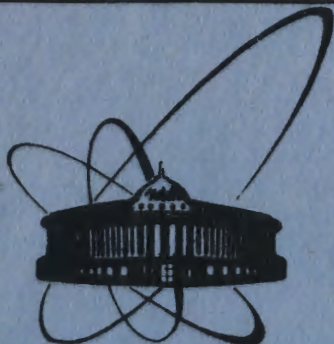


12/11-84



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1355/84

13-83-903

Р.Л.Кавалов*, С.М.Лукьянов, Ю.Л.Маргарян*,
Ю.Э.Пенионжкевич, Г.Г.Чубарян*

ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР
ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
НА ОСНОВЕ ДЕТЕКТОРОВ
С РЫХЛЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭМИТТЕРОМ

Направлено в журнал
"Приборы и техника эксперимента"

* Ереванский физический институт

1983

На современном этапе развития экспериментальной ядерной физики электронные методы регистрации и идентификации продуктов ядерных реакций занимают особое место, так как позволяют выделить каналы реакций и получить информацию об изучаемой реакции непосредственно в процессе эксперимента. Одним из них является времяпролетный метод разделения частиц, основанный на одновременном измерении скорости и энергии регистрируемой частицы. Перспективность метода, позволяющего с точностью до одной массовой единицы определить массу продуктов реакции независимо от их зарядового состава, стимулировала создание новых типов быстрых детекторов с использованием микроканальных пластин /МКП/ /1÷3/.

Принцип работы детекторов основан на процессе вторичной электронной эмиссии из тонких пленок-эмиттеров, а МКП применяются в качестве усилителя вторичного тока, образованного в цепи эмиттера при прохождении регистрируемой частицы. Применение в таких детекторах эмиттеров вторичных электронов из углеродных и коллодиевых /тринитроцеллюлоза/ пленок позволило с высокой эффективностью регистрировать и идентифицировать осколки деления /4/. Однако в случае регистрации легких ядер или высокоэнергичных продуктов реакции эти детекторы малоэффективны из-за низкого коэффициента электронной эмиссии применяемых эмиттеров. Использование рыхлых диэлектрических эмиттеров управляемой вторичной электронной эмиссии /УВЭЭ/ /5,6/ значительно увеличило рабочий диапазон детекторов вследствие того, что коэффициент вторичной электронной эмиссии из рыхлых диэлектриков, находящихся в электрическом поле, более чем в 10^2 раз выше, чем у обычных эмиттеров. Как показано в /7/, амплитуда сигнала от детектора с рыхлым диэлектрическим эмиттером при регистрации α -частиц с энергией 5,5 МэВ, в 10 раз превышала амплитуду сигнала в случае коллодиевого эмиттера, а эффективность регистрации тех же частиц соответственно составляла 100% вместо 20%.

В настоящей работе описывается времяпролетный спектрометр на основе детекторов с рыхлым диэлектрическим эмиттером, испытанный на ускорителе тяжелых ионов У-300 ЛЯР ОИЯИ для измерения энергии и энергетического разброса пучка ионов. Очевидно, что при известной массе регистрируемой частицы времяпролетным методом, можно с хорошей точностью измерить ее энергию.

Диагностика пучков всегда занимала особое место в ускорительной технике. На ускорителях тяжелых ионов измерение энергии пучков в основном проводилось с помощью полупроводниковых детекторов /ППД/. Однако данный метод имеет ряд недостатков, обусловленных относительно плохим энергетическим разрешением ППД для

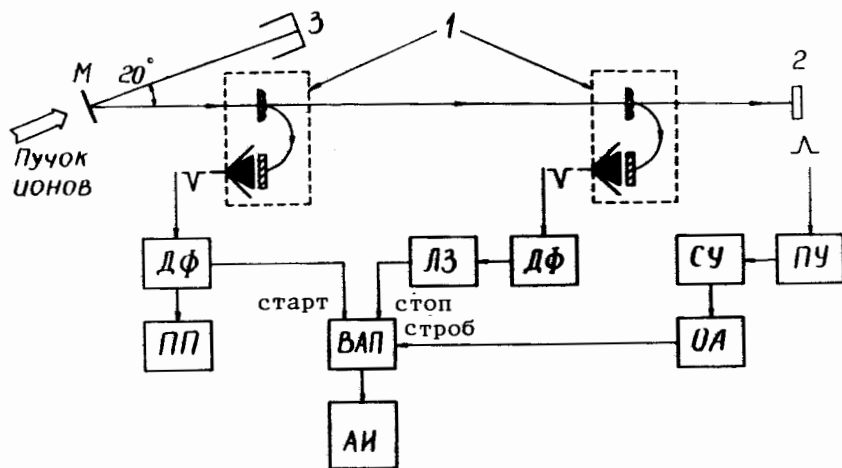


Рис.1. Схематический вид времяпролетного спектрометра и блок-схемы электронной аппаратуры: 1 - временные детекторы, 2 - поверхностно-барьерный Si(Au)-детектор, 3 - цилиндр Фарадея, М - мишень ^{209}Bi , ДФ - дискриминатор-формирователь со следящим порогом, ЛЗ - линия задержки, ВАП - времяамплитудный преобразователь, АИ - многоканальный анализатор импульсов "TRIDAC", ПП - пересчетный прибор, ПУ, СУ - предусилитель и спектрометрический усилитель, ОА - одноканальный анализатор. Длина пролетной базы $l = 47$ см.

тяжелых ионов высоких энергий / $\Delta E/E \geq 5\%$ / и неопределенностью в калибровке, связанной с амплитудным дефектом. С этой точки зрения более достоверным, на наш взгляд, является времяпролетный метод измерения энергии и энергетического разброса пучков тяжелых ионов.

Схематическое изображение времяпролетного спектрометра и блок-схемы электронной аппаратуры приведено на рис.1. Спектрометр состоит из двух идентичных детекторов с рыхлым диэлектрическим эмиттером, помещенных в вакуумном объеме с рабочим вакуумом 10^{-5} Тор. Конструкция этих детекторов подробно описана в [7]. В качестве эмиттера вторичных электронов использовались слои MgO с относительной плотностью $\rho/\rho_0 \approx 0,6$ / $\rho_0 = 3,65$ г/см², плотность монокристалла MgO /, толщиной 100 мкг/см², диаметром рабочей площади 20 мм. Эмиттированные из слоя вторичные электроны изохронно поворачиваются на 180° однородным магнитным полем и регистрируются шевронной сборкой из двух МКП. Быстрый сигнал с МКП снимался с помощью коаксиального анода с волновым сопротивлением 50 Ом. До начала работы

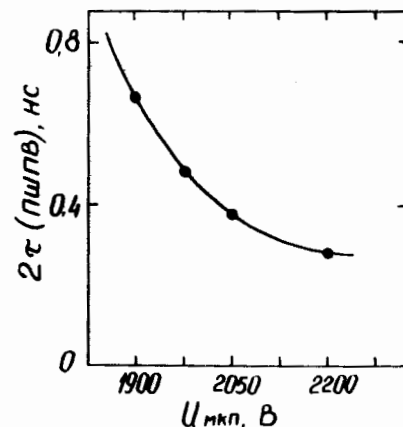


Рис.2. Зависимость временного разрешения спектрометра от напряжения питания сборки МКП детекторов. 2τ - полная ширина на полувысоте кривой задержанных совпадений.

на пучке ионов проводились предварительные исследования временного разрешения спектрометра при облучении α -частицами с энергией 5,48 МэВ от источника ^{241}Am . Было обнаружено, что временное разрешение детекторов достаточно сильно зависит от напряжения питания сборки МКП /рис.2/. Во время измерений на обоих детекторах устанавливалось одинаковое напряжение. Как видно, с увеличением $U_{\text{МКП}}$ от 1900 до 2200 В временное разрешение более чем в два раза улучшается, при дальнейшем увеличении напряжения оно существенно не меняется. Этот факт объясняется двумя обстоятельствами: во-первых, увеличивается скорость развития электронной лавины в МКП и время нарастания сигнала уменьшается, во-вторых, увеличивается амплитуда сигнала и соответственно уменьшаются амплитудные флуктуации за счет насыщения МКП, что приводит к уменьшению временной дисперсии при дискриминации сигнала дискриминатором со следящим порогом. Типичное временное разрешение спектрометра для α -частиц с энергией 5,48 МэВ составило $2\tau = 0,25$ нс /рис.3/, при этом разрешение электронного тракта было $\sim 0,12$ нс.

На циклотроне У-300 времяпролетным спектрометром проведено измерение упруго рассеянных под углом 20° ионов ^{132}Xe на мишени ^{209}Bi толщиной ~ 50 мкг/см², нанесенной на углеродную подложку толщиной ~ 30 мкг/см².

Выведенный пучок ионов ^{132}Xe после коллимации, при прохождении через мишень мониторировался цилиндром Фарадея. Измерение времени пролета упруго рассеянных ионов проводилось по блок-схеме, приведенной на рис.1. Сигналы от временных детекторов после формирования в дискриминаторах со следящим порогом поступали на входы "Старт" и "Стоп" времяамплитудного преобразователя /ВАП/, который управлялся сигналом от ППД для исключения фоновых и случайных совпадений.

Для определения точности измерения энергии ионов измерялось временное разрешение спектрометра для ионов ^{132}Xe по следующей схеме: порогами одноканального анализатора /ОА/, которым управлялся ВАП, вырезалась узкая полоса энергетического спектра пучка, измеряемого ППД, чем обеспечивалась достаточная монохроматичность регистрируемых частиц. Таким образом, измеренное разрешение спектрометра составляло 0,5 нс /рис.4а/, и это зна-

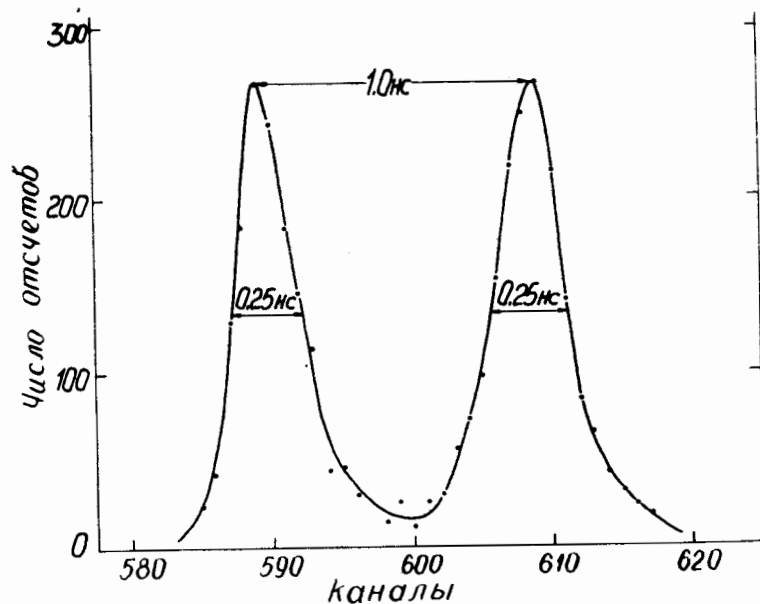


Рис.3. Кривые задержанных совпадений с задержкой в 1 нс при регистрации спектрометром α -частиц с энергией 5,48 МэВ. $U_{\text{МКП}} = 2200$ В на обоих детекторах. Цена канала 0,05 нс.

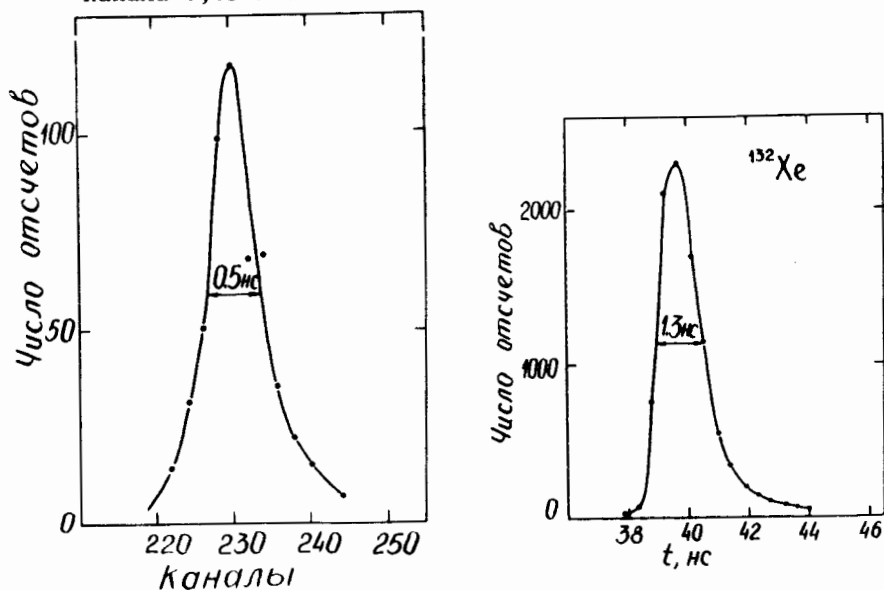


Рис.4. а/ Кривая задержанных совпадений при регистрации монохроматизированных ионов ^{132}Xe , цена канала 0,085 нс; б/ времяпролетный спектр упруго рассеянных ионов ^{132}Xe .

