

### § 20.3. Диамагнетики в однородном магнитном поле

1. Результат, полученный в предыдущем параграфе, применим к атому любого вещества, помещенному в магнитное поле. Однако особый интерес этот результат приобретает в случае диамагнитных веществ, или диамагнетиков.

**Диамагнетиками** называются вещества, магнитные моменты атомов или молекул которых при отсутствии внешнего магнитного поля равны нулю. Иначе говоря, в атомах или молекулах диамагнитных веществ векторная сумма орбитальных магнитных моментов всех электронов равна нулю. Диамагнетиками являются инертные газы, большинство органических соединений, многие металлы (висмут, цинк, золото, медь, серебро, ртуть и др.), смолы, вода, стекло, мрамор.

При внесении диамагнитного вещества в магнитное поле в каждом его атоме наводится магнитный момент  $\Delta \mathbf{P}_m$ , направленный **п р о т и в о п о л о ж н о** вектору  $\mathbf{B}$  индукции магнитного поля.

2. Для характеристики намагничивания вещества вводится физическая величина, называемая интенсивностью намагничивания.

**Вектором намагниченности** или **интенсивностью намагничивания**  $\mathbf{J}$  называется отношение магнитного момента малого объема  $\Delta V$  вещества к этому объему:

$$\mathbf{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \mathbf{P}_{mi}, \quad (20.13)$$

где  $\mathbf{P}_{mi}$  — магнитный момент  $i$ -й молекулы,  $n$  — общее число молекул в объеме  $\Delta V$ . Объем  $\Delta V$  должен быть столь малым, чтобы в его пределах магнитное поле можно было считать однородным. В то же время в нем должно содержаться еще столь большое число молекул [ $n \gg 1$ ], чтобы к ним можно было применять статистические методы исследования.

В Международной системе единиц (СИ) вектор намагниченности измеряется в амперах на метр (А/м).

В пределах малого объема  $\Delta V$  изотропного диамагнетика введенные магнитные моменты  $\Delta \mathbf{P}_m$  всех молекул одинаковы и направлены в сторону, противоположную вектору  $\mathbf{B}$ . Поэтому по формулам (20.13) и (20.12) вектор намагниченности

$$\mathbf{J} = \frac{n\Delta \mathbf{P}_m}{V} = n_0 \Delta \mathbf{P}_m = - \frac{n_0 e^2 Z \langle S_{\perp} \rangle}{4\pi m} \mathbf{B}. \quad (20.14)$$

Обозначив через  $\chi'$  величину

$$\chi' = - \frac{n_0 e^2 Z \langle S_{\perp} \rangle \mu_0}{4\pi m}, \quad (20.15)$$

получим

$$\mathbf{J} = \chi' \frac{\mathbf{B}}{\mu_0}, \quad (20.16)$$

где  $\chi'$  — безразмерная величина, характеризующая магнитные свойства вещества, причем у всех диамагнетиков  $\chi' < 0$ . По исторически сложившейся традиции в качестве характеристики магнитных свойств среды пользуются так называемой **магнитной восприимчивостью**  $\chi$ , связанной с  $\chi'$  соотношением

$$1 + \chi = 1/(1 - \chi'), \quad (20.15')$$

откуда

$$\chi = \chi'/(1 - \chi'). \quad (20.15'')$$

У диамагнетиков абсолютное значение  $\chi'$  очень мало ( $|\chi'| \sim 10^{-6}$ ). Поэтому практически можно считать, что  $\chi = \chi'$ .

3. Поведение диамагнетиков в магнитном поле существенно отличается от поведения диэлектриков с неполярными молекулами в электри-

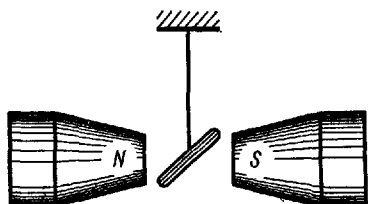


Рис. 20.4

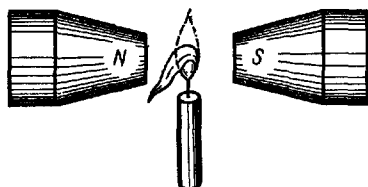


Рис. 20.5

ческом поле. Диэлектрик поляризуется в направлении вектора напряженности  $\mathbf{E}$  электрического поля. Поэтому легкий стержень, изготовленный из диэлектрика и свободно подвешенный в однородном электрическом поле, устанавливается так, чтобы его ось была направлена параллельно  $\mathbf{E}$ . В неоднородном электрическом поле стержень из диэлектрика **втягивается** в область более сильного поля. Стержень из диамагнитного материала (например, из висмута) намагничивается в направлении, противоположном вектору индукции  $\mathbf{B}$  внешнего магнитного поля. Поэтому в неоднородном магнитном поле диамагнетик **выталкивается** в область более слабого поля и устанавливается так, чтобы его ось была **перпендикулярна** вектору  $\mathbf{B}$  (рис. 20.4). Газы, входящие в состав продуктов сгорания, также обладают диамагнитными свойствами. Поэтому в неоднородном магнитном поле **пламя свечи отклоняется** в сторону более слабого поля (рис. 20.5).

#### § 20.4. Парамагнитные вещества в однородном магнитном поле

1. Если векторная сумма орбитальных магнитных моментов всех электронов атома (или молекулы) не равна нулю, то атом в целом обладает некоторым магнитным моментом  $\mathbf{P}_m$ . Такие атомы (молекулы) называются **парамагнитными**, а состоящие из них вещества — **парамагнетиками**. К парамагнетикам относятся кислород, окись азота,