

Магнитное поле в веществе

Намагничивание вещества. Намагниченность

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$$

- магнитная индукция в веществе с магнитной проницаемостью μ

Все вещества являются **магнетиками** (при внесении их во внешнее магнитное поле **намагничиваются**, т.е. *создают собственное магнитное поле, которое накладывается на внешнее магнитное поле*).

$$\vec{B} = \mu\vec{B}_0$$

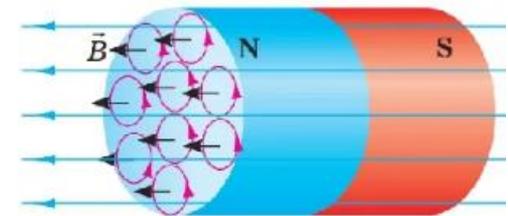
$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

\vec{B} - магнитная индукция в веществе

\vec{B}_0 - магнитная индукция в вакууме (или внешнего поля, созданного макротоками –токами проводимости в проводниках)

\vec{B}' - магнитная индукция поля, созданного намагниченным веществом (или микротоками – **гипотеза Ампера**)

Гипотеза Ампера - магнитные свойства тела можно объяснить циркулирующими внутри него токами.



Микротоками (молекулярными токами) называют токи, обусловленные движением электронов в атомах, молекулах и ионах.

Магнитные свойства вещества определяются **магнитными свойствами электронов и атомов**.

Электрон, движущийся в атоме вокруг ядра эквивалентен замкнутому контуру с **орбитальным током**

$$I = ev$$

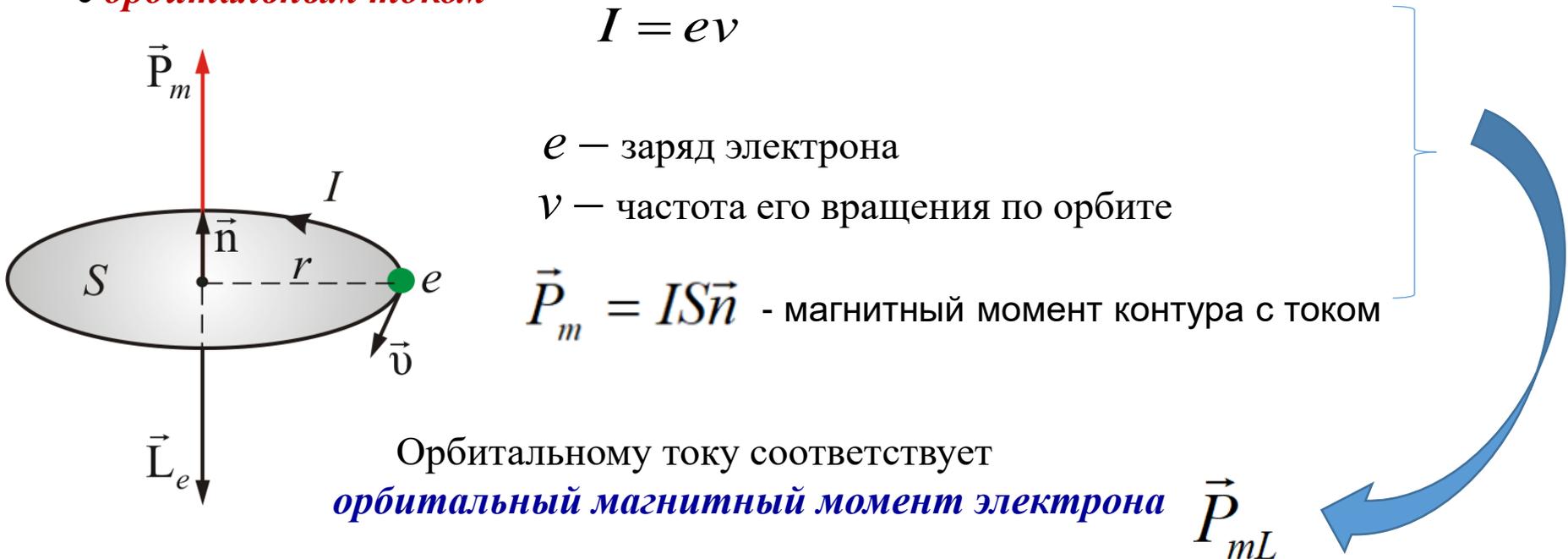
e — заряд электрона

v — частота его вращения по орбите

$$\vec{P}_m = IS\vec{n} \text{ - магнитный момент контура с током}$$

Орбитальному току соответствует **орбитальный магнитный момент электрона** \vec{P}_{mL}

Кроме орбитального электрон обладает **собственным механическим моментом импульса**, который называется **спином электрона**, и соответствующим ему **собственным или спиновым магнитным моментом** \vec{P}_{mS}



$$\vec{P}_a = \sum \vec{P}_{mL} + \sum \vec{P}_{mS} \quad - \text{магнитный момент атома (векторная сумма орбитальных и спиновых магнитных моментов электронов в электронной оболочке атома)}$$

Количественной характеристикой намагниченного состояния вещества служит – **намагниченность**:

$$\vec{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \vec{P}_{a_i} \quad - \text{намагниченность}$$

$$[J] = \frac{A}{M}$$

\vec{P}_{a_i} – магнитный момент i -го атома из числа n атомов, содержащихся в объеме ΔV

Намагниченность - в.ф.в., равная отношению магнитного момента малого объема вещества к величине этого объема.

Опыт показывает, что намагниченность связана с напряженностью намагничивающего поля соотношением (для не сильных полей):

$$\vec{J} = \chi \vec{H}$$

χ - «хи» греч. буква

χ - **магнитная восприимчивость** (безразмерная физическая величина, которая характеризует способность магнетика намагничиваться)

Магнитную индукцию поля, созданного намагниченным веществом, можно выразить через намагниченность вещества

$$\vec{B}' = \mu_0 \vec{J}$$

Тогда

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

$$\mu\mu_0 \vec{H} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \chi \vec{H}$$

$$\mu = 1 + \chi$$

- связь магнитной проницаемости и магнитной восприимчивости

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

-магнитная проницаемость

(показывает во сколько раз магнитная индукция в среде отличается от магнитной индукции в вакууме)

В вакууме $\mu = 1$

Магнитная восприимчивость может быть

$$\chi > 0$$

или

$$\chi < 0$$

Магнитная проницаемость может быть

$$\mu > 1$$

или

$$\mu < 1$$

Классификация магнетиков

(по признакам - 1) реакция на внешнее магнитное поле
2) упорядоченность внутренней структуры)

слабوماгнитные

сильномагнитные

диамагнетики

парамагнетики

ферромагнетики

$$\chi < 0, \chi \sim 10^{-6}$$

$$\chi > 0, \chi \sim 10^{-3}$$

$$\chi > 0, \chi \sim 10^3$$

$$\mu \leq 1$$

$$\mu \geq 1$$

$$\mu \gg 1$$

Висмут

Азот

Вода

Серебро

Медь

Ртуть

Кислород

Платина

Палладий

Магний

Хром

Марганец

Железо

Никель

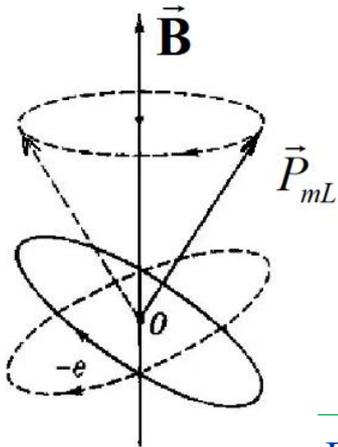
Кобальт

Диамагнетики

Диамагнетики - вещества, которые намагничиваются против внешнего магнитного поля.

К **диамагнетикам** относятся вещества, магнитные моменты атомов которых в отсутствие внешнего поля равны нулю, т.к. магнитные моменты всех электронов атома взаимно скомпенсированы.

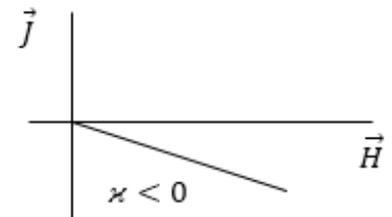
При внесении **диамагнитного вещества** в магнитное поле его атомы приобретают наведенные магнитные моменты $\vec{\Delta P}_m$ *направленные противоположно вектору \vec{B}* .



Электронные орбиты атомов под действием внешнего магнитного поля совершают прецессионное движение, которое эквивалентно круговому току. По правилу Ленца, этот индуцированный внешним магнитным полем ток, создает магнитное поле, направленное против внешнего и ослабляет его.

Этот эффект называют **диамагнитным**.

Внешним проявлением диамагнетизма является выталкивание диамагнетика из неоднородного магнитного поля.

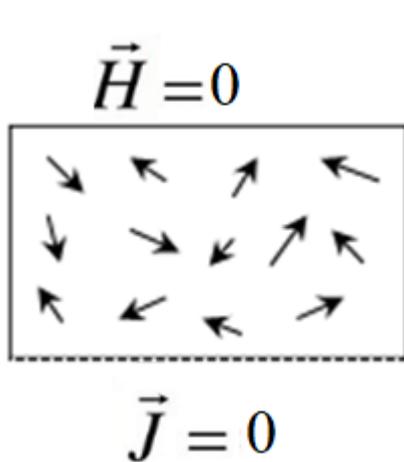


Диамагнитный эффект является универсальным, присущим всем веществам, но в большинстве случаев он перекрывается более сильными магнитными эффектами.

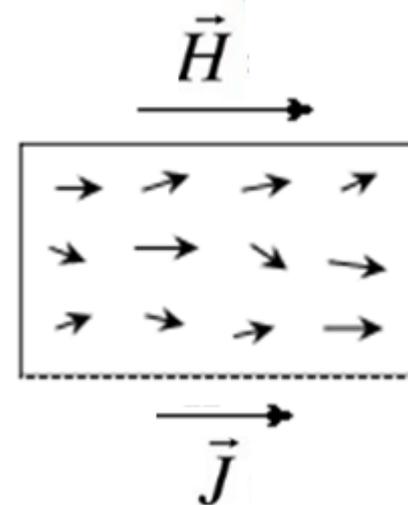
Парамагнетики

Парамагнетики — вещества, которые намагничиваются во магнитном поле в направлении внешнего магнитного поля.

К парамагнетикам относятся вещества, атомы которых имеют в отсутствие внешнего магнитного поля, отличный от нуля магнитный момент.



В отсутствие внешнего магнитного поля парамагнетик не намагничен, так как из-за теплового движения магнитные моменты атомов ориентированы совершенно беспорядочно.



Во внешнем магнитном поле наблюдается преимущественная ориентация магнитных моментов атомов по полю и тем самым создается результирующее поле, превышающее внешнее.

Парамагнетики намагничиваются очень слабо и величина индукции магнитного поля \mathbf{B} в таких веществах мало отличается от величины индукции магнитного поля в вакууме \mathbf{B}_0 .

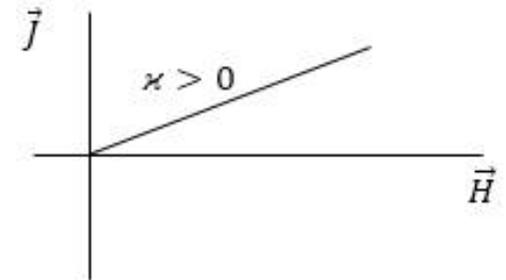
Намагниченность парамагнетиков **прямо пропорциональна напряженности внешнего магнитного поля** и **обратно пропорциональна температуре**.

$$\chi = \frac{C}{T}$$

- закон Кюри

C - **постоянная Кюри** (зависит от природы вещества, определяется экспериментально)

T - абсолютная температура



Если **убрать внешнее магнитное поле**, то парамагнетик тут же **размагничивается**, поскольку **магнитные моменты атомов** снова ориентируются **хаотично**.

Ферромагнетики

Ферромагнетики – вещества, способные обладать намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля.

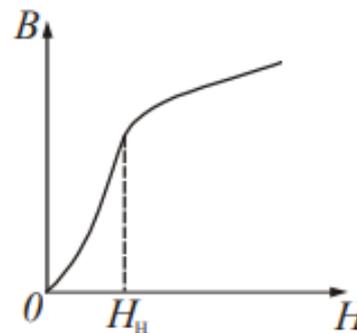
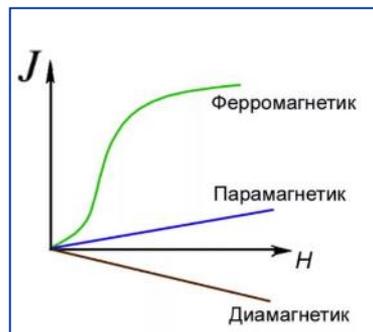
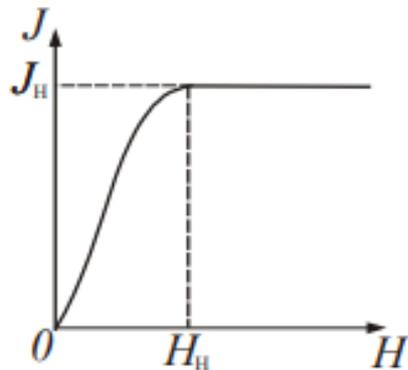
Ферромагнитные свойства проявляются лишь тогда, когда вещество пребывает в кристаллическом состоянии.

