

Магнитостатика вакуума:

✓ 1. **\*\*Явление электромагнитной индукции в движущихся проводниках. Закон Фарадея. Правило Ленца\*\* @critical @done (18-01-02 23:21)**

Рассмотреть станок Фарадея (простой контур), ЭДС расписать как работу по перемещению + заряда / ед. + заряд.

Учесть знак через скалярное произведение, т.к. нормаль и  $\mathbf{V}$  противонаправлены

Взять сложный контур, наложив условие  $[\mathbf{dr} \times \mathbf{dl}] = -\delta S$ , расписать ЭДС как интеграл (циркуляцию) напряженности сторонних сил. Показать что формула аналогична простому контуру.

Показать на основе закона Фарадея, что индуцированный ток течет так, чтобы своим  $\mathbf{V}_{\text{инд}}$  противостоять причине, его вызывающей. Это и есть правило Ленца

✓ 2. **Энергетика динамомашин и электромотора @done (18-01-05 17:57)**

Динамомашинка. Рассмотреть контур с двигающейся перемычкой в магнитном поле. Записать силу Лоренца для единичного заряда, показать что полная работа магнитного поля равна нулю (записав через мощность  $P = dA/dt = (\mathbf{F}_{\text{сумм}}, \mathbf{v}_{\text{сумм}})$ ), полезную работу совершает только продольная перемычке составляющая, на преодоление поперечной надо тратить энергию (налог!)

Электромотор. Записать цепочку действий.  $\mathbf{J}$  порождает  $\mathbf{F}_A$ , перемычка двигаясь изменяет поток - возникает  $\mathbf{J}_{\text{инд}}$ , под его действием возникает сила  $\mathbf{F}_l$  в перемычке, которая порождает  $\mathbf{F}_{l2}$ , противонаправленную  $\mathbf{F}_A$ . Таким образом, суммарная наша работа  $A_{\text{сумм}} = A_{FA} + A_{Fl2}$ , где работа силы Лоренца отрицательна (налог!)

✓ 3. **\*\*Явление электромагнитной индукции в неподвижных проводниках. Вихревое электрическое поле\*\* @critical @done (18-01-03 00:36)**

Показать взаимность движения контура или движения магнита, в общем случае  $d\Phi/dt$  не равно частной производной  $d\Phi/dt$ . Введем вихревое поле, его циркуляция уже не ноль, линии всегда замкнуты. Записать ур-е Максвелла циркуляции  $\mathbf{E}$

✓ 4. **Индукционный ускоритель электронов (бетатрон) @done (18-01-03 13:45)**

Записать  $Z_N$  для  $n$ ) и для  $\tau$ ) . Записать ур-е Максвелла циркуляции  $\mathbf{E}$ , где поток представить как среднее по  $\mathbf{V}$  на площадь, выразить  $\mathbf{E}$ , подставить в  $\tau$ ) -> выразить связь  $\mathbf{V}_{\text{орб}}$  и  $\langle \mathbf{V} \rangle$

✓ 5. **Измерение циркуляции вектора  $\mathbf{B}$  при помощи пояса Роговского @done (18-01-03 13:18)**

Записать поток через один виток. Найти ЭДС на одном витке, отсюда выразить ЭДС на элементе пояса. Проинтегрировать по поясу, выразить амплитуду - из нее можно найти циркуляцию, зная амплитуду, плотность намотки, частоту и площадь сечения

✓ 6. **\*\*Индуктивность (коэффициент самоиндукции). Примеры вычисления (соленоид, тороидальная катушка)\*\* @critical @done (18-01-03 14:12)**

Записать поток в кольце с током. Показать появление собственного потока -> собственная (само) индукция. Рассмотреть соленоид, поле считать постоянным, выразить индуктивность. для

торида лучше рассмотреть прямоугольный, найти поток интегрированием, найти сцепленный поток и выразить индуктивность.

