

## Поиск ЭДМ в накопительном кольце

В 2008 году коллаборацией в Брукхейвенской Национальной Лаборатории (BNL, США) был предложен эксперимент по измерению ЭДМ дейтрона, основанный на использовании эффекта “замороженного спина” в комбинированном накопительном кольце. [1] Для реализации условия “замороженности спина,” в случае дейтрона, чья магнитная аномалия  $G < 0$ , применяется радиальное электростатическое поле  $E_r$ . в рамках коллаборации JEDI Исследовательского центра “Юлих,” проф. Ю.В. Сеничев предложил метод измерения ЭДМ, в котором сигналом служит частота колебаний вертикальной компоненты поляризации пучка, названный Frequency Domain Method. [2] Главным достоинством этого метода является отсутствие необходимости исключать паразитную компоненту частоты прецессии поляризации, связанную с Магнитным Дипольным Моментом (МДМ), возникающую из-за неточности установки оптических элементов ускорителя.

## Спиновая декогеренция в экспериментах по поиску ЭДМ

Одной из главных проблем экспериментов по поиску Электрического Дипольного Моента (ЭДМ) элементарных частиц методом накопительного кольца является малость времени жизни поляризации пучка, также называемого Spin Coherence Time (SCT). Величина SCT накладывает ограничения на длительность измерительного цикла, а значит возможную точность единичной оценки частоты, и длительность полного времени измерения ЭДМ.

## Подавление декогеренции

Декогеренция спин тюнов частиц может быть подавлена с помощью применения секступольных полей. Секступоль силы  $S_{sext} = \frac{1}{B\rho} \frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2}$  ( $B\rho$  магнитная жёсткость) обладает двойным эффектом на декогеренцию: во-первых, он меняет величину коэффициента сжатия орбиты  $\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 \delta$  как  $\Delta_{1,sext} = -S_{sext} \frac{D_0^3}{L}$ , а во-вторых, напрямую изменяет длину орбиты частицы как  $\left(\frac{\Delta L}{L}\right)_{sext} = \mp S_{sext} \frac{D_0}{L} \beta_{x,y} \varepsilon_{x,y}$ , где  $D(s) = D_0(s) + D_1(s)\delta$  функция дисперсии,  $\beta_{x,y}$ ,  $\varepsilon_{x,y}$  соответственно горизонтальная и вертикальная бета-функция и эмиттанс.

