

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ПОВОРОТНЫЙ МАГНИТ ВМЕСТО ОНДУЛЯТОРА

А. В. Серов

Экспериментально исследована генерация электромагнитного излучения с длиной волны 7 мкм в параметрическом лазере на свободных электронах, использующем поворотный магнит вместо ондулятора. Показано, что использование поворотного магнита позволяет по результатам экспериментов определить протяженность электронных сгустков и моду возбуждаемого излучения.

При описании работы традиционного лазера на свободных электронах (ЛСЭ) электронный пучок считают непрерывным и однородным. Основным процессом, приводящим к усилению излучения, является при этом изменение фазового распределения частиц и их группировка в области замедляющих фаз /1, 2/. На практике размеры сгустков могут быть одного порядка с длиной волны генерируемого излучения. Усиление излучения в этом случае происходит, главным образом, за счет синхронизации цугов электромагнитных волн, испущенных различными сгустками. Теоретическому и экспериментальному исследованию такого лазера посвящены работы /3–5/. В качестве источника спонтанного излучения в экспериментах использовали ондулятор. В данной статье представлены результаты экспериментов с параметрическим лазером на свободных электронах, использующим когерентное излучение пучка в поворотном магните. Применение поворотного магнита вместо ондулятора позволило уменьшить время движения пучка в магнитном поле. Электроны большую часть своего пути взаимодействовали только с полем электромагнитной волны, распространяющейся в волноводе, что привело к появлению некоторых особенностей в работе лазера.

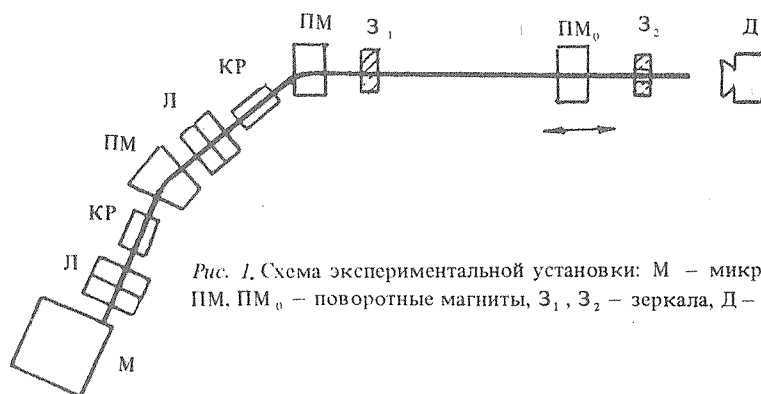


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: М – микроотрон, Л – линзы, КР – корректоры положения, ПМ, ПМ₀ – поворотные магниты, З₁, З₂ – зеркала, Д – приемник излучения.

Схема экспериментальной установки, представленная на рис. 1, отличается от описанной в /3/ тем, что вместо ондулятора между зеркалами расположен поворотный магнит. Электронный пучок из микроотрона проводился через тракт транспортировки и закрытый цилиндрический резонатор, образованный электронопроводом и зеркалами З₁ и З₂. Электроны имели энергию 7 МэВ, ток пучка 40 мА. Зеркала выполнены из лавсана толщиной 5 мкм с напыленным слоем алюминия толщиной 1000 Å. Зеркало З₁ дистанционно перемещалось параллельно самому себе. В центре зеркала З₂ имелось отверстие для вывода излучения. Электронный пучок вводился в резонатор и выводился из него через лавсановые зеркала. Генерация излучения происходила при повороте пучка в магните ПМ₀. Магнит можно было дистанционно перемещать вдоль оси резонатора. Излучение регистрировалось кремниевым точечным диодом Д407.



Рис. 2. Зависимость интенсивности излучения от положения подвижного зеркала резонатора.

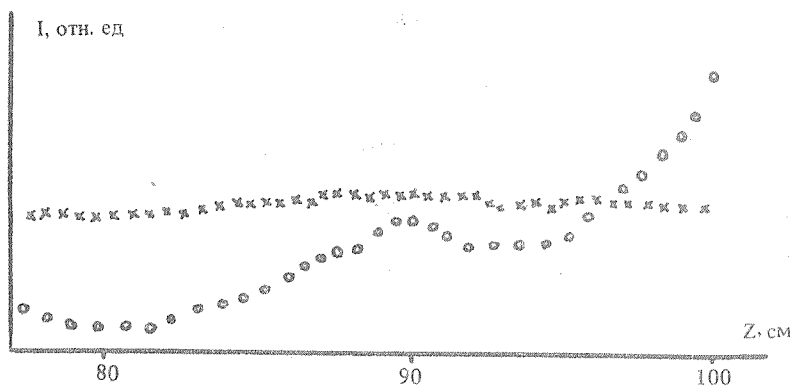


Рис. 3. Зависимость интенсивности излучения от расстояния между зеркалом Z_1 и поворотным магнитом ПМ₀. Пучок инжектирован под углом $\alpha \approx 10^{-2}$ рад (o) и $\alpha \approx 0$ (x) к оси резонатора.

На рис. 2 представлена экспериментальная зависимость интенсивности излучения на длине волны 7 мм от положения подвижного зеркала Z_1 . Зависимость имеет вид, характерный для параметрических ЛСЭ [3]. Интенсивность максимальна, когда импульс излучения, испущенный одним сгустком, после отражений от зеркал полностью совпадает с последующим импульсом. Изменение расстояния между зеркалами приводит к сдвигу фаз между импульсами. Частичное перекрытие импульсов приводит к уменьшению интенсивности излучения. Особенностью полученной зависимости является относительно малая расстройка резонатора ΔL , при которой наблюдается генерация. Это объясняется малой длительностью импульса излучения в данном эксперименте по сравнению с предыдущими. Если в данной установке использовать ондулятор, то длина импульса излучения была бы равна λN , где λ — длина волны излучения, N — число периодов ондулятора. При движении в поворотном магните длина импульса излучения определяется протяженностью электронного сгустка и длиной пути электрона в поворотном магните. Однако длина пути в магните входит в длительность импульса излучения с множителем γ^{-2} , где γ — относительная энергия электрона, поэтому ее вклад незначителен. Результаты экспериментов позволяют оценить фазовую протяженность сгустков, поскольку величина расстройки резонатора ΔL , при которой наблюдается генерация, приблизительно равна длине импульса излучения. В данном случае длина электронных сгустков равнялась 8–10 мм.

Использование поворотного магнита вместо ондулятора позволило исследовать взаимодействие электромагнитной волны с пучком в той части волновода, где нет магнитного поля. Поворотный магнит перемещался вдоль оси волновода, тем самым изменялась длина пути пучка в резонаторе. На рис. 3 показаны зависимости интенсивности регистрируемого излучения от положения поворотного магнита. Резонатор при этом не перестраивался и имел такую длину, при которой интенсивность генерируемого излучения макси-

мальна. Кривые рис. 3 показывают, что характер зависимости определяется условиями инжекции пучка в резонатор. При инжекции вдоль оси волновода интенсивность излучения практически не зависит от положения поворотного магнита. В том случае, когда пучок пересекает резонатор под углом к его оси, интенсивность излучения осциллирует с изменением расстояния проходимого пучком в резонаторе. Как следует из рис. 3, период осцилляций интенсивности приблизительно равен 12 см. Можно предположить, что этот период равен расстоянию, на котором излучение, движущееся в волноводе, обгонит электронный пучок на один период волны. Исходя из этого предположения и зная период осцилляций интенсивности, длину генерируемой волны, диаметр волновода, энергию пучка, можно определить моду, которая возбуждена в волноводе. В данном случае это мода E_{11} . Полученные экспериментальные зависимости можно объяснить следующим образом. Поскольку электрическое поле моды E_{11} на оси волновода равно нулю, пучок, инжектированный вдоль оси, при движении в той части волновода, где нет магнитного поля слабо взаимодействует с волной. Сообщение пучку поперечной скорости приводит к обмену энергией между частицами и электромагнитной волной. Оценки показывают, что мощность выведенного излучения составляет 1 Вт в импульсе длительностью 4 мкс.

Автор благодарен Е. Г. Бессонову и К. А. Беловинцеву за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коломенский А. А., Лебедев А. Н. Квантовая электроника, 5, 1543 (1978).
2. Федоров М. В. УФН, 135, 213 (1981).
3. Алексеев В. И. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 12, 38 (1987).
4. Алексеев В. И., Бессонов Е. Г., Серов А. В. Квантовая электроника, 15, 2530 (1988).
5. Алексеев В. И. и др. ДАН СССР, 306, 580 (1989).

Поступила в редакцию 4 октября 1989 г.