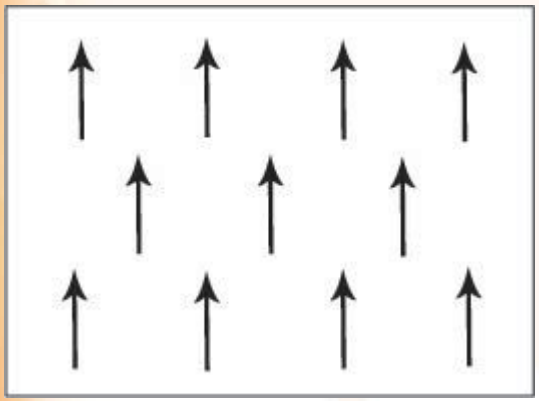
Ферромагнетизм

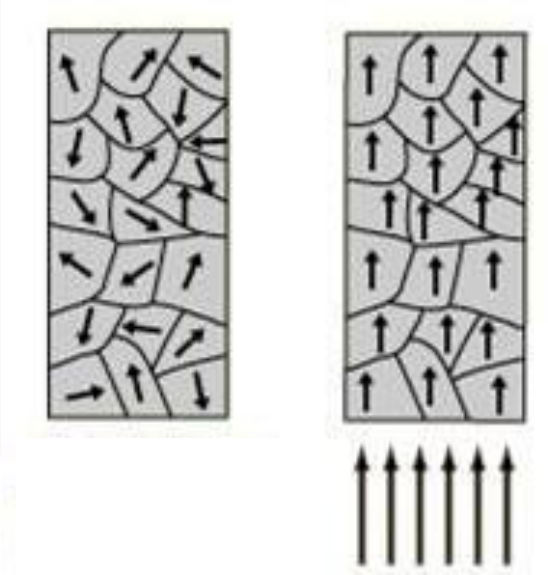
Особый случай: ферромагнетики (Fe, Ni, Co) **.** При температуре ниже критической (т.н. температура Кюри) они могут обладать спонтанной намагниченностью даже в отсутствие внешнего магнитного поля. Намагничивание возникает благодаря взаимодействию магнитных моментов электронов из внутренних оболочек атомов (квантовый эффект – т.н. «обменное взаимодействие»). В результате спины и магнитные моменты соседних атомов (в пределах доменов ~ 1-10 мкм) ориентируются параллельно.

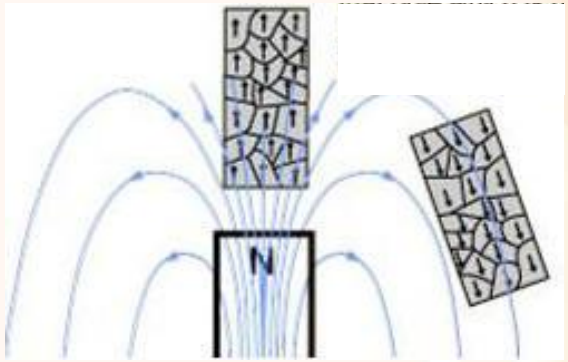


Ферромагнетизм

Во внешнем поле магнитные моменты доменов ориентируются по полю, создавая намагниченность, которая может превысить внешнее поле в тысячи раз (!). При температурах ниже $T_{кюри}$ намагниченность сохраняется и после отключения внешнего поля.





