

## ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ВРЕМЕННЫМ ДЕТЕКТОРОМ НА ОСНОВЕ МКП ДЛЯ УСТАНОВКИ МАВР

*Д. Азнабаев<sup>а, б, 1</sup>, В. И. Смирнов<sup>а</sup>, А. Исатов<sup>а, б</sup>,  
К. Мендибаев<sup>а, б</sup>, Т. Исатаев<sup>а, б</sup>*

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

<sup>б</sup> Институт ядерной физики, Алма-Ата, Республика Казахстан

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Нур-Султан

В рамках изучения времяпролетного метода была создана соответствующая система для проведения тестовых измерений и получены первые тестовые данные, в полной мере демонстрирующие эффективную работу данного оборудования. В качестве стартового детектора использовался МКП-детектор. Во время работы на данной установке было измерено временное разрешение в зависимости от различных параметров продуктов реакций (массы, заряда, энергии). Проведены измерения параметров детектора на ускорителе ИЦ-100 (ЛЯР, ОИЯИ). Полученные результаты демонстрируют высокое временное разрешение для заряженных частиц в широком диапазоне масс.

As part of the study of the time-of-flight method, an appropriate system was created and the first test data were obtained, fully demonstrating the effective operation of this equipment. An MCP detector was used as the start detector. During the work at this facility, the temporal resolution was measured depending on various parameters of the reaction products (mass, charge, and energy). Measurements were made of the detector characteristics at the IC-100 accelerator (FLNR, JINR). The obtained results have demonstrated a high temporal resolution for charged particles in a wide mass range.

PACS: 29.90.+g

### ВВЕДЕНИЕ

Эксперименты на пучках радиоактивных ядер — направление ядерной физики, которое в настоящее время весьма интенсивно развивается. Использование таких пучков в современных ядерно-физических исследованиях связано с некоторыми проблемами, такими как получение самих пучков необходимой интенсивности, ускорение их до требуемой энергии и регистрация продуктов ядерных реакций. Задачи регистрации и дальнейшего изучения полученных данных в силу сложности экспериментов (большого многообразия каналов реакций, присутствия нейтронного и гамма-фона и т. д.) предъявляют особые требования к характеристикам используемой аппаратуры. Это связано с низким

---

<sup>1</sup>E-mail: daur\_is101@mail.ru

выходом продуктов ядерных реакций низкой интенсивности ( $10^2$ – $10^4$  с $^{-1}$ ). Поэтому постановка экспериментов требует экспериментальной аппаратуры, отвечающей определенным условиям. Среди них: высокое разрешение по энергии и времени пролета, высокий коэффициент очистки продуктов реакции от первичного пучка, интенсивность которого выше на порядки [1]. В этих условиях одним из наиболее эффективно используемых методов определения энергии частицы является метод времени пролета [2], который заключается в определении энергии частицы  $E_K$  по времени пролета  $t$ , которое она затратит на преодоление фиксированного расстояния  $L$  [3]:

$$E_K = \frac{E_0 \beta^2}{(1 + \sqrt{1 - \beta^2} - \beta^2)}, \quad (1)$$

где  $E_0 = m_0 c^2$  — энергия покоя ионов;  $V = L/t$  — скорость ионов;  $\beta = V/c$  — относительная скорость ионов.

Временные интервалы между сигналами детекторов несут важную физическую информацию (о периоде полураспада ядер, времени жизни возбужденных состояний, скорости частиц и т. д.). Методами временного анализа можно изучать динамику физических процессов, восстанавливать пространственную картину явлений, отделять полезные события от фоновых и т. д.

Важным элементом метода времени пролета является стартовый детектор, который должен обладать высоким временным разрешением, минимальными тормозными потерями при регистрации тяжелых продуктов реакций, низкой чувствительностью к фону легких частиц и стойкостью к радиационным повреждениям.

В рамках изучения данного метода первоначально была поставлена задача создания системы для проведения тестовых измерений времени пролета  $\alpha$ -частицы в вакуумной камере. Временное разрешение детектора определялось из времяпролетного спектра  $\alpha$ -частиц  $^{226}\text{Ra}$ , измеренного двумя идентичными МКП-детекторами на пролетной базе 10 см, и составило 355 пс.

На рис. 1 представлена установка, использованная для измерения времени пролета  $\alpha$ -частицы.

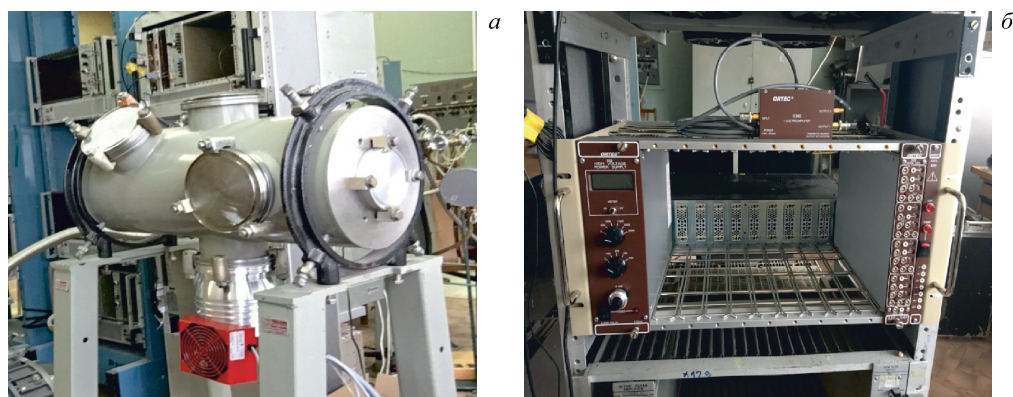


Рис. 1. Тестовая установка для измерения времени пролета: а) вакуумная камера; б) система сбора данных

## СТАРТОВЫЙ ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ МКП

В качестве стартового детектора в данной работе был выбран МКП-детектор (детектор на основе микроканальных пластин) [5]. Детектор состоит из конверсионной фольги, ускоряющей сетки, электростатического зеркала, сборки микроканальных пластин (МКП). Принцип работы такого детектора состоит в следующем: регистрируемая частица при прохождении через фольгу выбивает из нее электроны. Эмиссионные электроны ускоряются в электрическом поле между фольгой и ускоряющей сеткой до энергии порядка 3 кэВ. В пространстве между двумя электростатическими зеркалами ускоренные электроны разворачиваются на  $90^\circ$  и после этого попадают на сборку МКП. Независимо от прохождения частицы через входную фольгу траектории электронов имеют одну и ту же длину за счет конструкции электростатического зеркала, поэтому выходной временной сигнал детектора является позиционно независимым.

В качестве входной фольги используются майларовые пленки толщиной  $70\text{--}150\text{ мкг/см}^2$  с золотым или алюминиевым напылением толщиной  $20\text{--}30\text{ мкг/см}^2$ , за счет которого будет значительно увеличиваться коэффициент вторичной эмиссии электронов. Размер входной фольги и рабочей зоны МКП  $20 \times 30$  и  $30 \times 40$  мм. Частица проходит через все поля, образованные сетками, практически не отклоняясь от своего первоначального направления и не меняя начальной скорости. Благодаря использованию тонких пленок в качестве конверсионных фольг изменение направления частицы из-за соударений с атомами фольги пренебрежимо мало.

Микроканальные пластины закреплены в стеклотекстолитовых рамках над металлизированным анодом. Выходной сигнал снимается с анода и далее усиливается в 10 раз по амплитуде, при этом фронт временного сигнала составляет 1,5 нс. Напряжение на МКП, конверсионную фольгу и сетки электростатического зеркала подается через высоковольтный делитель [4]. Схема МКП-детектора показана на рис. 2.

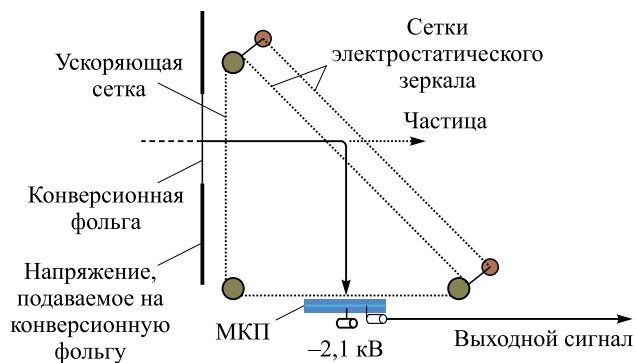


Рис. 2. Схема МКП-детектора [4]

Пластины изготавливаются из свинцового стекла толщиной  $0,5\text{--}1$  мм. Микроканальные пластины представляют собой сотовые структуры, образованные большим числом стеклянных трубок (каналов) диаметром  $5\text{--}15$  мкм с внутренней полупроводящей поверхностью, имеющей сопротивление от 20 до 1000 МОм (рис. 3). Таким образом, МКП

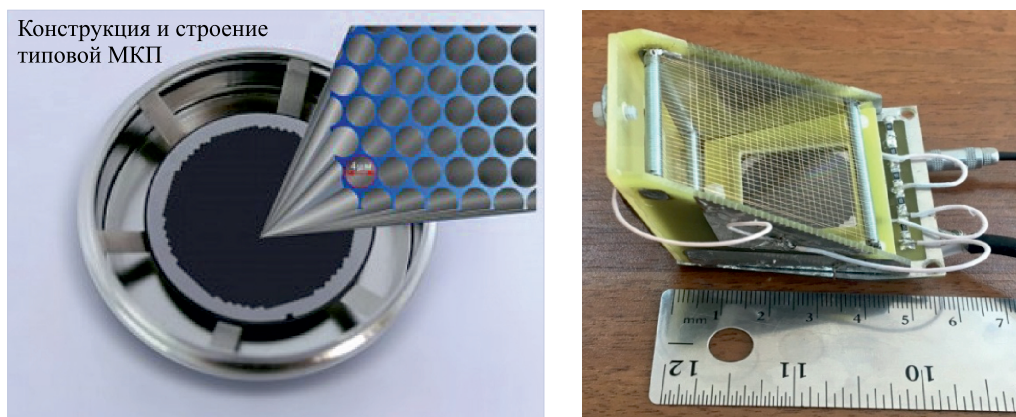


Рис. 3. МКП-детектор (конструкция детектора оптимизирована с целью получения максимальной рабочей области при минимальном размере)

представляет собой сборку большого количества (несколько миллионов) канальных электронных умножителей [3, 4].

В детекторе на основе МКП использовались следующие блоки электроники:

- 1) предусилитель 1 ГГц (ORTEC 9306, preamplifier, PF);
- 2) высоковольтный источник питания (ORTEC 556, HIGH VOLTAGE POWER SUPPLY);
- 3) дискриминатор (ORTEC 935, QUAD Constant Fraction Discriminator-200 MHz, CFD);
- 4) время-амплитудный преобразователь (ORTEC 566, Time-to-Amplitude converter, TAC).

Сигналы стартового МКП-детектора и стопового детектора после прохождения PF (предусилителя) поступают на CFD (дискриминатор). Далее сигналы поступают на TAC (время-амплитудный преобразователь) «Start» и «Stop», а в дальнейшем выходной сигнал идет на ADC (аналого-цифровой преобразователь). Данные, полученные со всех модулей, передаются в систему накопления информации (DAQ) и последовательно через USB — в программное обеспечение. Компьютер ПК, связанный с КК-интерфейсом, производит запись событий и позволяет накапливать события с последующим отбором согласно приведенной выше логике. Полученные результаты в виде бинарных файлов могут быть использованы для дальнейшего анализа и обработки данных. На рис. 4 представлена электронная блок-схема от поступления сигнала до системы набора данных.

Были проведены также измерения на прямом пучке  $^{51}\text{V}$  с энергией  $E_K = 1,2$  МэВ/нуклон на ускорительном комплексе ИЦ-100 (рис. 5 и 6). Данное значение энергии является расчетным и может немного отличаться от реального значения энергии ускоренных ионов.

Ускоритель позволяет получать пучки от неона ( $^{22}\text{Ne}^{4+}$ ) до ксенона ( $^{132}\text{Xe}^{24+}$ ) с фиксированной энергией около 1,2 МэВ/нуклон при ускорении на 4-й гармонике высокочастотной (ВЧ) системы и около 0,6 МэВ/нуклон при ускорении на 6-й гармонике ВЧ [7].

Длина времяпролетной базы установки составила  $L = 280$  мм, а время пролета частицей этого расстояния —  $t = 20$  нс.

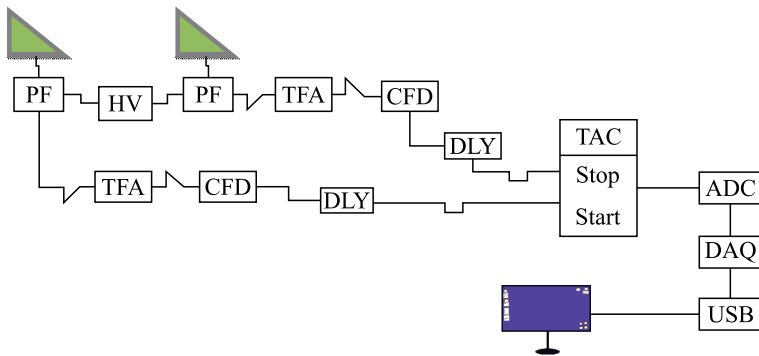


Рис. 4. Блок-схема электроники

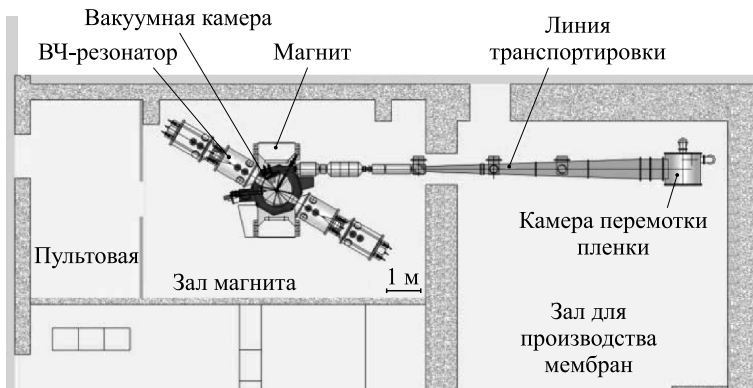


Рис. 5. Ускорительный комплекс ИЦ-100 [8]

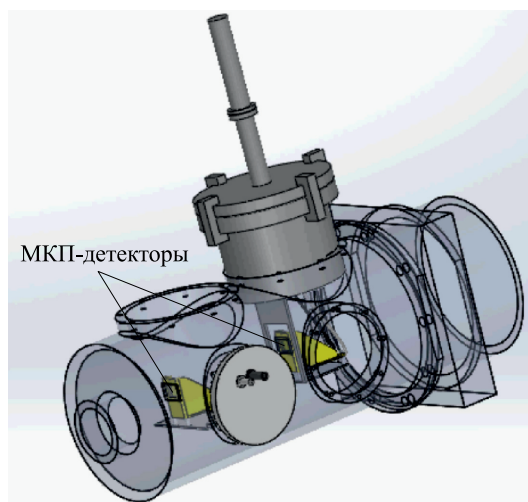


Рис. 6. Расположение детекторов

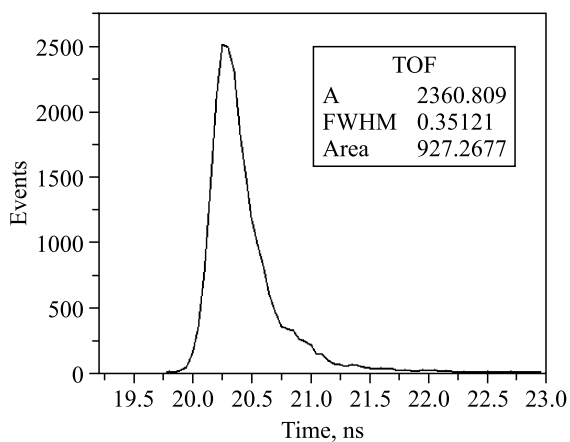


Рис. 7. Временное распределение (данные с ИЦ-100)

Полученные в результате измерений данные демонстрируют высокое временное разрешение ( $\Delta t = 350$  пс) для  $^{51}\text{V}$ . Кинетическая энергия частицы согласно формуле (1) составила  $E_K = 1,04$  МэВ/нуклон. При этом различие значений энергии прямого пучка и энергии, измеренной при помощи МКП-детектора, заключается, вероятнее всего, в том, что это был первый опыт ускорения ионов  $^{51}\text{V}$  на данном циклотроне, и допустимы погрешности при подборе оптимального режима ускорения пучка. На рис. 7 показано временное распределение.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РАБОТЫ

При довольно высоких требованиях к регистрирующей аппаратуре был выбран метод времени пролета для определения энергии частиц. Для проведения тестовых измерений была создана соответствующая система, получены первые тестовые данные.

Были проведены исследования на ускорительном комплексе ИЦ-100. Полученные результаты демонстрируют высокое временное разрешение для идентификации частиц. Результаты подобных исследований имеют практическое значение для современных ядерно-физических измерений. В частности, планируется использование данного электронного оборудования как части системы сбора данных ядерно-физической установки МАВР (магнитный анализ высокого разрешения) [6].

Авторы выражают благодарность профессору Ю. Э. Пенионжкевичу, В. А. Скуратову и группе эксплуатации циклотрона ИЦ-100 за получение качественных пучков тяжелых ионов.

Данная работа выполнена в рамках проекта РНФ 12-01170 и поддержана грантом полномочного представителя правительства Республики Казахстан в ОИЯИ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пенионжкевич Ю. Э. Физика экзотических ядер // Соросовский образовательный журн. 1995. № 1. С. 92.
2. Рыбаков Б. В., Сидоров В. А. Спектрометрия быстрых нейтронов. Прил. № 1 к журн. «Атомная энергия». М.: Атомиздат, 1958.

3. *Веников Н. И., Чумаков Н. И.* Применение метода времени пролета для измерения зависимости пробег–энергия для ионов  $^3\text{He}$  в алюминии при энергии 18–38 МэВ // АЭ. 1964. Т. 17, вып. 6. С. 503–504.
4. *Козулин Э. М., Богачев А. А., Иткис М. Г., Иткис Ю. М., Княжева Г. Н., Кондратьев Н. А., Крупа Л., Покровский И. В., Прохорова Е. В.* Времяпролетный спектрометр CORSET для измерения бинарных продуктов 9 ядерных реакций // ПТЭ. 2008. Т. 51, № 1. С. 44–58.
5. *Дмитриев В. Д., Лукьянов С. М., Пенионжкевич Ю. Э., Самтаров Д. К.* Микроканальные пластины в экспериментальной ядерной физике // ПТЭ. 1982. № 2. С. 7–18.
6. *Voskoboynik E. I., Kazacha V. I., Kolesov I. V., Lukyanov S. M., Maslov V. A., Melnikov V. N., Osipov N. F., Penionzhkevich Yu. E., Skobelev N. K., Sobolev Yu. G.* High-Resolution Magnetic Analyzer MAVR // JINR Commun. E13-2013-1. Dubna, 2013.
7. *Гикал Б. Н. и др.* Ускорительный комплекс ИЦ-100 для проведения научно-прикладных исследований // Письма в ЭЧАЯ. 2008. Т. 5, № 1(143). С. 59–85.

Получено 19 июля 2019 г.