

СЗУУ.Зс

Д-149

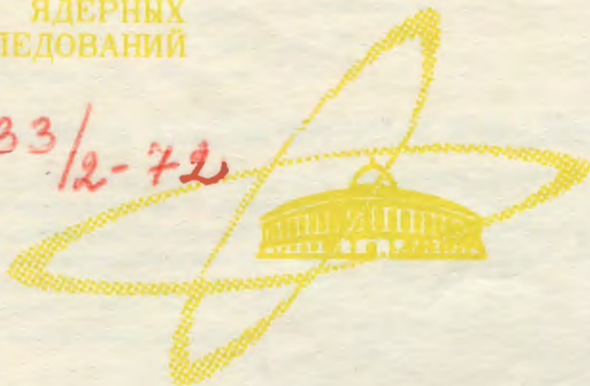
2/x-72

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 6520

3333/2-72



М.Даковский, Ю.А.Лазарев, И.Ланг,
О.К.Нефедьев, М.С.Бирулев

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

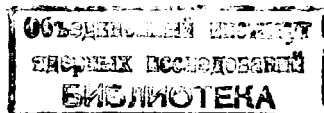
АНАЛИЗАТОР НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ НА
ЛИНИИ С МАЛОЙ ЭВМ ТРА-1001

1972

13 - 6520

М. Даковский, Ю. А. Лазарев, И. Ланг,
О. К. Нефедьев, М. С. Бирулев

АНАЛИЗАТОР НЕЙТРОНОВ ДЕЛЕНИЯ НА
ЛИНИИ С МАЛОЙ ЭВМ ТРА-1001



Измерения среднего числа нейтронов $\bar{\nu}$, испускаемых при спонтанном делении ядер, выполнены к настоящему времени для сравнительно долгоживущих изотопов из области $U-Fm$. Экспериментальные сведения о $\bar{\nu}$, как и любые другие экспериментальные данные по спонтанному делению ядер с $Z \geq 100$ /кроме парциальных переходов полураспада/, отсутствуют. Вместе с тем, некоторые из короткоживущих спонтанно делящихся изотопов с $Z \geq 100$ / ^{246}Fm , $^{252}102$ и др./ образуются в ядерных реакциях с тяжелыми ионами в количестве, достаточном для определения $\bar{\nu}$. Поскольку в этой области периоды полураспада ядер, представляющих интерес, составляют $\approx 0,1-5$ сек, измерения необходимо проводить непосредственно на пучке частиц. Перенос накопленных в реакции ядер от мишени к детектирующему устройству может осуществляться быстро перемещающимися сборниками, либо методом газовой струи /*helium jet recoil transport method* /^{1/}/.

Дополнение систематики величин $\bar{\nu}$ в области $U-Fm$ новыми результатами вместе с продвижением в трансфермиевую область вплоть до элементов 104 и 105, может привести к получению более надежной, экспериментально обоснованной оценки $\bar{\nu}$ для сверхтяжелых ядер / $Z = 110-114$ /, эффективным методом поиска которых является регистрация нейтронов деления /^{2,3/}. Одновременно с этим построение систематики чисел $\bar{\nu}$ для широких пределов изменения начальных параметров делящихся ядер / Z , A , Z/A и т.п./и, в особенности, корреляционные эксперименты, в которых одновременно измеряются несколько характеристик деления, дают важную информацию о механизме процесса.

С учетом этих задач нами построен анализатор нейтронов, позволяющий измерять среднее число ($\bar{\nu}$) и распределение множественности (P_{ν}) нейтронов, испускаемых делящимся ядром.

Общий принцип действия аппаратуры

Авторами настоящей работы используется метод регистрации нейтронов в совпадении с осколком деления. Регистрация нейтронов, замедленных до тепловых скоростей, осуществляется пропорциональными счетчиками, наполненными ^3He . Детектор нейтронов такого типа является в настоящее время весьма распространенным ^{1/2-5/}. Он имеет достаточно высокую эффективность регистрации, нечувствителен к γ -лучам /что особенно важно при работе на пучке тяжелых ионов/, прост в изготовлении и надежен в эксплуатации.

Стартовым сигналом для запуска аппаратуры служит импульс от одного из двух поверхностно-барьерных $\text{Si}(\text{Au})$ -детекторов, вызываемый осколком деления исследуемого или эталонного ядра. Любой из этих сигналов разрешает регистрацию нейтронов в течение некоторого времени T / T - время выдержки/, определяемого средним временем жизни нейтронов деления в детекторе. Параллельный анализ нейтронов деления исследуемого и эталонного изотопов исключает из рассмотрения вопрос о возможном небольшом изменении эффективности в процессе эксперимента. Для определения фона анализатор нейтронов периодически включается генератором, имитирующим осколок деления.

Информация, полученная от детекторов, поступает в регистрирующее устройство и далее передается в ЭВМ ТРА-1001. Одновременно с накоплением информации в памяти ЭВМ, осуществляется ее предварительная обработка и представление на экране осциллоскопа в виде различных гистограмм.

Рассмотрим более подробно отдельные блоки аппаратуры.

Детектор нейтронов

Детектор нейтронов представляет собой цилиндрический блок-замедлитель из плексигласа, в котором по принципу пчелиных сот размещены 36 пропорциональных счетчиков /рис. 1/. Счетчики длиной 500 или 300 мм, диаметром 30 мм снабжены охранными кольцами для исключения токов утечки через нить, наполнены ^3He до давления 5 атм при добавке 1 атм CO_2 . Рабочее напряжение на нити счетчиков 1840-1880 в; охранные кольца и нити всех счетчиков питаются от одного высоковольтного выпрямителя.

По выходному сигналу пропорциональные счетчики распределены на 6 групп. Шесть счетчиков в каждой группе подобраны по величине коэффициента газового усиления. Каждая группа счетчиков имеет свой усилительноформирующий тракт. Усилители трактов $/U_{1-6}$, на рис. 2/ имеют коэффициент усиления ≈ 5000 , что обеспечивает на их выходе амплитуду импульса ≈ 5 в. Формирование импульса в усилителе осуществляется линией задержки $/t_3 = 1$ мксек/, закороченной на конце. Формирователи трактов вырабатывают стандартные импульсы длительностью 2 мксек и амплитудой 10 в.

В центре блока-замедлителя располагаются две независимые камеры с двумя полупроводниковыми $Si(Au)$ -детекторами. В одну из камер помещается исследуемый, а в другую - эталонный источник делений.

Регистрирующая аппаратура

Сформированные импульсы с шести групп пропорциональных счетчиков и двух полупроводниковых детекторов поступают на вход регистрирующего устройства АНОД /анализатор нейтронов от осколков деления/, определяющего амплитуду /энергию/ осколка A_f , время появления осколка t_f , число нейтронов, зарегистрированных каждой группой 3He -счетчиков n_i , номер $Si(Au)$ -детектора. Блок-схема аппаратуры АНОД представлена на рис. 2.

Запуск аппаратуры на цикл регистрации события осуществляется при появлении на выходе одного из интегральных дискриминаторов ИД импульса осколка деления. Номер $Si(Au)$ -детектора запоминается на триггере номера детектора ТНД. Сигнал с ИД, при отсутствии блокировки измерительно-регистрирующей аппаратуры запускает одновибратор $ОВ_1$, время выдержки которого T определяет продолжительность состояния открытых "временных ворот" для шести нейтронных трактов. Числа импульсов, прошедших через схему ворот за время T по каждому тракту, подсчитываются двухразрядными счетчиками.

Амплитуда осколка преобразуется аналогово-цифровым преобразователем /АЦП/ в цифровой код и запоминается на семиразрядном регистре амплитуды. Частота цуга АЦП равна 1 МГц, максимальное время преобразования - 130 мксек. При исследовании короткоживущих изотопов /непосредственно на пучке тяжелых ионов/ четырехразрядным счетчиком-таймером определяется время появления осколка деления t_f , отсчитанное от момента остановки сборника ядер перед $Si(Au)$ -детектором, либо от момента

прихода импульса, связанного с режимом модуляции ускорителя, если транспортировка исследуемых ядер осуществляется газовой струей. Экспозиция времени может изменяться в пределах 20 мсек - 10 сек, в зависимости от периода полураспада исследуемого изотопа.

Блокировка запуска АНОДа осуществляется в следующих случаях:

1/ АНОД уже запущен на цикл регистрации. Блокировка действует на время T ;

2/ АНОД закончил работу, но информация еще передается в ЭВМ. Блокировка действует на время приема информации ≈ 300 мксек/;

3/ Амплитуда импульса в одном из шести нейтронных трактов превысила верхний порог. В этом случае, одновременно с блокировкой выходов всех нейтронных трактов, вырабатывается запрет на передачу информации из АНОДа в ЭВМ, который действует в течение времени, немногим большего T .

Интерфейс анализатора нейтронов АНОД

Анализатор нейтронов через свой интерфейс /устройство сопряжения/ связан с программно-управляемым каналом /PDT /малой вычислительной машины ТРА-1001. Передача информации по программному каналу осуществляется под управлением и контролем программы. Канал связан с процессором через аккумуляторный регистр ТРА /AKR/.

После цикла регистрации на регистрах АНОДа находится следующая информация:

- | | | |
|--|---|----------|
| 1. Код амплитуды осколка A_f /7 разрядов/ | } | I слово |
| 2. Время появления осколка t_f /4 разряда/ | | |
| 3. Номер Si(Au)-детектора k_f /1 разряд/ | } | II слово |
| 4. Числа нейтронов, зарегистрированных каждой группой ^3He -счетчиков /12 разрядов/ | | |

Эта информация передается в ЭВМ в виде двух двенадцатизрядных слов.

Поскольку инициатором обмена является внешнее устройство, передача данных осуществляется в режиме программного прерывания. По завершении АНОДом очередного цикла регистрации, в интерфейс ТРА поступает сигнал "запрос физического прерывания", по которому устанавливается в "I" триггер аппаратного преры-

вания ТАП и, если оно разрешено программой, прекращается выполнение программы обработки и управление передается подпрограмме связи ТРА - АНОД. Два слова передаются из АНОДа в аккумулятор последовательно двумя периферийными командами приема 6072. Выбором слова для передачи управляет триггер номера слова ТНС, который устанавливается в "I" периферийной командой 6071, а сбрасывается - командой 6074.

Может иметь место случай, когда значение $A_f > 127$ или $n_f > 3$. Тогда импульсом переполнения соответствующих счетных регистров производится установка в "I" триггера переполнения ТП. Периферийная команда 6102 "следит" за состоянием триггера ТП и в случае переполнения выдает в ЭВМ сигнал *SKIP* /безусловная передача управления/, при помощи которого совершается переход к подпрограмме регистрации переполнения. Сброс ТП осуществляется периферийной командой 6074.

На время связи ТРА - АНОД блокировка аппаратуры производится единичным состоянием триггера ТАП. Периферийная команда 6074 сбрасывает в "O" триггер ТАП, снимает сигнал "разрешение физического прерывания" и разблокирует АНОД, чем достигается готовность последнего к новому циклу регистраций.

Программное обеспечение системы

Запись в память и анализ многомерной информации обеспечивает программа *OLAF* (*On-Line Analysis and Filtration*), написанная на языке *SLANG*.

ЭВМ ТРА-1001 обладает объемом памяти, равным 16 тысячам /16 к/ 12-разрядных слов; время цикла памяти составляет 10 мксек. Быстродействие ЭВМ /даже при передаче данных по программному каналу/ вполне достаточно для интенсивностей событий, имеющих место в многопараметровых измерениях. Объем памяти позволяет расширять программное обеспечение, совершенствовать процесс накопления и обработки информации.

Программа *OLAF* выполняет следующие функции /рис. 3/:
1/Управляет приемом и записью в памяти ЭВМ кодов событий, выводом информации на перфоратор после заполнения буфера;

2/ осуществляет предварительную обработку /интегральный анализ/ информации уже в процессе ее накопления, которая заключается в сортировке событий по тем или иным параметрам, построении гистограмм /с возможностью их наблюдения на экране осциллоскопа или печати на телетайпе/, в проведении вычислений в ходе измерения; 3/ производит предварительную обработку данных более сложного вида после окончания эксперимента; в этом случае есть возможность построения гистограмм и проведения вычислений только на основе тех событий, для которых измеряемые параметры /число нейтронов, амплитуда осколка, время и т.д./ заключены в определенных, заданных экспериментатором пределах. Ниже мы опишем эти функции подробнее.

Экспериментатор имеет простой язык общения с измерительной системой, быстрый доступ к результатам, характеризующим исследуемый процесс и работу всего комплекса аппаратуры в опыте. Общение экспериментатора с ЭВМ осуществляется при помощи телетайпа ASR -33 с использованием 43 различных команд мнемотехнического типа, состоящих из двух или трех букв /например, команда CS—*Conditions of Selection* задает условия фильтрации событий при интегральном анализе/. Эти команды определяют выбор: а/ режима накопления данных /интегральный анализ, либо анализ с запоминанием кодов исследуемых и/или эталонных событий в буфере/; б/ наблюдаемой на экране осциллоскопа гистограммы; в/ информации, выводимой на печать в виде чисел, таблиц или гистограмм; г/ условий вывода информации на перфоратор /необходимость перфорации, быстрый или медленный вывод/, а также всех других условий накопления, предварительной обработки, вывода и ввода информации.

Часть памяти ЭВМ емкостью 4к слов служит для хранения основной программы и интегральной информации. 4к слов используются для хранения подпрограмм арифметики с плавающей запятой и результатов соответствующих вычислений. 8к слов представляют собой буфер, используемый для накопления кодов исследуемых событий. Буфер программно разделен на две части; после заполнения одной части /4к/, набор информации без потери времени продолжается в другой /4к/, в то время как коды 2048 событий из первой перфорируются быстрым перфоратором PE-1500 / FACIT /.

Интегральный анализ проводится отдельно для исследуемых, эталонных и фоновых событий. Для актов деления исследуемых ядер строятся следующие гистограммы: а/ амплитудный спектр осколков деления /127 каналов, либо в сжатой форме - 32 канала/; б/ временное распределение актов деления /16 каналов, цена вре-

менного канала меняется от 10^{-3} до 0,5 сек/; в/для каждой из шести групп ${}^3\text{He}$ -счетчиков распределение событий по признаку числа нейтронов n_1 , регистрируемого данной группой в одном акте деления /максимальное значение $n_1 = 3$ /; г/распределение событий по признаку числа нейтронов n , регистрируемого всем детектором в одном акте деления /максимальное значение $n = 6 \times 3 = 18$ /, $n = \sum_{i=1}^{i=6} n_i$; д/распределение суммарного /для всех актов деления/ числа нейтронов по группам ${}^3\text{He}$ -счетчиков.

Для эталонных событий производится построение всех гистограмм, за исключением б/, для фоновых событий - за исключением а/ и б/; полное число гистограмм 29.

Как для исследуемых, так и для эталонных событий по специальным командам на телетайп выдаются: полные числа зарегистрированных нейтронов и осколков; результаты вычислений среднего числа \bar{n} и дисперсии σ_n^2 распределения множественности регистрируемых нейтронов, эффективность детектора ϵ ; определенные в первом приближении величины $\bar{\nu}$ и σ_{ν}^2 для распределения множественности испускаемых нейтронов; статистические ошибки указанных выше величин.

Интегральный анализ, проводимый одновременно с накоплением информации, и представление его результатов в удобной, наглядной форме, позволяет осуществлять быструю и надежную отладку всех узлов аппаратуры, делает возможным активный многосторонний контроль ее работы в процессе эксперимента.

При обработке результатов после окончания эксперимента перфоленты, содержащие коды зарегистрированных ранее событий, вводятся в ЭВМ при помощи быстрого фотосчитывающего устройства FS-1500 /МЕОРТА/. Одним из примеров такой обработки является способ определения количества событий, не связанных со спонтанным делением, которые чаще всего представляют собой многократные наложения α -частиц. Эти события, естественно, характеризуются отсутствием нейтронов. Тогда сравнение амплитудных спектров, построенных для событий с $n=0$ и для актов деления с любыми $n \geq 1$, позволяет точно определить количество α -наложений, если они имеются, и ввести соответствующие поправки в результаты.

Присутствие полной информации на перфоленте позволяет также производить повторный анализ накопленных ранее событий, если возникает необходимость проверки экспериментальных условий или появляются новые представления об исследуемом явлении.

К вышеупомянутым параметрам программным способом добавляется еще один - параметр "макроскопического" /в отличие от t_f / времени, который позволяет представить процесс набора информации поэтапно в течение длительного отрезка времени /часов или суток/. Это необходимо, например, для определения или проверки периода полураспада исследуемого сравнительно долгоживущего изотопа, либо для контроля за стабильностью аппаратуры при длительных измерениях. Указанный параметр вводится путем счета импульсов генератора фона /частота которого составляет обычно несколько гц/, а интервал между двумя метками "макроскопического" времени задается экспериментатором и может быть практически любым, начиная с нескольких секунд.

Параметры аппаратуры

Исследования параметров аппаратуры проводились с помощью источника из ^{244}Cm интенсивностью ≈ 13 делений в минуту. Как следует из работы [6], для ^{244}Cm $\bar{\nu} = 2,69 \pm 0,02$.

а/. Среднее время жизни нейтронов деления в детекторе $\bar{\tau}_0$ оценивалось экспериментально по уменьшению среднего числа нейтронов \bar{n} , регистрируемого на акт деления ^{244}Cm , с уменьшением времени выдержки T / T - время, в течение которого разрешается регистрация нейтронов, отсчитанное от момента появления осколка деления/, рис. 4. Определенное таким образом $\bar{\tau}_0$ составило 75 ± 10 мксек. В соответствии с этим выбрано значение времени выдержки $T = 440$ мксек $\approx 6 \bar{\tau}_0$, что обеспечивает сосчитывание 99,7% импульсов нейтронов, зарегистрированных в акте деления.

б/. Уровень фона при выбранном значении T составляет $/0,5 - 1,0 \cdot 10^{-3}$ нейтрон/деление. При работе детектора непосредственно на пучке частиц следует ожидать увеличения фона в связи с запаздывающими нейтронами из осколков вынужденного деления ядер мишени тяжелыми ионами. Тогда значение T , /а/, следовательно, и фон/ может быть уменьшено в 2-3 раза с незначительной потерей эффективности.

в/. Эффективность регистрации нейтронов деления, основанная на $\bar{\nu} = 2,69 \pm 0,02$ для ^{244}Cm , составляет 44-48% при $T = 440$ мксек, в зависимости от конкретного выбора участков амплитудных спектров нейтронов в каждой группе и некоторых других условий. При этом эффективность регистрации γ -квантов / $E_\gamma = 80 - 1280$ кэв/ не превышает 10^{-4} %.

г/. Проверялась степень анизотропии углового распределения регистрируемых /замедленных/ нейтронов. Если эта анизотропия достаточно велика, приобретает важность вопрос о геометрическом способе соединения счетчиков в группы. Для оценки величины анизотропии нами исследовалось пространственное распределение регистрируемых нейтронов для двух вариантов соединения счетчиков в группы, которые мы условно назовем "секторным" /рис. 5а/ и "спиральным" /рис. 5б/. Анализировались акты деления ^{244}Cm , в которых всем детектором зарегистрировано точно два нейтрона. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1
Пространственное распределение регистрируемых нейтронов

	Расчёт	"Секторная" геометрия	"Спиральная" геометрия
1	0.167	0.137 ± 0.012	0.158 ± 0.006
2	0.333	0.359 ± 0.020	0.336 ± 0.019
3	0.333	0.318 ± 0.019	0.327 ± 0.019
4	0.167	0.186 ± 0.015	0.179 ± 0.014
1+4	0.334	0.323 ± 0.019	0.337 ± 0.015

В строках таблицы приведены вероятности регистрации двух нейтронов 1/одной группой счетчиков, 2/двумя соседними группами, 3/двумя группами, расположенными через одну, 4/двумя геометрически противоположными группами счетчиков. Первая колонка цифр - результат расчета для изотропного углового распределения регистрируемых нейтронов /вероятность попадания второго нейтрона в одну из шести групп равна $1/6 = 0,167/$, две другие - экспериментально наблюдаемые величины для двух вариантов соединения счетчиков, исправленные на просчеты из-за разрешающего времени, которые возникают при регистрации двух нейтронов в одной группе.

Из таблицы видно, что степень анизотропии углового распределения невелика, и оба варианта соединения счетчиков дают похожие результаты. При более изотропном распределении счетчиков /"спиральная" геометрия/ получается результат, наиболее близкий к расчетному. Именно этот вариант и выбран нами для дальнейшей работы.

д/. Поскольку усилительноформирующий тракт обладает конечным разрешающим временем $\tau_p \approx 2$ мксек, регистрация двух и более нейтронов одной группой ^3He -счетчиков может приводить к потере импульсов. Вероятность наложения двух импульсов α определяется разрешающим временем тракта и средним временем жизни нейтронов в детекторе $\bar{\tau}_0$, а, точнее, $\alpha = 2\tau_p \int_0^T f^2(t) dt$, где $f(t)$ - нормированное временное распределение импульсов от захвата нейтронов ядрами ^3He , T - временная выдержка. Определенная экспериментально, в нашем случае эта величина составила $0,10 \pm 0,03$. С учетом вероятностей регистрации двух и более нейтронов одной группой счетчиков, поправка к измеряемому $\bar{\nu}$, связанная с просчетами из-за разрешающего времени, составляет $0,8\%$. Одновременная регистрация двух нейтронов двумя различными группами счетчиков к просчетам не приводит из-за полной независимости усилительноформирующих трактов.

Обработка результатов

Экспериментальными данными, подлежащими окончательной обработке, являются распределения исследуемых и эталонных событий по признаку числа нейтронов n , регистрируемого в одном акте деления. Для получения конечных результатов $\bar{\nu}$, c_ν , P_ν /необходимо ввести в эти распределения поправки, учитывающие разрешающее время, фон и эффективность детектора нейтронов.

Пусть после учета /по методу, изложенному выше/ многократных наложений α -частиц, если они имеются, $\{F_n\}$ -распределение множественности регистрируемых нейтронов, каждая компонента которого F_n есть вероятность регистрации n нейтронов на акт деления, так что $\sum_{n=0}^{\infty} F_n = 1$. Тогда компоненты распределения множественности $\{F'_n\}$, исправленного на просчеты из-за разрешающего времени, можно получить, пользуясь соотношением

$$F_n = F'_n (1 - \alpha W_n) + \alpha W_{n+1} F'_{n+1} \quad /1/$$

$$W_n = W_{2n} + 3W_{3n},$$

где $\alpha = 0,10$ - вероятность наложения импульсов двух нейтронов, зарегистрированных одной группой ^3He -счетчиков, W_{2n} и W_{3n} - средние числа случаев регистрации соответственно двух и трех нейтронов одной группой счетчиков на акт деления с суммарным числом зарегистрированных нейтронов, равным n ; определяются для каждого $n \geq 2$ после окончания эксперимента с помощью программы OLAF. Соотношение /1/ справедливо с точностью до членов $\approx \alpha^2$, вкладом которых можно пренебречь.

Далее, пусть $\{B_n\}$ - зарегистрированное распределение множественности фоновых нейтронов. Тогда компоненты распределения $\{F''_n\}$, исправленного и на фон, могут быть определены по формуле

$$F''_n = \frac{1}{B_0} \left[F'_n - \sum_{i=1}^{i=n} B_i F'_{n-i} \right]. \quad /2/$$

Формулой /2/ учитывается также и возможная интерференция нейтронов исследуемого и эталонного изотопов, которая заметна для сравнительно больших интенсивностей обоих источников /порядка нескольких делений в секунду/. Поскольку фон /не связанный с делением/ мал, в отсутствие интерференции его можно учитывать более простой формулой

$$F''_n = \frac{F'_n - \gamma F'_{n-1}}{1 - \gamma}, \quad /2a/$$

где γ - среднее число фоновых нейтронов на акт деления.

После введения указанных выше поправок как для исследуемого, так и для эталонного источника, могут быть получены величины

$$\bar{n} = \sum_{n=1}^{n=n_{max}} n \cdot F''_n \quad \text{и} \quad \sigma_n = \sum_{n=0}^{n=n_{max}} (n - \bar{n})^2 F''_n. \quad /3/$$

При этом статистическая ошибка величины \bar{n} определяется выражением $\Delta \bar{n} = \sigma_n / \sqrt{M}$, где σ_n - ширина регистрируемого распределения множественности, а M - полное число наблюдаемых актов деления. С помощью простых формул можно получить $\bar{\nu}_x$ для исследуемого изотопа и σ_ν^2 - дисперсию распределения P_ν :

$$\bar{\nu} = \bar{\nu}_\ominus \frac{\bar{n}_x}{\bar{n}_\ominus} = \frac{\bar{n}_x}{\epsilon}, \quad \sigma_\nu^2 = \frac{\sigma_n^2 - \bar{n}(1 - \epsilon)}{\epsilon^2} \quad /4/$$

Распределение множественности нейтронов, испускаемых делящимся ядром, можно рассчитать, учитывая эффективность детектора ϵ по формуле Дайвена ^{/7/}:

$$P_\nu = \sum_{n=\nu}^{n=n_{max}} \frac{n!}{\nu! (n - \nu)!} \epsilon^{-n} (\epsilon - 1)^{n - \nu} F_n'' \quad /5/$$

Окончательная обработка результатов эксперимента проводится на ЭВМ CDC-1604A по программе BORIA, написанной на языке FORTRAN.

Заключение

1. Детектор нейтронов деления на базе 36 пропорциональных ³He-счетчиков, помещенных в замедлитель, имеет эффективность регистрации около 50% при уровне фона менее 0,001 нейтрон/деление.

2. Регистрация нейтронов в совпадении с осколком деления является наиболее прямым и точным методом измерения $\bar{\nu}$. Определение количества нейтронов для каждого отдельного акта деления всегда приводит к меньшей статистической ошибке $\bar{\nu}$, чем интегральное измерение числа нейтронов и осколков; позволяет определять, наряду с $\bar{\nu}$, распределение множественности нейтронов, испускаемых делящимся ядром P_ν , и его параметры.

3. Параллельный анализ нейтронов деления исследуемого и эталонного изотопов устраняет ошибки, связанные с вероятными небольшими изменениями ϵ , позволяет автоматически нормировать измеряемое $\bar{\nu}$.

4. Эксперимент, осуществляемый на линии с ЭВМ, приобретает ряд существенных достоинств: а/интегральный анализ информации, проводимый одновременно с ее накоплением, обеспечивает непрерывный контроль за работой аппаратуры, позволяет определять многие характеристики исследуемого явления на любой стадии эксперимента; б/хранение полной информации /кодов событий/ на перфоленте позволяет повторно обрабатывать результаты, легко и надежно вводить необходимые поправки; в/характеристики анализатора могут быть изменены программным путем, что не влечет за собой изменений в аппаратуре; г/работа на линии с ЭВМ часто предоставляет возможности, не предусмотренные заранее ни экспериментатором, ни программистом: ее содержание богаче проектов.

5. Небольшое усовершенствование аппаратуры - одновременный анализ амплитуд /энергий/ обоих осколков и нейтронов из одного акта деления - позволит изучать корреляции $\bar{v}, E_1, E_2, A_1, A_2$, которые дают важную информацию для критической оценки теоретических представлений о процессе деления $E_{1,2}$ и $A_{1,2}$ - соответственно кинетические энергии и массы обоих осколков деления/.

С помощью аппаратуры, представленной в настоящей статье, исследовались мгновенные нейтроны при спонтанном делении ^{256}Fm ($T_{1/2} = 2,6 \text{ час}$) /8/.

Авторы выражают искреннюю благодарность академику Г.Н.Флерову и доктору физ.-мат. наук Ю.Ц.Оганесяну за постановку задачи, постоянное внимание и интерес к ней, В.А.Друину - за существенную поддержку в период создания аппаратуры.

Авторы благодарят Г.М.Гер-Акопьяна и сотрудников его группы, любезно предоставивших ^3He -счетчики, за многочисленные советы и дискуссии; В.Г.Субботина - за активное участие в работе и полезные замечания при подготовке настоящей статьи; Б.В.Фефилова и Л.П.Челнокова за поддержку и обсуждения; Ю.А.Дьячихина, конструировавшего детектор нейтронов. Авторы признательны коллективу радиомонтажников во главе с В.В.Кочетковым за качественное выполнение работ; Ю.В.Полубояринову - за помощь при наладке аппаратуры.

Литература

1. D. F. Torgerson, N. S. Oakey and R. D. Macfarlane. *Bull. Am. Phys. Soc.*, 15, 1677 (1970).
2. Г. М. Тер-Акопьян, М. П. Иванов, А. Г. Попеко, В. Г. Субботин, Б. В. Фефилов, Е. Д. Воробьев. *ОИЯИ*, P13-5391, Дубна, 1970.
3. Г. Н. Флеров, Г. М. Тер-Акопьян и др. Труды международной конференции по физике тяжелых ионов. Дубна, февраль 1971. *ОИЯИ*, Д7-5769, стр. 61, Дубна, 1971.
4. L. V. East and R. B. Walton. *Nucl. Instr. and Meth.*, 72, 161 (1969).
5. Л. И. Прохорова, Р. Е. Багдасаров и др. *АЭ*, 30, 251 /1971/.
6. A. H. Jaffey and J. L. Lerner. *Nucl. Phys.*, A145, 1 (1970).
7. B. C. Diven, H. C. Martin, R. F. Taschek and J. Terrell. *Phys. Rev.*, 101, 1012 (1956).
8. М. Даковский, Ю. А. Лазарев, Ю. Ц. Оганесян. Препринт *ОИЯИ*, P15-6518, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 июня 1972 года.

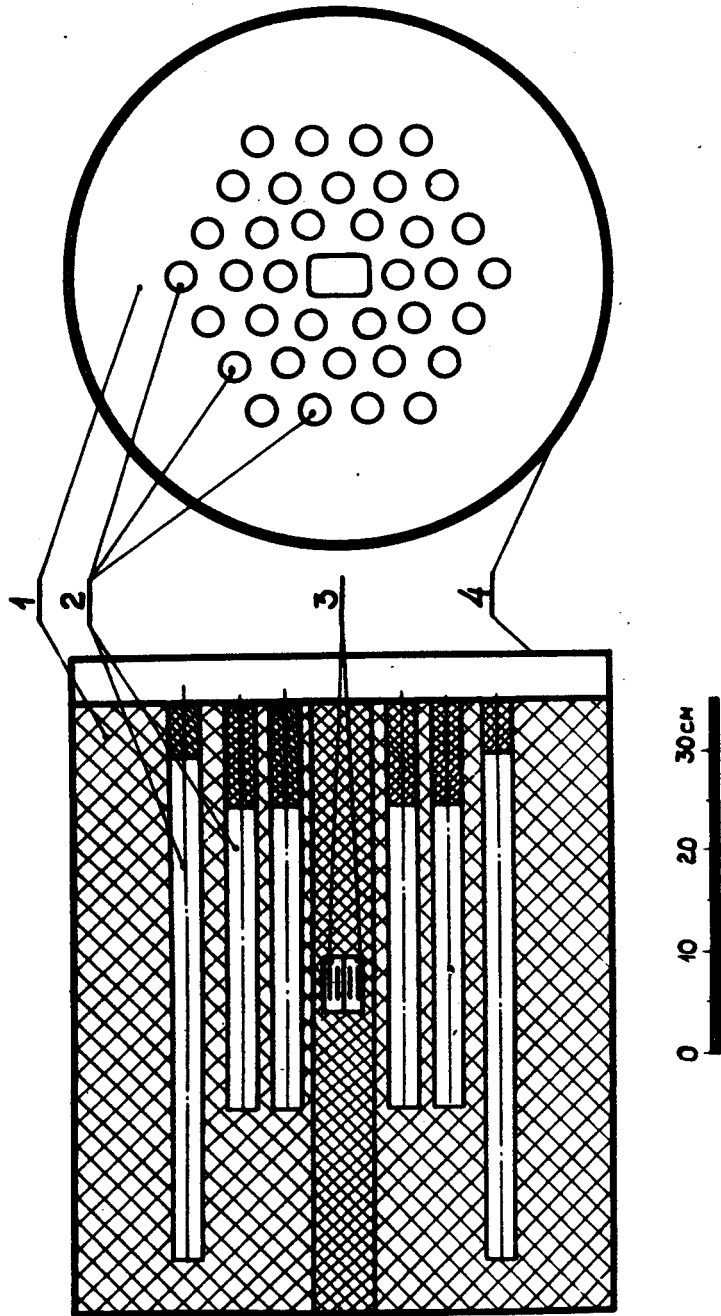


Рис. 1. Схема детектора нейтронов. 1 - замедлитель /плексиглас/,
 2 - пропорциональные ^3He -счетчики, 3 - камеры с источниками де-
 лений и $\text{Si}(\text{Au})$ - детекторами, 4 - металлический экран.

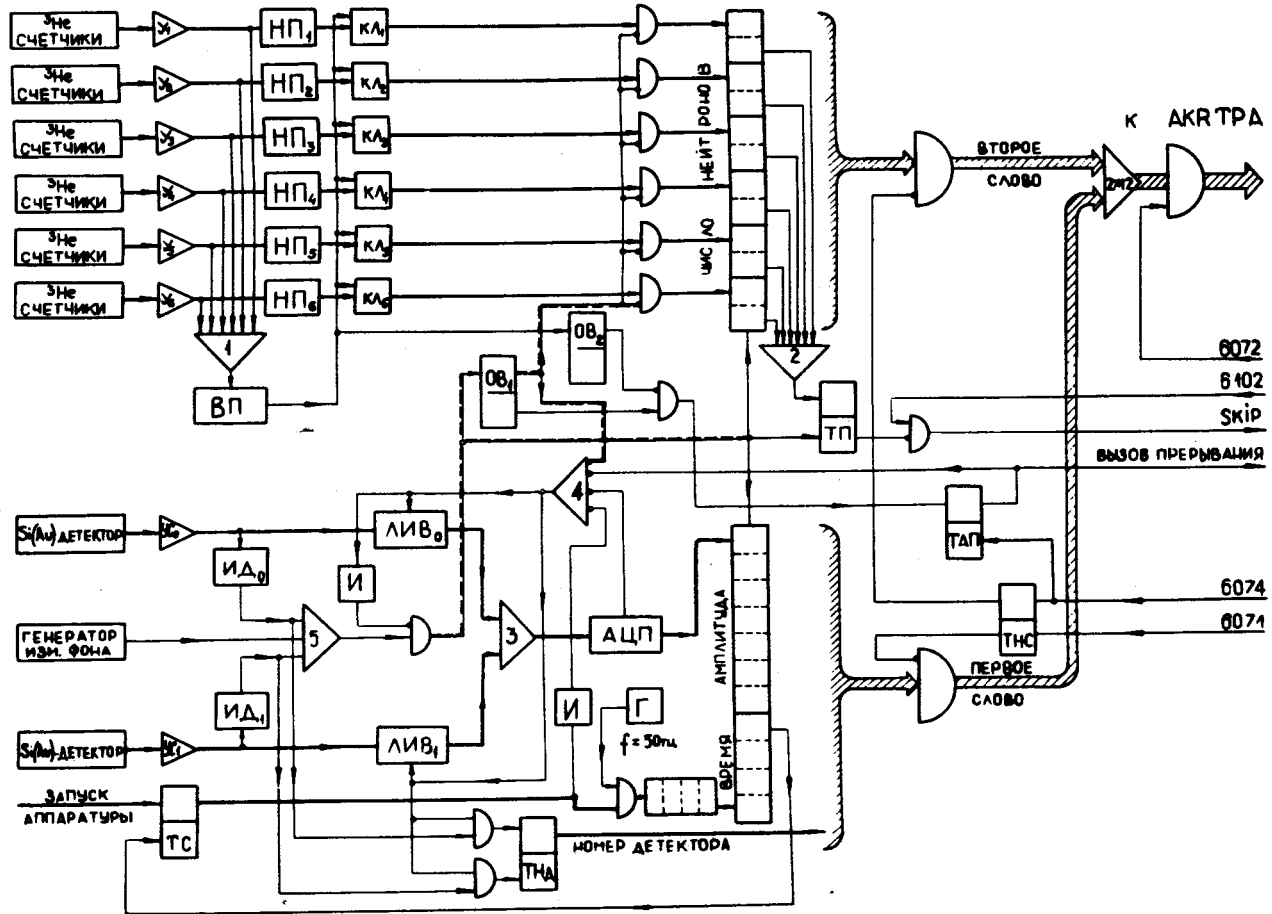


Рис. 2. Упрощенная блок-схема электронной аппаратуры.

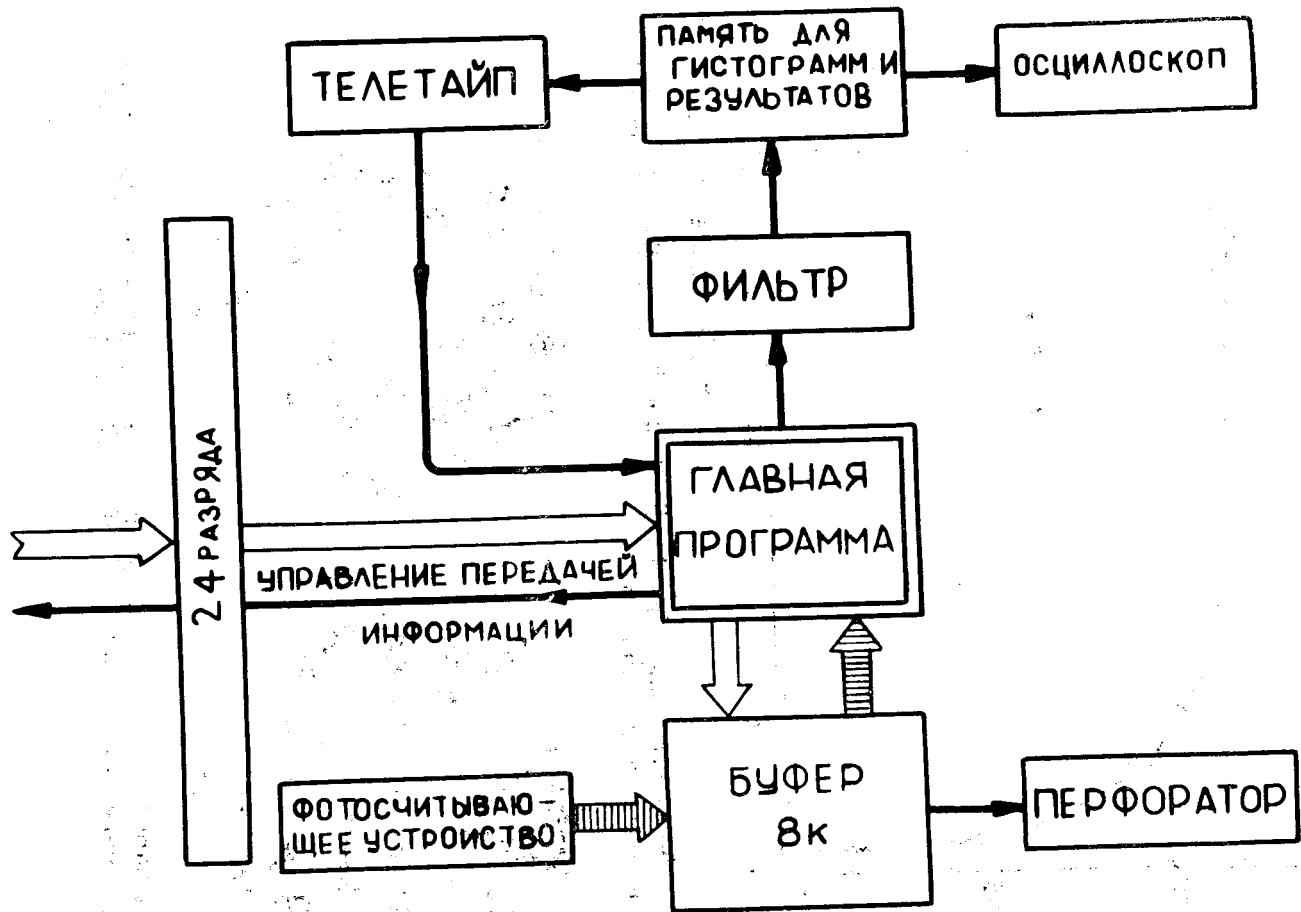


Рис. 3. Организация работы программы OLAF.

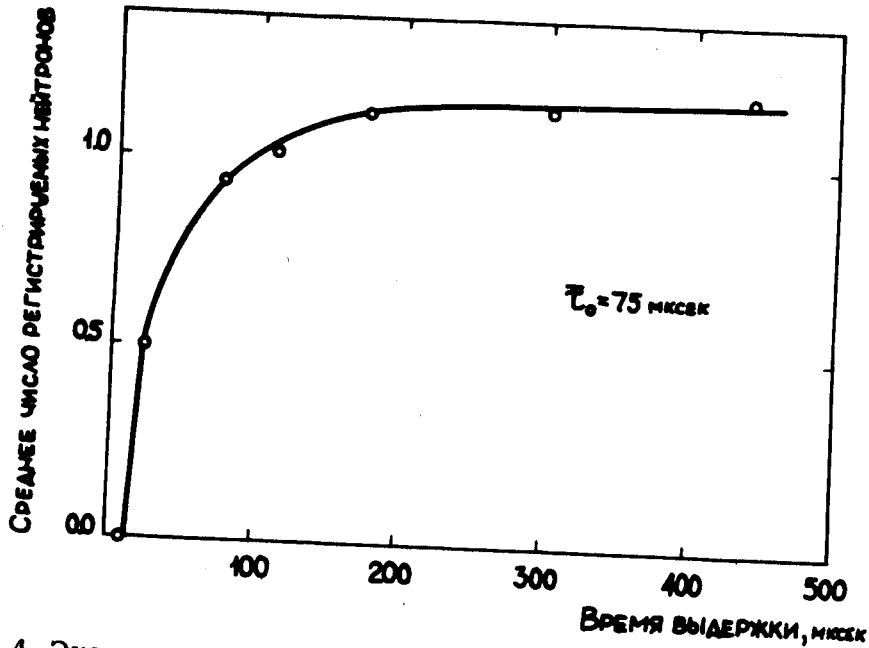


Рис. 4. Экспериментальные данные по определению среднего времени жизни нейтронов деления в детекторе.

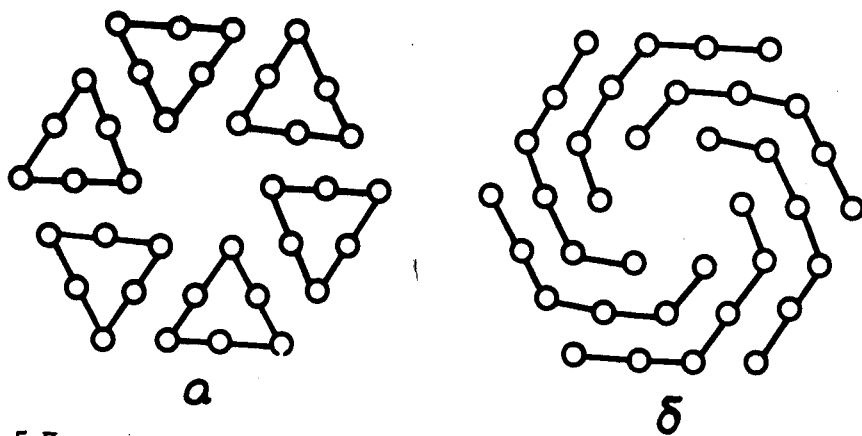


Рис. 5. Два варианта соединения пропорциональных счетчиков в группы: а - секторная геометрия, б - спиральная геометрия.