

0597.1A  
P-989

23/vii

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P3 - 5119



Ю.В. Рябов, Н. Чиков

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ  $\bar{v}$   
НА НЕЙТРОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ  
ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА

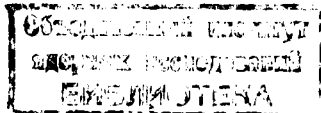
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

1970

РЗ - 5119

Ю.В. Рябов, Н. Чиков

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ  $\bar{v}$   
НА НЕЙТРОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ  
ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА



Измерение среднего числа нейтронов на акт деления  $\bar{\nu}$  для спонтанного и вынужденного деления ядер тяжелее тория представляет большой интерес для теории деления и реакторостроения. Величина  $\bar{\nu}$  для многих ядер была измерена при делении тепловыми и быстрыми (несколько Мэв) нейтронами в работах/1,2,3,4/. Несмотря на большие методические трудности измерения  $\bar{\nu}$  в резонансной области энергий нейтронов были выполнены с точностью  $1 \pm 1,5\%$  на кристаллическом монохроматоре нейтронов в области энергий от тепловой до 0,5 эв/5,6/. Точность измерения методом времени пролета  $\bar{\nu}$  для  $\text{Pu-239}$  в области энергий до 40 эв, полученная в работе/7/, составляла  $3 \pm 5\%$  при максимальном изменении  $\bar{\nu}$  от резонанса к резонансу равном 13%.

В настоящей работе предложена методика измерения вариаций  $\bar{\nu}$  от резонанса к резонансу методом времени пролета с использованием большого жидкостного сцинтилляционного детектора с введенным в раствор пропиновокислым кадмием/8/.

### Принципиальная схема эксперимента

Блок-схема измерений и обработки экспериментальных данных приведена на рис. 1. Основными компонентами измерительного комплекса являлись:

- 1) нейтронный спектрометр по времени пролета, позволяющий выделять нейтроны необходимой энергии;
- 2) детектор для регистрации нейтронов и актов деления;

3) система кодирования экспериментальной информации и передачи в Измерительный центр;

4) 20-разрядный регистратор с памятью на магнитной ленте;

5) "малая" вычислительная машина с визуальным каналом связи в виде осциллографа со световым карандашом;

6) "большая" вычислительная машина.

## Нейтронный спектрометр по времени пролета

Измерения проводились методом времени пролета с импульсным быстрым реактором ОИЯИ в качестве источника резонансных нейтронов/9/. Пролетное расстояние составляло 1010 м, частота следования нейтронных импульсов 2 - 5 в сек, а полное разрешение спектрометра  $\approx 60$  нсек/м.

В этих условиях при энергии 40 + 50 эв для U-235 и 80 + 90 эв для Pu-239 энергетическое разрешение становится сравнимым со средним расстоянием между уровнями для исследуемых ядер. Это может привести к тому, что наблюдаемые эффекты будут относиться не к отдельным уровням, а к группе неразрешенных уровней. Поэтому энергетический диапазон исследований ограничивался со стороны высоких энергий в основном разрешающей способностью спектрометра, а со стороны низких энергий - частотой следования нейтронных импульсов.

## Детектор

Для регистрации нейтронов деления использовался жидкостный сцинтилляционный детектор объемом 500 л с введенным в раствор пропионовокислым кадмием, подобный описанному в работе/8/. Детектор состоит из двух баков в виде усеченных конусов равного объема. Они имеют внутренний продольный канал диаметром 22 см. Каждый бак просматривался четырьмя ФЭУ-49 с диаметром фотокатода 17 см и уровнем шумов, не превышающим 5 кэв по NaJ(Tl). Каждый ФЭУ имел индивидуальный делитель с независимой в пределах 1500 - 2000 в регулировке высокого напряжения. Схема высоковольтного питания с заземленным фотокатодом

