

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

4609/2-80

22/9-80

18-80-441

Ю.С.Анисимов, Ю.В.Заневский, А.Б.Иванов,  
И.М.Иванченко, П.В.Мойсенз, Л.Моучка,  
В.Д.Пешехонов, А.Е.Сеннер, С.П.Черненко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА  
ДЛЯ ИОННОЙ РАДИОГРАФИИ.

Часть II. Математическое обеспечение,  
результаты

1980

Анисимов Ю.С. и др.

18-80-441

Экспериментальная установка для ионной радиографии.  
Часть II. Математическое обеспечение, результаты

Дается описание математического обеспечения экспериментальной установки для ионной радиографии. Показано, что на пучке ионов гелия синхрофазотрона ОИЯИ установка обеспечивает разрешение по плотности лучше 0,1% при пространственном разрешении около 2 мм. Доза облучения тестовых объектов при этом составила ~1 мрад. Проверена стабильность энергии выведенного пучка альфа-частиц с энергией 200 МэВ/нуклон.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Anisimov Yu.S. et al.

18-80-441

Разработанная и созданная аппаратура, подготовленный комплекс программ приема и обработки информации дали возможность начать исследования по ионной радиографии на пучке ионов гелия /с энергией около 200 МэВ/нуклон/ синхрофазотрона ОИЯИ /1-3/.

### 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛЬНОГО МАСШТАБА ВРЕМЕНИ

Математическое обеспечение установки разделяется на ряд основных программ, реализующих решение одной или нескольких связанных задач. Выполнение основных программ осуществляется в мультипрограммном режиме. Характерной особенностью организации математического обеспечения по сравнению с классической мультипрограммностью является то, что набор основных программ образует совокупность, решающую единую целевую задачу в реальном масштабе времени. Прохождение основных программ осуществляется в рамках дисциплины диспетчеризации с абсолютными приоритетами.

Программе сбора, осуществляющей сбор и размещение экспериментальных данных в пределах одного сброса ускоренных частиц, присвоен высший /нулевой/ приоритетный уровень. Характерной особенностью установки является высокая интенсивность поступающего информационного потока. За период сброса пучка происходит 2000 интересующих нас событий /24 К слов информации/. Иметь буфер такой емкости в оперативной памяти ЭВМ не представляется возможным. Успешное решение задачи сбора информации обеспечивается использованием параллельных процессов ввода информации и записи ее на диск. Применение канала прямого доступа /КПД/ и режима автосканирования для аппаратуры в стандарте КАМАК обеспечивает высокую скорость сбора информации, относящейся к единичному событию. Для снижения непродуктивных временных потерь, связанных с инициированием операций ввода/вывода, управление сбором информации, относящейся к совокупности последовательных событий, реализовано аппаратно. Количество событий в конкретной группе определяется задаваемой программным путем длиной массива, передаваемого посредством КПД.

Программы первого уровня осуществляют формальные преобразования экспериментальной информации, паспортизацию и запись данных на магнитную ленту.

Программы второго уровня организуют на специализированном языке управления диалог человека с ЭВМ, обеспечивающий ввод директив и вспомогательной информации, управляющих работой комплекса программ. В качестве технических средств связи экспериментатора с ЭВМ используются символьный дисплей с клавиатурой (VT-340), блоки набора констант, специализированная кнопочная панель, тумблерный регистр ЭВМ.

Программы третьего уровня, осуществляющие обработку принятой информации, подразделяются на два класса. К первому относятся программы технического контроля оборудования, обеспечивающие получение значений параметров, характеризующих работу пропорциональных камер /отказы, эффективность/ и детектора останова (ДО) /отказы, эффективность регистрации по площади/. Ко второму классу относятся программы получения исследуемого эффекта, т.е. программы статистической обработки координатного уровня, обеспечивающие получение экспериментатором информации о наличии неоднородности по плотности в исследуемом объекте. Для этого с помощью определенной директивы оператора анализируемая плотность в декартовой системе координат делится на произвольное число одинаковых по величине прямоугольных ячеек /максимальное число их 100x100/. Для каждой элементарной ячейки подсчитывается число частиц, прошедших через нее и поглощенных ДО, а также сумма номеров каналов ДО, в которых произошла остановка. Отношение этих величин характеризует плотность объекта в данной элементарной ячейке.

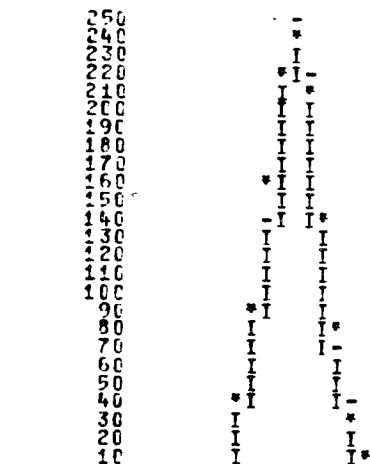
Иной путь определения плотности в исследуемом объекте состоит в построении распределения точек останова для каждой элементарной ячейки. Учитывая природу этого распределения, за точку останова принимается математическое ожидание, получаемое в результате аппроксимации распределения гауссовой кривой. Такой подход обладает более высокой точностью, однако по сравнению с первым требует больших ресурсов памяти ЭВМ и большего счетного времени, что не позволяет использовать его в программном обеспечении реального масштаба времени.

Программы обработки информации получают данные и сигнал о начале работы от программы сбора. Дальнейшее прохождение этих программ асинхронно. Результаты программы обработки заносятся в одномерные и двумерные гистограммы и таблицы, суммарное число которых около 500.

Обилие и разнохарактерность результатов обработки обуславливают необходимость обеспечения высокой наглядности представления результатов. В качестве технических средств представления используются АЦПУ, графический дисплей ТЕКТРОНИХ-611, графопостроитель и телевизионные мониторы черно-белого и цветного изображений. Графический дисплей предназначается для

POINT STOP DIST.

НBOOK ID = 6



CHANNELS 10 0 1234567890

CONTENTS 100 12221  
10 484141763  
1. 0901276548

LOW-EDGE 10 1  
1. 1234567890

\* ENTRIES = 1182  
\* BIN WID = .1000E+01  
\* CHISQUAP = .4226E+01

\* ALL CHANNELS = .1182E+04  
\* MEAN VALUE = .5451E+01

\* UNDERFLOW = 0.  
\* R . M . S = .1907E+01

Рис.1. Статистическое распределение точек останова по каналам ДО для гомогенного поглотителя: \* - значения гауссовой фитирующей функции.

## 2. СТАБИЛЬНОСТЬ ЭНЕРГИИ ПУЧКА АЛЬФА-ЧАСТИЦ

Типичная гистограмма статистического распределения точек останова альфа-частиц для нескольких сбросов ускорителя в случае гомогенного поглотителя показана на рис.1. По оси абсцисс отложены номера каналов ДО. Если наиболее вероятная точка останова - середина детектора, распределение хорошо

одновременного вывода на экран группы одномерных гистограмм. Количество гистограмм в группе определяется экспериментатором с помощью БНК и может изменяться в сегменте от одного до ста. Эмпирически установлено, что если число гистограмм в группе не превышает 64, то изображение хорошо соответствует предоставленному распределению. При большем размере группы вследствие укрупнения масштаба происходит потеря некоторых деталей.

Полученный исследуемый эффект представляется на телевизионных мониторах. Указываемый экспериментатором на языке директив диапазон плотностей разбивается на несколько равных по величине интервалов /8 - для цветного и 16 - для черно-белого монитора/. Каждой элементарной ячейке в зависимости от зарегистрированной в ней характеристики плотности задается определенный цвет /для цветного монитора/ либо яркость /для черно-белого/. Таким образом получается проекция распределения плотности исследуемого объекта на плоскость, ортогональную оси пучка.

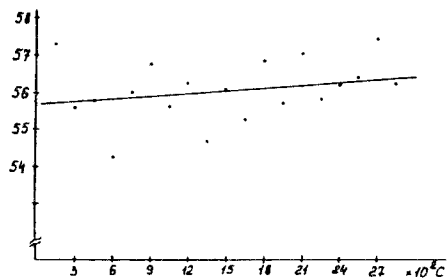


Рис.2. Зависимость среднего значения точек остановки во времени: по осям ординат  $Y$  - значения средней точки остановки в десятых долях канала ДО и  $X$  - время в секундах; ——— - фитирующая измеренную зависимость линейная функция.

ма средних значений точек остановки при этих измерениях, среднеквадратичное отклонение составляет  $\sim 0,18$  канала ДО, что соответствует изменению кинетической энергии альфа-частиц на  $\sim 5,2$  МэВ /при этом  $\sigma_{\Delta p/p} = 0,35\%$ .

### 3. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ УСТАНОВКИ

Для определения чувствительности установки использовались фантомы из оргстекла переменного сечения с набором отверстий. Комплект он-лайн программ служил для обработки информации и представления данных на ТВ мониторе или с помощью АЦПУ. Исследуемая площадь при этом разделялась на элементарные ячейки. Анализировались статистически нормированные распределения точек остановки в ДО по каждой ячейке. Чувствительный диапазон ДО разбивался на интервалы, каждому из которых соответствовала определенная градация тональности черно-белого ТВ монитора /цветовая для цветного ТВ монитора/ и определенный символ при выводе информации с помощью АЦПУ. Путем оптимизации размера элементарной ячейки и интервала чувствительности по ДО при последующем анализе можно было повысить контрастность выделения интересующего нас перепада плотности.

На рис.4 представлена информация, выведенная на АЦПУ, о фантоме переменного сечения с отверстиями 2,4,6 и 8 мм. Размер ячеек  $2 \times 2$  мм<sup>2</sup>, статистика - около 100 событий на ячейку. На рис.5 показана проекция среза фантома по центрам отверстий

описывается гауссовой зависимостью, величина среднего квадратичного отклонения  $\sigma$  составляет 1,9 канала ДО. Цена канала детектора, определенная в результате калибровочных измерений, соответствует  $0,082$  г/см<sup>2</sup> тканеэквивалентного вещества. Отсюда следует, что  $\sigma = 0,156$  г/см<sup>2</sup>.

На рис.2 показано распределение среднего значения точек остановки во времени, характеризующее стабильность работы ускорителя. Время измерений - 50 мин. Видно, что зависимость монотонно изменяется. На рис.3 приведена гистограмма

### STABILITY OF ENERGY (AV)

MSBOOK ID = 9

21.5  
20.5  
19.5  
18.5  
17.5  
16.5  
15.5  
14.5  
13.5  
12.5  
11.5  
10.5  
9.5  
8.5  
7.5  
6.5  
5.5  
4.5  
3.5  
2.5  
1.5  
0.5

CHANNELS 100 0  
10  
1

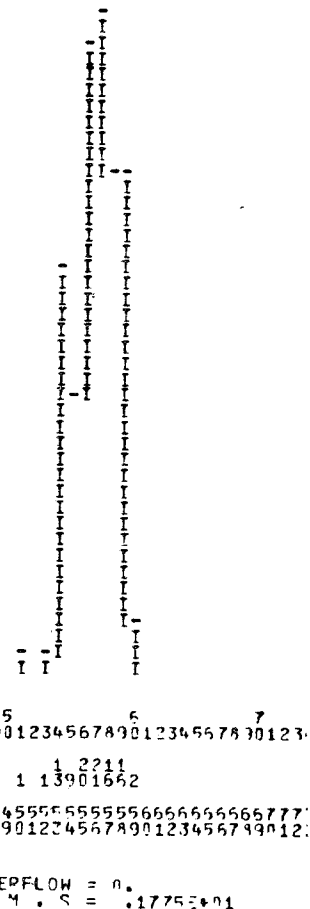
CONTENTS 10  
1.

LOW-EDGE 10  
1.

\* ENTRIES = .99  
\* BIN WIN = .1000E+01

\* ALL CHANNELS = .9900E+02  
\* MEAN VALUE = .5617E+12

Рис.3. Гистограмма средних значений точек остановки в течение 50-минутной экспозиции. Время одного измерения - 0,5 мин.



на оси X. На срезе хорошо видны отверстия, в том числе и диаметром 2 мм. Таким образом, при пространственном разрешении около  $2 \times 2$  мм<sup>2</sup> установка регистрирует изменения плотности на  $\sim 0,02$  г/см<sup>2</sup>, что составляет 0,08% от полного количества вещества по пути альфа-частиц. Поглощенная доза при этом составила величину около 1 мрад.

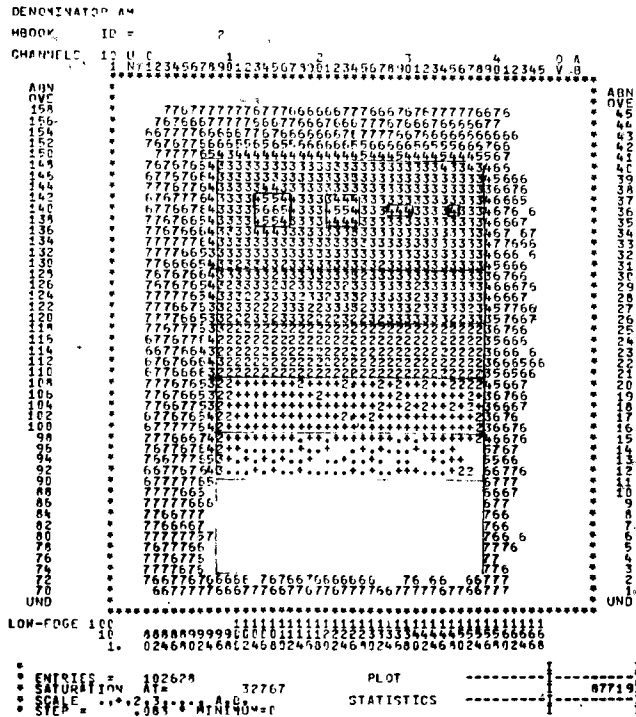


Рис. 4. Изображение фантома из оргстекла /информация выведена с помощью АЦПУ/. Измеренные толщины фантома: 0,59 г/см<sup>2</sup> /там же имеются отверстия диаметром 2,4,6 и 8 мм/; 0,61 г/см<sup>2</sup>; 0,67 г/см<sup>2</sup>; 0,79 г/см<sup>2</sup>; 1,03 г/см<sup>2</sup> соответственно; ——— - границы изменения плотности.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтверждают ожидаемую высокую чувствительность метода ионной радиографии при пониженной лучевой нагрузке исследуемых объектов и указывают тем самым на целесообразность дальнейшего развития установки для реализации возможности трехмерной реконструкции плотности исследуемых объектов.

Авторы выражают благодарность за поддержку и постоянный интерес к работе А.М.Балдину и М.Г.Мещерякову, благодарят также Н.Н.Говоруна, И.Н.Семенюшкина, М.Н.Хачатуряна, Б.Ситара, В.А.Смирнова, И.А.Тяпкина за помощь в работе.

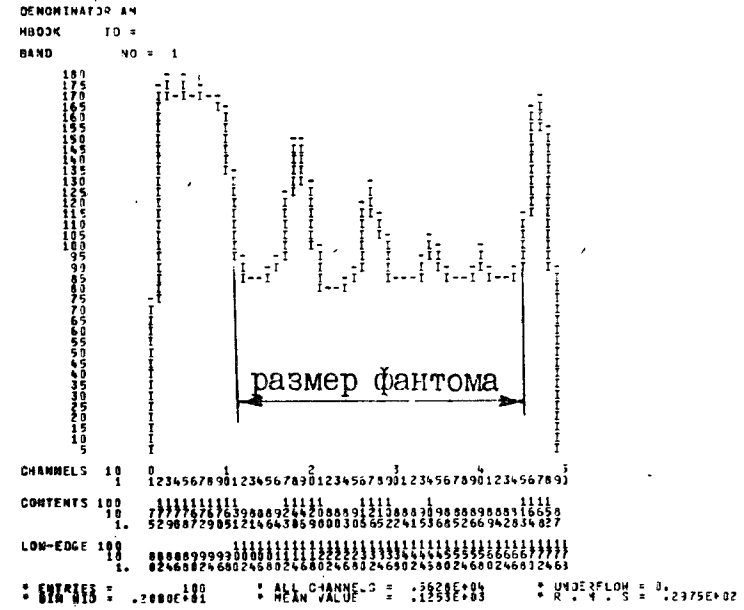


Рис. 5. Проекция среза фантома по центрам отверстий /рис.4/ на ось X.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, 14-11330, Дубна, 1978.
2. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, P13-11872, Дубна, 1978.
3. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, P10-80-94, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 июня 1980 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники