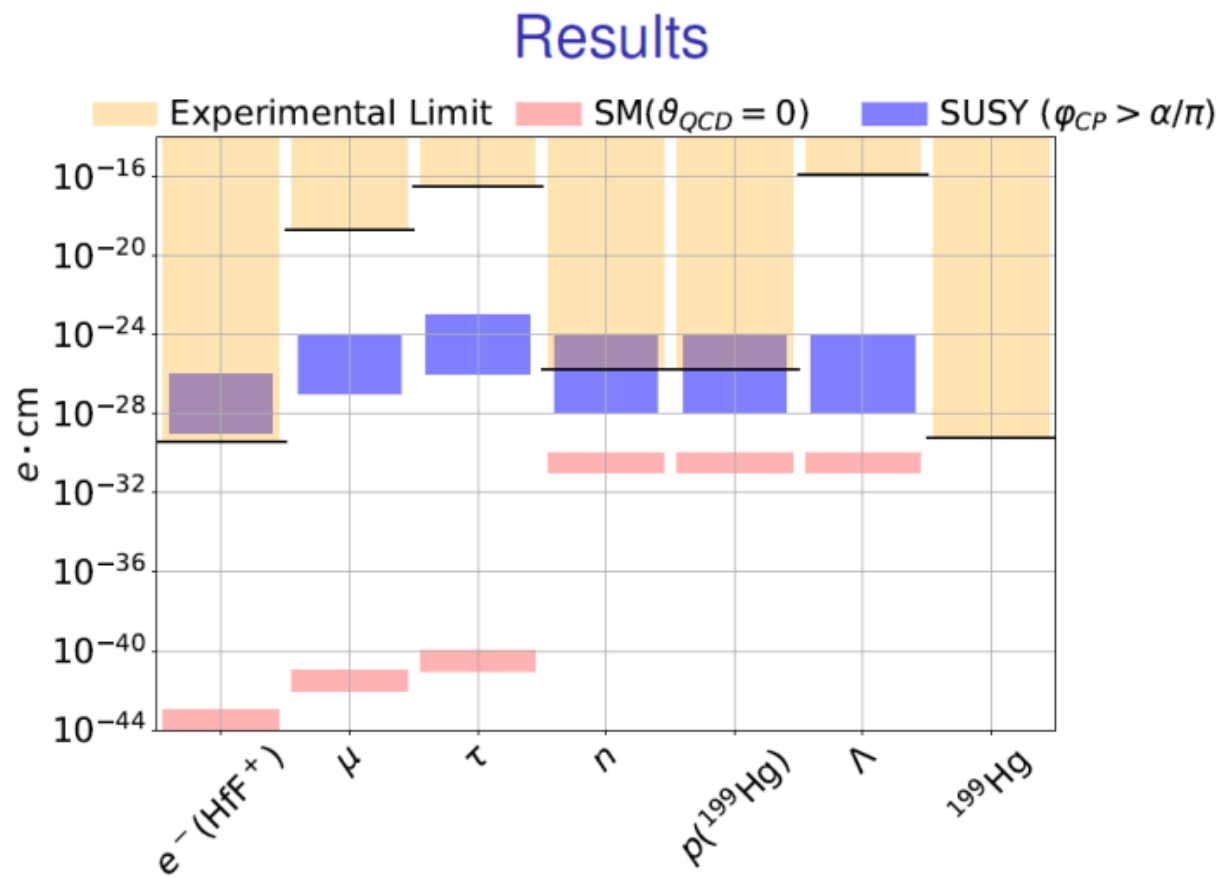
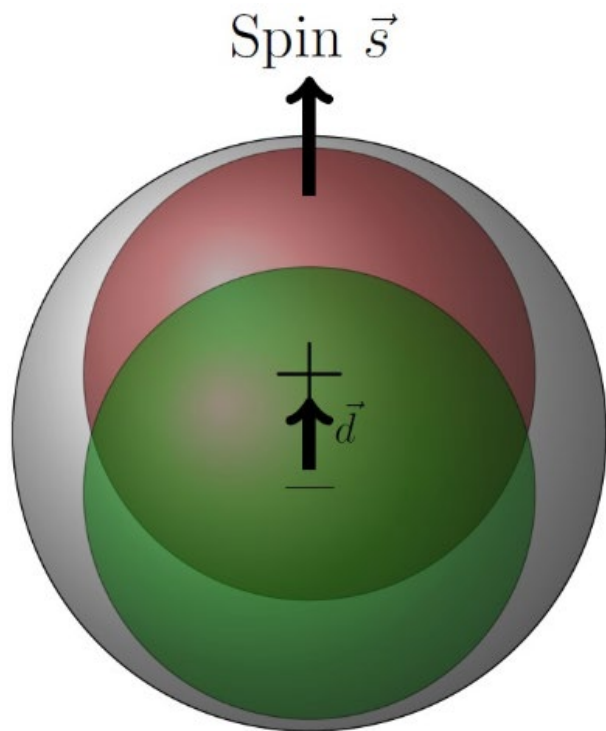

Исследование структуры типа квази-замороженного спина для поиска ЭДМ

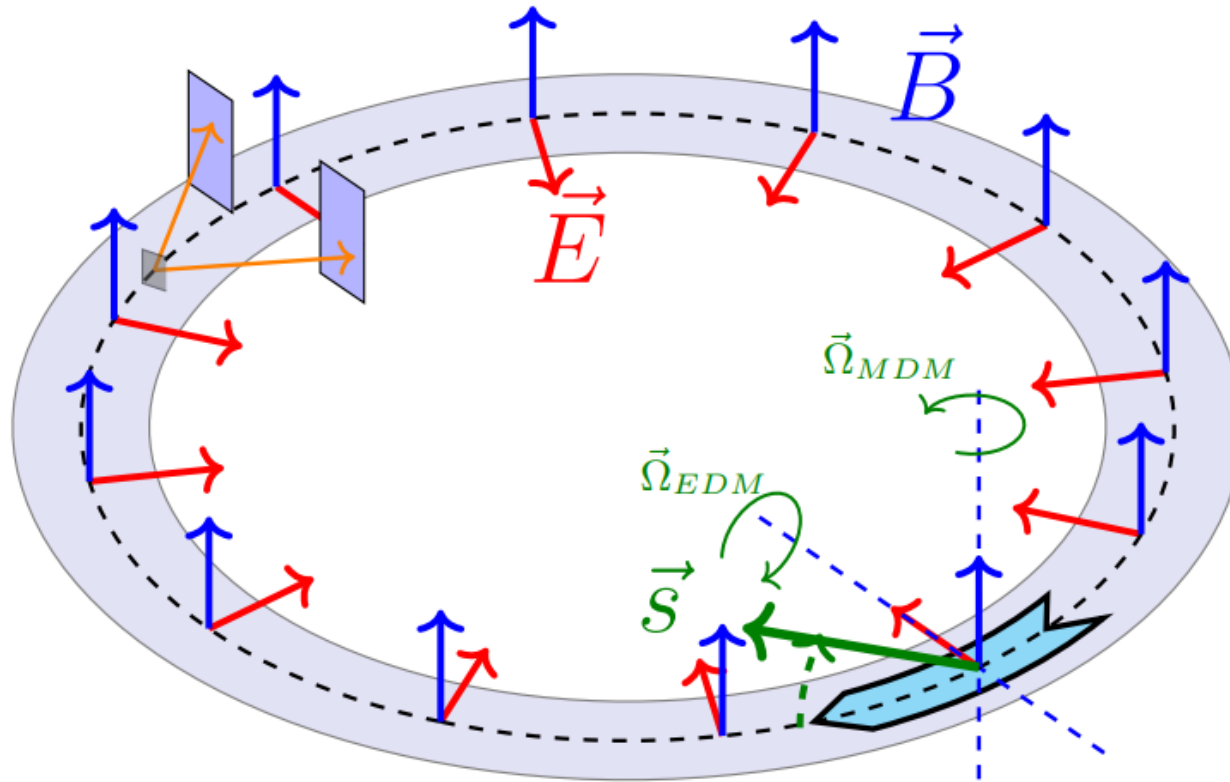
А.А. Мельников^{1,2}, Ю.В. Сеничев¹, А.Е. Аксентьев^{1,3}, С.Д. Колокольчиков¹

¹Институт Ядерных Исследований РАН, Москва, Россия,

² Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау, Черноголовка, Россия,

³Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия





Поведение поляризации пучка частиц
в системе с электрическими и магнитными полями.

ур-е Т-БМТ: $\frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{S} \times (\vec{\Omega}_{MDM} + \vec{\Omega}_{EDM})$

$$\vec{\Omega}_{MDM} = \frac{q}{m} \left[G\vec{B} - \left(\frac{1}{\gamma^2 - 1} - G \right) \frac{\vec{\beta} \times \vec{E}}{c} \right]$$

$$\vec{\Omega}_{EDM} = \frac{q\eta}{2m} \left[\vec{\beta} \times \vec{B} + \frac{\vec{E}}{c} \right]$$

Метод “замороженного спина” для поиска ЭДМ

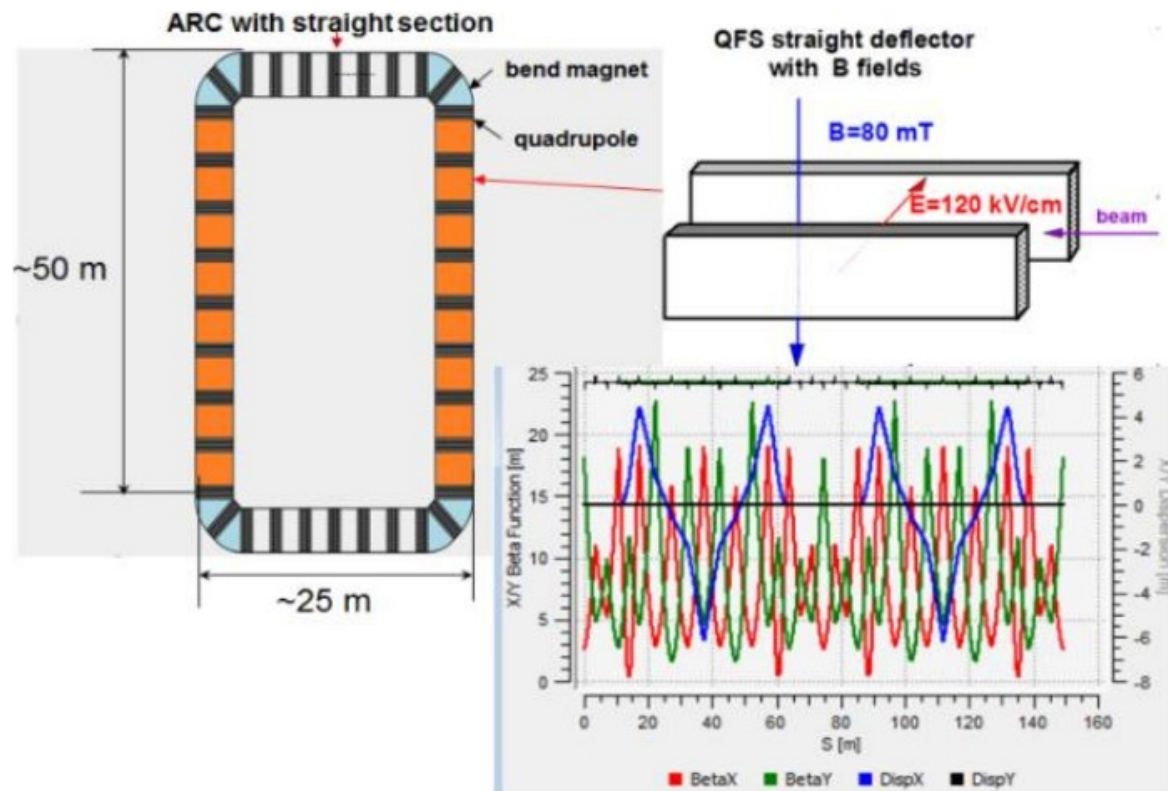
$$\vec{\Omega}_{MDM} = 0 \quad \text{в системе пучка} \quad \text{или} \quad \vec{S} \parallel \vec{P}$$

- 1) Электростатическое кольцо для частиц с $G > 0$ при $\gamma = \gamma_{mag}$.
(протоны при 232.8 МэВ).
- 2) Для частиц с $G < 0$ только комбинированное $E + B$ кольцо (дейтроны).

Квази-замороженный спин

Замороженный спин – специализированное кольцо.

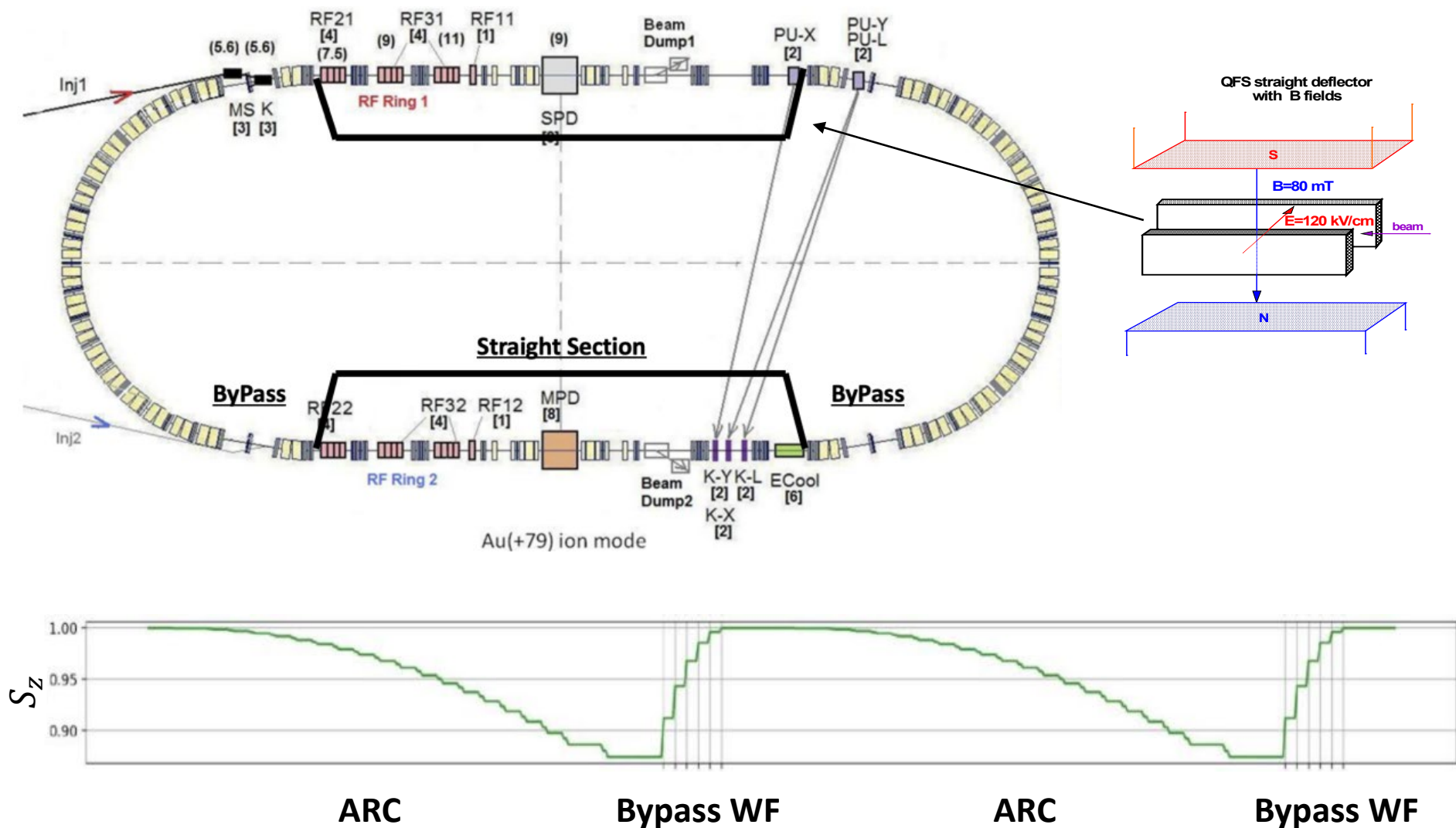
Квази-замороженный спин – магнитный синхротрон (коллайдер NICA/Nuclotron) + фильтры Вина на прямой секции.



Юрий В. Сеничев: идея структуры с квази-замороженным спином.

Спин вращается в Фильтре Вина противоположно арке и восстанавливает своё направление за один оборот.

Квази-замороженный спин на NICA



Вопросы, требующие изучения:

- Куда направлен \vec{n} и какова частота спин-прецессии Ω в случае квази-замороженной структуры ?
- Как систематические ошибки влияют на измерение ЭДМ ?

Решение приведено для референсной частицы.

Каждый элемент ускорителя характеризуется матрицей поворота спин-вектора M на угол $\varphi = \Omega dt$ вокруг локального направления \vec{n} :

$$M = \exp \left[-i(\vec{\sigma} \cdot \vec{n}) \frac{\phi}{2} \right] = \cos \left(\frac{\phi}{2} \right) - i(\vec{\sigma} \cdot \vec{n}) \sin \left(\frac{\phi}{2} \right).$$

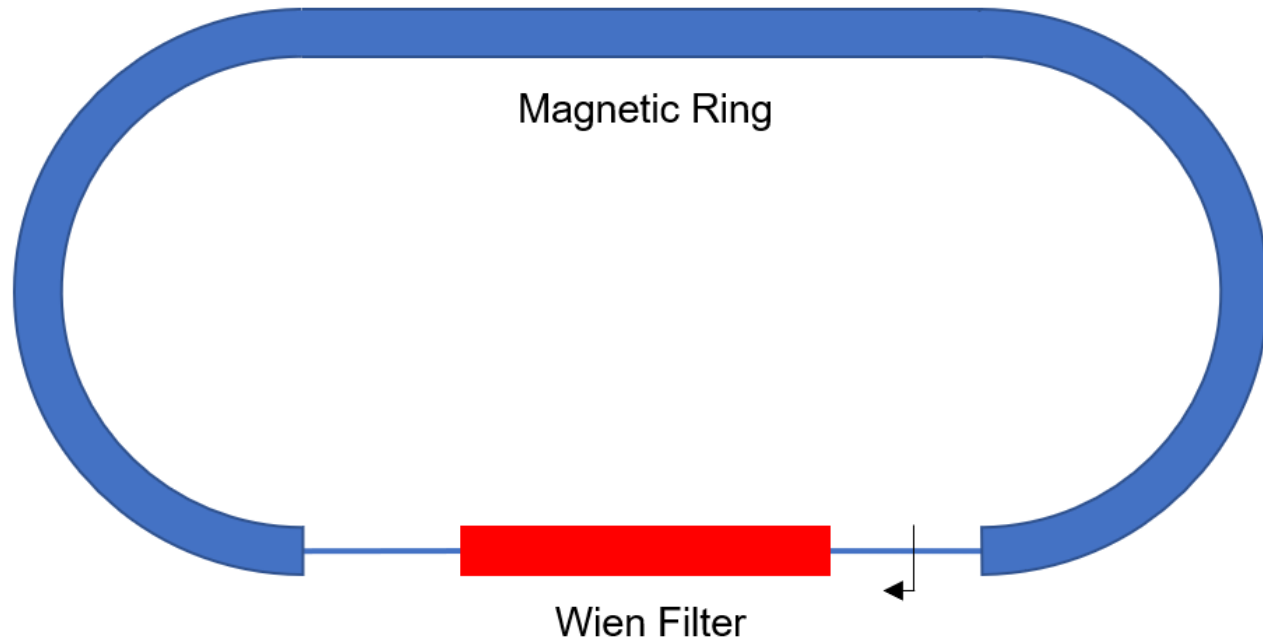
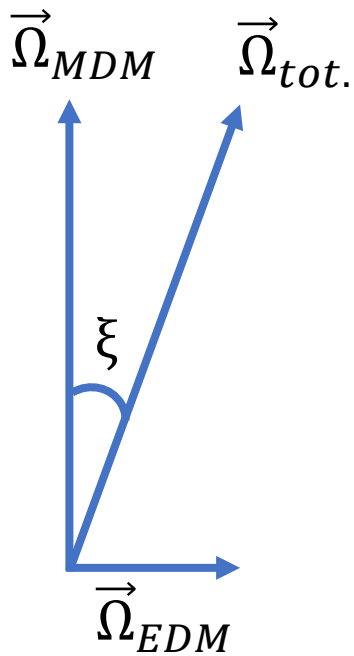
Для кольца из N элементов: $M = M_N M_{N-1} \dots M_2 M_1$.

В точке наблюдения с азимутом θ спин-тьюн ν_s и направление \vec{n} :

$$\cos(\pi \nu_s) = \frac{1}{2} \text{Tr}(M(\theta)).$$

$$\vec{n}(\theta) = \frac{i/2}{\sin(\pi \nu_s)} \text{Tr}(\vec{\sigma} M(\theta)).$$

Квази-замороженный спин



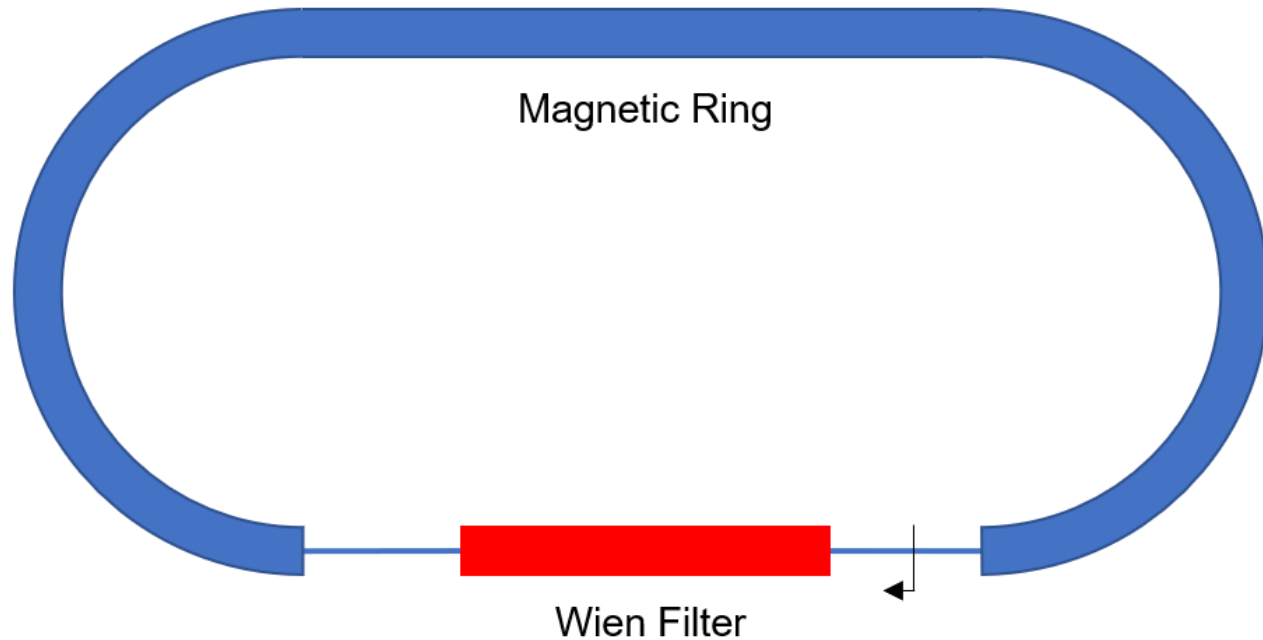
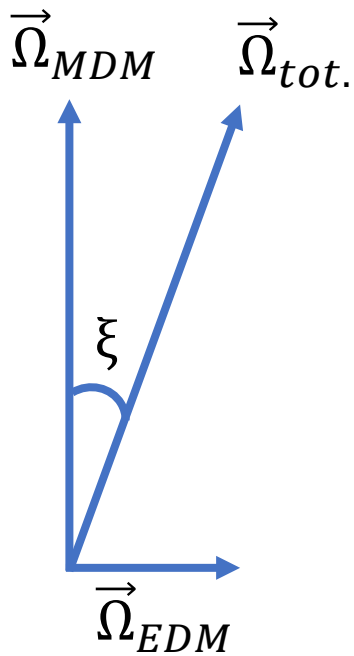
$$\frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{S} \times (\vec{\Omega}_{MDM} + \vec{\Omega}_{EDM}) \quad \xi = \frac{\eta\beta}{2G}$$

$$M_{ring} = \cos(\varphi_M/2) + i\sigma_1 \sin \xi \sin(\varphi_M/2) - i\sigma_3 \cos \xi \sin(\varphi_M/2)$$

$$M_{WF} = \cos(\varphi_E/2) - i\sigma_3 \sin(\varphi_E/2)$$

$$M_{tot.} = M_{ring} \cdot M_{WF}, \quad \varphi_M + \varphi_E = 0$$

Квази-замороженный спин



$$v_s = \frac{1}{\pi} \sin(\varphi_M/2) \cdot \xi$$

\vec{n} в плоскости кольца:

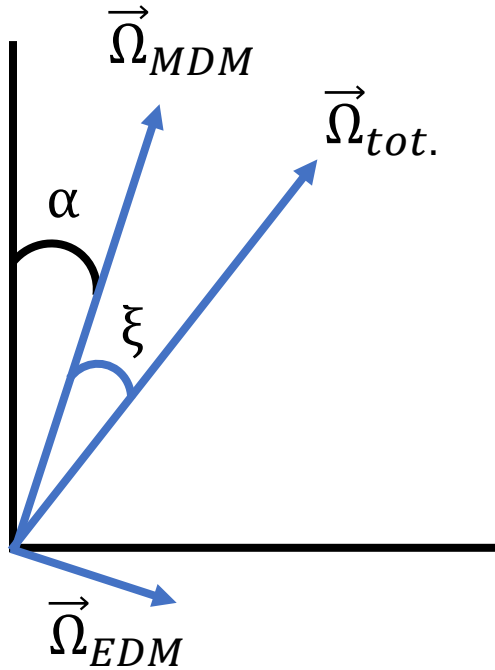
$$n_x = \cos(\varphi_M/2)$$

$$n_z = -\sin(\varphi_M/2)$$

$$\frac{v_{s_QFS}}{v_{s_FS}} = \frac{\sin(\varphi_M/2)}{\varphi_M/2}$$

Уменьшаем φ_M ,

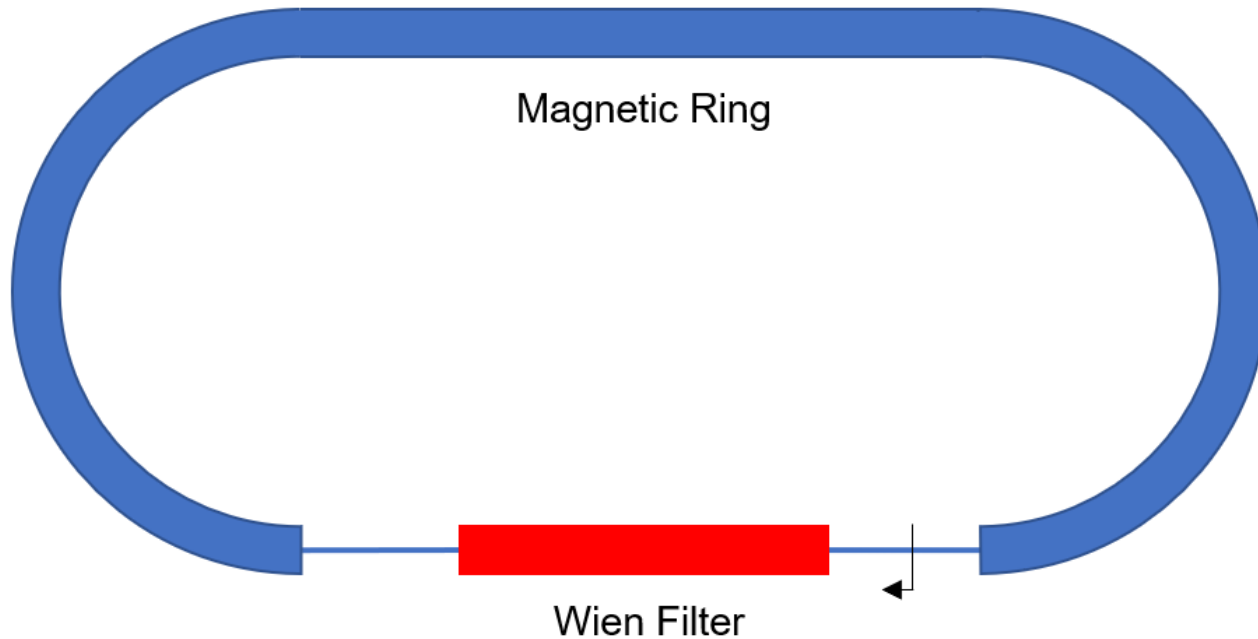
N секций Bend+WF для частиц с большим G,
Целые обороты в арке не накапливают ЭДМ



$$M_{Bend} = \cos(\varphi_M/2) + \\ + i\sigma_1 (\sin \alpha + \xi \cdot \cos \alpha) \sin(\varphi_M/2) - i\sigma_3 (\cos \alpha - \xi \cdot \sin \alpha) \sin(\varphi_M/2)$$

Для сегмента из N элементов, пренебрегая членами $\xi \cdot \alpha$ и выше:

$$M_{ring}(\vec{n}, \varphi) = M_{ring}(c_y \vec{e}_y + [c_x + \xi] \vec{e}_x + c_z \vec{e}_z, \varphi_\Sigma)$$



$$M_{ring}(\vec{n}, \varphi) = M_{ring}(c_y \vec{e}_y + [c_x + \xi] \vec{e}_x + c_z \vec{e}_z, \varphi_M)$$

$$M_{WF} = \cos(\varphi_E/2) - i\sigma_3 \sin(\varphi_E/2)$$

$$M_{tot.} = M_{ring} \cdot M_{WF}, \quad \varphi_M + \varphi_E = 0$$

$$v_s = \frac{1}{\pi} \sin(\varphi_M/2) \cdot \sqrt{(c_x + \xi)^2 + c_z^2}, \quad \vec{n} \text{ в плоскости кольца}$$

Исключение систематики путём CW/CCW инжекции при $c_x \gg c_z$.