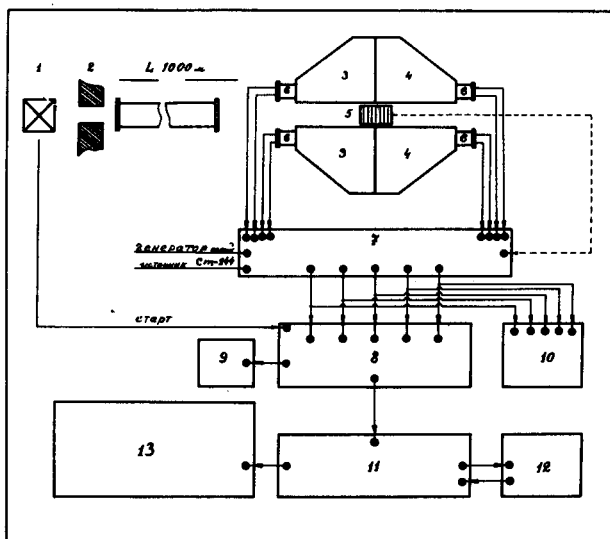


Рис. 1. Блок-схема измерений и обработки экспериментальных данных.  
 1. Импульсный быстрый реактор. 2. Коллиматор. 3,4. Жидкостный сцинтилляционный детектор. 5. Исследуемые образцы или делительная камера. 6. Фотоумножители. 7. Электронная аппаратура регистрации нейтронов. 8. 20-разрядный регистратор с памятью на магнитной ленте. 9. Контрольное записывающее устройство. 10. Контрольное пересчётное устройство. 11. ЭВМ "Минск-2". 12. Световой карандаш. 13. ЭВМ М-20.

обеспечивала устойчивую работу ФЭУ в контакте с большой массой металла. Оптический контакт со сцинтиллятором осуществлялся через увеолевое стекло на вазелиновой смазке. В качестве диффузного отражателя для покрытия внутренней поверхности баков использовался эффективный отражатель на основе двуоксида титана, нанесенный с помощью технической жематины.

В сцинтиллятор, приготовленный на основе толуола с добавками пара-терфенила и ПОПОП, вводился раствор пропионовокислого кадмия  $Cd(C_3H_{15}O_2)_2$  в обезвоженном метиловом спирте. Этот сцинтиллятор имеет более низкую эффективность в отношении передачи энергии, чем "чистый" сцинтиллятор.

Световой выход частично восстанавливался введением в сцинтиллятор второй сцинтиллирующей добавки – нафталина, роль которой сводится к тому, что ее молекулы облегчают передачу возбуждения от растворителя к основному сцинтиллирующему веществу, уменьшая тем самым гасящее действие спиртового раствора пропионовокислого кадмия.

При использованной концентрации кадмия (четыре ядра кадмия на тысячу ядер водорода) среднее время жизни нейтрона до захвата в детекторе составляло  $\approx 8$  мксек. Общий вид детектора показан на рис.2.

## Электронная аппаратура

Фронты импульсов на выходе ФЭУ определялись в основном временем высвечивания сцинтиллятора (менее  $2 \cdot 10^{-8}$  сек) и разбросом времени пролета электронов через ФЭУ (менее  $5 \cdot 10^{-8}$  сек для ФЭУ-49). Величина сопротивления нагрузки выбиралась таким образом, чтобы РС не превышало суммарного времени собирания электронов более чем в 3-4 раза. В результате было получено полное разрешающее время  $\approx 0,2$  мксек.

Импульсы от четырех ФЭУ каждой половины детектора с помощью линейных до 10 в эмиттерных повторителей поступали на входной блок стойки регистрации, где ограничивались сверху на уровне 0,5 в для того, чтобы исключить амплитудные перегрузки последующих спектрометрических трактов. После линейного суммирования и усиления импульсы пода-



Рис. 2. Общий вид детектора нейтронов деления.

вались на схему совпадений половин бака с разрешающим временем 0,1 мксек. Пороги срабатывания схемы совпадений можно было регулировать в пределах от 5 до 100 мв. Этот канал использовался для регистрации момента деления по испущенным мгновенным  $\gamma$ -лучам.