✓ **7. Процессы установления в контуре с индуктивностью @done (18-01-03 15:17)**

Рассмотреть цепочку ключ-эДС-резистор-катушка. Показать затягивание процесса индуктивностью и выход на бесконечности на константу (процесс установления)

✓ **8. Коэффициент взаимоиנדукции. Примеры вычисления @done (18-01-03 15:26)**

Рассмотреть поток в двух кольцах с током. Показать что  $M > 0$ , алг. величина. Найти  $M$  для совмещенных соленоидов ( $M = \sqrt{L_1 L_2}$ )

✓ **9. Трансформатор @done (18-01-03 23:05)**

Рассмотреть два коаксиальных соленоида  $S_1, N_1, L_1$  и  $S_2, N_2, L_2$ . Исходя из предположения разомкнутого выхода 2 (холостой ход) ( $J_2 = 0$ ) и  $R_1 = R_2 = 0$  найти  $K_u = U_2/U_1$ . Из ЗСЭ  $\rightarrow$  равенство входной и выходной мощности при  $J_2 \neq 0$ ;  $\Rightarrow K_J = 1/K_u$

✓ **10. \*\*Магнитная энергия одиночного контура и двух индуктивно связанных контуров\*\* @critical @done (18-01-04 13:31)**

Записать работу  $dA$  по перемещению эл. заряда  $dq$  посредством ЭДС самоиндукции через закон Фарадея, расписать через  $\Phi = fLJ$ , с уточнением жесткого контура ( $L = \text{const}$ ) преобразовать производную  $\rightarrow$  записать  $dA = -dW_M$  (работу могло совершить только поле!), проинтегрировать.

Для двух контуров нарисовать трансформатор ЭДС1,  $R_1, L_1$  + ЭДС2,  $R_2, L_2$ . Записать ур-я Кирхгофа. Домножить так, чтобы получить  $dQ = dA_{\text{ист}} + ?$  очевидно,  $? = dW_M$ .

Требуем чтобы  $dW_M$  было полным дифференциалом, тогда из равенства вторых производных  $M_{12} = M_{21} = M$ . Преобразованием дифференциала группируем слагаемые, интегрируем - получаем энергию связанных контуров.

✓ **11. \*\*Плотность энергии магнитного поля\*\* @critical @done (18-01-04 14:22)**

Объяснить локализацию поля (где оно? в поле или в проводках) на частном примере соленоида (возникнет множитель объема,  $W \sim V$ ). Выразить  $w_M$  как  $W/V$  (плотность энергии). Записать суммарную плотность энергии электрической и магнитной ( $B$  СГС  $w = B^2/8\pi + E^2/8\pi$ ).

✓ **12. Ток смещения (в вакууме) @done (18-01-04 20:41)**

Запишем теорему о циркуляции  $B$  для конденсатора. Заметим, что разным выбором натягиваемой площадки  $S$  мы получим разные ответы - это произвол, такого быть не может.

Заметим, что продифференцировав теорему гаусса, с учетом ЗСЭЗ, мы получим некий новый ток. Плотность суммарного тока и плотности этого тока (тока смещения) дает полный ток, линии которого замкнуты -- а значит, если мы подставим его в уравнение о циркуляции, противоречие исчезнет! Ток смещения -- не настоящий ток. Из свойств настоящего тока он обладает только свойством создавать поле  $B$ .

Полученное уравнение - т.ц. для вектора  $B$  в вакууме.

✓ **13. Система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной форме (в вакууме) @critical @done (18-01-05 18:25)**

Записать систему ур-й в СИ и в СГС. Рассмотреть т. гаусса для элементарного объема: расписать потоки через каждую сторону, преобразовать в частные производные, подставить в теорему, сократить  $dv=dx*dy*dz$  слева и справа - полученное выражение  $\text{div } E=k*4*\pi*\rho$

Рассмотреть теорему о циркуляции  $E$  для элементарного объема. Записать контур в плоскости  $YZ$ . расписать для него циркуляцию вектора  $E$  для всех 4 сторон и поток  $B_x$ . Преобразовать в частные производные, заметим что система симметрична - циклической перестановкой  $xuz \rightarrow zyx \rightarrow yxz \rightarrow xuz$  получим оставшиеся два уравнения. Домножив на орты осей и сложив, получим определитель ротора слева и  $-f \text{ dB/dt}$  справа.

Записать по аналогии т. о потоке поля  $B$  (зарядов нет) и т. о циркуляции поля  $B$ .

*Электротехнические приложения:*

✓ **14. \*\*Расчет цепей синусоидального тока методом векторных диаграмм и методом комплексных амплитуд\*\* @critical @done (18-01-05 12:43)**

Записать гармонические колебания тока и напряжения. Показать их изображение в векторном и в комплексном виде. Записать импедансы идеальных элементов через МВД и МКА (без вывода).

Записать закон Ома в комплексном виде. Обосновать от противного - показать что сложение комплексных гармонических колебаний. Очевидно, что сложение их модулей неверно, не учитывает фазы, значит в законе Ома нужно работать с комплексными величинами.

Записать правила Кирхгофа, 1 и 2, в комплексном виде.

Рассмотреть последовательное соединение двухполюсников и параллельное, расписать.

Привести пример -- например реальный конденсатор.

✓ **15. Свойства идеальных элементов (резистора, конденсатора, катушки) @done (18-01-05 12:43)**

Записать импедансы (без вывода? наверное можно вывести в комплексном виде). Построить зависимость  $Z(\omega)$ . Отметить идеальность: резистор не обладает емкостью и индуктивностью и т.д.

✓ **16. \*\*Импеданс двухполюсников\*\* @critical @done (18-01-05 12:47)**

Расписать импедансы через  $S=A_0*\cos(\omega t+\phi)$  Построить зависимость  $Z(\omega)$ .

✓ **17. Четырехполюсники в цепях переменного тока. Интегрирующие и дифференцирующие цепочки @done (18-01-05 14:39)**

Найти коэфф. передачи для делителя напряжения  $R[R]$ , ФНЧ  $L[R]$  ФВЧ-дифф  $C[R]$ , инт- $R[C]$  ( $[\ ]$  - элемент с которого снимается напряжение). Показать что  $C[R]$  дифференцирует сигнал на низких частотах, а  $R[C]$  интегрирует на высоких.

✓ **18. Работа и мощность в цепи переменного тока @done (18-01-05 19:17)**

Записать работу по перемещению ед. пол. заряда. Записать гармонические  $U(t)$ ,  $J(t)$ . Найти мгновенную мощность. Взять среднее интегралом (при этом обратить внимание, что  $\frac{1}{T} \int_0^T \cos(2\omega t + C) dt = 0$ ). Записать эффективные ток и напряжение для исчезновения  $1/2$  (арифметика). Записать мощность для резистора, индуктивности, конденсатора.

Используя комплексный вид и формулы:  $\cos(x-y) = \cos(x)\cos(y) + \sin(x)\sin(y)$ , показать тождественность формулы  $1/4[\dots]$  и ранее выведенной.

*Электростатика в веществе:*

✓ **19. Понятие макроскопического (усредненного) поля в среде. Вектор поляризации  $P$ . Связанные заряды @done (18-01-07 21:19)**

Записать макро-поля. Объяснить почему нужны именно они. Записать два конденсатора, с диэлектриком и без - экспериментально обнаружено ослабление поля  $\rightarrow$  ввести  $\epsilon$

Рассмотреть полярную молекулу в поле  $E$  -- появление диполя  $p$ . Записать вектор поляризации как коэфф. пропорциональности  $dp$  и  $dv$ . Рассмотреть однородный и неоднородный диэлектрике, на графике показать появление связанного объемного и поверхностного зарядов. Для косоуго цилиндра в диэл. пластине найти связь  $P_n = \sigma_{\text{связ}}$ .

Найти поток заряда через эл. площадку с помощью косоуго цилиндра. Проинтегрировать, заметить что получили заряд  $q$ , ушедший из объема -- остался нескомпенсированный  $q_{\text{связ}} = -q = \oiint (P, dS)$

✓ **20. Вектор электрической индукции  $D$ . \*\*Уравнения электрического поля в диэлектриках\*\* @critical @done (18-01-08 14:13)**

Записать теорему Гаусса для полного заряда. Заметить, что из линейности интеграла можно ввести вектор  $D$ , тогда теорема гаусса будет иметь вид  $\oiint D = q_{\text{своб}}$ . Отметить разное введение  $D$  в СГС и СИ. Уравнение для циркуляции  $E$  записать как в вакууме.

✓ **21. Линейные изотропные диэлектрики. Связь полей  $P$  и  $E$ ,  $E$  и  $D$ . Диэлектрическая проницаемость @done (18-01-08 15:29)**

Заметить что для лин.из. диэл-ка  $P \sim E$ ,  $P = \alpha \epsilon_0 E$ , где  $\alpha$  - поляризуемость. Ввести связь  $E \sim D$  через  $\epsilon = 1 + \alpha$ . Показать на примере конденсатора, что  $\epsilon$  аналогична введению по Фарадею. Рассмотреть примеры вычисления полей, например на пластине в диэлектрике.

Показать зависимость выполнения уравнения Максвелла в преобразованном виде от условия  $\epsilon_n = \epsilon(r)$ .

✓ **22. \*\*Граничные условия для векторов  $E$  и  $D$ \*\* @critical @done (18-01-08 16:09)**

Отметим, что все рассмотрение ведем в рамках перехода  $\epsilon$  на границе скачком. Рассмотрим тонкий контур для т. о циркуляции, получим  $E_{\tau 1} = E_{\tau 2}$ ; рассмотрим тонкий диск для теоремы гаусса для вектора  $D$ , получим  $D_{1n} - D_{2n} = \sigma_{\text{своб}}$

Рассмотреть преломление  $D$  через тангенсы при  $\sigma = 0$ . Отметить что для  $E$  иначе, т.к. линии  $E$  м. начинаться и кончатся также и на связанных зарядах.

✓ **23. Способы измерения векторов  $E$  и  $D$  в диэлектриках @done (18-01-08 19:38)**

Рассмотреть три примера -- тонкий цилиндр (измерение  $E$ ), тонкий диск (измерение  $D$ ) и сферу. Для сферы записать элемент  $dS$  в сферич. коорд, найти элементарное  $dE'$ , выразить через  $P_n = P \cos(\alpha)$ . Проинтегрировать. Исходить из соображений симметрии и сонаправленности  $P$  и  $E$ .

✓ **24. Энергия электрического поля в среде @done (18-01-08 21:01)**

Записать работу сторонних сил в конденсаторе  $U \cdot dq$ , интегрированием найти  $W = q^2/2C$ , показать что  $W/W_0 = \epsilon$ .

Записать работу сторонних сил, заметив что в плоском кондере  $D = \sigma_{\text{своб}} \Rightarrow dq = S \cdot dD$ . Подставить в  $u \cdot dq$ , выразить  $w = W/V = \int E \cdot dD$ . Записать в СИ и в СГС.

✓ **25. Пондеромоторные силы в диэлектриках. Энергетический способ расчета сил @done (18-01-09 13:09)**

Электрострикция. Иногда нужно знать силу  $F = F_{\text{эл}} + F_{\text{упр}}$  (мех, эл-стця). При постоянном заряде  $dA_{\text{эл}} = -dW_{\text{эл}} \rightarrow F_x = -dW_{\text{эл}}/dx |q$ . При постоянном напряжении  $F_x = dW_{\text{эл}}/dx |q$  (найти через баланс энергий)

На примере поля  $D$  заряженной сферы в безгр. диэлектрике найти  $W_{\text{эл}}$ , показать что в выражение  $F_{\text{эл}}$  войдет  $\epsilon \rightarrow$  появилось влияние среды.

Рассмотреть две задачи: конденсатор с диэлектриком, не прилегающим к обкладкам. Найти силу со стороны левой обкладки на правую через поле  $D$ . Вторая задача - конденсатор залитый диэлектриком, решить через  $F_x = -dW_{\text{эл}}/dx |q$ . Показать что ответ различается в  $1/\epsilon$  -- во второй задаче мы нашли суммарную силу:  $F = F_{\text{эл}} + F_{\text{упр}}$ .