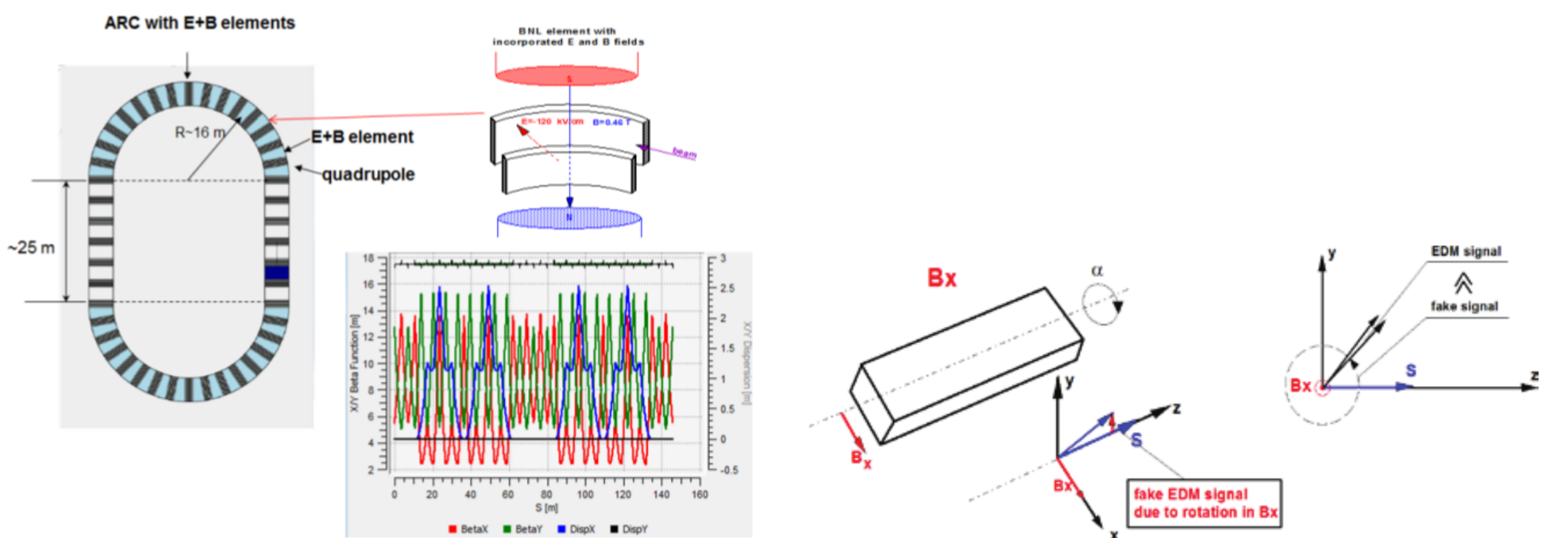
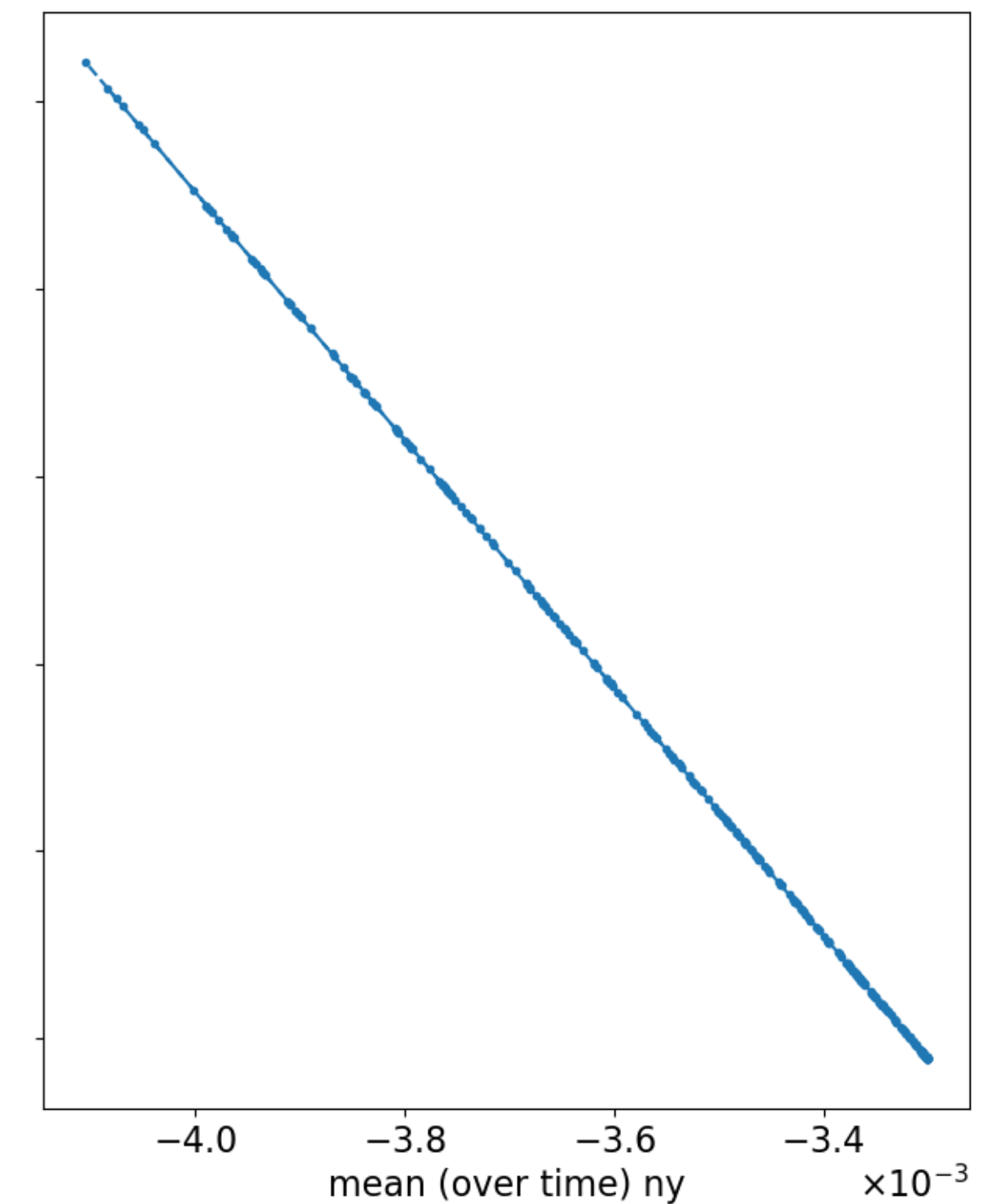
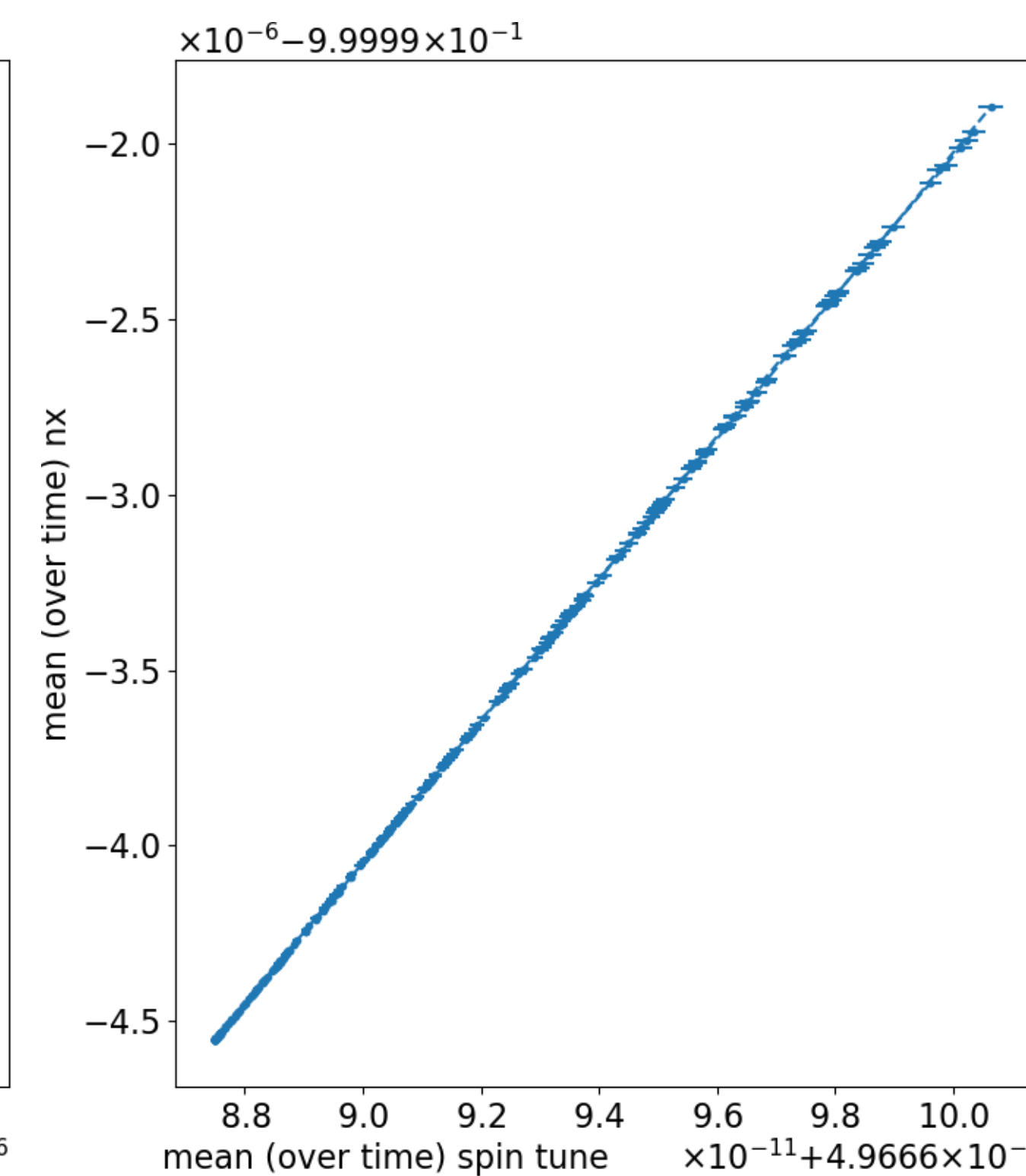
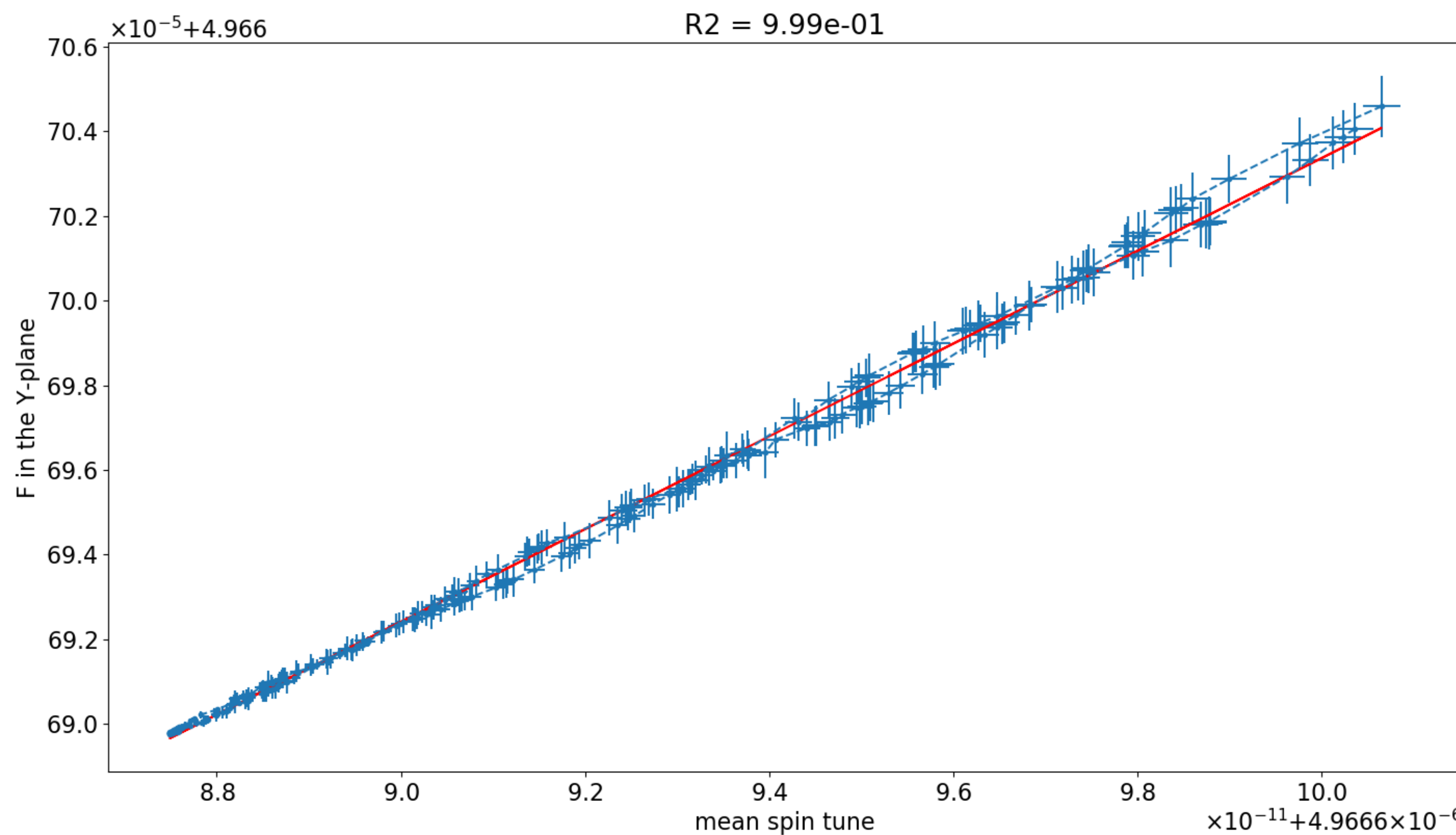
На рисунке справа, например, показаны графики зависимости спин-тюнов частиц от их начального вертикального смещения, в идеальной структуре с “замороженным спином” до (синяя) и после (оранжевая линия) оптимизации градиента секступоля, расположенного в максимумах  $\beta_y$  (остальные секступоли в этой структуре не применяются). Видно, что после оптимизации, спин тюн практически не зависит от вертикального положения частицы в вакуумной камере.

