

Тема 3.4.4.

Магнитные свойства вещества.

Экспериментальные исследования показали, что все вещества в большей или меньшей степени обладают магнитными свойствами. Магнитное поле создается не только токами, текущими по проводам, но и движением электронов в атомах, так называемыми молекулярными токами. Магнитное поле в веществе отличается от магнитного поля в вакууме.

Физическая величина, показывающая, во сколько раз индукция B магнитного поля в веществе, полностью заполняющем поле, отличается по модулю от индукции B_0 магнитного поля в вакууме, называется магнитной проницаемостью:

$$\mu = B / B_0.$$

В зависимости от μ все вещества делят на три группы:

1. Диамагнетики
2. Парамагнетики.
3. Ферромагнетики.

Диамагнетики .

Диамагнетиками называются вещества, которые слабо намагничиваются в направлении, противоположном индукции намагничивающего поля, т.е. они ослабляют внешнее магнитное поле. Диамагнитными свойствами обладают, например, серебро, свинец, кварц, большинство газов. Магнитная проницаемость диамагнетиков отличается от единицы не более чем на десятитысячные доли. Самый сильный из диамагнетиков — висмут — обладает магнитной проницаемостью, равной 0,999824.

Парамагнетики.

Парамагнетиками называют вещества, которые слабо намагничиваются в направлении индукции внешнего поля. Магнитная проницаемость даже наиболее сильных парамагнетиков мало отличается от единицы: 1,00036 у платины и 1,0034 у жидкого кислорода.

Природа диа- и парамагнетизма.

Электроны в оболочке атомов вещества движутся по различным орбитам, при этом каждый электрон, можно рассматривать как круговой электрический ток. Этот ток создает магнитное поле, которое называется орбитальным.

Кроме того, у электрона в атоме есть собственное магнитное поле, называемое спиновым (от англ. spin — вращение, т. е. электрон как бы вращается как волчок).

У атомов **диамагнетиков** магнитные поля электронов полностью скомпенсированы. У них, при отсутствии внешнего магнитного поля атомы не имеют собственного магнитного поля.

Под действием внешнего магнитного поля орбитальное движение электронов меняется таким образом, что компенсация орбитальных магнитных полей нарушается. При этом вектор индукции орбитального магнитного поля атома оказывается направленным против индукции внешнего поля. Поэтому диамагнетик выталкивается из внешнего магнитного поля.

У **парамагнетиков** магнитные поля электронов в атомах скомпенсированы не полностью, и атом в целом оказывается подобным маленькому постоянному магниту. Обычно все эти маленькие магниты ориентированы произвольно, и сумма их магнитных полей равна нулю. Во внешнем магнитном поле, то магниты-атомы повернутся подобно стрелкам компаса. Векторы индукции магнитных полей атомов оказываются направленными вдоль вектора индукции внешнего поля, поэтому магнитное поле в парамагнетике усиливается.

Ферромагнетики.

Вещества, которые значительно усиливают магнитное поле, называют ферромагнетиками. Кроме железа к ферромагнетикам относятся никель, кобальт. У ферромагнетиков значения магнитной проницаемости достигают нескольких десятков, сотен и даже тысяч единиц.

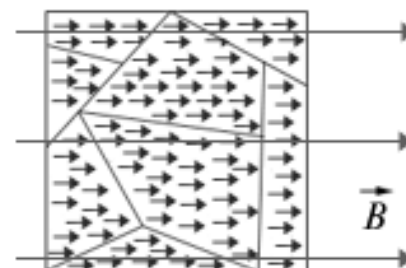
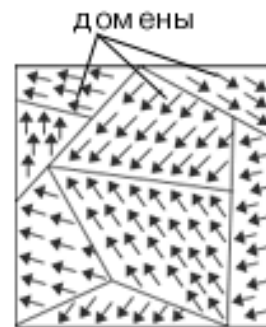
Ферромагнетиками могут быть различные сплавы, содержащие ферромагнитные элементы. Широкое применение в технике получили керамические ферромагнитные материалы – ферриты.

Вещество	μ
Диамагнетики	
Ацетон	0,9999942
Вода	0,999991
Стекло	0,99998074
Парамагнетики	
Алюминий	1,000023
Воздух	1,00000038
Олово	1,0000022
Ферромагнетики	
Кобальт	175
Никель	1120
Сплав железоникелевый	до 250 000
Сталь трансформаторная	8000

Природа ферромагнетизма. Домены.

Ферромагнетизм также качественно объясняется магнитными свойствами электронов. Каждый электрон в атоме обладает собственным (спиновым) магнитным полем. Во всех газах, жидкостях и в большинстве кристаллов спиновые магнитные поля взаимно компенсируются благодаря попарной антипараллельной ориентации спинов электронов в атомах, молекулах или кристаллах. Лишь в некоторых кристаллах, например в кристаллах железа, возникают условия для параллельной ориентации векторов индукции спиновых магнитных полей части электронов и их сложения.

В результате этого внутри кристалла ферромагнетика возникают намагниченные области протяженностью 10^{-2} – 10^{-4} см. Эти области самопроизвольного намагничивания называют доменами. В разных доменах индукции магнитных полей имеют различные направления, и в большом кристалле поля взаимно компенсируют друг друга. При внесении ферромагнитного образца во внешнее магнитное поле происходит смещение границ отдельных доменов так, что объем доменов, ориентированных по внешнему полю, увеличивается. Поэтому с увеличением индукции внешнего поля B_0 возрастает магнитная индукция намагниченного вещества.



Ориентация доменов
в магнитном поле

Постоянные магниты.

При вынесении ферромагнитного образца из внешнего магнитного поля значительная часть доменов сохраняет упорядоченную ориентацию. Остаточная намагниченность у разных веществ разная. Ферромагнетики, у которых остаточная намагниченность велика, называют жесткими (специальные стали, сплавы железа с алюминием, никелем и кобальтом, оксиды железа и др.) Их используют для изготовления постоянных магнитов.

Ферромагнетики, у которых остаточная намагниченность мала, называют мягкими. Их используют в сердечниках электромагнитов.

Температура Кюри.

Упорядоченная ориентация магнитных полей атомов в доменах ферромагнетика может быть нарушена за счет энергии тепловых колебаний атомов в кристалле. Чем выше температура кристалла, тем быстрее разрушается порядок в ориентации доменов и образец размагничивается. Температура, выше которой вещество теряет ферромагнитные свойства и становится парамагнетиком, называется температурой, (или точкой) Кюри.

Исчезновение ферромагнитных свойств при высокой температуре можно наблюдать в опыте с лезвием бритвы. При комнатной температуре оно притягивается к магниту; при нагревании в пламени отпадает от магнита, т. е. ферромагнитные свойства стального лезвия теряются. После охлаждения образца его ферромагнитные свойства восстанавливаются, однако магнитно-твердый материал может стать магнитно-мягким. Дело в том, что в процессе отжига меняется структура кристаллической решетки, изменяются упругие, магнитные и другие свойства вещества.

Температура Кюри	
Вещество	Температура
Железо	769 °C
Кобальт	1121 °C
Никель	358 °C