Рассмотреть втягивание жидкого диэлектрика в конденсатора энергетическим способом.

✓ **26. Механизм поляризации диэлектриков с неполярными молекулами @done (18-01-09 14:46)**

Записать связь вектора  $P$  и  $E$ , связь  $\alpha = n \cdot \beta$ . Записать квазиупругое уравнение  $m x'' = eE - kx$ . выразить  $p_e = |e| \cdot x$  для статичного случая. выразить  $\beta$ . подставить  $k$  из нестатичного случая  $k = m \cdot \omega^2$ , где  $\omega$  оцениваем из наблюдений.

✓ **27. Механизм поляризации диэлектриков с полярными молекулами @done (18-01-09 16:41)**

Записать энергию диполя в зависимости от угла поворота через  $dW_{\text{эл}} = -dA = -M(\theta) \cdot d\theta$ , где  $M = |p_e \cdot E|$  Проинтегрировать, подставить в распределение Больцмана. Расписать  $dP_x$  для телесного угла  $d\Omega$  (по определению  $\Omega = S/R^2$ ). Полученную формулу рассмотреть для  $W \gg kT$  (насыщение) и для  $W \ll kT$  ( $e^x \sim 1+x$ ). Проинтегрировать, найти константу из условия нормировки. Подставить и выразить  $\alpha$ ,  $\beta$ . Заметить что  $\beta \sim 1/T$ .

**\*\*Вопрос к консультации. Нужно ли готовить билет про тензор  $\epsilon$  и особенности диэл. свойств кристаллов? \*\***

✓ **28. Нелинейные диэлектрики. Сегнетоэлектрики @done (18-01-09 18:23)**

Рассказать о нелинейных диэлектриках, например насыщение  $P$ . Отметить тепловую нелинейность электронного (неполярные) и ориентационного (полярные) механизмов. Отметить существование стрикционной нелинейности.

Сегнетоэлектрики -  $D \sim E$  в слабых полях, в сильных  $D$  не  $\sim E$  и связь  $P, E$  неоднозначная (уникально!). Эффект в пределах точек Кюри. Сегнетоэлектрик - сегнетова соль.

Рассмотреть метод наблюдения петли гистерезиса  $P_x/E_x$  с помощью осциллографа (схема ЭДС-[C]-[C])

**\*\*Вопрос к консультации. Нужно ли готовить билет про особенности поляризации диэлектриков в высокочастотных полях?\*\*\***

✓ **29. Ток смещения в диэлектриках @done (18-01-09 18:28)**

Аналогично вакууму рассмотреть ток смещения в диэлектрическом разрыве- конденсаторе в цепи. Из закона сохранения заряда записать полный ток и ток смещения.

Записать комплексную  $\epsilon$ : обозначить комплексное  $E$ , переписать  $dD/dt$  через  $dE/dt$  в комплексном виде. Получим  $\text{rot} B(\text{комплексное}) = \mu_0(\sigma + i\omega\epsilon)E(\text{комплексное})$ , через что вводят либо комплексную проводимость  $\sigma$ , либо комплексную  $\epsilon$ .

*Магнитостатика в веществе:*

✓ **30. Вектор намагниченности I. Молекулярные токи @done (18-01-09 22:35)**

Записать по аналогии с  $P$  вектор  $I$ , где  $p_m = f \cdot J \cdot S$  вектор нормали. Записать теорему о циркуляции  $I$ , геометрически показав что все молекулярные токи для элемента контура  $dl$  лежат в косом цилиндре.

Можно показать что связанные токи м.б. объемными, воспользовавшись т.ц.  $H$  и т.ц.  $I$  в дифф. форме, показать что в двух случаях ( $\text{карра} \neq \text{карра}(r)$  и суц.  $j_{\text{пр}}$  объемный  $X$ )

✓ **31. Напряженность H магнитного поля в среде. \*\*Теорема о циркуляции вектора H\*\* @critical @done (18-01-09 22:59)**

Записать полный охваченный ток как сумму  $J_{\text{пр}} + J_{\text{см}} + J_{\text{мол}}$ . Привести уравнение т.ц.  $B$  к первоначальному виду  $\oint = \beta \cdot 4\pi \cdot J$ , при этом под интегралом окажется  $H$ . Записать в дифф. форме.

