

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

9-86-289

**А.А.Мальцев**

**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА  
ЭЛЕКТРОННЫХ КОЛЕЦ КУТИ  
ПО СИНХРОТРОННОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ  
В ИК - ОБЛАСТИ**

**1986**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних десяти лет в работах по программе создания коллективного ускорителя тяжелых ионов широко используются инфракрасные системы, предназначенные для диагностики параметров электронных колец. Все эти системы разработаны и испытаны в ОНМУ, по своим характеристикам и параметрам они соответствуют задачам диагностики электронных колец. С их помощью получены физические результаты, без которых создание ускорителя и понимание физических процессов, происходящих при сжатии кольцевых формирований заряженных частиц в адгезаторе КУТИ, было бы затруднено.

Целью представленной работы является детальное описание методики измерения числа частиц в электронном кольце на конечных радиусах его сжатия в адгезаторе КУТИ. Число частиц является одним из важных параметров ускорителя, поэтому требуется его надежная регистрация. Для этой цели используется синхротронное излучение, испускаемое электронным кольцом в процессе сжатия, интенсивность которого пропорциональна числу частиц.

При существующих параметрах компрессора электронных колец коллективного ускорителя тяжелых ионов /КУТИ/ спектр синхротронного излучения электронного кольца, в основном, расположен в ИК-области. Это потребовало разработки методики с использованием достижений инфракрасной техники<sup>/1/</sup>. Основным достоинством этой методики является минимизация ошибок<sup>/2/</sup> измерения интенсивности электронов в кольцевом сгустке, так как интенсивность синхротронного излучения в длинноволновой области его спектрального распределения слабо зависит от энергии электронов, погрешность определения которой вносит основной вклад в ошибку. Здесь и ниже использованы следующие обозначения:  $\lambda$  - длина волны синхротронного и теплового излучения;  $\lambda_c = 4/3 \pi R \gamma^{-3}$  - критическая длина волны;  $E, e, m_0$  - энергия, заряд и масса покоя электрона;  $c$  - скорость света;  $\gamma = E/m_0 c^2$  - релятивистский фактор;  $R$  и  $r$  - радиус электронной орбиты и радиальный размер сечения кольца;

$w = \frac{2}{3} \frac{e^2 c}{R^2} \gamma^4$  - мощность синхротронного излучения одного элект-

рона;  $W = N_e \cdot w$  - полная мощность синхротронного излучения, испускаемого электронным кольцом;  $N_e$  и  $n_e$  - количество и плотность электронов в кольце;  $\Theta$  - угол отклонения от плоскости электронной орбиты;  $Q$  - мощность излучения теплового источника.

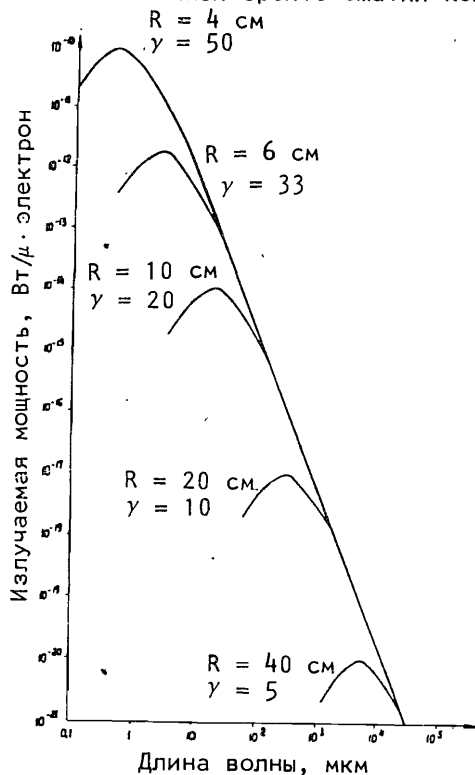
## 2. ИНТЕНСИВНОСТЬ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО КОЛЬЦА АДГЕЗАТОРА

