

ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЯЕМОГО ЭЛЕКТРОННОГО СЛУСТКА  
МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ДИСКА

В. Н. Махов, Г. С. Пашенко, М. Н. Якименко

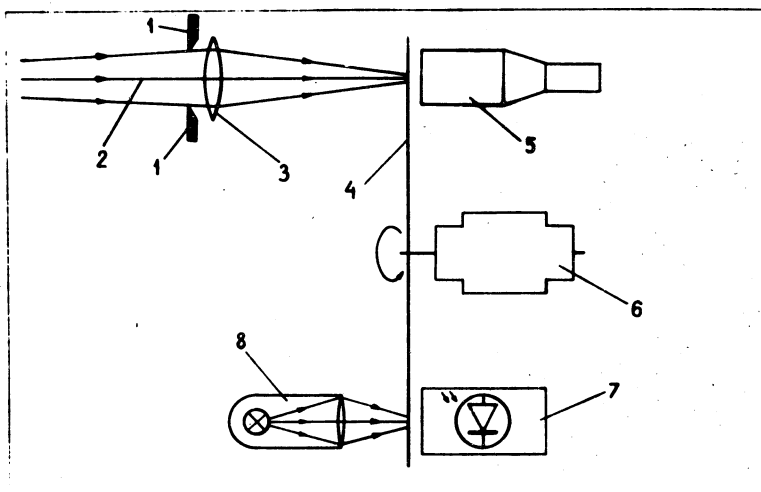
УДК 539.1.082.5

Описана установка, позволяющая определять размеры и положение ускоряемого в синхротроне электронного сгустка в любой момент цикла ускорения по синхротронному излучению сгустка. Приведены иллюстрирующие работу установки результаты исследования сгустка на синхротроне ФИАН с максимальной энергией 600 МэВ.

Метод вращающегося диска /1,2/ представляет собой удобный инструмент для диагностики сгустка ускоряемых электронов по их синхротронному излучению (СИ). Этот метод особенно полезен при больших временах ускорения, в частности, на синхротроне ФИАН с максимальной энергией 600 МэВ, работающем в квазинакопительном режиме (продолжительность цикла ускорения около 1,5 с). Он позволяет в течение всего цикла ускорения контролировать поперечные (радиальный и вертикальный) размеры сгустка, формы кривых распределения плотности электронов по вертикали и радиусу, радиальные и вертикальные перемещения сгустка в процессе ускорения, а также направление максимума СИ. Последняя характеристика играет особую роль в связи с использованием ускорителя в качестве источника ультрафиолетового излучения.

Собранная нами установка (рис. 1) для изучения сгустка электронов на синхротроне ФИАН с максимальной энергией 600 МэВ состояла из целевой диафрагмы 1, ограничивающей горизонтальный размер пучка СИ 2, оптической системы 3, создающей изображение поперечного сечения электронного сгустка (или углового распределения СИ) на диске 4, и фотоумножителя 5 типа ФЭУ-30. Диск радиусом 15 см имел 8 радиальных щелей шириной 0,3 мм и вращался электродвигателем 6 со скоростью около 2400 об/мин. Размер изображения был порядка нескольких миллиметров. Сигнал ФЭУ наблюдался на экране осцилло-

графа СІ-ЗІ. Синхронизирующий импульс для запуска развертки осциллографа поступал от фотодиода 7 типа ФД-2 в момент прохождения щели между фотодиодом и осветителем 8. Специальная электронная



Р и с. I. Общая схема установки (не в масштабе). Плоскость рисунка совпадает с плоскостью орбиты электронов

схема позволяла производить однократный запуск развертки при достижении электронами выбранной энергии.

Указанное на рис. I взаимное расположение оптической оси системы и оси вращения диска соответствует наблюдению вертикальных распределений. Для перехода к радиальным распределениям диск с двигателем поворачивались на  $90^\circ$  вокруг оптической оси системы.

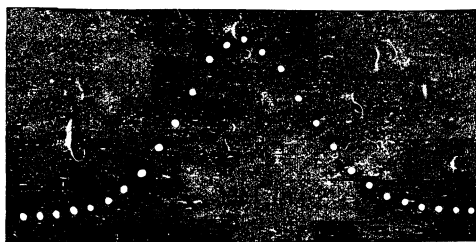
Для изучения поперечных размеров и перемещений ступка его изображение фокусировалось в плоскость диска. Легко видеть, что освещенность в каждой точке изображения ступка пропорциональна плотности электронов в сопряженной точке поперечного сечения ступка. Если распределение плотности электронов в сечении ступка дается законом  $F(x, y) = f_1(x)f_2(y)$  (как показано в /3/,  $f_1$  и  $f_2$  обычно хорошо аппроксимируются функциями Гаусса), то интегрирование по ширине щели при достаточно узкой щели при-

водит к тому, что временная зависимость сигнала ФЭУ представляет собой одну из функций  $f_1$  или  $f_2$  (соответственно для горизонтального и вертикального направлений сканирования).

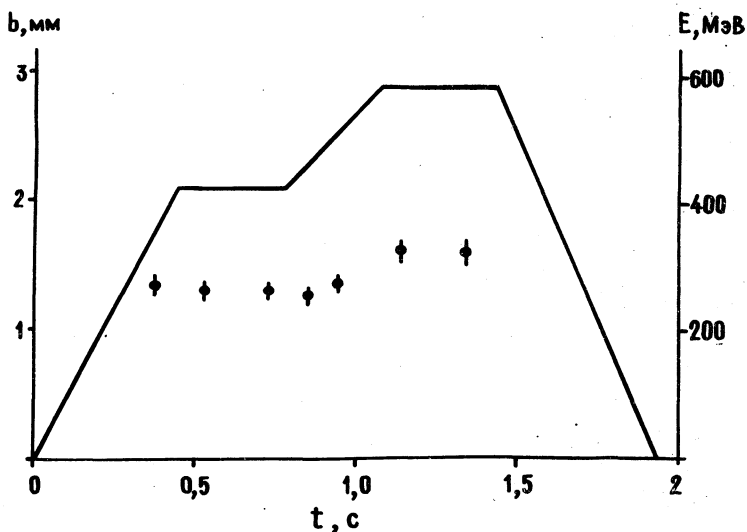
При исследовании угловых перемещений вектора средней скорости электронов (и совпадающего с ним по направлению максимума углового распределения СИ) диск помещался в фокальной плоскости оптической системы. При этом распределение яркости изображения в вертикальном направлении и, соответственно, временная зависимость сигнала ФЭУ отражает вертикальное угловое распределение СИ, поскольку угол  $\alpha$  падения лучей на главную плоскость оптической системы и координата  $y$  соответствующей этому углу точки фокальной плоскости связаны соотношением  $y = f\alpha$ , где  $f$  - фокусное расстояние оптической системы. Такая геометрия позволяет изучать динамику вертикального углового распределения СИ и его компонент поляризации. Горизонтальное угловое распределение СИ не поддается исследованию изложенным методом из-за кривизны орбиты электронов в горизонтальной плоскости.

Для определения абсолютных расстояний (размеров и перемещений сгустка) луч осциллографа модулировался по яркости синусоидальным сигналом с известной частотой. Искомое расстояние определялось по формуле  $l = n\lambda\omega RT$ , где  $n$  - количество яркостных меток на соответствующем отрезке осциллограммы,  $k$  - увеличение оптической системы,  $\omega$  - угловая скорость диска,  $R$  - расстояние от оси вращения до изображения,  $T$  - период яркостных меток. Величина  $\omega$  измерялась по синхронизирующим импульсам от фотодиода.

Полная погрешность определения размеров сгустка, складывающаяся из систематических и случайных ошибок измерения величин  $n$ ,  $k$ ,  $\omega$ ,  $R$ ,  $T$ , без учета вносимых оптической системой искажений не превышала 6%. Учет первой ненулевой поправки, связанной с конечной шириной щели, в предположении гауссовой формы распределения приводит к следующей формуле для истинного значения дисперсии  $b^2$  распределения (в изображении сгустка):  $b^2 = b_0^2(1 - a^2/3b_0^2)$ , где  $b_0$  - измеренное по изображению значение (полуширина кривой распределения на уровне 0,606 от максимума),  $2a$  - ширина щели. В нашем случае величина поправки ( $a^2/6b_0^2$ ) к параметру  $b$  вертикального распределения составила менее 1,5%, для горизонтального распределения - около 0,1%.



Р и с. 2. Осциллограмма вертикального распределения плотности электронов в поперечном сечении сгустка. Расстояние между соседними яркостными метками соответствует 0,4 мм



Р и с. 3. Изменение параметра  $b$  вертикального распределения плотности электронов (точки) и энергии электронов (сплошная линия) в течение цикла ускорения

В качестве примера на рис. 2 приведена осциллограмма вертикального распределения плотности электронов в сечении ступка при энергии 480 МэВ, полученная при следующих значениях параметров:  $k = 2,28$ ,  $\omega = 260 \text{ сек}^{-1}$ ,  $R = 132 \text{ мм}$ ,  $1/T = 200 \text{ кГц}$ . Кривая хорошо описывается уравнением  $y = C \exp(-x^2/2b^2)$  с величиной  $b = (1,32 \pm 0,08) \text{ мм}$ . Для горизонтального распределения  $b = (4,45 \pm 0,25) \text{ мм}$ .

На рис. 3 точки соответствуют значениям параметра  $b$  вертикального распределения в различные моменты цикла ускорения. На этом же рисунке показана кривая изменения энергии ускоряемых электронов. Знание зависимости  $b(t)$  необходимо для точного расчета интенсивности синхротронного излучения в каждый момент цикла ускорения.

В заключение авторы хотели бы выразить благодарность К. Н. Шорину за консультации по вопросам работы ускорителя, И. Н. Максимовой за помощь при обработке результатов и всему коллективу ускорителя за содействие проведению работы.

Поступила в редакцию  
2 февраля 1977 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. W. Ebeling, G. W. Bennett, Interner Bericht DESY S1-70/6, Juni 1970.
2. М. М. Никитин, Труды научно-исследовательского института ядерной физики, электроники и автоматики, вып. 2, М., Атомиздат, 1972 г.
3. А. Г. Ершов, ЖЭТФ, 42, 606 (1962).