

УДК 004.942

**Выбор оптимальных параметров спиральной мишени,
как источника закрученного излучения, методами численного моделирования**

Н.С. Бердников

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Д.А. Шкитов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: nsb20@tpu.ru

**Selection of optimal parameters of a spiral target as a source
of twisted radiation using numerical modeling methods**

N.S. Berdnikov

Scientific Supervisor: Ph.D., D.A. Shkitov
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: nsb20@tpu.ru

***Abstract.** In this paper, we present the results of modeling diffraction emission from ring and spiral targets by numerical simulation methods. In the future, the results of this work will be useful for fabricating a spiral target and conducting an experiment on the generation of twisted radiation at the TPU microtron.*

***Key words:** Diffraction radiation, twisted radiation, spiral target, numerical modeling.*

Введение

Недавние исследования свидетельствуют о том, что излучение со спиральным волновым фронтом, также известное как «закрученное», может стать новым инструментом в научных исследованиях. Закрученные частицы обеспечивают новую степень свободы – орбитальный угловой момент – и, таким образом, могут предоставить ценную дополнительную информацию о взаимодействиях фотонов, электронов и нейтронов с материалами [1]. В ТПУ на микротроне ведётся подготовка к исследованиям по генерации «закрученного» излучения в ГГц диапазоне с использованием спиральной мишени [2]. Важным этапом подготовки к исследованию является выбор параметров спиральной мишени.

Экспериментальная часть

Моделирование проводилось на основе имеющегося кода, написанном на языке Wolfram Language (14 версия), в который были внесены корректировки в части построения мишени. Была улучшена точность построения мишени. Теперь площадь геликоида, рассчитанная численно, совпадает с рассчитанной аналитически с точностью до 0.012 % ($R_2 = 150$ мм, $R_1 = 10$ мм, $h = 114$ мм). По результатам прошлых работ оптимальные значения внутреннего и внешнего радиусов спиральной мишени (геликоида) составили 10 и 200 мм, соответственно, для попадания максимума спектра излучения в область чувствительности детектора (~10 ГГц и выше) (см. [3] и ссылки в ней). Однако, в связи с уточнением параметров электронного пучка и ограничениями в изготовлении спиральной мишени, полученные результаты необходимо подвергнуть пересмотру и уточнению. В настоящей работе для численного интегрирования применялся метод Монте-Карло. В ходе моделирования производились расчёты угловых распределений интенсивности дифракционного излучения (ДИ) в двух сечениях, в максимуме которых рассчитывались спектральные распределения интенсивности ДИ.

Результаты

На рис. 1 приведены спектрально-угловые распределения ДИ от кольца и геликоида с различными внешними радиусами (R_2) и шагами спирали (h) с правосторонней закруткой и

разрывом вдоль оси OY в нижней полуплоскости для горизонтальной (W_x) и вертикальной (W_y) компоненты поля излучения при частоте 10.52 ГГц, что соответствует 4-ому порядку гармоники высокочастотного поля ускорителя. Энергия электрона составляет 5.7 МэВ. Расстояние от центра мишени до наблюдательной плоскости составляет 10 м по направлению движения частицы. Отсутствие асимметрии пиков на рис. 1 а и 1 б объясняется полной симметрией геометрии взаимодействия кольца с электронами. Сравнивая результаты для разных компонент поля излучения от кольца вдоль осей OX и OY видно, что излучение является поляризованным, как и следует из аналитической теории. Увеличение внешнего радиуса кольца приводит к смещению пиков интенсивности ДИ в сторону центра распределения.

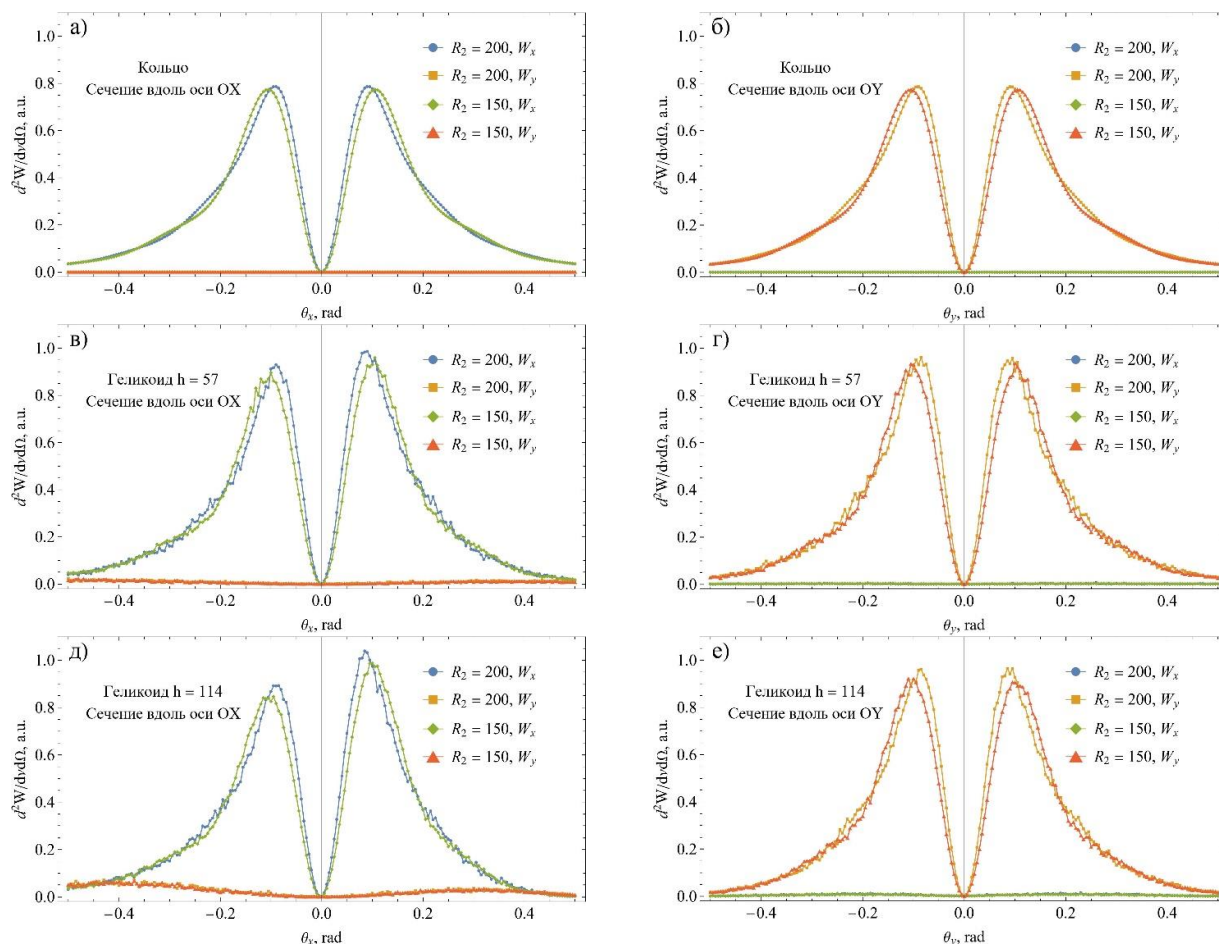


Рис. 1. Спектрально-угловые распределения ДИ от кольца (а, б) и геликоидов с шагом 57 мм (в, г) и 114 мм (д, е) вдоль оси OX (а, в, д) и вдоль оси OY (б, г, е)

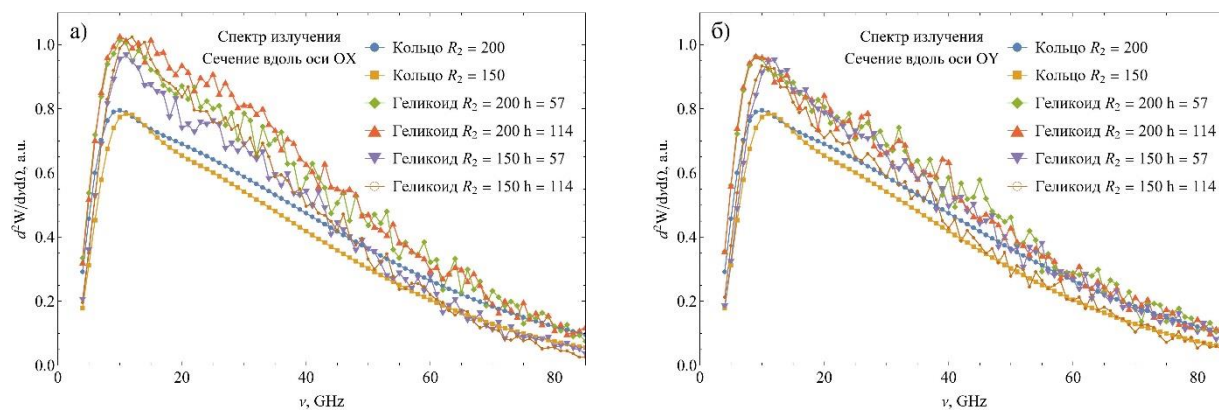


Рис. 2. Спектр от кольца и геликоида с разным внешним радиусом и шагом спирали вдоль оси OX (а) и OY (б)

Для ДИ от геликоида (рис. 1в-1е) характерна асимметрия пиков для углового распределения вдоль оси ОХ (для геликоида с шагом $h = 57$ мм асимметрия пиков составляет 5.68 % при $R_2 = 200$ мм и 6.67 % при $R_2 = 150$ мм) и симметрия для распределения вдоль оси ОУ, что обусловлено большей асимметричностью левой и правой части мишени, чем верхней и нижней части. Причем при увеличении шага спирали геликоида до $h = 114$ мм растёт асимметрия пиков интенсивности ДИ вдоль оси ОХ (до 14% для $R_2 = 200$ мм и до 14.3 % для $R_2 = 150$ мм). Характер изменения положения пиков при увеличении внешнего радиуса геликоида совпадает с результатами для кольца. На рис. 2а и 2б представлены спектры от колец и геликоидов с различными R_2 и h для компонент поля W_x и W_y , соответственно. Каждый спектр рассчитан для правых максимумов распределений на рис. 1. Для всех мишеней поведение спектров качественно идентичны. Максимум интенсивности ДИ на уровне 90 % (см. табл. 1) для всех мишеней попадает в диапазон чувствительности детектора, который предполагается использовать в измерениях. При уменьшении внешнего радиуса мишени происходит смещение пиков в сторону более высоких частот. При этом при увеличении шага спирали пики интенсивности ДИ смещаются в сторону меньших частот.

Таблица 1

Диапазон максимума интенсивности ДИ на уровне 90% для определенного вида мишени

Мишень	Диапазон максимума интенсивности ДИ
Кольцо, $R_2 = 150$ мм	9–16 ГГц
Геликоид, $R_2 = 150$ мм, $h = 57$ мм	9–14 ГГц
Геликоид, $R_2 = 150$ мм, $h = 114$ мм	10–15 ГГц
Кольцо, $R_2 = 200$ мм	8–17 ГГц
Геликоид, $R_2 = 200$ мм, $h = 57$ мм	9–16 ГГц
Геликоид, $R_2 = 200$ мм, $h = 114$ мм	8–17 ГГц

Заключение

В ходе проведенной работы было проведено моделирование свойств дифракционного излучения от кольцевой и спиральной мишени методами численного моделирования для выбора оптимальных параметров мишени. Результаты моделирования показали, что выбранные в предыдущих работах параметры мишеней при обновленных характеристиках электронного пучка и оптимизации численного кода остаются оптимальными для проведения эксперимента на микротроне ТПУ. Однако по технологическим причинам, связанными с изготовлением спиральной мишени, внешний радиус следует ограничить диапазоном 150–175 мм, и спектр излучения при этом по-прежнему будет попадать в диапазон чувствительности детектора.

Список литературы

1. Сербо В. Закрученные фотоны, электроны и нейтроны как новые инструменты исследований в физике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nseminar/serbo.pdf> (дата обращения: 11.03.2024).
2. Бердников Н.С., Шкитов Д.А., Шевелев М.В. Подготовка к эксперименту по исследованию закрученного излучения на микротроне ТПУ // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине. Сборник тезисов докладов XI Международной научно-практической конференции, г. Томск, 07-09 сентября 2022 г. – Томск: Ветер, 2022. – С. 82–83.
3. Дышеков А.А. Моделирование свойств "закрученного" излучения, генерируемого электронами от спиральной мишени / А. А. Дышеков; науч. рук. Д. А. Шкитов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 17–20 февраля 2020 г., г. Томск. – Томск: ТПУ, 2020. – С. 35–36.