

**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна**

13-84-601

**К.Хаванчак, В.А.Скуратов, А.Иллеш\*,  
Син Хон Чер, В.Малиновский,  
Е.Д.Воробьев, В.А.Щеголев**

**ДИАГНОСТИКА ПУЧКОВ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ  
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ  
ПО РАДИАЦИОННОМУ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ**

---

\* Центральный институт физических исследований,  
Будапешт

**1984**



Изучение механических свойств материалов в имитационных экспериментах на ускорителях заряженных частиц предъявляет ряд специальных требований к условиям облучения. Необходимо, чтобы элементы диагностики пучка обеспечивали наряду с непрерывным измерением потока частиц, попадающих на испытуемый образец, контроль за однородным по площади образца облучением. Условия непрерывности одновременного контроля интенсивности и формы пучка делают необходимым использование мониторов, не искажающих пространственное распределение потока частиц и существенно не меняющих исходную энергию бомбардирующих частиц.

В существующих экспериментальных методиках обычно в качестве мониторов профиля пучка применяются проволочные сетки<sup>1,2/</sup>. Использование подобных мониторов для материаловедческих задач на пучках тяжелых ионов с энергиями  $\sim 10$  МэВ/нукл неприемлемо, т.к. на проволоках происходит рассеяние и поглощение ионов, что приводит к неравномерному облучению мишеней. С другой стороны, такие мониторы при высоких интенсивностях пучка ненадежны в эксплуатации из-за нагрева и разрушения проволок.

В некоторых предыдущих работах<sup>3,4/</sup>, в которых изучались механические свойства материалов на пучках высокоэнергетических тяжелых ионов, в качестве датчика потока частиц использовались мониторы вторичной электронной эмиссии /МВЭ/. Однако они не были пригодны для измерения распределения пучка по площади образца. Равномерность облучения в этих работах определялась отдельно визуальным методом по отпечатку выведенного пучка на органической пленке или по свечению кварцевого экрана. Подобные методы определения профиля пучка являются очень грубыми и исключают возможность непрерывного контроля.

В настоящей работе описано устройство диагностики пучков тяжелых ионов, позволяющее определять поток частиц и форму пучка в пределах рабочей части образцов во время их испытаний под облучением. Устройство разработано для применения в материаловедческих экспериментах на циклотронах ЛЯР ОИЯИ.

Данное устройство представлено схематически на рис.1. Пучок ионов через коллиматор 1 /длина 200 мм, диаметр 30 мм/ попадает на танталовую диафрагму 2 /25x8 мм/, повернутую по отношению к направлению пучка ионов на  $45^\circ$ . По свечению краев диафрагмы, наблюдение за которой проводится с помощью телекамеры 3, определяются /грубо/ форма и положение пучка относительно центра диафрагмы. За танталовой диафрагмой расположена диафрагма 4 /20x5 мм/, к которой крепится секционированный монитор вторичной электронной эмиссии 5. Далее через диафрагму 6 /25x6 мм/





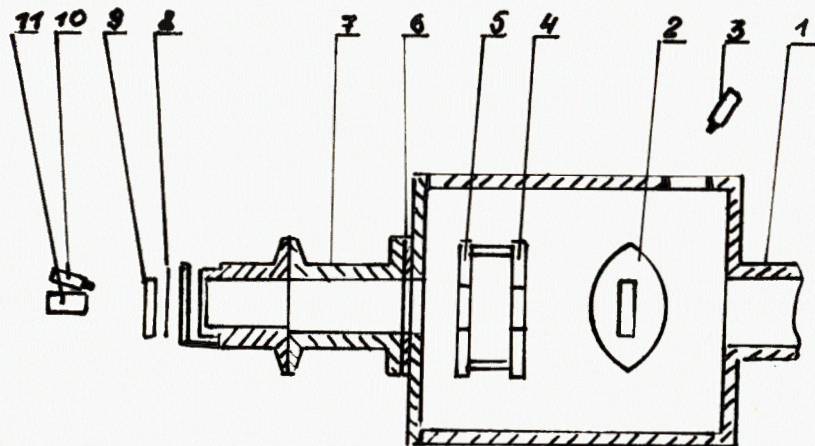


Рис.1. Устройство для диагностики пучка /пояснения в тексте/.

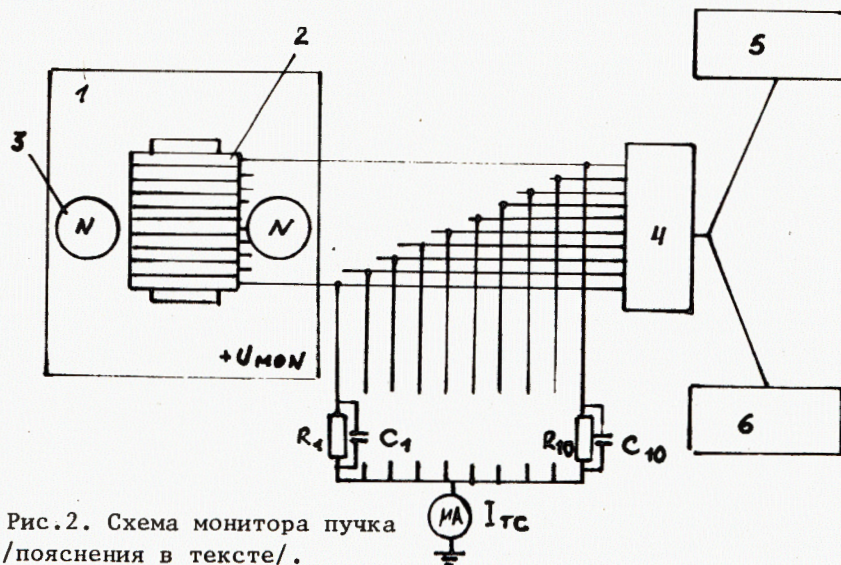


Рис.2. Схема монитора пучка /пояснения в тексте/.

и цилиндр Фарадея с открывающимся дном 7 пучок через алюминиевую фольгу толщиной 16 мкм выводится на воздух. Образец 8 для механических испытаний находится на расстоянии 4 см от выводной фольги. За образцом находится кварцевый экран 9 и телекамера 10, применяющаяся для индикации попадания пучка на всю площадь рабочей части образца. Юстировка диафрагм проводилась с помощью лазера 11, который после настройки используется для контроля правильности установки образцов относительно центра диафрагм при их замене.

Указанные выше размеры диафрагм определяются размерами и формой образцов для механических испытаний. В настоящее время в экспериментах по изучению пластических свойств материалов на пучках высокоэнергетичных тяжелых ионов /5/ применяются образцы с размерами рабочей части 15x3 мм. Поэтому устройство для диагностики пучка разработано с учетом того, чтобы оно могло обеспечивать контроль однородности облучения по всей длине рабочей части образца. Непрерывный контроль за распределением пучка по ширине образца не проводится, т.к. контрольные эксперименты показали, что это распределение в пределах 3 мм остается однородным во всех опытах.

Основным элементом устройства является секционированный монитор вторичной электронной эмиссии /рис.2/, выполненный в виде печатной платы 1 с прямоугольным отверстием 25x8 мм, на которой расположены 10 алюминиевых фольг шириной 2,5 мм и толщиной 6 мкм. Одинаковые размеры фольг обеспечивались их изготовлением с помощью специального штампа. Эти фольги - секции монитора - расположены таким образом, что, будучи изолированными друг от друга, они составляют как бы сплошную фольгу, перекрывая отверстие в плате. Это сделано для того, чтобы исключить возможность неравномерного облучения мишеней за счет рассеяния ионов на фольгах.

Схема измерения потока частиц и их распределения в пучке с помощью МВЭ приведена на рис.2. Положительный заряд, образующийся в результате электронной эмиссии в материале фольг во время прохождения ионов через фольги, стекает с них на землю через интегрирующие цепочки  $R_i = 1 \text{ МОм}$ ,  $C_i = 1,00 \text{ мкФ}$  и микроамперметр, измеряющий полный ток эмиссии  $I_{тс}$ .

Облучаемая площадь фольг МВЭ определяется размерами диафрагмы 4 и составляет  $1 \text{ см}^2$ , т.е. облучаются 8 секций. Сигналы с верхней и нижней секций являются индикаторами отклонения пучка от оси ионопровода.

Так как величина тока эмиссии пропорциональна числу ионов, прошедших через фольги монитора, величины напряжения  $U_i$  на сопротивлениях  $R_i$  характеризуют распределение частиц по вертикали. Эти сигналы  $U_i$  после предварительного усиления поступают через коммутатор 3 на осциллограф 5 и параллельно на интерфейс 6 программируемого микропроцессора Z-80. Картина, появляющаяся на экране осциллографа, позволяет оператору на циклотроне устанавливать заданное распределение пучка и проводить немедленную коррекцию в случае каких-либо отклонений. Применение микропроцессора с дисплеем делает возможным более детальную обработку данных и графическое представление информации. На дисплей помимо распределения в виде гистограммы выводятся значения  $U_i$  в цифровой форме, а также значение полного тока эмиссии  $I_{тс}$  и числа частиц, соответствующего току пучка на цилиндре Фарадея  $I_{тс}$ .

Калибровка МВЭ проводится по току на цилиндре Фарадея с закрытым дном, измеряемому независимо на другом входе интерфейса



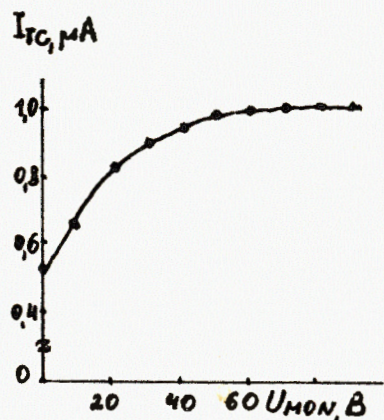


Рис.3. Зависимость полного тока вторичной эмиссии  $I_{ТС}$  от значения вытягивающего напряжения  $U_{МОН}$ .

микропроцессора. Во время калибровок одновременно вычисляется и представляется на дисплее коэффициент вторичной эмиссии  $K_{SE}$ , определяемый отношением  $I_{ТС}/I_{FC}$ , и дисперсия в значениях  $I_{FC}$  во время измерения.

В конечном итоге, при испытаниях образцов, когда пучок выводится на воздух, т.е. дно цилиндра Фарадея открыто, истинный поток частиц, попадающих на образец, определяется по полному току эмиссии  $I_{ТС}$  через уже известный коэффициент  $K_{SE}$ , а распределение частиц в пучке - по значениям  $U_i$ .

Для выполнения важного условия пропорциональности тока эмиссии числу ионов необходимо не допустить эмиссионных электронов на фольги МВЭ. Как известно, энергетический спектр эмиссионных электронов формируется за счет электронов с энергиями в интервале от нескольких эВ до десятков кэВ/6/. Для того, чтобы низкоэнергетичные электроны не возвращались обратно на фольги, на корпус платы монитора подается положительный вытягивающий потенциал  $U_{МОН}$  относительно потенциала фольг. Кроме того, на плате расположены симметрично относительно центра отверстия два постоянных магнита 3, создающих магнитное поле, отклоняющее траектории всех эмиссионных электронов так, чтобы они не попадали вместе с ионным пучком в цилиндр Фарадея.

На рис.3 приведена характерная для тяжелых ионов в широком интервале масс и энергий зависимость полного тока эмиссии  $I_{ТС}$  от величины напряжения  $U_{МОН}$  в случае облучения ионами  $^{20}\text{Ne}$  с энергией 200 МэВ. Ток пучка  $I_{FC} = 0,3$  мкА, что соответствует потоку частиц  $8,4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ с}$ . Установлено, что при данной конструкции монитора величина полного тока эмиссии  $I_{ТС}$ , начиная со значения  $U_{МОН} = 80$  В, достигает насыщения. Это свидетельствует о том, что все эмиссионные электроны покидают поверхность фольг. Максимальное значение коэффициента вторичной эмиссии  $K_{SE}$ , соответствующее насыщению, в данном случае равно 3,7. Поэтому рабочее значение  $U_{МОН}$  выбирается больше 80 В /~150 В/.

Применение в данном устройстве тонких фольг несущественно меняет исходную энергию ионов. Например, для  $^{20}\text{Ne}$  с энергией 13 МэВ/нуклон средняя энергия ионов после прохождения через фольги уменьшается на несколько МэВ, что составляет примерно 2% от начальной энергии. Полуширина энергетического распределения частиц при таких потерях энергии изменяется на 1,3 МэВ. При этом среднеквадратичный угол многократного рассеяния  $\sqrt{\langle \theta^2 \rangle} = 0,12^\circ$ .

4

Выражения, с помощью которых сделаны данные оценки, взяты из/7/.

Следует отметить, что при потоках ионов  $\sim 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  мощность, выделяемая в результате ионизационных потерь ионов в одной фольге монитора, равна примерно  $10^{-1}$  Вт. Конструкция МВЭ предусматривает рассеяние подобного тепловыделения, что позволяет непрерывно использовать монитор в ходе измерений.

Число частиц, проходящих в единицу времени через испытываемый образец, равно:

$$N = 6,25 \cdot 10^{12} \cdot \alpha \cdot I_{FC} \text{ (мкА)} \cdot \frac{1}{z},$$

где  $\alpha$  - постоянная величина /отношение площади образца к площади облучаемой части монитора/, в нашем случае  $\alpha = 0,45$ ,  $z$  - средний равновесный заряд ионов. При энергиях  $\sim 10$  МэВ/нуклон средний равновесный заряд при прохождении через фольги монитора можно считать равным ядерному.

Как уже указывалось, во время испытаний образцов ток  $I_{FC}$  определяется как  $I_{FC} = I_{ТС}/K_{SE}$ . Максимальная аппаратная /систематическая/ относительная погрешность измерения тока эмиссии  $I_{ТС}$  не превышает 1-2%. Что касается погрешности определения коэффициента вторичной эмиссии, то она прежде всего определяется стабильностью пучка ускорителя, а также постоянством этого коэффициента в широком интервале интенсивностей пучка. Опыт показывает, что относительная погрешность при определении  $K_{SE}$  не больше 10%. Таким образом, суммарная относительная погрешность при измерении полного потока частиц, проходящих через образец, равна  $\sim 15\%$ . Точность определения однородности пучка по площади образца выше точности измерения полного потока частиц и составляет около 5%.

Описанное устройство опробовано в материаловедческих экспериментах с пучками тяжелых ионов  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{20,22}\text{Ne}$ ,  $^{40}\text{Ar}$  с энергиями 6-13 МэВ/нуклон.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность академику Г.Н.Флерову, профессору Ю.Ц.Оганесяну за постоянное внимание к работе и оказанную поддержку, Д.Сенешу и Б.Фогороши за проявленный интерес к работе, а также персоналу циклотронов У-300 и У-400 за помощь при проведении экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Hudson J.A., Nelson R.S., McElroy R.J. J.Nucl.Mat., 1977, vol.65, p.279.
2. Rickerdy R.G., Fenici P.J. Nucl.Mat., 1981, vol.104, p.1577.
3. Воробьев Е.Д. и др. ОИЯИ, 18-82-558, Дубна, 1982.
4. Афанасьев В.Д. и др. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, 1983, вып.1/24/, с.71-74.



5. Флеров Г.Н. и др. ОИЯИ, 18-83-537, Дубна, 1983.
6. Haselton H.H. et al. Phys.Rev., 1975, A11, p.468.
7. Гангрский Ю.П., Марков Б.Н., Перелыгин В.П. Регистрация и спектрометрия осколков деления. Энергоиздат, М., 1981, с.224.

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
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.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 августа 1984 года.

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



**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

Хаванчак К. и др.

13-84-601

Диагностика пучков тяжелых ионов  
в экспериментах по радиационному материаловедению

Описывается устройство для диагностики пучков тяжелых ионов с энергией 6-13 МэВ/нукл., основанное на применении секционированного монитора вторичной электронной эмиссии. Устройство позволяет одновременно контролировать интенсивность и форму пучка. Конструкция устройства удовлетворяет требованиям материаловедческих экспериментов в имитационных исследованиях на циклотронах ЛЯР ОИЯИ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод Л.В.Пашкевич

Chavanchak K. et al.

13-84-601

The Diagnostics of Heavy Ion Beams  
in Radiation Material Research Experiments

Apparatus for the diagnostics of high energy heavy ion beams, based on a lamellar secondary electron monitor is described. This equipment is used in materials research experiments for controlling the intensity and the profile of the cyclotron beam at the JINR Laboratory of Nuclear Reactions.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984