

Магнитное поле в магнетиках

Иллюстративные материалы к лекции №4

Основные темы лекции

1. **Аналогии между электро- и магнитостатикой**
2. **Закон полного тока в веществе**
3. **Условия на границе двух магнетиков**

Законы для полей в вакууме

Электростатика

Поле создается зарядами

Теорема Гаусса

$$\oint_{(S)} \mathbf{E} d\mathbf{S} = \frac{q_{\text{вн}}}{\epsilon_0}$$

Теорема о
циркуляции

$$\oint_{(L)} \mathbf{E} d\mathbf{l} = 0,$$

Магнитостатика

Поле создается токами

Законы для полей в вакууме

Электростатика

Поле создается зарядами

Теорема Гаусса

$$\oint_{(S)} \mathbf{E} d\mathbf{S} = \frac{q_{\text{вн}}}{\epsilon_0}$$

Теорема о
циркуляции

$$\oint_{(L)} \mathbf{E} d\mathbf{l} = 0,$$

Магнитостатика

Поле создается токами

$$\oint_{(S)} \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0.$$

Силовые линии \mathbf{B}
замкнуты

Законы для полей в вакууме

Электростатика

Поле создается зарядами

Теорема Гаусса

$$\oint_{(S)} \mathbf{E} d\mathbf{S} = \frac{q_{\text{охв}}}{\epsilon_0}$$

Теорема о
циркуляции

$$\oint_{(L)} \mathbf{E} d\mathbf{l} = 0,$$

Магнитостатика

Поле создается токами

$$\oint_{(S)} \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0.$$

Силовые линии \mathbf{B}
замкнуты

$$\oint_{(L)} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k = \mu_0 I_{\text{охв}},$$

Закон полного тока

Законы для полей в веществе

Электростатика

Магнитостатика

Поле создается зарядами

Поле создается токами

Теорема Гаусса

$$\oint_{(S)} \mathbf{E} d\mathbf{S} = \frac{1}{\epsilon_0} (q_{\text{своб}} + q_{\text{связ}}).$$

$$\oint_{(S)} \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0.$$

Теорема о циркуляции

$$\oint_{(L)} \mathbf{E} d\mathbf{l} = 0,$$

$$\oint_{(L)} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I_{\text{макро}} + I_{\text{микро}}),$$

Гипотеза Ампера

Закон полного тока

Законы для полей в веществе

Электростатика

Магнитостатика

Поле создается зарядами

Поле создается токами

Теорема Гаусса

$$\oint_{(S)} \mathbf{E} d\mathbf{S} = \frac{1}{\epsilon_0} (q_{\text{охл}}^{\text{своб}} + q_{\text{охл}}^{\text{связ}}).$$

$$\oint_{(S)} (\epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}) d\mathbf{S} = q_{\text{охл}}^{\text{своб}}.$$

$$\oint_{(S)} \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0.$$

Теорема о
циркуляции

$$\oint_{(L)} \mathbf{E} d\mathbf{l} = 0,$$

$$\oint_{(L)} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I_{\text{макро}} + I_{\text{микро}}),$$

$$\oint_{(L)} (\mathbf{B}/\mu_0 - \mathbf{J}) d\mathbf{l} = I_{\text{макро}}.$$

Закон
полного
тока

Законы для полей в веществе

Электростатика

Магнитостатика

Поле создается зарядами

Поле создается токами

Теорема Гаусса

$$\oint_{(S)} \mathbf{E} d\mathbf{S} = \frac{1}{\epsilon_0} (q_{\text{своб}}^{\text{оХВ}} + q_{\text{своб}}^{\text{свЗВ}}).$$

$$\oint_{(S)} (\epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}) d\mathbf{S} = q_{\text{своб}}^{\text{свЗВ}}.$$

$$\oint_{(S)} \mathbf{D} d\mathbf{S} = q_{\text{своб}}^{\text{свЗВ}}.$$

$$\oint_{(L)} \mathbf{E} d\mathbf{l} = 0,$$

Теорема о циркуляции

$$\oint_{(S)} \mathbf{B} d\mathbf{S} = 0.$$

$$\oint_{(L)} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I_{\text{макро}} + I_{\text{микро}}),$$

