

**Спиновый фильтр нейтронов на основе спин –
обменного взаимодействия ядер ^3He с атомами
намагниченного ферромагнетика**

В.Р. Ской

Принцип оптической поляризации ядер благородных газов

Физической основой поляризации благородных газов является сверхтонкое взаимодействие ядерного магнитного момента и магнитного момента неспаренного электрона атомной оболочки.

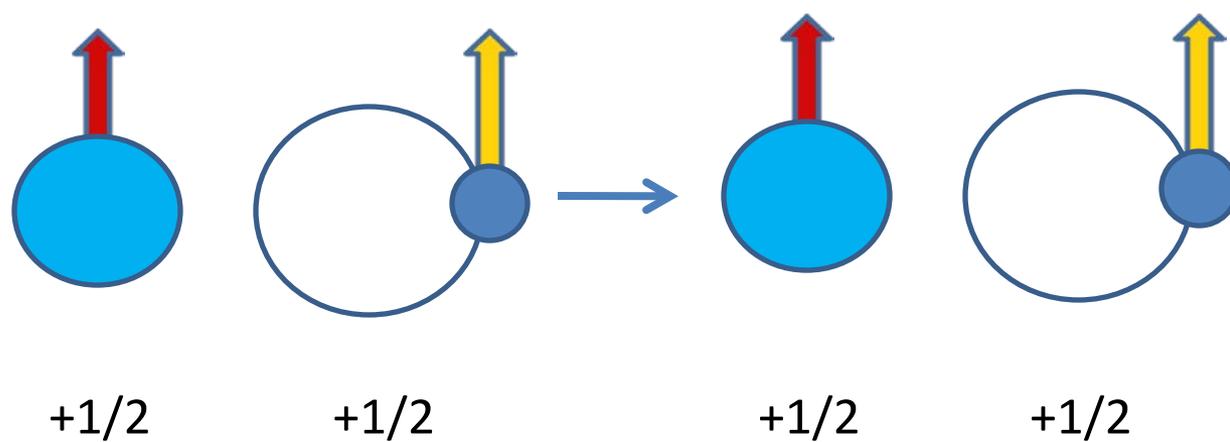
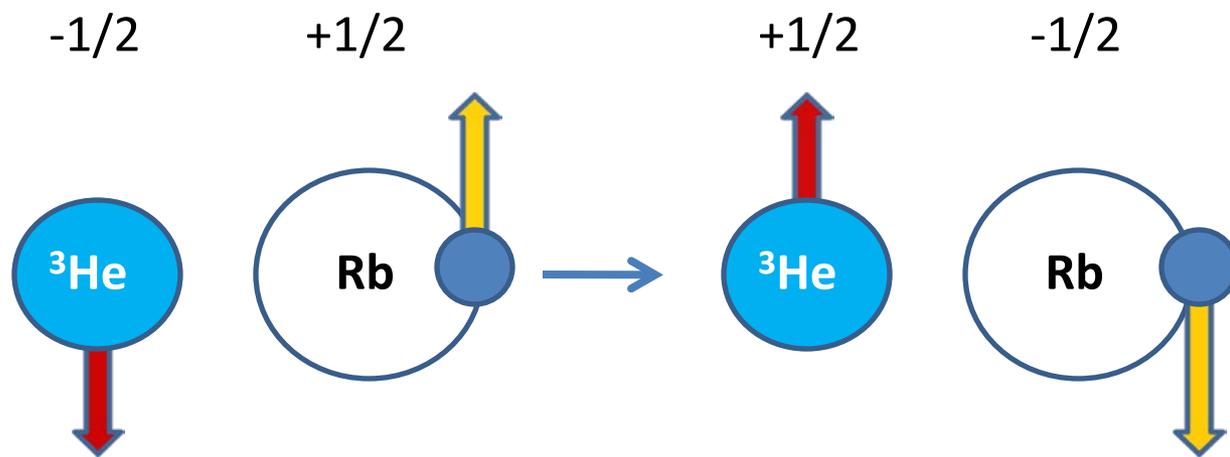
Смысл оптической накачки в создании преимущественной направленности (поляризации) атомных электронов, которая затем передается ядрам благородных газов.

SEOP: Оптическая поляризация внешних электронов атомов щелочных металлов (Rb, K).

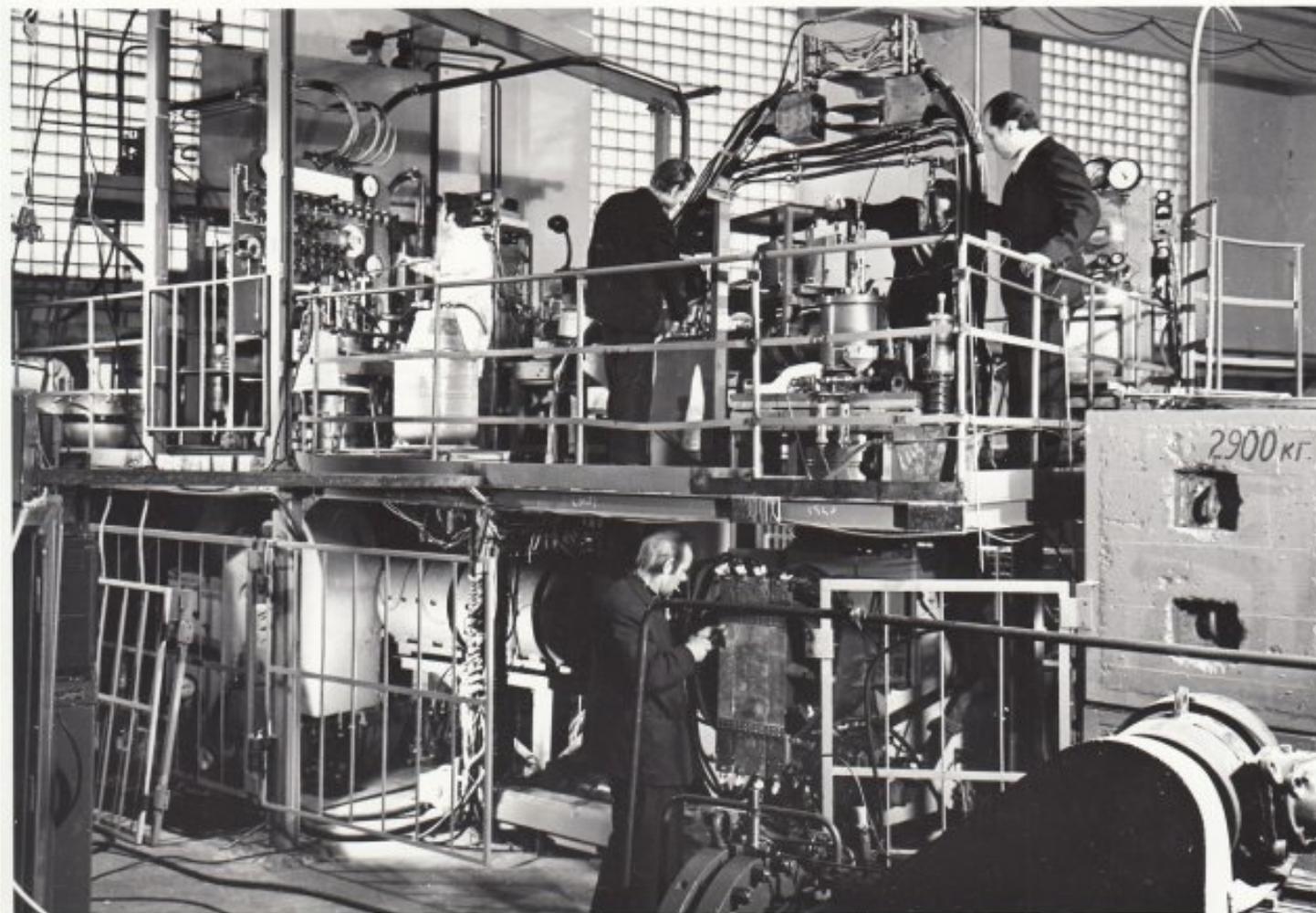
Поляризация электронов Rb передается ядрам благородных газов при столкновениях.

