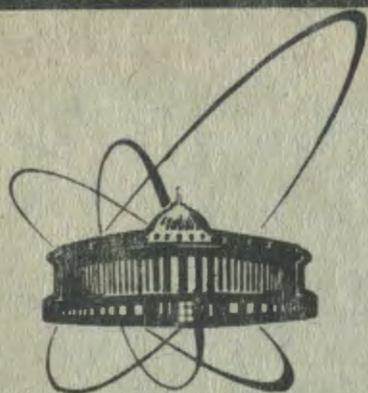


90 - 114



e
t

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Д 162

9-90-114

Ю. Дамиш, В. А. Дроздов, С. И. Тютюнников,
В. Н. Шаляпин

ПРИМЕНЕНИЕ ПЗС-ТЕЛЕКАМЕРЫ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОЛЕЦ
ПО СИНХРОТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

1990

В настоящее время на ускорителе КУТИ-20 используются две методики для измерения размеров электронных колец по синхротронному излучению /СИ/. В первой ¹ используется инфракрасная часть спектра СИ, детектором служит набор фотоспротивлений из PbSe в линейной геометрии. Во второй ² используется видимая часть спектра СИ, детектором является диссектор. Каждая методика имеет свои преимущества, однако общим их недостатком является измерение распределения мощности СИ по сечению кольца только по одной координате. В данной работе для измерения плотности распределения СИ по всему сечению кольца используется ТВ-камера на матрице приборов с зарядовой связью /ПЗС/, оснащенная затвором из оптической керамики, который обеспечивает временную экспозицию изображения.

1. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ

Схема измерений показана на рис.1. Синхротронное излучение электронного кольца 1 проходит через кварцевое окно 2, отражается плоским зеркалом 3, проходит через оптический затвор 4 и фокусируется объективом "Гелиос-40" 5 на детектор 6. Регистрирующим элементом является ПЗС-матрица типа ЦМ-1 с размерами элемента структуры 21x27 мкм и числом элементов 144x232. Матрица и управляющая электроника смонтированы в корпусе с магнитно-радиационной защитой.

Затвор на основе оптической керамики ЦТСЛ ^{3/} пропускает излучение с временем экспозиции до 1 мкс. Диаметр затвора 20 мм, оптическая плотность в закрытом состоянии равна 4. На рис.2а показаны в относительных единицах кривые спектральной чувствительности ПЗС-матрицы /кривая 1/, коэффициенты пропускания затвора 3, объектива 2 и суммарный коэффициент чувствительности системы 4. На рис.2б приведены также /в относительных единицах/ спектр СИ 5 для энергии электронов $E_e = 18$ МэВ и радиуса кольца $R_k = 4$ см и суммарный коэффициент чувствительности

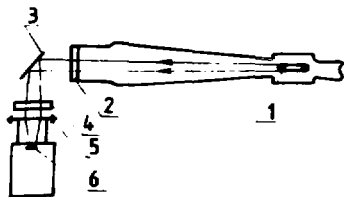


Рис.1. Схема измерений.

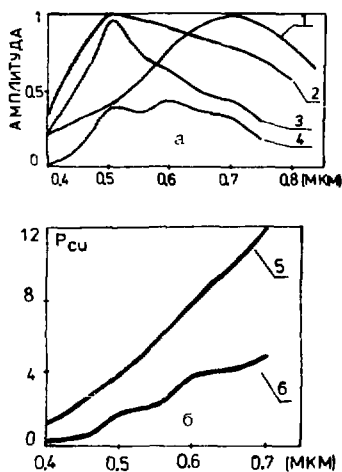
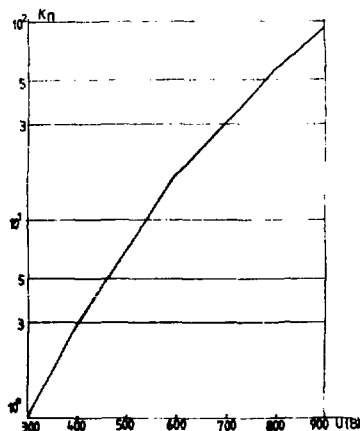


Рис. 3. Пропускание затвора в статическом режиме.

Рис. 2. Спектральные характеристики ПЗС-телекамеры /а/ и источника синхротронного излучения /б/.



системы 6 для данного спектра. Длина волны излучения отложена в микронах. Рис.3 является иллюстрацией использования затвора в качестве фильтра, управляемого постоянным напряжением. K_n - коэффициент пропускания затвора в относительных единицах.

