

Парамагнетики, диамагнетики и ферромагнетики

Парамагнетики — вещества, собственные магнитные моменты атомов которых в отсутствие внешнего магнитного поля отличны от нуля. Однако вследствие теплового движения молекул их магнитные моменты ориентированы беспорядочно, поэтому парамагнитные вещества магнитными свойствами не обладают.

При внесении парамагнетика во внешнее магнитное поле устанавливается *преимущественная* ориентация магнитных моментов

атомов *по полю* (полной ориентации препятствует тепловое движение атомов).

Таким образом, *парамагнетик* намагничивается, создавая собственное магнитное поле, *совпадающее по направлению с внешним полем и усиливающее его*.

При ослаблении внешнего магнитного поля до нуля ориентация магнитных моментов вследствие теплового движения нарушается и парамагнетик размагничивается. К парамагнетикам относятся редкоземельные элементы, Pt, Al и т. д.

Для парамагнетиков магнитная восприимчивость χ [определяется формулой (95.6)] невелика, но положительна. Так, платина (Pt) усиливает магнитное поле по сравнению с полем в вакууме в 1,00036 раза [см. также выражения (95.8) и (95.9)].

Диамагнетики — вещества, молекулы которых не обладают магнитным моментом. Во внешнем магнитном поле индуцируются элементарные круговые токи. Так как этот микроток индуцирован внешним магнитным полем, то, согласно правилу Ленца, у атома появляется составляющая магнитного поля, направленная противоположно внешнему полю. Наведенные составляющие магнитных полей атомов (молекул) складываются и образуют *собственное магнитное поле вещества, ослабляющее внешнее магнитное поле*.

Таким образом, диамагнетик намагничивается, создавая собственное магнитное поле, *направленное против внешнего поля и ослабляющее его*.

К диамагнетикам относятся многие металлы (например, Bi, Ag, Au, Cu), большинство органических соединений, смолы, углерод и т. д.

Для диамагнетиков магнитная восприимчивость χ [определяется формулой (95.6)] невелика, но отрицательна. Так, сильный диамагнетик — висмут (Bi) — ослабляет магнитное поле по сравнению со своим значением в вакууме в 1,000176 раза [см. также выражения (95.8) и (95.9)].

Подводя итог качественному рассмотрению диа- и парамагнетиков, отметим, что атомы всех веществ являются носителями диамагнитных свойств.

Если магнитный момент атомов велик, то парамагнитные свойства преобладают над диамагнитными и вещество является парамагнетиком; если магнитный момент атомов мал, то преобладают диамагнитные свойства и вещество является диамагнетиком.

Ферромагнетики — твердые вещества, обладающие *спонтанной намагниченностью* даже при отсутствии внешнего магнитного поля, которая подвержена сильному влиянию внешних факторов — изменению температуры, магнитного поля, деформации.

В отличие от диа- и парамагнетиков (*слабомагнитных веществ*), для которых J от H линейна [см. (95.6)], для ферромагнетиков (*сильномагнитных веществ*) эта зависимость сложная: вначале

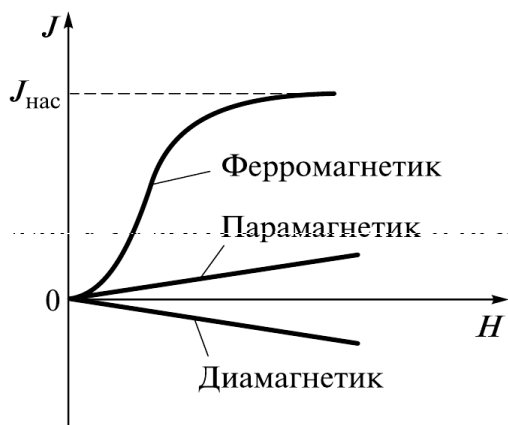


Рис. 115

с возрастанием H намагниченность J растет сначала быстро, затем медленнее, достигая *магнитного насыщения* $J_{\text{нас}}$ (рис. 115).

К ферромагнетикам, кроме основного их представителя — железа (от него и идет название «ферромагнетизм»), относятся, например, кобальт, никель, гадолиний, их сплавы и соединения. Для ферромагнетиков $\mu \gg 1$ (например, для стали $\mu \sim 8\,000$).

Свойства ферромагнетиков обнаруживаются лишь при температурах, меньших определенной температуры для каждого из них, называемой *точкой Кюри*. При температуре, большей точки Кюри, ферромагнетик становится парамагнетиком. Например, точка Кюри для железа $\sim 760^\circ\text{C}$, для никеля — 360°C , для кобальта — $1\,000^\circ\text{C}$. Существуют ферромагнитные сплавы, точка Кюри для которых меньше 100°C (например, пермаллой — 70°C).