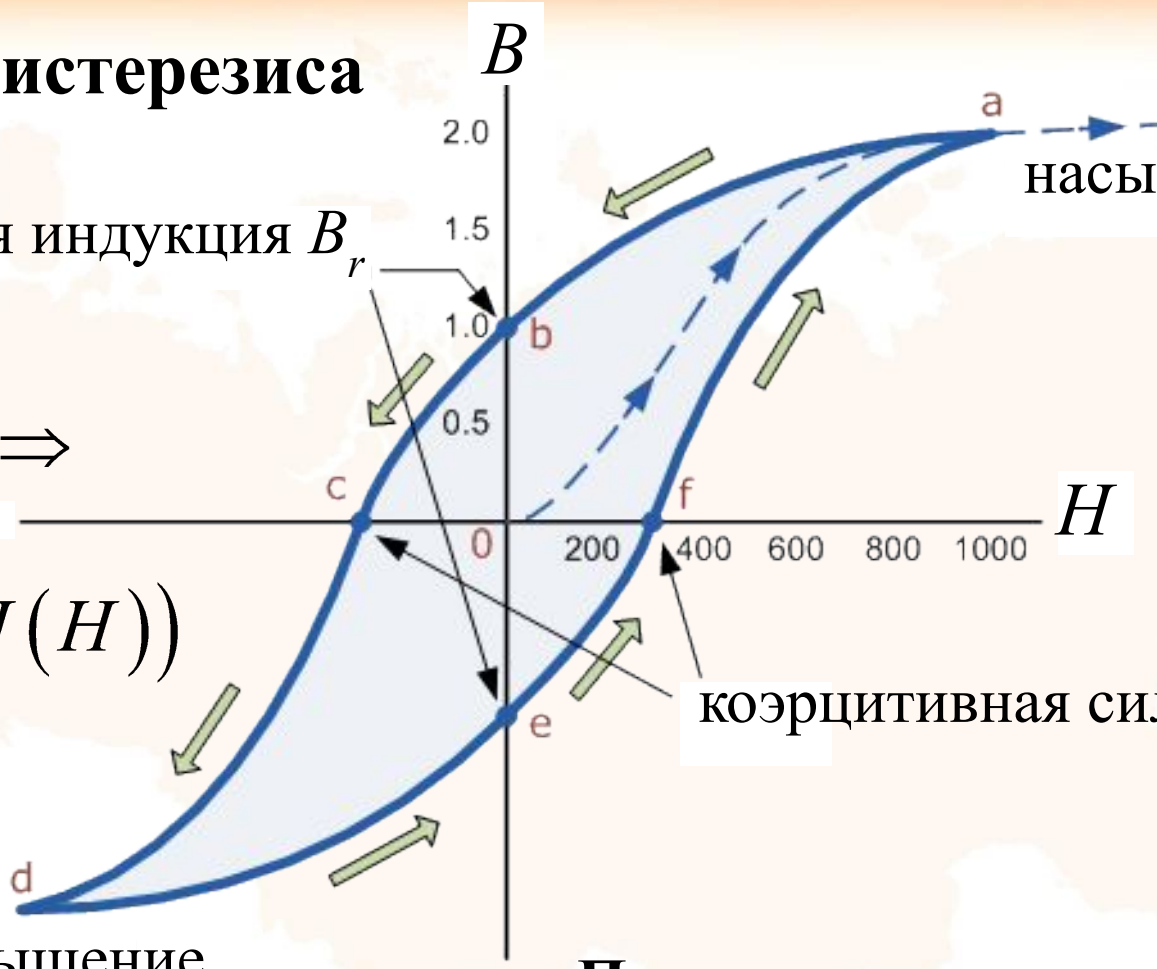


Явление гистерезиса

остаточная индукция B_r

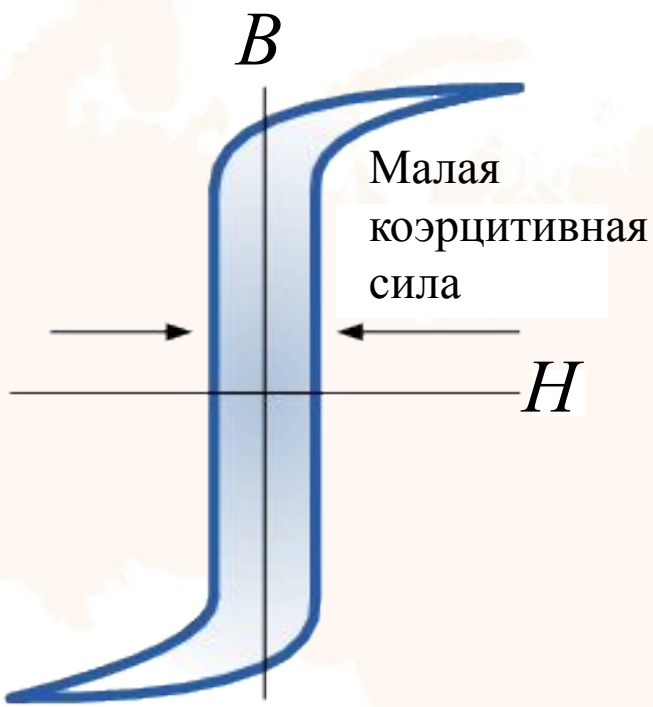
$$\vec{\mathbf{H}} = \frac{\vec{\mathbf{B}}}{\mu_0} - \vec{\mathbf{J}} \quad \Rightarrow$$

$$B = \mu_0 \left(H + J\left(H\right) \right)$$

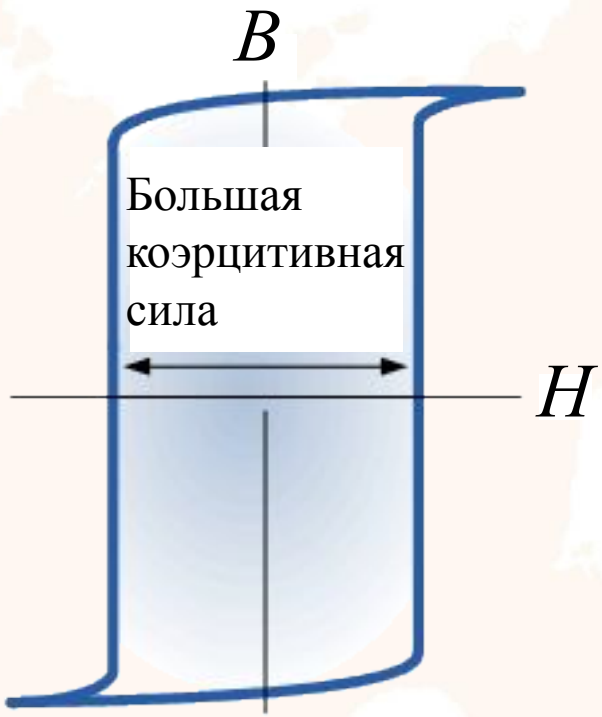


Петля гистерезиса для стали

Классификация ферромагнитных материалов

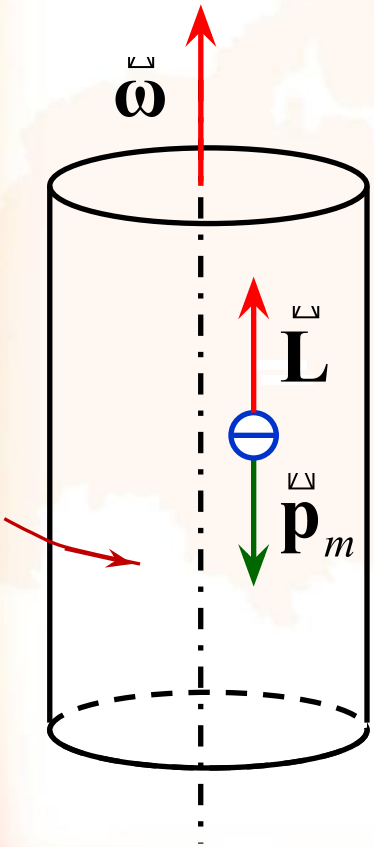


«Мягкие» магнитные материалы



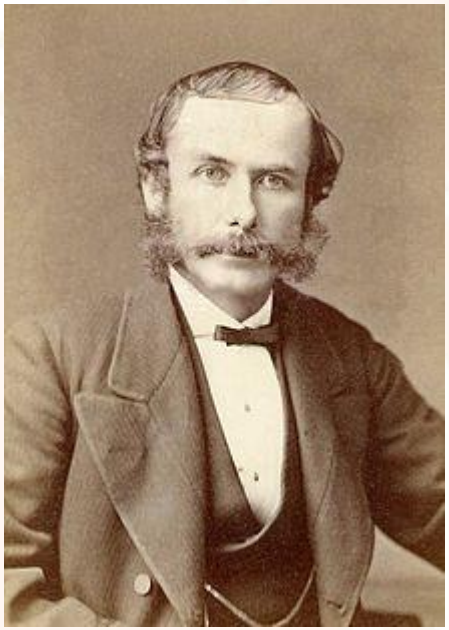
«Жёсткие» магнитные материалы

Опыт Барнетта



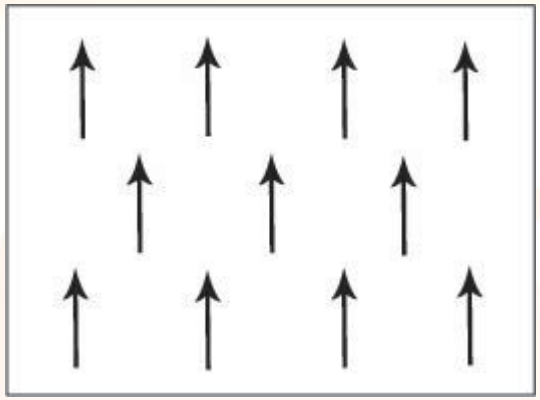
Механическое намагничивание – гироскопический эффект действия центробежной силы на атомарные электроны

