

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОГЕРЕНТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО РЕЛЯТИВИСТСКИМ ПУЧКОМ В КРАЕВЫХ ПОЛЯХ ПОВОРОТНЫХ МАГНИТОВ

Л.Р. Кильдиярова*, А.В. Серов

Экспериментально исследована интерференция когерентного излучения с длиной волны 7,6 мкм, генерируемого электронами с энергией 7 МэВ, движущимися через два одинаковых поворотных магнита, разделенных прямолинейным промежутком. Получены зависимости интенсивности σ - и π -компонент поляризации излучения от расстояния между магнитами и траектории пучка.

Исследованию излучения частиц из неоднородных краевых полей поворотных магнитов посвящено большое число теоретических и экспериментальных работ [1-9], что обусловлено возможностью использования этого излучения для решения ряда научных и прикладных задач. Все экспериментальные работы выполнены на синхротронах и поэтому некоторые особенности излучения не могли быть исследованы. В частности, на синхротронах нельзя исследовать влияние направления движения частиц через прямолинейный промежуток между поворотными магнитами на характеристики излучения, поскольку интенсивность регистрируемого излучения является результатом сложения излучения большого числа частиц, которые из-за бетатронных колебаний имеют различные направления движения. Кроме того, в синхротронах нельзя исследовать влияние изменения положения магнитов на излучение. В настоящей работе описана установка для исследования когерентного излучения из краевых полей поворотных магнитов, позволяющая изменять положение и характеристики поворотных магнитов и использующая однократное прохождение пучка. Приведены результаты экспериментов.

Схема экспериментальной установки показана на рис.1. В качестве источника релятивистских электро-

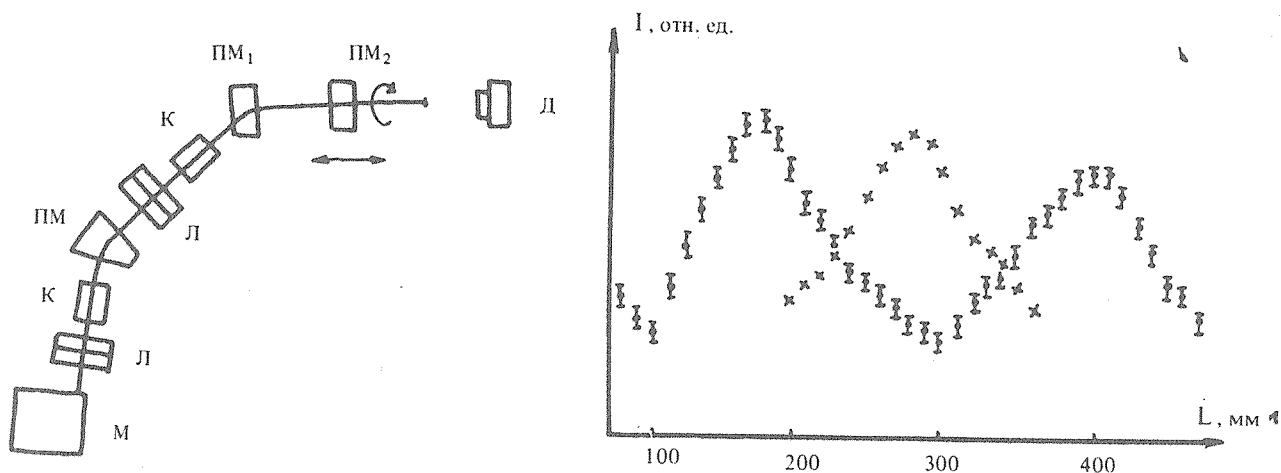


Рис.1. Схема экспериментальной установки: М – микротрон, Л – линзы, К – корректоры положения, ПМ – поворотные магниты, Д – приемник излучения.

Рис.2. Экспериментальная зависимость интенсивности σ компоненты излучения от расстояния между магнитами: \bullet поля в поворотных магнитах ПМ₁ и ПМ₂ направлены в одну сторону. X – поля направлены в противоположные стороны.

* Каз. ГУ им. В.И. Ульянова – Ленина, г. Казань.

нов используется микротрон на энергию 7 МэВ. Пучок формируется электронно-оптическими элементами и проводится по тракту, в конце которого имеются два поворотных магнита ПМ₁ и ПМ₂, разделенных прямолинейным промежутком. Оба магнита имеют одинаковую конструкцию. Основной магнитный поток создается пластинами из гексаферрита бария, для регулировки величины поля (в пределах 10%) имеются дополнительные обмотки. Вторым магнитом можно вращать относительно оси электропровода, меняя направление магнитного поля, и дистанционно перемещать относительно первого магнита, изменяя тем самым длину прямолинейного промежутка. Излучение выводилось через окно, закрытое майларовой пленкой, и регистрировалось кремниевым точечным диодом Д-407. Диод регистрирует излучение, имеющее определенную поляризацию относительно приемного окна. Это позволило, поворачивая диод, регистрировать σ - и π -компоненты поляризации излучения. Окно приемника пропускало излучение с угловым раствором $\sim 5 \cdot 10^{-3}$ рад. Датчик устанавливался в плоскости симметрии поворотных магнитов.

Спектрально-угловое распределение излучения существенно зависит от отношения длины области спада магнитного поля l к радиусу кривизны траектории частицы R в поворотном магните [9]. Считают, что магнитное поле имеет резкий край, если выполняется условие $l/R \ll 1/\gamma$, где γ – релятивистский фактор частицы. Большинство экспериментальных работ выполнено на установках, имеющих резкий край. В данной установке область спада магнитного поля имеет длину $l \approx 5$ см, радиус кривизны траектории $R \approx 15$ см, поэтому $l/R > 1/\gamma$, и края магнитов не резкие.

Измерялась зависимость интенсивности излучения от расстояния между поворотными магнитами. Наблюдение велось на длине волны 7,6 мм, соизмеримой с диаметром электропровода ($d = 26$ мм). Поэтому электропровод необходимо рассматривать как экранированный волновод, в котором существует дискретный набор мод, распространяющихся со своими фазовыми скоростями [10]. В миллиметровом диапазоне длин волн излучение релятивистских сгустков, полученных в микротроне, является когерентным [11]. Интенсивность излучения зависит не только от величины тока, но и в значительной степени от геометрических размеров сгустка. На рис.2 показаны экспериментальные зависимости σ -компоненты излучения от расстояния между магнитами. Модуляция интенсивности излучения с изменением расстояния между магнитами объясняется интерференцией излучения из первого и второго поворотных магнитов. Источники излучения (магниты) разделены прямолинейным промежутком и синхронизованы движением через них одних и тех же электронных пучков. Импульс излучения представляет собой сумму импульсов, формируемых в каждом из поворотных магнитов. Форма импульса излучения определяется магнитным полем вдоль траекторий движения сгустка и пространственным распределением частиц в сгустке. Когда магнитное поле в обоих магнитах направлено в одну сторону, происходит формирование двух импульсов одинаковой полярности; когда направление полей в магнитах противоположно – импульсы имеют разную полярность. Как показали эксперименты при заданном расстоянии между магнитами, изменение направления поля во втором магните на противоположное приводит к тому, что максимум интенсивности сменяется минимумом, т.е. изменение полярности импульса излучения из второго магнита превращает его из

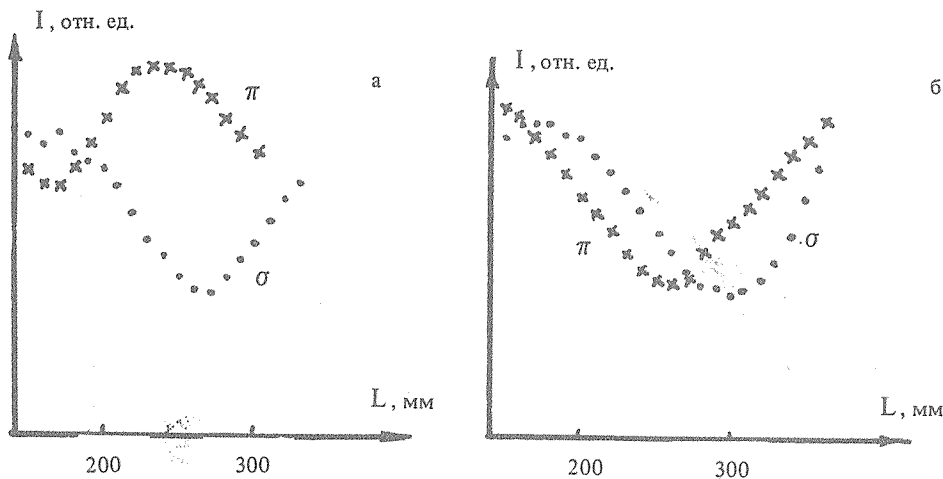


Рис.3. Зависимость от расстояния между магнитами интенсивности σ - и π -компонент излучения при вертикальной координате пучка в магните ПМ₁ равной нулю (а) и ~ 7 мм (б).

усиливающего излучение из первого магнита в гасящего это излучение. Интенсивность в минимуме не достигает нуля, что объясняется разбросом полей в магнитах и изменением параметров сгустка при пролете между магнитами.

Экспериментальная зависимость интенсивности π -компоненты излучения от расстояния между магнитами представлена на рис.3. Измерения проводились при двух различных траекториях частиц в установке, которые отличались вертикальными координатами пучка в тракте и магнитах. Для сравнения на тех же рисунках даны зависимости σ -компоненты излучения от расстояния между магнитами. Видно, что изменение траектории прохождения частиц через магниты ведет к сильному смещению положения максимума интенсивности в π -компоненте излучения и очень слабо влияет на зависимость интенсивности σ -компоненты излучения от расстояния. Этот результат можно объяснить следующим образом. Согласно [9], в плоскости орбиты излучение с π -поляризацией отсутствует. Вклад в π -компоненту излучения могут давать только частицы, движущиеся выше или ниже плоскости орбиты. А на эти частицы действует не только вертикальная, но и продольная составляющая магнитного поля. Продольная составляющая появляется в области спада магнитного поля, и поэтому области с максимальными значениями вертикальной и продольной составляющих магнитного поля пространственно разделены. Степень пространственного разделения этих областей сильно зависит от вертикальной координаты частицы. Это приводит к сильной зависимости интерференционной картины π -компоненты излучения от траектории пучка.

Полученные в работе экспериментальные результаты демонстрируют возможности изменения спектральных и поляризационных характеристик излучения частиц в краевых полях поворотных магнитов.

Авторы благодарны Ю.А. Башмакову за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Coisson R. Opt. Commun., 22, 135 (1977).
2. Никитин М.М., Медведев А.Ф., Моисеев М.Б. Письма в ЖТФ, 5, 843 (1979).
3. Никитин М. М. и др. ЖЭТФ, 79, 763 (1980).
4. Артемьева З. Л. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 58 (1981).
5. Алексеев В. И. и др. Препринт ФИАН № 228, М., 1981.
6. Смоляков Н. В. Препринт ИФВЭ 83-151, Протвино; ЖТФ, 55, 488 (1985).
7. Смоляков Н. В. Препринт ИФВЭ 84-68, Протвино; ЖТФ, 56, 1262 (1986).
8. Башмаков Ю. А. Препринт ФИАН № 95, М., 1985; ЖТФ, 56, 515 (1986).
9. Никитин М. М., Эпп В. Я. Ондуляторное излучение, М., Энергоатомиздат, 1988.
10. Алексеев В. И., Бессонов Е. Г., Серов А. В. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 13 (1988).
11. Алексеев В. И. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 6, 36 (1988).