Ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики, обменное взаимодействие

Сделала: студент 4 курса группы 23ф181, Бердюгина Елизавета Андреевна

Введение:

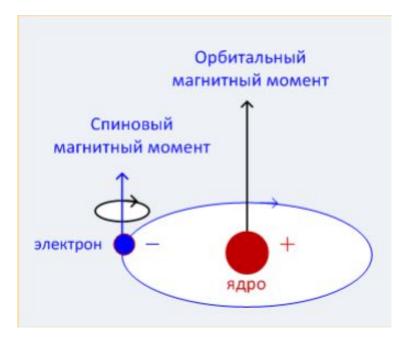


Рис.1. Электроны обладают орбитальными и спиновыми магнитными моментами.

Материалы, помещенные во внешнее магнитное поле, намагничиваются.

Известно, что электроны обладают орбитальными и спиновыми магнитными моментами, а магнитные свойства атома обусловлены в основном магнитными свойствами его электронов.

В случае нескольких электронов полный, или собственный, магнитный момент атома определяется векторной суммой орбитальных и спиновых моментов с учетом их направления.

Введение:

Орбитальные и спиновые магнитные моменты могут иметь лишь одно из двух возможных направлений — согласное или противоположное.

В том случае, если орбитальные и спиновые магнитные моменты направлены в противоположные стороны, магнитные моменты пары электронов взаимно компенсируются.

Это имеет место в любой полностью заполненной оболочке атома.

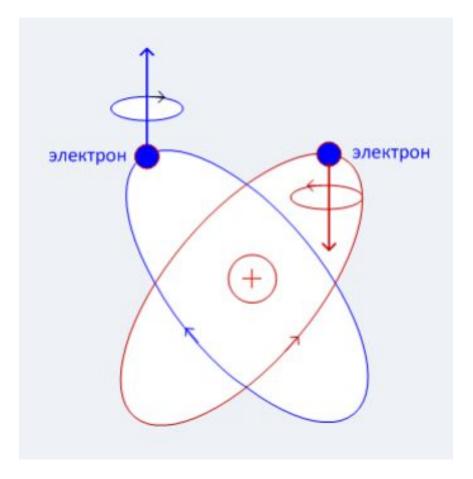


Рис. 2. Магнитные моменты пары электронов взаимно компенсируются.

Введение:

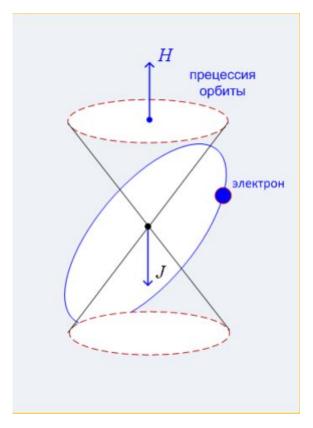


Рис.3. Прецессия орбиты электрона.

Если на атом воздействует внешнее магнитное поле напряженностью *H*, то возникает **прецессия орбит** электронов вокруг вектора этого поля.

Прецессия орбиты сопровождается появлением дополнительного магнитного момента, направление которого согласно правилу Ленца всегда противоположно направлению внешнего магнитного поля.

Ферромагнетики — вещества, в которых наблюдается (ниже температуры Кюри) магнитная упорядоченность, соответствующая параллельному расположению спинов в макроскопических областях (доменах) даже в отсутствие внешнего магнитного поля.

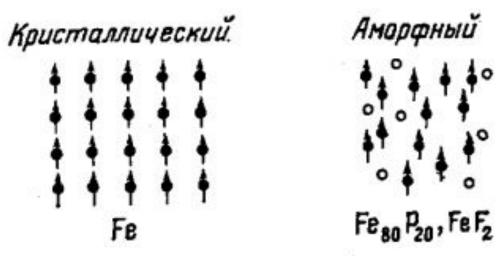


Рис.4. Идеальный ферроматизм.

Магнитная восприимчивость $\chi \sim 10^{-2} \div 10^{-5}$ Магнитная проницаемость $\mu \approx 1,0001..$





В создании магнитного момента атома принимают участие не все его электроны, а только небольшая их часть. Это объясняется тем, что магнитные спиновые моменты части электронов имеют противоположные направления и взаимно компенсируют друг друга, вследствие чего эти электроны становятся нейтральными в магнитном отношении.

Ферромагнитные свойства определяются нескомпенсированными спинами электронов.

В атоме железа не заполнена предпоследняя подоболочка (3d), которой не достает четырех электронов. У этой оболочки имеются пять «положительных» спинов и один «отрицательный» спин. Таким образом, имеется четыре нескомпенсированных спина, которые и определяют результирующий магнитный момент атома.



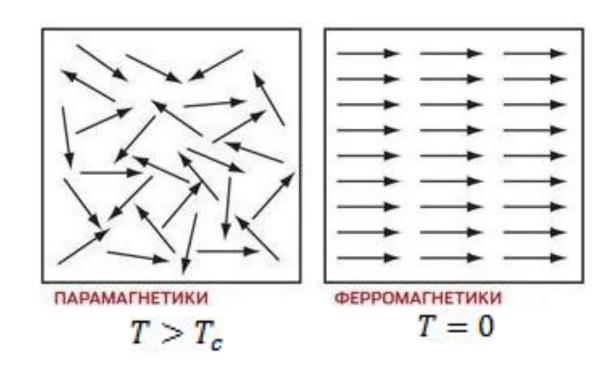
Отсутствие компенсации спиновых моментов в одном из внутренних слоев электронной оболочки атома является необходимым условием ферромагнетизма.

