

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

9-88-356

И.А.Голутвин, А.А.Мальцев, В.П.Саранцев,
В.А.Свиридов

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ
КОЛЬЦЕВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СГУСТКОВ
ПО СИНХРОТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ
В ИК-ДИАПАЗОНЕ

Направлено в Оргкомитет Международной
конференции по использованию синхротронного
излучения СИ-88. Новосибирск, август 1988 г.

1988

При создании коллективного ускорителя тяжелых ионов (КУТИ) ОИЯИ возникла необходимость в разработке различных методов диагностики электронного (электронно-ионного) кольца в процессе его сжатия в камере компрессора (адгезаторе). Одним из эффективных методов наблюдения кольцевого сгустка в адгезаторе без его разрушения является метод с использованием синхротронного излучения (СИ) электронов. В представленной работе дан обзор и приведены результаты применения инфракрасного синхротронного излучения ($\Delta\lambda \geq 1 \div 8$ мкм) для диагностики сжимаемого в адгезаторе кольцевого сгустка заряженных частиц.

При существующих параметрах коллективного ускорителя спектр СИ электронов в адгезаторе, в основном, расположен в инфракрасной (ИК) области $\lambda \geq 1$ мкм (рис. 1). Поэтому методики и системы диагностики по СИ были основаны на новейших достижениях ИК-техники (оптических материалов и детекторов излучения).

Были разработаны методики^{1/} измерения следующих параметров и характеристик кольцевого сгустка заряженных частиц на заключительной стадии его сжатия в адгезаторе (равновесный радиус $\sim 6 \div 3$ см) коллективного ускорителя:

- числа электронов в кольце — N_e ;
- равновесного радиуса R и размеров малого сечения a_z, a_R ,
- $R(t)$ — траектории и динамики сжатия;
- угловой расходимости СИ электронов в кольце.

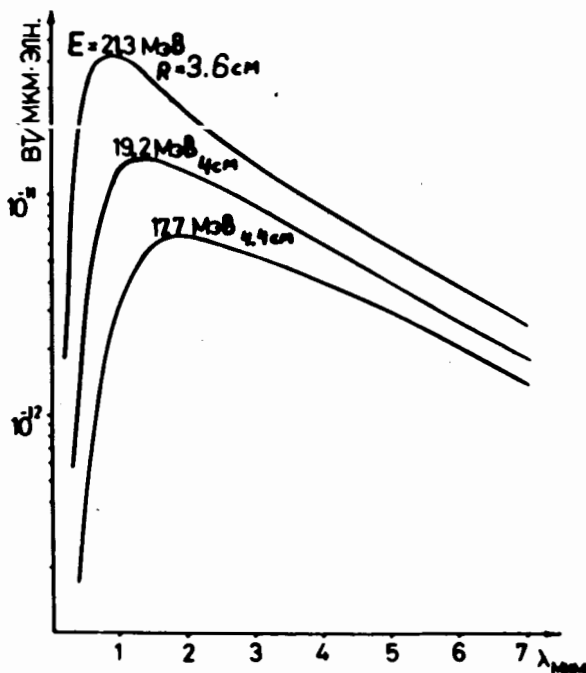
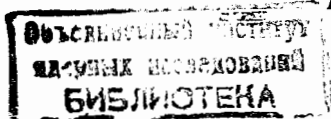


Рис. 1



На основе этих методик разработаны измерительные системы для диагностики токовых и геометрических параметров кольца.

Методика измерения числа электронов в адгезаторе^{/2/} основана на прямой зависимости интенсивности СИ от числа электронов, причем регистрация СИ ведется в спектральной области $\lambda \geq \lambda_c$, когда интенсивность излучения не зависит от энергии электронов^{/3/}. Разработано два варианта измерения интенсивности СИ: приближенный^{/4/}, когда излучение измеряется только в медианной плоскости кольцевого сгустка одним датчиком, и более точный^{/5/}, когда система датчиков охватывает телесный угол, где сосредоточена большая часть СИ. Достоинство первого способа — в простоте аппаратуры. Недостаток — отсутствие оперативной, для каждого импульса ускорителя, информации об угловом распределении СИ.

Метод измерения геометрических параметров кольца заключается в том, что изображение малого сечения кольцевого сгустка, попавшего в поле зрения 2-метрового ИК-оптического канала^{/6/}, фокусируется на чувствительную поверхность детектора с линейным расположением элементов и регистрируется им.

Важным параметром для диагностики кольцевого сгустка в адгезаторе является угловая расходимость СИ в направлении, перпендикулярном медианной плоскости кольца. Измерение угловой расходимости СИ позволяет не только более точно оценить интенсивность СИ, но и дает информацию об энергии электронов и их угловом распределении (аксиальные бетатронные колебания). Методика измерения заключается в регистрации СИ на выходе его из камеры адгезатора с помощью многоэлементного ИК-детектора, длина которого перекрывает большую часть потока СИ в направлении, перпендикулярном плоскости вращения частиц.

Диагностика кольца в адгезаторе по СИ осуществлялась одновременно несколькими детекторами. Блок-схема адгезатора и систем диагностики приведена на рис.2. 1 — адгезатор (компрессор электронных

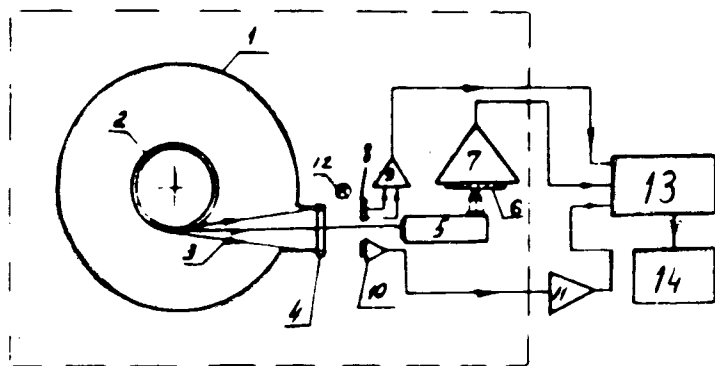


Рис. 2

колец); 2 — электронное (электронно-ионное) кольцо; 4 — СИ; 4 — окно; 5 — оптический тракт; 6 — детектор для измерения геометрических параметров кольца; 7, 9 и 11 — усилители; 8 — одноэлементный ИК-детектор в медианной плоскости кольцевого сгустка; 10 — многоэлементный ИК-детектор с блоком предусилителей, измеряющий угловую расходимость СИ; 12 — контрольный источник (светодиод АЛ 1076); 13 — блоки обрабатывающей электроники; 14 — ЭВМ. Схема, поясняющая геометрию испускания СИ и его регистрации, представлена на рис. 3 (цифровые обозначения см. на рис. 2).

Процесс диагностики кольцевого сгустка включает в себя следующие операции: вывод СИ из вакуумной камеры адгезатора через специальное высоковакуумное окно^{/7/}, пропускающее СИ в области длин волн $1 \div 8$ мкм; транспортировку СИ с минимальными потерями при помощи 2-метрового оптического тракта и передачу его на детектор; многократную за один цикл ускорения регистрацию излучения детектирующими блоками — измерительными преобразователями интенсивности СИ в электрический сигнал; выделение полезного сигнала на фоне импульсных электромагнитных помех ускорителя, его усиление и передачу по кабельной магистрали на электронные блоки регистрации и накопления информации; обработку результатов измерения и их выдачу в требуемом виде.

Геометрические параметры кольца в адгезаторе измерялись двумя детектирующими системами. На прототипе коллективного ускорителя (ПКУТИ) измерения велись системой с 50-элементным фотоприем-

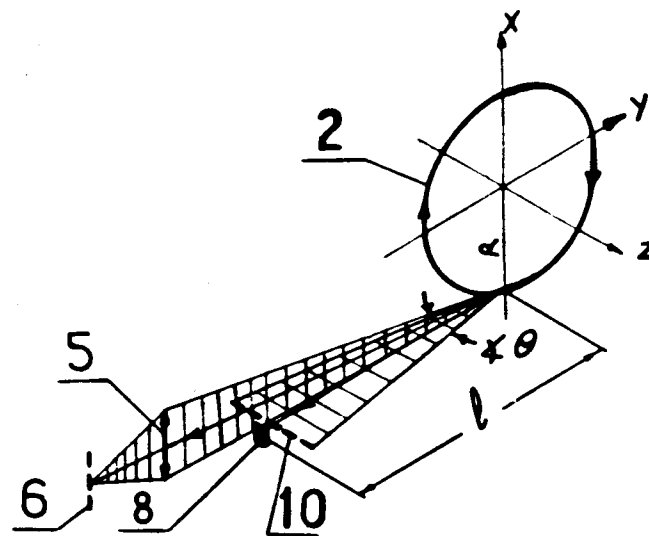


Рис. 3.

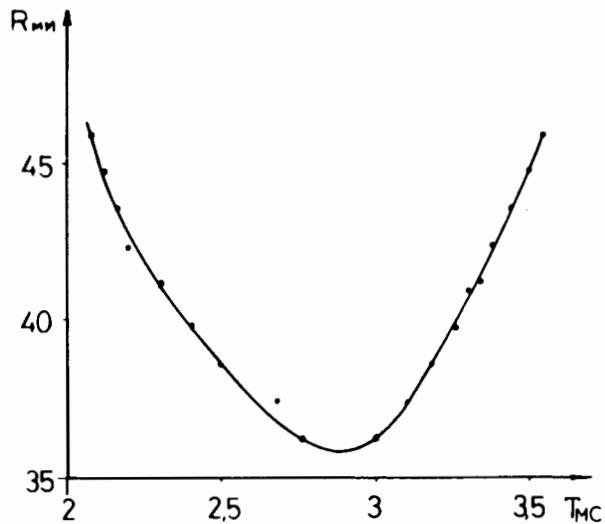


Рис. 4

ником из охлаждаемых жидким азотом фотосопротивлений $\text{JnSb}^{[8]}$. На ускорителе КУТИ-20 использована система с 10-элементным детектором из селенида свинца^[9]. Обе измерительные системы являются однокоординатными, т.е. позволяют измерять размер малого сечения кольца либо параллельно медианной плоскости кольца (a_R), либо перпендикулярно (a_z). Работу систем иллюстрируют рис. 4 и 5. На рис. 4 показана $R(t)$ — траектория кольца, измеренная для одного из режимов ускорителя.

На рис. 5 представлен мгновенный размер малого сечения кольца.

Измерение углового распределения СИ для однодатчикового измерителя числа электронов производилось одновременно двумя фотоприемниками: кремниевым фотодиодом, перемещаемым перпендикулярно орбитальной плоскости, и импульсным фотоприемником из PbSe , установленным под нулевым углом к орбитальной плоскости. По результатам измерений строилось усредненное по многим импульсам

усредненное по многим импульсам ускорителя угловое распределение СИ для широкого интервала длин волн ($\Delta\lambda > 1 \text{ мкм}$).

Работу многоканальной системы измерения угловой расходимости СИ иллюстрирует рис. 6. Показано мгновенное значение углового распределения СИ, измеренное в один из 10 моментов сжатия кольца. По вертикальной оси отложены амплитуды сигналов с каждого элемента детектора, по горизонтальной — номер элемента (шаг линейки 4 мм) и угол относительно медианной плоскости кольца. Система позволяет наблюдать за динамикой сжатия в каждом цикле ускорения. Полуширина распределения определяется энергией электронов в кольце и их бетатронными колебаниями.

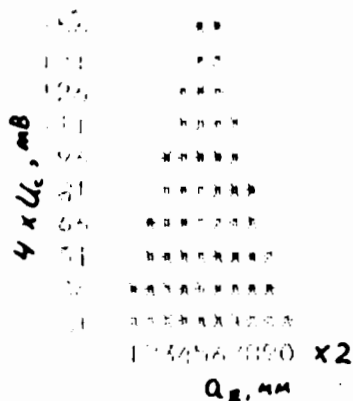


Рис. 5

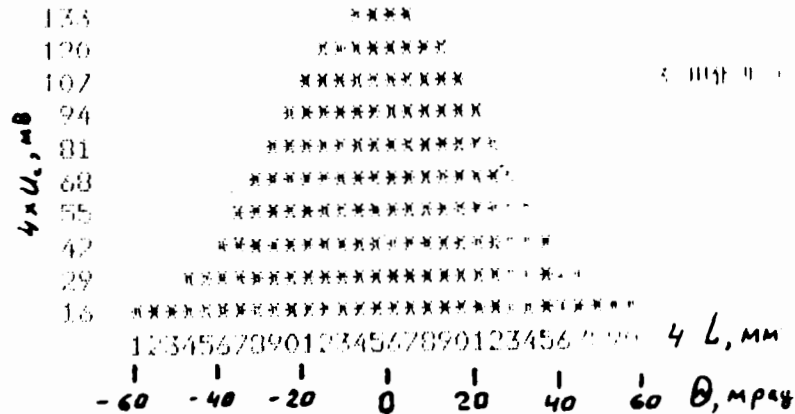


Рис. 6

Число электронов в кольце N_e может быть вычислено, если известна мощность СИ одного электрона w_1 и измерена полная мощность СИ W : $N_e = W/w_1$. Полная мощность СИ может быть определена, если известны: коэффициент использования потока СИ от кольцевого сгустка Ω — геометрический фактор, определяемый телесным углом приемника СИ; коэффициент спектрального пропускания τ_λ промежуточной среды (окно, фильтры, оптика) и ее поляризационные свойства; относительная спектральная характеристика $\epsilon(\lambda)$ приемника.

В общем случае сигнал на приемнике излучения $U_{СИ}$ может быть записан так:

$$U_{СИ} = N_e S \Omega \int_0^\infty w_1(\lambda) \epsilon(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda,$$

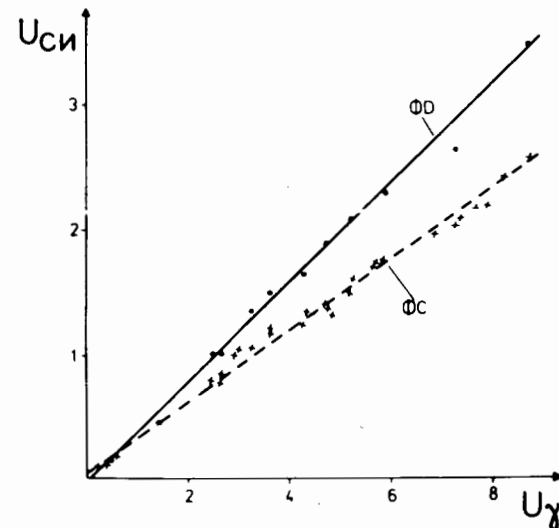


Рис. 7

где S — калибровочная постоянная приемника в В/Вт, измеренная по известной методике^{10/} на вольфрамовом эталонном источнике.

Для проверки линейности зависимости между интенсивностью зарегистрированного СИ и числом электронов в кольце исследована корреляция сигналов с приемников, регистрирующих СИ в разных спектральных областях (кремниевый фотодиод — ФД, фотосопротивление из селенида свинца — ФС) и детектора, регистрирующего γ -излучение, образующееся при сбросе электронов на стенки камеры компрессора в конце цикла ускорителя. Интенсивность тормозного γ -излучения, возникающего при

этом, пропорциональна числу электронов. Проведенные исследования показали линейную корреляцию сигналов с приемников СИ $U_{СИ}$ и детектора γ -квантов U_{γ} . Результаты исследования показаны на рис. 7. Результаты измерения числа электронов в одном из сеансов работы КУТИ-20 представлены на рис. 8.

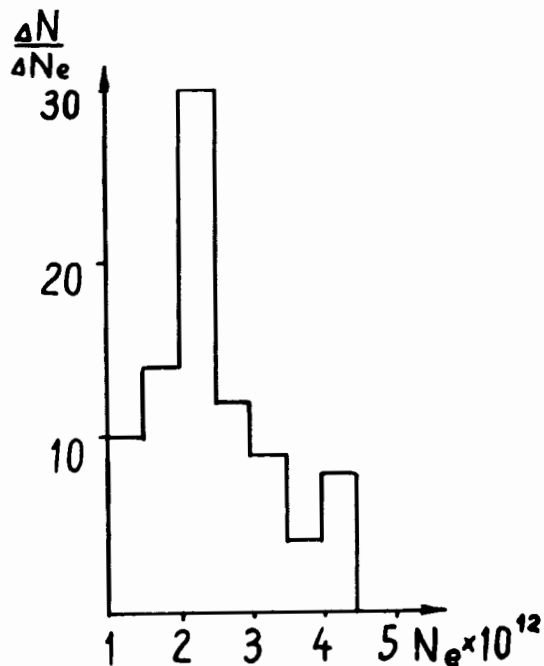


Рис. 8

ЛИТЕРАТУРА

1. Голутвин И.А. и др. — ЖТФ, 1982, т.52, в.3, с.469.
2. Мальцев А.А. ОИЯИ, 9-86-289, Дубна, 1986.
3. Годвин Р. — УФН, 1970, т.101, вып.3, с.499.
4. Лачинов В.М. и др. — ПТЭ, 1982, №5, с.43.
5. Кондрашев В.Д. и др. ОИЯИ, 9-85-278, Дубна, 1985.
6. Белинская Г.И. и др. — ПТЭ, 1977, №4, с.27.
7. Мальцев А.А. ОИЯИ, 13-81-603, Дубна, 1981.
8. Беспалова Т.В. и др. — ПТЭ, 1979, №1, с.22.
9. Голутвин И.А. и др. ОИЯИ, 9-83-696, Дубна, 1983.
10. Мальцев А.А. ОИЯИ, 9-86-12, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 мая 1988 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1.2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3.4.17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1.2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Голутвин И.А. и др.

9-88-356

Методы и системы диагностики кольцевых электронных пучков по синхротронному излучению в ИК-диапазоне

Представлены методы измерения токовых, геометрических и оценки энергетических параметров кольца в адгезаторе с помощью синхротронного излучения ИК-диапазона и созданные на основе этих методов информационно-измерительные системы. Спектр синхротронного излучения в основном находится в ИК-области (диапазон длин волн ≥ 1 мкм). В системах используются элементы ИК-оптики (высоковакуумное окно из MgF_2 и 2-метровый зеркальный оптический канал). Регистрация излучения ведется охлаждаемыми и работающими при комнатной температуре ИК-фотоприемниками из Si, InSb, PbSe. Приведены результаты измерения числа электронов в кольце, равновесного радиуса и размеров малого сечения кольцевого пучка, угловой расходимости синхротронного излучения относительно медианной плоскости кольца.

Работа выполнена в Общественном научно-методическом отделении ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Golutvin I.A. et al.

9-88-356

Methods and Systems for Diagnostics of Electron Bunches by Synchrotron Radiation in Infrared Range

Methods for measuring current, geometric parameters and for estimating ring energy parameters in adgesator using synchrotronous radiation of IR range are presented as well as information measuring system created on their base. Spectrum of synchrotronous radiation is mainly in IR range (wave length range is ≥ 1 mkm). Elements of IR optics are used (high vacuum window made of MgF_2 and 2m mirror optical channel). Radiation is registered by cooled and operating under room temperature IR detectors prepared from Si, InSb, PbSe. Results of measuring the number of electrons in a ring, equilibrium radius and dimensions of small cross section of ring bunch, angular divergence of synchrotronous radiation relatively to ring median plane are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Scientifical-Methodical Division of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988