

# Тема 17

**Магнетики. Намагниченность.  
Связь индукции и  
напряженности магнитного  
поля в магнетике. Магнитная  
проницаемость и  
восприимчивость.  
Магнитомеханические явления**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

17.1. Магнетики. Намагниченность. Связь индукции и напряженности магнитного поля в магнетике. Магнитная проницаемость и восприимчивость

17.2. Магнитомеханические явления

## 17.1. Магнетики. Намагниченность. Связь индукции и напряженности магнитного поля в магнетике. Магнитная проницаемость и восприимчивость

До этого нами рассматривалось магнитное поле в вакууме, без учета взаимодействия этого поля с веществом. В то же время, поскольку магнитное поле создается движущимися зарядами, представляет интерес вопрос: каков характер магнитного поля, создаваемого зарядами, движущимися в самом веществе? Исходя из этого, стали рассматривать молекулы вещества, содержащие некие токи, как контуры, обладающие собственным магнитным моментом. Тогда во внешнем магнитном поле магнитный момент молекулы будет изменяться. Для характеристики реакции вещества на воздействие внешнего магнитного поля вводится величина, называемая вектором намагниченности

$$\vec{M} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{p}_{M_i}}{\Delta V} \quad (17.1)$$

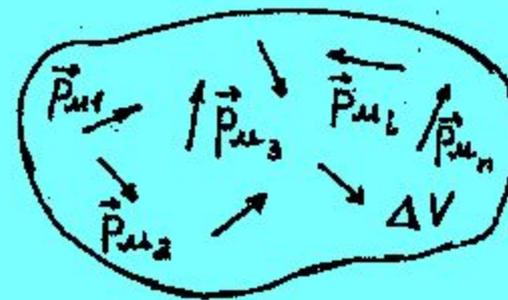


Рис. 17.1.

Вектор намагниченности — физическая величина, численно равная суммарному магнитному моменту всех молекул, заключенных в единице объема.

Тогда по принципу суперпозиции результирующее поле в веществе будет складываться из внешнего магнитного поля  $B_0$ , созданного свободными движущимися зарядами или токами вне вещества, и собственного (наведенного) магнитного поля  $M$ , возникающего как реакция вещества на внешнее магнитное поле.

$$\vec{B} = \vec{M} + \vec{B}_0, \quad (17.2)$$

где  $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}$  - индукция магнитного поля в вакууме.

Для большинства веществ намагниченность  $\vec{M}$  линейно связана с напряженностью внешнего поля, чем больше внешнее поле, тем больше намагниченность. После всех подстановок можно получить формулу

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}, \quad (17.3)$$

где  $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$  - магнитная проницаемость вещества (17.4)

$$\mu = 1 + \kappa_M \quad (17.5)$$

$\kappa_M$  — магнитная восприимчивость вещества.

## 17.2. Магнитомеханические явления.

Вследствие вращения вокруг ядра электрон оказывается подобным волчку. Это обстоятельство лежит в основе так называемых *магнитомеханических явлений*, заключающихся в том, что намагничение магнетика приводит к его вращению и, наоборот, вращение магнетика вызывает его намагничение. Существование первого явления было доказано экспериментально Эйнштейном и де Хаасом, второго – Барнетом.

В основе опыта Эйнштейна и де Хааса лежат следующие соображения. Если намагнитить стержень из магнетика, то магнитные моменты электронов установятся по направлению поля, а механические моменты – против поля. В результате суммарный механический момент электронов станет отличным от нуля (первоначально вследствие хаотической ориентации отдельных моментов он был равен нулю). Момент импульса системы стержень + электроны должен остаться без изменений. Поэтому стержень приобретает момент импульса, и, следовательно, приходит во вращение. Изменение направления намагниченности приведет к изменению направления вращения стержня.

Механическую модель этого опыта можно осуществить, посадив человека на вращающийся стул и дав ему в руки вращающееся массивное колесо. Повернув колесо осью вверх, человек приходит во вращение в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Повернув колесо осью вниз, человек начинает вращаться в другую сторону.

Опыт Эйнштейна и де Хааса осуществлялся следующим образом (рис. 17.2). Тонкий железный стержень подвешивался на упругой нити и помещался внутрь соленоида. Закручивание нити при намагничивании стержня постоянным магнитным полем получалось весьма малым. Для усиления эффекта был применен метод резонанса – соленоид питался переменным током, частота которого подбиралась равной собственной частоте механических колебаний системы. При этих условиях амплитуда колебаний достигала значений, которые можно было измерить, наблюдая смещения светового зайчика, отраженного от зеркальца, укрепленного на нити. Из данных опыта было вычислено магнитомеханическое отношение, которое оказалось равным  $-(e/m)$ . Таким образом, знак заряда носителей, создающих молекулярные токи, совпал со знаком заряда электрона. Однако полученный результат превысил ожидаемое значение магнитомеханического отношения в два раза

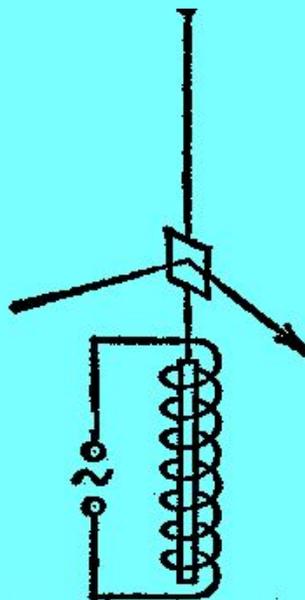


Рис. 17.2.

Чтобы понять опыт Барнетта, вспомним, что при попытке вовлечь гироскоп во вращение вокруг некоторого направления ось гироскопа поворачивается так, чтобы направление собственного и принудительного вращений гироскопа совпали. Если установить гироскоп, закрепленный в карданном подвесе, на диск центробежной машины и привести ее во вращение, то ось гироскопа установится по вертикали, причем так, что направление вращения гироскопа совпадет с направлением вращения диска. При изменении направления вращения центробежной машины ось гироскопа поворачивается на  $180^\circ$ , т. е. Так, чтобы направления обоих вращений снова совпали.

Барнетт приводил железный стержень в очень быстрое вращение вокруг его оси и измерял возникающее при этом намагничение. Из результата этого опыта Барнетт также получил для магнитомеханического отношения величину, в два раза превышающую его истинное значение.

В дальнейшем выяснилось, что, кроме орбитальных моментов, электрон обладает собственными механическим  $M_s$  и магнитным  $p_{ms}$  моментами, для которых магнитомеханическое отношение равно

$$\frac{p_{ms}}{M_s} = -\frac{e}{m'}$$

т. е. совпадает со значением, полученным в опытах Эйнштейна и да Хааса и Барнетта. Отсюда следует, что магнитные свойства железа обусловлены не орбитальным, а собственным магнитным моментом электронов.