Суммарный импульс от восьми ФЭУ после усиления поступал на вход интегрального дискриминатора с мертвым временем 0,25 мксек и далее - на вход нормально закрытых ворот (канал регистрации мгновенных нейтронов деления). Импульс, фиксирующий момент деления (от делительной камеры или схемы совпадений), проходил через нормально открытый электронный ключ, закрывал его за собой на время переработки информации, чтобы обеспечить устойчивую работу задающего одновибратора ворот, и через 0,8 мксек открывал ворота для пропускания им-

пульсов от захвата кадмием мгновенных нейтронов. Последняя задержка необходима для исключения возможности регистрации мгновенных  $\gamma$ -лучей деления. Длительность ворот изменялась от 16 до 25 мксек. После прохождения ворот импульсы запоминались тремя триггерами (максимальное запоминаемое число - семь). Импульс, фиксирующий момент деления, запоминался четвертым триггером. Задним фронтом ворот производился опрос триггеров, и их состояние параллельно переносилось на 20-разрядный регистратор с памятью на магнитной ленте/10/. Затем триггеры возвращались в исходное состояние.

Для измерения фона ворота открывались вторично через 40 мксек после момента деления, фоновые импульсы пересчитывались теми же триггерами, а признак фона запоминался пятым триггером. В результате опроса триггеров на 20-разрядный регистратор параллельно переносились признак фона и число фоновых импульсов. Затем триггеры возвращались в исходное состояние, и вырабатывался импульс конца цикла регистрации, открывающий входной электронный ключ для поступления очередного импульса акта деления. Для исключения случаев однократного нечеткого срабатывания входного ключа, которое может привести к полному прекращению поступления информации, его состояние дополнительно устанавливалось в положение "открыт" импульсом-стартом спектрометра по времени пролета перед каждой нейтронной вспышкой. Блок-схема логического отбора и кодирования импульсов приведена на рис. 3. Осциллограммы работы отдельных узлов схемы приведены на рис. 4.

Входное устройство 20-разрядного регистратора с памятью на магнитной ленте позволяло использовать первые 5 двоичных разрядов для записи числа зарегистрированных нейтронов деления ( $2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$ ), признаков эффекта ( $2^3$ ) и фона ( $2^4$ ). Остальные разряды использовались для записи адресных кодов (временные каналы).

После этапа накопления производилась сортировка информации по частям с помощью памяти интегрирующего типа. Дешифрирующее устройство 20-разрядного регистратора позволяло получать временные спектры с помощью порогов отбора, являющихся комбинациями разрядов  $2^3$  (или  $2^4$ ) с разрядами  $2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$  и с  $2^5$  по  $2^{20}$ . Таким образом, были получены временные спектры, соответствующие регистрации 0,1,2... импульсов в не-



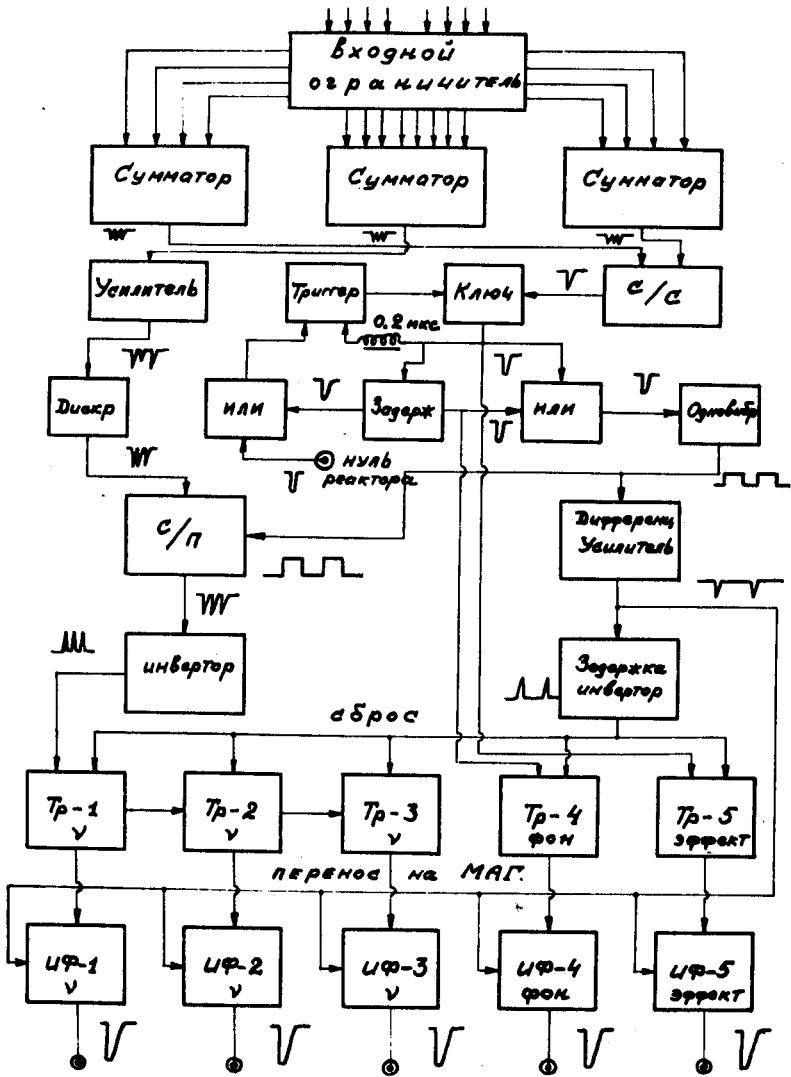


Рис. 3. Блок-схема логического отбора и кодирования импульсов.

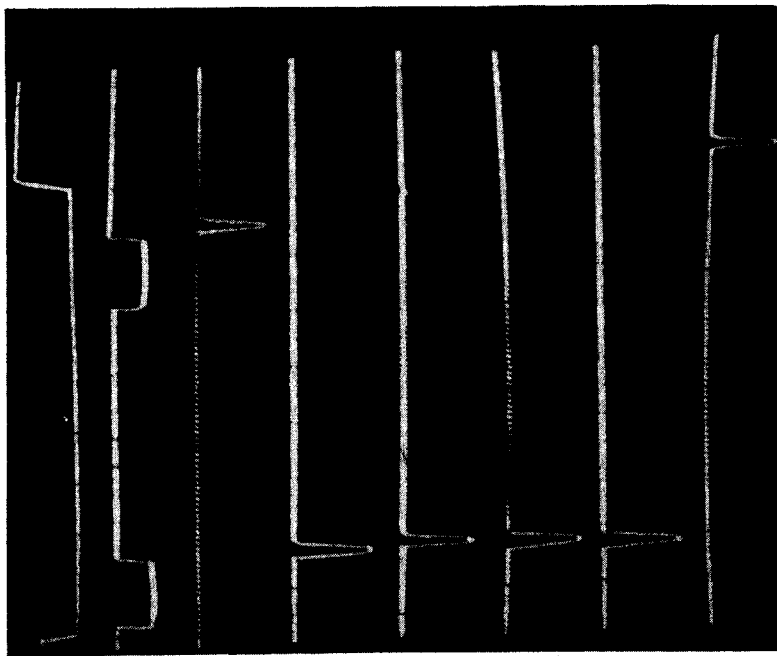
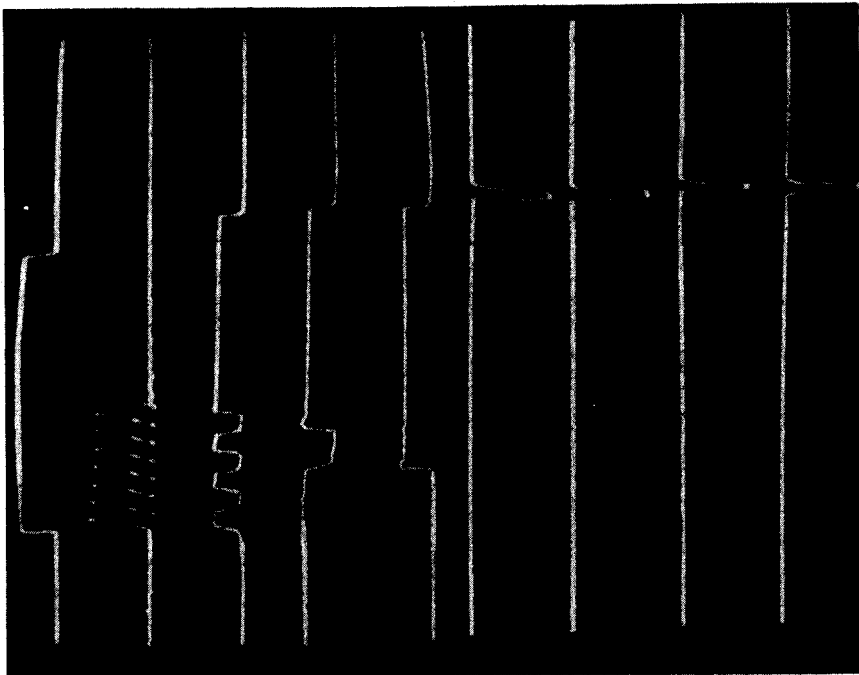


Рис. 4. Осциллограммы работы схемы регистрации мгновенных нейтронов деления. Сверху вниз: а) Импульс запрета электронного входного ключа. Временные окна регистрации эффекта и фона, Признаки фона, эффекта и состояния 1-го, 2-го и 3-го триггеров, (Перенос на 20-разрядный регистратор). Импульс конца цикла регистрации (масштаб времени 80 мксек). б) Временное окно регистрации эффекта (около 8 мксек), Регистрируемые импульсы. Срабатывание 1-го, 2-го и 3-го триггеров, Признаки эффекта и состояния триггеров для передачи на 20-разрядный регистратор.

смешенном и смещенном временном окне схемы пропускания. Каждая серия обработки обычно состояла из 11 временных спектров по 2048 или 4096 каналов (7 спектров, относящихся к регистрации эффекта, и 4 спектра, относящиеся к регистрации фона).

При проведении большого числа независимых серий измерений суммарная информация состояла из нескольких сотен массивов по 2048 или 4096 чисел, что требовало организации специальной системы первичной обработки экспериментальных данных.

### Система первичной обработки экспериментальных данных

В конце каждого цикла измерений накопленная информация с помощью системы связи передавалась на малую электронно-вычислительную машину (ЭВМ) "Минск-2". Первичная обработка временных спектров, включающая такие простые операции как сортировка и суммирование идентичных серий, введение некоторых поправок, получение сумм отсчетов в определенных энергетических границах и т.д., проводилась с использованием вычислительной системы с визуальным каналом в виде осциллографа со световым карандашом/11/. При этом на первом спектре каждой серии измерений (обычно это был интегральный спектр, имеющий наибольшую статистику) световым карандашом размечались временные границы, в пределах которых проводилась дальнейшая обработка, и которые впоследствии запоминались в МОЗУ ЭВМ. Все следующие массивы данной серии обрабатывались автоматически без новой разметки временных спектров. Границы суммирования, соответствующие им энергии, и суммы отсчетов в этих границах выдавались на печать и вводились в память ЭВМ М-20.

Программой обработки предусматривалось изображение полного спектра (рис. 5) и отдельных его участков (рис. 6). Обработанные участки в каждом спектре подсвечивались.

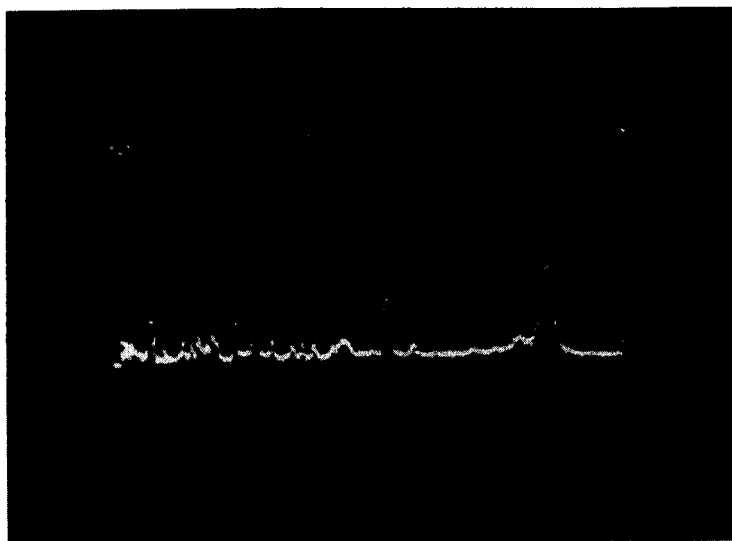


Рис. 5. Изображение полного спектра делений U-235 на экране осциллографа со световым карандашом. В верхней части видны символы - команды обработки.

