

Л-44

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



25/41-78

5664/2-78

P13 - 11766

Д.Леманн, Г.Мюллер, Н.А.Невская, Г.Щорнак

АППАРАТУРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА ЛИНИИ С ЭВМ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ЭНЕРГИИ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗБРОСА
УСКОРЕННЫХ НА УТИ ИОНОВ

1978

P13 - 11766

Д.Леманн, Г.Мюллер, Н.А.Невская, Г.Щорнак

АППАРАТУРА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
НА ЛИНИИ С ЭВМ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ЭНЕРГИИ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗБРОСА
УСКОРЕННЫХ НА УТИ ИОНОВ

*Направлено в "Wissensch. Zeitschrift der Technischen Universität
Dresden"*

Леманн Д. и др.

P13 - 11766

Аппаратура для экспериментов на линии с ЭВМ по измерению энергии и энергетического разброса ускоренных на УТИ ионов

Описана аппаратура для определения энергии и энергетического разброса ускоренных на УТИ тяжелых ионов путем измерения времени пролета и расширения полуширины импульсов ионов. Сигналы, полученные с двух захватывающих мониторов, сканируются стробоскопическим осциллографом и передаются в цифровом виде в ЭВМ для дальнейшей обработки и получения нужной информации для управления измерительным процессом.

Ожидаемая точность измерения энергии и энергетического разброса в области энергии до 10 МэВ/нукл. меньше или равна 1% и меньше или равна 7%, соответственно.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Lehmann D, et al.

P13 - 11766

Equipment for Computer Controlled Measurement of the Energy and the Energetic Spread of the Dubna ERA Heavy Ion Beam

An equipment for measuring the energy and energetic spread of the JINR ERA heavy ion beam is described. The experiment bases on a T-o-F method, taking into account the FWHM spreading of bursts, additionally. The signals generated by means of high time resolution monitors are scanned by a sampling scope, digitalized and transferred to a small computer to analyse data and obtain information to control the measuring process.

Accuracy of measurement in an energy range up to 10 MeV/nucleon is expected to be $\leq 1\%$ for the energy and $\leq 7\%$ for its spread.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

1. ВВЕДЕНИЕ

Для определения энергии пучка ускорителей тяжелых ионов, работающих в импульсном режиме наносекундного диапазона, рекомендуется использовать метод времени пролета^{1,2}. Его преимуществом по сравнению с использованием полупроводниковых детекторов тяжелых ионов или метода измерения энергии протонов, выбитых из мишени ионами³, является большой обрабатываемый диапазон энергии и вида ионов, а также достижение высокой точности измерений.

В настоящей работе описан вариант реализации метода времени пролета, который специально разработан для использования на коллективном ускорителе тяжелых ионов ОИЯИ.

Он позволяет наряду с измерением энергии ионов E определить их энергетический разброс ΔE . Нужная для этого дополнительная информация получается путем исследования расширения полуширины сигналов τ во время пролета ионного сгустка $t_{пр}$ от точки измерения А до точки Б, находящихся на расстоянии s друг от друга. При нерелятивистских энергиях ионов E и ΔE определяются по следующим формулам:

$$E = \frac{M}{2} \frac{s^2}{t_{пр}^2},$$
$$\Delta E / E = \frac{\tau_B - \tau_A}{t_{пр}},$$

где M - масса ионов.

Построение аппаратуры и управление ею с помощью ЭВМ описаны в разделе 2.

В разделе 3 представлено описание монитора высокого временного разрешения, генерирующего электрический сигнал от захваченных частиц.

В разделе 4 описывается влияние некоторых факторов на точность полученных результатов.

2. ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ

Блок-схема установки показана на рис. 1. Время прихода ионного сгустка в точки измерения и его форма регистрируются мониторами, захватывающими из пучка определенное, в зависимости от геометрии сгустка, количество ионов /см. раздел 3/.

Их сигналы анализируются с помощью стробоскопического осциллографа и передаются в цифровом виде в ЭВМ для дальнейшей обработки. Передача в ЭВМ наряду с автоматической обработкой дает возможность

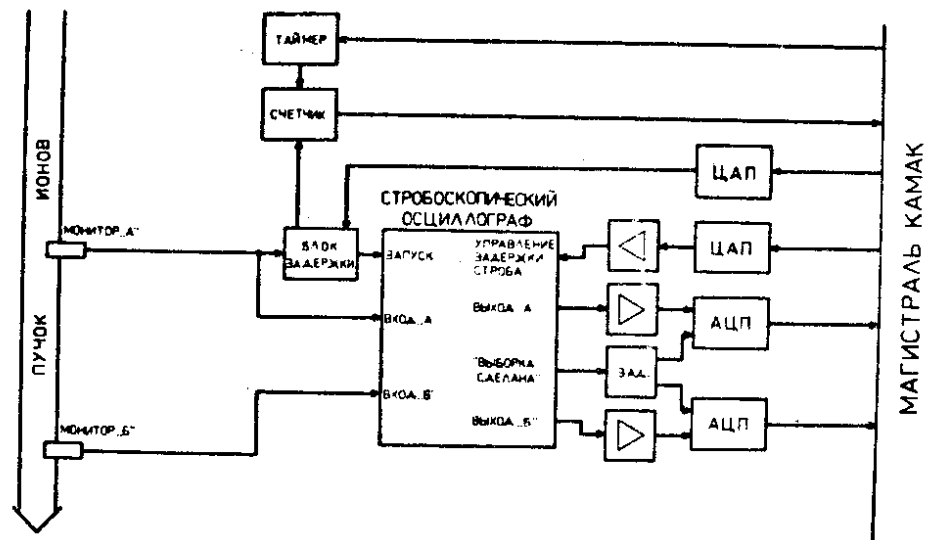


Рис.1. Блок-схема аппаратуры.

работать с малой частотой повторения импульсов ускорителя, когда необходимо запоминание результатов, а также при ожидаемых колебаниях числа частиц в импульсе.

Упомянутые колебания можно исключить усреднением большого числа импульсов (time-averaging-technique^{/4/}).

Преобразование аналоговой информации в цифровую осуществляется с помощью двух АЦП, которые запускаются импульсом, синхронным со стробирующим импульсом осциллографа и задержанным относительно него приблизительно на 3 мс, что позволяет обеспечить полное нарастание низкочастотных сигналов на выходах осциллографа.

Правильное накопление цифровых данных в памяти ЭВМ требует однозначного соответствия между точками развертки на экране осциллографа, т.е. величинами задержки стробирования, и адресами памяти ЭВМ при каждом режиме работы системы. Это соответствие реализуется с помощью внешнего управления задержкой стробирования таким образом, что в ЭВМ по номеру адреса, в который будет записан результат следующего измерения, рассчитывается величина, управляющая в аналоговом виде высотой порога триггера осциллографа, генерирующего стробирующий импульс в момент достижения порога пилообразным напряжением. Это напряжение начинает линейно нарастать в момент запуска осциллографа.

Преимущество этого метода по сравнению с ранее описанными^{/4-6/} состоит в возможности устанавливать и плотность точек развертки, и исследуемый диапазон входного сигнала путем соответствующего выбора параметров алгоритма управления.

Управляемый также от ЭВМ блок задержки^{/7/} сигнала запуска осциллографа позволяет компенсировать различие времен поступления сигналов на осциллограф, возникающее вследствие неодновременного прихода ионов на мониторы А и Б. Изображение этих сигналов на одном и том же месте экрана исключает влияние возможных нелинейностей развертки осциллографа. Установленное значение задержки можно определить, даже

во время эксперимента, с высокой точностью ± 100 нс/ путем измерения собственной частоты блока задержки в режиме обратной связи^{/7/}. Для измерения частоты используются таймер^{/8/} и счетчик.

Возможность измерения значения задержки позволяет, кроме того, осуществлять стабилизацию работы блока.

Показанные на рис. 1 усилители служат для согласования сигналов по уровням и полярности.

Общий процесс измерения управляется от ЭВМ. Связь между ЭВМ и соответствующими электронными блоками происходит через магистраль КАМАК. Характерные шаги измерения показаны в упрощенном виде на рис. 2.

Сигнал от монитора А накапливается в памяти ЭВМ. При этом установлено минимально возможное значение

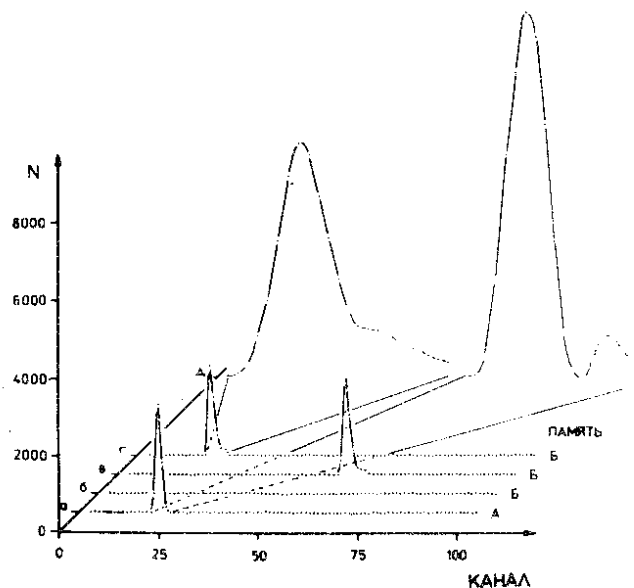


Рис. 2. Изложение принципа измерительного процесса: а-г - поиски и перемещение сигнала от монитора Б с малой плотностью точек развертки; д - собственное измерение параметров сигнала с большой плотностью.

задержки сигнала запуска, чтобы не нужно было удлинять сигнальный кабель от монитора до входа осциллографа. По этой же причине находится изображенный пик на самом левом краю спектра /см. рис. 2а/. Вообще память Б, в которую накапливаются сигналы от монитора Б, является пустой /см. рис. 2б/.

Для нахождения пика от монитора Б увеличивается значение задержки сигнала запуска от начального значения, заданного программе, в шагах изображаемого осциллографом диапазона времени, до нахождения пика /см. рис. 2 в/.

Из известной временной ширины каналов рассчитывается нужное изменение значения задержки для сдвига сигнала в памяти Б на место сигнала в памяти А /см. рис. 2 г/. После проверки положений изменяется алгоритм управления разверткой таким образом, что исследуется только часть спектра, где находится пик при суженной временной ширине каналов /см. рис. 2 д/. Накопление результатов многих таких циклов развертки дает возможность усреднения входных сигналов. После каждого цикла проверяется стабильность установленного значения задержки вышеупомянутым способом. При меньших отклонениях производится операция сдвига измеренного спектра перед добавлением к накопленному спектру, а при больших отклонениях анулируется измеренный спектр и корректируется значение задержки блока.

Чтобы исключить неправильные запуски осциллографа из-за электромагнитных наводок и т.д., предусмотрена возможность работы блока задержки по внешней стробе. В этом режиме блок задержки активизирует сигнал строба и после пробега сигнала запуска снова возвращается в неактивное состояние.

Кроме того, запрещается работа блока во время передачи и обработки данных, а также во время управления аппаратурой с помощью команд от ЭВМ.

Время пролета получается из разности нужных значений задержки сигнала запуска для изображения обоих пиков на одном и том же месте на экране осциллографа и оставшейся разности положений пиков в спектре, если длины сигнальных кабелей от мониторов до входов осциллографа не различаются.

Точное определение положений и полуширин пиков осуществляется с помощью модифицированной программы для обработки пиков /9/.

Граница чувствительности аппаратуры из-за воздействия шумов осциллографа лежит в пределах 10^8 ионов/импульс, в практическом случае минимальное выбираемое значение порога блока задержки, требуемое для обеспечения надежной работы аппаратуры, определяет нижний предел обрабатываемого число ионов - 10^9 ионов/импульс.

Для испытания аппаратуры сигналы мониторов имитировались сигналами полушириной приблизительно 0,45 нс, показанными на рис. 3, и путь пролета ионного сгустка - при помощи сигнального кабеля длиной 22 м.

Представленные на рис. 2 результаты получились при этом испытании. Масштаб времени осциллографа был выбран равным 5 нс/см, временная ширина каналов - 0,5 нс /на рис. 2 а - 0,089 нс/, число циклов развертки составляло 50 /на рис. 2 б - 100/.

При этом получились значения полуширины 0,434 нс и 0,519 нс для сигналов в памяти А и Б соответственно.

Расширение сигнала в памяти Б было вызвано сигнальным кабелем, имитирующим участок пролета.

Для иллюстрации эффекта усреднения ослаблялся сигнал, представленный на рис. 3, на фактор 20. В этом случае шум осциллографа вносит значительный вклад в искажение сигнала, как видно на рис. 4а. При обработке с помощью описанной аппаратуры получалась картина, показанная на рис. 4б. Ширина каналов равна 0,067 нс и число циклов - 200. Полученное значение полуширины составляет 0,429 нс и хорошо согласуется со значением полуширины сигнала на рис. 2д.

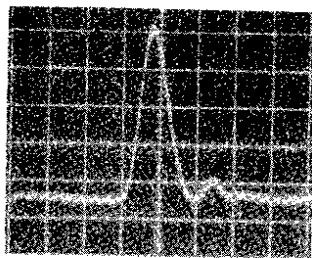


Рис. 3. Используемый сигнал для имитации сигнала от монитора А /0,5 нс/дел, 90 мВ/дел/.

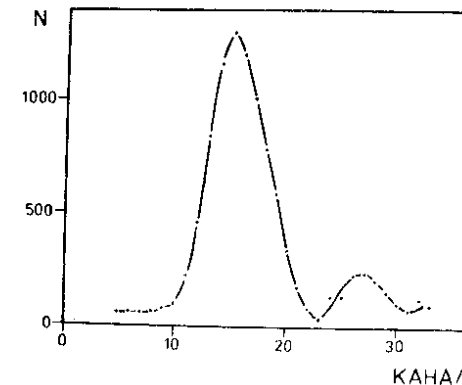
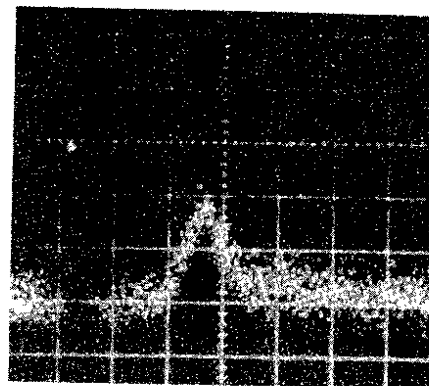


Рис.4. Ослабленный на фактор 20 сигнал: а - сигнал, полученный на экране стробоскопического осциллографа /0,5 нс/дел, 10 мВ/дел, /, б - усредненный сигнал /67 нс/канал/.

3. ОПИСАНИЕ МОНИТОРА

Принцип измерения требует, чтобы форма электрических сигналов, полученных от захватывающих мониторов, согласовалась с временным распределением ионов в ионных сгустках. Необходимое для этого временное разрешение ухудшается следующими факторами:

- электрическими неоднородностями в мониторе и в месте перехода на сигнальный кабель;
- электростатической индукцией налетающих ионов;
- большими размерами области, на которую попадают ионы;
- наличием вторичных электронов, вылетающих из поверхности монитора при попадании ионов.

Для исключения или уменьшения влияния этих факторов была реализована конструкция мониторов по типу описанной в /10/. Монитор является, по существу, 50- Ом линией, нагруженной на одном конце соответствующим

резистором и на другом - коаксиальным сигнальным кабелем соответствующего волнового сопротивления.

Внешний проводник монитора выполняет, наряду с реализацией однородного волнового сопротивления, функцию экранирования центрального проводника от электростатической индукции. Размеры отверстия во внешнем проводнике, через которое попадают ионы на центральный проводник, были выбраны шириной 1 мм, с тем чтобы не мешать функции внешнего проводника, и длиной 10 мм, с тем чтобы ограничить область центрального проводника, на которую попадают ионы, и в связи с этим - время собирания заряда.

Для подавления эмиссии вторичных электронов служит индуктивная катушка с магнитным полем 0,12 Т, направленным перпендикулярно к направлению полета ионов и оси монитора. Это магнитное поле поворачивает электроны обратно без повышения их энергии в течение 0,15 нс. При начальных энергиях больше нескольких кэВ они доходят до внешнего проводника в течение < 0,08 нс.

Ожидаемое временное разрешение лежит в пределах 0,2 нс и обусловлено, главным образом, временем пребывания вторичных электронов в пространстве между внешним и центральным проводником. Влиянием времени собирания заряда и электростатической индукции ионов во время их пребывания между обоими проводниками можно пренебречь, причем электростатической индукции это касается только при энергиях ионов больше 1 МэВ/нукл.

Поверхность монитора посеребрена. В качестве 50-Ом нагрузки используется металлопленочный резистор.

Мониторы соединяются с ионным проводником посредством сильфонной конструкции. Она дает возможность перемещения мониторов по оси при установлении их в правильное положение относительно положения пучка ионов.

Внешний проводник находится в хорошем электрическом контакте с заземленным ионным проводником; это исключает возможные искажения сигнала вторичными

электронами высокой энергии и той частью пучка, которая попадает на внешний проводник.

4. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Оценка ожидаемой точности измерения дает значение погрешности для энергии ионов $\leq 1\%$ и для энергетического разброса $\leq 7\%$ в предположении, что энергия ионов ≤ 10 МэВ/нукл, их энергетический разброс $\leq 2\%$ ^{11/} полуширина сигнала на месте монитора $A \geq 1$ нс и длина измерительного участка 2 м. В расчете погрешности измерения времени пролета учтены нестабильности задержки сигнала запуска $\leq 0,1$ нс/, неопределенность значения этой задержки $\leq 0,1$ нс/ и ошибка при измерении разности времен пробега сигналов от мониторов до осциллографа $\leq 0,1$ нс/.

На точность измерения полуширины влияют собственное время нарастания мониторов, нестабильность задержки сигнала запуска, искажение формы сигнала при проходе через сигнальный кабель и эффект корреляции высоты сигнала с временным положением в спектре /КВП/. О последних двух факторах будет говориться подробнее.

Искажение результатов измерения вследствие КВП иллюстрирует рис. 5.

В предположении подобной формы сигналов при увеличении их амплитуд момент времени запуска осциллографа сдвигается в сторону уменьшения времени, если в блоке задержки используется, как в нашем случае, дискриминатор передних фронтов. Это обуславливает сдвиг изображенного сигнала направо.

Чтобы суметь оценить влияние этого эффекта на полуширину изображенного сигнала, имитировался измерительный процесс на ЭВМ для сигналов гауссовой формы. При этом было предположено одинаковое распределение амплитуд сигналов до определенного, максимального значения, что представляет собой худший случай.

Результаты счета расширения полуширины суммированного сигнала относительно полуширины отдельного

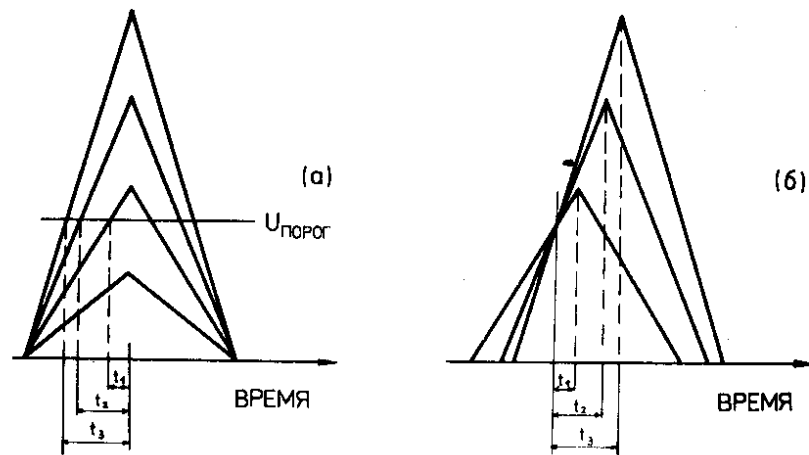


Рис. 5. Корреляция высоты сигнала с положением изображенного сигнала на экране осциллографа: а - схематическое изображение задержки момента запуска, б - сдвиг изображенного сигнала в зависимости от амплитуды.

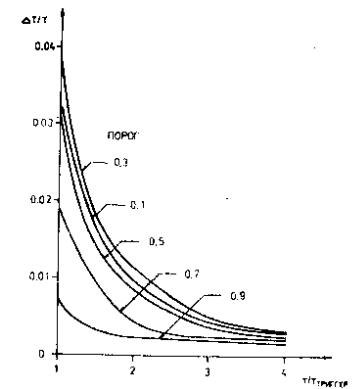
сигнала для различных полуширин и триггерных порогов представлены на рис. 6. Полуширина сигнала запуска предположена постоянной, в соответствии с физическим экспериментом. Значение порога указано в единицах, отнормированных на величину максимальной амплитуды сигнала запуска.

Как ожидалось, влияние КВП уменьшается с увеличением триггерного порога $\geq 0,3$ и увеличивается с уменьшением полуширины. Расширение не превышает 4%.

Кроме того, обрабатывался сдвиг суммированного сигнала. Величина его не влияет на точность измерения времени пролета, потому что как сигналы от монитора А, так и сигналы от монитора Б сдвигаются.

Разность этих сдвигов относительно полуширины сигнала запуска представлена как функция от полуширин и порога дискриминатора на рис. 7. Ее значение не превышает $1,5 \cdot 10^{-3}$ при рассмотренных полуширинах. Искажение формы сигнала при пробеге через кабель зависит от длины и параметров используемого кабеля.

Рис. 6. Расширение полуширины суммированного сигнала /относительно полуширины отдельного сигнала/ вследствие КВП. Значение порога указано в единицах, отнормированных на величину максимальной амплитуды сигнала.

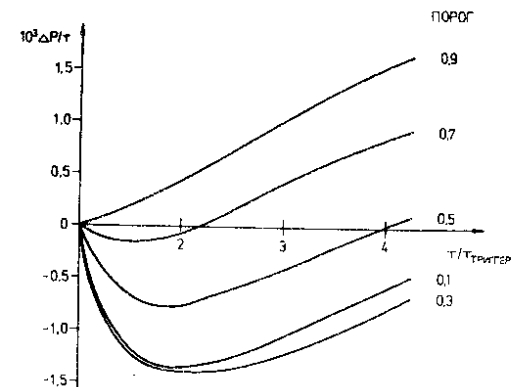


Длина кабеля от монитора А до входа А осциллографа получается равной 22 м и вычисляется путем суммирования расстояния от осциллографа до места нахождения монитора /10 м/ и длины дополнительного кабеля для реализации нужного упреждающего запуска осциллографа /40 нс/ с учетом минимально возможного значения задержки сигнала в блоке задержки /18 нс/.

Чтобы сделать возможной передачу сигналов ожидаемой полуширины от одной до трех наносекунд, используется высококачественный кабель РК-50-11.

Искажение сигнала полушириной 0,43 нс вследствие прохождения его по кабелю длиной 22 м иллюстрировано на рис. 2д. Сигнал на полувывоте расширяется на фактор 1,25; это соответствует расширению сигнала полушириной 1 нс на 5%.

Рис. 7. Разность ΔT между сдвигами положений сигналов от мониторов А и Б вследствие КВП /относительно полуширины сигнала/. Значение порога указано в единицах, отнормированных на величину максимальной амплитуды сигнала.



Оба рассмотренных эффекта действуют, в принципе, только на узкий сигнал от монитора А, из чего следует, что энергетический разброс является слишком малым.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность В.П.Саранцеву за поддержку работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mak H.-B., Jensen H.B., Barnes C.A. *Nucl.Instr. Meth.* 1973, 109, p. 529.
2. Huenges E., Vonach H., Labetzki J. *Nucl.Instr.Meth.* 1974, 121, p. 307.
3. Olsen D.K. et al. *Nucl.Instr.Meth.*, 1974, 114, p. 615.
4. Amsel G., Bosshard R. *Rev. Sci. Instr.* 1970, 41, p. 328.
5. Adin A. *Nucl.Instr.Meth.* 1968, 64, p. 328.
6. Krulisch A.H., Axtmann R.C. *IEEE Trans.Nucl. Sci. NS-14*, 1967, No. 4, p. 58.
7. Леманн Д., Мюллер Г., Щорнак Г. ОИЯИ, P13-11227, Дубна, 1978.
8. Леманн Д. и др. ОИЯИ, P13-11226, Дубна, 1978.
9. Von Meerwall E.D. *Comp.Phys.Com.* 1975, 9, p.351.
10. Beck G.D., Schutt D.W. *Rev.Sci.Instr.* 1972, 43, p. 341.
11. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, P9-7697, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 июля 1978 года.