MEOP: Оптическая поляризация электронов в метастабильном состоянии самого атома ^3He .

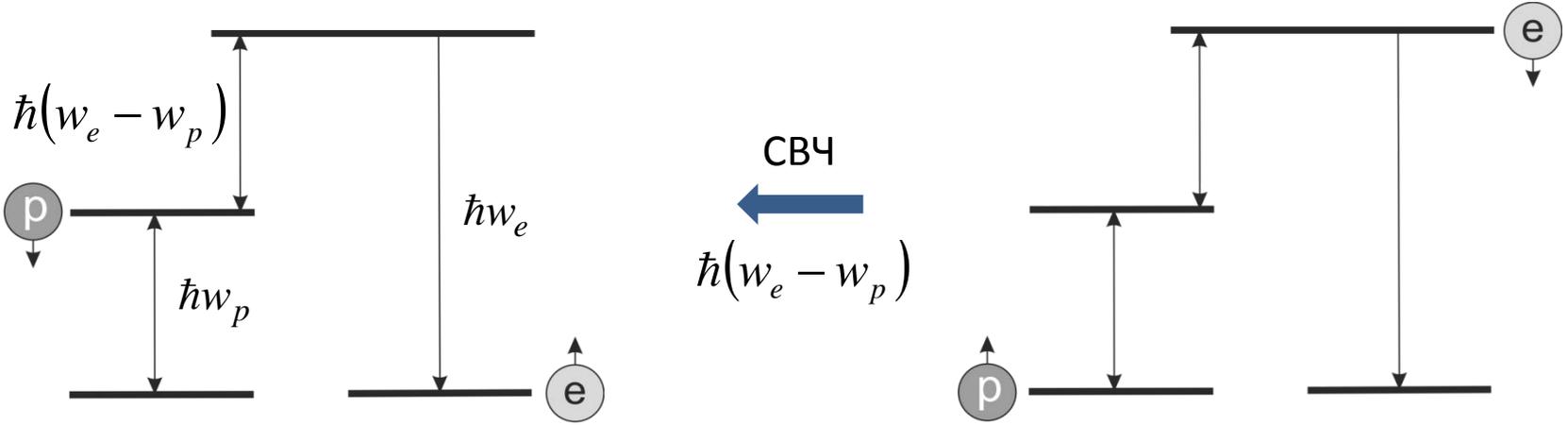
Метастабильность состояния с поляризованным ядром ^3He снимается при столкновениях атомов.



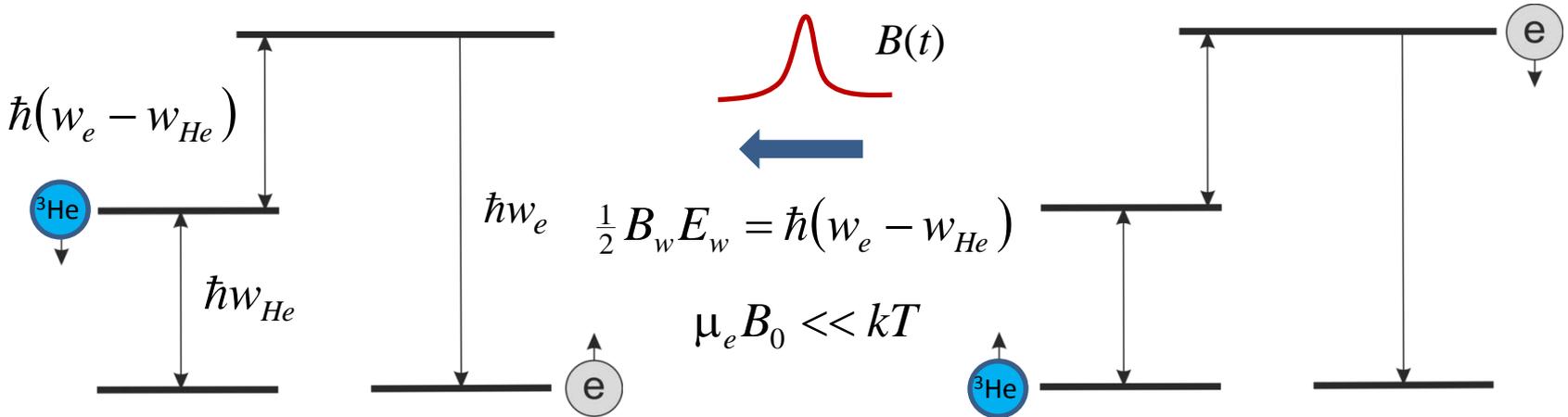
Установка ПОЛЯНА ЛНФ
Динамическая поляризация ядер