✓ **32. Линейные изотропные магнетики. Связь полей I и H, B и H. Магнитная проницаемость @done (18-01-10 00:04)**

Записать линейную связь  $I, H$ . Выразить из неё связь полей  $B, H$  через магнитную проницаемость в СИ и в СГС.

Рассмотреть безграничный магнетик. Показать что при  $\mu = \text{const}$  поле  $B$  в нем ослабляется в  $\mu$  раз.

✓ **33. \*\*Граничные условия для векторов B и H\*\* @critical @done (18-01-10 00:36)**

Отметим, что все рассмотрение ведем в рамках перехода  $\mu$  на границе скачком. Рассмотреть тонкий контур для т. о циркуляции, получим  $H_{\text{tau1}} - H_{\text{tau2}} = j_{\text{пр}} N$ ; рассмотреть тонкий диск для теоремы гаусса для вектора  $B$ , получим  $B_{1n} - B_{2n} = 0$  (магнитных зарядов нет)

Порисовать картинки для преломления линий В, показать возможность защиты от магнитного поля.

✓ 34. Способы измерения векторов В и Н в магнетиках @done (18-01-10 00:41)

Рассмотреть два примера -- тонкий цилиндр (измерение Н), тонкий диск (измерение В).

**\*\*Вопрос к консультации. Нужно ли рассматривать эллипсоидальную полость, если да то как?\*\*\***

✓ 35. Энергия магнитного поля в среде @done (18-01-10 00:57)

Записать изменение энергии магн. как -работу сил ЭДС, откуда  $dW = Jd\Phi$ . Найти поток в соленоиде ( $d\Phi = \mu \cdot N^2 / lS$ ), выразить ток из ( $H_0 = B_0 / \mu_0 = nJ$ ), получим  $dW = H \cdot dB \cdot V$ , откуда  $dw = H \cdot dB$ . Проинтегрировать в частном случае лин. изотропного магнетика, записать три формулы ( $\mu H^2 / 2 = B^2 / 2\mu = B \cdot H / 2$ )

✓ 36. Пондеромоторные силы в магнетиках. Энергетический способ расчета сил @done (18-01-10 01:54)

1. Записать простой случай  $dA_{ist} = dQ$  (можно вывести из цепи ЭДС-R)
2. Обобщить  $dA_{ist} + dA^{mex}_{stor} = dQ + dW_m$
3. Записать из цепи ( $\text{ЭДС} + \text{ЭДС}_{инд} + \text{ЭДН}_{синд} = JR$ ) связь  $dW_m = dA^{mex}_{stor} + Jd\Phi$

Рассмотреть два случая: первый при постоянном  $\Phi$  (сверхпроводники)  
 $dW_m = dA^{mex}_{stor} = -dA^{mex}_{поля} \Rightarrow F_x = -dW_m / dx | \Phi = const$

При постоянном токе: рассмотреть магнитно связанные контуры  $L_1, J_1 \leftarrow M \rightarrow L_2, J_2$ .  
Расписать энергию в дифф. вид: получим  $dW_m = dA^{mex}_{поля} \Rightarrow F_x = dW_m / dx | J = const$

Рассмотреть пример втягивания стержня в соленоид.

✓ 37. Механизм намагничивания парамагнетиков @done (18-01-10 02:10)

Записать энергию магнитного диполя в зависимости от угла поворота через  $dW = -dA = -M(\Theta) \cdot d\Theta$ , где  $M = \langle \mu_m, B \rangle$  Проинтегрировать, подставить в распределение Больцмана. Расписать  $dI_x$  для телесного угла  $d\Omega$  (по определению  $\Omega = S/R^2$ ). Полученную формулу рассмотреть для  $W \gg kT$  (насыщение) и для  $W \ll kT$  ( $e^x \sim 1+x$ ). Проинтегрировать, найти константу из условия нормировки. Подставить и выразить карра. Заметить что карра  $\sim 1/T^2$ .

✓ 38. Механизм намагничивания диамагнетиков @done (18-01-10 13:55)

Записать м.диполь как  $\mu_m = fJS_n$ , где расписать  $J = |e|/T = |e|v/2\pi r$ . Переписать в таком виде, чтобы получить выражение вида  $\mu_m = -\gamma \cdot N$ , где  $\gamma$ -гиромагнитное соотношение.

Записать теорему о изменении момента импульса, найти угловую скорость прецессии -> появление доп. момента импульса -> доп. магнитный момент, противоположенный полю В. Это есть качественное объяснение появления диамагнетизма.

Рассказать об опыте Эйнштейна-де Гааза. В переменном магнитном поле стержень. Суммарный N остается постоянным=0, но складывается из  $N_{mex}$  (=0 в начале)

$+N_{\text{магн(электронов)}} (=0 \text{ в начале})$ . Появление намагничивания сопровождается появлением  $N_{\text{магн(электронов)}}$ , и в силу ЗСМИ стержень придет во вращение.

Помещая в переменное поле, на частотах близких к собственным в силу резонанса наблюдаемые колебания можно усилить настолько, чтобы можно было экспериментально снять. Получили  $\gamma$  в два раза больше теоретического: объяснение лежит в том, что мы не учли спин электрона.

Опыт Барнетта обратный - стержень быстро вращался и измерялась намагниченность. Результаты по  $\gamma$  аналогичные.

### ✓ 39. Нелинейные магнетики. Ферромагнетики @done (18-01-10 16:48)

Рассказать о нелинейных магнетиках, где связь приобретает вид  $V = \mu(H) \cdot H$ ,  $I = \kappa(H) \cdot H$ . Построить графики  $I_x/H_x$  (гистерезис),  $I/H$ ,  $V/H$ ,  $\mu/H$  (указать насыщение).

Отметить существование ферромагнетизма в пределах точек Кюри. Рассказать о доменной структуре и её перестройке в поле  $H$ .

Рассмотреть метод наблюдения петли гистерезиса  $I_x/H_x$  с помощью осциллографа (схема магнитно связанных катушек - трансформатор с ферромагнитным сердечником -- опыт Столетова)

Описать феноменологическую теорию Кюри-Вейсса, заключающуюся в  $H_{\text{эфф}} = H + \delta H = H + bI$ .  $\rightarrow I = H \cdot \kappa / (1 - b \cdot \kappa)$ . Отметить что истинная теория в рамках классического подхода невозможна.

Рассказать о намагничении постоянных магнитов, где есть только молекулярные токи.

Рассмотреть магнитные цепи. Записать аналогию закону Ома, воспользовавшись теоремой о циркуляции, перейдя к суммам и учитывая  $\Phi = B_{\text{lm}}/S_{\text{m}}$ . Упомянуть что аналогия чисто формальная.

### ✓ 40. \*\*Система уравнений Максвелла для полей в веществе\*\* @critical @done (18-01-11 19:23)

Записать систему уравнений Максвелла в нейтральной форме, СИ и системе СГС. Отметить аксиоматичность уравнений, неравноправность дифф. и инт. форм: дифф. нужно дополнять граничными условиями, записать их.

Показать на частном примере вычисление полей  $V, H, E, D$  (заряженный шар в слабопроводящей среде). Показать наличие тока смещения в данном примере.

Предположив, что скорость распространения конечна, записать для контуров между плоскости с током и плоскости фронта волны две т.циркуляции, показать что из них скорость  $v = c/n$ , где  $n = \sqrt{\mu \cdot \epsilon}$ . Можно рассмотреть дифференциальный вывод волнового уравнения, предположив что  $E = E(x, t)$ . Из уравнения  $V_{\text{tt}} - v^2 \cdot V_{\text{xx}} = 0$  выразить фазовую скорость.