

УДК 537.877

**ВЕРИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО КОДА ДЛЯ РАСЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК
ДИФРАКЦИОННОГО И ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

А.А. Дышеков

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: aad52@tpu.ru

**VERIFICATION OF NUMERICAL CODE FOR CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF
DIFFRACTION AND TRANSITION RADIATION**

A.A. Dyshekov

Scientific Supervisor: PhD D.A. Shkitov

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

E-mail: aad52@tpu.ru

***Abstract.** In the present study, we have simulated diffraction and transition radiation using the previously created numerical code. The obtained results are in good agreement with experimental data.*

Введение. Поляризованное излучение возникает в результате динамической поляризации атомов вещества посредством воздействия кулоновского поля заряженной частицы на вещество. Существуют различные частные случаи поляризованного излучения. В случае, когда частица пересекает границу раздела двух сред, генерируется переходное излучение (ПИ). При пролёте частицы рядом с мишенью (только поле частицы взаимодействует с материалом мишени) возникает дифракционное излучение (ДИ). Данные виды излучения представляют интерес в области диагностики пучков заряженных частиц, а также как механизмы генерации электромагнитного излучения. Однако для их практического применения необходимо предварительно получить спектрально-угловые распределения излучения, которые сильно зависят от геометрии мишени, точки наблюдения и характеристик пучка. Существуют аналитические формулы, которые способны описать данные распределения, но они зачастую получены для бесконечных мишеней и ограниченного числа геометрий, поэтому слабо подходят для учёта различных нюансов экспериментов. Для решения данной проблемы был создан численный код [1]. Целью данной работы являлось оптимизация и усовершенствование данного инструмента исследования. Главной задачей являлось сопоставить результаты экспериментов и данные моделирования, полученные с помощью численного кода. Тем самым подтвердить работоспособность кода, как инструмента исследования свойств ДИ и ПИ.

Методы исследования. Численный код, используемый в моделировании, более подробно описан в работе [1]. Отметим лишь, что в нынешней версии кода добавлены возможности учёта поперечных размеров сгустков и апертуры детектора. Уточнён форм-фактор для учёта когерентности излучения, а также реализованы новые более оптимизированные способы задания геометрий, расширившие возможные варианты мишеней и увеличившие производительность расчётов. Для верификации кода были взяты

результаты экспериментов, представленных в статьях [2, 3]. В работе [2] были измерены спектрально-угловые распределения некогерентного ДИ от щели (рис. 1а) и ПИ (рис. 1б) в оптическом диапазоне вдоль осей OY и OZ. В статье [3] фиксировалась интегральная интенсивность в терагерцовом диапазоне частот при разных значениях прицельного параметра (рис. 1в), то есть фиксировался переход от ДИ к ПИ.

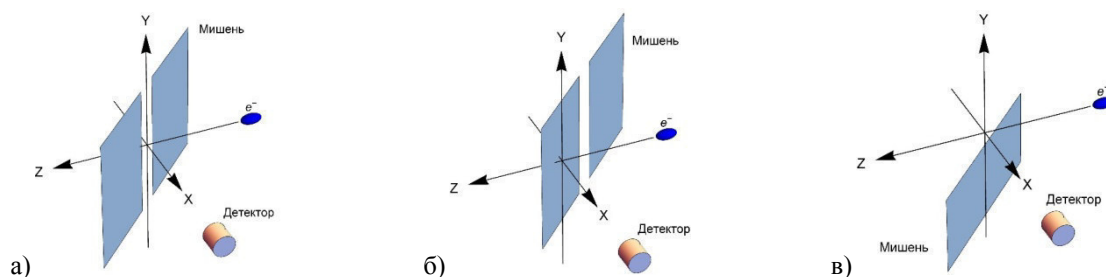


Рис. 1. Схема эксперимента с ДИ и ПИ [2] (а, б) и [3] (в)

Результаты и обсуждения. На рис. 2а представлено сравнение спектрально-углового распределения дифракционного излучения, полученного в эксперименте [2] и в моделировании. Детектор в этом случае двигался вдоль оси OZ (см. рис. 1а), а электронный пучок проходил через центр щели, то есть без смещения. Наблюдается хорошее совпадение полученных результатов. Характеры поведения экспериментальных точек и расчетной кривой идентичны. Существуют лишь незначительные отличия в виде небольшого уширения и смещения экспериментальных пиков, что, скорее всего, связано с тем, что в моделировании не учитывались спектральные характеристики детектора. Сравнение экспериментальных данных ПИ с результатами расчёта (рис. 2б и см. рис. 1б) демонстрирует меньшее совпадение. Однако моделирование показывает важные черты в спектрально-угловом распределении, которые обнаруживаются и в эксперименте. Например, это асимметрия пиков, которая наблюдается в эксперименте и в моделировании, и она идентична. Также совпадает характер спада пиков. Различие наблюдается в ширине пиков и их положении, что также объясняется характеристиками детектора, которые не известны. Нельзя исключать и влияние размеров сгустка, что не учитывалось в моделировании. Также в данной статье [2] были представлены спектрально-угловые распределения вдоль вертикальной оси (OY) при различных смещениях пучка от центра щели (рис. 2в-г). При сравнении экспериментальных результатов с моделированием наблюдается относительно хорошая сходимость результатов. В моделировании и эксперименте пики симметричны. В эксперименте при увеличении смещения электронного пучка наблюдалось увеличение интенсивности излучения, что также было зафиксировано в моделировании. Однако, пропорции увеличения интенсивности в эксперименте (в 2 раза) и моделировании (в 1.5 раза) не совпали, что, скорее всего, связано с размером сгустка и распределением плотности заряда в нём, которые не были учтены в моделировании. Стоит также обратить внимание на изменение интенсивности в минимуме углового распределения, оно увеличивается с увеличением смещения пучка, что отражено и в эксперименте, и в моделировании (см. рис. 2г). На рис. 2д представлено сравнение зависимости интегральной интенсивности от прицельного параметра в моделировании и в эксперименте [3]. Излучение в эксперименте является когерентным, данный эффект был учтен в моделировании с помощью форм-фактора [1]. На рис. 2д показан плавный переход от ДИ (от -40 мм до 0) к ПИ (0 до 10 мм). В области ДИ наблюдаем рост интегральной интенсивности с приближением края мишени к пучку, что обусловлено усилением поля вблизи пучка.

Экспериментальные данные в этой области совпадают с результатами моделирования, однако есть небольшое расхождение интенсивности при больших значениях прицельного параметра, что, скорее всего, обусловлено фоновым излучением, попадающим в детектор. Отметим, что при расчётах спектров, по которым была получена интегральная интенсивность, были учтены чувствительность детектора и его апертура, а также поглощательная способность материала выходного окна вакуумной камеры. В области ПИ излучения наблюдаем плавный спад, что обусловлено различием положений максимумов у ПИ и ДИ в спектрально-угловых распределениях. Динамика спада отражена как в эксперименте, так и в моделировании, однако наблюдаем расхождения. В эксперименте можно увидеть второй небольшой пик, который сами экспериментаторы обуславливают неровностью поверхности мишени. Отдельно отметим, что расчетный спад интенсивности излучения имеет не плавный, а резонансный характер.

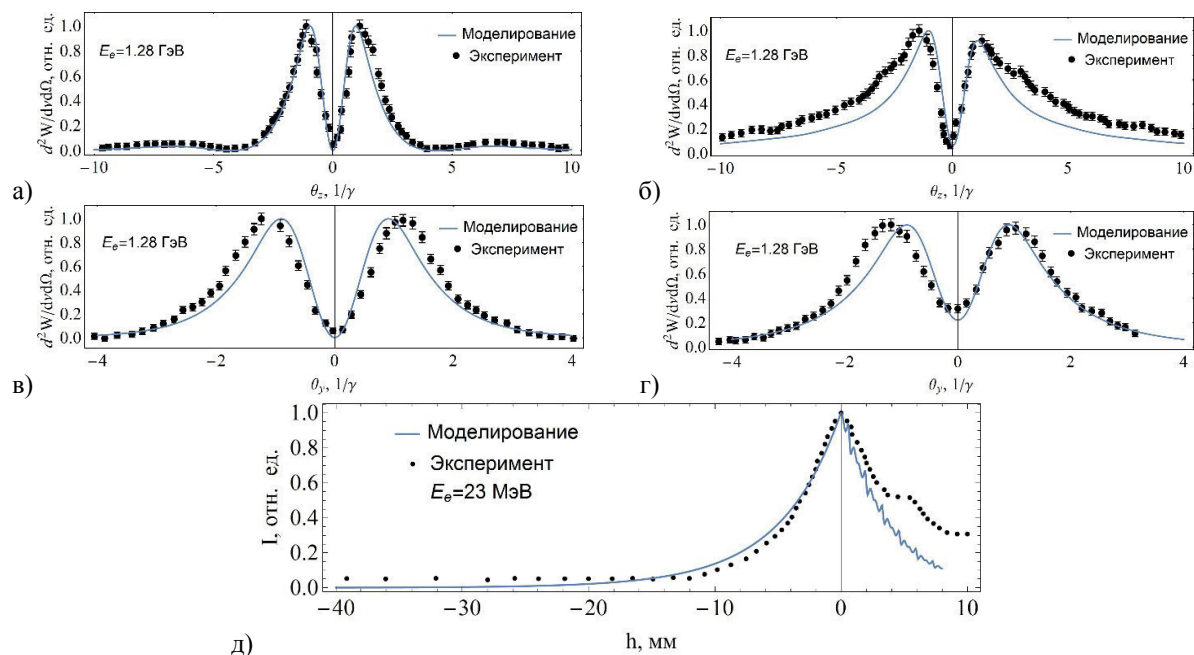


Рис. 2. Спектрально-угловые распределения ДИ (а, в) и ПИ (б, г) [2], зависимость интегральной интенсивности от прицельного параметра (д) [3]

Заключение. Из проведённого сравнения экспериментальных данных, взятых из научных статей, с результатами моделирования можно утверждать, что созданный код работоспособен и хорошо описывает закономерности, наблюдаемые в реальных экспериментах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дышеков А.А., Токтаганова М.М. Верификация и совершенствование численного кода для расчёта характеристик дифракционного излучения // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2019. – Т. 1. – С. 133.
2. Karataev P., Araki S., Hamatsu R., et al., Beam-Size Measurement with Optical Diffraction Radiation at KEK Accelerator Test Facility // Phys. Rev. Lett. – 2004. – V. 93, – P. 244802.
3. Shkitov A. et al. Non-invasive bunch length diagnostics based on interferometry from double diffraction radiation target // IPAC 2013, Shanghai – 2013. – P. 631-633.