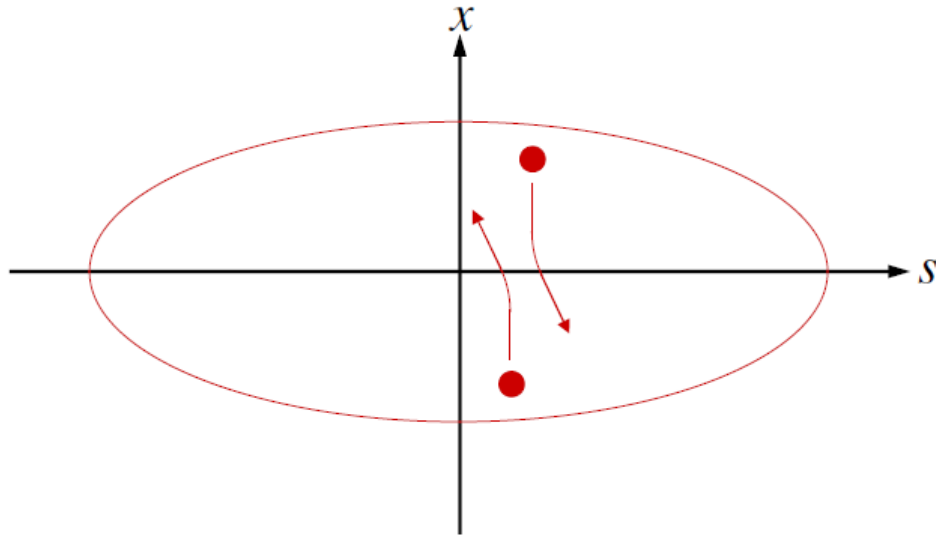


Рост эмиттанса вследствие
внутрипучкового рассеяния в
накопительных кольцах комptonовского
источника

Внутрипучковое рассеяние

Столкновения между частицами сгустка приводят к перераспределению импульса внутри него, что может вызывать рост эмиттанса во всех направлениях.



Внутрипучковое рассеяние

- Если в результате столкновения импульс частицы изменился настолько сильно, что превысил энергетический аксептанс машины, то частица будет потеряна в дальнейшем. Это эффект Тушека.
- Внутрипучковое рассеяние — это увеличение эмиттанса из-за множественных столкновений частиц, в каждом из которых импульс меняется слабо и частица не теряется.

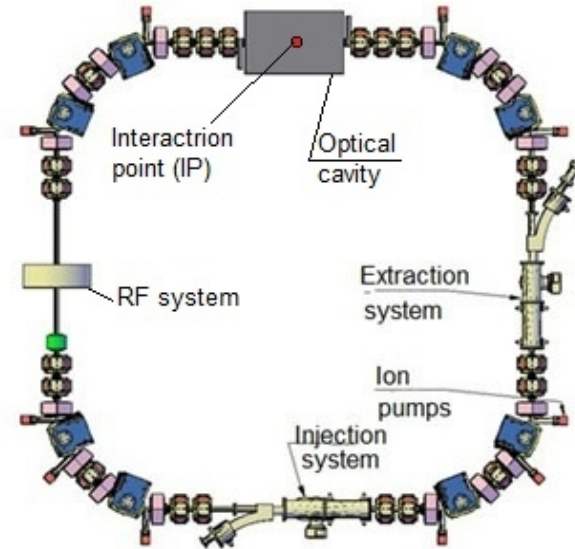
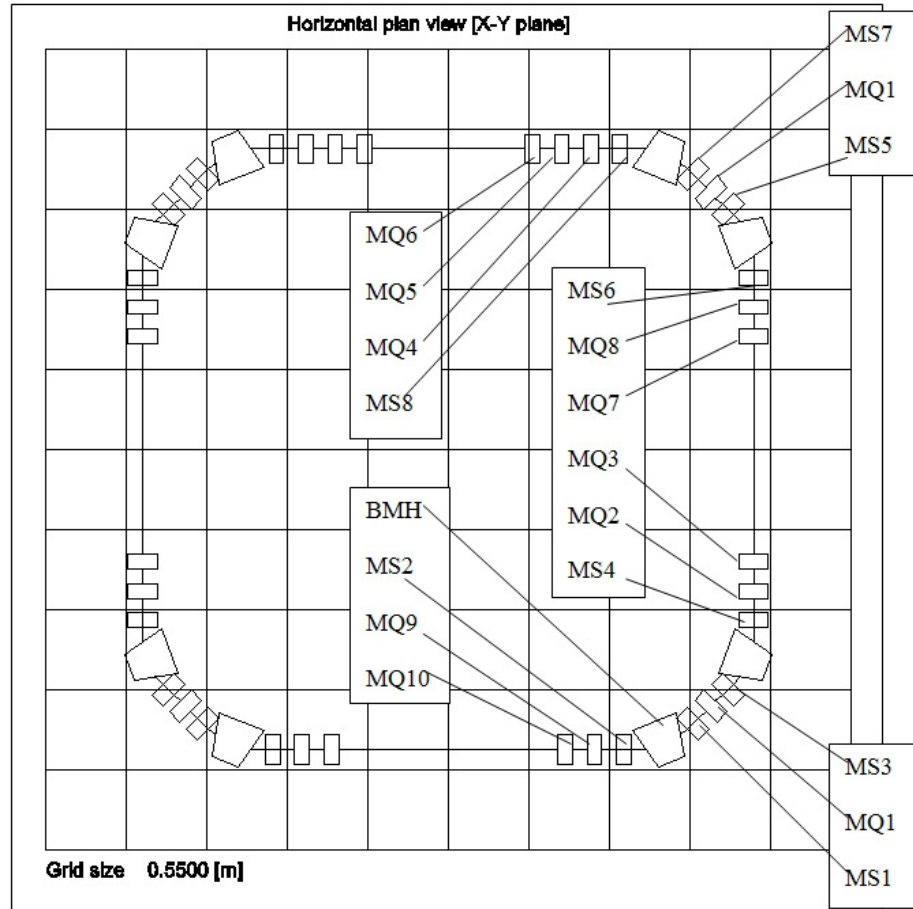
Внутрипучковое рассеяние

- Внутрипучковое рассеяние может приводить к превышению аксептанса и потерям частиц при длительном нахождении пучка в кольце.
- Кроме того, увеличение эмиттанса пучка с течением времени приводит к уменьшению выхода комптоновского излучения, в то время как для экспериментов необходимо поддерживать выход на постоянном уровне.
- По этой причине пучок требуется периодически заменять.
- Существует потребность максимально ослабить эффект внутрипучкового рассеяния.

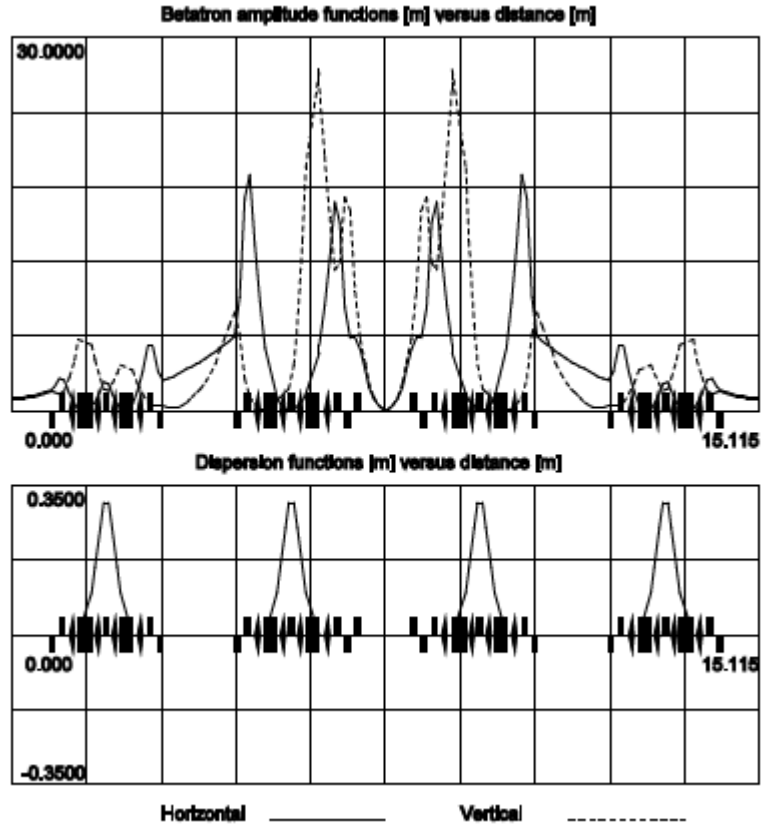
Внутрипучковое рассеяние

- В данной работе исследуется возможность уменьшить данный эффект путём подбора определённого порядка следования элементов кольца: поворотных магнитов, квадрупольей, участков свободного полета.
- За основу взяты кольцо из работы Бьёркена и Мтингвы (протонное, $\gamma=9.53$) и кольцо из проекта LEXG (электронное, $\gamma \approx 100$).

Кольцо LEXG



Кольцо LEXG



Скорости роста эмиттансов:

$$1/T_I = 22,5 \text{ c}^{-1}$$

$$1/T_x = 97,4 \text{ c}^{-1}$$

$$1/T_y = -0,086 \text{ c}^{-1}$$

Длина пучка — 1,2 мм,

$$\sigma_\eta = 0,003$$

$$\varepsilon_x = \varepsilon_z = 0,16 \text{ мм} \cdot \text{мрад}$$

Заряд пучка — 1 нКл

Внутрипучковое рассеяние

- Существует несколько подходов к расчёту скорости роста эмиттансов из-за внутрипучкового рассеяния.
- Один из самых распространённых — теория Бьёркена и Мтингвы (Bjorken и Mtingwa).

В теории Бьёркена и Мтингвы выражения для скорости роста продольного и поперечного эмиттансов имеют похожий вид:

$$\frac{1}{\tau_l} = \frac{\pi^2 \alpha^2 M N (\log)}{\lambda \tilde{\Gamma}} \left[\frac{m\gamma^2}{\sigma_\eta^2} \right] \int_0^\infty \frac{d\lambda \sqrt{\lambda} [2a\lambda + b]}{\{\lambda^3 + a\lambda^2 + b\lambda + c\}^{3/2}},$$

$$\frac{1}{\tau_x} = \frac{\pi^2 \alpha^2 M N (\log)}{\gamma \tilde{\Gamma}} \left[\frac{\gamma^2 \eta^2}{\epsilon_x \beta_x} + \frac{\beta_x}{\epsilon_x} \gamma^2 \phi^2 \right] \int_0^\infty \frac{d\lambda \sqrt{\lambda} [2a\lambda + b]}{\{\lambda^3 + a\lambda^2 + b\lambda + c\}^{3/2}},$$

$$\Gamma_{\text{unbunched}} = \frac{(2\pi)^{5/2}}{\sqrt{2}} \beta^3 \gamma^3 M^3 \epsilon_x \epsilon_z \sigma_\eta C,$$

$$\phi = \eta' - \frac{\beta_x' \eta}{2\beta_x}.$$

$$a = \frac{\gamma^2 \eta^2}{\epsilon_x \beta_x} + \frac{\beta_x}{\epsilon_x} \gamma^2 \phi^2 + \frac{m\gamma^2}{\sigma_\eta^2},$$

$$b = \left[\left(\frac{\beta_x}{\epsilon_x} + \frac{\beta_z}{\epsilon_z} \right) \left(\frac{\gamma^2 \eta^2}{\epsilon_x \beta_x} + \frac{m\gamma^2}{\sigma_\eta^2} \right) + \frac{\beta_x}{\epsilon_x} \frac{\beta_z}{\epsilon_z} \gamma^2 \phi^2 \right],$$

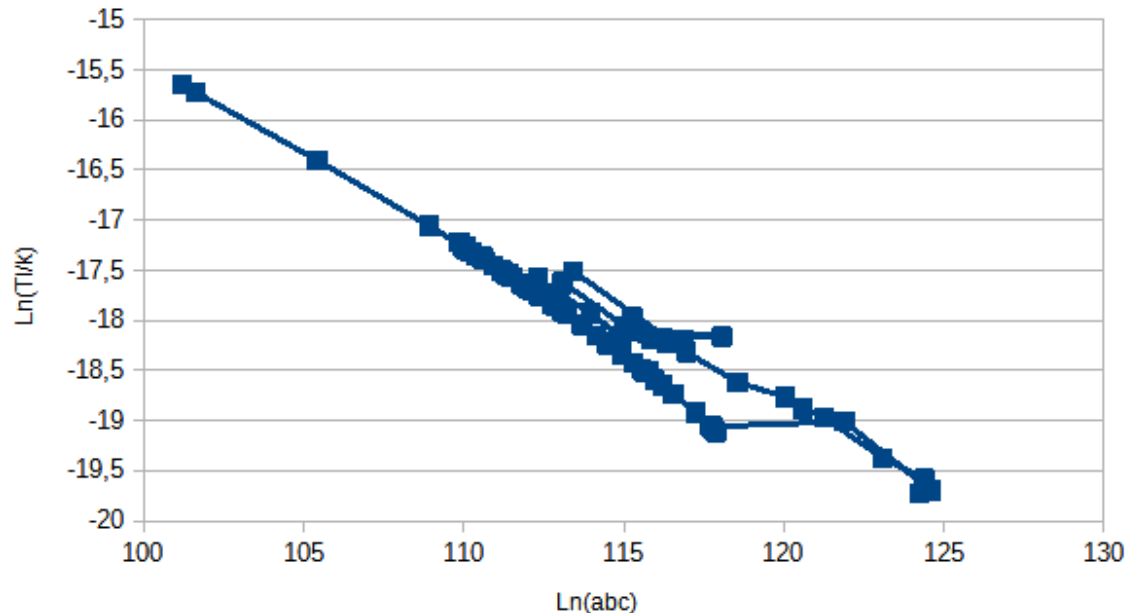
$$c = \frac{\beta_x}{\epsilon_x} \frac{\beta_z}{\epsilon_z} \left(\frac{\gamma^2 \eta^2}{\epsilon_x \beta_x} + \frac{m\gamma^2}{\sigma_\eta^2} \right).$$

□

Интеграл Бьёркена-Мтингвы

- Нами было замечено, что логарифм интеграла Бьёркена-Мтингвы линейно связан с логарифмом произведения abc :

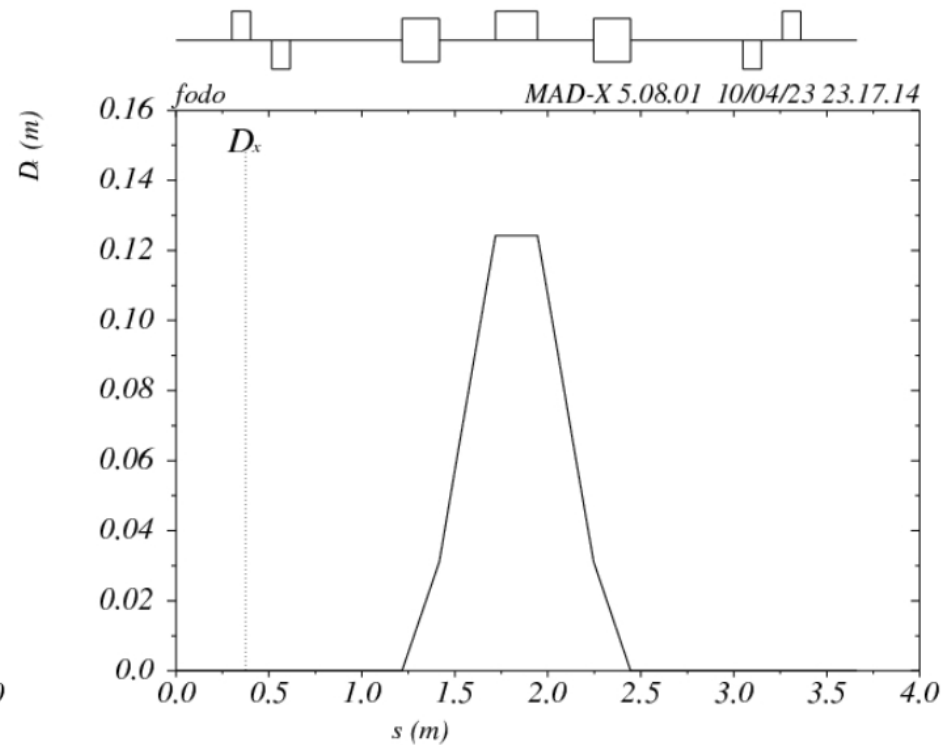
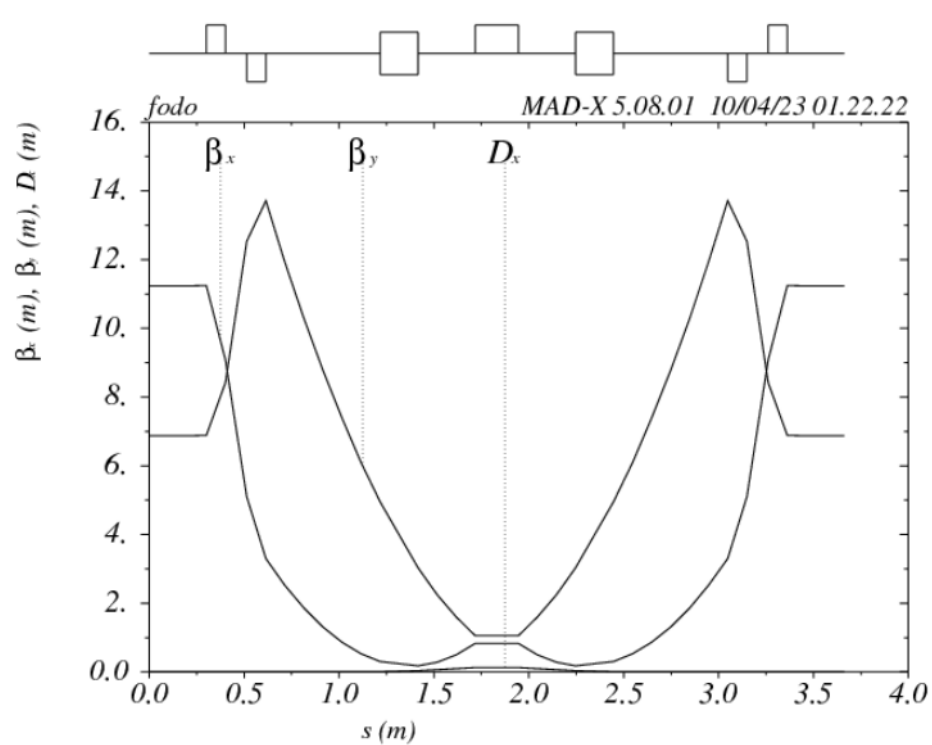
- $$\int_0^{\infty} \frac{\sqrt{\lambda}(2a\lambda+b)d\lambda}{(\lambda^3+a\lambda^2+b\lambda+c)^{3/2}} \sim C(abc)^n$$
 где $n \sim 1/6$, $C \sim (0,5-3,6)$



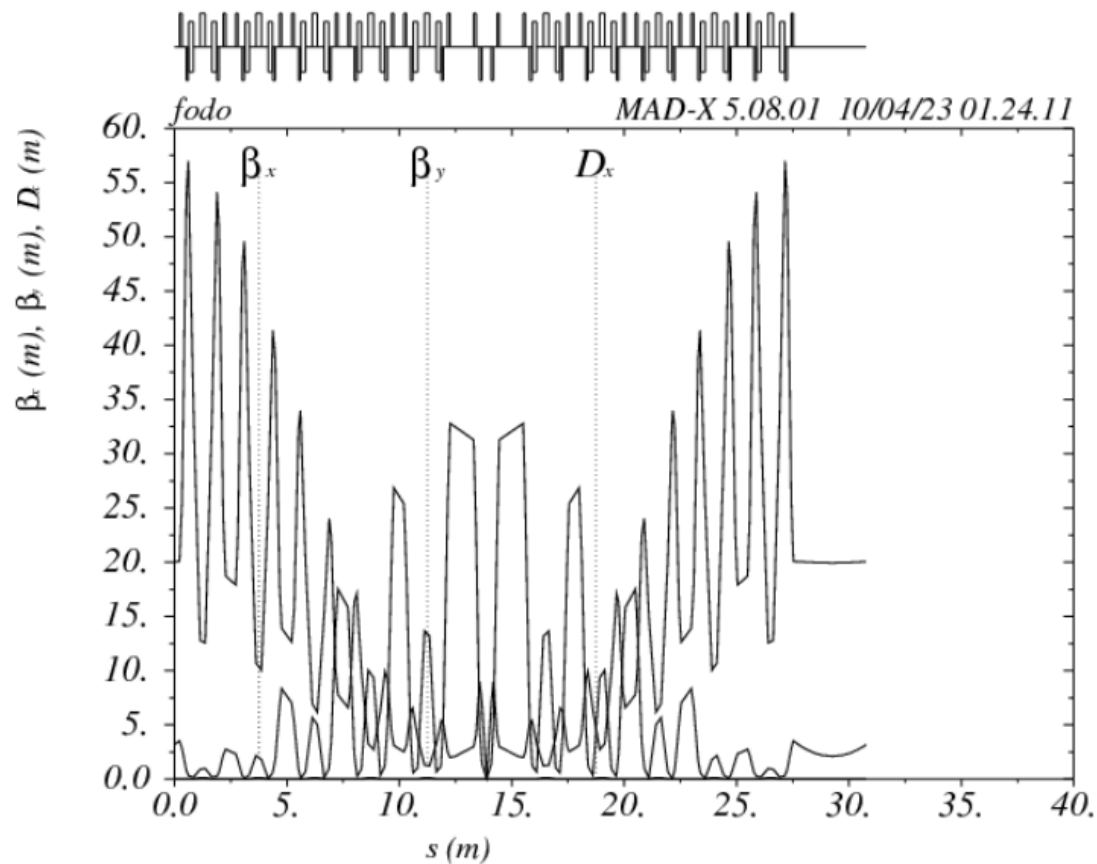
Интеграл Бьёркена-Мтингвы

- Можно показать, что в таком случае для минимизации внутривидового рассеяния необходимо следовать трём правилам:
 - 1) Минимальная дисперсия η (Например, идея МВА — Multi-Bend Achromat).
 - 2) Максимальное β_x в областях ненулевой дисперсии.
 - 3) $\beta_x \sim \eta^2$, т. е. синхронное изменение дисперсии и бета-функции в областях ненулевой дисперсии.
- В кольце LEXG не выполняются правила 2 и 3, поэтому эффект ВПР в нём достаточно велик.

Элементарная ячейка



Пример кольца с малой скоростью роста эмиттанса из-за ВПР



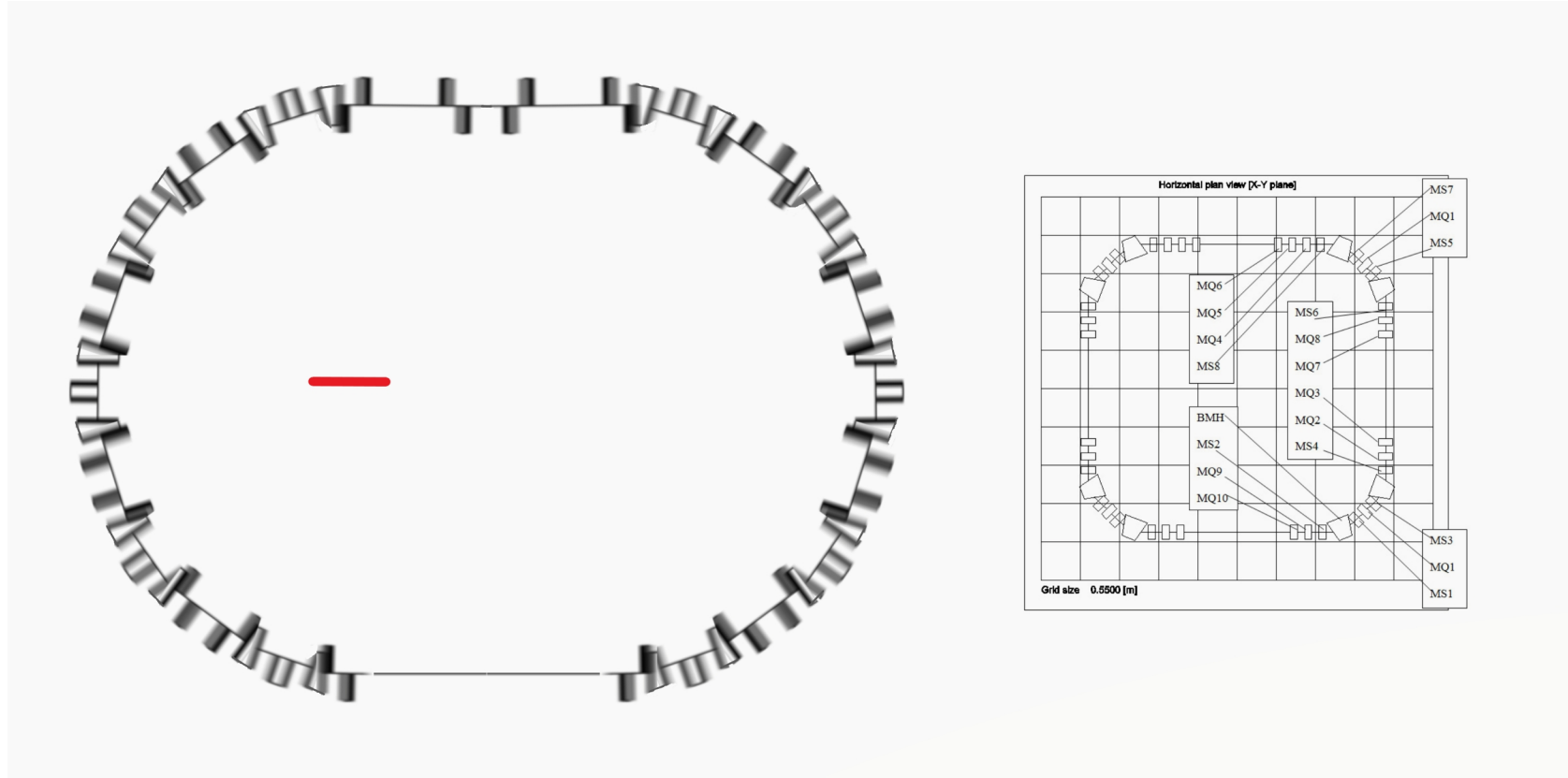
Скорости роста эмиттансов
(при тех же параметрах пучка):

$$1/T_I = 11,2 \text{ с}^{-1} \text{ (было } 22,5 \text{ с}^{-1}\text{)}$$

$$1/T_x = 6,28 \text{ с}^{-1} \text{ (было } 97,4 \text{ с}^{-1}\text{)}$$

$$1/T_y = 0,18 \text{ с}^{-1} \text{ (было } -0,086 \text{ с}^{-1}\text{)}$$

Пример кольца с малой скоростью роста эммиттанса из-за ВПР



Итог

- При помощи правильного подбора порядка следования элементов кольца при соблюдении ряда правил возможно существенно ослабить эффект внутрипучкового рассеяния.