

**ДЕТЕКТИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА  
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИЗУЧЕНИЮ РЕАКЦИИ  
 $dp$ -УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НА ВНУТРЕННЕЙ  
МИШЕНИ НУКЛОТРОНА В РАМКАХ DSS-ПРОЕКТА**

*Ю. В. Гурчин<sup>а</sup>, Т. А. Васильев<sup>а</sup>, А. Ю. Исупов<sup>а</sup>, Ю.-Т. Карачук<sup>а,б</sup>,  
В. А. Краснов<sup>а</sup>, А. К. Курилкин<sup>а</sup>, П. К. Курилкин<sup>а</sup>, В. П. Ладыгин<sup>а</sup>,  
А. Н. Ливанов<sup>а</sup>, С. М. Пиядин<sup>а</sup>, С. Г. Резников<sup>а</sup>, А. А. Терехин<sup>а</sup>,  
А. Н. Хренов<sup>а</sup>, М. Янек<sup>а,в</sup>*

<sup>а</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

<sup>б</sup> Исследовательский институт электрической инженерии, Бухарест

<sup>в</sup> Университет им. П. Й. Шафарика, Кошице, Словакия

Представлен комплекс детектирующей аппаратуры на основе сцинтилляционных детекторов для эксперимента по изучению реакции  $dp$ -упругого рассеяния на внутренней мишени нуклотрона, разработанный в рамках проекта DSS (Deuteron Spin Structure). Приведены результаты оптимизации сцинтилляционных детекторов, а также результаты тестовых измерений на пучке дейтронов нуклотрона.

The detection equipment based on scintillation counters for the experiment of DSS (Deuteron Spin Structure) project for  $dp$ -elastic scattering study at the Internal Target of the Nuclotron is presented. Results of the scintillation detectors optimization and results of test experiments using deuteron beam are shown.

PACS: 29.20.dk; 29.27.Hj; 13.75.Cs

**ВВЕДЕНИЕ**

Главной целью проекта DSS является расширение энергетического и углового диапазонов в измерении различных наблюдаемых реакций с участием трехнуклонных систем. Главная задача экспериментальной программы — получение информации о спин-зависимой части трехнуклонных сил. Одним из этапов проекта DSS [1] является измерение сечения, векторной  $A_y$ , тензорных  $A_{yy}$  и  $A_{xx}$  анализирующих способностей в  $dp$ -упругом рассеянии при кинетической энергии дейтрона от 200 до 2000 МэВ.

Измерения наблюдаемых в  $dp$ -упругом рассеянии [2] будут проведены с использованием станции внутренней мишени [3, 4] на нуклотроне. В качестве мишени будет использована тонкая полиэтиленовая пленка толщиной 10 мкм. Детектирование упругих событий будет выполнено парами детекторов, расположенных симметрично в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Каждая пара предназначена для детектирования протонов

и дейтронов на совпадения под определенным углом в с. ц. м. События  $dp$ -упругого рассеяния будут идентифицироваться по корреляции амплитуд сигналов и разнице времен пролета для дейтронного и протонного детекторов.

В случае измерения сечений будут использоваться две пары таких детекторов: первая — для изучения  $dp$ -упругого рассеяния, вторая — для измерений выхода  $pp$ -квазиупругого рассеяния под углом  $90^\circ$  в с. ц. м. для мониторингирования интенсивности пучка.

### ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕТЕКТОРОВ

В эксперименте по изучению  $dp$ -упругого рассеяния [2] использовалось несколько сцинтилляционных детекторов. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Детектор для регистрации протонов и дейтронов в первоначальном виде (конфигурация А), представленный на рис. 2, состоял из двух счетчиков, каждый из которых включал в себя пластический сцинтиллятор, смонтированный в отдельном корпусе с фотоэлектронным умножителем ФЭУ-85 и цифровым делителем [5], управляемым дистанционно модулем высоковольтного питания SM-512. Длина счетчика в сборе составляла 180 мм, диаметр — 37 мм. Первый (от мишени) сцинтиллятор имеет форму прямоугольной пластины с размерами  $25 \times 20 \times 5$  мм, расположенной широкой гранью к мишени. У второго сцинтиллятора, имевшего цилиндрическую форму (радиус — 10 мм, высота — 25 мм), ось симметрии была направлена на мишень. Информацией об энергосодержании частиц является амплитуда сигнала со второго счетчика. Первый счетчик работает на совпадения со вторым и используется для уменьшения количества случайных событий. Старт схемы совпадения осуществляется сигналом со второго счетчика.

Для уменьшения размеров установки в горизонтальной плоскости был разработан детектор с более оптимальной геометрией, чем у детектора конфигурации А. Новая геометрия Б (рис. 2) предполагает использовать детектор с вертикальным расположением

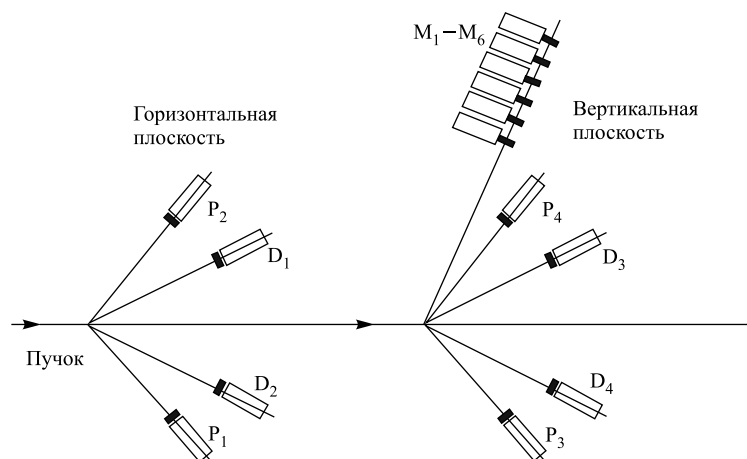


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для изучения реакции  $dp$ -упругого рассеяния на станции внутренней мишени нуклотрона: P — протонные детекторы; D — дейтронные детекторы;  $M_1-M_6$  — мониторные счетчики

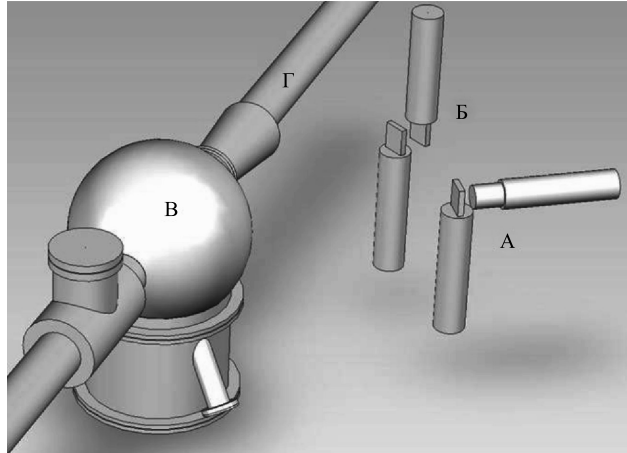


Рис. 2. Схема теста сцинтиляционных детекторов на внутренней мишени нуклотрона: А — детектор конфигурации А; Б — детектор конфигурации Б; В — вакуумный кожух станции внутренней мишени; Г — ионпровод нуклотрона

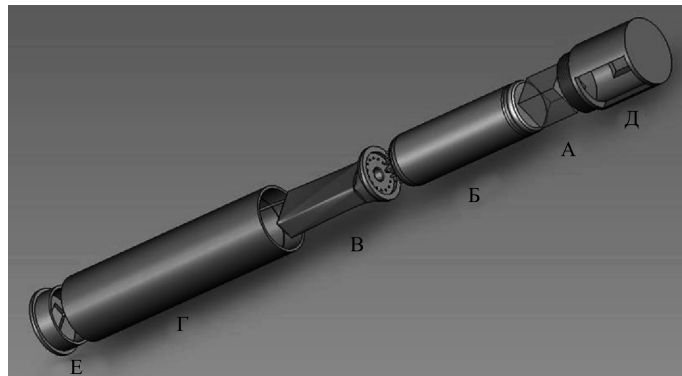


Рис. 3. Второй сцинтиляционный счетчик детектора конфигурации Б (светоизоляция не показана). Сцинтиляционный счетчик: А — сцинтиллятор; Б — фотоэлектронный умножитель ФЭУ-85; В — цифровой делитель; Г — корпус (сталь); Д — защита сцинтиллятора (сталь); Е — заглушка (пластик)

обоих счетчиков со вторым сцинтиллятором в форме прямоугольного параллелепипеда с размерами  $20 \times 20 \times 25$  мм. Устройство второго счетчика для конфигурации Б представлено на рис. 3.

В ходе данной работы были получены зависимости средней амплитуды сигнала и ширины распределения при различных напряжениях на делителе ФЭУ для конфигураций детектора А и Б. Также было исследовано влияние обертывания сцинтиллятора бумагой для улучшения формы энергетического спектра и разрешения по энергии за счет предполагаемого увеличения светосбора.

Для сравнения характеристик детекторов типов А и Б были протестированы три детектора:

- детектор в конфигурации А (№ 1),
- детектор в конфигурации Б (№ 2),
- детектор в конфигурации Б со вторым сцинтиллятором, обернутым белой бумагой, (№ 3).

Тестирование проводилось на пучке дейтронов нуклотрона ( $E = 1,5$  ГэВ/нуклон, мишень — углерод  $^{12}\text{C}$ ), угол рассеяния —  $45^\circ$ , с использованием стандартной системы сбора данных [6] проекта DSS. Обработка данных осуществлялась при помощи программного пакета ROOT.

Для выделения высокоэнергетичных частиц с низкой ионизирующей способностью (протонов) из непрерывного энергетического спектра (рис. 4, *а*) был использован критерий на корреляцию энергетических потерь в первом и втором сцинтилляторах детекторов (рис. 4, *б*). Распределения по энергетическим потерям частиц во втором сцинтиляторе

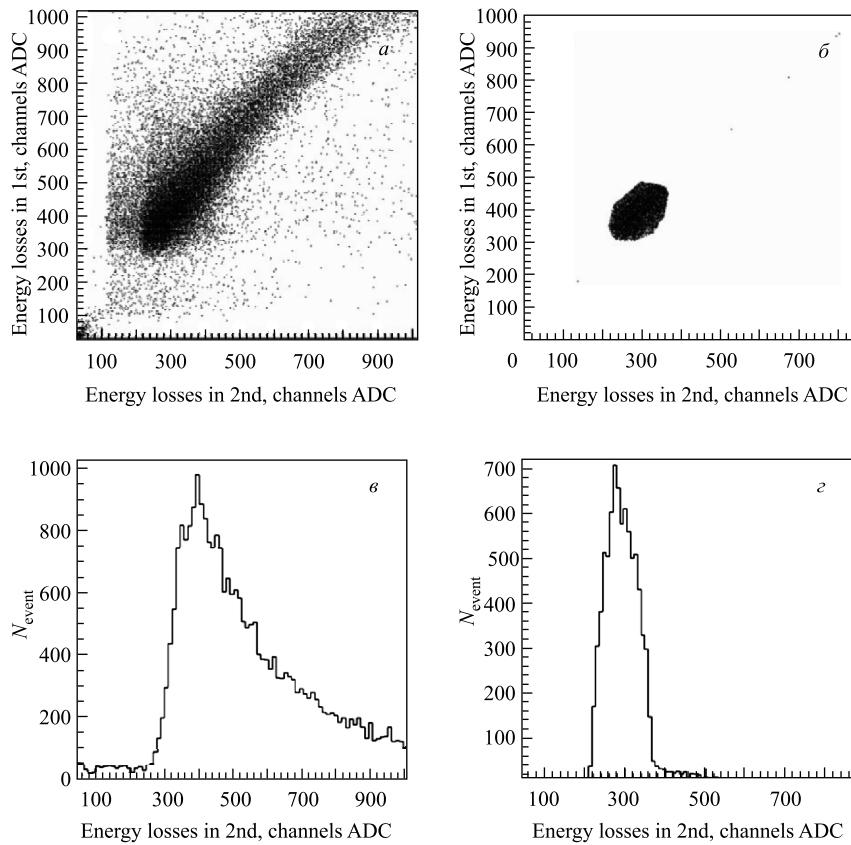


Рис. 4. Корреляция энергетических потерь в первом и втором сцинтилляторах детектора в конфигурации без критериев (*а*), с критериями (*б*). Распределения по энергетическим потерям во втором сцинтиляторе без учета критериев на корреляцию амплитуд (*в*), с учетом критериев (*г*)

протонного детектора № 3 без критерия и с учетом критерия на корреляцию энергетических потерь в первом и втором сцинтилляторах показаны на рис. 4, *в* и *г* соответственно.

Из распределений, полученных для всех трех детекторов при различных напряжениях на делителях ФЭУ (HV), находилась ширина распределения на полувысоте (FWHM).

На рис. 5 показана зависимость ширины распределения FWHM от напряжения на делителе ФЭУ-85 HV. Для устранения погрешности, связанной с отсутствием калибровки детекторов по энергии, был построен график зависимости наиболее вероятного значения энергии MPV от напряжения HV (рис. 6). Значение MPV определялось фитированием верхней части соответствующего распределения функцией Гаусса. С использованием зависимостей, представленных на рис. 5 и 6, была получена зависимость FWHM от MPV (рис. 7).

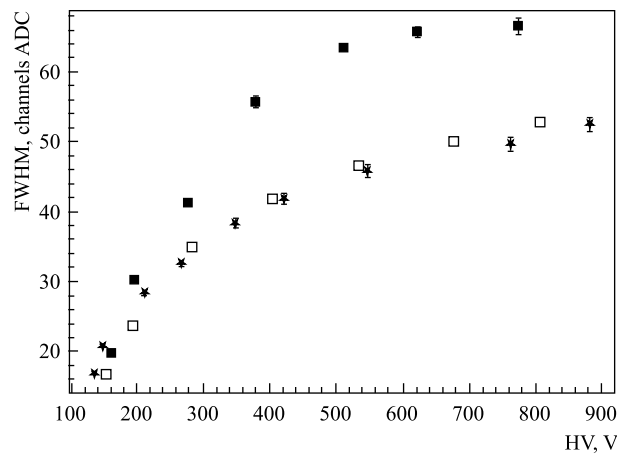


Рис. 5. Зависимость FWHM от HV: \* — детектор № 1; ■ — детектор № 2; □ — детектор № 3

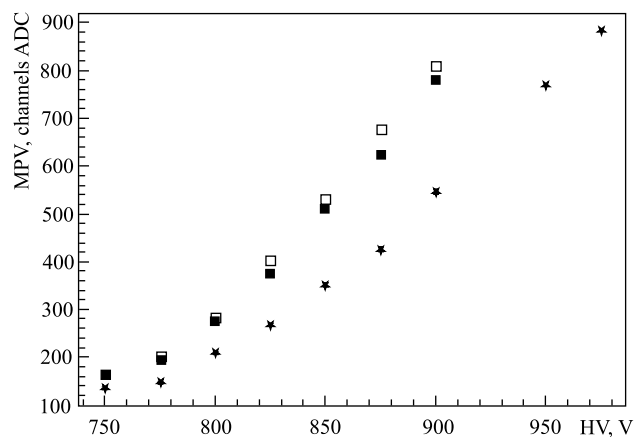


Рис. 6. Зависимость MPV от HV: \* — детектор № 1; ■ — детектор № 2; □ — детектор № 3

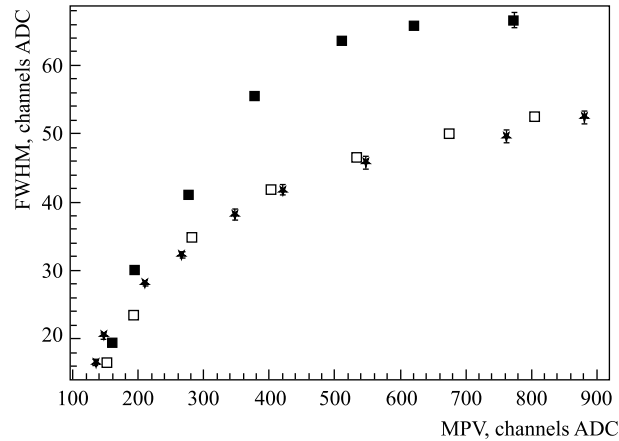


Рис. 7. Зависимость FWHM от MPV в распределении по амплитуде сигналов в толстом пластике: \* — детектор № 1; ■ — детектор № 2; □ — детектор № 3

Из рис. 7 видно, что амплитудные характеристики детекторов № 1 и № 3 практически совпадают, что подтверждает пригодность детектора с конфигурацией Б для проведения эксперимента. Обертывание второго сцинтиллятора белой бумагой позволяет значительно улучшить условия светосбора.

Окончательная конструкция детектора представлена на рис. 8. В табл. 1 и 2 указаны основные геометрические параметры детектирующей аппаратуры.

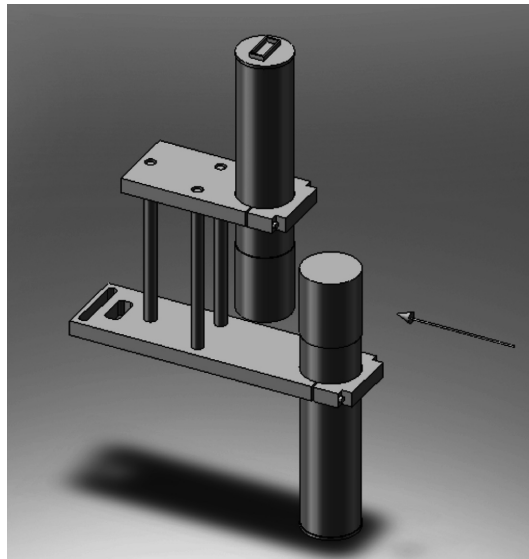


Рис. 8. Новый детектор для регистрации событий  $dp$ -упругого рассеяния. Стрелкой показано направление полета частиц

Таблица 1. Геометрические параметры детекторов Р и D

Размеры первого сцинтиллятора детекторов Р и D, мм	20 × 25 × 5
Размеры второго сцинтиллятора детекторов Р и D, мм	20 × 25 × 20
Расстояние между центрами первого и второго сцинтилляторов детекторов Р и D, мм	65
Расстояние между точкой взаимодействия пучка с мишенью до центра второго сцинтиллятора детекторов Р и D, мм	624
Угол захвата детекторов Р и D, ср	1,244

Таблица 2. Геометрические параметры детекторов М<sub>1</sub>–М<sub>6</sub>

Размеры сцинтиллятора детектора М, мм	20 × 25 × 5
Расстояние между точкой взаимодействия и сцинтиллятором счетчика М <sub>1</sub> , мм	603
Расстояние между центрами сцинтилляторов счетчиков М <sub>1</sub> и М <sub>6</sub> , мм	270
Угол детекторов М от вертикали, °	15

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис.9–12 показаны результаты, полученные в 40-м сеансе нуклотрона с новыми детекторами на углеродной мишени при импульсе начального дейтрона 3,5 ГэВ/с. Детекторы для регистрации  $pp$ -квазиупругого рассеяния (детекторы РР) располагались под углом  $90^\circ$  в с.ц.м., детекторы для регистрации  $dp$ -квазиупругого рассеяния (детекторы DP) — под углом  $70^\circ$  в с.ц.м. По корреляциям энергетических потерь для детекторов DP и РР (рис.9) видно надежное выделение событий  $dp$ - и  $pp$ -квазиупругого рассеяния. Количество счетов с детекторов М<sub>4</sub>–М<sub>5</sub>–М<sub>6</sub> меньше количества счетов с М<sub>1</sub>–М<sub>2</sub>–М<sub>3</sub> из-за различного телесного угла мониторинговых счетчиков и осаждения частиц в сцинтилляторах детекторов М<sub>1</sub>–М<sub>3</sub>.

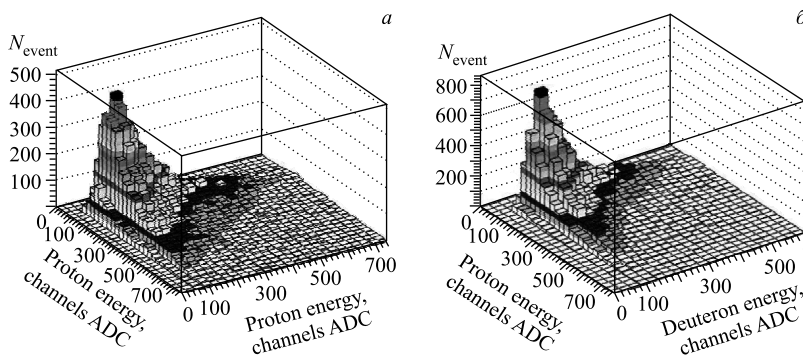


Рис. 9. Корреляция энергетических потерь: а) протона и дейтрона с детекторов Р и D при угле рассеяния  $70^\circ$  в с.ц.м.; б) протонов с детекторов РР при угле рассеяния  $90^\circ$  в с.ц.м.

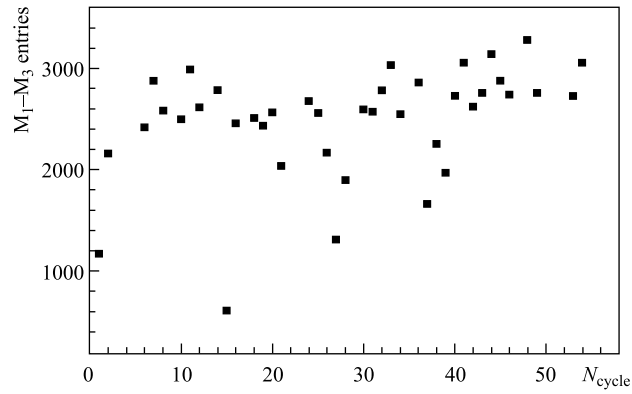


Рис. 10. Зависимость количества совпадений счетчиков  $M_1-M_2-M_3$  от номера цикла ускорителя

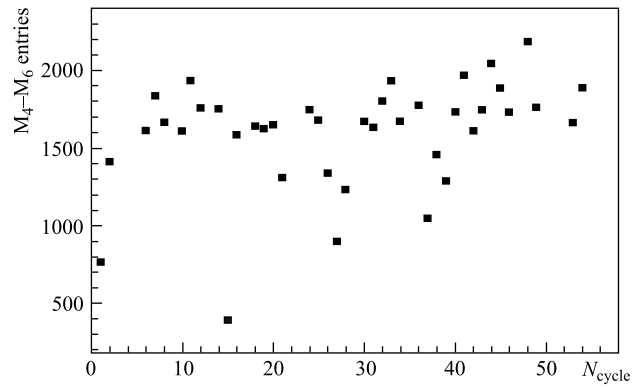


Рис. 11. Зависимость количества совпадений счетчиков  $M_4-M_5-M_6$  от номера цикла ускорителя

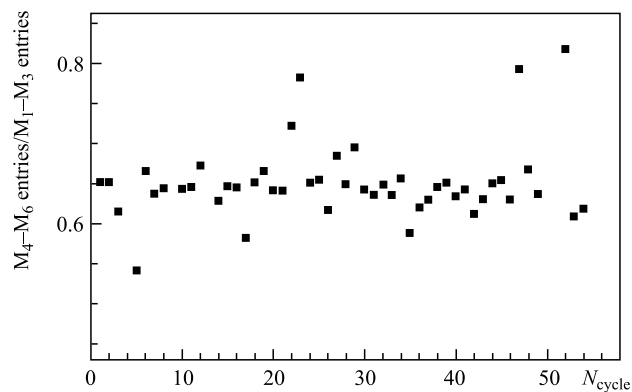


Рис. 12. Зависимость отношения количества совпадений счетчиков  $M_4-M_5-M_6$  и  $M_1-M_2-M_3$  от номера цикла ускорителя



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создан комплекс детектирующей аппаратуры на основе сцинтилляционных детекторов для изучения реакции  $dp$ -упругого рассеяния на внутренней мишени нуклотрона в рамках DSS-проекта.

В результате тестовых испытаний выбрана конфигурация сцинтилляционного детектора, наиболее пригодная для условий эксперимента, т. е. обладающая необходимым разрешением по энергии и компактной геометрией.

Выделены события квазиупругого  $pp$ - и  $dp$ -рассеяния при импульсе начального дейтрона 3,5 ГэВ/с по корреляции энергетических потерь и времяпролетному спектру с использованием новых детекторов.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 10-02-00087а.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ladygin V. P. et al.* // EPJ Web of Conf. 2010. V. 3. P. 04004.
2. *Uesaka T. et al.* // Part. Nucl., Lett. 2006. V. 3. P. 305–311.
3. *Malakhov A. I. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2000. V. 440. P. 320.
4. *Gurchin Yu. V.* // Part. Nucl., Lett. 2007. V. 4. P. 263–267.
5. *Astakhov V. I.* <http://hvsys.dubna.ru>
6. *Isupov A. Yu.* // Czech. J. Phys. A. 2005. V. 55. P. 407.

Получено 22 ноября 2010 г.