

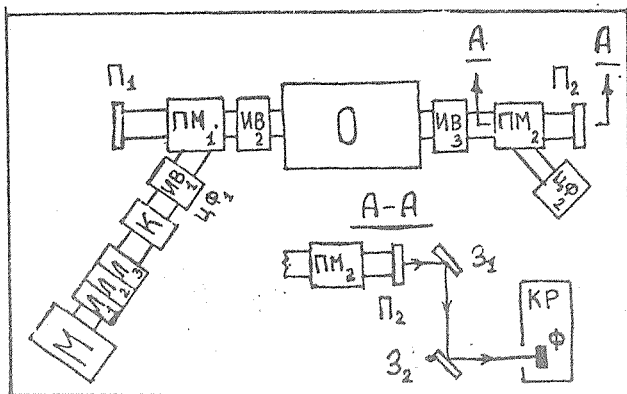
## СУБМИЛЛИМЕТРОВОЕ СПОНТАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В ГИБРИДНОМ ОНДУЛЯТОРЕ

В.И. Алексеев, К.А. Беловинцев, Е.Г. Бессонов, В.Н. Мурзин,  
А.В. Серов, С.А. Стоклицкий

УДК 538.561

*Экспериментально зарегистрировано и исследовано излучение с длиной волны  $\sim 130$  мкм, испускаемое электронами с энергией 7 МэВ, в гибридном ондуляторе. Экспериментальная установка позволяет создать на ее основе лазер на свободных электронах с коэффициентом усиления  $\sim 2\%$  за проход.*

В настоящее время большое внимание уделяется источникам индуцированного ондуляторного излучения в малоиспользованных диапазонах длин волн [1], что связано с уникальными характеристиками таких источников: высокой мощностью, возможностью плавной перестройки частоты в широких пределах, пространственной когерентностью излучения и т.д. В работе исследовано спонтанное ондуляторное излучение в субмиллиметровом диапазоне, полученное в гибридном ондуляторе, конструкция которого описана ранее [2]. Параметры экспериментальной установки достаточно высоки. Это свидетельствует о возможности создания на ее основе источника индуцированного ондуляторного излучения.



Р и с. 1. Схема экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Источником релятивистских электронов является микротрон М со следующими параметрами: энергия ускоренных электронов 7 МэВ, энергетический разброс  $< 1\%$ , средний ток пучка в импульсе 40-60 мА, ток в банче 400-600 мА, длительность импульса тока 4 мкс, радиальный эмиттанс 40 мм·мрад, вертикальный эмиттанс 6 мм·мрад, частота повторения импульсов 50 Гц. Ондулятор О содержит установленные друг за другом постоянные магниты чередующейся полярности, между которыми расположены пластины из магнитомягкой стали [2]. Период магнитного поля ондулятора  $\lambda_0 = 42$  мм, число периодов  $K = 25$ , напряженность магнитного поля ондулятора  $H_m = 1500$  Э при расстоянии между полюсами магнитов  $h = 15$  мм. Электронный пучок из микротрона М транспортировался через ондулятор О с помощью систем линз  $L_1 - L_3$ , корректора К и двух поворотных ( $30^\circ$ ) магнитов ПМ<sub>1</sub> и ПМ<sub>2</sub>. Для индикации пучка использовались индикаторные вставки ИВ<sub>1</sub> - ИВ<sub>3</sub>. Ток пучка измерялся цилиндрами Фарадея ЦФ<sub>1</sub> и ЦФ<sub>2</sub>. Излучение выводилось через закрытое майларовой пленкой окно патрубка П<sub>2</sub> повторного магнита ПМ<sub>2</sub>.

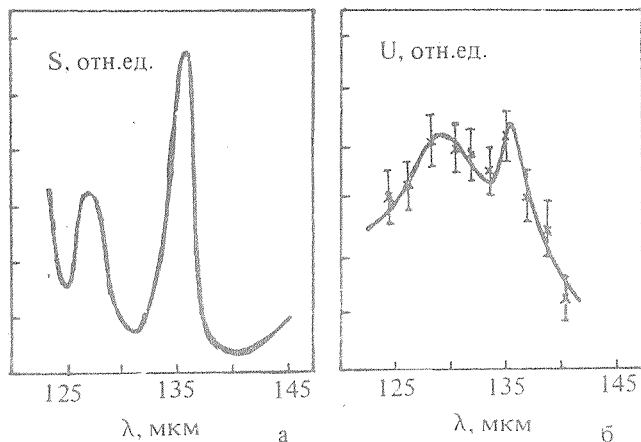
При прохождении пучка электронов через ондулятор было зарегистрировано ондуляторное излучение в направлении вдоль оси ондулятора, средняя мощность которого за время импульса тока (4 мкс) составляла  $\sim 10^{-6}$  Вт. Излучение регистрировалось фотоприемником Ф субмиллиметрового диапазона из Ge (Ga), который находился на хладопроводе гелиевого криостата КР ( $T \sim 8$  К) и был закрыт от фонового теплового излучения набором холодных фильтров. Для снижения действия проникающей радиации криостат с фотоприемником был вынесен из плоскости орбиты микротрона и помещен в бункер из свинца. Излучение направлялось на фотоприемник отклоняющими зеркалами З<sub>1</sub> и З<sub>2</sub>.

Из теории ондуляторов известно, что энергия ондуляторного излучения сосредоточена в узкой спектральной линии, ширина которой определяется числом периодов ондулятора, разбросом по энергии электронов пучка, качеством изготовления ондулятора и т.д. Спектральное положение линии ондуляторного излучения при заданной геометрии ондулятора определяется энергией электронов в пучке и соответствует длине волны

$$\lambda_m = \lambda_0 (1 + p_1^2) / 2\gamma^2, \quad (1)$$

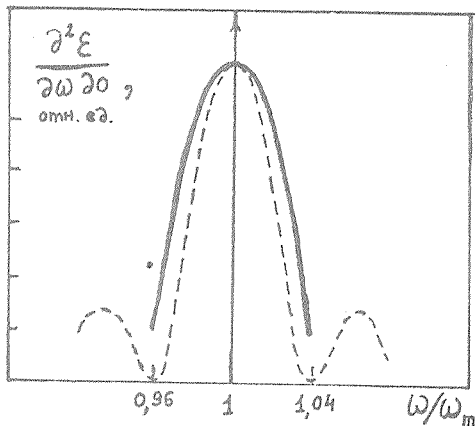
где  $\gamma = \varepsilon/mc$ ;  $p_1 = H_m/H_e$ ;  $H_e = 2\pi mc^2/c\lambda_0$ . Предполагается, что магнитное поле меняется вдоль оси ондулятора по закону  $H = H_m \sin(2\pi z/\lambda_0)$ .

При оценке характеристик обнаруженного излучения использовалась селективность спектральной чувствительности фотоприемника Ge (Ga) в области энергий фотонов ниже красной границы фотоионизации примеси гал-



Р и с. 2. а) Кривая спектральной чувствительности фотоприемника Ge(Ga). б) Экспериментальная зависимость амплитуды сигнала фотоприемника Ge(Ga) от длины волны излучения.

лия (рис. 2а) /3/. На рис. 2б показана полученная во время эксперимента зависимость амплитуды зарегистрированного сигнала на фотоприемнике от длины волны излучения при изменении энергии электронов пучка в интервале 6,9 – 7,4 МэВ. Согласно формуле (1), это соответствует длинам волн от 140 до 120 мкм. При изменении энергии микротрона поддерживались постоянными амплитуда и длительность импульса тока через ондулятор. Полученная экспериментальная зависимость, приведенная на рис. 2б, представляет собой свертку функции спектральной чувствительности приемника и контура линии ондуляторного излучения. Значение ширины линии можно получить, решая уравнение свертки и считая, что форма контура спектральной линии спонтанного ондуляторного излучения описывается функцией вида  $d^2\epsilon/\partial\omega\partial\omega_0 \approx \gamma^4 (\sin^2 ax)/x^2$ , где  $x = (\omega - \omega_m)/\omega_m$ ;  $\omega_m = 2\pi c/\lambda_m$ ;  $\theta$  – телесный угол. Приближенный расчет ширины линии ондуляторного излучения в условиях эксперимента позволяет получить  $\Delta\lambda/\lambda \sim 0,06$ . Спектр спонтанного ондуляторного излучения, ширина которого соответствует указанной оценке, приведен на рис. 3. Пунктиром показан спектр ондуляторного излучения, рассчитанный на основе измерений магнитного поля ондулятора /2/. Видно, что оцененная из опыта ширина спектра ондуляторного излучения незначительно превышает расчетную, что указывает на достаточно высокое качество магнитного поля ондулятора и электронного пучка.



Р и с. 3. Спектр спонтанного осцилляционного излучения.

Определенные в работе характеристики полученного излучения позволяют оценить коэффициент усиления субмиллиметрового излучения в ондуляторе /1/. В условиях проведенного эксперимента такая оценка дает величину  $\sim 2,5\%$  на проход (соответствующую результатам работы /4/), что, видимо, достаточно для получения лазерной генерации в диапазоне длин волн  $\lambda = 110-150$  мкм при помещении ондулятора в оптический резонатор с высокой добротностью.

Поступила в редакцию 31 июля 1984 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Генераторы когерентного излучения на свободных электронах. Под ред. А.А. Рухадзе. М., Мир, 1983.
2. Алексеев В.И. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 4, 30 (1984).
3. Jones R.L., Fisher P. J. Phys. Chem. Solids, 24, № 7, 1125 (1965).
4. Алферов Д.Ф. и др. Препринт ФИАН № 147, М., 1981; ЖТФ, 53, в. 2, 270 (1983).