

# Метод замороженного спина для поиска электрического дипольного момента дейтрона в накопительном кольце

*Выступающий:*

А. Е. Аксентьев

*Руководитель:*

д-р. физ.-мат. наук, проф.

Ю. В. Сеничев

канд. физ.-мат. наук, доц.

С. М. Полозов

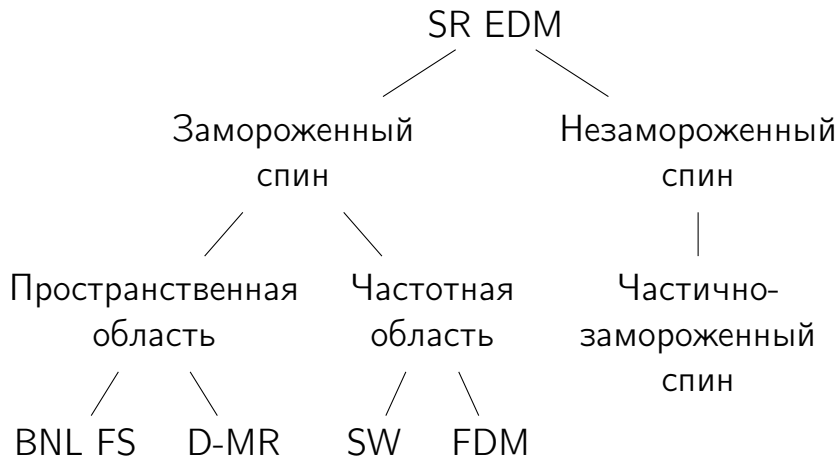
Национальный Исследовательский Ядерный  
Университет "МИФИ"  
(НИЯУ МИФИ)

Москва, 2019

# Цели и задачи

- ▶ **Предмет исследования:** методология частотной области для детектирования ЭДМ дейтрона в накопительном кольце с замороженным спином
- ▶ **Исследуемые характеристики:**
  - ▶ устойчивость к систематическим ошибкам
  - ▶ статистическая точность
- ▶ **Цель исследования:** оценка возможности детектирования ЭДМ дейтрона с точностью  $10^{-29}$  е·см предложенным методом
- ▶ **Актуальность:** исследование велось в рамках проекта, посвящённого поиску ЭДМ элементарных частиц

# Классификация методологий



# Проблемы

- ▶ Возмущения спиновой динамики
- ▶ Декогеренция спинов частиц пучка
- ▶ Поля неидеальности машины
- ▶ Смена полярности ведущего поля ускорителя

# Общие проблемы измерения ЭДМ методом накопительного кольца

И их канонические решения

## Спин-Колесо

- ▶ Возмущения полей
- ▶ Бетатронное движение
- \* Обе вызывают возмущение направления  $\vec{n}$

## Частное решение

- ▶ Спиновая декогеренция
- Р: Секступольные поля
- ▶ Неидеальности машины
- Р: CW/CCW-инжекция

# План работ

## 1. Возмущения спиновой динамики

- ▶ Постановка проблемы
- ▶ Результаты симуляции

## 2. Декогеренция спинов

- ▶ Симуляция подавления декогеренции в идеальном ускорителе
- ▶ Симуляция подавления декогеренции в неидеальном ускорителе
- ▶ Анализ механизма подавления декогеренции

### 3. Поля неидеальности ускорителя

- ▶ Исследование зависимости от распределения неидеальностей вдоль кольца
- ▶ Сравнение систематической ошибки при движении пучка в прямом и обратном направлениях в кольце

### 4. Смена полярности ведущего поля

- ▶ Алгоритм калибровки
- ▶ Результаты симуляции

5. Спин-тун эквивалентность частиц с одинаковыми эффективными Лоренц-факторами

- ▶ Формулировка А
- ▶ Формулировка В

6. Структуры колец для поиска ЭДМ методом замороженного спина

- ▶ BNL FS
- ▶ QFS 6.3
- ▶ QFS E+B



# Постановка проблемы

- ▶ Решение Т-БМТ уравнения для вертикальной компоненты спина

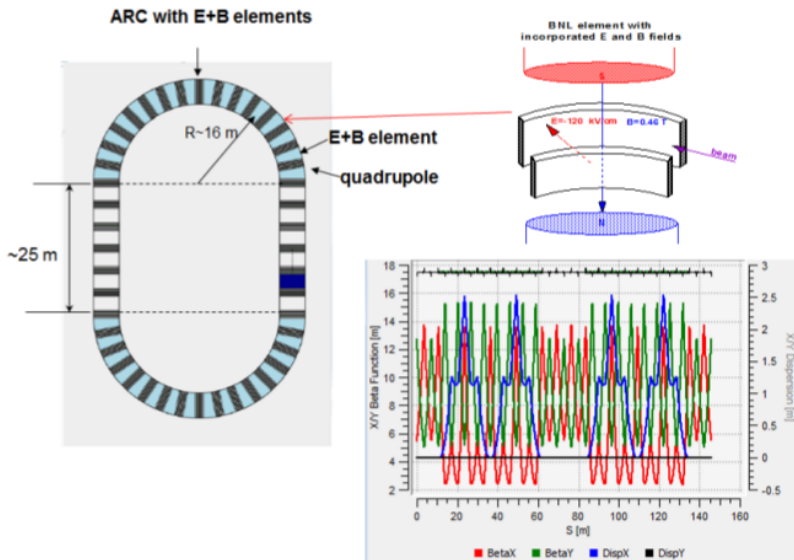
$$s_y(n_{turn}) = \sqrt{(\bar{n}_y \bar{n}_z)^2 + \bar{n}_x^2} \cdot \sin(2\pi \nu_s \cdot n_{turn} + \delta).$$

- ▶ Данные фитируются функцией

$$f(n_{turn}) = a \cdot \sin(b \cdot n_{turn} + c), \quad (a, b, c) = \text{const}$$

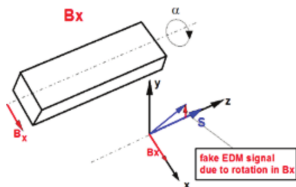
- ▶ При значительной вариации  $\nu_s$ ,  $\bar{n}$  — ошибка спецификации уравнения регрессии

# Симуляция



# Симуляция

## Неидеальности машины



- ▶  $\alpha \sim N(\mu_i, 3 \cdot 10^{-4})^\circ$
- ▶  $\mu_i$  симулирует Спин-Колесо

## Частицы

- ▶ бетатронные колебания в вертикальной плоскости

▶  $E_{FS} \neq E_{kin} \rightarrow E_{FS}$

$\Rightarrow \bar{n}_x \ll 1 \Rightarrow$

повышенная чувствительность к возмущениям

# Анализ

## Данные

TRK данные трекера TR  
COSY Infinity

GEN вычислены по  
формуле,  $\bar{n}$ ,  $\nu_s$   
вычислены на  
данном обороте

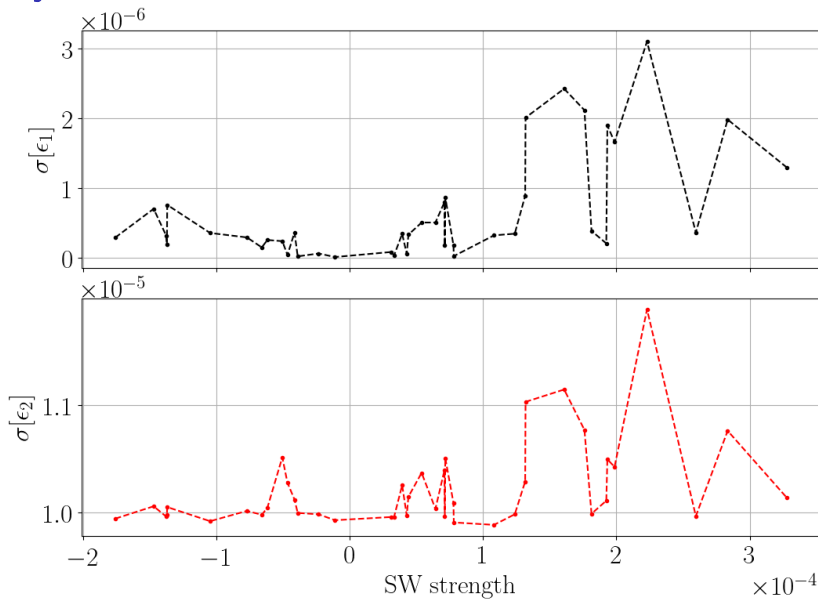
IDL как в GEN, но  
 $\bar{n} = \langle \bar{n} \rangle$ ,  $\nu_s = \langle \nu_s \rangle$

## Сравнительные статисти- тики

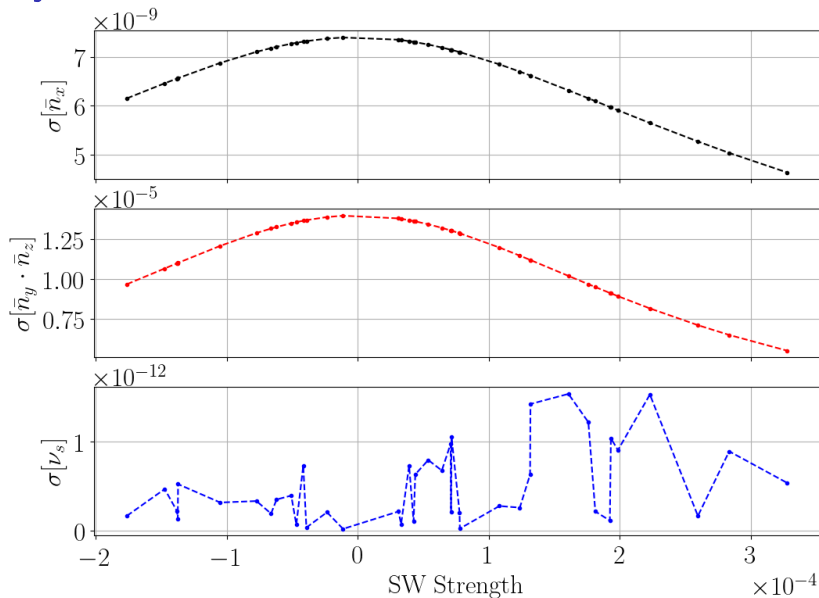
$$\epsilon_1(t) = s_y^{gen}(t) - s_y^{idl}(t)$$

$$\epsilon_2(t) = s_y^{trk}(t) - s_y^{idl}(t)$$

# Результаты



# Результаты



# Выводы

1. Влияние вариации  $\bar{n}$  на качество фита незначительно, по сравнению с вариацией  $\nu_s$
2.  $\sigma[\epsilon_2] \ll \sigma[P_y]$ , значит суперпозиция систематической ошибки со случайной ошибкой измерений поляризации не будет обладать статистически значимой систематичностью

# Выводы

3.  $\sigma[\hat{a}, \hat{b}] < 10\%$ , значит даже если вариация  $\bar{n}$  будет достаточной, чтобы повлиять на  $\hat{a}$ , её эффект на  $\hat{b}$  будет уменьшен как минимум в 10 раз
4. Этот систематический эффект контролируем. Увеличивая скорость вращения Спин-Колеса, мы непрерывно уменьшали амплитуду колебаний  $\bar{n}$



# Перспективы развития проекта

- ▶ Поляризованная программа на ускорительном комплексе НИКА, Дубна

# Результаты работы

- ▶ Изучены эффекты спиновой динамики, составляющие систематические ошибки эксперимента:
  - ▶ возмущения спиновой динамики, вызванные бетатронным движением
  - ▶ декогеренция спинов
  - ▶ МДМ прецессия, связанная с неидеальностью машины
- ▶ Описаны средства борьбы с каждым из эффектов, проведено численное моделирование

- ▶ Сформулированы понятия:
  - ▶ методов пространственной и частотной областей
  - ▶ двумерно-замороженного спина
  - ▶ необходимые условия успешного измерения ЭДМ в накопительном кольце
  - ▶ методология, удовлетворяющая этим условиям
- ▶ Описаны структуры с замороженным и квази-замороженным спином

Спасибо за внимание!