

УДК 539.1.076+621.384.6

ПЕРВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ВЫВОДУ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ДЕЙТРОНОВ ИЗ НУКЛОТРОНА ИЗОГНУТЫМ КРИСТАЛЛОМ

***А.С.Артемов, С.В.Афанасьев, В.В.Бойко¹, М.А.Воеводин,
В.И.Волков, А.Д.Коваленко, С.И.Козлов, И.И.Куликов,
С.В.Романов, Ш.З.Сайфулин, А.М.Таратин, А.П.Царенков,
А.В.Шабунюв***

Представлены результаты первых испытаний установки "Кристалл-W" на нуклотроне. Наблюдался вывод дейтронов с энергией 3 ГэВ/нуклон из нуклотрона изогнутым кристаллом кремния. Дается краткое описание установки, электронного оборудования и системы регистрации отклоненных частиц.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

First Experiment on Relativistic Deuteron Extraction from the Nuclotron with a Bent Crystal

A.S. Artemov et al.

The results of the first test run of the "CRYSTAL-W" set-up at the Nuclotron are presented. The extraction of 3 GeV/n deuterons from the Nuclotron with a bent silicon crystal was observed. The experimental set-up, electronic equipment and a particle registration system are described briefly.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Изогнутые кристаллы находят все более широкое применение для управления пучками протонов высоких энергий — в каналах транспортировки и для вывода частиц из ускорителя. Предложение об использовании кристаллических дефлекторов для вывода релятивистских ионов из гало пучка ионных коллайдеров было сделано в [1]. В [2] рассмотрена схема использования изогнутого кристалла для вывода пучка релятивистских ядер из нуклотрона. Недавно вывод ультрарелятивистских ионов свинца изогнутым кристаллом кремния осуществлен в ЦЕРН на SPS [3]. Именно кристаллы кремния, обладая рекордными показателями структурного совершенства, используются в качестве дефлекторов частиц.

¹Институт физико-технических проблем, Дубна.

Однако, как показывают расчеты, использование кристаллов металлов с высоким порядковым номером вместо обычных кремниевых дефлекторов может значительно увеличить эффективность отклонения частиц на большие углы. Например, эффективность вывода ускоренного пучка ядер из нуклотрона с отклонением на угол около 100 мрад может вырасти более чем в десять раз при использовании кристаллов вольфрама [4]. В 1996 году в ЛВЭ ОИЯИ были начаты работы по подготовке к испытаниям вольфрамовых дефлекторов на циркулирующем пучке нуклотрона [5].

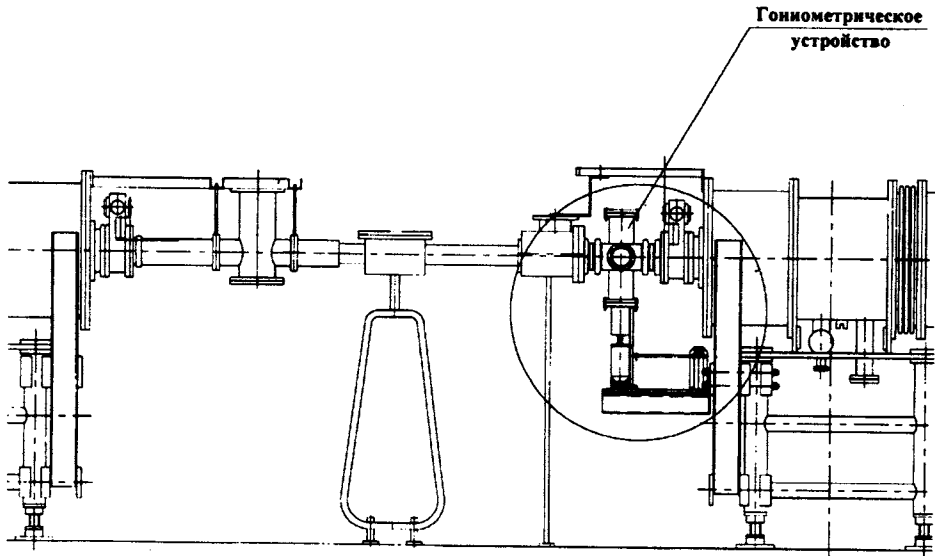


Рис. 1. Установка "Кристалл-W" на "теплом" прямолинейном промежутке кольца нуклотрона. На входе расположено гониометрическое устройство для смены кристаллических дефлекторов и их ориентирования относительно циркулирующего пучка нуклотрона. Сцинтилляционные телескопы, регистрирующие выведенные из нуклотрона и фоновые частицы, расположены в конце промежутка в медианной плоскости ускорителя (не показаны)