## Симуляция

Мы просимулировали спин-орбитальную динамику плоского пучка, смещённого от референсной орбиты в вертикальном направлении на  $y_0 \in [-1mm, +1mm]$  и распределённого в плоскости y-z как  $y \sim N(0, 0.1mm)$  в структуре с замороженным спином [3], с Е+В элементами наклонёнными вокруг оптической оси на случайные углы, взятые из распределения  $\alpha \sim N(0, 5 \cdot 10^{-4})$  радиан. В структуре варьировались значения градиента секступоля GSY, подавляющего декогеренцию в вертикальной плоскости, в диапазоне  $\pm 5 \cdot 10^{-3}$  от значения GSY0 =  $-2.5 \cdot 10^{-3}$ , оптимального для идеальной структуры. Вычисленное по формуле  $P(n) = \frac{\sum_i s_i(n)}{\|\sum_i s_i(n)\|}$  значение поляризации пучка через оборот  $n$ ,  $s_i = (s_X^i, s_Y^i, s_Z^i)$  спин-вектор i-ой частицы, фитировалось функцией  $f(t) = a \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \phi)$ , ( $a, f, \phi$ ) фитируемые параметры.

## Выводы

Мы обнаружили зависимость оценки частоты  $\hat{f}(\nu_s)$  от среднего уровня спин-тюна центроида пучка. Мы также обнаружили, что, по меньшей мере в данной структуре, средние уровни спин-тюна и компонент оси стабильного спина связаны линейно.



## Список литературы

- [1] D. Anastassopoulos, V. Anastassopoulos, and D. Babusci. AGS Proposal: Search for a permanent electric dipole moment of the deuteron nucleus at the  $10^{-29} e \cdot cm$  level. Technical report, BNL, 2008.
- [2] Y. Senichev, A. Aksentev, A. Ivanov, and E. Valetov. Frequency domain method of the search for the deuteron electric dipole moment in a storage ring with imperfections. *arXiv:1711.06512 [physics]*, Nov. 2017. arXiv: 1711.06512.
- [3] Yuriy Senichev, S. Andrianov, Andrey Ivanov, Stanislav Chekmenev, Martin Berz, and Eremey Valetov. INVESTIGATION OF LATTICE FOR DEUTERON EDM RING. In *Modeling of current and future machines*, Shanghai, China, 2015.