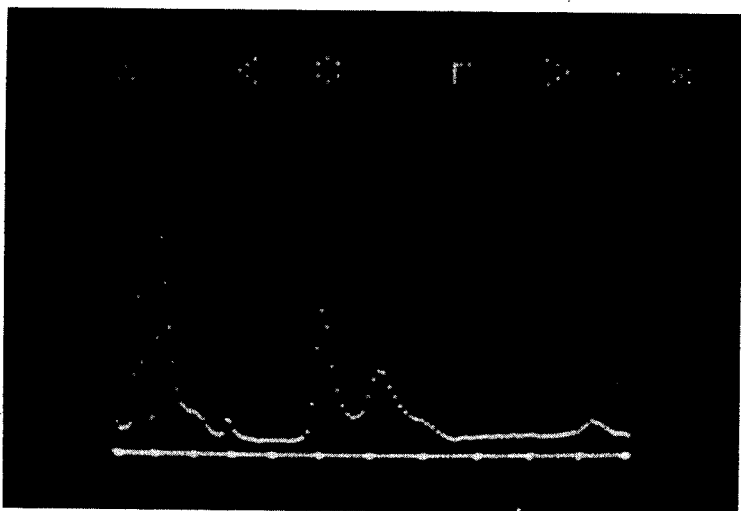


Рис. 6. Изображение обрабатываемого участка от 2 до 8 эв. Обработанные резонансы подсвечены. В верхней части видны символы - команды обработки.

## Калибровка аппаратуры и измерения

Для уменьшения постоянного фона, обусловленного космическим излучением, радиоактивным фоном помещения и т.д., жидкостный детектор был закрыт свинцовой и защитой из парафина с бором весом около 20 тн.

Калибровка амплитудных порогов регистрации мгновенных нейтронов и  $\gamma$ -лучей деления производилась с помощью радиоактивных источников  $^{137}\text{Cs}$  ( $E_{\gamma} = 0,661$  Мэв),  $^{60}\text{Co}$  ( $E_{\gamma_1} = 1,173$  Мэв,  $E_{\gamma_2} = 1,333$  Мэв) и  $^{24}\text{Na}$  ( $E_{\gamma_1} = 1,368$  Мэв,  $E_{\gamma_2} = 2,760$  Мэв). Мгновенные нейтроны деления регистрировались в амплитудном окне, соответствующем нижнему порогу регистрации  $\gamma$ -лучей от захвата нейтронов кадмием  $1 + 1,5$  Мэв и верхнему - 10 Мэв. При регистрации мгновенных  $\gamma$ -лучей деления по каналу схемы совпадений нижний порог устанавливался на уровне  $0,3 + 0,6$  Мэв, верхний -  $1 + 2,5$  Мэв по каждому входу. Это позволяло с большей эффективностью регистрировать  $\gamma$ -лучи деления (10  $\gamma$ -квантов на деление при средней энергии около 0,7 Мэв), чем  $\gamma$ -лучи радиационного захвата (в среднем 3-4  $\gamma$ -кванта на захват нейтрона при средней энергии около 2 Мэв). Соответствующие эффективности регистрации мгновенных нейтронов деления -  $\epsilon_n$  составляли в различных сериях измерений 57, 66, 78, и 90%, а мгновенных  $\gamma$ -лучей -  $\epsilon_{\gamma}$  - 75 и 53%. Оценки эффективностей были получены в измерениях на нейтронном пучке с использованием ионизационной интегральной камеры делений с U-235 /8/.