Излучение электрона, вращающегося по круговой орбите, распространяется с малой угловой расходимостью в направлении, перпендикулярном к плоскости орбиты. Излучение имеет широкий, непрерывный спектр длин волн, максимум которого определяется радиусом орбиты и энергией электронов и приходится на длину волны  $\lambda_m = 0,42 \lambda_c$ . Спектральное распределение мощности излучения электрона, проинтегрированное по всем углам  $\Theta$ , имеет вид <sup>/3/</sup>

$$w(\lambda) = \frac{3^{5/2}}{16\pi^2} \cdot \frac{e^2 c}{R^3} \cdot \gamma^7 \cdot \left(\frac{\lambda_c}{\lambda}\right)^3 \int_{\lambda_c/\lambda}^{\infty} K_{5/3}\left(\frac{\lambda_c}{\lambda} d\right) d\left(\frac{\lambda_c}{\lambda}\right), \quad /1/$$

где  $K_{5/3}$  - функция Бесселя второго рода.

Рассчитанное спектральное распределение синхротронного излучения для нескольких значений энергий электронов на различных радиусах сжатия в компрессоре ускорителя показано на рис.1. Даже на конечной орбите сжатия кольца в адгезаторе прототипа КУТИ



$\lambda_m$  лежит в ИК-области /порядка 1 мкм/. Обеспечение возможности наблюдения за параметрами пучка в процессе сжатия, когда спектр синхротронного излучения сдвинут еще дальше в ИК-область, приводит к необходимости использования метода инфракрасной диагностики. Второй и, может быть, главной причиной выбора этого метода является условие минимизации ошибок измерений, которое можно реализовать, если проводить измерение в области длин волн  $\lambda > \lambda_c$ .

Рис.1. Спектральное распределение мощности синхротронного излучения электронного кольца в процессе его сжатия в адгезаторе с радиуса 40 см до 4 см при начальной энергии электронов  $\gamma \approx 5$ .

На основе /1/ можно оценить мощность <sup>/3/</sup>, излучаемую электроном вблизи максимума кривой спектрального распределения для  $\lambda \approx \lambda_c/2$ :

$$w_1 \frac{\text{эрг}}{\text{с} \cdot \text{А} \cdot \text{е}} \approx 9 \cdot 10^{-24} \gamma^7 R^{-3} [\text{М}], \quad /2/$$

и на длинах волн, превышающих критическую,  $\lambda \geq \lambda_c$ :

$$w_2 \frac{\text{эрг}}{\text{с} \cdot \text{А} \cdot \text{е}} \approx 90R^{-2/3} [\text{М}] \cdot \lambda^{-7/8} [\text{А}]. \quad /3/$$

Из /2/ и /3/ вытекает, что ошибка вычисления мощности синхротронного излучения, связанная с неточностью знания значений энергии и радиуса электронов, во втором случае значительно меньше, чем при измерении вблизи пика спектрального распределения:

$$\frac{\Delta w_1}{w_1} = 7 \frac{\Delta \gamma}{\gamma} + 3 \frac{\Delta R}{R}, \quad \text{тогда как} \quad \frac{\Delta w_2}{w_2} \approx \frac{\Delta R}{R}. \quad \text{Это обстоятельство}$$

во и определяет целесообразность использования для измерения тока электронов в кольце области длин волн  $\lambda > \lambda_c$ .

В кольцевых электронных сгустках, характерных для коллективного ускорителя, плотность электронов весьма высока, она колеблется в пределах  $\sim 3 \cdot 10^{10} \div 3 \cdot 10^{12}$  заряженных частиц в кубическом сантиметре /расстояние между электронами  $\sim 1$  мкм/. Можно предположить, что линейная зависимость интенсивности от числа заряженных частиц справедлива до тех пор, пока электроны в кольце распределены между собой на расстоянии, много большем длины волны <sup>/4/</sup>, на которой ведется регистрация излучения. Однако, как показал в 1946 году Померанчук <sup>/5/</sup>, пределы тех плотностей электронов на орбите, вплоть до которых можно не рассматривать взаимодействие электронов, лежат далеко за этими величинами. Они определяются из требования, чтобы пуассоновы флуктуации плотности электронов  $n_e$ , ответственные за излучение, могли бы еще беспрепятственно осуществляться. Условие независимости флуктуаций определяется величиной разброса электронов по энергии  $\Delta E$ :

$$\Delta E \gg e^2 \sqrt{n_e} \cdot r \cdot \left(\frac{R}{2r}\right)^{3/2} \cdot \ln\left(\frac{r}{R} \cdot \gamma^2\right). \quad /4/$$

В реальных условиях коллективного ускорителя плотность электронов не столь высока, чтобы их взаимодействие друг с другом сказывалось на излучении в интервале длин волн, в котором ведется регистрация. При таких плотностях электронов на орбите синхротронное излучение можно считать некогерентным. Поскольку излучение некогерентно, его интенсивность растет линейно с увеличением числа электронов.

Электронное кольцо адгезатора КУТИ является мощным источником синхротронного излучения. Учитывая линейную зависимость интенсивности синхротронного излучения от тока электронов, можно сказать, что в настоящее время установки типа адгезатора КУТИ /I  $\sim 100 \div 1000$  А/ на 2-3 порядка превосходят по излучаемой мощ-

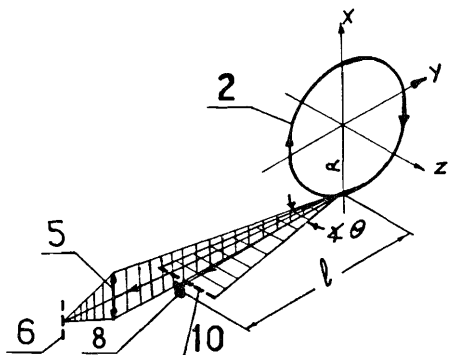


Рис.2. Схема, поясняющая геометрию испускания синхротронного излучения и его регистрации /цифры соответствуют обозначениям на рис.3/.

ности в ИК-диапазоне обычные кольцевые электронные ускорители и накопители /8/ / I ~ 0,1 ÷ ÷ 1 A/. Импульсная мощность синхротронного излучения КУТИ - порядка 1 кВт /мощность излучения в медианной плоскости - до 10 кВт/ср/.

### 3. СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ

На рис.2 представлена схема, поясняющая геометрию испускания синхротронного излучения и его регистрации. На приемник излучения /8/ с чувствительной площадью  $s'$ , расположенный перпендикулярно касательной к орбите электронов на расстоянии  $l$  от точки касания, попадает часть потока синхротронного излучения  $\Delta W$ , связанная с полной мощностью излучения соотношением

$$\Delta W(R, E) = W(R, E) / G_{\text{си}} \quad /5/$$

где  $G_{\text{си}}$  - геометрический фактор, зависящий, в частности, от углового распределения синхротронного излучения относительно плоскости электронной орбиты:

$$G_{\text{си}} = \frac{2\pi l^2}{s'} \cdot \frac{\int w(\theta) d\theta}{W(0^\circ)} \quad /6/$$

Здесь  $W(\theta)$  - измеренное экспериментально распределение потока синхротронного излучения в функции угла  $\theta$ ;  $W(0^\circ)$  - интенсивность синхротронного излучения в медианной плоскости адгезатора.

Если спектральная чувствительность детектора есть  $\epsilon(\lambda)$ , то мощность, регистрируемая им, и его отклик  $U_{\text{си}}$  связаны соотношением

$$\Delta W = \frac{U_{\text{си}}}{K^T} \cdot \frac{\int w(\lambda) d\lambda}{\int w(\lambda) \epsilon(\lambda) d\lambda} \quad /7/$$

где  $w(\lambda)$  - спектральное распределение мощности синхротронного излучения, а характеризующая приемник константа  $K^T$  - интегральная чувствительность - определяется с помощью калибровочных измерений на тепловом стенде с плоским излучателем /7/:

$$K^T = U_{\text{ти}} \cdot G_{\text{ти}} \cdot \left( \int q(\lambda) \epsilon(\lambda) d\lambda \right)^{-1} \quad /8/$$

$$G_{\text{ти}} = \frac{\pi L^2}{s'}$$

- геометрический фактор для теплового источника

$L$  - расстояние между излучателем и детектором/,  $U_{\text{ти}}$  - отклик прибора,  $q(\lambda)$  - спектральное распределение мощности теплового излучения.

Поскольку число электронов  $N_e$  в кольце и интенсивность  $W$  связаны линейной зависимостью  $N_e = W/w$ , то

$$N_e = \frac{U_{\text{си}}}{U_{\text{си}}} \cdot \frac{G_{\text{си}}}{G_{\text{си}}} \cdot \frac{\int q(\lambda) \epsilon(\lambda) d\lambda}{\int w(\lambda) \epsilon(\lambda) d\lambda} \quad /9/$$

Для определения интегральной чувствительности фотоприемника  $K^T$  /величина сигнала в вольтах на единицу падающей мощности/ использовалось тепловое излучение. Измерения проводились в интервале температур эталонного источника ~ 1000 ÷ 2600 °C, когда спектр теплового излучения в значительной степени совпадал со спектром синхротронного излучения кольца на разных радиусах и, соответственно, с разными энергиями. Близкое соответствие спектров теплового и синхротронного излучений позволяет проводить калибровку детекторов на тепловом эталоне с погрешностью  $\Delta K^T / K^T \sim 5\%$ .

### 4. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Схема компрессора /адгезатора/ электронных колец и систем их диагностики с помощью синхротронного излучения показана на рис.3. Инжектированный в камеру /1/ компрессора КУТИ релятивистский пучок электронов в магнитном поле компрессора сворачивается в кольцо /2/ радиусом 36 см и сжимается до радиуса ~ 4 см. Ира- щаясь в магнитном поле, электроны часть своей энергии теряют на синхротронное излучение /3/, максимум спектрального распределения которого смещается по мере сжатия кольца из радиочастотного диапазона в ближнюю ИК-область, где и становится доступным для регистрации достаточно простыми в эксплуатации ИК-фотоприемниками. В конструкции адгезатора предусмотрен патрубок для вывода синхротронного излучения, ось которого располагается по касательной к электронному кольцу радиусом 5 см. Синхротронное излучение электронного кольца выводится из адгезатора через специальное ИК-окно /4/.

Имеющаяся в нашем распоряжении аппаратура позволяет вести регистрацию излучения в спектральном диапазоне 0,4-10 мкм, поэтому оптический материал окна вывода излучения должен быть прозрачен в этой области спектра. Окно обеспечивает сохранение высокого

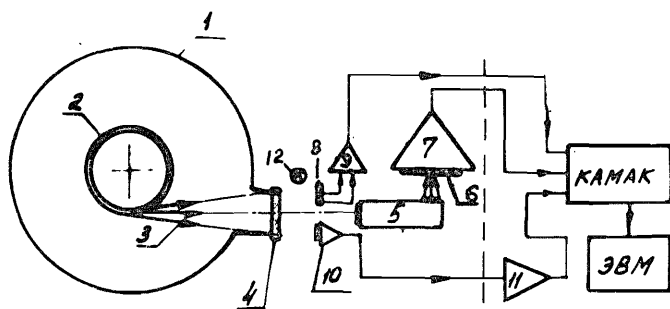


Рис.3. Схема экспериментальной установки: 1 - адгезатор /компрессор/ электронных колец; 2 - электронное кольцо; 3 - синхротронное излучение; 4 - окно; 5 - оптический тракт; 6 и 10 - многоэлементные детекторы; 7, 9 и 11 - усилители; 8 - приемник-монитор с площадью элемента  $v'$ ; 12 - контрольный источник /светодиод/; КАМАК - блоки обрабатывающей электроники.

вакуума в адгезаторе  $/10^{-9}$  мм рт.ст./, исключая натекание и газовыделение. Для вывода синхротронного излучения из адгезатора использовались окна из плавленного кварца  $/0,3 \div 3,5$  мкм/, флюорита  $/0,2 \div 10$  мкм/, а также специально разработанное окно из оптической керамики КО-1<sup>8/</sup>  $/1 \div 8$  мкм/, позволяющее проводить его крепление на вакуумной системе через металлическую прокладку /в случае прогрева камеры адгезатора/.

Для регистрации синхротронного излучения использовались различные типы ИК-детекторов, работающих как при температуре жидкого азота /GeAu, JnSb /, так и при комнатной температуре /PbSe, Si/. В измерительной системе для определения числа заряженных частиц использованы три разных по своему назначению и исполнению фотоприемных устройства, в основе которых лежит чувствительный элемент из селенида свинца, то есть все они имеют одинаковые спектральные характеристики. Детектор /8/ одноэлементный, он обладает высокой помехозащищенностью от импульсных электромагнитных полей ускорителя, установлен в медианной плоскости адгезатора и используется в качестве монитора абсолютного числа частиц<sup>9/</sup>. Детектор /10/, представляющий собой линейку из 30 фотоприемников, установлен перпендикулярно медианной плоскости адгезатора и предназначен для измерения интенсивности синхротронного излучения с учетом характера его углового распределения<sup>10/</sup>. Детектор /6/<sup>11,12/</sup> с помощью фокусирующей оптики<sup>5/13/</sup> измеряет радиус электронного кольца и его малое сечение.

В измерениях, связанных с проверкой линейности соотношения между интенсивностью зарегистрированного синхротронного излучения и числом электронов, использованы два фотодетектора, существенно различающихся своими спектральными характеристиками и ис-

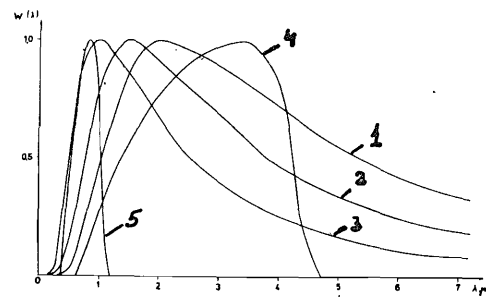


Рис.4. Спектральная чувствительность двух фотоприемников и спектральное распределение мощности синхротронного излучения /в относительных единицах/ для нескольких значений энергии и радиусов электронного кольца: 1 -  $E = 17,7$  МэВ,  $R = 4,42$  см; 2 -  $E = 19,2$  МэВ,  $R = 4,02$  см; 3 -  $E = 21,3$  МэВ,  $R = 3,58$  см; 4 - неохлаждаемое фотосопротивление из селенида свинца; 5 - кремниевый фотодиод.

полнением<sup>9/</sup>. Относительная спектральная чувствительность этих детекторов вместе со спектрами синхротронного излучения при разных энергиях электронов представлена на рис.4. Если детектор /5/ /кремниевый фотодиод/ эффективно регистрирует кванты в довольно узком спектральном диапазоне видимого и близкого к нему инфракрасного излучения  $/0,4 \div 1,2/$  мкм, то детектор /4/ /неохлаждаемое, работающее при комнатной температуре фотосопротивление на основе селенида свинца/ имеет широкую область чувствительности с максимумом в интервале  $3 \div 4$  мкм. Для уменьшения ошибки абсолютных измерений интенсивности электронов из-за неточности знания значений их энергии детектор /4/ использовался вместе с германиевым фильтром, не пропускающим СИ с  $\lambda < 1,8$  мкм.

Чтобы исключить влияние неопределенностей, возникающих при прохождении излучения через фокусирующую оптическую систему, и тем самым повысить абсолютную точность измерения интенсивности синхротронного излучения, приемники<sup>8,10/</sup> установлены в прямом пучке синхротронного излучения на расстоянии около 1 м от сечения электронного кольца. Влияние атмосферы /плотность воздуха, влажность, запыление/ не учитывалось из-за малого расстояния между детекторами и окном адгезатора.

Регистрация излучения может вестись всеми измерительными системами одновременно либо каждой в отдельности. Зарегистрированный детекторами сигнал усиливается и попадает на пульт управления ускорителем в цифровом виде и обрабатывается на ЭВМ. Измерительные каналы позволяют многократно /до 10 раз/ в течение цикла сжатия кольца регистрировать интенсивность синхротронного излучения. Длительность строба измерений - 1 мкс. Интервал времени между соседними измерениями может составлять  $\sim 100$  мкс при полной длительности импульса синхротронного излучения около одной миллисекунды.

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ТОКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОЛЕЦ

Методика измерения тока электронных колец коллективного ускорителя тяжелых ионов по синхротронному излучению в ИК-области отработывалась на прототипе КУТИ и проверялась на синхротроне ЛИЯФ<sup>2/2</sup>. Результаты измерений на прототипе КУТИ относятся к режиму работы трех ступеней питания источников магнитного поля адгезатора:  $U_1 = 18$  кВ,  $U_2 = 18$  кВ,  $U_3 = 20$  кВ или  $U_1 = U_2 = U_3 = 20$  кВ /параметры кольца в интервале радиусов  $3,5 \div 4,5$  см для этих режимов в пределах ошибок не различаются/. Этому режиму соответствует средняя величина магнитного поля в его максимуме  $H = 19274$  Э. Спектры синхротронного излучения электронов, рассчитанные для трех точек на R - траектории  $R = 3,58$  см,  $E = 21,3$  МэВ;  $R = 4,02$  см,  $E = 19,2$  МэВ;  $R = 4,42$  см,  $E = 17,7$  МэВ/ приведены в относительных единицах на рис.4.

Для проверки линейности зависимости между интенсивностью зарегистрированного синхротронного излучения и числом электронов в кольце исследована корреляция сигналов приемников синхротронного излучения и детектора, регистрирующего  $\gamma$ -излучение, образующееся при сбросе электронов на стенки камеры компрессора в конце цикла ускорителя. Интенсивность тормозного  $\gamma$ -излучения, возникающего при этом, пропорциональна числу электронов. Результаты измерения интенсивности синхротронного излучения электронных колец и их тормозного  $\gamma$ -излучения показаны на рис.5, иллюстрирующем линейную корреляцию сигналов приемников синхротронного излучения и детектора  $\gamma$ -квантов.

Для контроля повторяемости измерений были использованы два фотоприемника, работающие в разных спектральных диапазонах

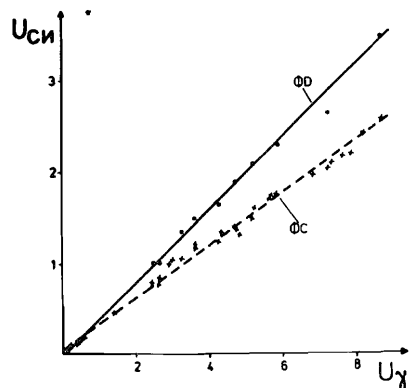


Рис.5. Корреляция сигналов с детекторов синхротронного  $U_{си}$  и тормозного  $U_{\gamma}$  излучений: ФД - фотодиод Si, ФС - фотосопротивление PbSe.

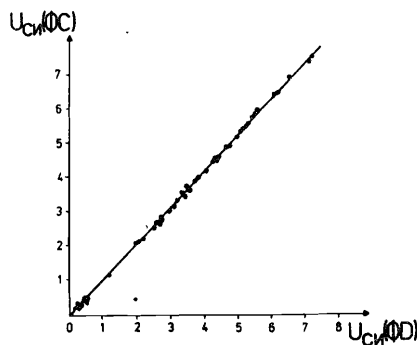


Рис.6. Корреляция сигналов с двух детекторов, регистрирующих синхротронное излучение в различных спектральных областях.

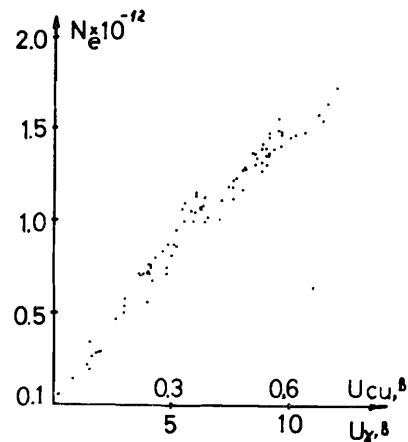


Рис.7. Результаты измерения числа электронов в электронных кольцах ПКУТИ.

/см. рис.4/ и регистрирующие синхротронное излучение одновременно. Корреляция сигналов между ними /рис.6/ характеризует воспроизводимость результатов /отклонение точек от прямой линии не превышает 5%/.

На рис.7 представлены результаты измерения  $N_e$  электронного кольца на конечном радиусе его сжатия в адгезаторе прототипа КУТИ в одном из сеансов работы ускорителя. Среднее число электронов в кольце, измеренное в этом сеансе, составляло  $\sim 1,5 \cdot 10^{12}$ . Измерения проводились детектором с германиевым фильтром. Излучение из адгезатора выводилось через кварцевое окно.

## 6. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основной вклад в ошибку измерения абсолютного числа электронов в кольцевом электронном сгустке связан с несовершенством процесса калибровки приемников на стенде с эталонным тепловым источником; неточностью вычисления интенсивности синхротронного излучения электрона из-за погрешностей определения энергии электронов в адгезаторе, радиуса равновесной орбиты  $R$  и расстояния от источника излучений до приемника; аппаратными погрешностями при измерении сигнала  $U_{си}$  и  $U_{ти}$  на выходе детектора, ошибками в определении коэффициента пропускания окна на ускорителе, колбы светоизмерительной лампы на тепловом стенде и фильтров на детекторе. Из всех перечисленных факторов, влияющих на точность измерения числа частиц в кольцевом сгустке, основную погрешность вносят неточность воспроизведения спектральной плотности /мощности излучения/ эталонного теплового источника и погрешность расчета мощности синхротронного излучения одного электрона.

Расчет спектральной плотности мощности синхротронного излучения для электронов с энергией  $E \sim 17 \div 21$  МэВ и радиусом орбиты  $R \sim 3,5 \div 4,5$  см в области спектральной чувствительности детектора  $\Delta \lambda \approx 1,8 \div 3,8$  мкм выполняется с точностью  $\sim 2\%$ . При этом для прототипа КУТИ пространственная конфигурация магнитного поля измерена с высокой точностью  $\sim 0,1\%$ , а радиус электронного кольца определяется измерительной системой<sup>11/</sup> с точностью  $\sim 1\%$ . Погрешность определения интегральной чувствительности детектора с помощью температурного эталона дает ошибку  $\sim 5\%$ . Погрешность, связанная

званная с геометрическим фактором, составляет ~1%. Поглощение окна и колбы эталонного температурного источника можно не учитывать, так как они выполнены из одного материала. Нестабильность электроники в условиях работающего ускорителя составляет ~0,2%. Вклад прочих причин не превышает 1%. Суммарная погрешность составляет, таким образом, менее 10%.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Разработана методика измерения числа электронов в кольцевом сгустке КУТИ по синхротронному излучению и его длинноволновой части  $\lambda > \lambda_c$ , которая находится в ИК-области оптического спектра. Преимуществом данного метода является возможность регистрации излучения при больших радиусах кольца и минимизация ошибок измерения благодаря незначительной зависимости интенсивности синхротронного излучения от энергии электронов.

2. Использование инфракрасной техники позволило наблюдать и регистрировать параметры электронного кольца на таких радиусах и при таких энергиях, при которых диагностика с применением обычных детекторов излучения видимого диапазона является невозможной.

3. Проведена оценка погрешностей, связанных со сравнением спектров синхротронного и теплового излучений. Информация, получаемая с измерительной системы, позволяет с точностью 10% судить об интенсивности электронных колец на конечных орбитах адгезатора.

4. Проведены измерения абсолютного числа частиц в адгезаторе прототипа КУТИ.

5. Одним из преимуществ представленных измерителей тока электронных колец является то, что они могут работать в непосредственной близости от адгезатора в условиях импульсных магнитных полей большой интенсивности и, кроме того, обладают высокой стабильностью своих параметров во времени. Систематические проверки чувствительности на тепловом стенде не обнаруживают отклонений и изменений регистрирующей способности детекторов, которые эксплуатируются на ускорителе больше пяти лет.

Автор выражает искреннюю благодарность И.А.Голутвину, В.П.Саранцеву, В.А.Свиридову за интерес к работе и обсуждение полученных результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Голутвин И.А. и др. ОИЯИ, Р9-81-245, Дубна, 1981.
2. Волков Ю.М. и др. ОИЯИ, Р9-81-157, Дубна, 1981.

3. Годвин Р. УФН, 1970, т.101, вып.3, с.499.
4. Schwinger J. Phys.Rev., 1949, 75, p.1912.
5. Померанчук И.Я. Изв.АН СССР, сер.физ., X, 1946, № 3, с.316.
6. Синхротронное излучение. Свойства и применение /сб.статей/. "Мир", М., 1981.
7. Мальцев А.А. ОИЯИ, 9-86-12, Дубна, 1986.
8. Мальцев А.А. ОИЯИ, 13-81-603, Дубна, 1981.
9. Лачинов В.М. и др. ОИЯИ, Р9-81-201, Дубна, 1981.
10. Кондрашев В.Д. и др. ОИЯИ, 9-85-278, Дубна, 1985.
11. Беспалова Т.В. и др. ОИЯИ, 9-11095, Дубна, 1977.
12. Голутвин И.А. и др. ОИЯИ, 9-83-696, Дубна, 1983.
13. Белинская Г.И. и др. ОИЯИ, Р9-9281, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 мая 1986 года.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

- |               |  |             |
|---------------|--|-------------|
| D2-82-568     | Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.   | 1 р. 75 к.  |
| D9-82-664     | Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.  | 3 р. 30 к.  |
| D3,4-82-704   | Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.  | 5 р. 00 к.  |
| D11-83-511    | Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.                                   | 2 р. 50 к.  |
| D7-83-644     | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.  | 6 р. 55 к.  |
| D2,13-83-689  | Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.   | 2 р. 00 к.  |
| D13-84-63     | Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.   | 4 р. 50 к.  |
| D2-84-366     | Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.   | 4 р. 30 к.  |
| D1,2-84-599   | Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.  | 5 р. 50 к.  |
| D17-84-850    | Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/  | 7 р. 75 к.  |
| D10,11-84-818 | Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983 | 3 р. 50 к.  |
|               | Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/  | 13 р. 50 к. |
| D4-85-851     | Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.   | 3 р. 75 к.  |
| D11-85-791    | Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.                                      | 4 р.        |
| D13-85-793    | Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.  | 4 р. 80 к.  |

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

Мальцев А.А.

9-86-289

Методика измерения тока электронных колец КУТИ по синхротронному излучению в ИК-области

Описана методика измерения тока электронных колец в адгезаторе коллективного ускорителя по интенсивности синхротронного излучения в длинноволновой части спектрального распределения  $/\lambda > \lambda_{\max} \sim 1 \text{ мкм}/$ . Приведены результаты измерения токовых параметров электронных колец в прототипе коллективного ускорителя тяжелых ионов.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Maltsev A.A.

9-86-289

Technique of Measuring Electron Ring Current of KUTI Accelerator by Synchrotron Radiation in IK-Region

Technique of measuring the electron ring current in the compressor of collective accelerator by the intensity of synchrotron radiation in a long-wave region of spectral distribution ( $\lambda > \lambda_{\max} \sim 1 \text{ мкм}$ ) is described. The results of measurement of electron ring current parameters in the heavy ion collective accelerator prototype are presented.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986