



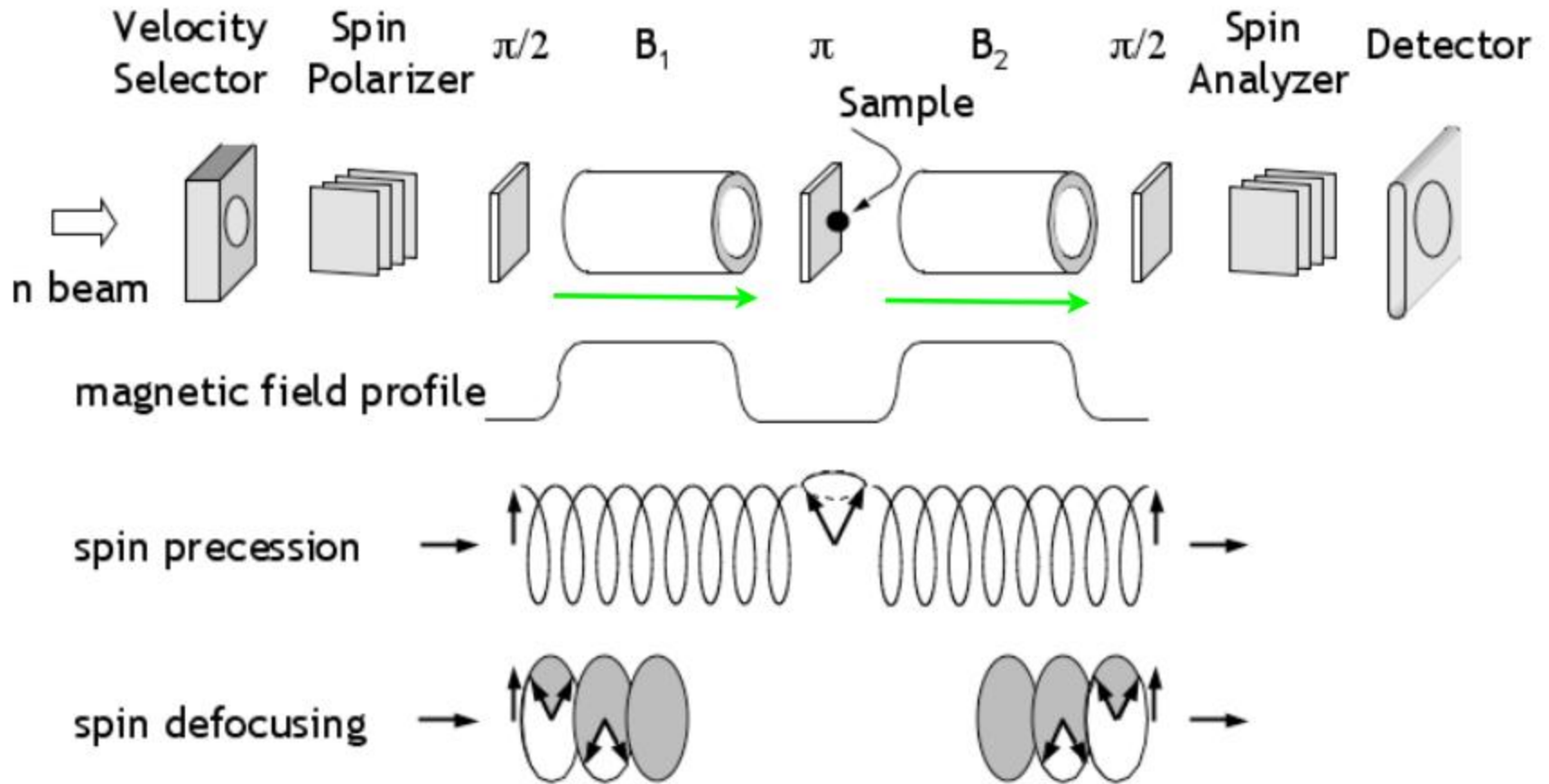
Концепция нейтронного спин-эхо спектрометра на реакторе ПИК

Доклад Мокану А. В.

План доклада

- Принципиальная схема спин-эхо спектрометра
- Примеры исследований с помощью спин-эхо
- Обзор инструментов в мире
- Сравнение параметров различных инструментов
- Заключение

Принципиальная схема



Принцип измерений в спин-эхо спектроскопии

Классическое уравнение движения для Ларморовской прецессии спина нейтрона:

$$\frac{d\mathbf{S}}{dt} = \gamma_L [\mathbf{S} * \mathbf{B}] \text{ , где } \gamma_L = 1,832 * 10^8 \text{ рад} * \text{сек}^{-1} \text{Тл}^{-1} \text{ гиромагнитное отношение}$$

Поле магнитной катушки B с длиной l создает угол прецессии φ :
$$\varphi_i = \gamma_L \frac{\int \mathbf{B}_i * d\mathbf{l}}{v}$$

Рассмотрим как связана набравшая фаза с динамикой в образце.

Проводя эксперимент, измеряем проекцию поляризации P к произвольной координате x , берем среднее по всем углам прецессии: $P_x = \langle \cos \varphi \rangle = \langle \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \rangle$

где φ_1 и φ_2 до и после рассеяния на образце.

$$P_x = \left\langle \cos \left[\gamma_L \left(\frac{\int \mathbf{B}_1 * d\mathbf{l}}{v_1} - \frac{\int \mathbf{B}_2 * d\mathbf{l}}{v_2} \right) \right] \right\rangle$$

В первом порядке φ пропорционален передаче энергии на образце ω и спин-эхо времени t :
$$\varphi = t\omega$$

Принцип измерений в спин-эхо спектроскопии

Найдем t в первом порядке ряда Тейлора.

Введем средние величины для угла и переданной энергии $\bar{\varphi}$ и $\bar{\omega}$: $\varphi - \bar{\varphi} = t(\omega - \bar{\omega})$

$$\bar{\varphi} = \varphi(\bar{v}_1, \bar{v}_2) \quad \bar{\omega} = \omega(\bar{v}_1, \bar{v}_2)$$

Тогда есть такие малые величины: $\delta v_1 = v_1 - \bar{v}_1$, $\delta v_2 = v_2 - \bar{v}_2$

$$\text{Передача энергии } \omega: \quad \omega - \bar{\omega} = \frac{m}{2\hbar} [(v_1^2 - \bar{v}_1^2) - (v_2^2 - \bar{v}_2^2)]$$

$$\text{Первый член ряда Тейлора:} \quad \omega - \bar{\omega} = \frac{m}{\hbar} (\bar{v}_1 \delta v_1 + \bar{v}_2 \delta v_2)$$

$$\text{Распишем фазу } \varphi: \quad \varphi - \bar{\varphi} = \gamma_L \left[\frac{\int \mathbf{B}_1 * d\mathbf{l}}{v_1 \bar{v}_1} (\bar{v}_1^2 - v_1^2) - \frac{\int \mathbf{B}_2 * d\mathbf{l}}{v_2 \bar{v}_2} (\bar{v}_2^2 - v_2^2) \right]$$

$$\text{Здесь первый член ряда Тейлора:} \quad \varphi - \bar{\varphi} = \gamma_L \left[\frac{\int \mathbf{B}_1 * d\mathbf{l}}{\bar{v}_2^2} \delta v_2 - \frac{\int \mathbf{B}_2 * d\mathbf{l}}{\bar{v}_1^2} \delta v_1 \right]$$

$$t = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\hbar \gamma_L \int \mathbf{B} * d\mathbf{l}}{m \bar{v}^3} = \frac{m^2 \gamma_L \int \mathbf{B} * d\mathbf{l}}{2\pi h^2} \lambda^3$$

Использовали уравнение для волн де Бройля: $p = mv = \frac{h}{\lambda}$

Принцип измерений в спин-эхо спектроскопии

Разрешение по энергии
зависит от Фурье
времени

$$t = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{\hbar \gamma_L \int \mathbf{B} * d\mathbf{l}}{m \bar{\nu}^3} = \frac{m^2 \gamma_L \int \mathbf{B} * d\mathbf{l}}{2\pi h^2 \lambda^3}$$

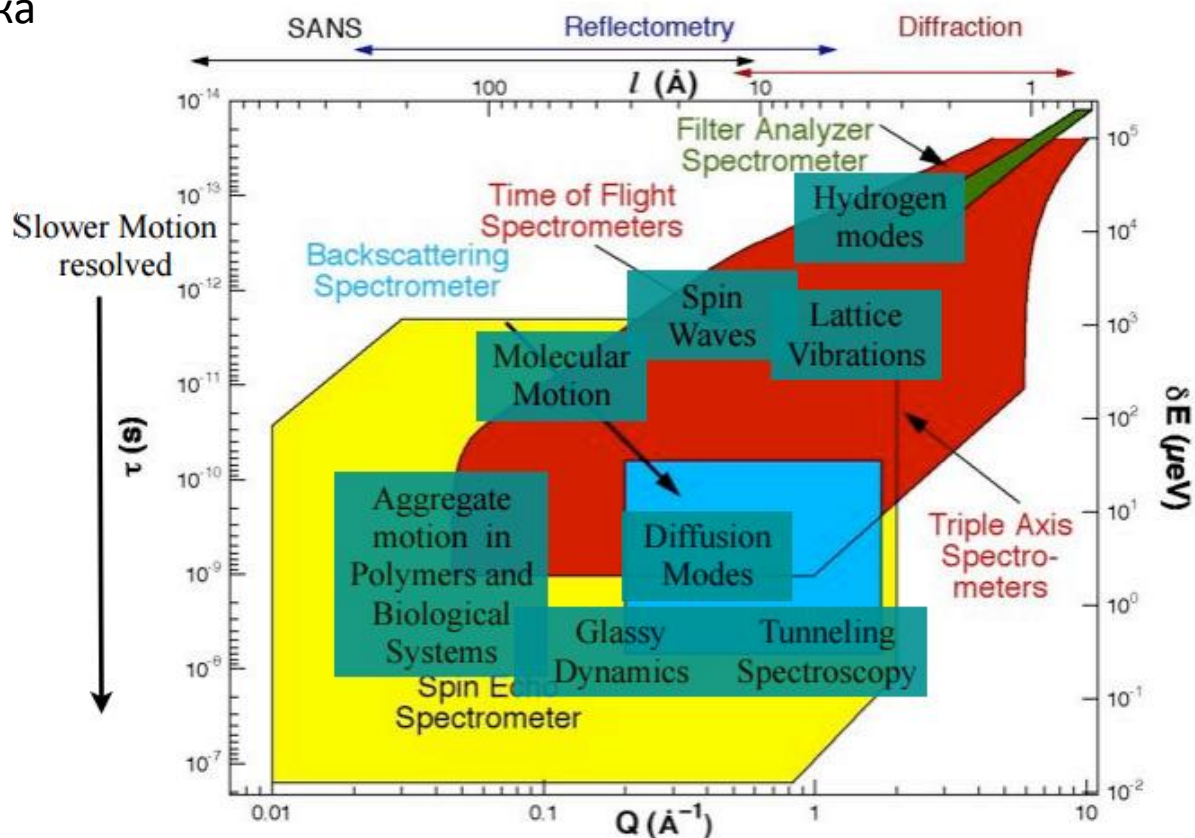
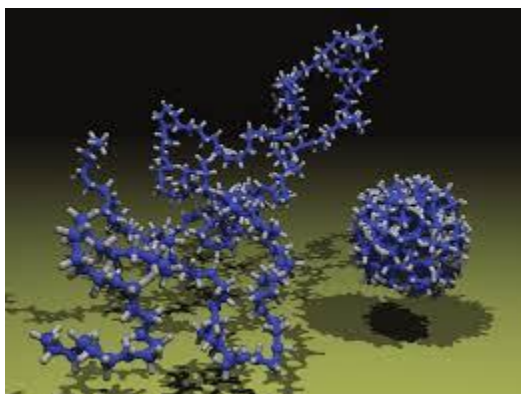
интеграл поля

длина волны

Примеры исследований

Типичные области применения спин-эхо спектроскопии подходят для исследования медленных (1 до 100 нс) релаксационных процессов. Это проблемы из области “мягкой материи” и стеклования:

- Тепловые колебания поверхности мембраны в микроэмульсии
- Динамика полимерных цепей в расплаве
- Термоактивационное движение доменов в белках, что является важным ключом для понимания функций белка

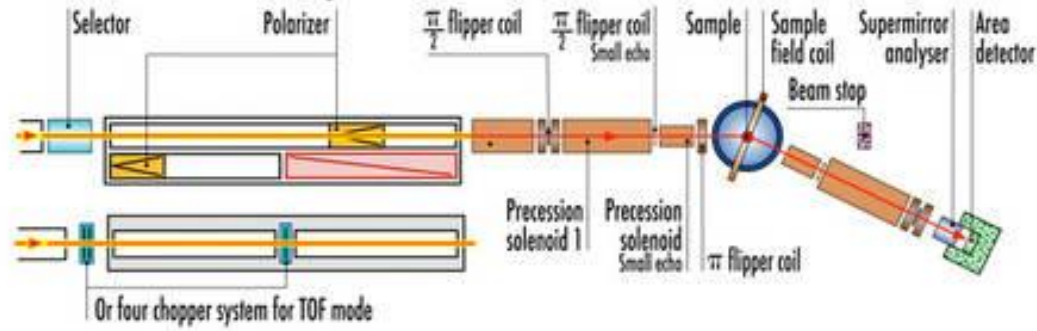


Обзор инструментов в мире

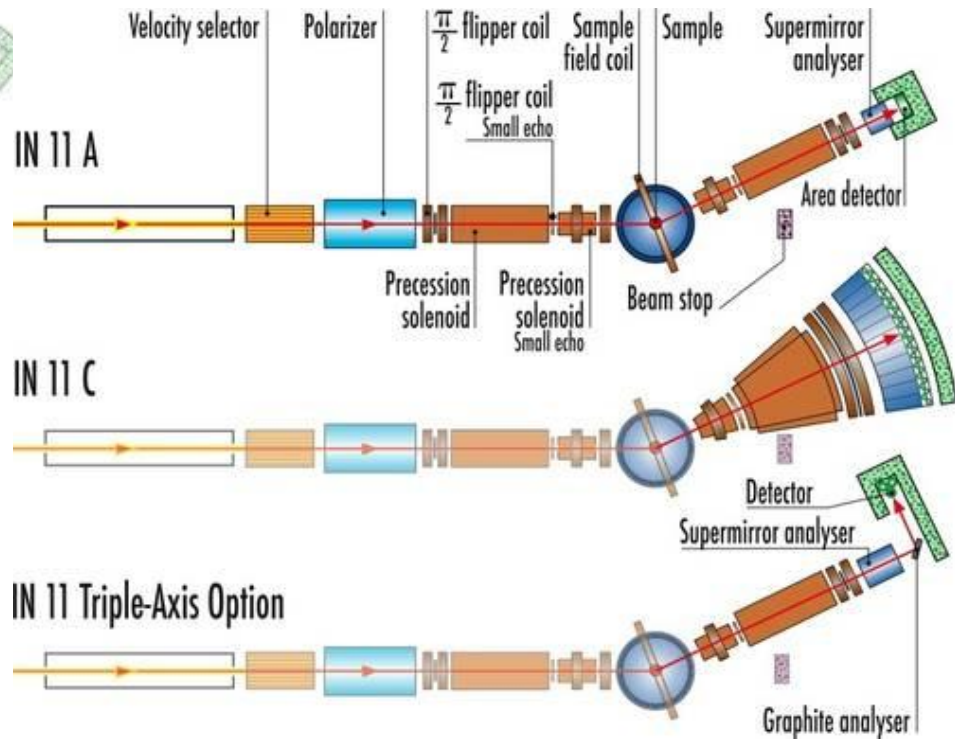
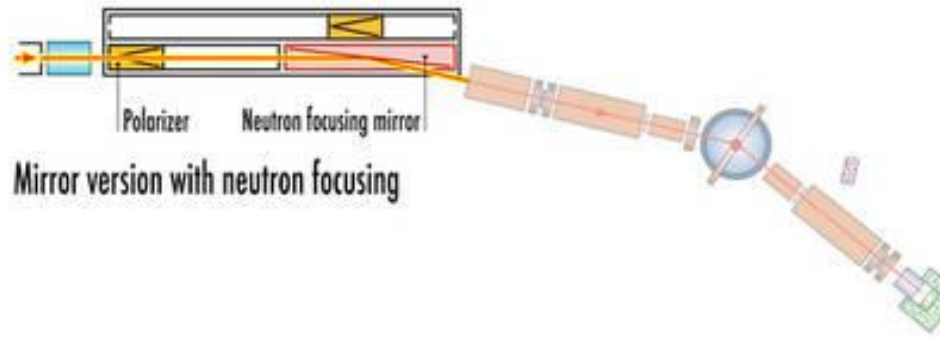
<i>Название</i>	<i>Длина волны</i>	<i>Фурье время</i>	<i>Институт</i>
<i>IN11</i>	<i>4.5-12 Å</i>	<i>0.045-45 нс (12 Å) 0.002-2 нс (4.5 Å)</i>	<i>ILL</i>
<i>IN11C</i>	<i>4.5-12 Å</i>	<i>0.002-0.61 нс (4.5 Å)</i>	<i>ILL</i>
<i>IN15</i>	<i>8-25 Å</i>	<i>0.03-27 нс (8.3 Å) 0.36-320 нс (19 Å)</i>	<i>ILL</i>
<i>NSE Julich</i>	<i>8 или 6 Å</i>	<i>0.2-48 нс (8 Å) 0.1-20 нс (6 Å)</i>	<i>FZJ</i>
<i>NCNR NSE</i>	<i>>5 Å</i>	<i>0.003-200 нс</i>	<i>NIST</i>
<i>SNS NSE</i>	<i>2-14 Å</i>	<i>0.001-350 нс</i>	<i>SNS</i>

IN 15

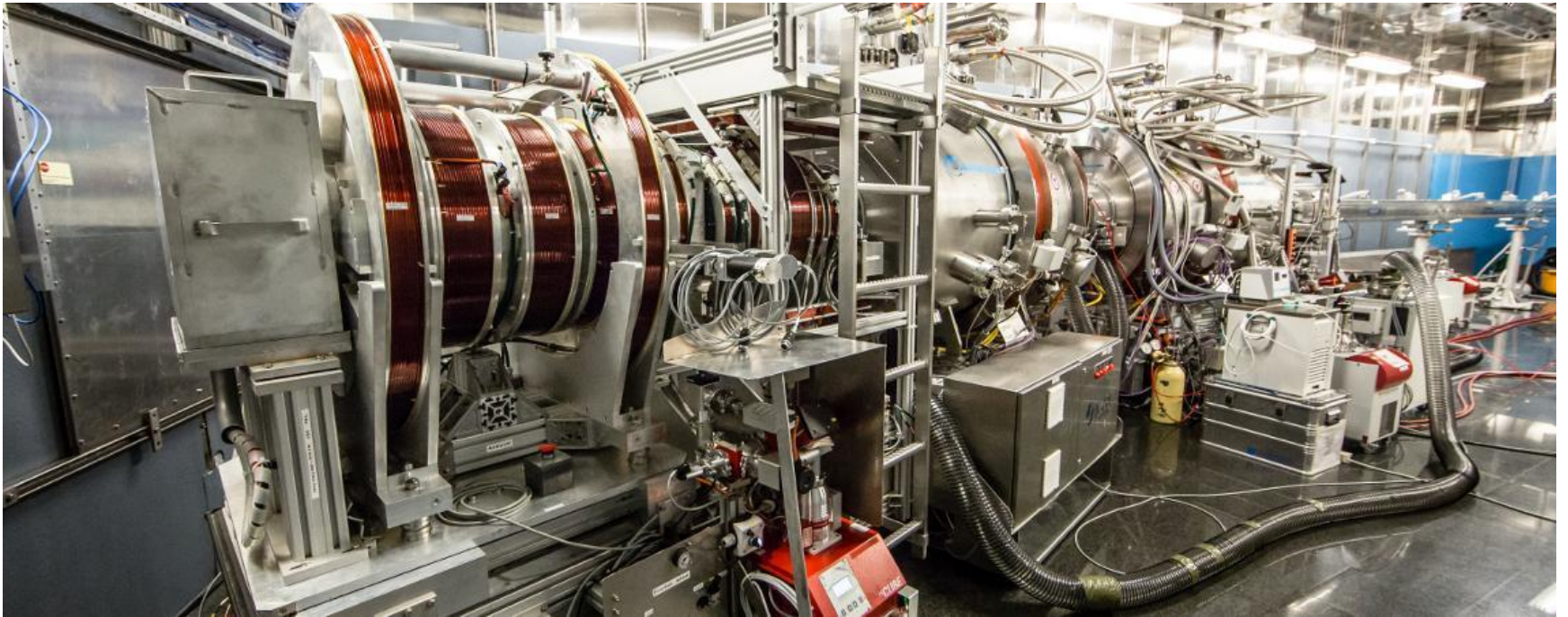
Normal version with neutron guide



Mirror version with neutron focusing



SNS NSE



SNS NSE

	<i>Проводник (JNSE)</i>	<i>Сверхпроводник (SNS)</i>	<i>Преимущества СП</i>
<i>Тепловая мощность</i>	<i>100 кВт (охлаждение)</i>	<i>35 кВт (поддержание температуры)</i>	<i>+</i>
<i>Вес</i>	<i>3 т</i>	<i>3,1 т</i>	<i>+</i>
<i>Плотность тока</i>	<i>200 А/см²</i>	<i>20 000 А/см²</i>	<i>+</i>
<i>ΔV/Δt</i>	<i>0,03 Тс/с</i>	<i>0,003 Тс/с</i>	<i>-</i>
<i>Диаметр провода</i>	<i>14 мм</i>	<i>0,86 мм</i>	<i>+</i>
<i>Гистерезис</i>	<i>Нет</i>	<i>Да, но минимальный эффект</i>	<i>-</i>
<i>Механическая стабильность</i>	<i>Термическое расширение</i>	<i>Температура константа</i>	<i>+</i>
<i>Рассеянные поля</i>	<i>10⁻³ Т</i>	<i>10⁻⁴ Т</i>	<i>+</i>

Должны быть выполнены следующие условия:

1. Максимальное интегральное поле $I_{\max} > 1$ Тс
2. Компактная длина
3. Край поля должен совмещаться с магнитным экранированием
4. Возможность покрыть большой динамический диапазон

Заключение

- Использование медных катушек с большой тепловой мощностью или сверхпроводников

Альтернативные варианты:

- Резонансное спин-эхо (НО не достигает больших спин-эхо времен)
- Широкоугольное спин-эхо (НО ниже разрешение по энергии)

Спасибо за внимание