$$\oint_{(L)} (\mathbf{B}/\mu_0 - \mathbf{J}) d\mathbf{l} = I_{\text{макро}}.$$

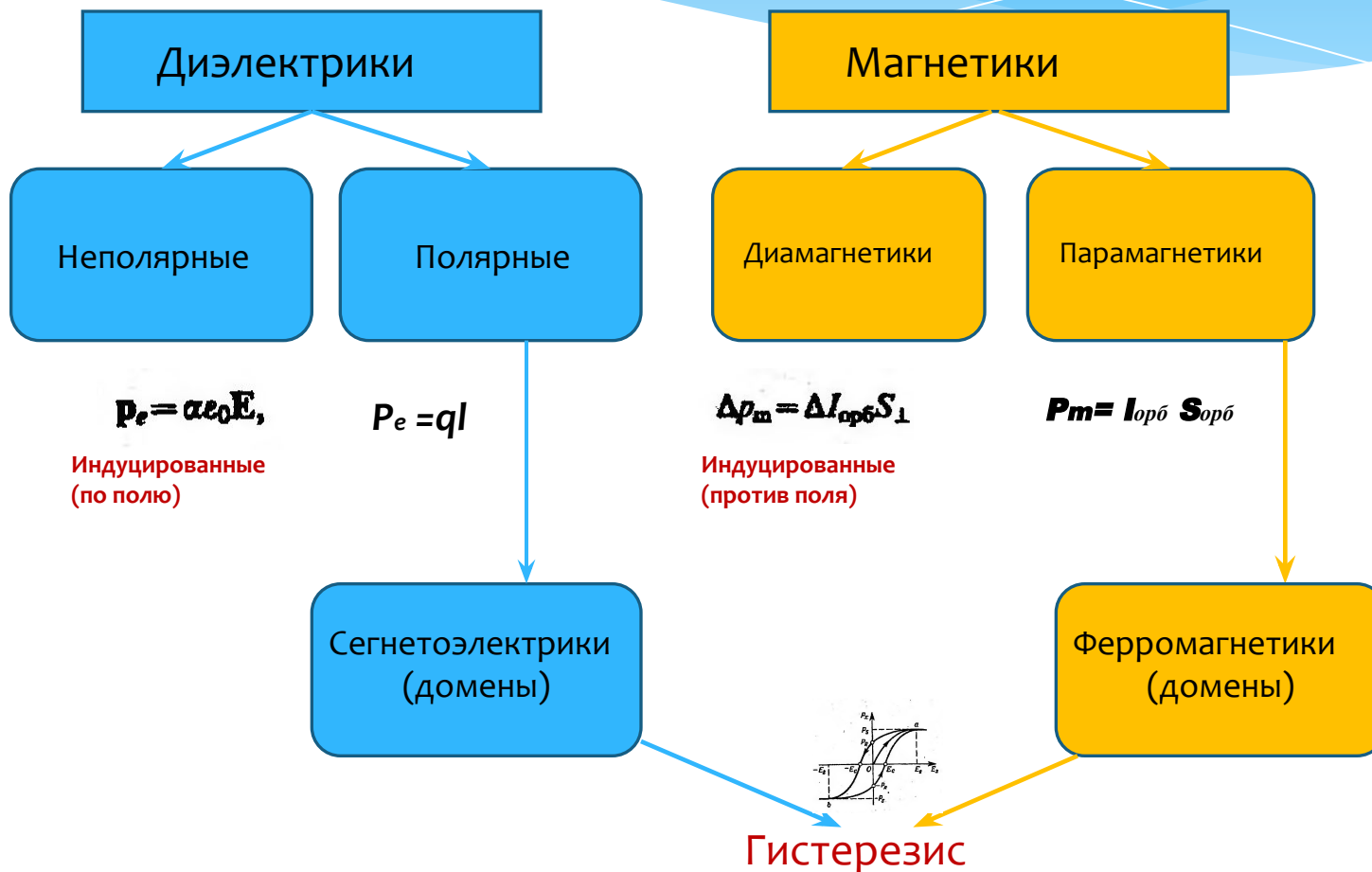
$$\oint_{(L)} \mathbf{H} d\mathbf{l} = I_{\text{макро}}.$$

Закон
полного
тока

Типы веществ

Электростатика

Магнитостатика



Характеристики поля в веществе

Электростатика

Векторная сумма
дипольных
моментов атомов
(молекул)

$$\mathbf{P} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \mathbf{P}_{el,i}$$

Поляризованность
(вектор поляризации)

Зависимость от
внешнего поля

$$\mathbf{P} = \chi \varepsilon_0 \mathbf{E},$$

Проницаемость и
восприимчивость

$$\varepsilon = 1 + \chi$$

Вспомогательная
силовая
характеристика

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \mathbf{E},$$

Магнитостатика

$$\mathbf{J} = \frac{1}{\Delta V} \sum_{i=1}^n \mathbf{P}_{mi,i}$$

Намагниченность
(вектор намагниченности)

$$\mathbf{J} = \varkappa \mathbf{H}.$$

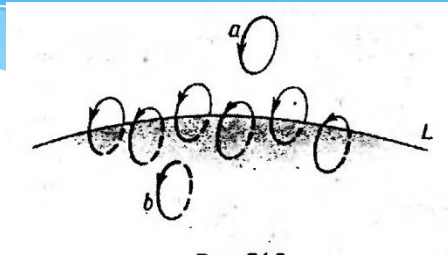
$$\mu = 1 + \varkappa$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{B}/\mu_0 - \mathbf{J}$$

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

Закон полного тока в веществе

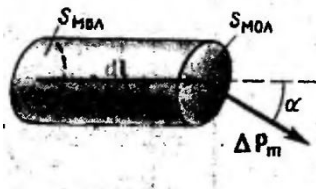
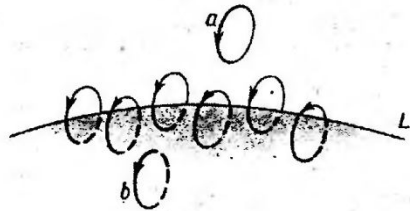
$$\oint_{(L)} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I_{\text{макро}} + I_{\text{микро}}),$$



При обходе
контура L
вклад дают
только
молекулярные
токи,
нанизанные на
контур

Закон полного тока в веществе

$$\oint_{(L)} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I_{\text{макро}} + I_{\text{микро}}),$$



$$dn = n_0 S_{\text{мол}} dl \cos \alpha,$$

Число токов в элементе контура

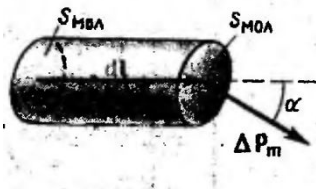
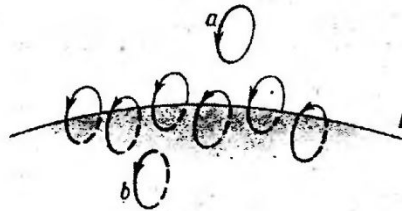
$$dI_{\text{микро}} = I_{\text{мол}} n_0 S_{\text{мол}} dl \cos \alpha = n_0 \Delta P_m dl \cos \alpha = \mathbf{J} d\mathbf{l},$$

Величина микротока в элементе контура

При обходе контура L вклад дают только молекулярные токи, нанизанные на контур

Закон полного тока в веществе

$$\oint_{(L)} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I_{\text{макро}} + I_{\text{микро}}),$$



$$dn = n_0 S_{\text{мол}} dl \cos \alpha,$$

Число токов в элементе контура

$$dI_{\text{микро}} = I_{\text{мол}} n_0 S_{\text{мол}} dl \cos \alpha = n_0 \Delta P_m dl \cos \alpha = \mathbf{J} d\mathbf{l},$$

