

Диагностика пучков синхротронного излучения посредством ионизационных датчиков

В.Г.Михайлов, В.А.Резвов, В.И.Скляренко, Л.И.Юдин,
А.Н.Артемьев, С.С.Передков, Е.Я.Рахимбабаев
РНИЦ "Курчатовский Институт", Москва, Россия
М. Лемоньер, С. Мегтерт, М. Роули
Университетский центр, Париж-Орсэ, Лаборатория LURE

Введение

В Курчатовском институте предложены способ и устройство [1, 2] ионизационного датчика для оперативного наблюдения реального пространственного распределения тока пучка по его сечению. Ионизационный датчик изображения сечения пучка (ДИСП) отличается от известных профилометров [3] использованием электростатического анализатора, размещённого после коллимирующей щели экстрактора (рис.1).

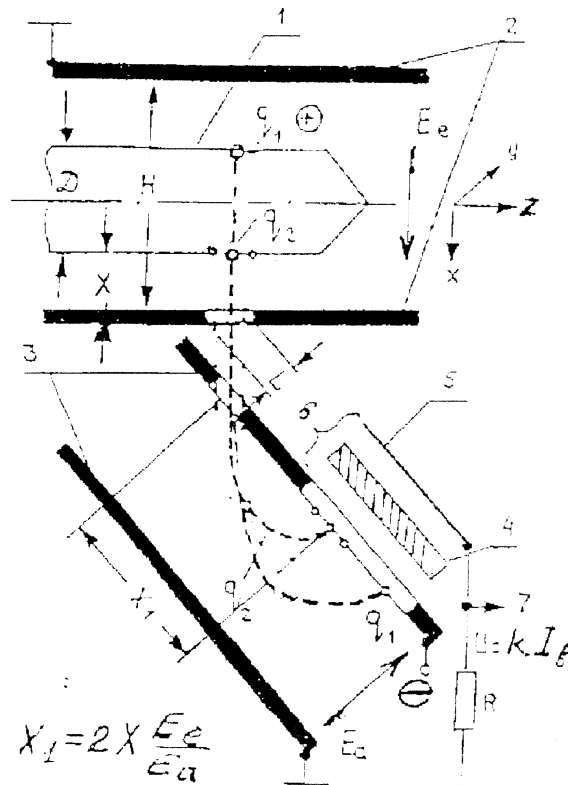


Рис. 1: Схема ионизационного датчика изображения сечения пучка: 1 - исследуемый пучок; 2 - экстрактор; 3 - анализатор; 4 - МКП; 5 - люминофор; 6 - открытый ЭОП; 7 - выходной сигнал с ЭОП для мониторинга интенсивности пучка СИ. E_e и E_a - электрическое поле экстрактора и анализатора соответственно.

Здесь частицы ионизованного остаточного газа (ионы или электроны) анализируются по их энергии. Энергия частиц определяется электростатическим потенциалом в точке их возникновения на различных уровнях апертуры экстрактора. Анализатор размещён под углом 45° к направлению извлечения ионов и к плоскости анализатора. Это обеспечивает линейную связь размеров полученного двумерного изобра-

жения с размерами сечения исследуемого пучка. Легко показать, что размер X в сечении пучка (рис.1) линейно связан с размером его изображения X_1 выражением $X_1 = 2 \cdot X \cdot E_e / E_a$, где E_e и E_a — напряжённости электростатического поля экстрактора и анализатора [4, 5]. Открытый электронно-оптический преобразователь (ЭОП) на базе МКП формирует на люминисцентном экране (ЭОП) оптическое изображение реального сечения пучка. Промышленная ТВ камера используется для записи оптического изображения сечения с целью последующего представления и компьютерной обработки.

Такой датчик позволяет оперативно и без разрушения пучка контролировать реальную форму и размеры сечения ускоренного пучка, распределение плотности тока пучка по его сечению, положение центра тяжести сечения пучка и его смещение от оси ионопровода. Следует отметить, что выходной ток ЭОП в пределах его линейности при стабильном вакууме отображает величину тока ускоренного пучка как в непрерывном, так и в импульсном режимах.

Контроль синхротронного излучения

Очевидно, что ионизационные датчики могут успешно использоваться для регистрации пучков любого ионизирующего излучения, например, пучков синхротронного излучения (СИ), пучков ускоренных заряженных или нейтральных частиц. Расчеты, выполненные для Курчатовского источника синхротронного излучения (КИСИ), показывают, что ДИСП могут быть использованы для наблюдения СИ. Чувствительность датчика для СИ оценивалась для двух случаев: канал ультрафиолетового излучения и рентгеновский канал с тонкими бериллиевыми фольгами.

В расчетах использовалось численное интегрирование спектра СИ. Предполагалось, что число ионов, возникающих в остаточном газе, равно числу фотонов, поглощаемых в фотореакциях. Для оценки количества поглощенных фотонов в секунду N использовались известные выражения [6, 7]:

$$N_{ab} = 2.46 \cdot 10^{13} E I \Delta \Psi_{\nu} \Delta \Phi_h \int_{w_b}^{w_e} \frac{dw}{w} \eta\left(\frac{w_c}{w}\right) e^{-\mu_{Be}(w)t_{Be}} (1 - e^{-\mu_g(w)t_g}),$$

где $E, \Gamma \text{ЭВ}$ — энергия электронов; $I, \text{мА}$ — ток пучка; $\Delta \Psi_{\nu}, \Delta \Phi_h$ — вертикальный и горизонтальный угловой размер пучка СИ на мишени; w_b, w_e — пределы интегрирования энергии фотонов; $\eta\left(\frac{w_c}{w}\right)$ — спектральная функция СИ; w_c — критическая энергия спектра; μ_{Be}, t_{Be} — коэффициент поглощения и толщина бериллиевой фольги; μ_g, t_g — коэффициент поглощения и толщина газовой мишени.

Оценки чувствительности датчика для регистрации ВУФ излучения показали, что при давлении остаточного газа в канале $\sim 10^{-8}$ Торр и токе накопителя 100 мА с энергией 450 МэВ обеспечивается регистрация ~ 500 ионов в сек. на мм^2 сечения пучка. Ширина щели экстрактора принималась равной 0,1 мм, площадь пучка СИ $1 \times 1 \text{мм}^2$ при расстоянии датчика от источника излучения 5 м. Такой поток ионов достаточен для получения изображения сечения пучка на экране ЭОП [4, 5]. Ионизационные потери рентгеновского излучения в газах гораздо меньше, чем для ВУФ излучения. Поэтому оценки проводились для той же конструкции датчика, но отделенного от канала и атмосферы бериллиевыми фольгами толщиной 200 мкм при прочих равных условиях. По этим оценкам количество ионов на входе ЭОП должно быть 1200; 200; 40; 25 штук на 1мм^2 в секунду для ксенона, аргона, кислорода и азота соответственно. Оценки сделаны для давления газа 10^{-6} Торр и тока электронного пучка 1 мА в большом накопительном кольце (энергия электронов — 2,5 ГэВ,

критическая энергия спектра СИ около 7 КэВ). Однако уже сейчас накопленный ток пучке “Сибири 2” не менее десятков мА. Поэтому можно ожидать регистрации пучка СИ при заполнении объема датчика аргоном. Очевидно, пара подобных датчиков (в начале и в конце канала) даст возможность оперативно контролировать положение пучка и его угол наклона.

В настоящее время на КИСИ ведутся работы по подготовке экспериментов с ДИСП.

Первые эксперименты

Первые тестовые эксперименты по регистрации СИ были выполнены на пучке DCI (LURE, Orsay). Критическая энергия спектра синхротронного излучения 3,62 КэВ. Использовалась имевшаяся модель ДИСП с бериллиевыми окнами размером 50×10 мм с толщиной фольги 200 мкм. Бокс имел индивидуальную откачку. Эксперименты проводились в следующих условиях: ток пучка DCI — 200 мА; расстояние от источника СИ — 15,5 м; полная толщина фольг, отделяющих источник СИ от датчика, — 620 мкм. За 1,5 м перед ДИСП размещены вертикальный и горизонтальный танталовые коллиматоры. Фотоэмиссионные сканеры перед датчиком обеспечивают наблюдение вертикального и горизонтального профилей пучка. Как и ожидалось, чувствительность датчика в остаточном воздухе оказалась мала. Поэтому все последующие эксперименты проводились в атмосфере аргона при давлении $2 \cdot 10^{-5}$ Торр.

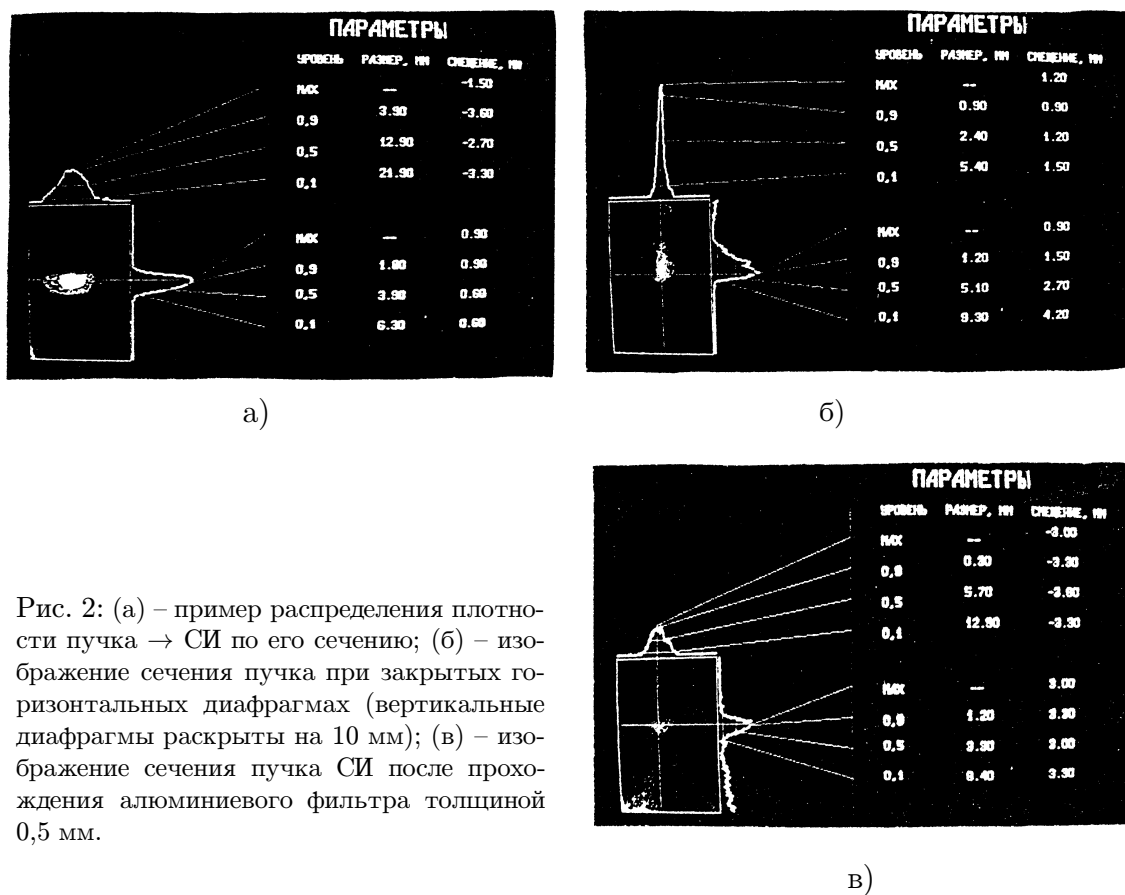


Рис. 2: (а) – пример распределения плотности пучка → СИ по его сечению; (б) – изображение сечения пучка при закрытых горизонтальных диафрагмах (вертикальные диафрагмы раскрыты на 10 мм); (в) – изображение сечения пучка СИ после прохождения алюминиевого фильтра толщиной 0,5 мм.

Рис. 2а демонстрирует плотность распределения пучка СИ вдоль его поперечного сечения, представленную компьютером. Пучок был коллимирован щелью в 5 мм в вертикальном и 10 мм в горизонтальном направлениях. Необходимо отметить, что результаты находятся в хорошем соответствии с профилем пучка, полученным фотоэмиссионным детектором. Высокая чувствительность детектора иллюстрируется на рис. 2б. Горизонтальный коллиматор был полностью закрыт. Видно, что в этом случае излучение частично проходит через закрытую щель. Выходной фотоэмиссионный сканер не регистрирует этот факт.

Рис. 2в демонстрирует прохождение части пучка СИ сквозь алюминиевый фильтр толщиной 0,5 мм. Фотография получена при максимальном рабочем напряжении на ЭОП. По измерениям рабочая плотность прямого пучка СИ составляет 3 Вт/см^2 . По оценкам плотность пучка СИ после указанного фильтра не превышает 90 мВт/см^2 . Эти величины характеризуют как динамический диапазон датчика, так и уровень его пороговой чувствительности.

Заключение

1. Выполнена основная задача поставленной работы. Экспериментально подтверждена возможность непрерывной и наглядной регистрации реального распределения интенсивности пучка СИ по его сечению посредством ионизационного ДИСП без какого-либо нарушения пучка.

2. Оперативная компьютерная обработка визуального изображения сечения пучка обеспечивает количественные оценки ряда параметров пучка. Архивизация полученных результатов позволяет проводить сравнительный количественный анализ параметров пучка за различные отрезки времени.

3. Подтверждена эффективность применения тяжелых газов для повышения чувствительности датчика.

4. Прямые эксперименты с закрытыми диафрагмами и особенно с алюминиевыми фильтрами показывают, что рассмотренный диагностический комплекс обладает довольно высокой чувствительностью.

5. Простые оценки показывают, что при необходимости порог чувствительности рассмотренной диагностической системы может быть улучшен на порядок и более.

6. Проведенные эксперименты подтверждают целесообразность проведения работы по созданию типовых структур ионизационных неразрушающих датчиков параметров пучков СИ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 94-02-4133, грант 95-02-07558г, и частично — при поддержке Миннауки РФ на установке КИСИ, регистрационный №01-71.

Литература

- [1] В.А. Резвов, Л.И. Юдин. Патент России №1392645, 1991 по А.с. 1392645 СССР, БИ. №16, с. 32.
- [2] В.Г. Михайлов, В.А. Резвов, В.И. Скляренко, Л.И. Юдин. Патент России №1462521, 1991 по А.с. 1962528 СССР, Б.И. 1989 №8, с.294.
- [3] De Luca W.N. EEE. Trans., Nucl. Sci. 1969, V. NS-16, p. 83.
- [4] V.G. Mikhailov, L.I. Ioudin, V.V. Leonov, V.A. Rezvov at al. Proc. of the 4th EPAC, V. 2, pp.1793-45, London 1994.
- [5] В.Г. Михайлов, В.А. Резвов, В.В. Леонов и др. Приборы и техника эксперимента. 1965, №6, с. 39-53.
- [6] X-ray data booklet Laurence Berceley Laboratory. 1986, V. 4, p.8.
- [7] Veigele B.W.J. Atomic dadata tables. 1973, V.5, №51, p.111.