

# Двухплечевой времяпролетный спектрометр осколков деления установки МАВР

Д. Азнабаев, А. В. Шахов, С.М. Лукьянов, К. Мендибаев, Т. Исатаев, В. И. Смирнов

Работа была выполнена в коллаборации ОИЯИ (Россия) – ИЯФ (Казахстан) - GANIL (Франция)

В рамках изучения времяпролетного метода как одного из методов определения энергии частицы была создана времяпролетная система и получены первые тестовые данные, в полной мере демонстрирующие ее эффективную работу. В качестве стартового детектора в работе был использован МКП-детектор. Установка располагается на канале выведенного пучка циклотрона У-400 Лаборатории Ядерных Реакций ОИЯИ. В данной работе представлены результаты измерения параметров времяпролетного спектрометра, полученные на основе измерения осколков спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$ , а также результаты измерения продуктов в реакции  $^{48}\text{Ca}+^{238}\text{U}$ .

## Времяпролетный метод

Метод заключается в определении энергии частицы  $E_k$  по времени пролета  $t$ , которое она затратит на преодоление фиксированного расстояния  $L$ .

$$E_k = E_0 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right)$$

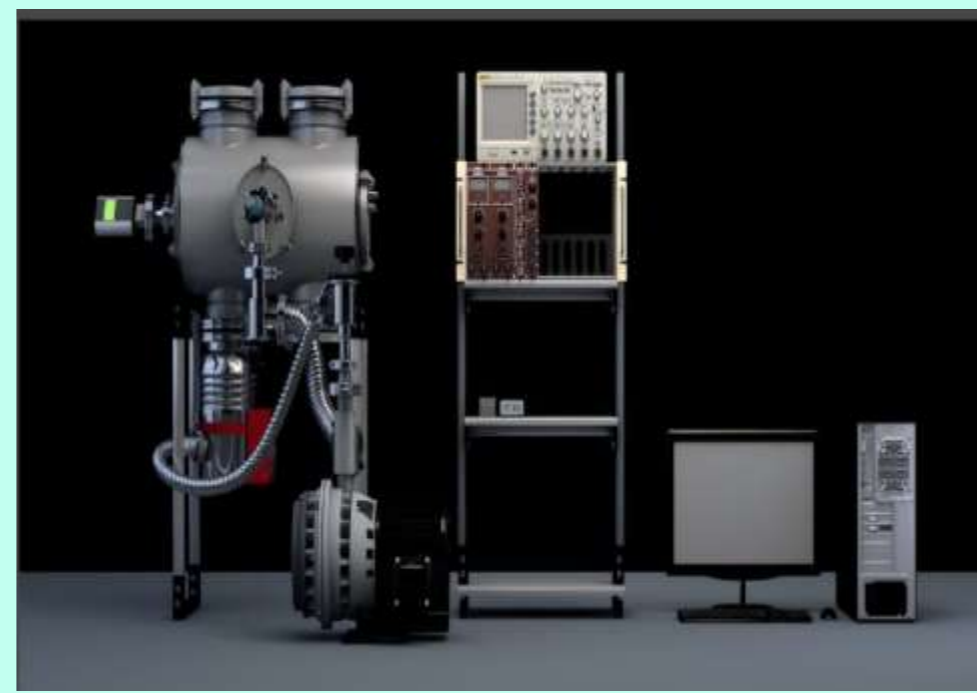
## Принцип работы МКП-детектора

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 электроны разворачиваются на 90 градусов и после этого попадают на сборку МКП.

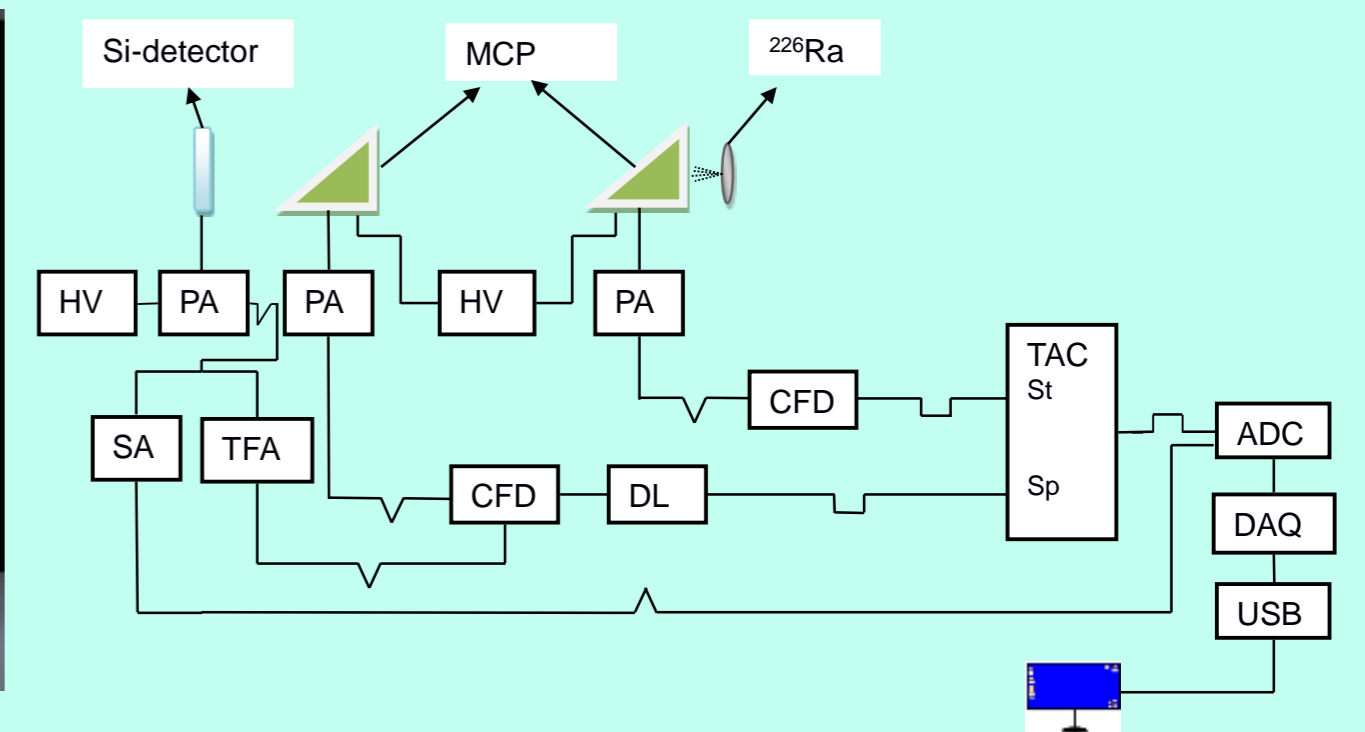
## Схема работы МКП-детектора



## Времяпролетная система

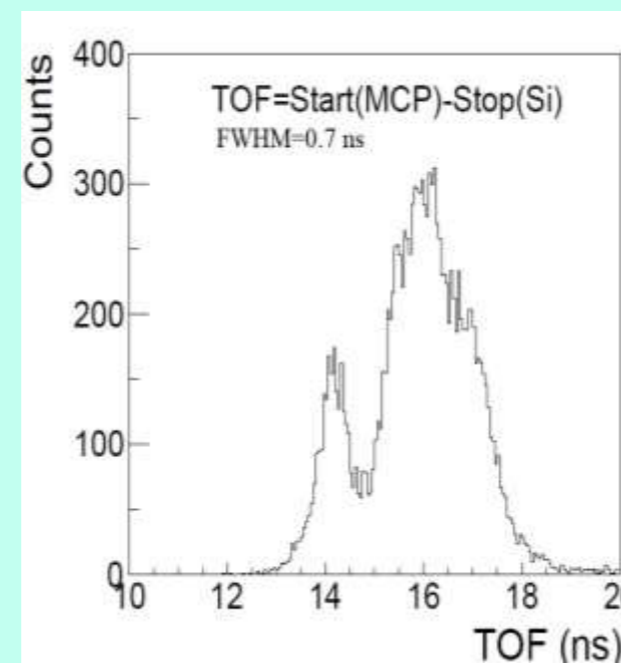
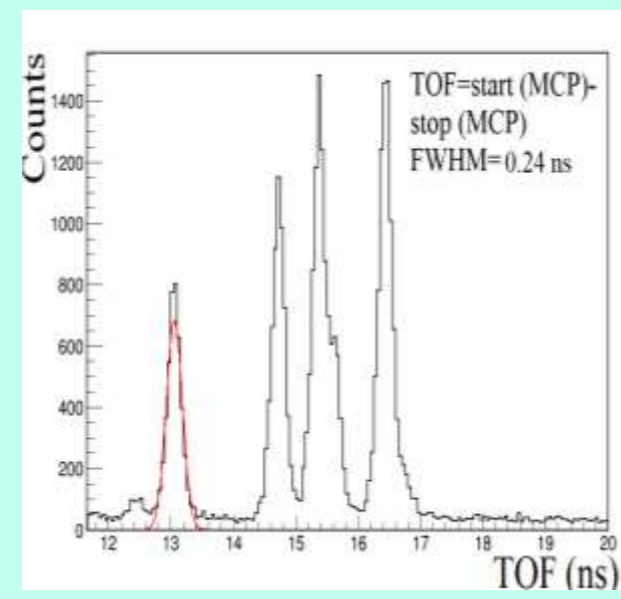


## Блок-схема электроники



## Результаты тестовых испытаний системы

Для проверки работоспособности и измерения времени пролета частиц с помощью МКП-детектора был выбран радиоактивный источник  $^{226}\text{Ra}$ , который испускает альфа-частицы с известными значениями энергий. Используемая времяпролетная система включала в себя стартовый и стоповый детекторы. Расстояние  $l$  между двумя детекторами было установлено 200 мм. В работе оценивались различные способы измерения времени пролета:



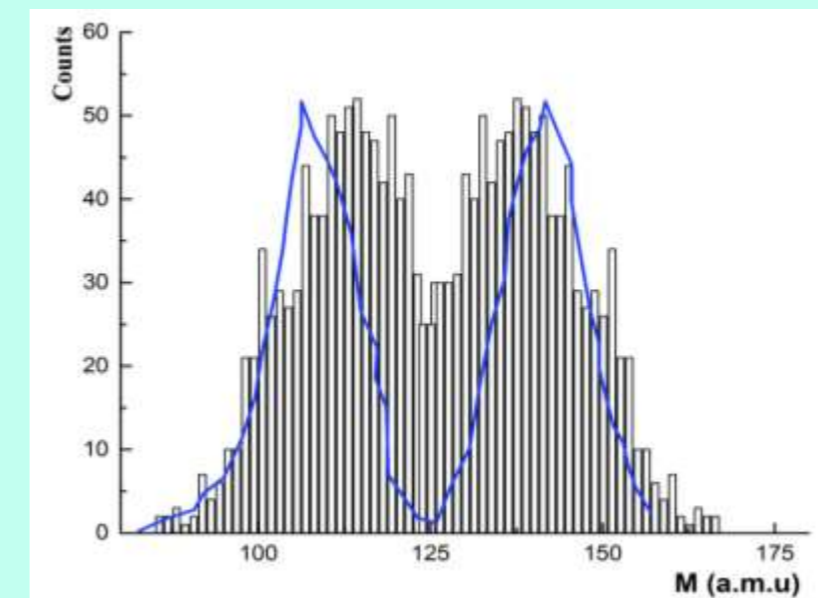
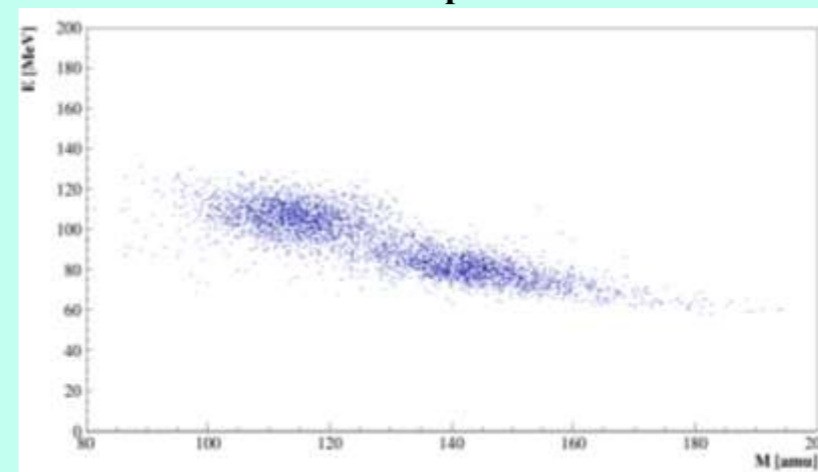
Измерялись также осколки спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$ . Из измеренных значений скоростей и энергий  $E_l = 105,33$  МэВ и  $E_h = 80,7$  МэВ осколков деления  $^{252}\text{Cf}$  были получены массовые распределения согласно формулам:

$$M_{l,h} = M_f \frac{t_{h,l}/t_{h,l}}{(t_l/t_l + t_h/t_h)}$$

$$TKE = \frac{M_f v_h v_l}{2}$$

где  $M_l$  и  $M_h$  - массы легкого и тяжелого осколков,  $t_l$  и  $t_h$  - время пролета легкого и тяжелого осколков расстояния  $l_l$  и  $l_h$  соответственно, а TKE - полная кинетическая энергия

## Диаграмма выходов продуктов деления $^{252}\text{Cf}$ от их энергии и массы

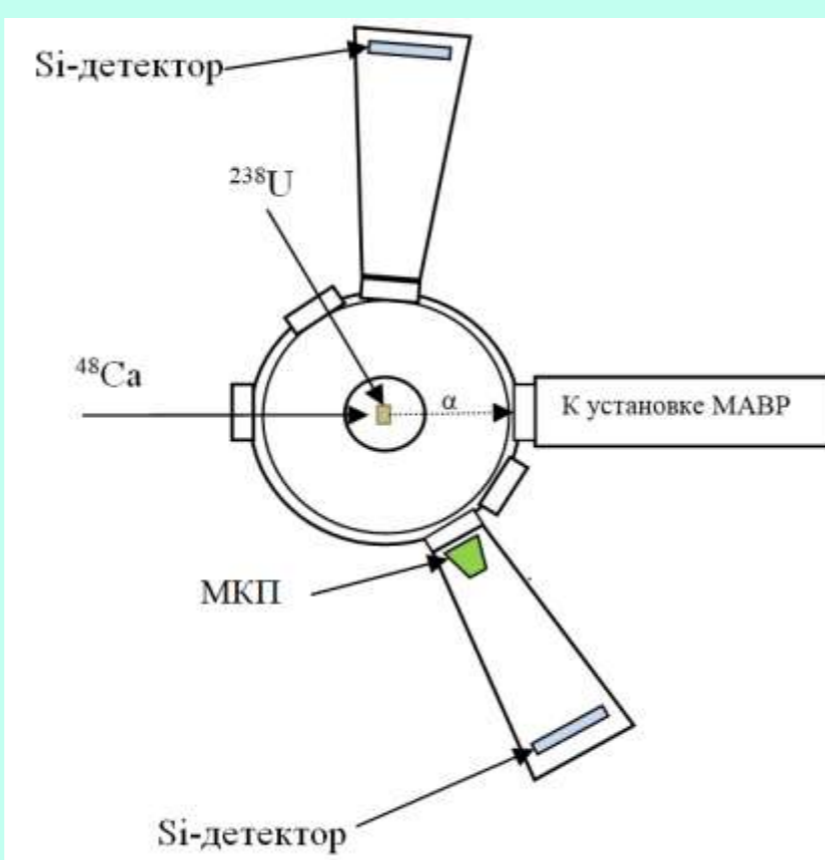


Для проверки времяпролетного спектрометра и измерения его характеристик измерялись также осколки спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$ . Основным видом распада  $^{252}\text{Cf}$  является  $\alpha$ -распад, довольно высок вклад и конкурирующего с ним спонтанного деления - 3.08%

Массовое распределение осколков деления  $^{252}\text{Cf}$ : гистограммой на графике отмечены экспериментальные данные:  $M_l = 116$  а.е.м.,  $M_h = 140$  а.е.м. синей линией - результаты массового распределения из работы [11]  $M_l = 108$  а.е.м., Масса тяжелого осколка  $M_h = 143,4$  а.е.м

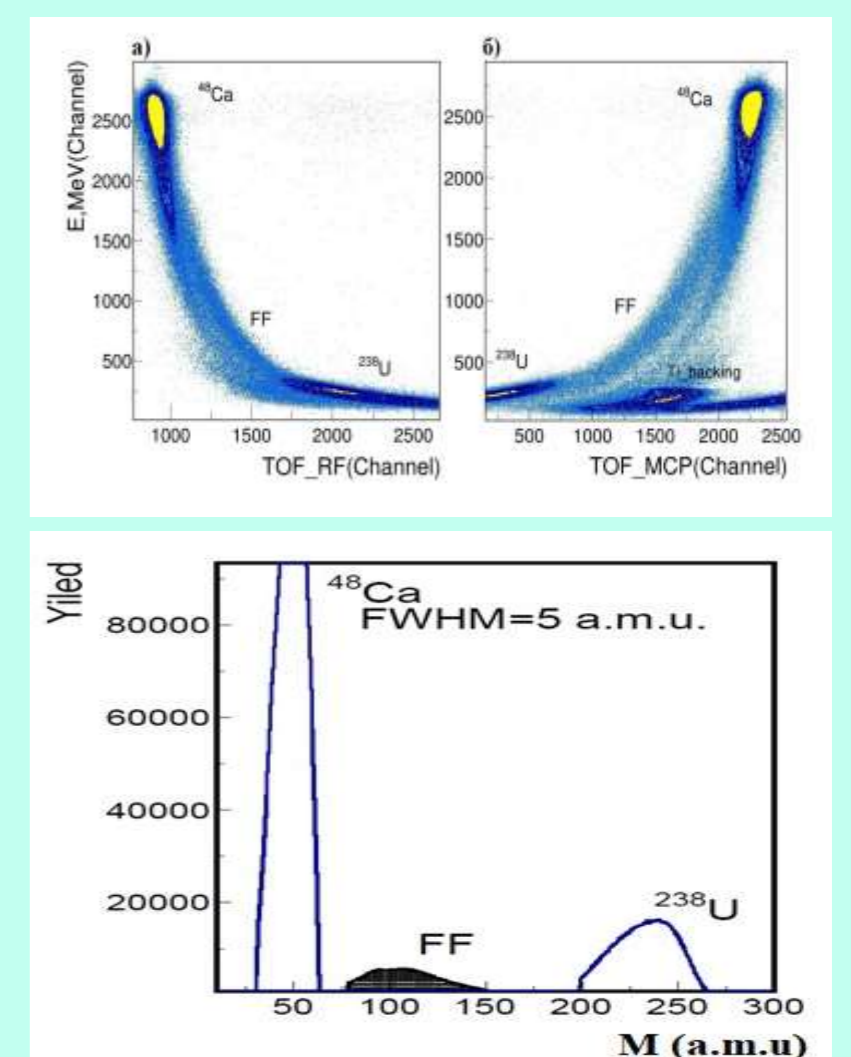
## Измерение осколков вынужденного деления в реакции с пучком ионов $^{48}\text{Ca}$

Эксперимент проводился на пучках ионов  $^{48}\text{Ca}$  с энергией 310 МэВ на установке МАВР ЛЯР ОИЯИ. Продукты реакции были зарегистрированы двумя времяпролетными системами. Первая времяпролетная система включает в себя МКП-детектор размером - 33 мм, и Si-детектор толщиной - 300 мкр и размером - 55x55 мм<sup>2</sup>. Вторая система представлена высокочастотным генератором ускорителя и Si-детектором. После взаимодействия пучка ионов  $^{48}\text{Ca}$  с мишенью  $^{238}\text{U}$ , осколочно-подобные продукты и упруго рассеянные ионы регистрируются с помощью времяпролетных плеч. Другие продукты, вылетевшие под передним регистрируются детекторами, размещенными в фокальной плоскости магнитного анализатора МАВР (МСП-144).



Для обеих систем видно хорошее разделение продуктов упругого рассеяния и осколков вынужденного деления FF. Однако, во втором случае (рис. б) видно лучшее разделение продуктов реакции по их каналам: FF (fission fragments) - осколки деления,  $^{48}\text{Ca}$  - упругое рассеяние пучка,  $^{238}\text{U}$  - упругое рассеяние урана. Лучшее временное разрешение в случае измерения с помощью детектора на основе МКП позволяет хорошо выделить область осколков деления, отдельно от квазиупругих и упругих каналов.

На основе измеренных значений времени пролета и энергий проводились вычисления масс зарегистрированных продуктов. На рисунке представлено массовое распределение продуктов реакции  $^{48}\text{Ca}+^{238}\text{U}$ . Область, соответствующая осколкам деления выделена довольно ярко. Разрешение упруго рассеянных ионов  $^{48}\text{Ca}$  получено с точностью FWHM=5 а.е.м.



## Вывод

В данной работе был продемонстрирован метод исследования деления ядер, основанный на измерении времени пролета осколков деления при помощи созданного нами времяпролетного спектрометра. На основе измерения осколков спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$ , а также измерения продуктов деления в реакции  $^{48}\text{Ca}+^{238}\text{U}$  были измерены параметры времяпролетного спектрометра, получено массовое распределение продуктов реакции.

Созданная времяпролетная система позволяет проводить корреляционные измерения осколков деления с частицами, зарегистрированными в фокальной плоскости магнитного спектрометра МАВР. Другое назначение описанной системы - регистрировать упруго рассеянные ионы, что используется как мониторинговая система качества и состава пучка, попадающего на мишень установки МАВР. Это позволяет измерять энергию ионов пучка, интегральный поток частиц, прошедших через мишень.

## Список литературы

1. Калтакчиева Р., Пенюжжеевич Ю.Э. Сильноизбыточные изотопы легких элементов // Физика Элементарных Частиц и Атомного Ядра 1998, Т.29, вып.4.
2. Пенюжжеевич Ю.Э. Физика экзотических ядер // Соросовский Образовательный Журнал. 1995. № 1. С. 92.
3. Пенюжжеевич Ю.Э., Калтакчиева Р.Г. Легкие ядра у границы нейтронной стабильности //
4. Рыбаков Б.В., Сидоров В.А. Спектрометрия быстрых нейтронов // Прил. № 1 к журналу «Атомная энергия», М., Атомиздат, 1958.
5. Венчиков Н.И., Чураков Н.И. Применение 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.
6. Гаскель Ю.П., Марков Б.Н., Перельгин В.П. Регистрация и спектрометрия осколков деления // - 2-е изд., перераб. -М.: Энергоатомиздат, 1992. - 312 с. -ШЫНТ 5-283-03972-2.
7. Тер-Акопян Г. М., et al. Экспериментальные методы исследования спонтанного и низкоэнергетического деления ядер // ЭЧАЯ. 1997 Т.28. № 6
8. Дмитриев В.Д., Лукьянов С.М., Пенюжжеевич Ю.Э., Самтаров Д.К. Микроканальные пластины в экспериментальной ядерной физике // ПТЭ. 1982. №2. с.7-18.
9. Азнабаев Д., Смирнов В. И., Исатаев А., Мендибаев К., Исатаев Т. Измерение времени пролета заряженных частиц временным детектором на основе МКП для установки МАВР // Письма в ЭЧАЯ. 2019. Т. 16, № 6(225). С.620-626 .
10. Козулин Э. М., Бозачев А. А., Иткис М. Г., Иткис Ю. М., Кияжева Г. Н., Кондратьев Н. А., Крупа Л., Покровский И. В., Прохорова Е. В. Времяпролетный спектрометр CORSET для измерения бинарных продуктов ядерных реакций // Приборы и Техника Эксперимента. 2008. Т.51, №1. С.44
11. David P., Debrus J., Lobke F., Mommsen H., Schoenmackers R. Total kinetic energies and mass yield distributions of  $^{252}\text{Cf}$  fission fragments // Physics Letters. 1976. Volume 60B, Number 5.