В данной работе представлены результаты первых испытаний на пучке ускоренных дейтронов с энергией 3 ГэВ/нуклон нуклотрона установки "Кристалл-W", созданной для исследования новых вольфрамовых дефлекторов. Установка состоит из гониометрического устройства с дистанционным управлением для ориентирования кристаллов относительно пучка нуклотрона, системы наведения циркулирующего пучка на кристалл и системы регистрации отклоненных кристаллом частиц. Гониометрическое устройство с кристаллами размещалось на входе "теплого" прямолинейного промежутка кольца нуклотрона (рис.1). Детальное описание этого устройства, сцинтилляционных телескопов системы регистрации частиц, а также анализ фоновых условий и возможных способов наведения пучка на кристалл представлено в работе [5].

Конструкция гониометра предусматривает оперативную установку без нарушения вакуума в медианную плоскость ускорителя одной из трех мишеней, две из которых являются изогнутыми кристаллами. Третьей мишенью служит сцинтилляционный монитор,

по которому обрабатывается наведение пучка на кристалл. Все мишени находятся в вертикальной плоскости, смещенной по внешнему радиусу на контролируемое расстояние (13 ± 5) мм от оси ионопровода. Интервал между ними выбран достаточным для беспрепятственной циркуляции пучка на стадии инъекции и ускорения. Номер выбранной мишени и её установка в рабочее положение контролируются с помощью сигналов в двоичном коде от оптопар.

Вертикальное перемещение мишеней в камере гониометра и её поворот в горизонтальной плоскости с шагом 6 мкрад в пределах ± 50 мрад для ориентирования дефлекторов относительно циркулирующего пучка осуществляются с помощью шестифазных шаговых двигателей ШД-5ДМ и разработанного для них электропривода. Привод обеспечивает два режима работы: нормальный и форсированный, при котором в восемь раз повышается скорость вращения двигателя.

Для управления приводом разработан и создан электронный блок в стандарте IBM PC, включающий в себя три канала генераторов импульсных последовательностей с регулируемой частотой следования. Частота следования импульсов и их количество задается программой. Синхронизация работы привода по перемещению мишеней с циклом ускорения осуществляется с помощью входного регистра. Это позволяет производить установку выбранного кристалла или монитора в медианную плоскость нуклотрона в начале стола его магнитного поля. Управление направлением перемещения мишеней осуществляется выходным регистром. Программное обеспечение позволяет изменять величину перемещения и контролировать положение мишеней.

Для регистрации отклоненных кристаллом в горизонтальном направлении частиц, а также учета фоновых событий используются два сцинтилляционных телескопа, расположенных вне камеры ускорителя симметрично относительно кристалла и направления падающего на него пучка. Каждый из телескопов состоит из трех детекторов с размерами 3, 4 и 7 см в горизонтальном направлении, что обеспечивает угловой аксептанс телескопа около 20 мрад. Детекторы изготовлены из сцинтиллятора на основе полистирола и имеют временное разрешение около 100 пс. Дополнительно на совпадения с сигналами рабочего телескопа, установленного по трассе вывода пучка, включены импульсы от сцинтилляционных детекторов длиной 5 мм, находящихся сразу за кристаллами и имеющих ту же толщину. Световые сигналы от этих детекторов, а также сцинтилляционного монитора регистрируются ФЭУ-110 через смотровое окно в камере гониометра.

Гониометрическое устройство с кристаллическими дефлекторами, а также разработанное оборудование системы управления и регистрации испытаны на циркулирующем пучке дейтронов с энергией 3 ГэВ/нуклон. В качестве дефлекторов использовались два кристалла кремния толщиной 300 мкм, изогнутые, с радиусом 30 см, вдоль (111) плоскостей на угол 100 мрад. Экспериментально исследовано наведение циркулирующего пучка на кристалл с помощью изменения частоты ускоряющего ВЧ-напряжения на столе магнитного поля. В результате смещения орбиты ускоренные дейтроны попадали на кристалл (сцинтилляционный монитор) гониометрического устройства, расположенный на расстоянии 13 мм по радиусу с внешней стороны. Характерная временная зависимость интенсивности свечения, инициируемого в мониторе наводимыми частицами, приведена на рис.2а. Здесь же показана временная зависимость величины ведущего магнитного поля нуклотрона. На рис.2б представлена выводимая на экран компьютера текущая информация о временной зависимости интенсивности счета рабочего телескопа, необходимая для контроля и оперативного управления экспериментом.

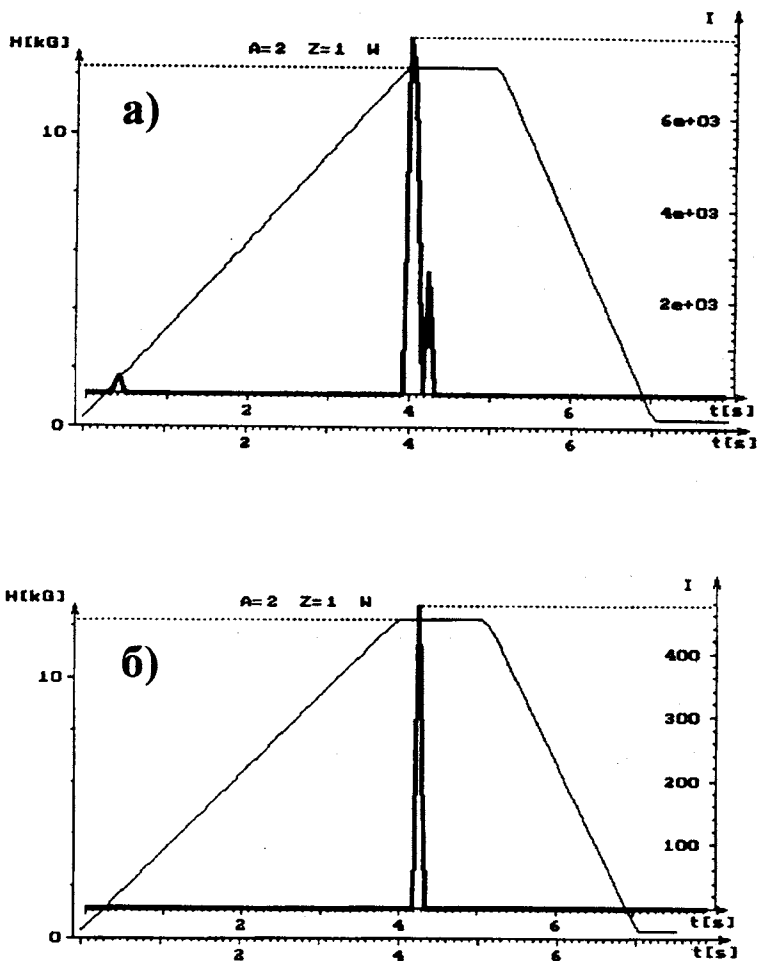


Рис. 2. Временная зависимость интенсивности свечения, инициируемого наводимыми дейтронами в сцинтилляционном мониторе гониометра (а), и интенсивности счета телескопа по трассе вывода за кремниевым дефлектором (б)

Для согласования с направлением циркулирующего пучка, наводимого на кристалл, последний вращался вокруг вертикальной оси, проходящей через его входной торец. При совпадении направлений кристаллографических плоскостей и пучка частицы могут захватываться в режим каналирования и отклоняться кристаллом на угол изгиба. Изменение угловой ориентации кристалла осуществлялось между циклами работы ускорителя, а сигналы от телескопов регистрировались на столе магнитного поля. На рис.3 представлена полученная в эксперименте зависимость отношения счета рабочего телескопа (Т1) к счету фонового телескопа (Т2) от ориентации кристалла. Кривая 2 отвечает случаю, когда на совпадение с рабочим телескопом дополнительно включен сцинтилляционный детектор (М), расположенный в камере ускорителя за выходным торцом кристалла (ВС). Значительное (около 15 раз) увеличение счета по трассе вывода в узкой области углов

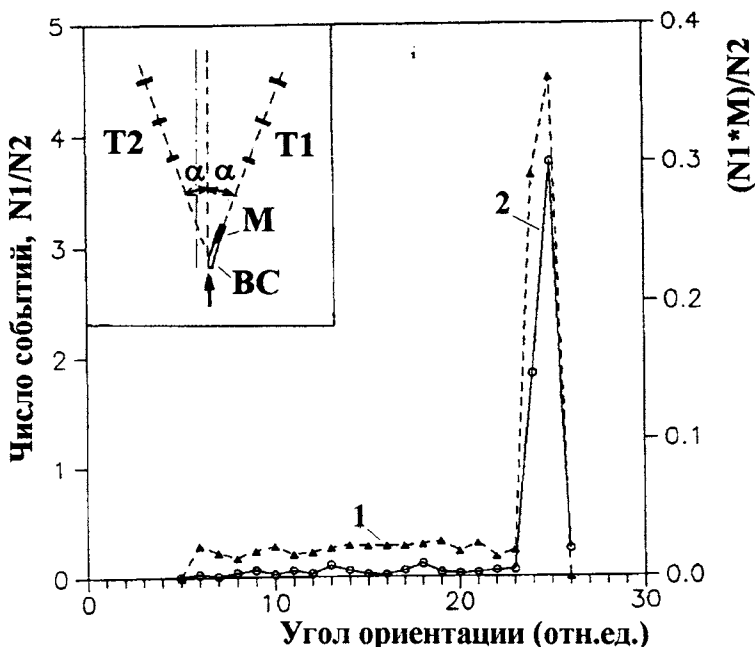


Рис. 3. Регистрация событий сцинтилляционным телескопом по трассе вывода частиц из нуклотрона — зависимость от ориентации кристалла. На вставке — расположение рабочего T1 и фонового T2 телескопов; M — сцинтиллятор, расположенный в камере нуклотрона сразу за кристаллом BC

ориентации кристалла вместе с резким (в 30 раз) ростом зависимости 2 можно однозначно интерпретировать как событие вывода циркулирующих дейтронов из нуклотрона изогнутым кристаллом кремния.

Таким образом, разработанное и созданное оборудование для исследования новых кристаллических дефлекторов прошло успешное испытание на циркулирующем пучке релятивистских ядер нуклотрона. В следующих сеансах работы ускорителя планируется продолжить эксперименты с целью изучения зависимости эффективности вывода ускоренных частиц от параметров дефлектора и его материала при разных способах наведения пучка.

Авторы выражают благодарность А.М.Балдину и А.И.Малахову за поддержку проводимых исследований, а также В.В.Архипову, В.А.Мончинскому, А.И.Говорову, А.М.Базанову, Л.Я.Жильцовой, В.Н.Кузнецову, Е.А.Матюшевскому, Г.А.Нагдасевой, Ю.И.Романову, Ю.И.Тятушкину, В.Н.Соколову и персоналу ускорительного комплекса за помощь в проведении эксперимента.

Работа дополнительно поддержана грантом МНТЦ N 437 и грантом РФФИ N 96-02-18133А.

Литература

1. Kovalenko A.D., Taratin A.M., Tsyganov E.N. — JINR Preprint E1-92-8, Dubna, 1992.
2. Kovalenko A.D., Mikhailov V.A., Taratin A.M., Tsyganov E.N. — JINR Rapid Communications, 1993, No.6[63]-93, p.13.
3. Arduini G. et al. — Phys.Rev.Letters, 1997, v.79, No.21, p.4182.
4. Kovalenko A.D. et al. — JINR Rapid Communications, 1995, No.4[72]-95, p.9.
5. Артемов А.С. и др. — Сообщение ОИЯИ Р9-98-174, Дубна, 1998.