Оценим пороговое число электронов в кольце N_{ep} , при котором освещенность, создаваемая СИ на детекторе в данной геометрии, равна пороговой освещенности ПЗС-матрицы $E_n = 5 \cdot 10^{-9}$ Дж·см⁻². Мощность СИ одного электрона $P_{си1}$ на длине волны $\lambda = 0,6$ мкм составляет $P_{си1} = 2 \cdot 10^{-11}$ Вт/мкм /при $E_e = 18$ МэВ, $R_k = 4$ см/. Пороговую освещенность можно определить из соотношения

$$E_n = N_e \cdot P_{си1} \cdot \Delta\lambda \cdot \alpha \cdot \Delta\Omega \cdot \Delta t_p \cdot s^{-1}, \quad /1/$$

где $\Delta\lambda$ - спектральный интервал регистрации, s - площадь изображения, α - суммарный коэффициент пропускания системы, $\Delta\Omega$ - телесный угол регистрации, Δt_p - время регистрации. В геометрии расположения системы /рис.1/ указанные величины равны: $\Delta\lambda = 0,3$ мкм, $s = 5 \cdot 10^{-8}$ см², $\alpha = 5 \cdot 10^{-2}$, $\Delta\Omega = 10^{-3}$. Из формулы /1/ определяем пороговое число электронов

$$N_{ep} = 10^5 \cdot \Delta t_p^{-1}.$$

Минимальное время регистрации определяется оптической плотностью затвора d и длительностью импульса τ СИ электронного кольца. При $\tau = 10^{-3}$ с и $d = 10^3 \Delta\tau_p = 10^{-5}$ с. При этом превышение сигнала над фоном равно 10. В этих условиях $N_{ep} = 10^{10}$, что вполне достаточно, так как число электронов в кольцах, формируемых на ускорителе, лежит в диапазоне $N_e = 5 \cdot 10^{11} \div 5 \cdot 10^{12}$. Порог может быть уменьшен за счет использования затвора с более высоким коэффициентом пропускания и выбора оптимальной геометрии.

2. ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Аппаратура телевизионной измерительной системы /рис.4/ включает телевизионную камеру ⁴, построенную на основе фоточувствительной матрицы ПЗС К1200ЦМ1, и интерфейсный блок в стандарте КАМАК, подключаемый к ЭВМ СМ4. Камера и интерфейсный блок соединены кабелем длиной 70 м.

Телевизионная камера формирует видеосигнал фиксируемого кадра изображения с форматом 144x232 элемента и синхронизирует работу интерфейсного блока.

Стартовый сигнал подавался синхронно с циклом работы ускорителя и сигналом, управляющим оптическим затвором. При этом регистрируемое изображение синхротронного излучения оцифровывалось, запоминалось в буферной памяти и выводилось на ТВ-монитор с помощью интерфейсного блока. Затем данные из видеопамяти передавались в ЭВМ для последующей обработки и накопления.

В интерфейсный блок телевизионной измерительной системы входят следующие функциональные узлы /рис.4/:

- схема аналогово-цифровой обработки входного видеосигнала на основе быстродействующего 6-разрядного АЦП параллельного типа К1107 ПВ1;
- трехпортовая буферная память на один кадр телевизионного изображения объемом 32К байт;
- КАМАК интерфейс;
- схема формирования телевизионного видеосигнала для вывода на монохроматический и цветной мониторы.

При работе в монохроматическом режиме воспроизводится изображение фиксированного кадра с 64 градациями яркости, а при работе с цветным монитором различные уровни яркости передаются набором цветов, определяемых программируемой таблицей цветности.

Со стороны ЭВМ возможны запись и считывание в/из буферной памяти в автоинкрементном режиме сканирования адресов.

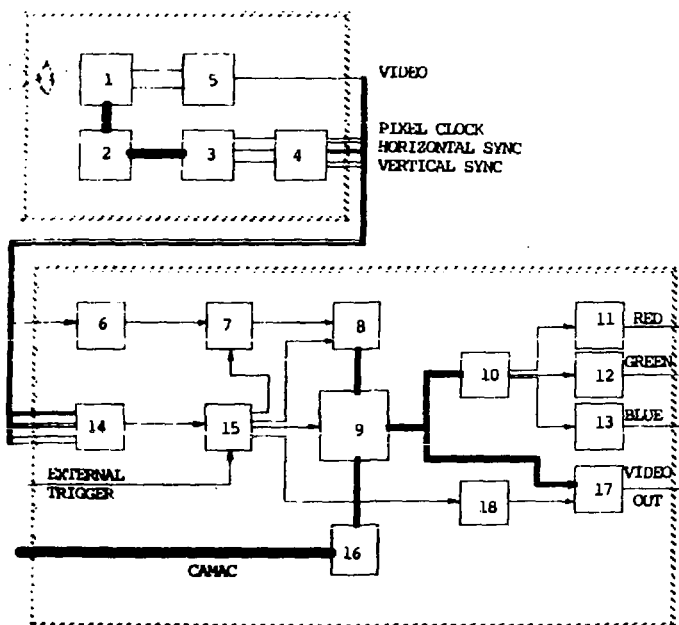


Рис. 4. Аппаратура телевизионной измерительной системы: 1 - матрица ПЗС К1200ЦМ1, 2 - преобразователь уровня А1058, 3 - синхрогенератор А1057, 4 - парафазные линейные передатчики, 5, 6 - видеоусилитель, 7 - схема привязки уровня черного, 8 - АЦП К1107ПВ1, 9 - память 32К байт, 10 - ПЗУ, таблица цветовой шкалы, 11, 12, 13 - малоразрядные ЦАП RGB-видеосигналов, 14 - линейные приемники, 15 - схема управления, 16 - КАМАК-дешифратор, 17 - ЦАП К1118ПА1, 18 - синхрогенератор телевизионной развертки монитора.

Для обработки и представления результатов измерения написаны программы для СМ-4, которые позволяют:

1/ выводить информацию об освещенности ПЗС-матрицы по кадру, по любой строке и столбцу;

2/ определять центр тяжести распределения освещенности по любой строке и столбцу и определять размер распределения на уровне половины интенсивности;

3/ вводить коррекцию в распределение освещенности с учетом неравномерности чувствительности элементов матрицы.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Эксперименты проводились на ускорителе КУТИ-20 в схеме сжатия электронных колец, описанной в работе [5]. Контроль относительного числа электронов в кольцах проводился по интенсивности вспышки тормозного излучения при высадке кольца на стенку камеры /амплитуда сигнала обозначается U_{γ} /. На рис.5 представлены иллюстрации выдачи с телекамеры на цифропечать одной из строк матрицы. Амплитуда сигнала в каждой ячейке пропорциональна освещенности. Длительность временной экспозиции $\Delta t_p = 10$ мкс. На рис.6 приведены зависимости аксиального (a_z) и радиального (a_r) размеров малого сечения электронного кольца в максимуме распределения от интенсивности электронных колец U в одном из сеансов работы ускорителя. Точность измерений определяется, в основном, точностью калибровок и разрешением объектива. Ошибка в определении размера в настоящее время не более 10%. Ошибка может быть уменьшена до 2% за счет использования высокоразрешающих объективов и более совершенных калибровочных приборов.

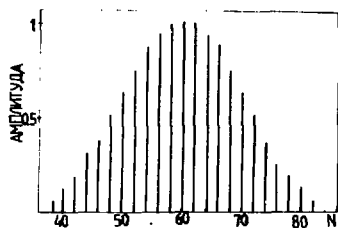


Рис.5. Иллюстрация сигнала с одной из строк ПЗС-матрицы.

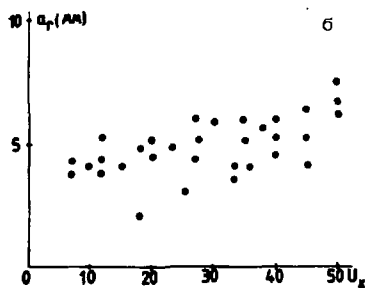
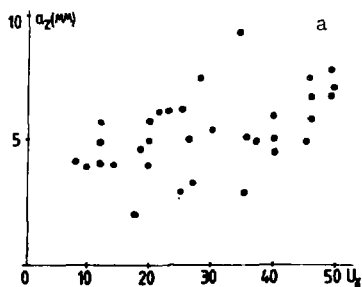


Рис.6. Зависимости аксиального /а/ и радиального /б/ размеров малого сечения электронного кольца от числа электронов в одном сеансе работы ускорителя.

Авторы выражают глубокую благодарность за предоставление оптического затвора А.Р.Штенбергу, а также Т.П.Саенко за совершенствование средств программного обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голутвин И.А. и др. - ОИЯИ, 9-88-356, Дубна 1988.
2. Долбилов Г.В. и др. - ЖТФ, 1985, т.55, в.7, с.1211.
3. Круминь Д.Э. - В сб.: Фазовые переходы и сопутствующие им явления в сегнетоэлектриках. ЛГУ, Рига, 1984, с.3.
4. Дамиш Ю. - Компактная ТВ-камера на матричном ПЗС. Делонированное сообщение ОИЯИ Б2-10-88-280, Дубна, 1988.
5. Алексахин Ю.И. и др. - ОИЯИ, Р9-88-424, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 февраля 1990 года.