Величина микротока в элементе контура

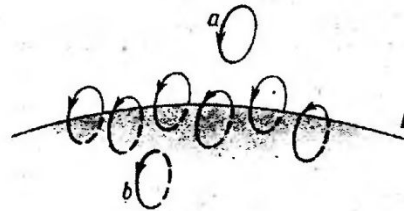


$$I_{\text{микро}} = \oint_{(L)} \mathbf{J} d\mathbf{l}.$$

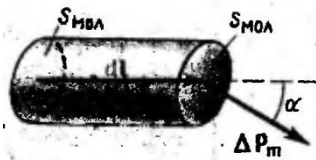
При обходе контура L вклад дают только молекулярные токи, нанизанные на контур

Закон полного тока в веществе

$$\oint_{(L)} \mathbf{B} d\mathbf{l} = \mu_0 (I_{\text{макро}} + I_{\text{микро}}),$$



При обходе контура L вклад дают только молекулярные токи, нанизанные на контур



$$dn = n_0 S_{\text{мол}} dl \cos \alpha,$$

Число токов в элементе контура

$$dI_{\text{микро}} = I_{\text{мол}} n_0 S_{\text{мол}} dl \cos \alpha = n_0 \Delta P_{\text{м}} dl \cos \alpha = \mathbf{J} d\mathbf{l},$$

Величина микротока в элементе контура

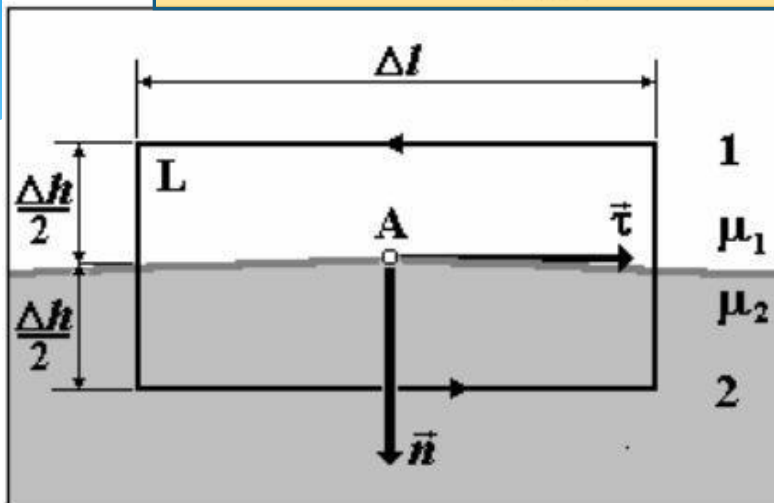
$$\longrightarrow I_{\text{микро}} = \oint_{(L)} \mathbf{J} d\mathbf{l}.$$

$$\oint_{(L)} \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} d\mathbf{l} = I_{\text{макро}} + \oint_{(L)} \mathbf{J} d\mathbf{l}.$$

$$\longrightarrow \oint_{(L)} (\mathbf{B}/\mu_0 - \mathbf{J}) d\mathbf{l} = I_{\text{макро}}.$$

$$\oint_{(L)} \mathbf{H} d\mathbf{l} = I_{\text{макро}}.$$

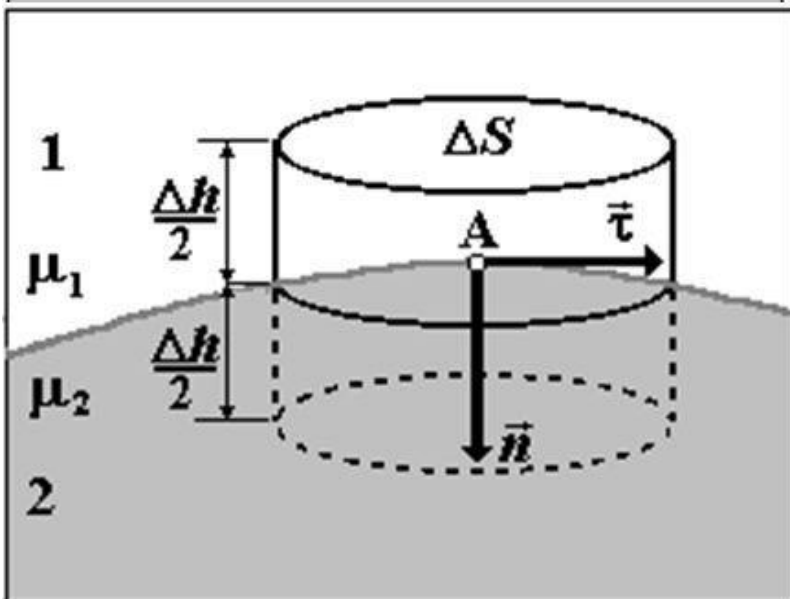
Условия для магнитного поля на границе раздела двух изотропных сред (граничные условия)