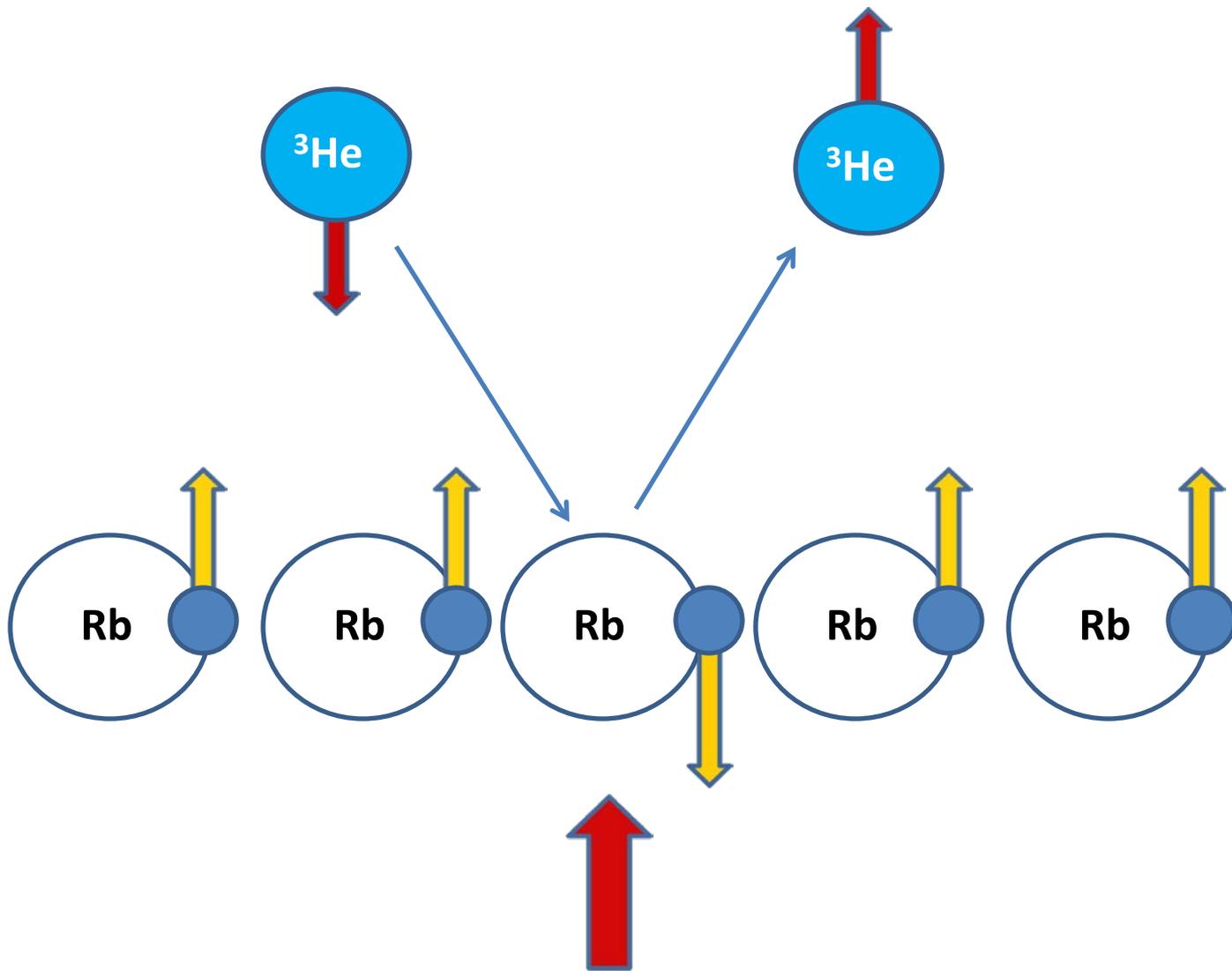


Переворот спинов при накачке внешним полем СВЧ:

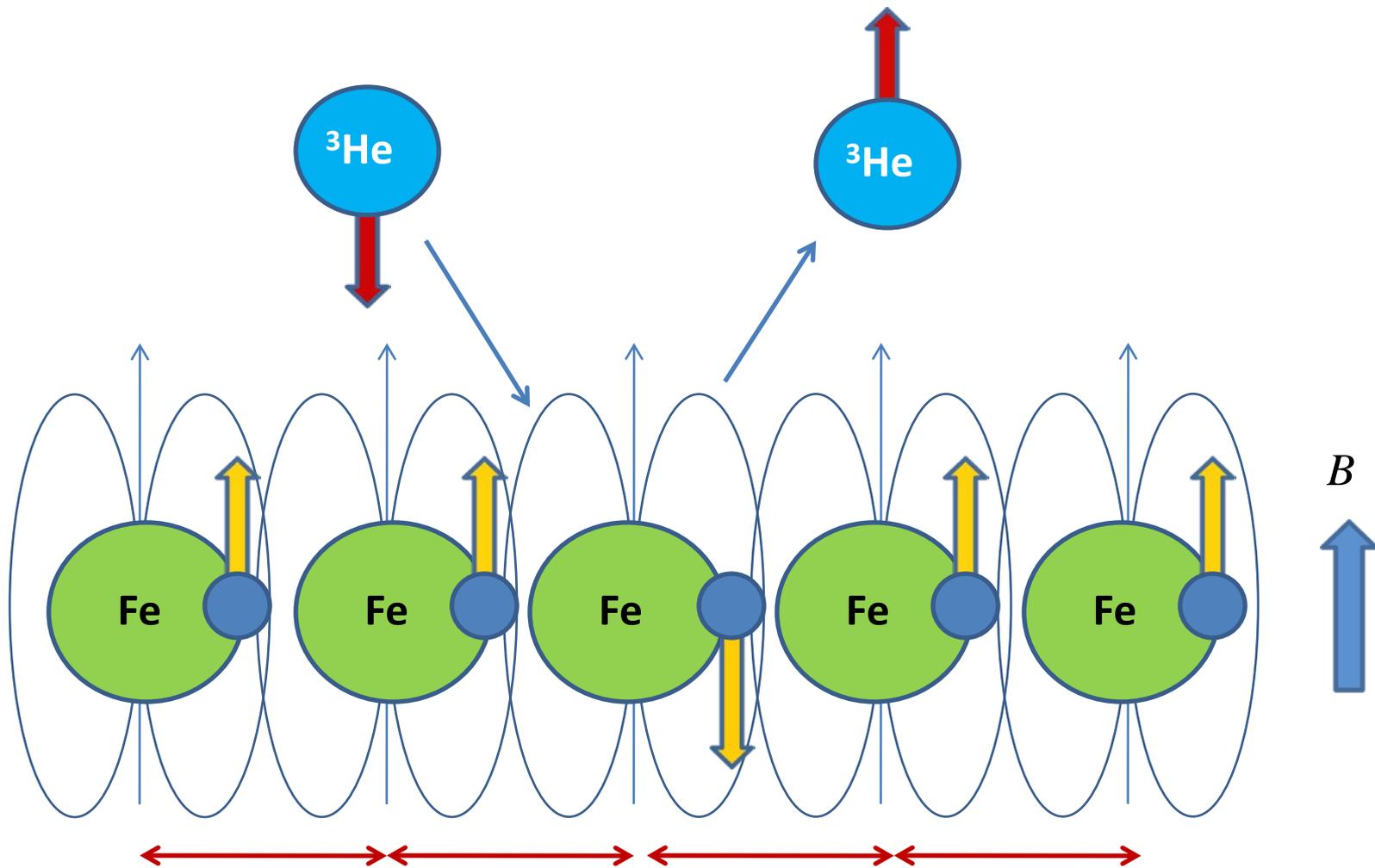


Переворот спинов за счет переменного электромагнитного поля:





Оптическая накачка

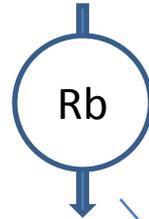
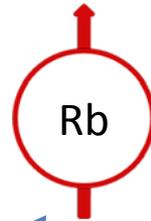
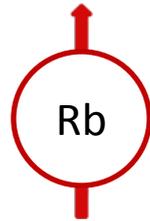
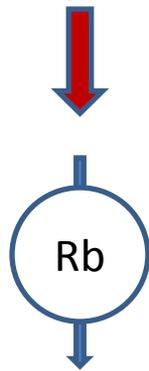


Обменное взаимодействие $2J \sum_{i,j} S_i S_j$

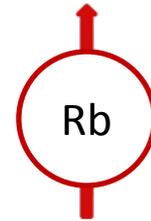
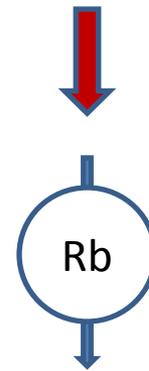
Структура электронных оболочек ферромагнетиков (условно)



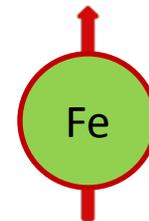
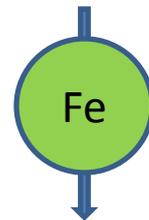
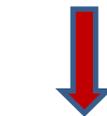
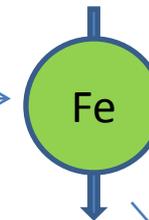
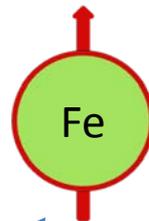
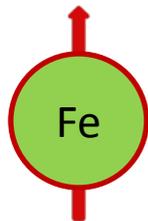
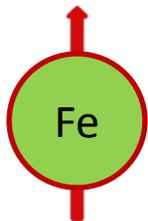
накачка



накачка



Обменное взаимодействие



Ядерный магнитный момент

$$\vec{\mu}_I = g_I \vec{I}$$

в магнитном поле:

$$H = \mu_I B = g_I I \cdot B$$

Ядерный магнитный момент в

магнитном поле

с учетом сверхтонкого

взаимодействия α

$$H = g_I I \cdot B + \alpha (\vec{I} \cdot \vec{S})$$

Ядерная поляризация вдоль оси Z:

$$\langle I_z \rangle = \tanh(\mu_I B_z / kT)$$

$$\frac{dI_z(t)}{dt} = -\Gamma_\alpha [I_z(t) - \langle S_z \rangle]$$

$$I_z(t) = \langle S_z \rangle (1 - e^{-\Gamma_\alpha t})$$

$$\Gamma_\alpha = n_S v \sigma_3 / d$$

где n_S - число атомов ферромагнетика на см^2 , v - средняя скорость ^3He и σ_3 - сечение рассеяния атомов ^3He с переворотом спина, d - расстояние между стенками.

В общем случае с учетом других механизмов релаксации ядерной поляризации, которые характеризуются скоростью Γ :

$$I_z(t) = \frac{M_J}{g_J n_V} \cdot \frac{\Gamma_\alpha}{\Gamma_\alpha + \Gamma} \left[1 - e^{-(\Gamma_\alpha + \Gamma)t} \right]$$

$$M_J = n_V g_J \langle S_z \rangle$$

где n_V - число ферромагнитных атомов в единице объема и M_J - его намагниченность.

Для ферромагнетика, намагниченного до насыщения, поляризация ^3He равна:

$$P_3(t) = \frac{\Gamma_\alpha}{\Gamma_\alpha + \Gamma} \left[1 - e^{-(\Gamma_\alpha + \Gamma)t} \right]$$

Полагая для железа $n_S = 4 \times 1.2 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и $d = 5 \text{ см}$, получаем:

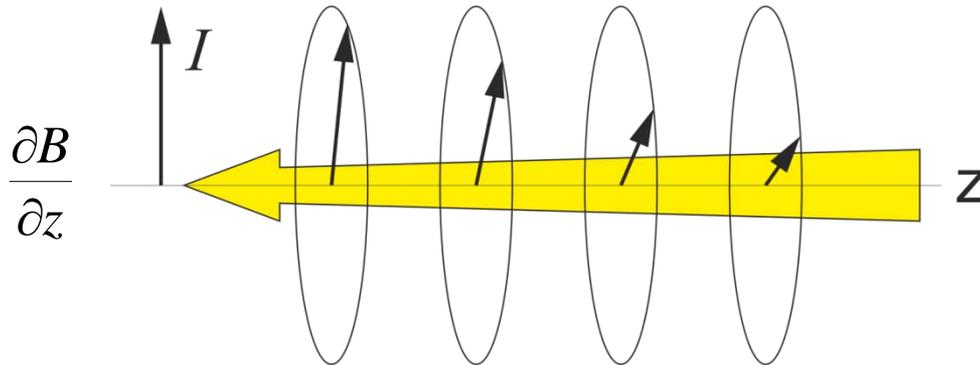
$$\Gamma_\alpha \approx 10^{15} \cdot (\nu \sigma_3) \quad \text{с}^{-1}$$

Для Rb -³He поляризации при $n_{Rb} \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $\Gamma_{SE} = n_{Rb} \nu \sigma_{SE} \sim 1/20$ часов. Приняв $\nu \sigma_3$ таким же, как для процесса Rb -³He, получим:

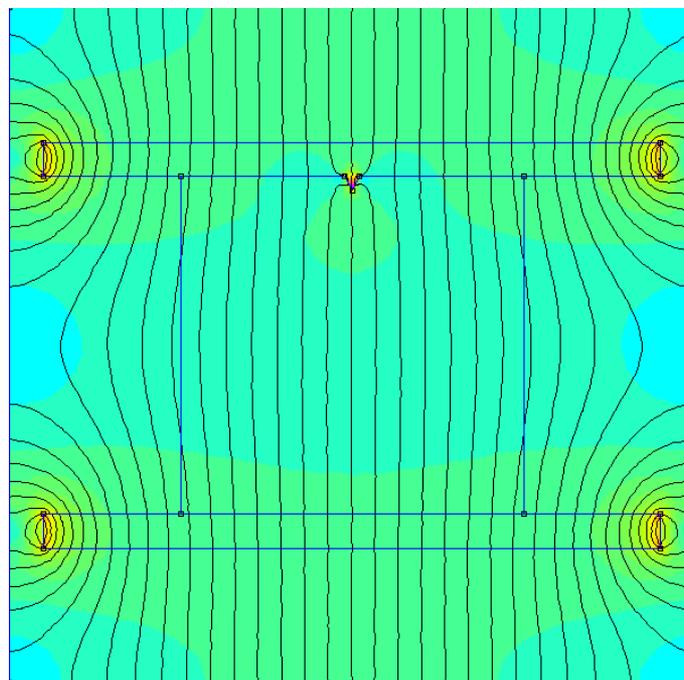
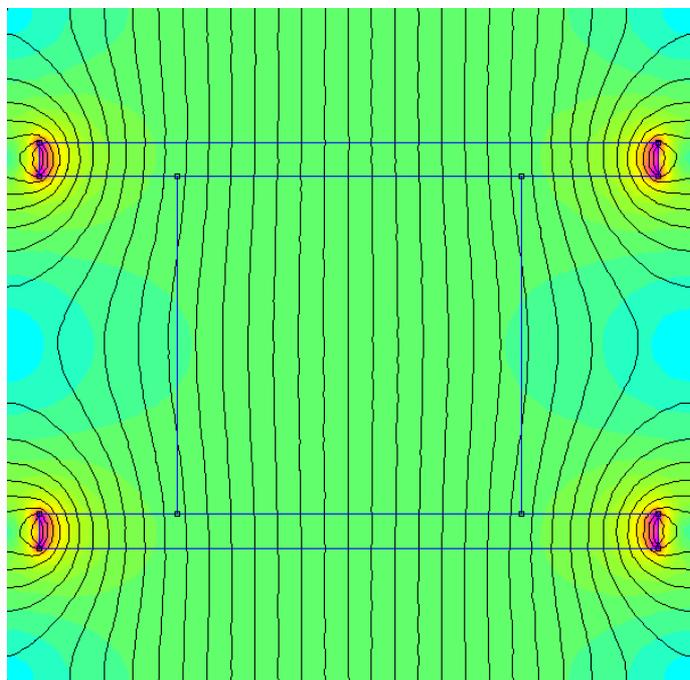
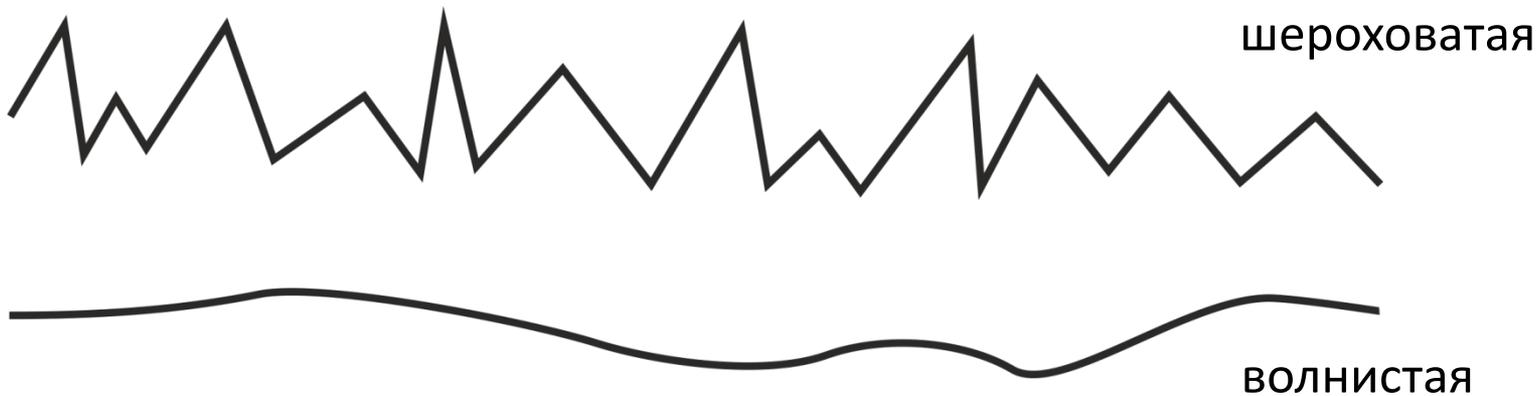
$$\Gamma_{\alpha} \sim 1/20 \text{ часов}$$

Вероятно σ_3 будет намного меньше, чем для процесса Rb -³He из-за того, что неспаренные электроны в ферромагнетике расположены не на внешней оболочке. Но даже при $\sigma_3 \sim 10^{-2} \sigma_{SE}$ поляризация ³He приблизится к насыщению за 6 месяцев.

