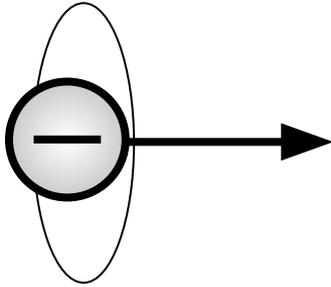
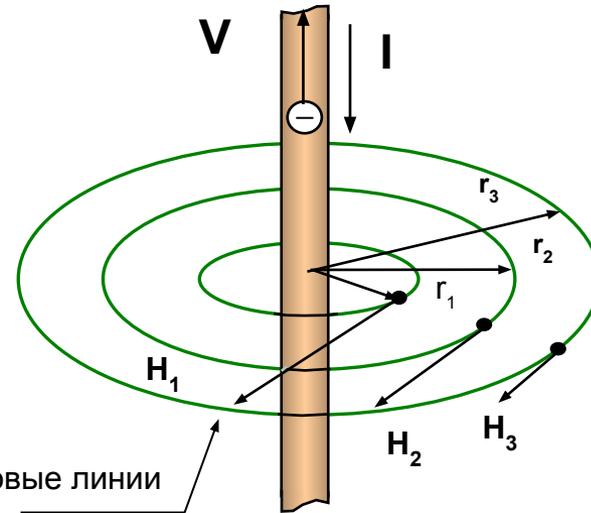
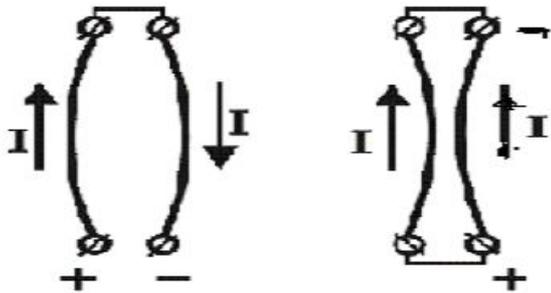
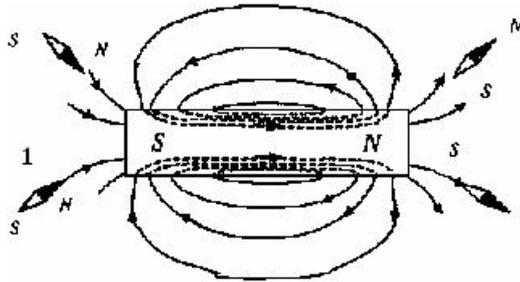


Раздел 3. Некоторые вопросы физики магнитных явлений

Магнитное поле



Магнитное поле возникает вокруг всякого движущегося заряда или заряженного тела



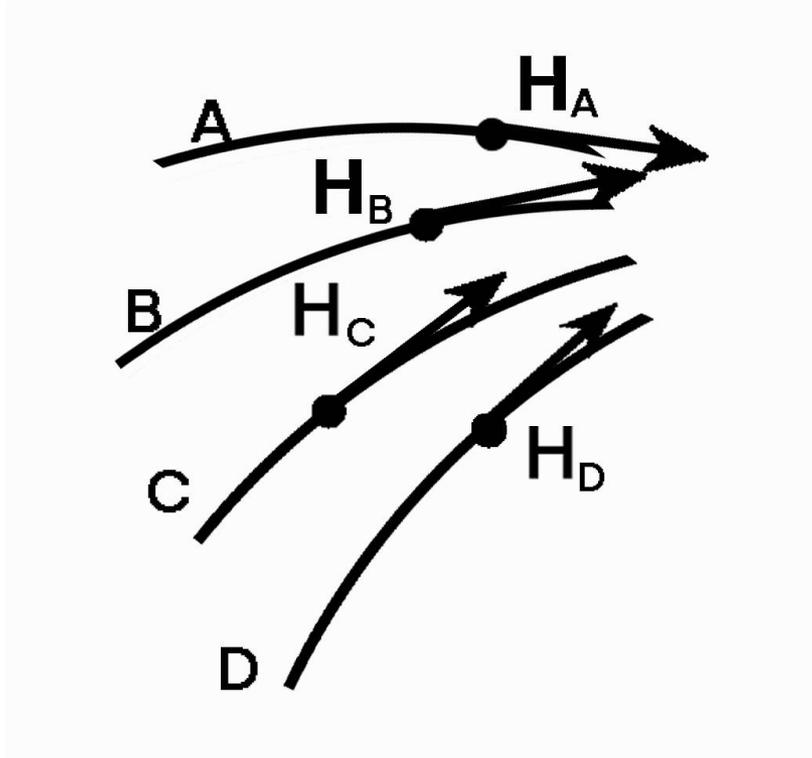
Магнитного поле принято изображать в виде силовых линий. Силовые линии проводника с током имеют вид концентрических окружностей.