Наличие нескомпенсированных спинов во внутренних слоях является необходимым, но недостаточным условием ферромагнетизма.

Вторым условием возникновения ферромагнетизма является наличие сильного электростатического взаимодействия между электронами соседних атомов, способного ориентировать их нескомпенсированные спиновые магнитные моменты одинаковым образом.

Наличие у вещества спонтанной намагниченности M_s означает, что атомные угловые и магнитные моменты ориентированы в веществе упорядочным образом.

С ростом температуры наступает момент когда тепловое возбуждение разрушает упорядочение магнитных моментов и ферромагнетик переходит в парамагнитное состояние.



В *модели Кюри-Вейсса* считается, что обменное поле \vec{B}_E пропорционально намагниченности вещества \vec{M} :

$$\vec{B}_E = \lambda \vec{M}$$

Здесь λ —постоянная величина, не зависящая от T. Определяется из опыта.

Газ магнитных стрелок упорядочивается полем

$$\vec{B} + \vec{B}_E = \vec{B} + \lambda \vec{M}$$

Где \vec{B} — внешнее магнитное поле.

Для определения намагниченности ферромагнетика получаем следующие трансцендентное уравнение.

$$M = N\mu_B th \frac{\mu_B (B + \lambda M)}{k_B T}$$

Где N — число парамагнитных ионов в единице объема, μ_B - магнитный момент, $k_B T$ - тепловая энергия.

Проанализируем решение уравнения при B = 0:

$$M_s = N\mu_B th\lambda \frac{\mu_B M_s}{k_B T}$$

Пусть уравнение вида:

$$bx = thx$$

Решениями данного трансцендентного уравнения:

1. Высокие температуры:

$$x_1=0\,,\;M_s=0$$

2. Низкие температуры:

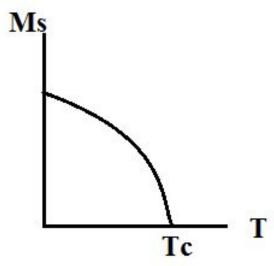
$$x_1 = 0$$
 $x_2 = -x_2 \neq 0$, $M_s \neq 0$

- Дипольное взаимодействие является магнитным по своей природе и меньше кулоновского взаимодействия.
- Обменное взаимодействие связано с действием кулоновских сил между электронами при учете их квантово-маханической природы.

Влияние температуры:

При повышении температуры усиливается дезориентирующее действие теплового движения атомов, которое стремится разрушить состояние самопроизвольной намагниченности ферромагнетика, обусловленное обменным взаимодействием электронов соседних атомов.

При повышении температуры спонтанная намагниченность **уменьшается** и при некоторой температуре, называемой **температурой Кюри**, обращается в нуль.



При Т больше Тс ферромагнетик становится парамагнетиком.

Основные особенности ферромагнетиков.

1

Наличие макроскопических областей (доменов) спонтанного (самопроизвольного) намагничивания до насыщения без воздействия внешнего магнитного поля.

2

Сильная зависимость магнитного состояния от напряженности внешнего магнитного поля и температуры. 3

Наличие температуры (температуры Кюри), выше которой ферромагнетик теряет свойства ферромагнетика и становится парамагнетиком.

4

Наличие отставания намагниченности от напряженности магнитного поля (магнитный гистерезис). 5

Изменение линейных размеров и формы при изменении магнитного состояния (явление магнитострикции).

Антиферромагнетики

Антиферромагнетики — материалы, в которых в результате обменного взаимодействия соседних атомов происходит антипараллельная ориентация равных по величине магнитных моментов.

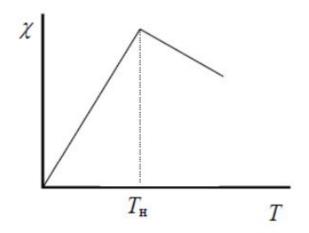
Магнитная восприимчивость $\chi \sim 10^{-2} \div 10^{-5}$ Магнитная проницаемость $\mu \approx 1,0001..$



Гематит

Антиферромагнетики

В точке Нееля **Тн** упорядоченное расположение спинов полностью нарушается и антиферромагнетик становится парамагнетиком, после чего зависимость χ (T) подчиняется закону Кюри-Вейсса.



Зависимость магнитной восприимчивости антиферромагнетика от температуры

Ферримагнетики — материалы, в которых обменное взаимодействие соседних атомов приводит к антипараллельной ориентации различных по величине (нескомпенсированных) магнитных моментов.

Магнитная восприимчивость

Магнитная проницаемость

 $\chi \sim$ до 10^7

 μ до 10^7



Титаномагнетит

Литература

- Легостаев, Николай Степанович Материалы
 электронной техники: учеб. пособие / Н.С. Легостаев. –
 Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники,
 2014. 239 с.
- □ 2.Иванов С. В., Мартышко П.С., Избранные главы физики: Магнетизм, магнитный резонанс, фазовые переходы. Курс лекций. Изд. 2-е. М.: Издательство ЛКИ, 2012.-208 с.
- 3. H u r d C.M. Varieties of Magnetic Order in Solids.—Contemp. Phys., 1982, v. 23, No. 5, pp. 469—493.— Перевод А. С. Пахомова.