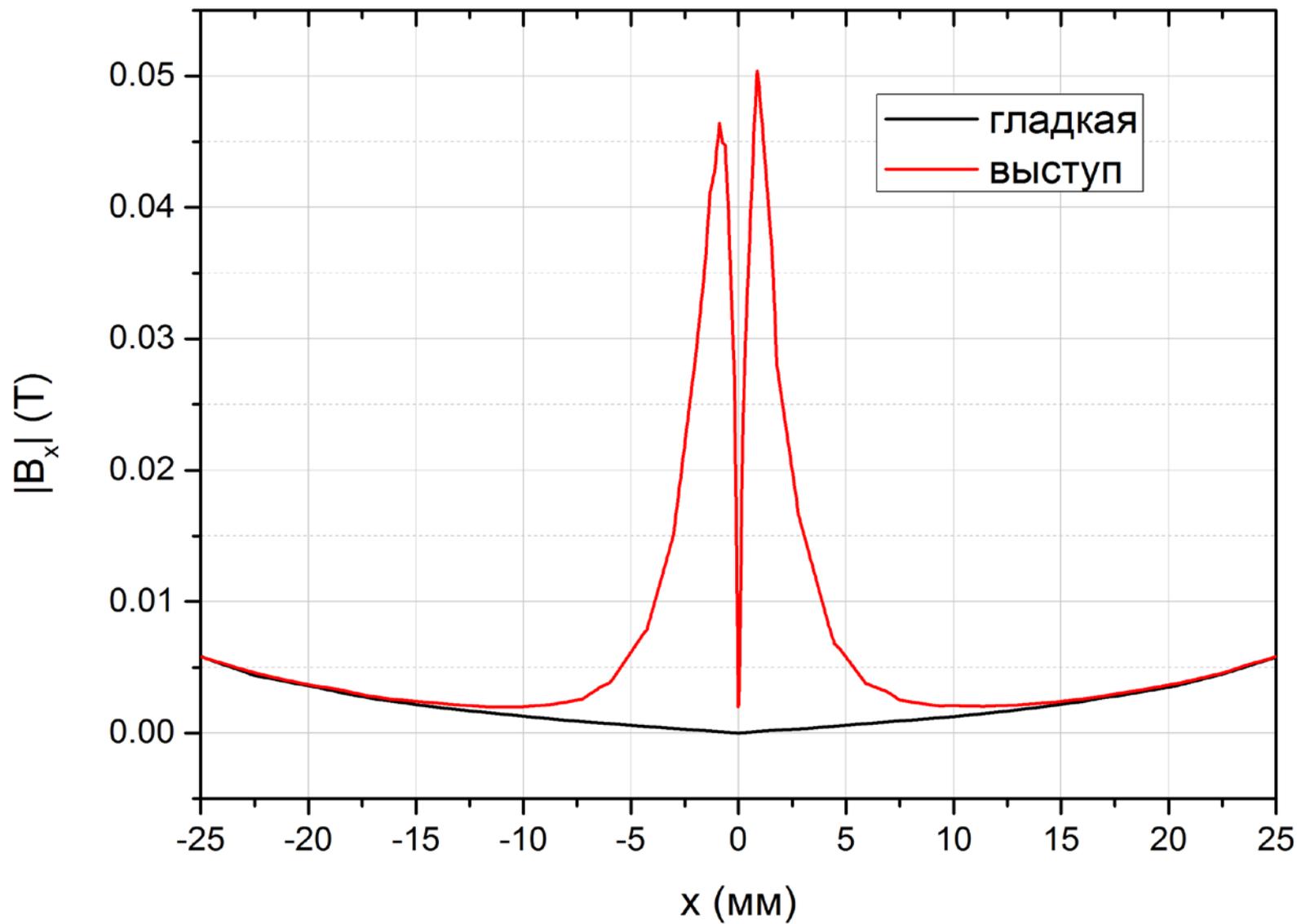
Релаксация поляризации в поперечном градиенте магнитного поля



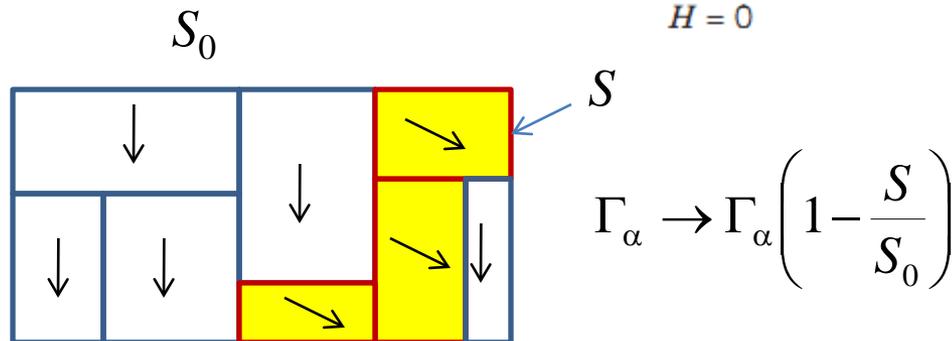
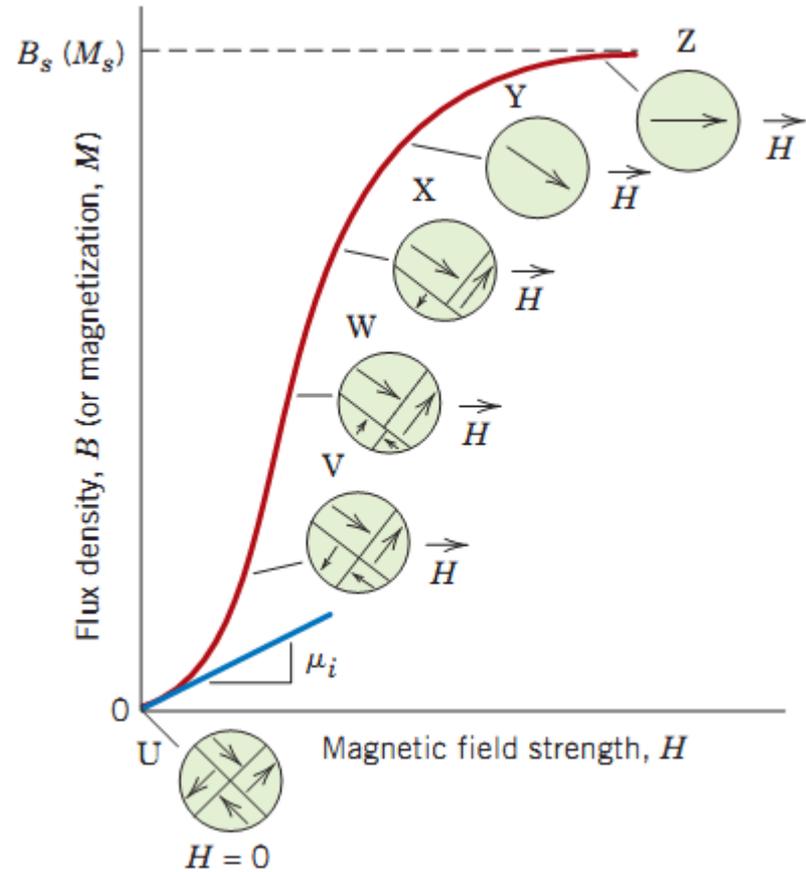
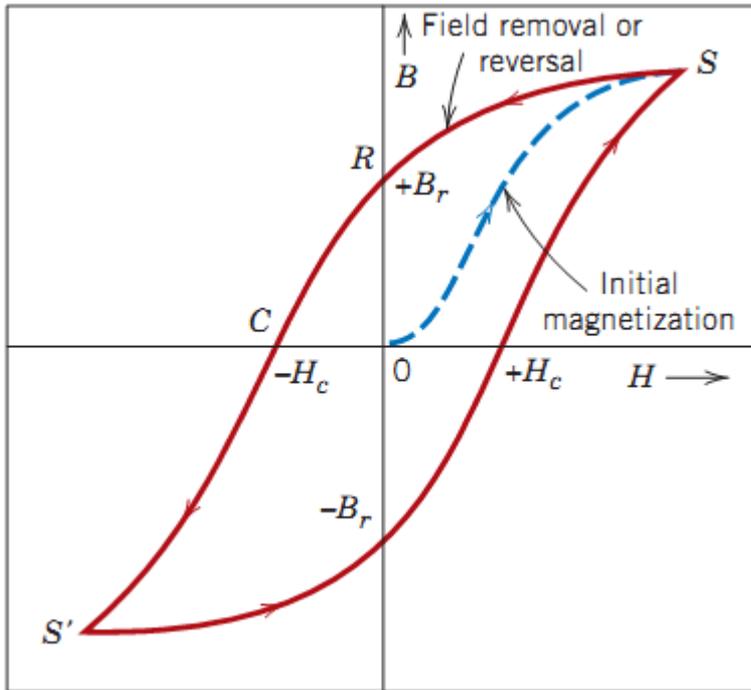
Качество ферромагнитной поверхности