Ферромагнетизм вызывается **спиновыми магнитными моментами электронов**. Спиновый магнитный момент отличен от нуля у атомов с недостроенными внутренними электронными оболочками.

Характерные особенности ферромагнетиков

$$\mu=f(H) \text{ и } \chi=f(H)$$

1. Сложная нелинейности зависимости намагниченности J и магнитной индукции B от напряжённости H внешнего магнитного поля.

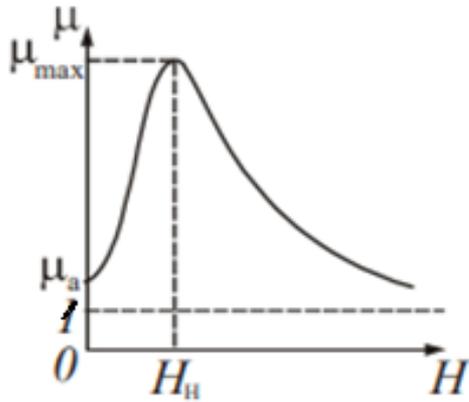


При $H > H_n$ происходит **магнитное насыщение**,
 H_n — напряжённость насыщения

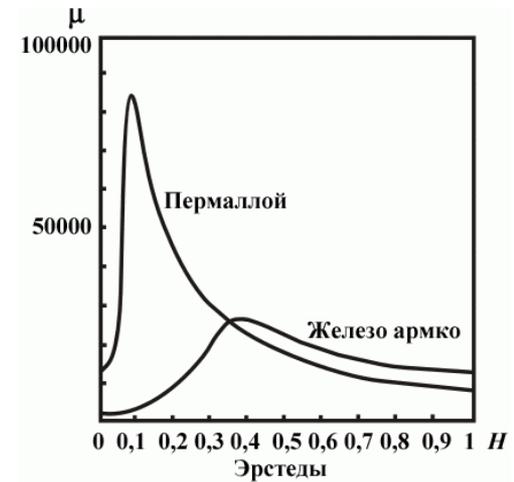
Магнитная индукция B нелинейно растёт с возрастанием поля H и при $H \geq H_n$ кривая переходит в прямую

Зависимость магнитной проницаемости μ от H имеет сложный характер.

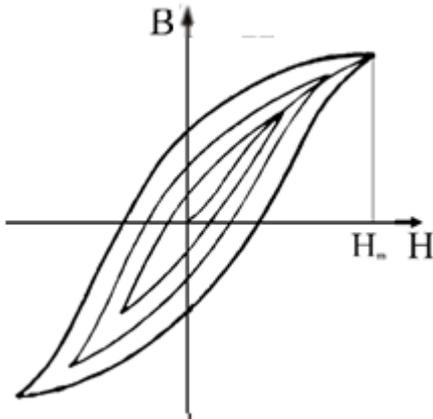
μ_a - начальная магнитная проницаемость.



При $H \rightarrow \infty \quad \mu \rightarrow 1$

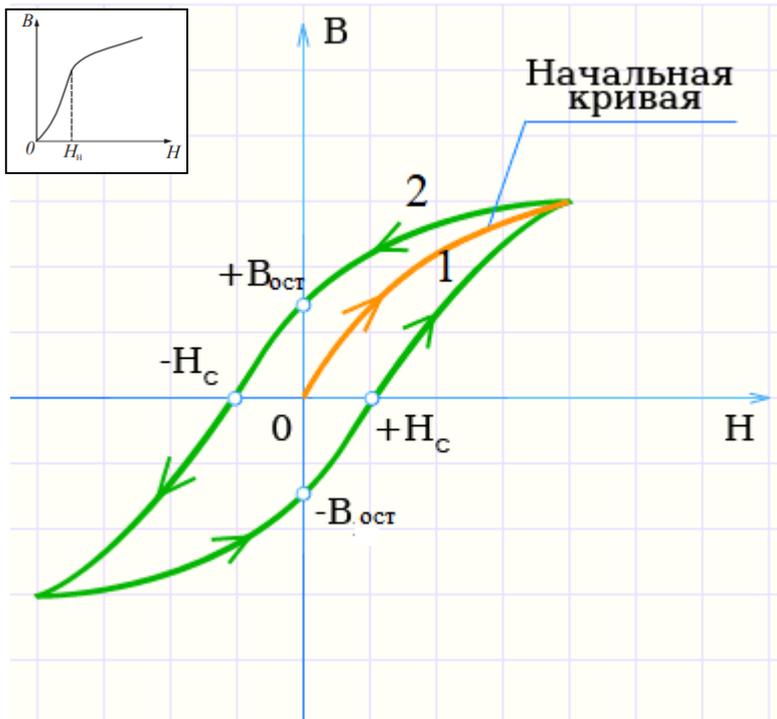


2. Зависимости $J=f(H)$ и $B=f(H)$ не являются однозначными: значения вектора намагничивания и магнитной индукции определяются не только существующим магнитным полем, но и зависят от предшествующего состояния намагничивания.



Для ферромагнетиков присуще явление **гистерезиса**.

Гистерезис (греч.) — отставание, запаздывание



Кривая 01 - $B=f(H)$ при увеличении H для немагниченного образца ферромагнетика

Кривая 2 - $B=f(H)$ при последующем уменьшении H

Кривая 2 лежит **выше** кривой 01 - образец **размагничивается медленнее, чем намагничивался**

Магнитный гистерезис – явление запаздывания изменения B индукции магнитного поля от изменения напряжённости H переменного магнитного поля

При циклическом перемагничивании ферромагнетика зависимость $B=f(H)$ - замкнутая кривая (**петля гистерезиса**).

Основные характеристики ферромагнетика:

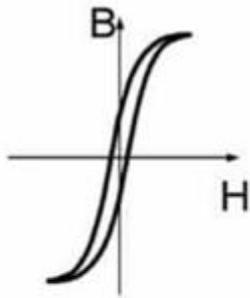
коэрцитивная сила H_c
остаточная индукция $B_{ост}$

Коэрцитивная сила - значение напряженности обратного внешнего магнитного поля, которое необходимо приложить к намагниченному ферромагнетнику, чтобы размагнитить его (она характеризует способность ферромагнетика сохранять намагниченное состояние).

Остаточная индукция - магнитная индукция ферромагнетика при $H = 0$ (характеризует поле постоянных магнитов).

Малую коэрцитивную силу
(узкую петлю гистерезиса) имеют
магнитомягкие материалы

$$H_c < 800 \text{ A / м}$$

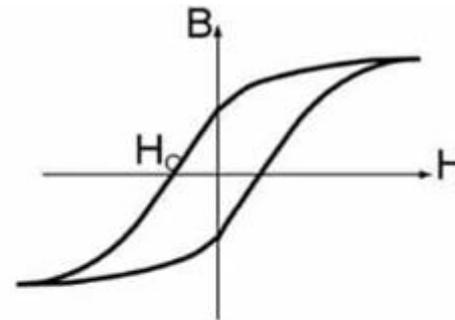


В трансформаторах,
дросселях, электромагнитах



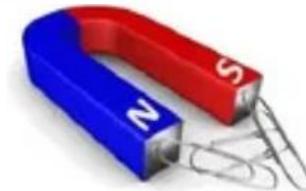
Большой коэрцитивной силой (широкой
петлей гистерезиса) обладают
магнитотвердые материалы

$$H_c > 4 \text{ кА / м}$$



Применение:

Постоянные магниты,
элементы памяти



Площадь петли гистерезиса пропорциональна энергетическим потерям на перемагничивание ферромагнетика.

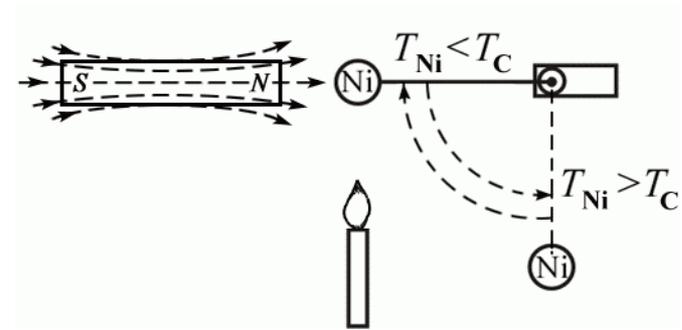
3. У каждого ферромагнетика имеется такая температура, называемая **точкой Кюри** (T_K), выше которой это вещество теряет ферромагнитные свойства и превращается в парамагнетиком.

При охлаждении ферромагнетика *ниже точки Кюри* он *вновь приобретает свои первоначальные свойства*.

$$\chi = \frac{C}{T - T_K} \quad \text{- закон Кюри-Вейса}$$

C – постоянная Кюри
 T – термодинамическая температура
 T_K – температура Кюри.

Материал	Fe	Co	Ni	Gd	Dy
Температура Кюри, К	1043	1403	631	289	87



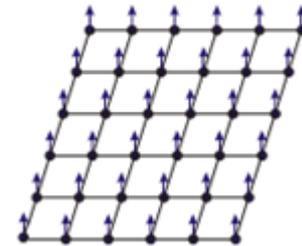
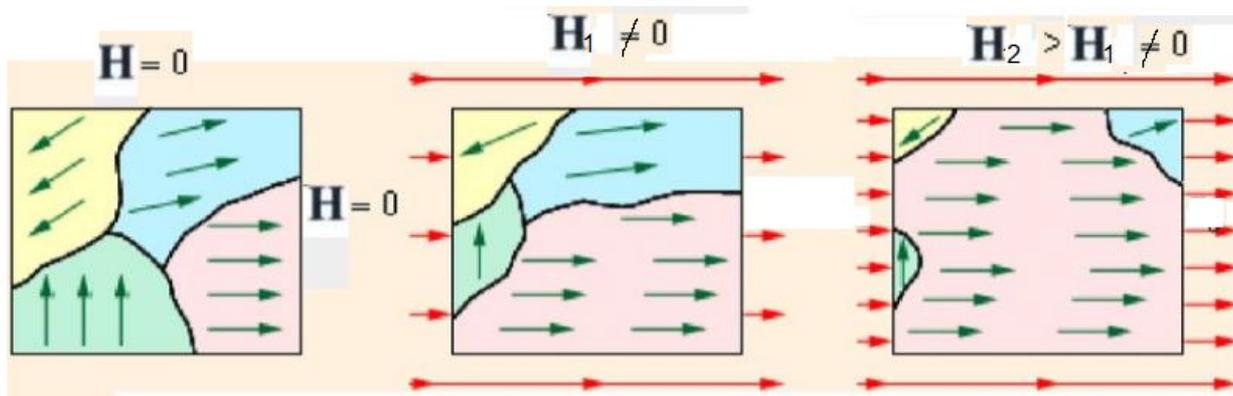
4. При намагничивании ферромагнетика происходит изменение его формы и объема. Это явление называется **магнитострикцией**.

Свойства ферромагнетика объясняются *доменной структурой*.

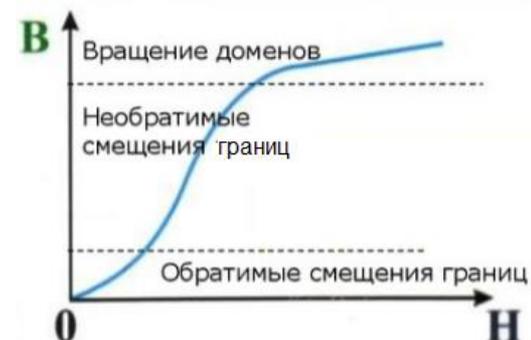
Ферромагнетик состоит из микроскопически малых областей, получивших название **ДОМЕНОВ** (размеры доменов $\sim 1 - 10$ мкм).

Домен - область спонтанно намагниченная до насыщения.

Намагничивание доменов обусловлено параллельным выстраиванием спиновых моментов неспаренных электронов атомов этой области.



Наличие температуры Кюри связано с разрушением при $T > T_K$ упорядоченного состояния в магнитной подсистеме кристалла – параллельной ориентации магнитных моментов.



Доменная структура ферромагнетиков экспериментально подтверждена методом порошковых фигур.

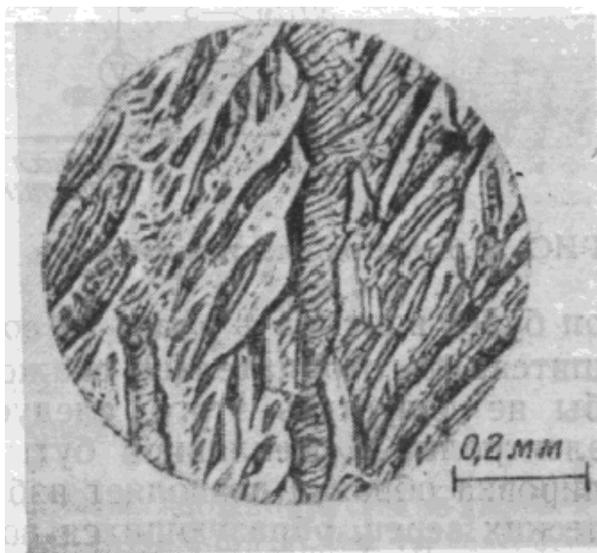
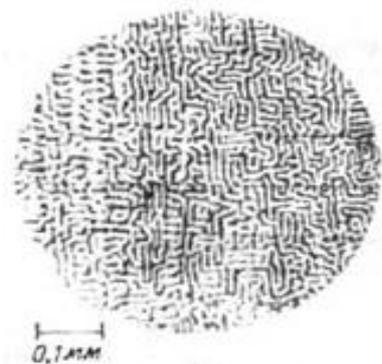
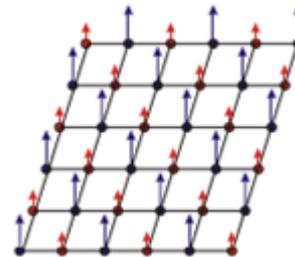
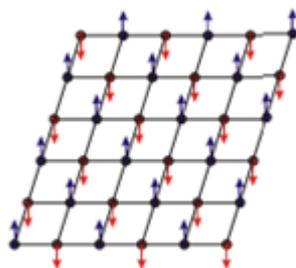


РИС. 15.5. Изображение доменов, наблюдавшееся на кристаллической плоскости, расположенной под углом к главной плоскости (на монокристаллическом образце 4 % Si—Fe).



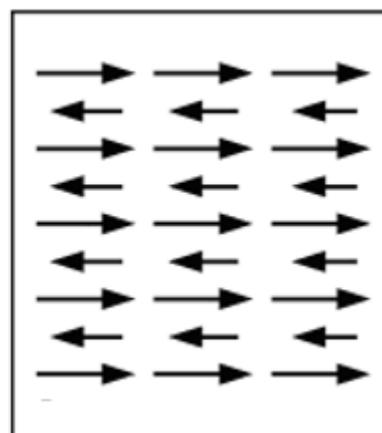
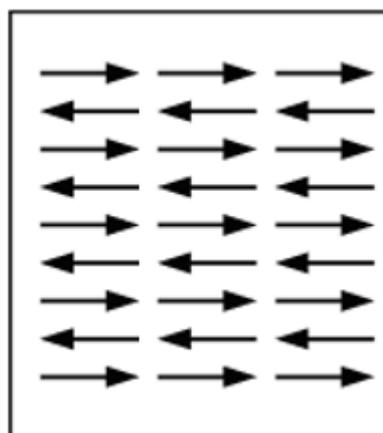
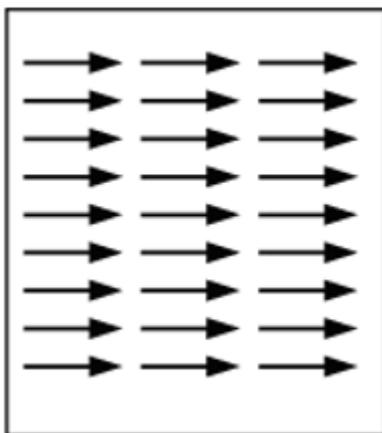
В некоторых случаях обменные силы приводят к возникновению так называемых антиферромагнетиков (хром, марганец). В антиферромагнетиках собственные магнитные моменты электронов ориентированы антипараллельно друг другу. Такая ориентация охватывает попарно соседние атомы. В результате антиферромагнетики обладают крайне малой магнитно восприимчивостью и ведут себя как очень слабые парамагнетики.



ферромагнетик

антиферромагнетик

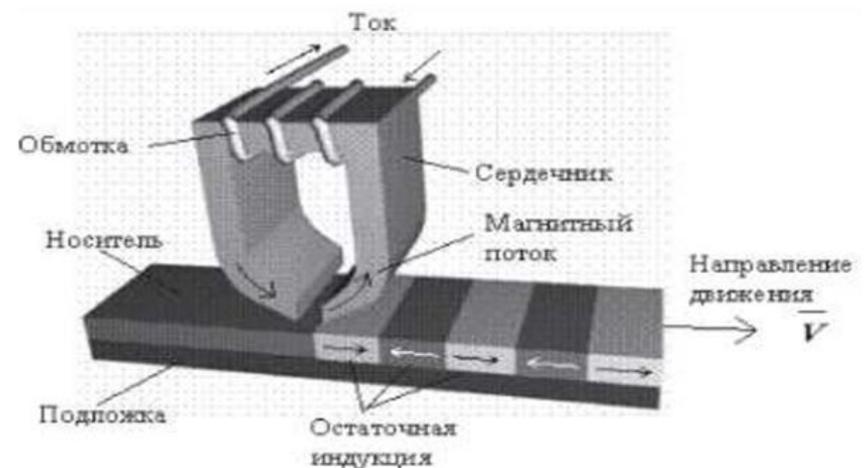
ферримагнетик



Свойство ферромагнетиков менять намагниченность под воздействием внешнего поля привело к созданию магнитных носителей информации.

В основе магнитной записи информации лежит цифровая информация (в виде 0 или 1). С помощью записывающей головки происходит **изменение магнитной индукции носителя**.

Носитель изготавливают из ферромагнитного материала с прямоугольной петлей гистерезиса. Располагается носитель на подложке, в качестве которой может выступать пластмассовая пленка, металлические или стеклянные диски.



Магнитное покрытие носителя представляет собой множество мельчайших областей спонтанной намагниченности – **доменов**.

Магнитный принцип записи и считывания информации.

- В накопителях на гибких магнитных дисках (НГМД) и накопителях на жестких магнитных дисках (НЖМД), или винчестерах, в основу записи информации положено намагничивание ферромагнетиков в магнитном поле, хранение информации основывается на сохранении намагниченности, а считывание информации базируется на явлении электромагнитной индукции.
- В процессе записи информации на гибкие и жесткие магнитные диски головка дисководов с сердечником из магнито-мягкого материала перемещается вдоль магнитного слоя магнито-жесткого носителя. На магнитную головку поступают последовательности электрических импульсов, которые создают в головке магнитное поле. В результате последовательно намагничиваются (логическая единица) или не намагничиваются (логический ноль) элементы поверхности носителя.

Тесты для самоконтроля

1)

По приведенным значениям магнитной проницаемости определите тип магнетика:

1. 5000

2. 0,99996

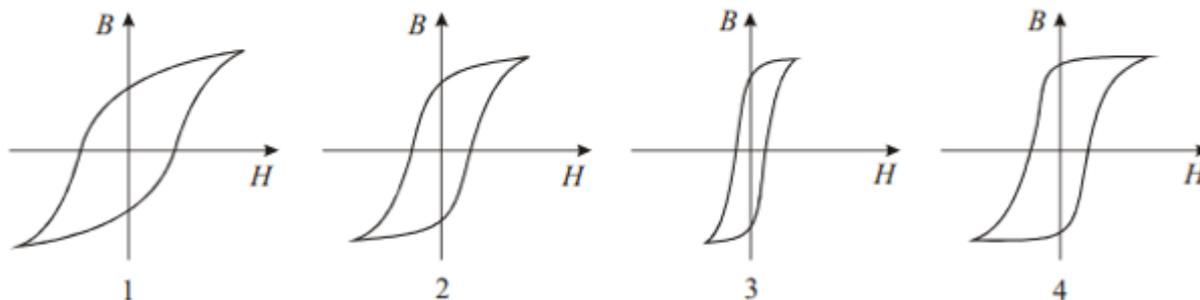
3. 1,00017

4. 0,9998

5. 10

2)

Какой из ферромагнетиков (1,2,3 или 4), петли гистерезиса которых приведены на рисунке, следует использовать в качестве сердечника электромагнита?

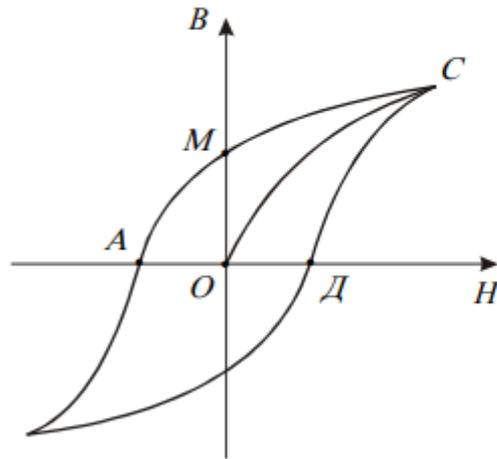


3)

Какой из отрезков (или участков) на приведённой петле гистерезиса ферромагнетика соответствует

- коэрцитивной силе?

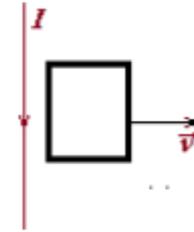
- остаточной индукции?



1. OC 2. AM 3. OA 4. OM 5. AC

4)

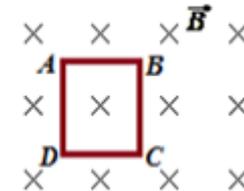
Проволочный виток двигают так, что он остается в одной плоскости с прямым проводником с током I . Что происходит с магнитным потоком, пронизывающим проволочный виток?



- А) Увеличивается.
- Б) Уменьшается.
- В) Остается неизменным.

5)

Что произойдет с магнитным потоком, пронизывающим проволочный виток, если его повернуть относительно стороны AB на 90° ?



- А) Увеличится.
- Б) Уменьшится.
- В) Остается неизменным.