Основной характеристикой магнитного поля является напряженность H – векторная величина и силовая характеристика поля, не зависящая от свойств среды. Вектор напряженности магнитного поля H направлен по касательной к силовой линии.

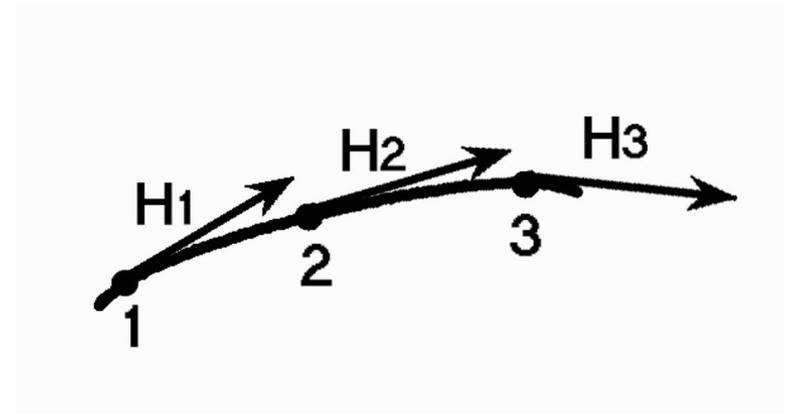
$$H = I/2\pi r$$

Магнитное поле

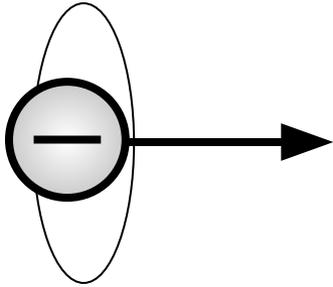
Поле сильнее и, следовательно, величина напряженности больше там, где линии будут расположены гуще, и слабее, где они разряжены. В то же время силовые линии не могут пересекать друг друга.



Физические поля представляются силовыми линиями. Главное свойство такой линии поля состоит в том, что в любой точке, через которую она проходит, направление вектора напряженности совпадает с направлением касательной к ней в этой же точке. Длины векторов, т. е. значения напряженности во всех точках силовой линии, одинаковы.



Магнитное поле



$$F_{\text{Л}} = qv\mu_0 H \sin \alpha$$

где

q – электрический заряд тела;

v – скорость заряженного тела;

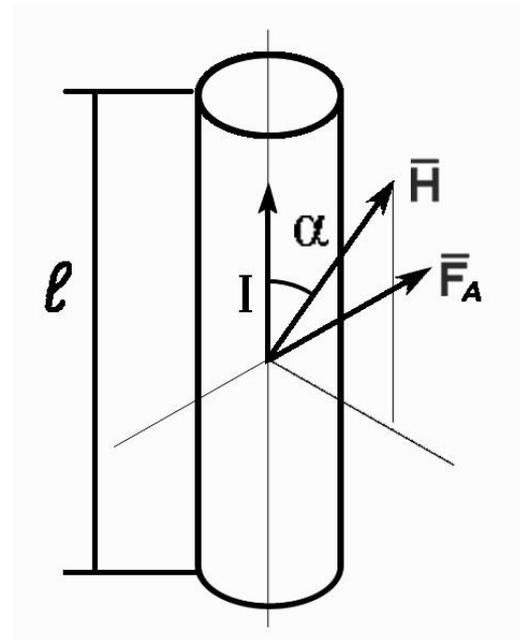
α – угол между направлениями векторов скорости и напряженности магнитного поля;

μ_0 – коэффициент.

Если для гравитационного поля важна лишь масса тела m , для кулоновского – величина его заряда q , а для магнитного поля важными оказываются сразу три фактора: заряд тела, численное значение скорости его движения и направление скорости. Сила, приложенная к движущемуся заряженному телу со стороны магнитного поля, называется силой **Лоренца**

Напряженность магнитного поля H – его силовая характеристика, не зависящая от магнитных свойств среды, в которой поле существует.

Fl - по правилу левой руки



$$F_A = \mu_0 H l \sin \alpha$$

В случае, когда носителями зарядов является движущийся в проводнике поток электронов, силы Лоренца, приложенные к каждому электрону в потоке, складываясь, прижимают их к стенке провода, толкая его поперек движения электронов, т. е. перпендикулярно направлению электрического тока. В результате формула преобразуется и значение силы, действующей на проводник длиной l с током I , расположенный под углом α к направлению поля H , будет определяться законом **Ампера**:

Магнитные характеристики

1. Напряженность магнитного

поля (H) [А/м]

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{J}) ,$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Гн/м) — магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума);

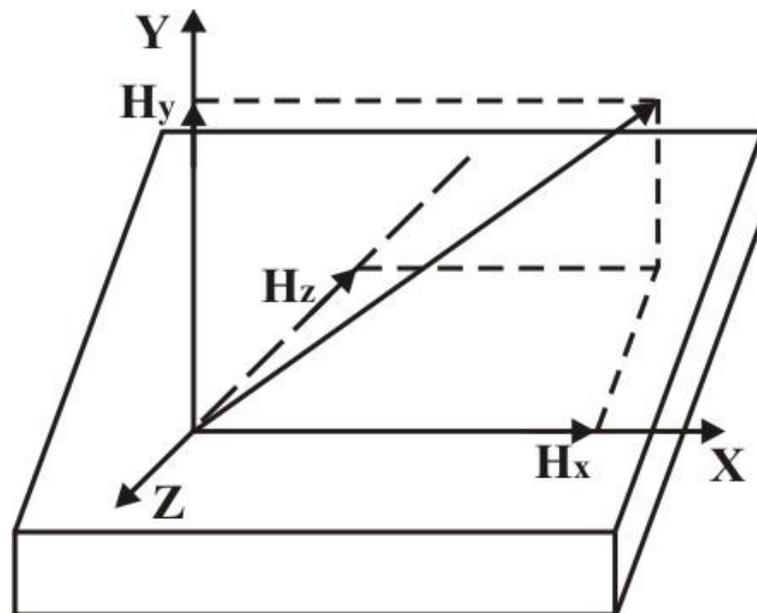
J - вектор намагниченности среды.

Для изотропного материала численное значение напряженности магнитного поля \mathbf{H} определяется по формуле

$$\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu_0 \mu ,$$

где $\mu = \mu_a / \mu_0$ - индукция в данной относительная магнитная проницаемость (показывает, во сколько раз магнитная среда больше, чем в вакууме);

μ_a — абсолютная магнитная проницаемость (показывает способность материала намагничиваться).



Магнитные характеристики

2. **Намагниченность (J) [A/M]** - векторная величина, характеризующая меру намагничивания ферромагнитного тела и равная магнитному моменту M единицы объема рассматриваемого тела, т.е.

$$J = M/V$$

$$J = 4\pi\chi H$$

Типы магнетиков

| Магнетик | Значение магнитной восприимчивости | Примеры веществ | Взаимодействие с полем |
|---------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| диамагнетик | -10^{-5} | Водород, азот, инертные газы, золото, ртуть, кремний, фосфор, дерево, мрамор, вода и др. | слабое |
| парамагнетик | $10^{-2} - 10^{-5}$ | Кислород, литий, олово, алюминий, натрий, платина, калий, молибден, цезий, рубидий, осмий, вольфрам, цирконий и др. | слабое |
| ферромагнетик | $10 - 10^5$ | Железо, никель, кобальт, редкоземельные металлы, тербий, гадолиний, тулий, диспрозий, эрбий и их сплавы и соединения | сильное |

Магнитные характеристики

3. Магнитная индукция (В) [Тл] – векторная величина, характеризующая магнитное поле в веществе. За направление вектора **В** принимается направление силы, действующей на северный полюс магнитной стрелки. При намагничивании индукция результирующего поля равна сумме индукции внешнего поля и индукции молекулярных токов.

Если тело будет изготовлено из другого материала, то величина индукции, как правило, будет другой.

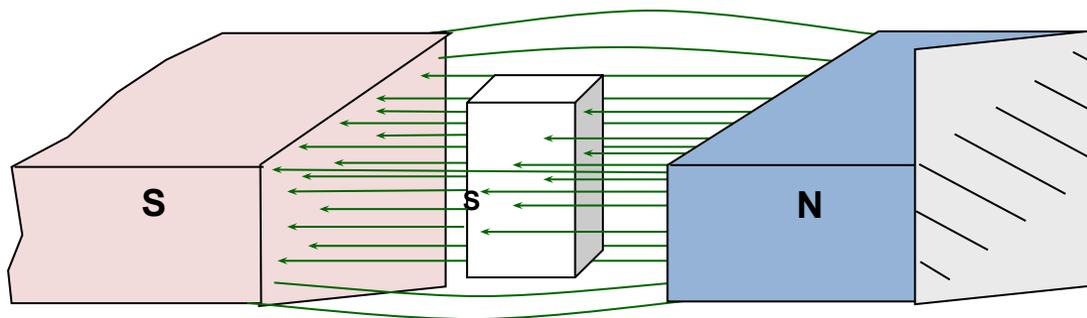
Магнитная индукция определяется отношением максимального вращающего момента **М_{макс}**, действующего на контур с током в магнитном поле, к магнитному моменту этого контура **р_т** :

$$B = M_{\text{макс}}/p_t$$

Магнитные характеристики

3. Магнитный поток (Φ) [Вб] — скалярная величина, которая определяется числом силовых линий магнитной индукции \mathbf{B} , проходящих через поперечное сечение магнитопровода или любую плоскую поверхность с площадью \mathbf{S} .

$$\Phi = BS \cos \alpha$$



4. Намагничивающая (магнитодвижущая) сила (F) [A]

По закону Ома для магнитной цепи величина магнитного потока Φ равна отношению магнитодвижущей силы (м. д. с.) F к магнитному сопротивлению R_m

$$\Phi = F/R_m .$$

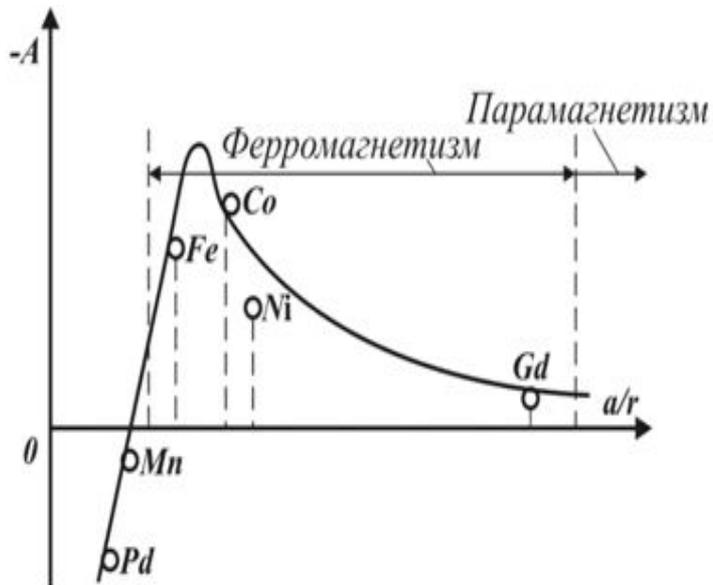
В однородном поле для пути ℓ , совпадающем по направлению с \mathbf{H} , получим

$$F = H\ell$$

Краткие сведения о ферромагнетизме

Ферромагнетизм – это свойство вещества в твердом состоянии, т.е. свойство кристаллов вещества

Зависимость энергии обменного взаимодействия от отношения диаметра атома к диаметру незаполненного электронного слоя



a – расстояние между атомами;
 r – радиус незаполненного электронного слоя (оболочки атома)

Ферромагнетизм обусловлен:

1. Обменном взаимодействием электронами между атомами (обменной энергией)
2. Энергией кристаллографической магнитной анизотропии
3. Магнитоупругой энергией
4. Магнитостатической энергией

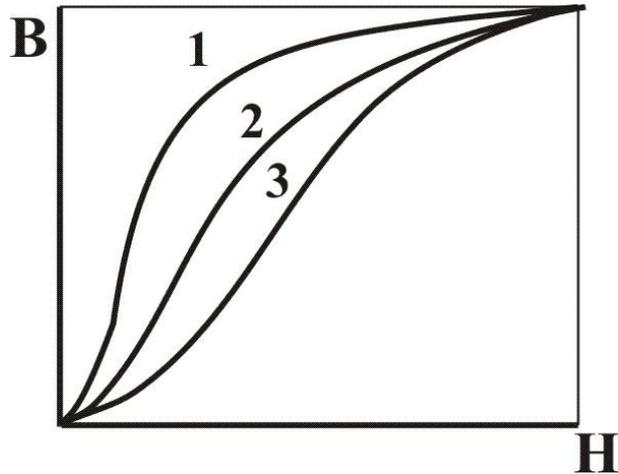
Свойства ферромагнетиков. Они характеризуются:

- большими положительными значениями магнитной проницаемости, ее нелинейной зависимостью от напряженности магнитного поля и температуры;
- способностью намагничиваться до насыщения при обычных температурах в слабых полях;
- гистерезисом;
- точкой Кюри .

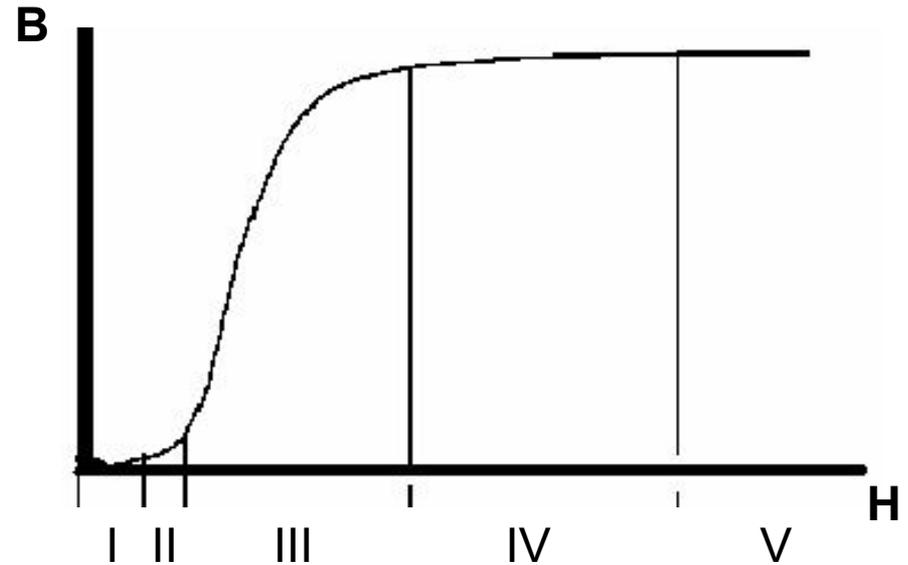
Кривые намагничивания

$$B = \mu_0(H + J)$$

$$J = f(H) \text{ и } B = f(H)$$

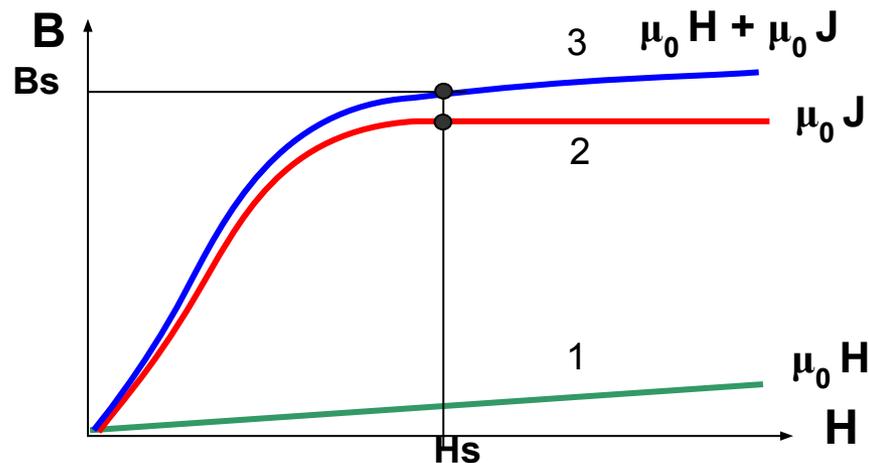
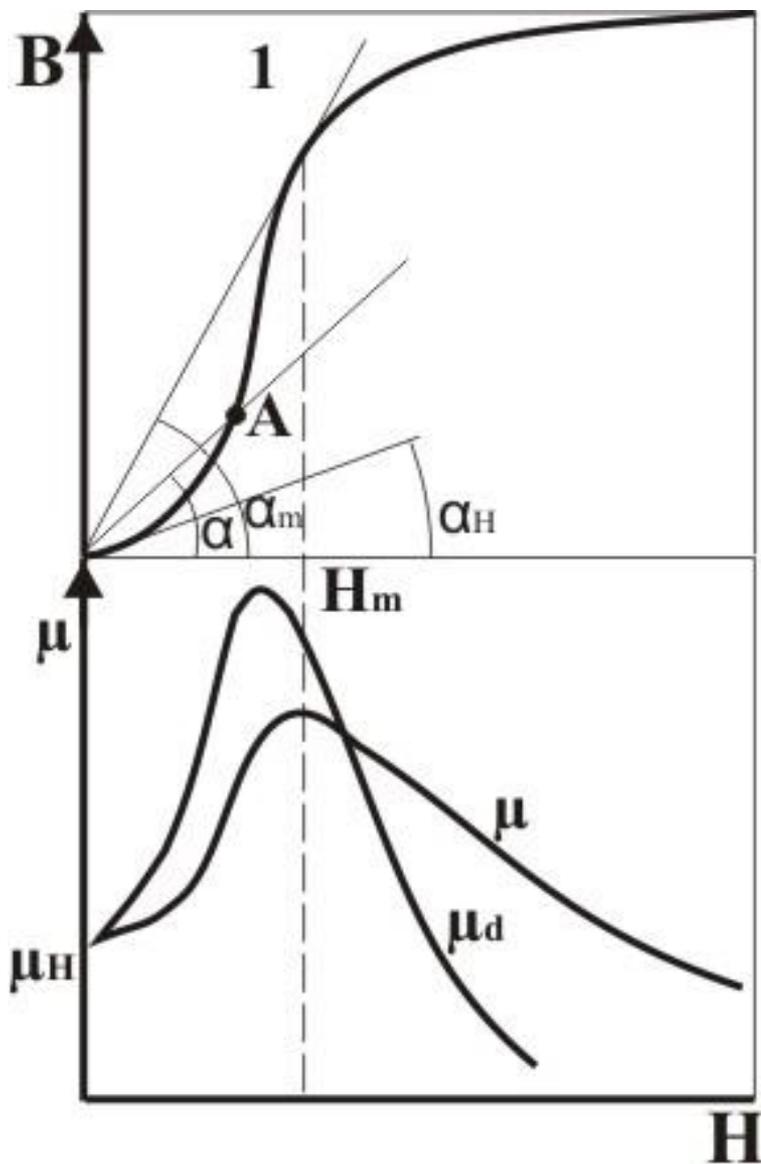


- 1 – идеальная
- 2 – основная
- 3 – начальная



- I участок - область начального (обратимого) намагничивания
- II участок - область Рэлея
- III участок - область наибольших магнитных проницаемостей
- IV участок - область приближения к насыщению
- V участок - область парапроцесса

Магнитная проницаемость



$$B = \mu_0 H + \mu_0 J$$

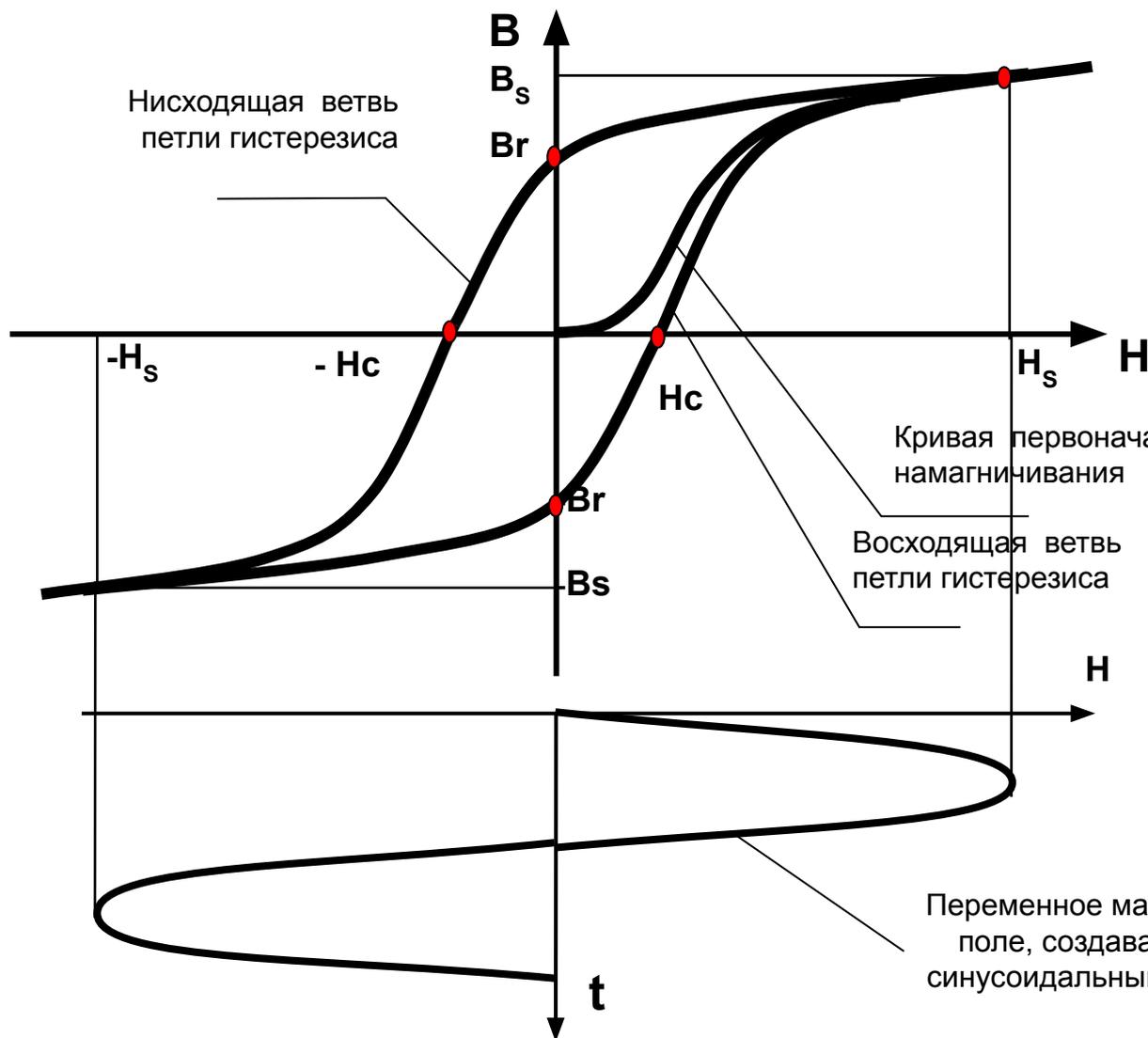
$$\mu = B_A / H_A = \text{tg } \alpha$$

$$\mu_H = \lim(B/H) = \text{tg } \alpha_H$$

$$\mu_{\max} = \text{tg } \alpha_m$$

$$\mu_d = \lim(\Delta B / \Delta H) = dB/dH$$

Симметричная петля гистерезиса



$$P = \int H dB$$

$$p_r = Sf/\gamma,$$

где S - площадь петли гистерезиса, измеренная в квазистатическом режиме, Тл А/м;
 f - частота перемагничивания, Гц;
 γ - удельная плотность материала, кг/м³.

Переменное магнитное поле, создаваемое синусоидальным током