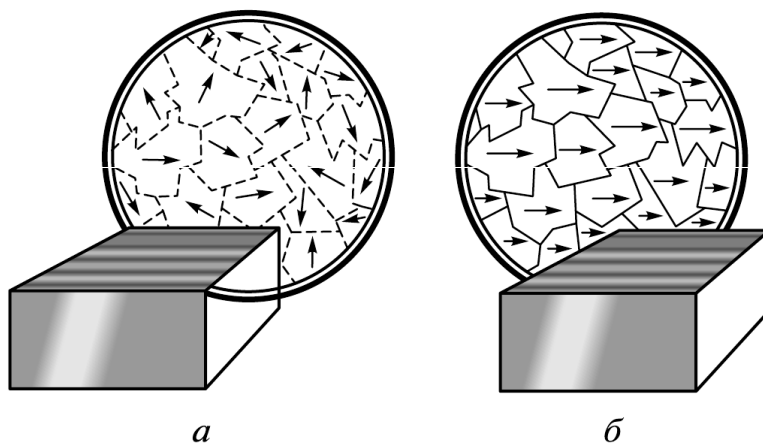


Рис. 116

При температурах, меньших точки Кюри, ферромагнитные вещества состоят из намагниченных областей с линейными размерами порядка $10^{-2}—10^{-4}$ см — *доменов*. В разных доменах магнитное поле ориентировано по-разному, поэтому ферромагнетик не намагничен (рис. 116, *а*). При наложении внешнего магнитного поля происходит упорядочение ориентации полей доменов, в результате чего образец оказывается намагниченным (рис. 116, *б*) вдоль внешнего поля, причем тем сильнее, чем больше магнитная индукция внешнего поля (возрастает степень упорядоченности ориентации отдельных доменов).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Явление электромагнитной индукции

М. Фарадей считал, что между электрическими и магнитными явлениями существует тесная взаимосвязь, а именно, если проводники с током создают вокруг себя магнитное поле, то должно наблюдаться и обратное явление — *возникновение в замкнутом контуре электрического тока под действием магнитного поля*.

Фарадей опытным путем доказал (1831), что в замкнутом проводящем контуре *при изменении потока магнитной индукции*, охватываемого этим контуром, возникает электрический ток. Это явление получило название *электромагнитной индукции*, а возникающий *ток* называют *индукционным*.

В качестве иллюстрации изложенного рассмотрим один из опытов Фарадея. Если в замкнутый на амперметр соленоид вдвигать или выдвигать постоянный магнит, то в моменты его вдвигания или выдвигания наблюдается отклонение стрелки амперметра (возникает индукционный ток); направления отклонения стрелки при вдвигании и выдвигании магнита противоположны. Отклонение стрелки амперметра тем больше, чем больше скорость движения магнита

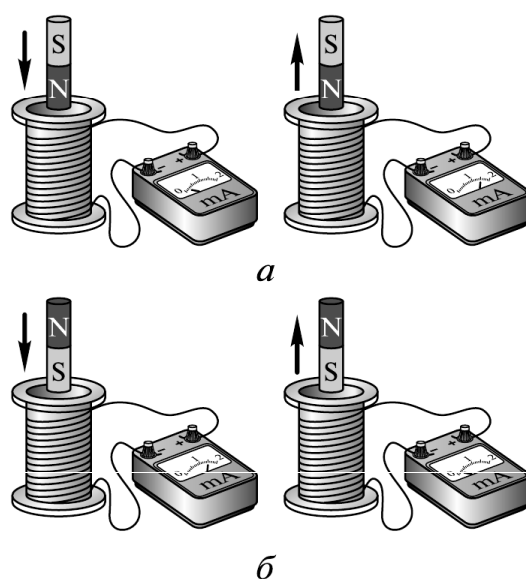


Рис. 117

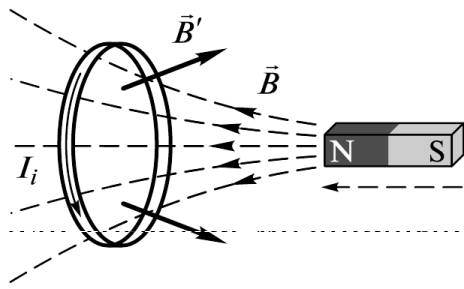


Рис. 118

относительно катушки (рис. 117, а). При изменении полюсов магнита направление отклонения стрелки изменится (рис. 117, б). Для получения индукционного тока магнит можно оставлять неподвижным, тогда нужно относительно магнита передвигать соленоид.

Сила индукционного тока совершенно не зависит от способа изменения потока магнитной индукции, а определяется лишь скоростью его изменения (в опытах Фарадея также доказывалось, что отклонение стрелки амперметра (сила тока) тем больше, чем больше скорость движения магнита).

Направление индукционного тока зависит от того, *возрастает или убывает магнитный поток*, пронизывающий контур, а также от направления вектора магнитной индукции.

Проследим, например, что происходит при приближении магнита к кольцу (рис. 118): число линий магнитной индукции, пронизывающих кольцо, увеличивается, т. е. увеличивается магнитный поток сквозь кольцо $\left(\frac{d\Phi}{dt} > 0\right)$. Линии индукции магнитного поля в кольце,

создаваемого индукционным током, выходят из кольца (кольцо отталкивает магнит). Таким образом, вектор \vec{B}' магнитного поля индукционного тока направлен против вектора \vec{B} внешнего магнитного поля. Направления \vec{B}' и индукционного тока I_i подчиняются *правилу правого винта*.

Из опытов, таким образом, следует, что индукционный ток имеет *всегда* такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует как нарастанию магнитного поля сквозь кольцо (при увеличении магнитного потока сквозь кольцо), так и его уменьшению (при уменьшении магнитного потока сквозь кольцо).

Направление индукционного тока определяется *правилом Ленца* (1833): индукционный ток в контуре имеет всегда такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающему этот индукционный ток.