Разрешающее время электронного канала регистрации мгновенных нейтронов деления определялось с помощью генератора серий импульсов треугольной формы, подключаемого к выходу ФЭУ. Ширина на половине высоты каждого импульса составляла  $\approx 150$  нсек при таком же расстоянии между импульсами, число импульсов в серии изменялось от 1 до 50 и частота повторения серий - до 15 кгц, что соответствовало максимальной равномерной частоте следования циклов регистрации эффекта и фона при максимальной использованной длительности ворот схемы пропускания. В этих условиях не наблюдалось заметного изменения мертвого времени и ухода электронных порогов дискриминаторов из-за возможного изменения режимов работы входных транзисторов используемых схем при увеличении числа импульсов в серии.

Проверка методики измерения вариаций  $\bar{\nu}$  с использованием регистрации момента деления по мгновенным  $\gamma$ -лучам осуществлялась с помощью многослойной ионизационной камеры в качестве детектора актов деления/12/. Общее количество U-235 в камере составляло около 1 г. Ионизационная камера наполнялась смесью аргона и 5%  $\text{CO}_2$  до давления 1,2 атм. Эффективность регистрации осколков в области пренебрежимо малого фона от  $\alpha$ -частиц была  $\approx 60\%$ .

Основные измерения вариаций  $\bar{\nu}$  от резонанса к резонансу были проведены с использованием регистрации момента деления по мгновенным  $\gamma$ -лучам деления/8/. Использованные в измерениях образцы U-235 (обогащение 90%) имели толщины  $8,3 \cdot 10^{-5}$ ,  $4,3 \cdot 10^{-4}$ ,  $2,1 \cdot 10^{-3}$  ядер/барн и Pu-239 (обогащение 98,3%) -  $2,8 \cdot 10^{-4}$  и  $1,3 \cdot 10^{-3}$  ядер/барн. Оба метода измерения давали хорошо согласующиеся результаты. В 20-разрядном регистраторе с памятью на магнитной ленте для обеспечения разумных скоростей движения магнитной ленты (от 1 до 2,5 см/сек) использовалась промежуточная память разравнивающего типа с емкостью 32-64 слова.

Скорость поступления информации на вход регистратора составляла 3 + 5 имп/цикл при измерениях с делительной камерой и 25 + 35 имп/цикл с "толстым" образцом Pu-239. Соответствующее время списывания информации из промежуточной памяти на магнитную ленту при используемой плотности записи  $\approx 10$  имп/мм не превышало (вместе с временем регистрации) времени между последующими нейтронными импульсами спектрометра по времени пролета и не приводило к искажениям временных спектров.

Так как ожидаемые вариации  $\bar{\nu}$  от резонанса к резонансу для U-235 и Pu-239 не превышали 2 + 5%, то полученные экспериментальные результаты можно считать достоверными только при наличии надежно и стабильно работающей аппаратуры. Поэтому обращалось особое внимание на контроль в процессе измерений за работой всего тракта регистрации от детектора до записи данных на магнитной ленте.

Контроль за работой 20-разрядного регистратора с памятью на магнитной ленте в процессе накопления информации осуществлялся с помощью дополнительного контрольного запоминающего устройства (КЗУ) интегрирующего типа емкостью 512 каналов с осциллографическим индикатором.

Непосредственный контроль токов в головках записи являлся достаточным для контроля за информацией, записываемой на магнитную ленту, так как потери информации за счёт возможных дефектов самой ленты обычно значительно меньше статистических погрешностей эксперимента. В первые 256 каналов КЗУ записывался временной спектр делений, соответствующий спектру 2048 или 4096 каналов, в сжатом по временной шкале масштабе с суммированием информации в 8 или 16 соседних каналов. Это позволяло контролировать в основном надежность работы временного кодировщика и промежуточной памяти, показателем которой являлось отсутствие "сбоев" в отдельных каналах или группах каналов, искажений временных спектров, "перегрузок" и т.д.

Для того чтобы контролировать в процессе измерений эффективность регистрации нейтронов деления и отношение эффект-фон, т.е. отношение числа зарегистрированных импульсов в несмещенном и смещенном временном окне схемы пропускания, 32 канала КЗУ подключались к головкам записи через устройство отбора, с помощью которого выделялись коды, соответствующие числу случаев регистрации 0,1,2... импульсов "эффекта" и отдельно - "фона", просуммированные по всем исследованным резонансам. Суммарное число случаев регистрации "эффекта" всегда равнялось числу "фоновых" случаев, так как при каждой регистрации импульсов ворота схемы пропускания открывались дважды.

