

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 681.7

*К.В. ЖУКОВСКИЙ, А.М. КАЛИТЕНКО***АНАЛИЗ ГЕНЕРАЦИИ ГАРМОНИК В ПЛОСКИХ ОНДУЛЯТОРАХ
В ОДНОПРОХОДНЫХ ЛСЭ**

Проводится теоретическое исследование эволюции мощности излучения гармоник в однопроходном лазере на свободных электронах (ЛСЭ) и сравнение с некоторыми экспериментами ЛСЭ. Используется феноменологическое описание, которое принимает во внимание основные параметры ЛСЭ: силу тока и лоренц-фактор электронов, разброс энергий и геометрию пучка – и позволяет описать практически любой ондулятор. Изучается влияние высших гармоник ондуляторного поля и отклонения от оси на излучения ЛСЭ с учётом реальных параметров пучка. Вычислены соответствующие коэффициенты Бесселя для ондулятора с учётом присутствия второго периодического поля. С помощью феноменологической модели моделируются эксперименты ЛСЭ SPARC, SACLA и LCLS. Изучается генерация высших гармоник в них, проводится сравнение эволюции мощности излучения с экспериментальными данными для мощности гармоник, включая чётные и высшие, длины усиления, насыщения и соответствующие мощности. Исследуется возможность влияния третьей гармоники поля на излучение ЛСЭ. Демонстрируется, что даже при заметных искажениях, с третьей гармоникой 10 % амплитуды идеального синусоидального магнитного поля, ее влияние на излучение ЛСЭ очень мало. Генерация второй гармоники излучения ЛСЭ в исследуемых экспериментах оказывается слабой, что согласуется с измерениями. Поведение высших гармоник также согласуется с измерениями.

Ключевые слова: излучение ондуляторов, гармоники поля, генерация гармоник, лазер на свободных электронах.

Введение

После появления и развития в 1960-х годах лазеров, которые работали в инфракрасной области, были предприняты значительные усилия для получения когерентного излучения в рентгеновском диапазоне, где синхротронное излучение (СИ) оставалось на протяжении многих лет самым сильным источником. Нижний предел длины волны лазера, основанного на инверсии населенности, составляет около ста нанометров. Ондуляторное излучение (ОИ) имеет важное значение из-за небольшой ширины спектральной линии излучения и его высокой яркости; оно используется во многих установках по всему миру. Физический принцип ондулятора, где заряд совершает небольшие колебательные движения поперёк оси ондулятора в пространственно-периодическом магнитном поле на фоне релятивистского дрейфа, был предложен Гинзбургом [1]. Гинзбург также предположил, что ОИ может быть когерентным, если оно исходит от электронных банчей (сгустков), удаленных друг от друга на расстоянии длины волны излучения, а длина банча короче длины волны ОИ. Первый прибор для генерации ОИ был построен и протестирован Х. Мотцем (Motz) [2] в 1951 г. В ЛСЭ излучение взаимодействует с электронами в ондуляторе, группируя электроны в микробанчи на расстоянии длины волны излучения друг от друга. Таким образом, формируется когерентное ОИ, интенсивность которого экспоненциально растёт вдоль ондулятора до насыщения.

ЛСЭ способны генерировать когерентное рентгеновское излучение с пиковой мощностью, превышающей мощность СИ в рентгеновском диапазоне [3, 4]; это излучение применяется во многих областях: в медицине, архитектуре и др. В многопроходном ЛСЭ излучение заключено в оптической полости с отражающими полупрозрачными зеркалами, как и в обычном лазере. Оптические элементы задают моды излучения, но в рентгеновском диапазоне обнаружены лишь редкие пики отражательной способности [5], что ограничивает использование зеркал в нём. В однопроходных ЛСЭ с высоким коэффициентом усиления [6, 7] излучение проходит ондуляторы большой длины один раз. Такие ЛСЭ не требуют оптических резонаторов, и их частота не ограничена отражательной способностью зеркал. Генерация начинается либо от начального шума в ЛСЭ с самоусилением спонтанного излучения (ССИ), либо от слабого когерентного источника в ЛСЭ с затравочным излучением. Излучение ЛСЭ ССИ обычно имеет хорошую пространственную структуру, но плохую временную когерентность из-за начальных флуктуаций. Работа ЛСЭ с высоким коэффициентом усиления обычно моделируется численными программами, которые используют одно- и трёхмерные численные модели. Однако использование последних требует обученного и подго-

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>