

УДК 535.41

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОГЕРЕНТНОГО СЛОЖЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В
ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ И СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ИЗМЕРЕНИЙ**

М.М. Токтаганова, М.В. Шевелев

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Д.А. Шкитов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: mmt8@tpu.ru

**SIMULATION OF THE COHERENT PULSE ADDITION IN THE INTERFEROMETER AND
COMPARISON WITH MEASUREMENT DATA**

M.M. Toktaganova, M.V. Shevelev

Scientific Supervisor: PhD D.A. Shkitov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: mmt8@tpu.ru

***Abstract.** In this paper, we compare the results of modeling the addition of radiation pulses during their passage through the Michelson interferometer with experimental data.*

Введение. Известно, что интерферометры используются в ускорительной технике для измерения когерентного излучения (КИ) [1] от сгустков заряженных частиц с целью диагностики продольных размеров сгустков [2] в пучке. В качестве источника, как правило, используется переходное излучение (ПИ), которое возникает при пересечении заряженной частицей границы раздела двух сред. В настоящее время появились технологии, позволяющие генерировать последовательности электронных сгустков (ПЭС) с высокой частотой следования в пучке [3, 4]. Известно, что подобные ПЭС изменяют спектр КИ [5]. Ранее был предложен метод измерения временной структуры ПЭС на основе интерферометрии дифракционного излучения от щелевой мишени с подвижными пластинами [6-8]. Однако метод сложен в настройке и в технической реализации. Позже нами предложен метод [9] на основе интерферометрии ПИ с помощью интерферометра Майкельсона на основе анализа автокорреляционной функции (АКФ). В данной статье приводится сравнение результатов моделирования сложения импульсов излучения при их прохождении через интерферометр с экспериментальными данными.

Методы исследования. Математическая модель для моделирования АКФ представлена в статье [10], где форм-фактор пучка [1] доработан для случая произвольных неравномерных гауссовых сгустков. В модели не было учтено влияние материалов вакуумного окна, светоделительной пластинки, а также среды распространения излучения на спектр. Моделирование АКФ проводилось в среде Wolfram Mathematica. Параметры ПЭС (энергия электронов E и др.) и условия эксперимента (угол наклона мишени θ_0 и угол максимума интенсивности излучения θ_y) были взяты из статьи [4]. Экспериментальные данные получены из графиков плотности распределений электронов в ПЭС, с помощью программы [11] (количество сгустков m , продольные размеры, временная структура и информация о распределении заряда в сгустках). Данные о поперечных размерах сгустков рассчитывались из графиков плотности

распределений электронов, полученных с помощью сцинтилляционного экрана, в предположении гауссова распределения. В качестве детектора предполагалось использование 4.2 К General Purpose Bolometer [12]. Моделирование проводилось с учетом спектра излучения, как от конечной мишени [4], так и от бесконечной мишени, т.е. для одной частицы $d^2W_0/dv d\Omega = 1$.

Результаты и обсуждения. На рис. 1 представлены спектры ПИ от четырех ПЭС и соответствующие им АКФ. Для сравнения приведены экспериментальные АКФ из статьи [4].

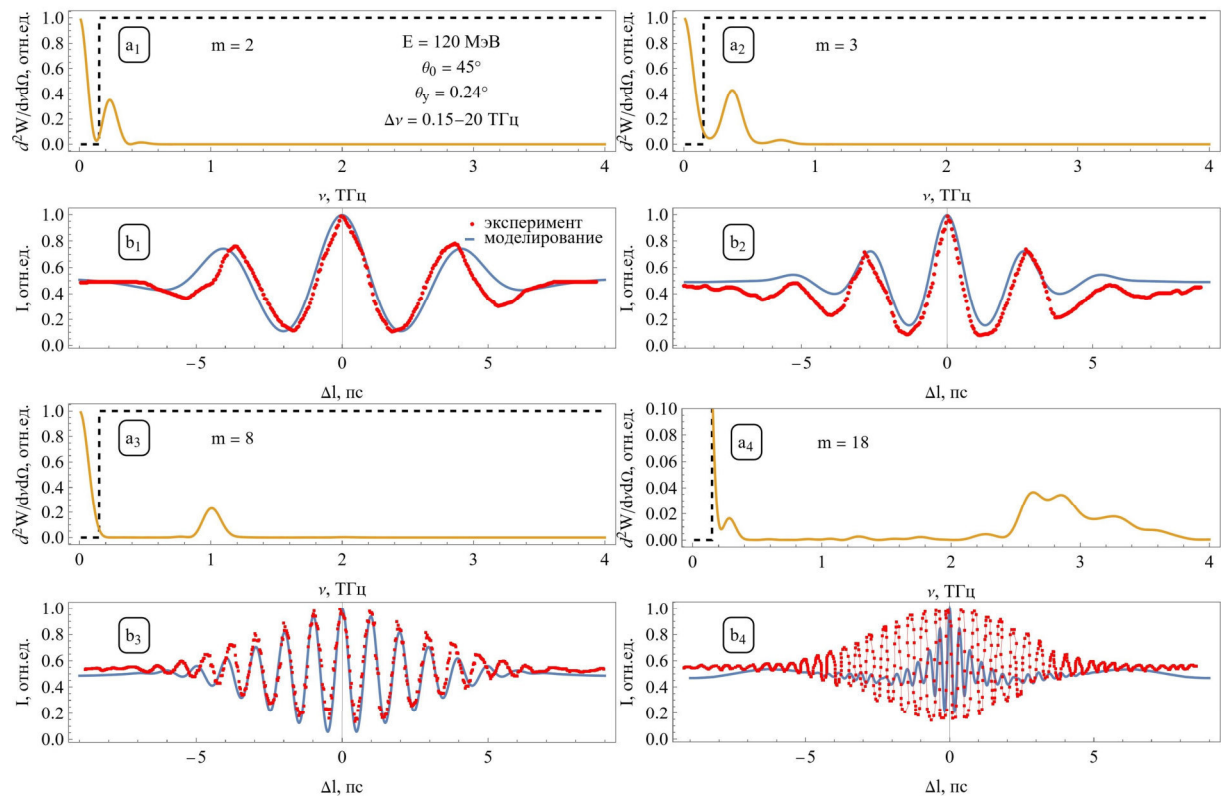


Рис. 1. Спектры ПИ от бесконечной мишени, пунктир – функция чувствительности детектора (а), нормированные АКФ, полученные с помощью моделирования и из экспериментальных данных (b)

Сравнение экспериментальных и моделируемых АКФ для $m = 2, 3, 8$ показывают хорошее согласие в характере поведения функций с небольшим расхождением в положении пиков. Поведение АКФ для случая $m=18$ сильно отличается. Как видно из спектра для $m = 18$, основной пик излучения не монохроматичен. Кроме того, наблюдается дополнительный пик в области низких частот. Всё это приводит к возникновению модуляций в АКФ. Есть несколько предположений объясняющих природу расхождения экспериментальных данных и моделирования. Это возможная ошибка в подготовке экспериментальных данных, отсутствие учета влияния материалов светодетекторной пластинки, вакуумного окна и среды распространения излучения на спектр, недостаточное описание условий эксперимента в статье [4]. Отметим, что учёт спектра ПИ, в предположении использования мишени конечных размеров, приводит к большему расхождению в результатах моделирования и эксперимента для $m = 2, 3, 8$. Для $m = 18$ использование мишени конечных размеров, приводит к лучшему совпадению, за счёт подавления низких частот.

Заключення. Результати порівняння експериментальних даних і моделювання АКФ ПІ показують в цілому хороше співпадіння. В майбутньому планується провести моделювання АКФ з урахуванням раніше не урахування експериментальних умов.

Робота підтримана в ТПУ в рамках програми розвитку № Приоритет-2030-НІП/ІЗ-005-0000-2022.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Naumenko G.A. Form-Factors of Relativistic Electron Bunches in Polarization Radiation // *Advanced Materials Research*. – 2015. – Vol. 1084. – P.138-146.
2. Shkitov D.A., Naumenko G.A., Potylitsyn A.P., Shevelev M.V., Zhang J.B., Lu S.L., Yu T.M., Deng H.X. Non-invasive bunch length diagnostics based on interferometry from double diffraction radiation target // *Proceedings of 4th International Particle Accelerator Conference*. – Shanghai, 2013. – P. 583-585.
3. Piot P. et al. Observation of coherently enhanced tunable narrow-band terahertz transition radiation from a relativistic sub-picosecond electron bunch train // *Applied Physics Letters*. – 2011. – Vol. 98., № 26. – P. 261501.
4. Shen Y. et al. Tunable few-cycle and multicycle coherent terahertz radiation from relativistic electrons // *Physical Review Letters*. – 2011. – Vol. 107., № 20. – P. 204801.
5. Науменко Г.А., Потылицын А.П., Каратаев П.В., Шипуля М.А., Блеко В.В. Спектр когерентного переходного випромінювання, генеруваного модульованим електронним пучком // *Письма в ЖЭТФ*. – 2017. – Т. 106., № 2. – С.115-118.
6. Корноухова Е.В. Применение интерферометрии когерентного дифракционного излучения от щелевой мишени для диагностики последовательностей электронных сгустков в пучках современных компактных ускорителей // *Молодежь и наука: Труды XVII Международной телекоммуникационной конференции молодых ученых и студентов*. – Москва, 2014. – С. 131-132.
7. Shkitov D., Aryshev A., Potylitsyn A., Urakawa J. Double diffraction radiation target interferometry for micro-train beam diagnostics // *Proceedings of 5th International Particle Accelerator Conference*. – Dresden, 2014. – P. 3635-3637.
8. Shkitov D.A. et al. Feasibility of double diffraction radiation target interferometry for compact linear accelerator micro-train bunch spacing diagnostics // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2014. – Vol. 517., № 1. – P. 012024.
9. Токтаганова М.М. Разработка метода диагностики расстояния между электронными сгустками ТГц-частоты следования на основе переходного излучения // *Инструментальные методы и техника экспериментальной физики: Труды 59-й Международной научной студенческой конференции*. – Новосибирск, 2021. – С. 281.
10. Toktaganova M., Shkitov D., Shevelev M., Stuchebrov S. Simulation of the coherent radiation interferometry for the beam temporal structure diagnostics // *Proceedings of XXVII Russian Particle Accelerator Conference*. – Alushta, 2021. – P. 413-416.
11. WebPlotDigitizer [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://automeris.io/WebPlotDigitizer>. (дата звернення 14.02.2022)
12. Bolometers and IR Detectors System [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://www.irlabs.com/products/bolometers>. (дата звернення 10.03.2022)