



Спиновый навигатор в Нуклотроне на основе корректирующих диполей

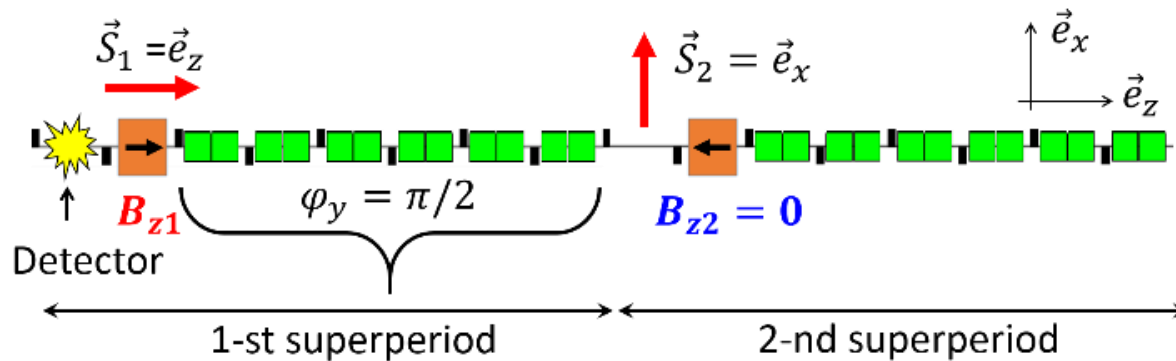
Ю. Филатов, А. Кондратенко, М. Кондратенко, Е. Цыплаков

МФТИ, Долгопрудный, НТЛ Заряд, Новосибирск

1. Режим спиновой прозрачности (ST режим) в Нуклотроне
2. Спиновый навигатор на базе поперечных полей.
3. Экспериментальная проверка ST режима в Нуклотроне

ST режим в Нуклотроне

РФФИ № 20-02-00808 (2020-2021) Разработка методики эксперимента по тестированию системы спин-флипа в диапазоне импульсов протонов до 3 ГэВ/с в режиме спиновой прозрачности Нуклотрона (ОИЯИ)



ST режим на целых резонансах:

$$\nu = \gamma G = 2$$

РНФ № 22-42-04419 (2022-2024) Спиновая прозрачность как новый подход к прецизионным поляризационным экспериментам для проверки фундаментальных симметрий на коллайдерах и накопителях: теория и эксперимент

Экспериментальная проверка ST режима на Нуклотроне

Спиновые навигатор на корректирующих диполях

Корректирующий i -диполь с радиальным полем $b_{x,i}$ и длиной L_i задает в детекторе навигаторную частоту ν_i и ось навигатора \vec{n}_i , вокруг которой спин поворачивается на малый угол $2\pi\nu_i$:

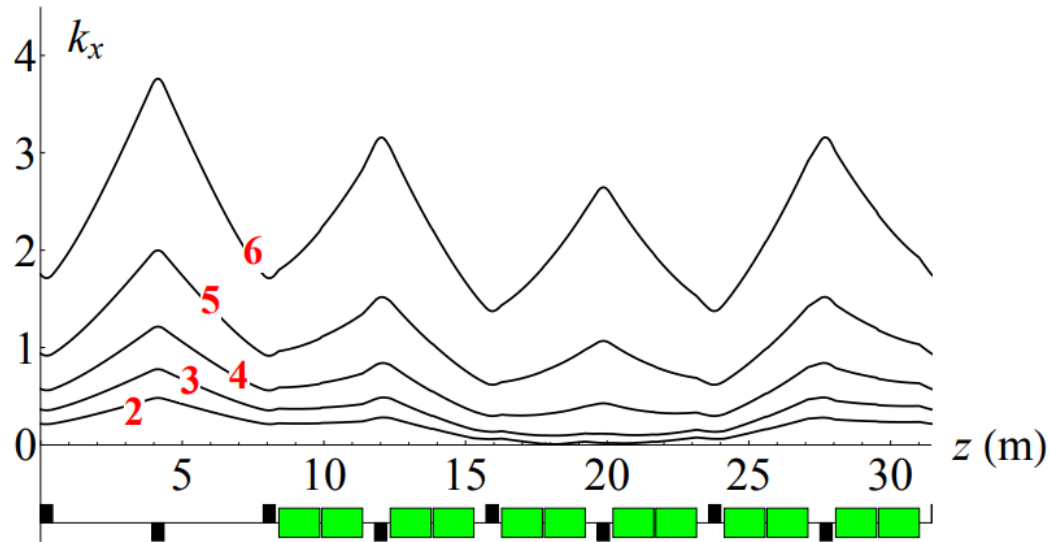
$$\nu_i = \frac{\varphi_{x,i}}{2\pi} k_{x,i}, \quad \vec{n}_i = (\sin \alpha_i, 0, \cos \alpha_i)$$

где $\varphi_{x,i} = \gamma G b_{x,i} L_i / B\rho$ – угол поворота спина корректирующим i -диполем, $k_{x,i}$ – коэффициент усиления навигаторной частоты, вызванный искажением замкнутой орбиты, α_i – угол между направлениями скорости и парциальной оси \vec{n}_i .

Два корректирующих диполя позволяют задать в детекторе навигаторную частоту ν_{nav} и любое направление оси в плоскости Нуклотрона:

$$b_{x,1} L_1 = \frac{2\pi\nu_{nav}}{\gamma G k_{x,1}} \frac{\sin(\alpha - \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} B\rho, \quad b_{x,2} L_2 = \frac{2\pi\nu_{nav}}{\gamma G k_{x,2}} \frac{\sin(\alpha - \alpha_1)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)} B\rho$$

Коэффициент усиления навигаторной частоты



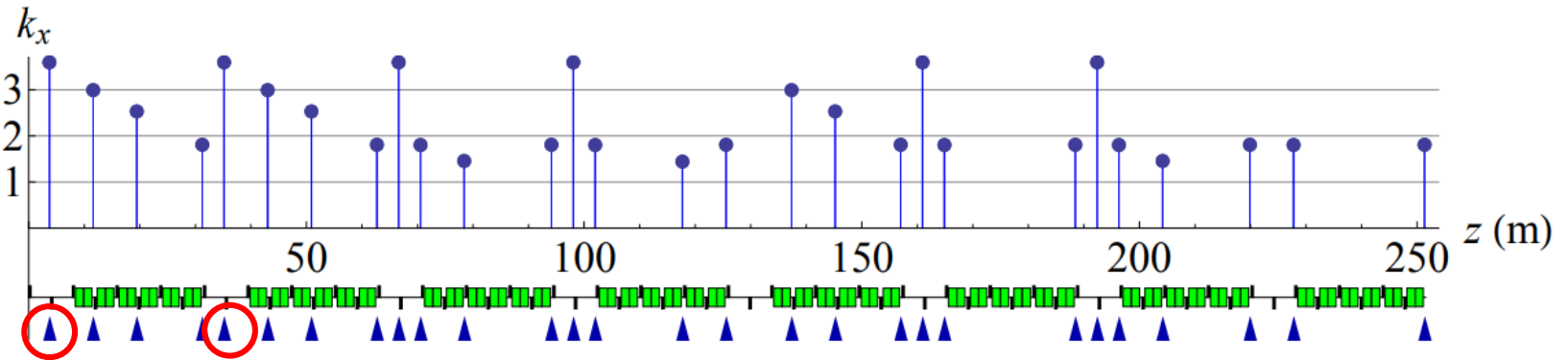
Для резонансов $\gamma G = 2, 3, 4$ коэффициент усиления $k_x < 1$ в любом месте орбиты, т.е. оптическая структура Нуклотрона будет частично компенсировать прямое действие на спин корректирующих диполей.

Для резонанса $\gamma G = 5$ оптическая структура практически не будет оказывать дополнительного воздействия на спины по сравнению с прямым действием корректирующих диполей ($k_x \sim 1$).

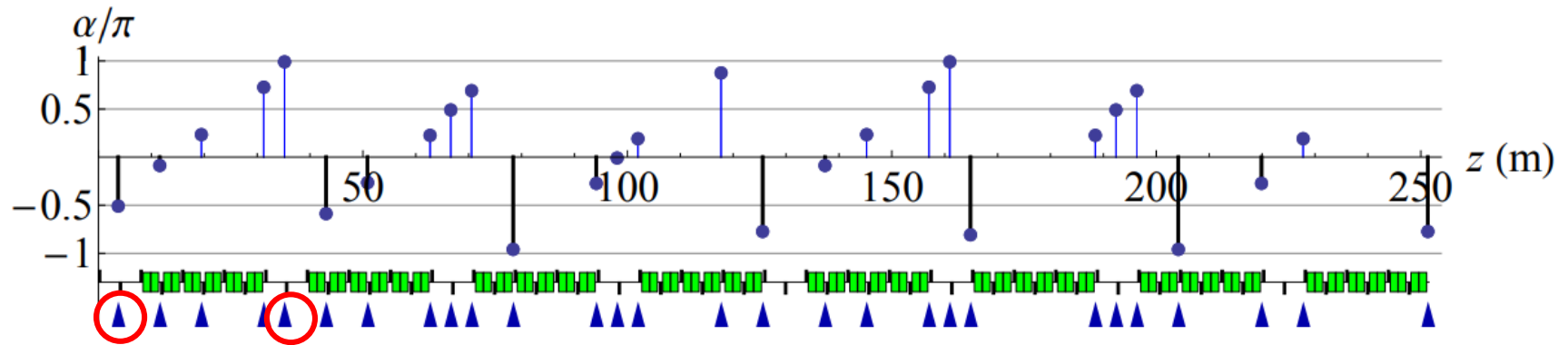
Для резонанса $\gamma G = 6$ оптическая структура будет усиливать прямое действие корректирующих диполей примерно в 2-3 раза ($k_x > 1$)

Спиновый навигатор протонов для $\gamma G = 6$ в Нуклотроне

Коэффициенты усиления навигаторной частоты корректирующих диполей



Углы отклонения парциальных осей корректирующих диполей



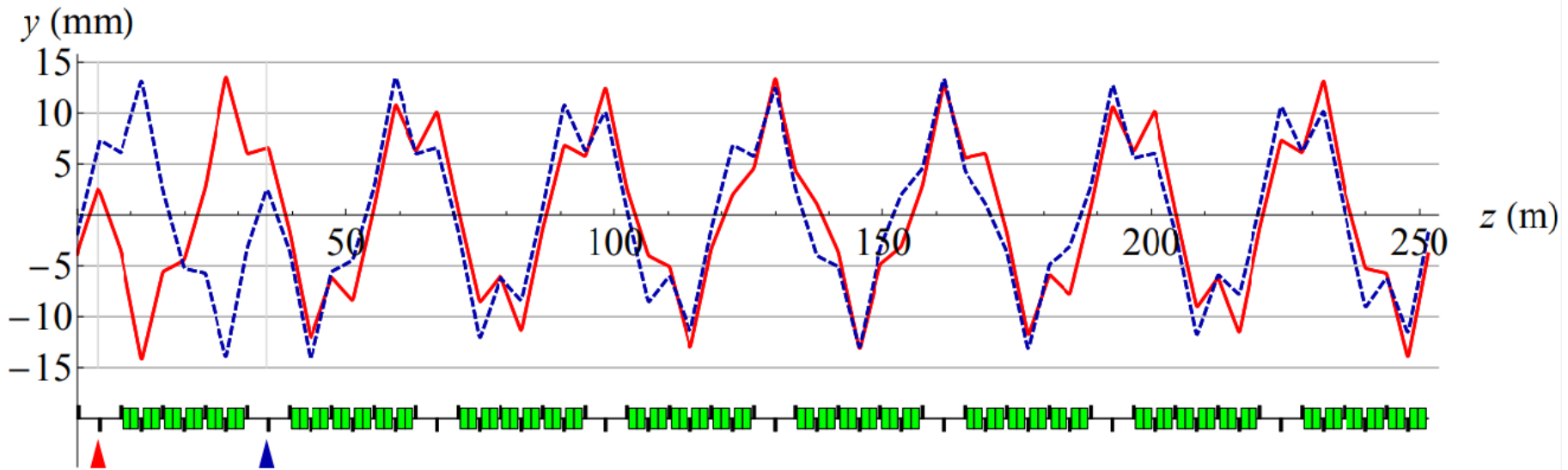
Для управления поляризацией протонов можно выбрать 1-ый и 5-ый диполи:

1-й диполь – управляет **радиальной** компонентой спина

5-й диполь – управляет **продольной** компонентой спина

Отклонение замкнутой орбиты спиновым навигатором

Максимальное значение ν_{nav} ограничено апертурой элементов Нуклотрона. Для $\gamma G = 6$ при $\nu_{nav} = 2 \cdot 10^{-3}$ (интеграл радиального поля $b_x L_x \sim 6 \text{ мТ} \cdot \text{м}$) отклонение замкнутой орбиты от расчетной не превышает 15 мм.



Красная линия – стабилизация навигатором **радиальной** поляризации

Синяя линия – стабилизация навигатором **продольной** поляризации

Апертурные ограничения спадают с ростом энергии пучка.

Для $\gamma G = 7$ при максимальном отклонении замкнутой орбиты равном 15 мм можно индуцировать $\nu_{nav} \approx 0.01$

Адиабатический захват спинов навигатором

Условие адиабатического захвата спинов:

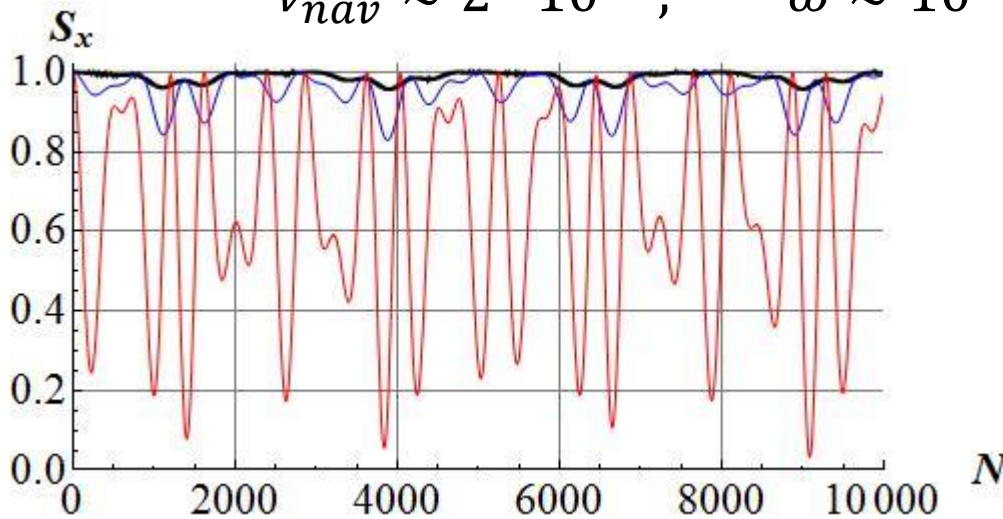
$$\nu_{nav} \gg \omega$$

Доп. ограничение из-за синхротронных колебаний: $\nu_{nav} \gg \max(\nu_\gamma, \sigma)$

ω – мощность ST резонанса из-за несовершенства структуры и бетатронных колебаний, ν_γ – частота синхротронных колебаний, $\sigma = \Delta\gamma G$ – разброс спиновой частоты

Стабилизация радиальной поляризации навигатором ($\gamma G = 6$)

$$\nu_{nav} \approx 2 \cdot 10^{-3}, \quad \omega \approx 10^{-4}, \quad \nu_\gamma \approx 2.5 \cdot 10^{-4}$$



Черная линия: $\sigma = 0$

$$(\Delta p/p) = 0$$

Синяя линия: $\sigma = 3 \cdot 10^{-4}$

$$(\Delta p/p) = 5 \cdot 10^{-4}$$

Красная линия: $\sigma = 1.5 \cdot 10^{-3}$

$$(\Delta p/p) = 2.5 \cdot 10^{-4}$$

N – число оборотов частицы

Обсуждение результатов

Предложенный навигатор для протонов на основе корректирующих диполей позволяет выполнить серию **уникальных экспериментов по спиновой прозрачности** в Нуклотроне, которые включают в себя:

- отработку адиабатического захвата спинов навигатором в область ST резонанса
- тестирование работы спинового навигатора
- проверку системы спин-флипа на базе навигатора

Для проведения экспериментов **требуются поляриметры**, позволяющие измерять **вертикальную и радиальную поляризации протонов**.

После верификации ST режима станет возможным проведение экспериментов с поляризованными протонами на внутренней и внешней мишенях. **Результаты актуальны для NICA.**



Thank you for your attention!