

## Примеры задач к курсу «Основы магнетизма конденсированных сред»

**Задача 1.** Волновая функция атома водорода в основном состоянии ( $1s$ ) имеет вид

$$\psi = (\pi a_0^3)^{-1/2} \exp(-\frac{r}{a_0}), \text{ где } a_0 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 0.529 * 10^{-8} \text{ см. Плотность заряда } \rho(x, y, z) = e|\psi|^2 \text{ согласно статистической}$$

интерпретации волновой функции. Показать, что в указанном состоянии  $\langle r^2 \rangle = 3a_0^2$  и вычислить молярную диамагнитную восприимчивость атомарного водорода.

**Задача 2.** Парамагнитная соль содержит  $10^{22}$  ионов/см<sup>3</sup>; магнитный момент каждого иона равен  $1 \mu_B$ . 1) Вычислить, насколько число ионов с магнитными моментами, параллельными магнитному полю, будет превышать число ионов с антипараллельными моментами, если величина поля составляет  $10\,000 \text{ Э}$ , а температура равна  $300 \text{ К}$ ; 2) вычислить намагниченность в том же поле.

**Задача 3.** Нормальное состояние свободного атома никеля в спектроскопических обозначениях  $-^3F_4$ . Найти  $S$ ,  $L$ ,  $J$  и  $g$ -фактор Ланде для атома и рассчитать прецессионную угловую скорость магнитного момента в приложенном поле  $H = 5000 \text{ Э}$ .

**Задача 4.** Описать в спектроскопических обозначениях нормальное состояние трёхвалентного иона железа  $Fe^{3+}$  и определить  $g$ -фактор Ланде. Определить также магнитный момент иона  $Fe^{3+}$  (в магнетонах Бора).

**Задача 5.** Определить величину объёмной восприимчивости идеального газа при атмосферном давлении и комнатной температуре, предполагая, что каждая молекула газа имеет магнитный момент, равный одному магнетону Бора.

**Задача 6.** Определить, при каком соотношении между  $K_I$  и  $K_2$  в кубическом ферромагнетике с отрицательной первой константой анизотропии ( $K_I < 0$ ) осью лёгкого намагничивания является кристаллографическое направление  $[100]$ .

**Задача 7.** Определить энергию магнитной анизотропии монокристаллического диска, вырезанного из ферромагнитного кристалла кубической симметрии, плоскость которого совпадает с кристаллографической плоскостью  $(111)$ . Предположить, что  $K_2 = 0$ .

**Задача 8.** Определить поля анизотропии кристаллов:

- 1) кобальта, намагниченного вдоль гексагональной оси ( $K_u = 4.4 * 10^6 \text{ эрг/см}^3$ ,  $I_s = 1440 \text{ Гс}$ ).
- 2) железа, намагниченного вдоль тетрагональной оси  $[100]$  ( $K_I = 5.0 * 10^5 \text{ эрг/см}^3$ ,  $I_s = 1730 \text{ Гс}$ ).
- 3) никеля, намагниченного вдоль тригональной оси  $[111]$  ( $K_I = -4.8 * 10^4 \text{ эрг/см}^3$ ,  $I_s = 505 \text{ Гс}$ ).

**Задача 9.** Определить плотность поверхностной энергии  $180^\circ$  доменной стенки монокристалла железа в случаях:

- 1) плоскость границы параллельна кристаллографической плоскости  $(001)$ ; 2) плоскость границы параллельна кристаллографической плоскости  $(011)$ . Использовать следующие данные:  $A$  (параметр обменного взаимодействия) =  $1.5 * 10^{-6} \text{ эрг/см}$ ,  $K_I$  (константа анизотропии) =  $5.0 * 10^5 \text{ эрг/см}^3$ .

**Задача 10.** Определить толщину  $180^\circ$  доменной стенки в кобальте.  $A$  (параметр обменного взаимодействия) =  $0.75 * 10^{-6} \text{ эрг/см}$ ,  $K_u$  (константа анизотропии) =  $4.3 * 10^6 \text{ эрг/см}^3$ .

**Задача 11.** Энергия магнитной кристаллографической анизотропии одноосного ферромагнетика в простейшем приближении описывается выражением:  $E_a = K_0 + KM_z^2/M^2$ .

Здесь  $K < 0$  константа магнитной кристаллографической анизотропии,  $M_z$  -- проекция намагниченности  $M$  на ось  $Z$  -- ось высокой симметрии. Рассчитать кривую перемагничивания во внешнем магнитном поле, напряжённость которого  $H$  ориентирована перпендикулярно оси  $Z$ . Модуль магнитного момента не меняется в процессе перемагничивания.

**Задача 12.** Экспериментальная кривая намагничивания монокристаллического образца кремнистого железа, снятая в направлении  $[100]$ , в единицах СИ представлена уравнением:  $H = (I^2 - 2I) * 10^4$ . Определить намагниченность насыщения  $I_s$  и первую константу анизотропии  $K_I$  материала.

**Задача 13.** Для однодоменной частицы железа ( $I_s = 1707 \text{ Гс}$ ) в форме вытянутого сфероида с отношением полуосей  $b/a = 0.5$  рассчитать коэрцитивную силу, если магнитное поле приложено под углами: 1)  $\Theta = 30^\circ$  2)  $\Theta = 75^\circ$  к полярной оси.

**Задача 14.** Показать, что условие резонанса для произвольного эллипсоида с размагничивающими факторами  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$  имеет вид:

$$\omega = \gamma \{ [H + (N_x - N_z)M] [H + (N_y - N_z)M] \}^{1/2},$$

где  $H$  – постоянное поле, направленное по оси  $z$ . Предполагается что размеры эллипсоида малы по сравнению с длиной волны. Эллипсоид изготовлен из непроводящего магнитного материала (такого, как феррит), и поэтому эффектами, которые связаны с вихревыми токами, можно пренебречь.

**Задача 15.** Найти индукцию  $B$  магнитного поля, при которой имеет место электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) на частоте  $\nu = 10^{10}$  Гц. Фактор спектроскопического расщепления для электрона  $g = 2$ .