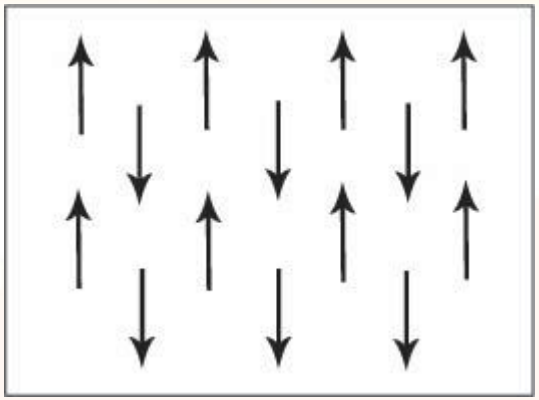
Вращающийся ферромагнитный стержень намагничивается.



Сэмьюэл Джексон Барнетт (1873–1956)

Антиферромагнетизм

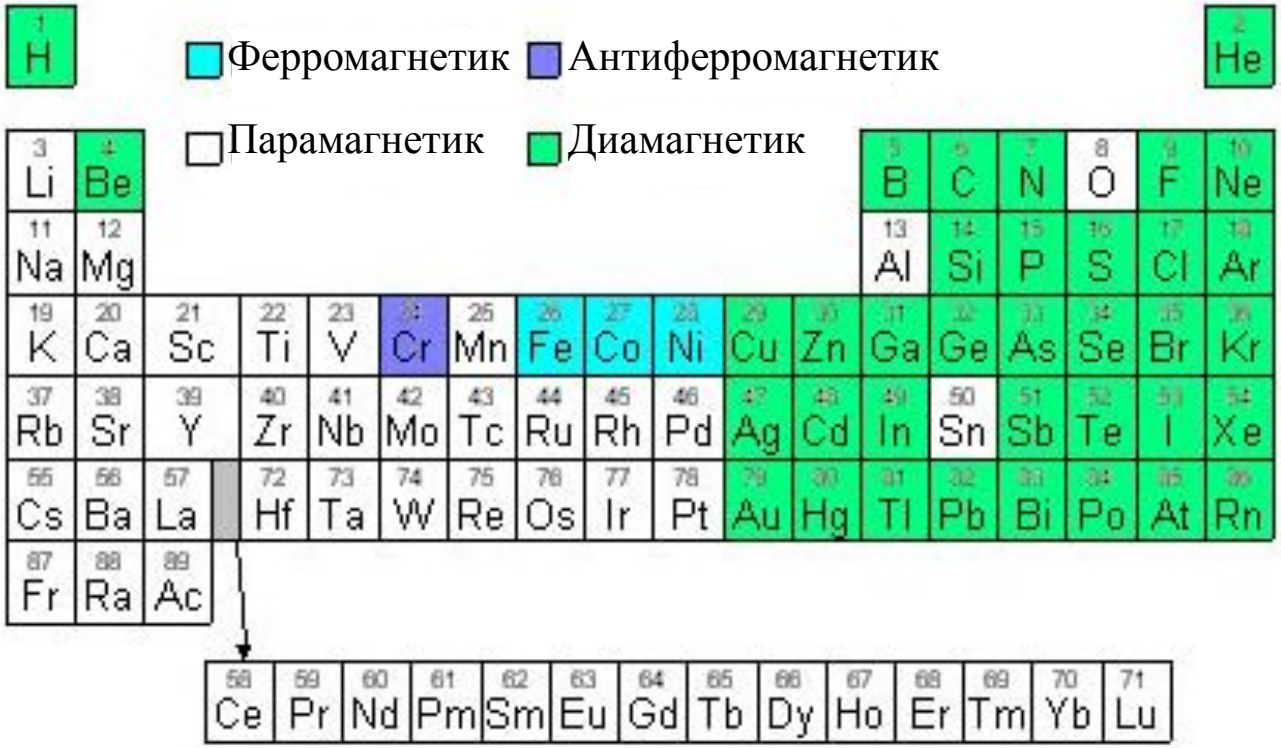




Ферромагнетизм и **антиферромагнетизм**

Магнитные моменты соседних ионов Cr имеют тенденцию в отсутствие приложенного магнитного поля строиться антипараллельно соседям. Если соседние магнитные моменты имеют одинаковые по модулю значения, то в среднем намагничивание отсутствует.

Магнетики



Периодическая таблица элементов, показывающая различные типы намагничивания при комнатной температуре.

Спасибо за внимание!

Следующая лекция
24 ноября