Таким образом, для контроля в процессе измерений периодически из памяти КЗУ выводилась числовая информация, включающая:

*1) временной спектр делений (контролировалась сумма отсчетов в отдельных энергетических интервалах);*

*2) суммарное число случаев регистрации "эффекта" и "фона" для всех исследуемых резонансов;*

*3) отношение суммарного числа зарегистрированных импульсов в несмещенном и смещенном окне схемы пропускания (отношение эффект-фон) для всех исследуемых резонансов.*

Кроме этого отдельные счётные устройства позволяли непрерывно контролировать счёт на всех пяти входах 20-разрядного регистратора с памятью на магнитной ленте.



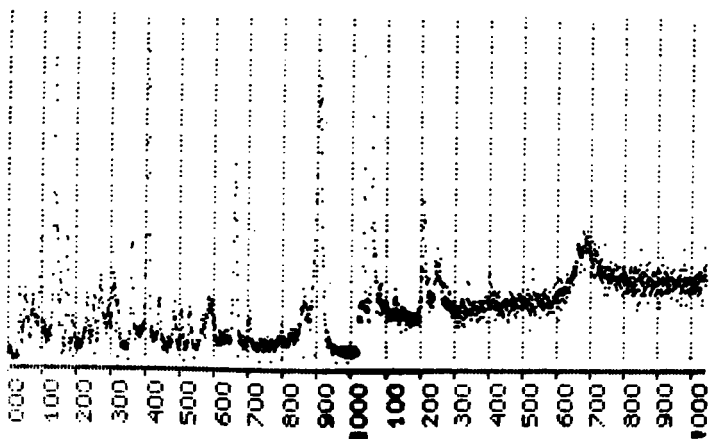


Рис. 7. Экспериментальный спектр, соответствующий регистрации одного импульса детектора в окне схемы пропускания при измерениях по времени пролета с образцом U-235 (фон не вычтен). (По горизонтали - номер канала анализатора).

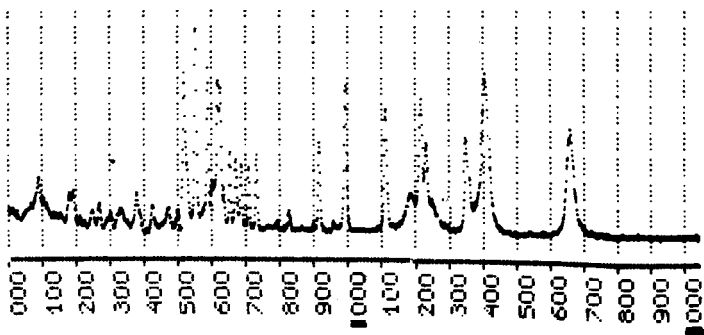


Рис. 8. Экспериментальный спектр, соответствующий регистрации одного импульса детектора в окне схемы пропускания при измерениях по времени пролета с образцом Pu-239 (фон не вычтен). (По горизонтали - номер канала анализатора).

Перед началом и по окончании каждой серии измерений, соответствующей записи информации на одной бобине магнитной ленты длиной 1 км, весь комплекс измерительной аппаратуры калибровался с помощью одних и тех же  $\gamma$ -источников (проверка электронных порогов регистрации) и спонтанно-делящегося источника  $^{244}\text{Cm}$  ( $\bar{\nu} = 2,82$ ) (контроль постоянства эффективности регистрации нейтронов деления).

Для оценки качества магнитных лент перед началом измерений снимались их характеристики с помощью генератора стандартной частоты. Если потери информации при воспроизведении не превышали 0,1%, то магнитные ленты использовались в дальнейших измерениях.

На рис. 7 и 8 для иллюстрации показаны временные спектры деления  $\text{U-235}$  и  $\text{Pu-239}$ , полученные описанным методом.

В заключение авторы выражают благодарность Г.П. Жукову за обсуждения и помощь при работе на 20-разрядном регистраторе с памятью на магнитной ленте и Т.И. Афанасьевой и Ю.И. Колгину за помощь при изготовлении аппаратуры.

#### