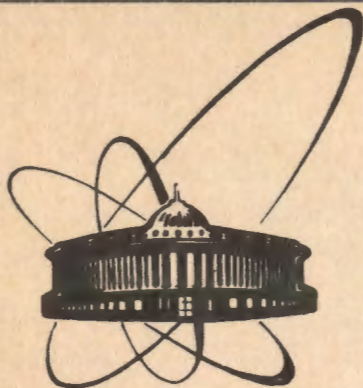


91-558



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

P9-91-558

Г.Г.Гульбекян, В.Н.Мельников, О.Ю.Цыбин *

ДИАГНОСТИКА ПУЧКА МНОГОЗАРЯДНЫХ
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ С ПОМОЩЬЮ
РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МИШЕНИ ИЗ МАЛЫХ ЧАСТИЦ

*Государственный технический университет,
Санкт-Петербург

1991

Взаимодействие потоков заряженных частиц с разнообразными мишенями широко применяется для диагностики электронных /ЭП/ и ионных /ИП/ пучков /1-7/. Структуру пучков выявляют по ионизационному следу в газах /1,2/, а также с помощью макрообъектов - фольг, тонких проволочных зондов, (например, /3-4/). Распределенные мишени из малых твердотельных частиц /МЧ/ размером 0.1...10 мкм занимают промежуточное положение между атомарными и макрообъектами и отличаются рядом достоинств при исследованиях ЭП/5-7/.

В данной работе мишени из МЧ применены для диагностики ускоренных пучков многозарядных тяжелых ионов. Целью работы являлась оценка возможностей рассматриваемого способа для развития комплекса слабозмущающих диагностик, применяемых на ускорителях ионов.

Измерения проведены на пучках ионов инертных газов $^{20}\text{Ne}^{+9}$, $^{40}\text{Ar}^{+16}$ с энергией 137.4 и 270 МэВ соответственно, получаемых на изохронном циклотроне У-400. Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Поток ионов с током, регулируемым в пределах $5 \cdot 10^{-10} \dots 1.5 \cdot 10^{-6}$ А, направлялся по ионопроводу и фокусировался на коллектор ионов. Перед коллектором ионов в разрыве ионопровода были установлены инжектор МЧ для создания распределенной мишени, коллекторы отработанных МЧ и вторичных электронов, выполненные в виде цилиндров Фарадея, вакуумное оптическое окно с телекамерой ТФК 1010, секторный магнитный масс-спектрометр. Телевизионный сигнал передавался на видеоконтрольное устройство /ВКУ/. Токи коллекторов измерялись приборами Ф-30. На коллектор электронов подавалось положительное напряжение 0...3 кВ, на коллектор МЧ - напряжение -30 В от источников типов БСВ-5 и БЗ-50. Источники напряжений, измерители то-

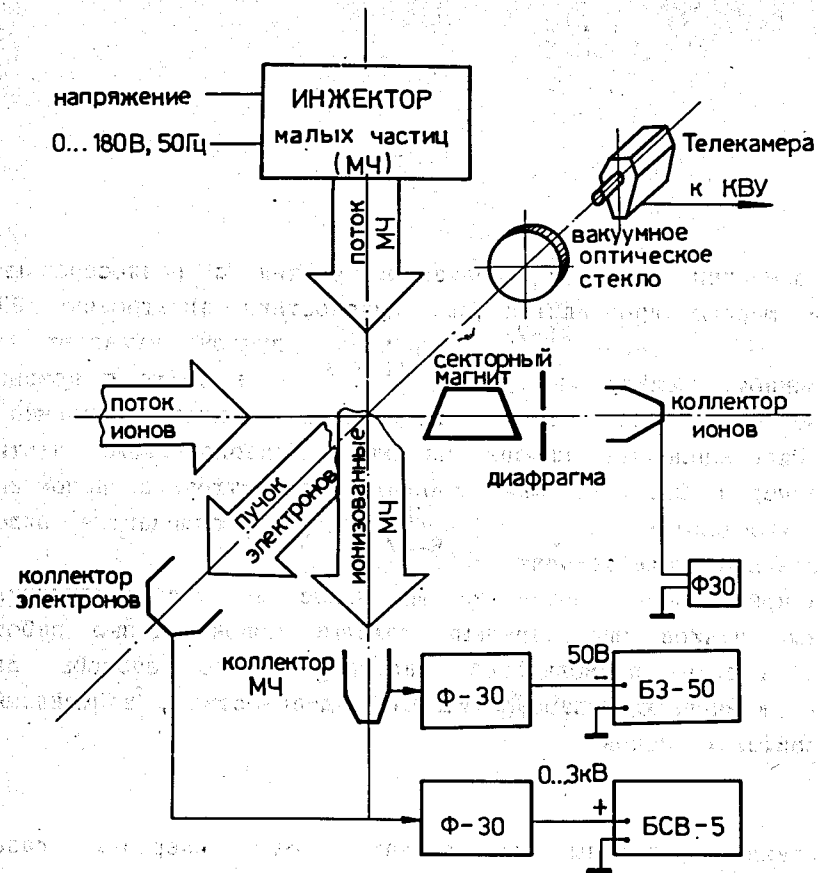


Рис. 1. Блок - схема экспериментальной установки.

ков, ВКУ устанавливались вне контролируемой зоны ускорителя У-400 на пульте управления. Мишень из МЧ, пересекающая ИП, формировалась только на время наблюдений и фотографирования. Для этого мелкодисперсный порошок из твердотельных МЧ помещался в вакууме в вибрационный инжектор и оседался сквозь щель размером 1×30 мм, закрытую молибденовой сеткой прозрачностью 80%. Использовались порошки на основе люминофора ZnS, углерода С, окиси алюминия Al_2O_3 , размер МЧ которых составлял $1 \dots 10$ мкм. Плоскость образующейся мишени устанавливалась под углом 45 градусов к направлению ИП. Осыпание частиц происходило при соз-

дании микровибрации инжектора с помощью электромагнита и пружинных подвесов. Амплитуда вибрации в пределах $0.1 \dots 0.5$ мм регулировалась изменением напряжения на электромагните, частота напряжения составляла 50 Гц. Испытания показали, что при этом формировалась достаточно однородная, оптически прозрачная мишень ленточной формы, состоящая из свободно падающих в вакууме МЧ. Концентрация частиц в рабочей области мишени составляла $10^6 \dots 10^8$ см⁻³. Примененное в данной работе устройство для получения распределенной мишени методом осыпания, подобно использованному в работе /5/, позволяет осуществлять предварительное, перед формированием мишени, обезгаживание МЧ путем прогрева в вакууме, отличается конструктивной простотой и имеет ряд достоинств перед устройствами для инъекции МЧ в вакуум в несущей газовой струе. Последнее требует применения высокопроизводительной дифференциальной откачки и сталкивается со значительным ухудшением вакуумных условий в момент измерений /6, 7/.

В данном исследовании степень вносимых в ИП возмущений при столкновениях ионов с ИП определялась по изменению характеристик масс-спектра. Масс-спектрометр был образован 45 -градусным секторным электромагнитом и диафрагмой, установленными перед коллектором ионов. Малость вносимых возмущений, лежащих в основе применяемого метода, обеспечивалась тем, что размер частиц был много меньше длины пробега ионов в веществе МЧ.

Результаты измерений представлены на рисунках 2, 3. При наличии ИП в тракте ионпровода и включении инжектора МЧ на экране ВКУ наблюдалось яркое контрастное изображение, обусловленное оптическим излучением из области пересечения ИП с мишенью. Уверенная регистрация сигнала с помощью мишени из МЧ люминофора ZnS была возможна при токах ИП, превышающих приблизительно $5 \cdot 10^{-10}$ А, что соответствовало потоку $2 \cdot 10^8$ частиц/см²·сек. Яркость изображений, получаемых при применении МЧ углерода С, окиси алюминия Al_2O_3 , была меньше, соответственно, на 1 или 2 порядка.

Применение различных веществ дало возможность определить правильность выявления положения границ ИП, отсутствие значительных термодинамических эффектов. Отчетливое изображение ИП на экране монитора регистрировалось при увеличении тока

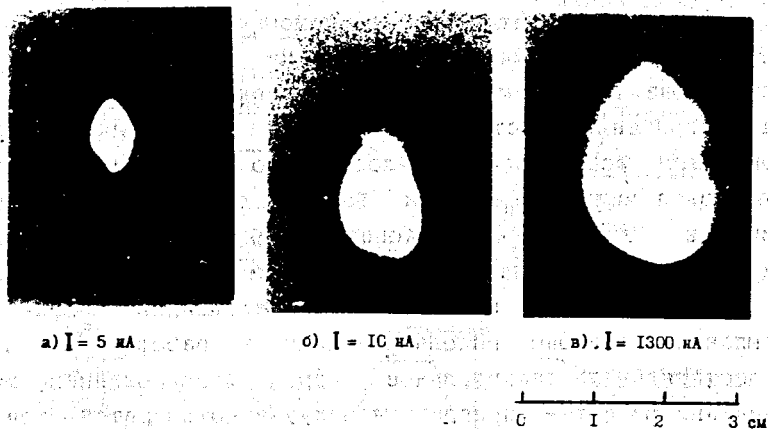


Рис. 2. Изображения профилей сфокусированных пучков.

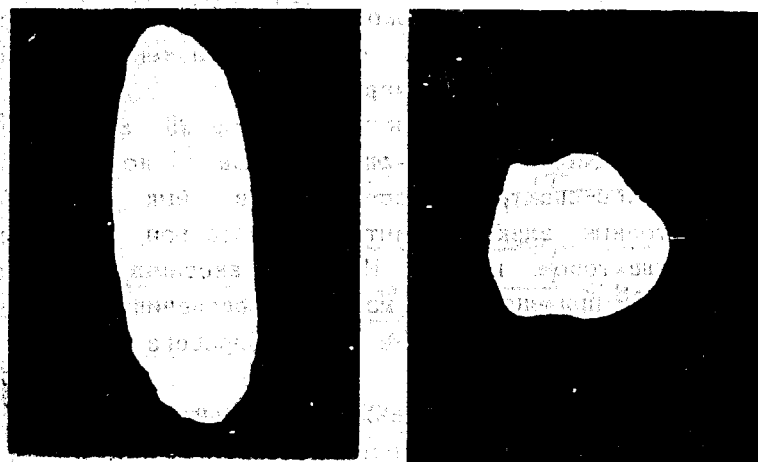


Рис. 3. Изображения профилей расфокусированных пучков.

ИП почти на четыре порядка вплоть до максимального значения $1.5 \cdot 10^{-6}$ А, соответствующее потоку $6 \cdot 10^{11}$ частиц/см²*сек.

На рисунках 2 /а-в/ приведены типичные изображения, полученные при фотографировании экрана ВКУ широкоформатным аппаратом РЕНТАСОН, указан масштаб линейных размеров. Рис. 2/а-в/ демонстрирует изображения хорошо сфокусированных ИП с током, соответственно, 1, 10, 1300 нА. Эллиптичность изображения соответствует кольцевой форме ИП, т. к. плоскость мишени повернута на угол 45 градусов к оси наблюдаемого пучка. При расфокусировке пучка с помощью магнитных линз наблюдались соответствующие изменения структуры ИП в вертикальной /рис. 3а/ или горизонтальной /рис. 3б/ плоскостях.

Равновесный заряд ионов $^{20}\text{Ne}^{+3}$ с энергией 134 МэВ после прохождения перезарядной фольги на выходе ускорителя У-400 равен +9 с малой дисперсией по зарядам. Масс-спектрометрический анализ ИП после прохождения мишени из МП показал ее слабое возмущающее действие на зарядовый спектр.

Полученные данные свидетельствуют о значительных достоинствах применения распределенных мишеней, состоящих из МЧ, для диагностики ускоренных ИП. Метод отличается простотой и высокой эффективностью, является слабовозмущающим из-за малости размеров МЧ по сравнению с длиной пробега ионов в веществе мишени. Он позволяет осуществлять наблюдения трехмерного оптического изображения в широком интервале токов ИП, а также профиль пучка в потоке вторичных электронов без дополнительных усилителей типа электронно-оптических преобразователей, микроканальных пластин, не требует передачи механического движения в вакуум. Информация, отображающая положение, структуру, значение тока ИП, представляющая значительный интерес для операторов ускорителей и экспериментаторов, может быть выведена на мониторы и в ЭВМ с помощью реализованного в данной работе устройства.

Перспективы развития диагностики связаны с дальнейшими исследованиями и применением различных веществ в виде МЧ, в том числе для наблюдения более информативных цветных объемных изображений ИП, а также с разработкой соответствующих математического обеспечения и средств автоматизации.

Л и т е р а т у р а

1. Болотов В.Е. , Зайцев Н.И. , Кораблев Г.С. , Нечаев В.Е. , Соминский Г.Г. , Цыбин О.Ю. Письма в ЖТФ , 1980, т.6, №16, стр. 1013-1016.
2. Комиссаров П.Ю. , Михайлов В.Г. , Резвов В.А. , Скляренко В.И. Унежев В.Н. , Юдин Л.И. . Бесконтактный измеритель сечения пучка . Одиннадцатое Всесоюзное Совещание по ускорителям заряженных частиц , Дубна, 25-27 Окт. 1988г. Аннотации докладов, Дубна; ОИЯИ, Р9-88-738, 1988; с.21.
3. M. Kase, I. Yokoyama, I. Takeshito, Y. Oikawa, M. Saito, Y. Yano. Beam diagnostic equipment for RIKEN ring Cyclotron and its beam Lines. Proc. 11 Int. Conf. on Cyclotrons and their Application , Ionics, Tokyo, 1987, p. 443-446.
4. P. Strehl . Beam diagnostic devices for a wide range of currents . Proc. 9 Int. Conf. on Cyclotrons and their Applications . Kunn, 1981, p. 545-554.
5. Цыбин О.Ю. Кластеры и малые частицы в электронных вакуумных приборах. Проблемы физической электроники. Н-техн. сб. ФТИ АН СССР, Ленинград, 1989, стр. 94-118.
6. Габович М.Д., Коваленко В.П., Назаренко О.К., Пацьора С.К. Письма в ЖТФ, 1979, т.5, №10, стр. 581-583.
7. Popov S.G. Physics and Technology of Super thin Internal Targets in Storage Rings. ИЯФ СО АН СССР, препринт N 89-52, Новосибирск, 1989, 15 стр.

Рукопись поступила в издательский отдел 19 декабря 1991 года.