чение не уменьшалось при дальнейшем сужении окна ОА, т.е. полученное значение есть собственное временное разрешение спектрометра. Такое разрешение получено при напряжении питания сборки МКП для обоих детекторов 1850 В /согласно кривой рис.2, с увеличением $U_{\text{МКП}}$ возможно улучшение полученного разрешения/, средняя амплитуда сигналов от детекторов в этом режиме составляла ~ 7 В. Кроме того, полученное разрешение 0,5 нс обеспечивало достаточную точность измерения энергии пучка ^{132}Xe .

Проверка линейности всей аппаратуры и определение цены канала анализатора в единицах нс проводились с помощью калиброванной линии задержки. Далее, для определения абсолютного времени пролета, сигнал от стартового детектора раздваивался и подавался на ВАП через каналы "Старт" и "Стоп" без каких-либо изменений в электронных трактах. Этим способом /он применим для идентичных детекторов/ определялся номер канала анализатора, соответствующий абсолютной нулевой задержке.

Спектр времени пролета упруго рассеянных ионов Хе приведен на рис.5. Измерение проводилось при открытом окне ОА. Полученное среднее время пролета ^{132}Xe составляет 39,7 нс, что соответствует энергии 96,8 МэВ. С учетом энергетических потерь частицы в мишени / ~ 3 МэВ/ и в слое MgO стартового детектора / ~ 6 МэВ/ /9/ получаем энергию упруго рассеянных под углом 20° ионов ^{132}Xe при энергии $E = 106$ МэВ, что соответствует энергии первичного пучка 115 МэВ. Это значение энергии хорошо согласуется, в пределах ошибок измерений, с расчетным значением энергии пучка $^{132}\text{Xe}^{8+}$ по циклотронной формуле Лоуренса /10/.

Временной разброс пучка с учетом разрешения спектрометра составляет $\Delta t / \pm 1,6\%$, откуда энергетический разброс получается $\Delta E / E \approx \pm 3,2\%$. Однако в это значение $\Delta E / E$ входят дополнительные флуктуации, внесенные мишенью / $\sim 2\%$ / и угловым акцептансом спектрометра / $\sim 0,6\%$ /. С учетом этих двух факторов собственное энергетическое разрешение пучка $^{132}\text{Xe}^{8+}$ получается $\Delta E / E \approx \pm 1,2\%$.

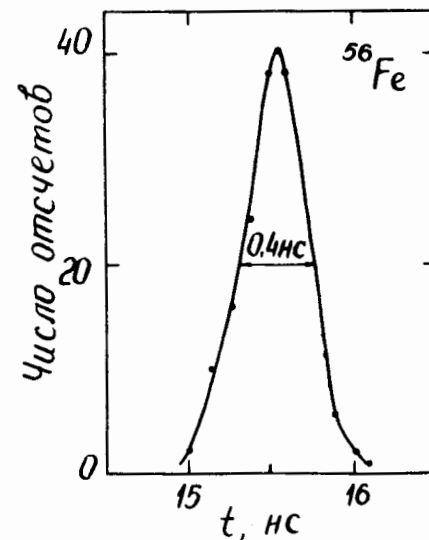
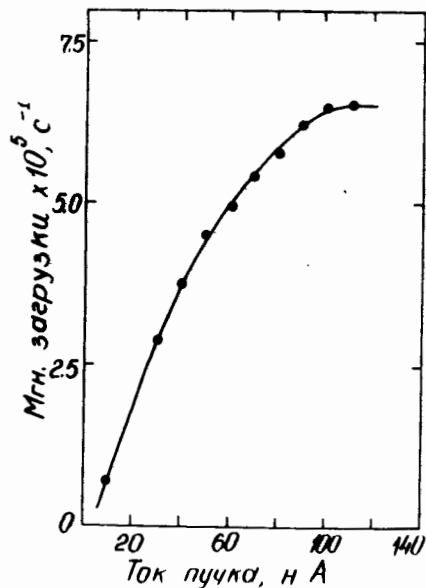


Рис.5. Времяпролетный спектр упруго рассеянных ионов ^{56}Fe .

Рис.6. Зависимость скорости счета детектора с эмиттером MgO от интенсивности пучка ионов ^{132}Xe .



Описанный времяпролетный спектрометр создан при установке ЛЯР "ДЭМАС" на ускорителе У-300 и позволяет осуществлять контроль над энергией и ее разбросом непосредственно во время эксперимента. Так, во время эксперимента была измерена энергия пучков ионов $^{56}\text{Fe}^{+8}$ /рис.5/. Определяемая из спектра рис.5 энергия упруго рассеянных ионов ^{56}Fe составляла $E \approx 283$ МэВ.

Временное разрешение спектрометра при напряжении $U_{\text{МКП}} = 2200$ В, как было показано на рис.2, составляло $2\tau \approx 0,25$ нс, следовательно, точность измерения энергии ионов в этом случае была $\sigma/E \approx \pm 1,6\%$. Разброс энергии пучка с учетом собственного разрешения спектрометра получается $\Delta E/E \leq \pm 2\%$. Здесь не учтены флуктуации, внесенные мишенью и угловым аксептансом установки.

Вышеописанные измерения проводились при пролетной базе $l = 47$ см, увеличение которой в несколько раз улучшает разрешающую способность спектрометра.

Исследовалось также мертвое время детекторов, знание которого особенно важно при работе с интенсивными пучками ускорителя. На рис.6 приведена зависимость скорости счета стартового детектора от интенсивности пучка Хе. По оси ординат отложена скорость счета, измеренная пересчетным прибором /ПП/, с учетом мгновенных загрузок банчевой структуры пучка У-300. Ток пучка измерялся цилиндром Фарадея /см.рис.1/. Как видно из рис.6, с увеличением тока пучка загрузка счетчика приблизительно линейно растет, и при значениях 600-650 Гц наступает насыщение, чем и определяется мертвое время счетчика $\tau_M \approx 1,5$ мс /при этом число собственных шумов детектора $< 0,1$ с⁻¹/. Полученное значение мертвого времени для данных детекторов не является его типичной характеристикой, так как оно зависит также от ионизирующей способности налетающей частицы, и можно предположить, что при регистрации более легких частиц мертвое время детектора

будет меньше, чем 1,5 мкс. Однако такое утверждение нуждается в детальной проверке.

Авторы выражают глубокую благодарность Г.Н.Флерову, А.Ц.Аматуни, Г.А.Вартапетяну, Ю.Ц.Оганесяну за поддержку и постоянный интерес к работе, Г.А.Папяну за помощь в работе, а также Р.Г.Навасардяна и А.Л.Есиной за помощь при оформлении работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zebelman A.M. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1977, vol.141, p.439.
2. Busch F. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1980, vol.171, p.71.
3. Дмитриев В.Д. и др. ОИЯИ, 7-12290, Дубна, 1979.
4. Дмитриев В.Д. и др. ОИЯИ, 7-13006, Дубна, 1980.
5. Lorikian M.P., Kavalov R.L., Trofimtchok N.N. Nucl.Instr. and Meth., 1974, vol.122, p.377.
6. Арванов А.Н. и др. Радиотехника и электроника, 1982, т.27, № 1, с.163.
7. Кавалов Р.Л. и др. ОИЯИ, 13-83-188, Дубна, 1983.
8. Зодан Х и др. ОИЯИ, P7-10671, Дубна, 1977.
9. Northcliff L.C., Schilling R.F. Nuclear Data Tables, 1970, A7, p.233-463.
10. Арцимович Л.А., Лукьянов С.М. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. "Наука", М., 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 декабря 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Кавалов Р.Л. и др. 13-83-903
Времяпролетный спектрометр тяжелых ионов
на основе детекторов с рыхлым диэлектрическим эмиттером

Описывается времяпролетный спектрометр на основе двух детекторов с рыхлым диэлектрическим эмиттером. Спектрометр испытан на выведенном пучке циклотрона У-300 при измерении энергии и энергетического разброса пучка. Получено временное разрешение спектрометра $\Delta t = 0,250$ нс, мертвое время которого для ионов ^{132}Xe с энергией 1 МэВ/нуклон составило 1,5 мкс.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1983

Kavalov R.L. et al. 13-83-903
Heavy Ion Time-of-Flight Spectrometer
on the Base of Detectors with a Friable Dielectric Emitter

Time-of-flight spectrometer on the base of two detectors with a friable dielectric emitter is described. The spectrometer is tested on the extracted beam of U-300 cyclotron at energy measurement and beam energy spread. Spectrometer time resolution is determined as $\Delta t = 0.250$ ns, its dead time for ^{132}Xe ions having 1 MeV/nucleon energy was 1.5 mks.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой