

P1-2007-171

М. Янек<sup>1</sup>, В. П. Ладыгин, Т. Уесака<sup>2</sup>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫВЕДЕННОГО  
ПУЧКА НУКЛОТРОНА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ СТРУКТУРЫ ЛЕГКИХ ЯДЕР В ЛВЭ**

---

<sup>1</sup>Университет им. П.-Й. Шафарика, Кошице, Словакия, и ЛВЭ ОИЯИ,  
Дубна

<sup>2</sup>Центр ядерных исследований, Токийский университет, Бункио,  
Япония

<p>Янек М., Ладыгин В. П., Уесака Т.</p>	<p>P1-2007-171</p>
<p>Исследование параметров выведенного пучка нуклотрона для экспериментов по изучению структуры легких ядер в ЛВЭ</p>	
<p>Исследованы параметры выведенного пучка дейтронов нуклотрона для экспериментов по изучению структуры легких ядер в бинарных реакциях при промежуточных энергиях.</p>	
<p>Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ.</p>	
<p>Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2007</p>	

<p>Janek M., Ladygin V. P., Uesaka T.</p>	<p>P1-2007-171</p>
<p>Investigation of Extracted Nuclotron Beam Parameters for the Experiments on the Study of the Light Nuclei Structure at LHE</p>	
<p>The parameters of the deuteron extracted beam from Nuclotron have been investigated for the experiments on the study of the light nuclei structure in the binary reaction at the intermediate energies.</p>	
<p>The investigation has been performed at the Veksler and Baldin Laboratory of High Energies, JINR.</p>	
<p>Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2007</p>	

Изучение спиновой структуры легких ядер является традиционным направлением научных исследований ЛВЭ. Это обусловлено наличием пучка поляризованных дейтронов. Бинарные реакции типа  $dp \rightarrow pd$  [1],  $dd \rightarrow {}^3\text{He}n({}^3\text{H}p)$  [2],  $d{}^3\text{He} \rightarrow p{}^4\text{He}$  [3] при промежуточных и высоких энергиях позволяют получать информацию о спиновой структуре легких ядер на малых межнуклонных расстояниях.

Целью РНеЗ проекта является продолжение измерений поляризационных наблюдаемых в реакции  $d{}^3\text{He} \rightarrow p{}^4\text{He}$  при нулевом угле, начатых в RIKEN [3] с использованием пучка поляризованных дейтронов нуклотрона. Планируются измерения тензорной анализирующей способности  $T_{20}$  и коэффициента спиновой корреляции  $C_{y,y'}$  при кинетической энергии пучка в интервале от 1,0 до 1,75 ГэВ и от 1,0 до 1,5 ГэВ соответственно. Хорошие параметры дейтронного пучка являются существенными из-за малого поперечного сечения поляризованной [4,5] и неполяризованной мишеней  ${}^3\text{He}$ . Для проведения эксперимента необходим эмиттанс пучка не более  $\sim 10-12\pi$  мм · мрад в случае, когда мишень находится на расстоянии  $\sim 9$  м от фокальной плоскости F3 [6]. Параметры выведенного дейтронного пучка нуклотрона были измерены при кинетических энергиях от 1,0 до 2,0 ГэВ. Работа выполнялась в рамках совместной ОИЯИ–Япония программы исследований структуры легких ядер в ЛВЭ [7, 8].

Общая схема измерений параметров пучка показана на рис. 1. Дейтронный пучок из нуклотрона транспортировался до фокальной плоскости F3 с помощью магнитной системы, составленной из двух пар линз (K1–K2 и K3–K4) и одного отклоняющего магнита (M1). В качестве детектора положения пучка использовались многопроволочные дрейфовые камеры с расстоянием между проволочками 2 мм. Первая камера (PIK3) была помещена в точку вблизи фокальной плоскости F3, вторая (PIK4) — на расстоянии 0,5 м от предполагаемого положения мишени. Расстояние между камерами составляло  $\sim 9$  м. Интенсивность пучка, ток в линзах, средние значения и ширины профиля пучка записывались для каждого цикла ускорения. Токи в линзах (K3–K4) менялись в пределах 5–10 % для минимизации размера пучка на камере, помещенной в фокальной плоскости F3. Изменение токов в линзах K3–K4 в зависимости от времени в сеансе в июне 2002 г. показано на рис. 2. Измерения при энергиях 2,0, 1,0 и 1,75 ГэВ были выполнены между 1 и 3, 5 и 8, 9 и 10 ч соответственно.

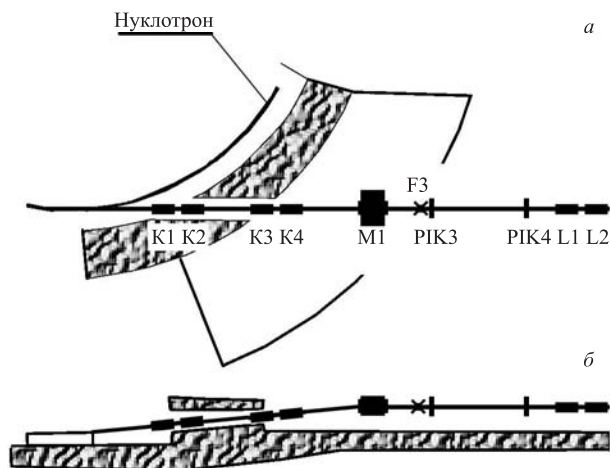


Рис. 1. Общая схема установки для измерения параметров выведенного пучка нуклотрона. К1–К2 и К3–К4 — два дублета линз канала медленного вывода нуклотрона; М1 — отклоняющий магнит; F3 — фокальная плоскость; L1, L2 — дублет линз канала ВП1; PIK3 и PIK4 — многопроводочные камеры. а) соответствует проекции в горизонтальной и б) — вертикальной плоскостях

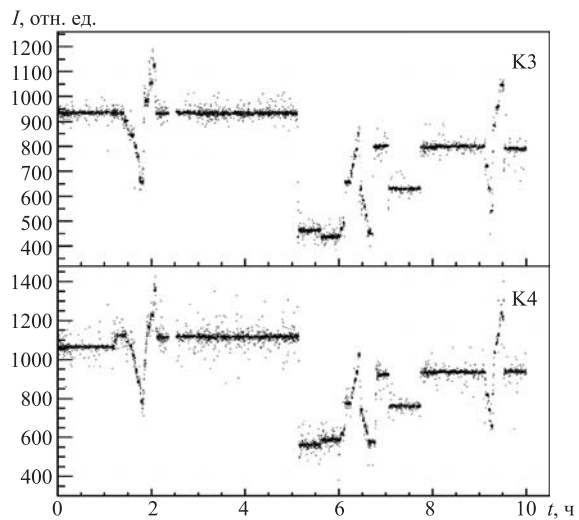


Рис. 2. Изменение токов в линзах К3–К4 в зависимости от времени в ходе сеанса нуклотрона в июне 2002 г. Структуры при  $t \sim 2, 6,5$  и  $9,5$  ч соответствуют измерениям эмиттанса

Ширины профиля пучка в камерах РИК3 и РИК4 были получены для каждой настройки тока в парах линз К3–К4 как минимум при 10 циклах ускорителя. Зависимости фитировались полиномом второй степени. Ширины пучка в РИК3 и РИК4 при энергии 2,0 ГэВ в зависимости от усредненного тока  $I$  в паре линз К3–К4 представлены на рис. 3 и 4.

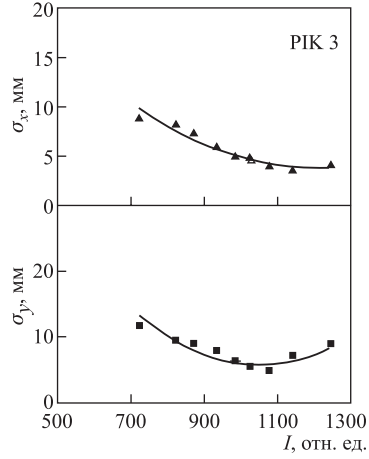


Рис. 3. Ширина пучка в РИК3 при энергии 2,0 ГэВ в зависимости от усредненного тока в линзах К3–К4. Рабочая точка, удовлетворяющая условию (1), выбрана при  $I \sim 1100$

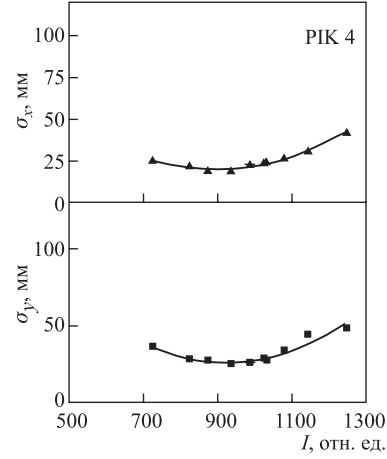


Рис. 4. Ширина пучка в РИК4 при энергии 2,0 ГэВ в зависимости от усредненного тока в линзах К3–К4

Точка для оценки эмиттанса была взята из следующего условия:

$$d(\sigma_{x3}(I)\sigma_{y3}(I))/dI = 0, \quad (1)$$

где  $\sigma_{x3}$  и  $\sigma_{y3}$  означают ширины профиля пучка в камере, помещенной в РИК3, для  $x$ - и  $y$ -координат соответственно.

Ширины профиля пучка  $\sigma_{x3,4}$  и  $\sigma_{y3,4}$  для камер, помещенных в РИК3 и РИК4, были взяты из условия (1). Угловые расходимости пучка  $\sigma_{\theta x}$  и  $\sigma_{\theta y}$  для  $x$ - и  $y$ -координат определялись следующим образом:

$$\sigma_{\theta x} = \frac{\sqrt{\sigma_{x4}^2 - \sigma_{x3}^2}}{L}, \quad \sigma_{\theta y} = \frac{\sqrt{\sigma_{y4}^2 - \sigma_{y3}^2}}{L}, \quad (2)$$

где  $L$  означает расстояние между РИК3 и РИК4. Эмиттанс пучка в параксиальном приближении [9] был получен из следующего уравнения:

$$\varepsilon_{x,y} = \pi(2\sigma_{x,y})(2\sigma_{\theta x,y}). \quad (3)$$

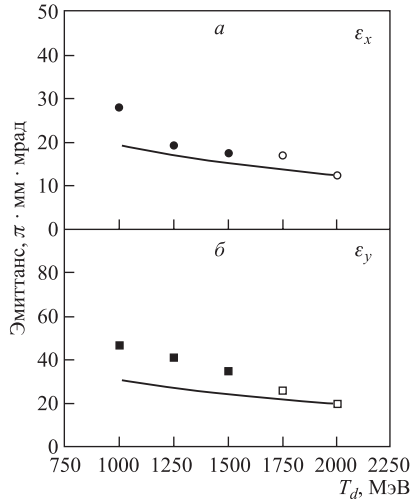


Рис. 5. Оценка эмиттанса дейтронного пучка для координаты  $x$  (а) и  $y$  (б) в зависимости от энергии выведенного пучка дейтронов

Зависимость эмиттанса пучка для координат  $x$  и  $y$  от энергии дейтронного пучка показана на рис. 5. Открытые и сплошные символы соответствуют данным, полученным в ходе сеансов в июне и декабре 2002 г. соответственно. Кривые соответствуют оценкам эмиттанса при отсутствии многократного рассеяния пучка на веществе канала вывода. Можно наблюдать быстрое уменьшение эмиттанса с ростом энергии. Также видно, что значение эмиттанса  $y$ -координаты больше, чем  $x$ -координаты, приблизительно в 1,3–2 раза, что связано со свойствами магнитной системы вывода. Это отношение растёт с уменьшением энергии дейтронного пучка.

Результаты данной работы можно обобщить следующим образом:

- Эмиттанс дейтронного пучка для энергий 1,0–2,0 ГэВ показывает значительную энергетическую зависимость. Между 1,0–2,0 ГэВ эмиттанс дейтронного пучка меняется в  $\sim 2$  раза для  $x$  и  $y$ .
- Эмиттанс  $\epsilon_y$  имеет значение больше, чем  $\epsilon_x$ , и отношение  $\epsilon_y/\epsilon_x$  изменяется от 1,3 до 2 в интервале энергий 1,0–2,0 ГэВ.
- Для проведения эксперимента по измерению  $T_{20}$  и  $C_{y,y'}$  в реакции  $d^3\text{He} \rightarrow p^4\text{He}$  в схеме с расположением поляризованной  $^3\text{He}$ -мишени [5] вблизи фокуса  $F3$  необходимо существенное улучшение параметров выведенного пучка нуклотрона, особенно в вертикальном направлении.

Авторы признательны персоналу нуклотрона за эффективную работу в ходе данных исследований, в особенности В.А. Андрееву, А.В. Бутенко,

Б. В. Василишину, В. И. Волкову, А. Д. Коваленко и В. А. Мончинскому. Данная работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 07–02–00102а) и Министерством образования Словацкой Республики по науке (грант № 1/4010/07).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Punjabi V. et al.* // Phys. Lett. 1995. V. B350. P. 178.
2. *Ladygin V.P. et al.* // Phys. Lett. 2004. V. B598. P. 47; ЯФ. 2006. Т. 69. С. 1271.
3. *Uesaka T. et al.* // Phys. Lett. 1999. V. B467. P. 199; Few-Body Systems Suppl. 2000. V. 12. P. 497; Phys. Lett. 2002. V. B533. P. 1.
4. *Uesaka T. et al.* // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1998. V. A402. p. 212.
5. *Itoh K. et al.* // CNS Annual Report. 2003. P. 82.
6. *Рукояткин П. А.*, частное сообщение.
7. *Khrenov A.N. et al.* // Proc. of Relativistic Nuclear Physics: from Hundreds of MeV to TeV, August 25–30, 2003, Stará Lesná, Slovak Republic; Dubna, 2003. P. 236.
8. *Ladygin V.P. et al.* // Czech. J. Phys. 2006. V. 56. P. F135.
9. *Лоусон Дж.* Физика пучков заряженных частиц. М.: Мир, 1980.

Получено 9 ноября 2007 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 27.11.2007.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,6. Тираж 365 экз. Заказ № 55984.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)