Поперечная компонента магнитного поля вблизи выступа

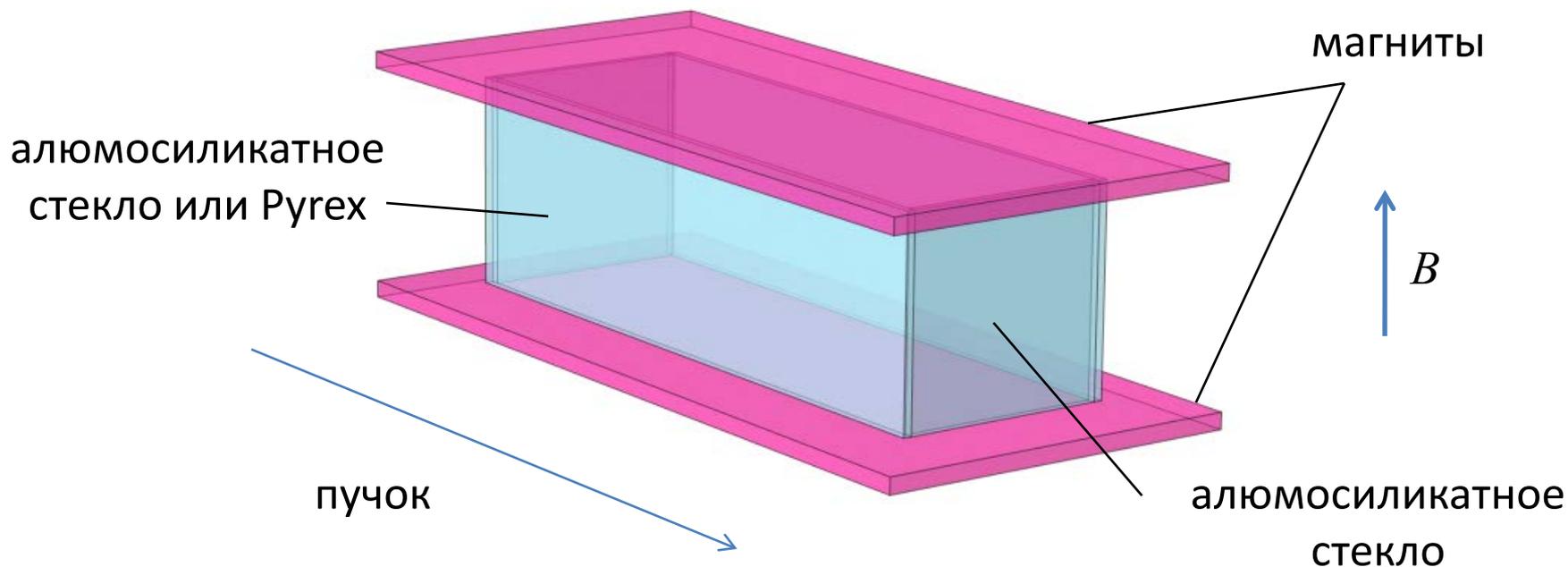


Намагниченность ферромагнитной поверхности



Общие технические требования

1. Очистка ^3He от парамагнитных примесей (геттер).
2. Низкошероховатая ферромагнитная поверхность (полировка, обкатка).
3. Высокая чистота всех внутренних поверхностей. Отсутствие окисных и жировых пленок, по возможности водорода (ПАВ, УЗ-очистка, нагрев с откачкой).
4. Максимально возможная намагниченность ферромагнитной поверхности.

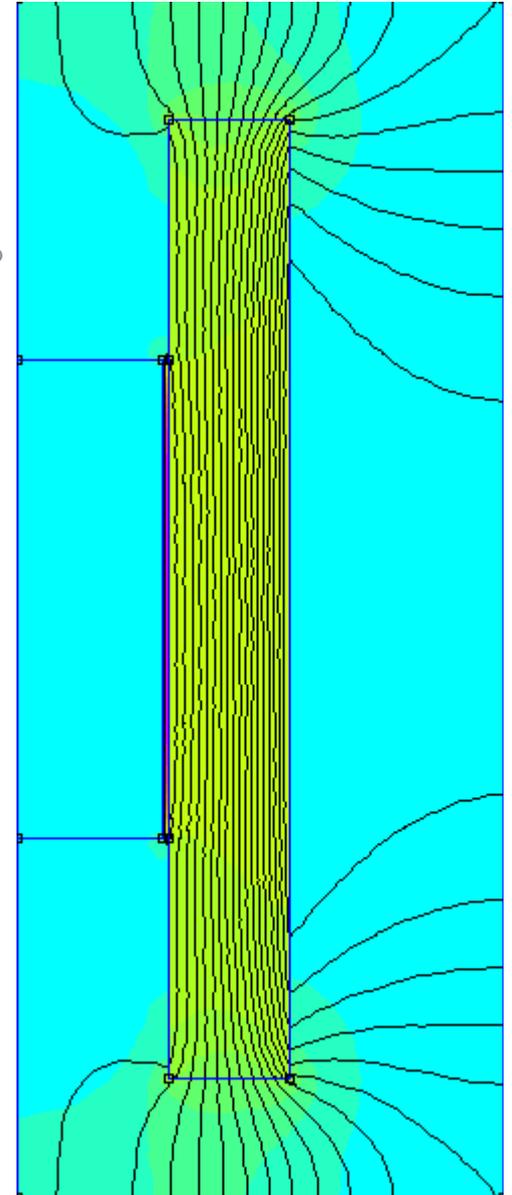
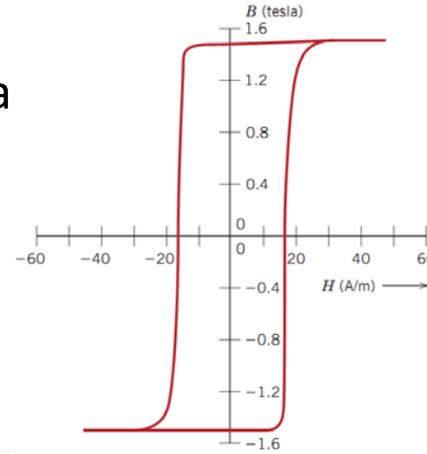
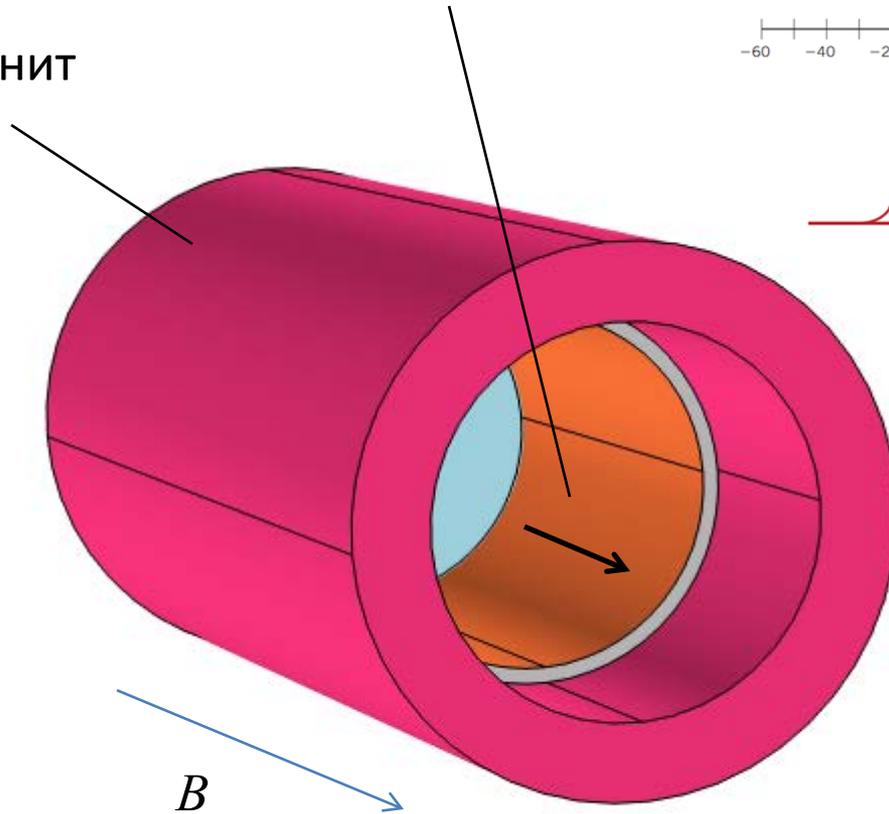




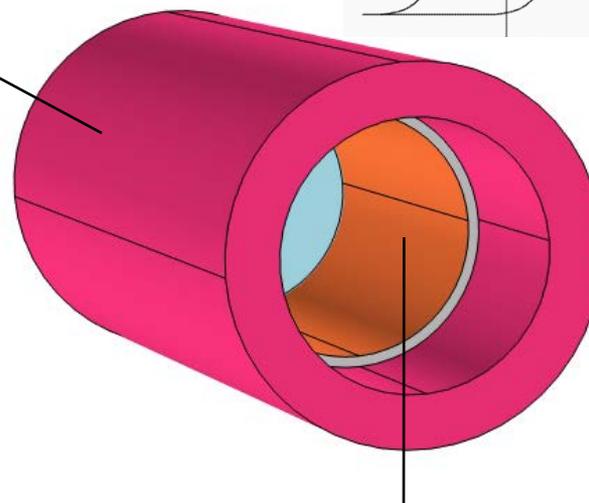
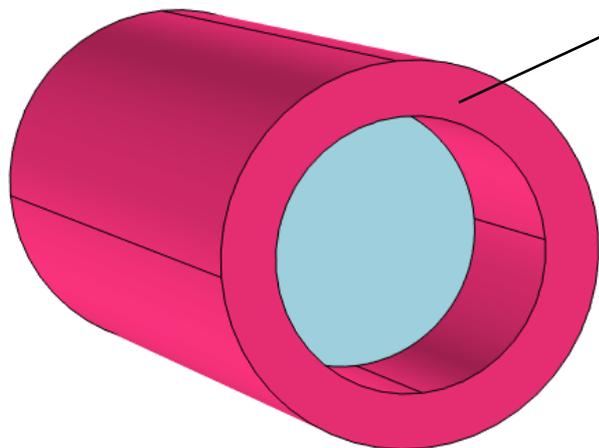
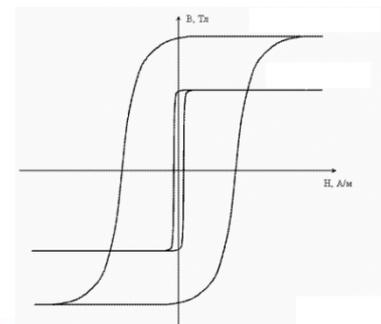
Варианты конструкции

Ферромагнитная пленка на поверхности кюветы

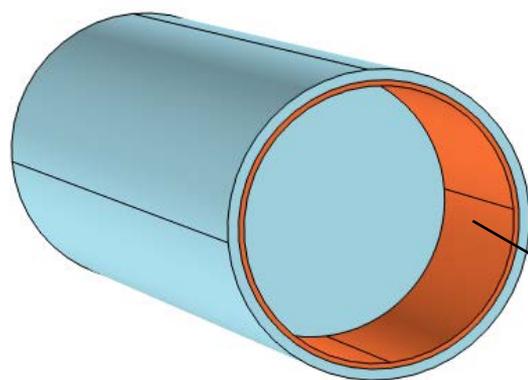
МАГНИТ



МАГНИТ



магнитомягкая пленка



магнито жесткая пленка

Заключение

1. Сформулирована гипотеза поляризации ядер ${}^3\text{He}$ в результате спин - обменных столкновений с намагниченными атомами ферромагнетика.
2. Предложены варианты конструкции поляризатора и перечислены необходимые технические условия его реализации.
3. Предлагается сформировать рабочую группу по изучению **ПРАКТИЧЕСКОЙ** реализации данного метода с целью создания спинового фильтра в ЛНФ.