$$\lim_{\Delta h \rightarrow 0} \oint_L (\mathbf{H}, d\mathbf{l}) = (H_{2\tau} - H_{1\tau}) \Delta l = 0$$

$$H_{2\tau} = H_{1\tau}$$

касательная к поверхности раздела двух сред составляющая напряженности магнитного не изменяется при переходе из одной среды в другую.



$$\lim_{\Delta h \rightarrow 0} \oint_S (\mathbf{B}, d\mathbf{S}) = (B_{2n} - B_{1n}) \Delta S = 0$$

$$B_{2n} = B_{1n}$$

при переходе через границу раздела двух сред, нормальная составляющая вектора магнитной индукции не изменяется

Условия

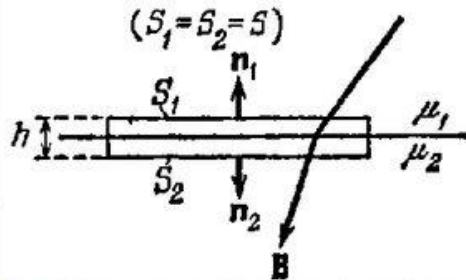
на границе двух магнетиков

Вблизи поверхности раздела 2-х магнетиков должны выполняться следующие условия:

$$\nabla \vec{B} = 0 \quad \text{и} \quad [\nabla \vec{H}] = \vec{j}$$

Возьмем

цилиндрическую
поверхность
высотой h с
основаниями S_1 и S_2 .



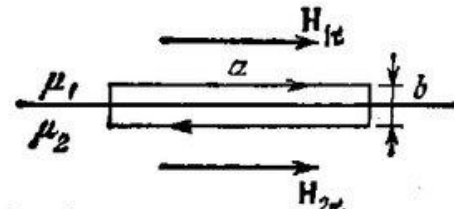
- $\Phi_B = B_{1n}S + B_{2n}S + \langle B_n \rangle S_{бок.}$
 Т.к. $\nabla \vec{B} = 0$, то и $\Phi_B = 0$; $h \rightarrow 0 \Rightarrow B_{1n} = -B_{2n}$
 Если проецировать на одну и ту же нормаль:

$$B_{1n} = B_{2n}$$

$$\mu_0 \mu_1 H_{1n} = \mu_0 \mu_2 H_{2n}$$

$$\frac{H_{1n}}{H_{2n}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

Нормальная составляющая вектора B изменяется непрерывно, а нормальная составляющая вектора H претерпевает разрыв.



Возьмем
на границе
прямоугольный
контур и
вычислим
для него
 $\oint \vec{H} d\vec{\ell}$

- $\oint \vec{H} d\vec{\ell} = H_{1t}a - H_{2t}a + \langle H_t \rangle 2b$, где
 $\langle H_t \rangle$ - среднее значение H_t на перпендикулярных частях контура.
 Если по границе раздела не протекают макроскопические токи, то $\oint \vec{H} d\vec{\ell} = 0$.
 Т.к. $b \rightarrow 0$, то $H_{1t} = H_{2t}$

$$\frac{B_{1\tau}}{\mu_0 \mu_1} = \frac{B_{2\tau}}{\mu_0 \mu_2} \Rightarrow \frac{B_{1\tau}}{B_{2\tau}} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

Тангенциальная составляющая вектора H изменяется непрерывно, а тангенциальная составляющая вектора B претерпевает разрыв при переходе через границу.

The top of the slide features a solid blue rectangular area. Below this, there are several overlapping, wavy, light blue shapes that create a sense of movement and depth, resembling stylized waves or a modern graphic design element.

Спасибо за внимание!