

где K — показатель поглощения. При $g=0$ и $K=0$ мы снова приходим к выражению (60.3). Теория и эксперимент находятся в согласии. Область нормальной дисперсии (участок CD на рис. 82) соответствует неравенству $\omega < \omega_0$, т. е. случаю, когда частота световых волн меньше частоты собственных колебаний электрона; на участке AB снова наблюдается нормальная дисперсия: $\omega > \omega_0$. Область аномальной дисперсии совпадает с областью резонанса и поглощения, где $\omega \approx \omega_0$.

§ 61. ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ НАМАГНИЧИВАНИЯ ПАРА- И ДИАМАГНЕТИКОВ

В классической теории магнетизма рассматриваются три группы веществ: диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики*.

Магнетизм веществ обусловлен орбитальным движением внутриатомных электронов и наличием у них спинов (собственных моментов импульса). Орбитальному движению и спину электронов соответствуют магнитные моменты — орбитальный p_{ml} и спиновый p_{ms} . Магнитные свойства атома (или молекулы) характеризуются результирующим магнитным моментом входящих в их состав частиц, в первую очередь геометрической суммой орбитальных и спиновых моментов электронов $p_{ma} = \sum (p_{ml} + p_{ms})$. Магнитные моменты атомных ядер составляют лишь тысячные доли от магнитного момента электрона. У пара- и ферромагнетиков ($\mu > 1$) результирующий магнитный момент атома отличен от нуля. У диамагнетиков результирующий магнитный момент каждого атома равен нулю. Ниже будут рассмотрены основы электронной теории намагничивания пара- и диамагнетиков.

Намагничивание парамагнетиков (кислород, алюминий, платина и др.) можно рассматривать на основе гипотезы о молекулярных магнитных диполях, которые внешнее магнитное поле ориентирует в направлении вектора напряженности \vec{H} . В силу этого можно все рассуждения и выводы, приведенные в § 58 для ориентационной поляризации диэлектриков, распространить и на парамагнетики (с соответствующей заменой \vec{E} , \vec{p} , \vec{P} , α , ϵ на \vec{H} , p_m , \vec{J} , χ , μ — напряженность магнитного поля, магнитный дипольный момент атома или молекулы, вектор намагниченности, магнитная восприимчивость и проницаемость). Таким образом, мы по аналогии приходим к выражениям:

$$J = \chi H = \mu_0 \frac{N p_m^2}{3kT} H, \quad (61.1)$$

$$\chi = \mu_0 \frac{N p_m^2}{3kT}. \quad (61.2)$$

* Остаются вне рассмотрения антиферромагнетики и другие классы магнетиков.

Последнее соотношение выражает закон Кюри: восприимчивость парамагнетиков обратно пропорциональна абсолютной температуре.

Рассмотрим намагничивание диамагнетиков (азот, ртуть, свинец, висмут, вода, медь и др.). Как указывалось выше, у атомов (молекул) диамагнитных веществ результирующий магнитный момент равен нулю ($p_{ma} = 0$).

Таким образом, атомы уже нельзя рассматривать как диполи и лишено смысла говорить о каком-либо ориентирующем действии поля. В курсе физики диамагнетизм связывают с явлением электромагнитной индукции, т. е. с появлением в атомах и молекулах индуцированных токов, направление которых в соответствии с правилом Ленца объясняет основную особенность диамагнетиков: появление одноименного магнитного полюса против индуцирующего полюса (рис. 83).

По представлениям электронной теории индуцированные полем токи возникают в виде добавочного движения электронов во внешнем поле — прецессии их орбитального магнитного момента вокруг направления внешнего магнитного поля. Это явление накладывается на невозмущенное движение электронов, имеющее место в отсутствии поля.

Благодаря своему орбитальному движению электрон подобен микроскопическому гироскопу.

Рассмотрим прецессию внутриатомного электрона во внешнем магнитном поле (рис. 84). Пусть внешнее магнитное поле \vec{H} направлено снизу вверх и орбитальный момент импульса электрона \vec{L} , совпадающий с его осью вращения вокруг ядра, образует некоторый угол с полем.

Через \vec{p}_{mi} обозначен орбитальный магнитный момент электрона, направленный противоположно \vec{L} (это условие вытекает из определения \vec{L} и p_{mi} , направление первого вектора связано с направлением движения электрона, направление второго вектора — с направлением движения положительного заряда, эквивалентного движению заряда электрона, т. е. направленного противоположно ему).

Поле стремится изменить траекторию электрона так, чтобы плоскость

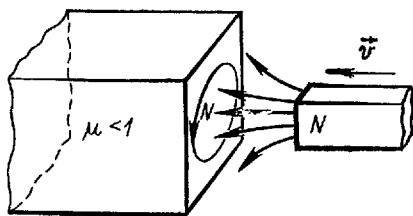


Рис. 83

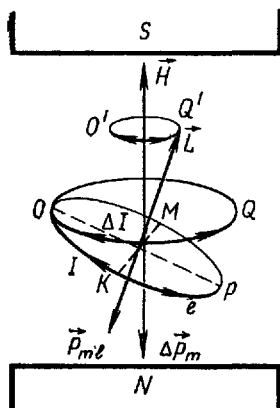


Рис. 84

траектории была перпендикулярна полю, т. е. чтобы векторы \vec{p}_m и \vec{H} совпали по направлению. Иначе говоря, поле стремится повернуть кольцевой ток, которому эквивалентен вращающийся электрон, вокруг оси KM .

Следовательно, электрон повернется вокруг третьей оси, перпендикулярной как оси вращения, так и оси KM , т. е. вокруг мгновенной оси OP . Возникнет прецессия, т. е. электронная орбита будет непрерывно перемещаться так, чтобы точка O описывала окружность OQ , а конец вектора момента импульса \vec{L} — окружность $O'Q'$. На окружности $O'Q'$ стрелками указаны вправо — направление прецессии электрона, влево — направление эквивалентного ей тока ΔI . Этому току соответствует дополнительный магнитный момент Δp_m и добавочное магнитное поле, направленное против внешнего поля. Таково объяснение диамагнитного эффекта в рамках электронной теории.

Теория прецессионного движения электронов во внешнем магнитном поле была разработана Ларморов, и поэтому иногда говорят о ларморовой прецессии. Лармору принадлежит и теорема, устанавливающая величину угловой скорости прецессионного движения электронов.

Во время прецессии электронов сила Лоренца уравнивает силу Кориолиса:

$$\vec{F}_{\text{лор}} + \vec{F}_{\text{кор}} = 0,$$

т. е.

$$-e[\vec{v}\mu_0\vec{H}] + 2m[\vec{v}\vec{\Omega}] = 0, \quad (61.3)$$

где $\vec{\Omega}$ — угловая скорость прецессии. Отсюда следует теорема Лармора

$$\vec{\Omega} = \frac{+e}{2m}\mu_0\vec{H}. \quad (61.4)$$

Таким образом, вектор угловой скорости направлен параллельно \vec{H} (поскольку e означает абсолютную величину элементарного заряда).

Диамагнитный эффект является универсальным, т. е. он наблюдается во всех телах, в том числе и в пара- и ферромагнетиках, в которых он, однако, маскируется более сильным противоположным эффектом — ориентирующим действием поля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе преподавания курса физики учитель средней школы должен добиваться формирования у его питомцев широкого круга общих понятий и представлений, образующих естественно-научную основу материалистического миропонимания. Подготовка учителя физики к этой деятельности и является важнейшей за-