

1. Поясните природу диамагнетизма. Каким веществам присущ диамагнетизм? Может ли диамагнетизм быть описан на основе представлений классической физики? Ответ обоснуйте.

Магнитный момент вещества p_m представляет собой сумму элементарных магнитных моментов атомов данного вещества. Магнитные свойства атома определяет магнитный момент электронной оболочки, поскольку он во много раз превышает магнитный момент атомного ядра. Поэтому им мы можем пренебречь, и считать магнитный момент вещества как сумму моментов электронов.

Электрон в атоме совершает орбитальное и спиновое движения. Для описания магнитных свойств более существенным является спиновое движение, поэтому собственный магнитный момент частицы определяется ее суммарным спином. Поскольку суммарный спин двух спаренных электронов (находящихся на одной орбитали) равен нулю, суммарный спин определяется только числом неспаренных электронов.

Диамагнетизм присущ всем веществам независимо от их агрегатного состояния или структуры - является универсальным магнитным свойством. Однако если не все электроны спарены, то оно перекрывается более сильными магнитными свойствами — парамагнетизмом или ферромагнетизмом. Если в частице все электроны спарены, то ее собственный магнитный момент равен нулю, тогда диамагнетизм не перекрывается другими эффектами, и вещество называется диамагнетиком.

Если диамагнетик поместить в магнитное поле, то в веществе появляется магнитный момент, направленный против поля. Поэтому диамагнитные вещества выталкиваются из поля. Примерами диамагнитных веществ могут служить: висмут (самый сильный диамагнетик), графит, серебро, вода.

Диамагнетизм не может быть полностью описан на основе представлений классической физики, без квантовой механики. Несмотря на то что классическая теория диамагнетизма Ланжевена дает то же уравнение, что и квантовая теория:
$$\Delta\mu = -\frac{q_e^2}{6m}\langle r^2 \rangle B,$$

в теореме Бора–Ван Левена утверждается, что при применении классической механики среднее тепловое значение намагниченности всегда равно нулю. Это делает магнетизм в твердых телах исключительно квантово-механическим эффектом и означает, что классическая физика не может объяснить парамагнетизм, диамагнетизм и ферромагнетизм, и для объяснения необходима квантовая физика

Источники:

https://bibl.rusoil.net/base_docs/UGNTU/ODPMO/Prakhova3/teoreticheskie_osnovi/teo_6_1.htm

https://studme.org/290623/matematika_himiya_fizik/magnitnye_svoystva_veschestva

https://all-fizika.com/article/index.php?id_article=1530

https://en.wikipedia.org/wiki/Bohr–Van_Leeuwen_theorem

<https://hmong.ru/wiki/Diamagnetic> (открывается только с vpn)

2. Поясните физические принципы записи информации на жесткий диск.

Информация в жестком диске записывается на пластины, покрытые слоем ферромагнитного материала, с помощью считывающей головки, находящейся на конце рычага. Чтобы разместить рычаг в нужном положении, используется катушка, расположенная у основания рычага. Основание рычага расположено между двумя мощными магнитами. Рычаг движется под действием силы Лоренца: $\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Протекающий в катушке ток в магнитном поле создает силу, движущую рычаг в одном направлении, а обратное направление тока движет рычаг в другом направлении. Головка представляет собой кусочек ферромагнитного материала, обмотанный проволокой. При записи подается переменный электрический ток на катушку головки, и возникающее переменное магнитное поле из головки воздействует на ферромагнетик поверхности диска и изменяет направление вектора намагниченности доменов. Этот процесс основан на законе Фарадея, который описывает преобразование изменяющегося магнитного поля в электрическое напряжение: $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

где ε – электродвижущая сила, Φ – магнитный поток. Направление электродвижущей силы задается законом Ленца.

Домены – это области однородной спонтанной намагниченности, у которых величина намагниченности (магнитного момента единицы объема) одинакова, а направления различны. Каждый домен кодирует один бит информации, принимая логическое значение «0» или «1» в зависимости от направления вектора намагниченности.

Источники:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Жёсткий_диск#Технологии_записи_данных

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Файл:Harddrive-engineerguy.ogg>

3. Магнитный момент Земли приблизительно равен $8,00 \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Представьте, что планетарное магнитное поле было вызвано полной намагниченностью огромного месторождения железа плотностью $7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и приблизительно $8,50 \cdot 10^{28} \frac{\text{атомов}}{\text{м}^3}$.

(а) Сколько неспаренных электронов, каждый с магнитным моментом $9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$, могло бы участвовать?

Как было сказано в ответе на первый вопрос, магнитные свойства тела определяет магнитный момент электронной оболочки атомов этого тела, существенным является спиновое движение электрона, и его магнитный момент определяется суммарным спином. Поскольку суммарный спин двух спаренных электронов равен нулю, суммарный спин частицы определяется только числом неспаренных электронов.

Количество неспаренных электронов, составляющих магнитный момент Земли: $N_e = \frac{p_{m(3)}}{p_{m(e)}}$, где $p_{m(3)}$ – магнитный момент Земли, $p_{m(e)}$ – магнитный момент электрона.

Подставим $p_{m(3)} = 8,00 \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$; $p_{m(e)} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$:

$$N_e = \frac{8,00 \cdot 10^{22}}{9,27 \cdot 10^{-24}} = 8,63 \cdot 10^{45} \text{ ед.}$$

(б) При двух неспаренных электронах на атом железа, сколько кг железа присутствовало бы в месторождении?

Т. к. на атом железа есть 2 неспаренных электрона, то количество атомов железа, нужных для того, чтобы получить нужное количество неспаренных электронов: $N_a = \frac{N_e}{2} = \frac{p_{m(3)}}{2p_{m(e)}}$

Посчитаем объем железа: $V = \frac{N_a}{n} = \frac{p_{m(3)}}{2np_{m(e)}}$, где n – концентрация атомов

Посчитаем массу железа: $m = V \cdot \rho = \frac{p_{m(3)}\rho}{2np_{m(e)}}$

Подставим $p_{m(3)} = 8,00 \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$; $p_{m(e)} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$; $\rho = 7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $n = 8,50 \cdot 10^{28} \frac{\text{ед.}}{\text{м}^3}$:

$$m = \frac{8,00 \cdot 10^{22} \cdot 7900}{2 \cdot 8,50 \cdot 10^{28} \cdot 9,27 \cdot 10^{-24}} = 4,01 \cdot 10^{20} \text{ кг}$$

Источники:

https://bibl.rusoil.net/base_docs/UGNTU/ODPMO/Prakhova3/teoreticheskie_osnovi/teo_6_1.htm;

https://studme.org/290623/matematika_himiya_fizik/magnitnye_svoystva_veschestva (чтобы понять почему мы считаем магнитный момент только с учетом неспаренных электронов)

https://ru.wikipedia.org/wiki/Концентрация_частиц;

https://ru.wikipedia.org/wiki/Объём#Через_плотность - формулы