



ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НА ДОЛЖНОСТЬ

М. А. Абед

e-mail: abed@jinr.ru



Я родился в Каире, Египет, 4 января 1996 года.

Образование:

- Аспирантура, Томский политехнический университет, Томск, Россия (сентябрь 2020 г. – июль 2024)
Тема диссертации: Калибровка светимости для негауссовских пучков заряженных частиц
- Магистр по ядерной физике и технологиям
Школа ядерной науки и техники, Томский политехнический университет, Томск, Россия (сентябрь 2018 – июль 2020)
Оценка: Отлично с отличием
Тема диссертации: Расчет параметров нейтронов в условиях высокотемпературных испытаний
- Бакалавр наук по физике
Факультет наук, Университет Айн-Шамс, Каир, Египет (сентябрь 2013 – июль 2017)
Оценка: Отлично с отличием
Тема диссертации: Приближенное решение для ближайших соседей в синхронизированном состоянии осцилляторов

Опыт Работы:

- Стажер-исследователь, Отдел ускорителей №1, ОИЯИ, Дубна, Россия (октябрь 2023 – настоящее время)
- Научный сотрудник и преподаватель, Отдел ядерной физики, Университет Айн-Шамс, Каир, Египет (февраль 2018 – июль 2023)



Исследования в ТПУ:

- Калибровка светимости с использованием сканов ван дер Меера для Q-гауссовских пучков
- Смещение калибровки светимости в скана ван дер Меера из-за взаимодействия пучков для Q-гауссовских пучков

Исследования в Отдел ускорителей №1, ОИЯИ:

- Программное обеспечение для одномерной продольной топографии для анализа данных FCT на Бустере
- Программное обеспечение для генерации продольного сигнала Шоттки для тестирования системы стохастического охлаждения
- Влияние «чистой» диффузии на Шоттки шум отдельной частицы



Калибровка светимости с использованием сканов ван дер Меера для Q-гауссовских пучков



- **Светимость** (\mathcal{L}) – Светимость характеризует интенсивность столкновений частиц в точке взаимодействия. Она является характеристикой столкновения пучков, и её определение через параметры пучков имеет следующий вид (упрощенное выражение для ультррелятивистских пучков, без угла пересечения):

$$\mathcal{L}(\Delta\mathbf{r}_\perp) = N_1 N_2 \int \rho_1^{lab,\perp}(\mathbf{r}_\perp - \Delta\mathbf{r}_\perp) \rho_2^{lab,\perp}(\mathbf{r}_\perp) d\mathbf{r}_\perp.$$

$\Omega(\Delta\mathbf{r}_\perp)$
Интеграл перекрытия

- На адронных коллайдерах отсутствуют специфические процессы с известным сечением, которые можно использовать для прямой калибровки светимости. Вместо этого используется метод сканирования **Ван-Дер-Меера** (vdM). Этот статистический метод основан на измерении скорости сигнала детектора, такого как **количество треков** или **выделенная энергия**, для определения скорости реакции μ . Скорость реакции пропорциональна светимости \mathcal{L} и видимому сечению σ_{vis} как: $\mu = \sigma_{vis} \mathcal{L}$
- σ_{vis} **калибровочная константа светимости** (видимое сечение), характеризующая детектор-люминометр. Значение σ_{vis} определяется при специально оптимизированных условиях пучков (**обычно, фронтальные столкновения, низкая интенсивность пучков, высокая функция бета**). Светимость при любых других условиях пучков рассчитывается как: $\mathcal{L} = \mu / \sigma_{vis}$
- **Скан Ван-Дер-Меер (vdM)** – Метод сканирования поперечного разделения пучков $(\Delta x, \Delta y)$, используемый для калибровки светимости. В ходе сканирования два пучка разделяются в поперечном направлении, регистрируются скорости реакций $(\mu(\Delta x, 0), \mu(0, \Delta y))$, которые затем аппроксимируются подходящей моделью. Свернутый размер пучков Σ_u в поперечных направлениях определяется как:

$$\Sigma_x = \frac{1}{C} \frac{\int \mu(\Delta x, 0) d\Delta x}{\mu(0,0)}, \quad \Sigma_y = \frac{1}{C} \frac{\int \mu(0, \Delta y) d\Delta y}{\mu(0,0)}, \quad \Omega(0,0) = \frac{1}{C^2 \Sigma_x \Sigma_y}.$$

Гауссовских пучков $C = \sqrt{2\pi}$

- Соответственно, калибровочная константа σ_{vis} при условиях сканирования определяется следующим образом:

$$\sigma_{vis} = \frac{1}{N_1 N_2} \frac{\mu_{cond}(0,0)}{\Omega_{cond}(0,0)}.$$

- Метод сканирования ван дер Меера широко используется для калибровки светимости на адронных коллайдерах, таких как RHIC и LHC.

$$QG(u; q, q) = \frac{1}{C_q \sqrt{(5-3q)\sigma}} e_q \left(-\frac{u^2}{(5-3q)\sigma^2} \right)$$

$$e_q(-\beta_q u^2) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{u^2}{(5-3q)\sigma^2}\right), & q = 1 \\ \left[1 - (1-q) \frac{u^2}{(5-3q)\sigma^2} \right]_+^{1-q}, & q \neq 1 \end{cases}$$

$$C_q = \begin{cases} \frac{2}{(3-q)\sqrt{1-q}} \text{Beta}\left(\frac{1}{1-q}, \frac{1}{2}\right), & q < 1 \\ \sqrt{\pi}, & q = 1 \\ \frac{1}{\sqrt{q-1}} \text{Beta}\left(\frac{1}{q-1} - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right), & 1 < q < 3 \end{cases}$$

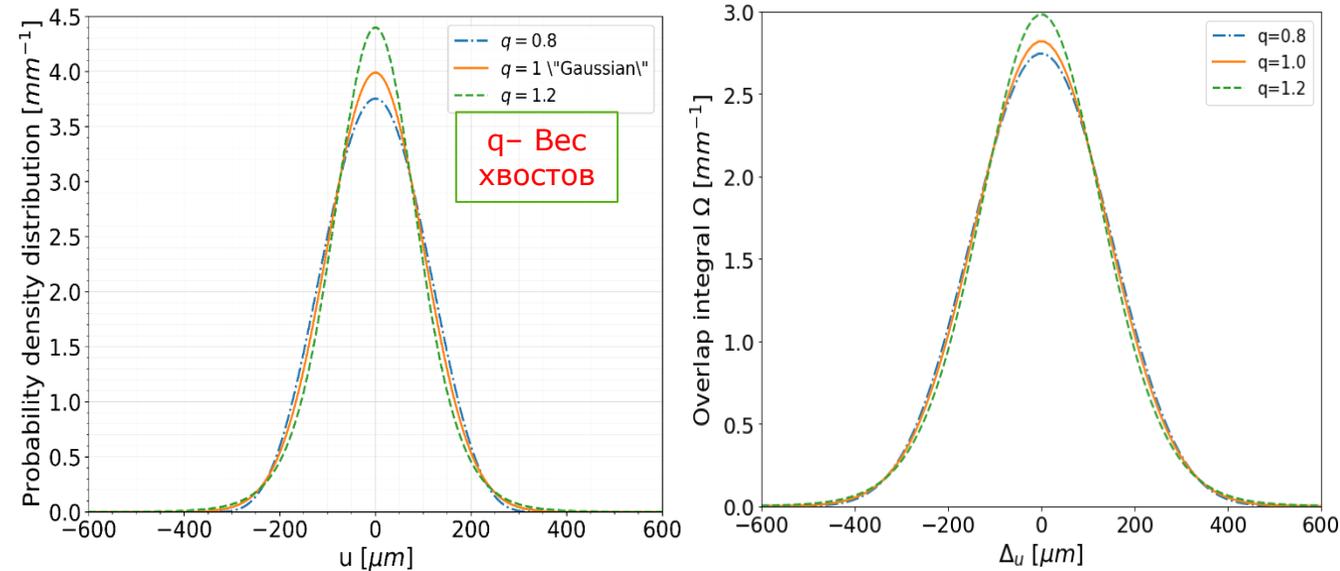
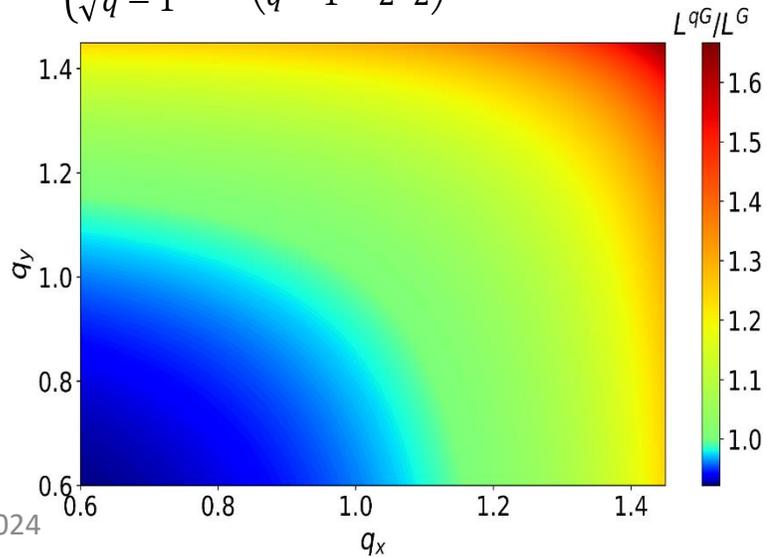


Рис. 1 – Профиль Q-гауссовского пучка с одинаковым среднеквадратичным отклонением $\sigma_q = 100 \mu m$ и разной плотностью хвоста $q = 0.8, 1$ ("гауссовский") и 1.2 (а), а также их интеграл перекрытия (б)

Рис. 2 – Светимость Q-гауссовских пучков относительно гауссовских пучков при нулевом смещении, где вес хвоста поперечного профиля пучка равен q_x и q_y , а сталкивающиеся пучки имеют одинаковый размер RMS

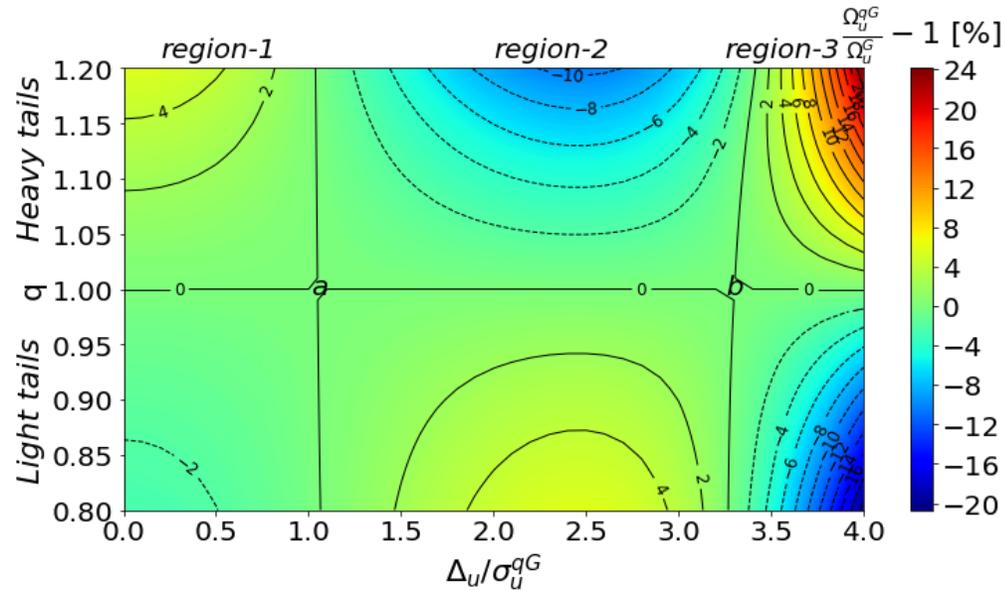


Рис. 3 – Отклонение перекрытия пучков между гауссовскими Ω_u^G и Q-гауссовскими Ω_u^{qG} пучками. Пучки имеют одинаковые размеры $\sigma_u^{qG} = 100$ мкм. Плотность хвоста варьируется от 0.8 до 1.2, а смещение Δ_u изменяется в интервале от 0 до $4 \sigma^{qG}$

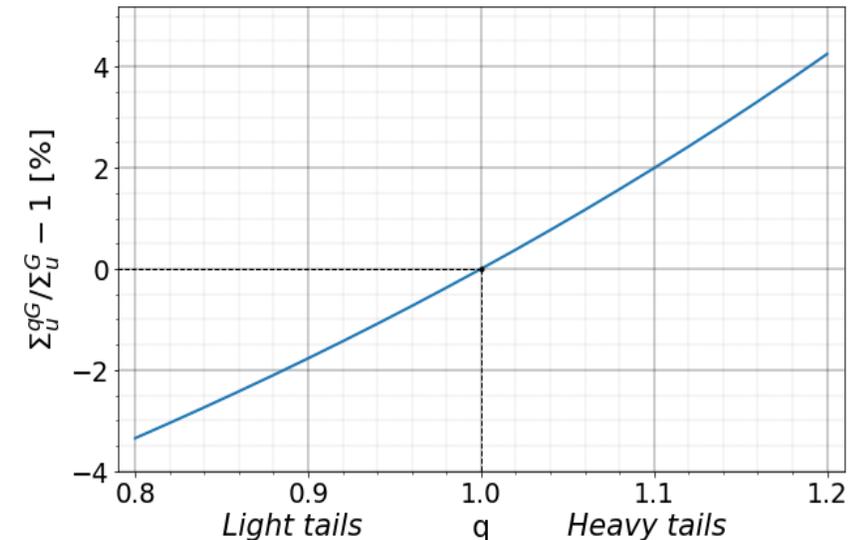


Рис. 4 – Отклонение свертки размеров пучков Q-гауссовских пучков Σ_u^{qG} , имеющих одинаковое среднеквадратичное значение $\sigma_u^{qG} = 100$ мкм и плотность хвоста q от 0.8 до 1.2, от свертки размеров гауссовских пучков Σ_u^G

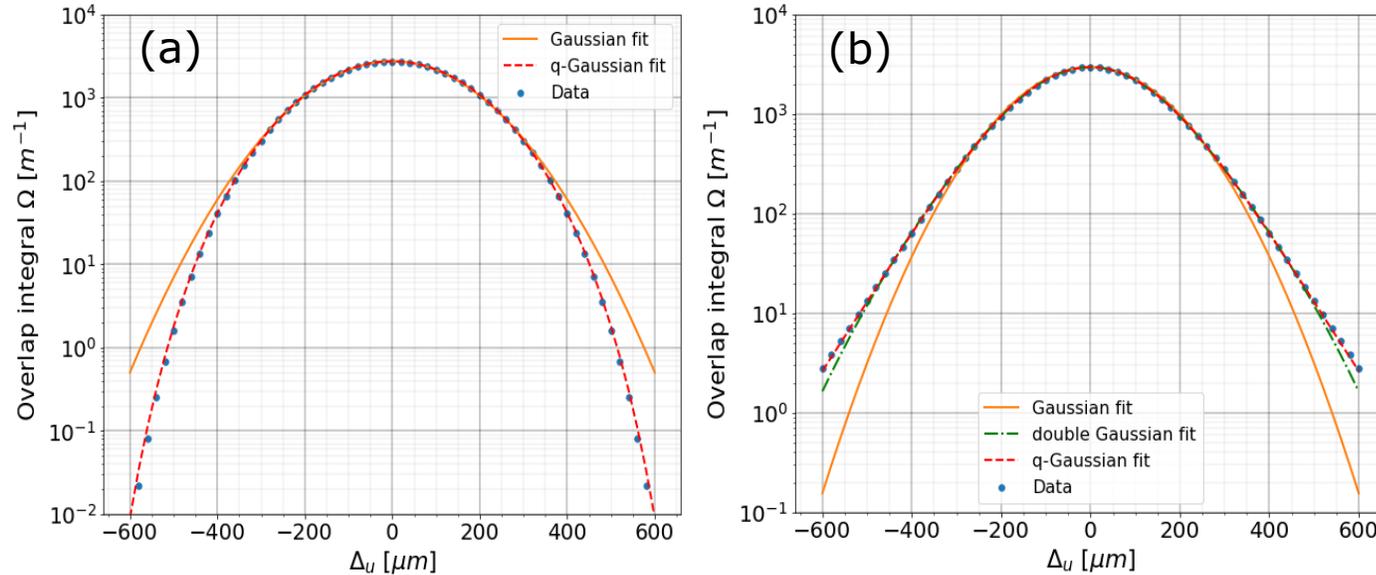


Рис. 5 – Аппроксимация "toy" сканирования ван-дер-Меера для двух случаев: пучки с легкими хвостами " $q=0.8$ " (a) и пучки с тяжелыми хвостами " $q=1.2$ " (b), выполненная с использованием гауссовской, двойной гауссовской и Q-гауссовской моделей аппроксимации

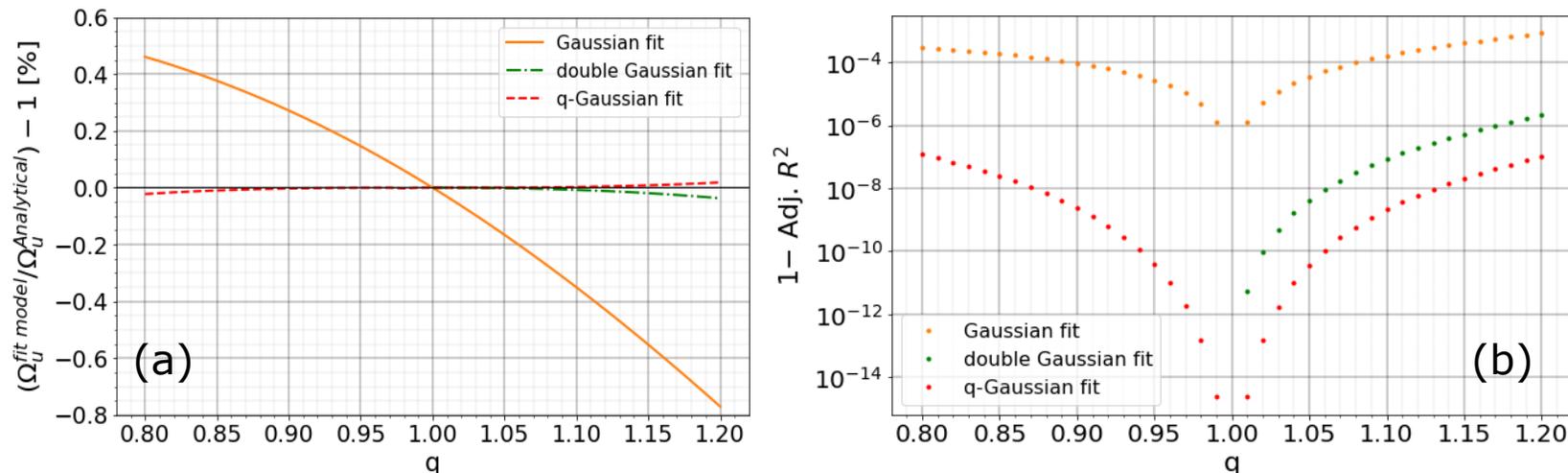
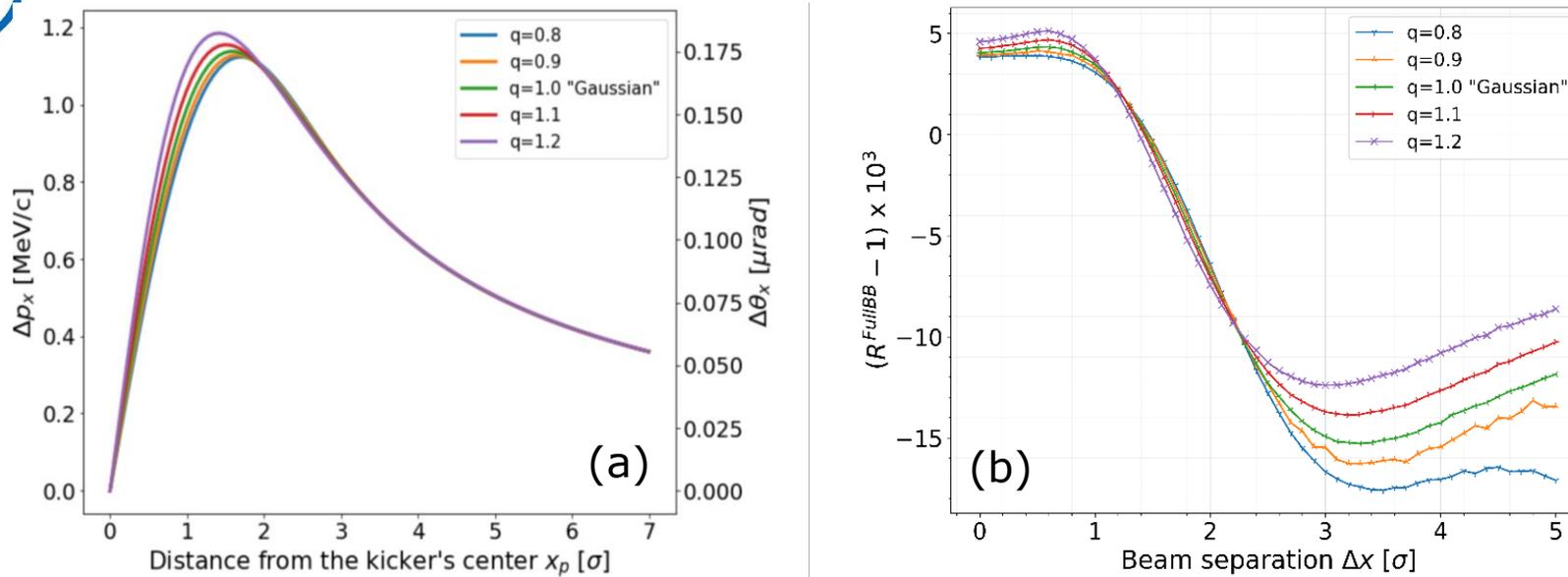


Рис. 6 – Отклонение интеграла перекрытия $\Omega_u^{fit\ model}$, определенного различными моделями аппроксимации, от соответствующих аналитических значений для "toy" сканирования ван-дер-Меера двух Q-гауссовских пучков одинакового размера с плотностью хвоста q в диапазоне от 0.8 до 1.2 (a), и анализ качества аппроксимации на основе статистики Adj. R^2 (b)



Смещение калибровки светимости в сканах ван дер Меера из-за взаимодействия пучков для Q-гауссовских пучков



$$R = \Omega_{bb}/\Omega_o$$

Рис. 7 – Горизонтальный суммарный импульсный удар пучка из-за взаимодействия (а), полученный ультрарелятивистским протоном с импульсом 6499 ГэВ/с на расстоянии x_p от центра Q-гауссовского пучка в условиях пучка, соответствующих условиям сканирования ван-дер-Меера на ATLAS/CMS-2018. $N = 8.5 \times 10^{10}$, $(Q_x, Q_y) = (0.31, 0.32)$, $\beta^* = 19.2$ м и RMS размер $\sigma = 97.1$ мкм, а также суммарная коррекция взаимодействия пучков во время горизонтального сканирования ван-дер-Меера (б).

Таблица 1 – Смещение калибровки светимости из-за взаимодействия пучков во время горизонтального сканирования ван-дер-Меера, смоделированного для Q-гауссовских пучков.

q	0.8	0.9	1.0 "гаусс"	1.1	1.2
$(\sigma_{vis,bb} - \sigma_{vis,0})/\sigma_{vis,0}$ [%]	-0.27	-0.24	-0.21	-0.16	-0.11

M.A. Abed, A.A. Babaev, L.G. Sukhikh, Siberian Journal of physics **19**, 2 (2024).

M.A. Abed, A.A. Babaev, L.G. Sukhikh, Electromagnetic interaction of colliding Q-Gaussian PoS LHCP2023 p.267 (2024)

11.12.2024

Модель параметра взаимодействия пучков для Q-гауссовских пучков:

$$\xi^{qG} = \frac{2\pi}{(5 - 3q)C_q^2} \xi^G$$

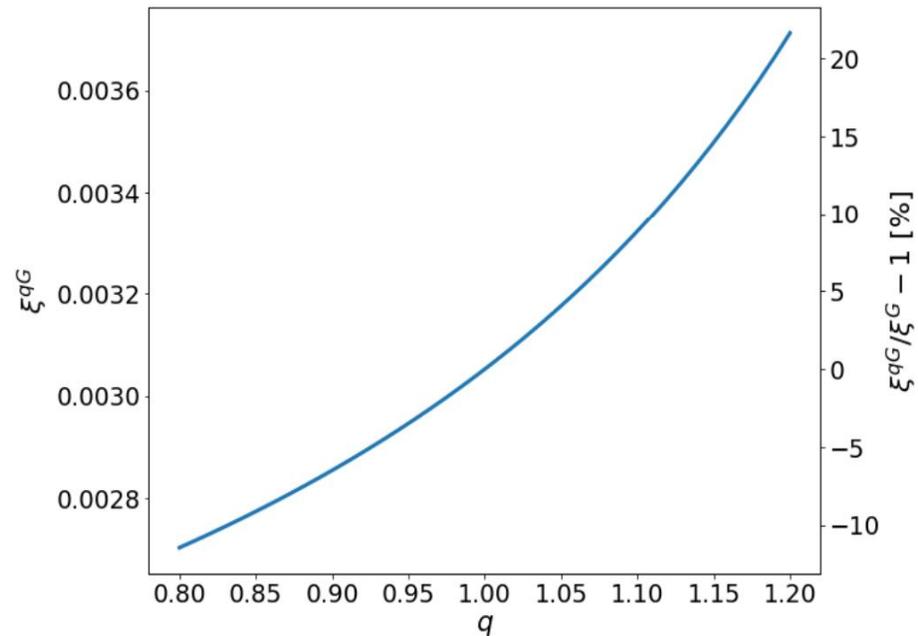


Рис. 8 – Параметр взаимодействия пучков для одного из сканов ван дер Меера на ATLAS/CMS-2018 с плотностью хвоста q в диапазоне от 0.8 до 1.2.

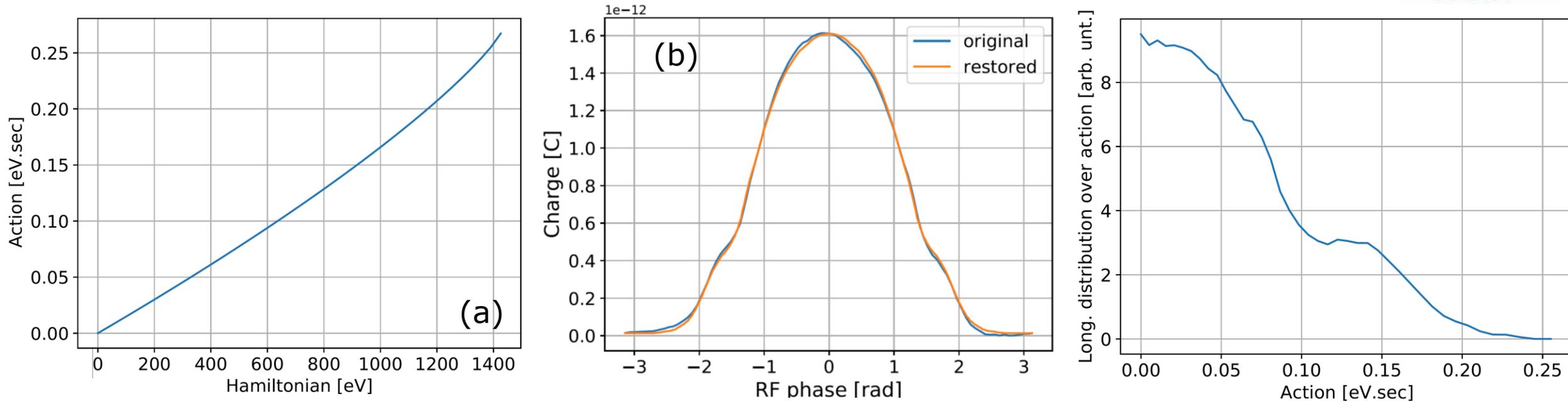


Рис. 9 – Зависимость действия от гамильтониана (а), записанный и восстановленный сигнал из FCT (b), и продольное распределение частиц по действию (с).

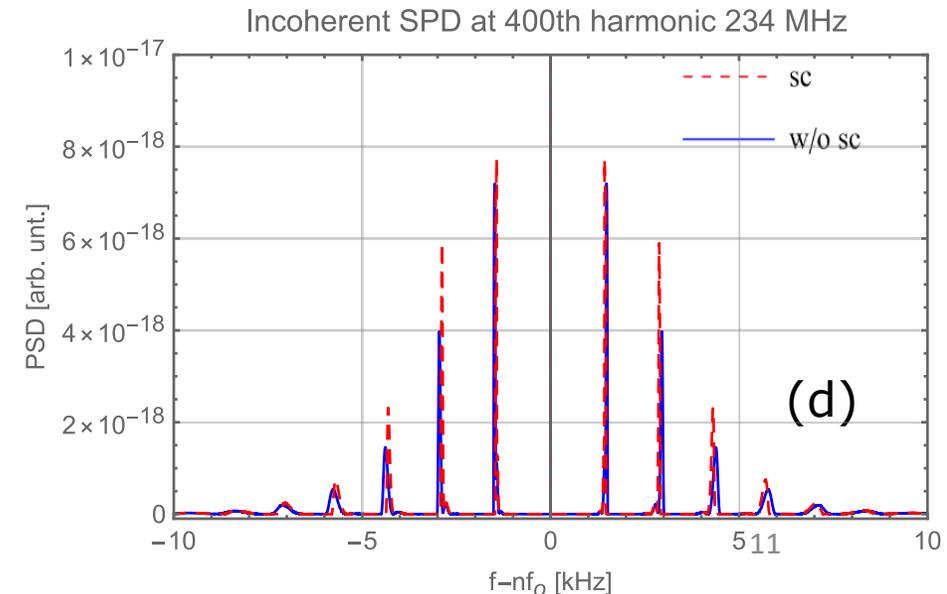
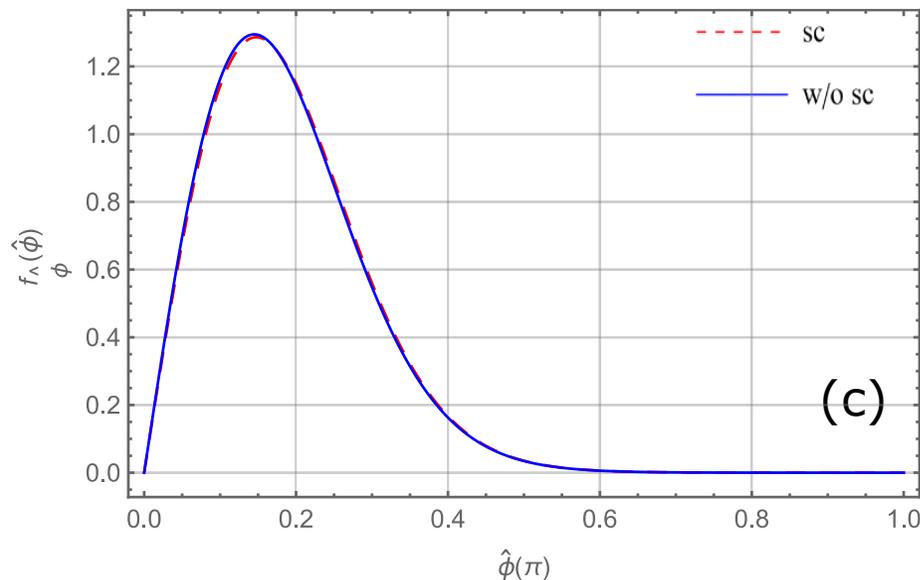
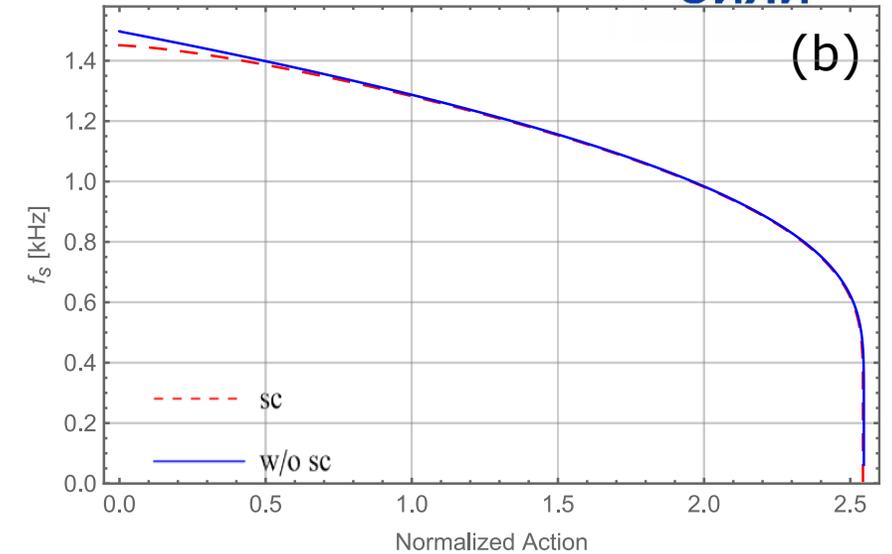
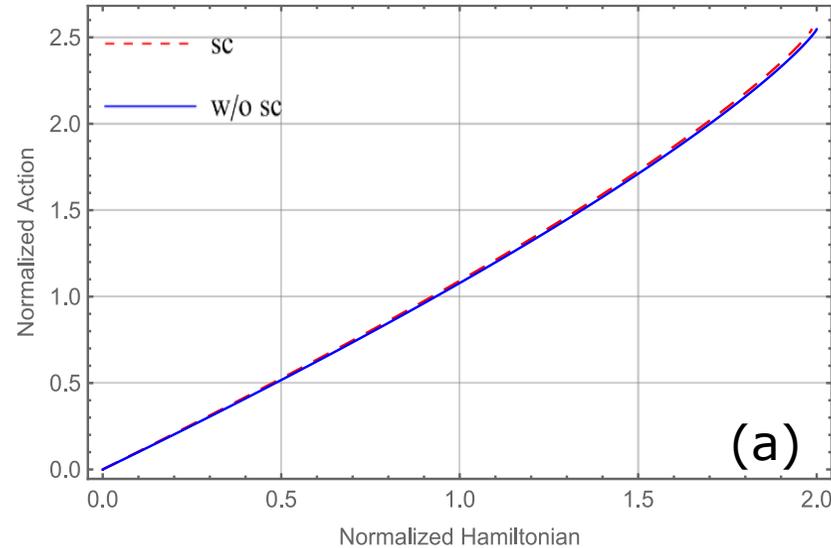
- Эта программа предназначена для работы в режиме онлайн. Устройство Tango было разработано и будет установлено на той же платформе, что и цифратор FCT, с использованием общей локальной памяти, что исключает необходимость передачи данных.
- В начале каждого цикла ускорителя Booster устройство будет автоматически запускаться для определения одномерной продольной топографии. Процесс расчета занимает примерно **0.1 секунды**, что позволяет выполнять вычисления несколько раз в течение каждого цикла Booster (5.5 секунд).
- Устройство включает атрибут спектра (вектор/массив), который фиксирует временные точки, в которых выполняются вычисления.



Программное обеспечение для генерации продольного сигнала Шоттки для тестирования системы стохастического охлаждения



Рис. 10 – Зависимость нормализованного действия от гамильтониана (а), синхротронной угловой частоты, зависящей от амплитуды (b), продольного распределения частиц по амплитуде (с), и некогерентной спектральной плотности мощности (d). Рассмотрены два случая: с учетом и без учета эффекта пространственного заряда. Учитываются параметры ускорителя и пучка коллайдера NICA.



Влияние «чистой» диффузии на Шоттки шум отдельной частицы



- Механизмы чистой диффузии, такие как внутривпучковое рассеяние (IBS), вызывают уширение спектров шума Шоттки.
- Эффект уширения увеличивается **квадратично с номером гармоники**, становясь значительным на высоких частотах.
- Полученные модели показывают, что уширение спектра прямо пропорционально **коэффициенту диффузии**.
- Уширение также зависит от **распространения синхротронных частот**. Диффузия изменяет амплитуды колебаний частиц, и, поскольку частота зависит от амплитуды, эти изменения увеличивают разброс частот и усиливают уширение.
- Общая мощность вокруг гармоник частоты оборота остается сохраненной, несмотря на эффекты диффузии.
- Эти результаты улучшают неинвазивную диагностику пучков и анализ их стабильности в ускорителях.
- Результаты имеют решающее значение для стохастического охлаждения и оптимизации работы сгруппированных пучков.

Модель для продольной спектральной плотности мощности (PSD) одной частицы в условиях чистой диффузии:

$$P_I(\omega) = \frac{e^2}{2\pi T_0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k \left(\frac{\omega \hat{s}}{\beta c} \right)^2 \left(2L(\omega) - \frac{T_0}{2\pi} \right)$$

$$L(\omega) = \frac{1}{1 - \exp \left(i2\pi \left(\frac{\omega + k\Omega_s}{\omega_0} \right) \right) \exp \left(-\frac{\omega^2 \eta^2 D T_0}{4\Omega_s^2} \right)}$$

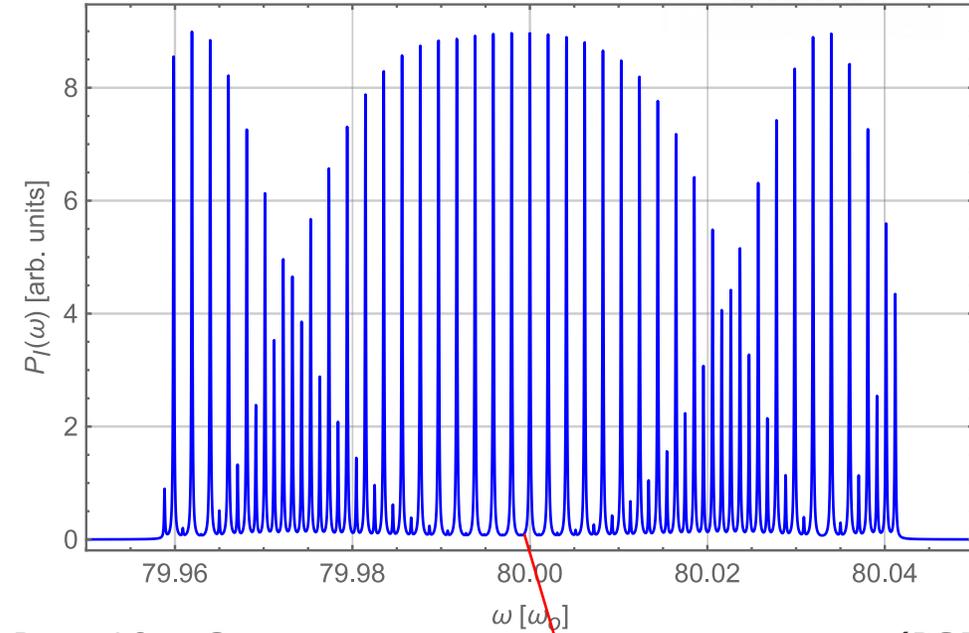
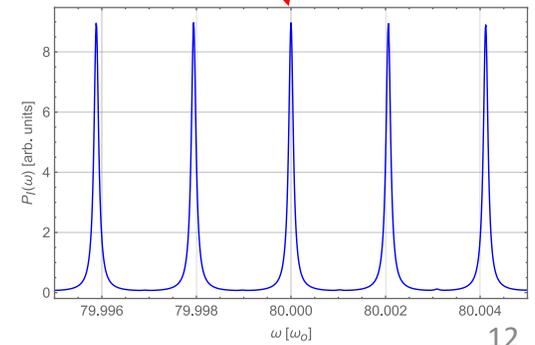


Рис. 10 – Спектральная плотность мощности (PSD) шума Шоттки для одной частицы на этапе инжекции в бустер около 70-й гармоники (8.23 МГц)



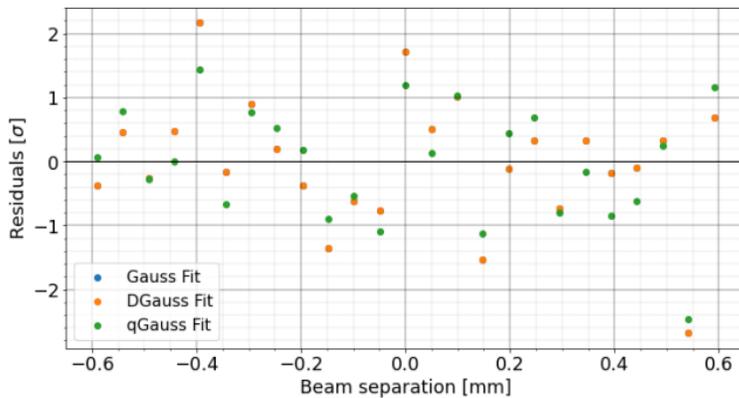
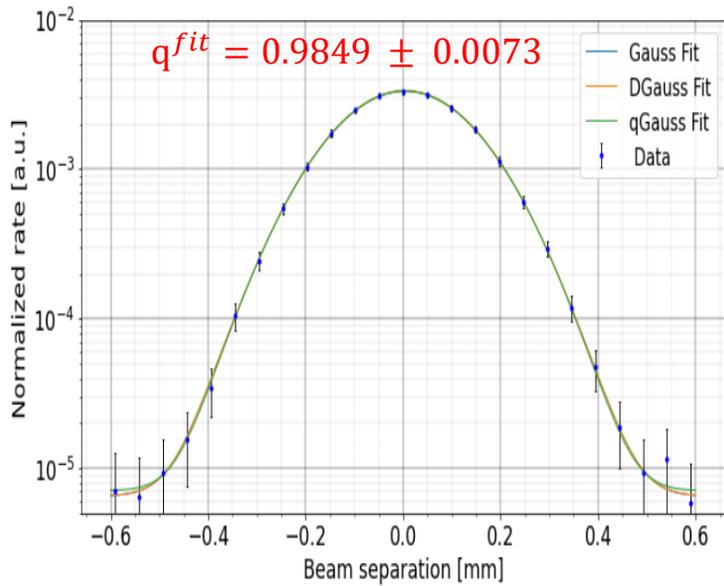


Конец



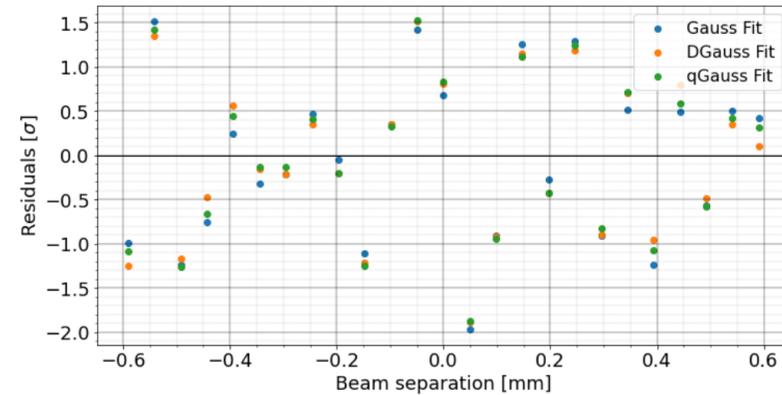
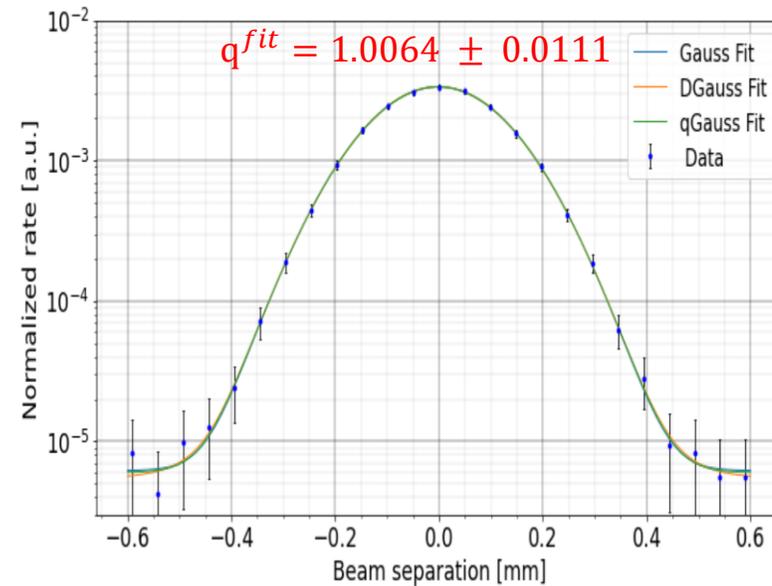
Спасибо за внимание!

PLT_Fill=4954_BCID=2734_Scan_9_X



$$\frac{(\Omega_{vis}^{qG} - \Omega_{vis}^G)}{\Omega_{vis}^G} = -0.3\%$$

PLT_Fill=4954_BCID=2734_Scan_10_Y



$$\frac{(\Omega_{vis}^{qG} - \Omega_{vis}^G)}{\Omega_{vis}^G} = 0.1\%$$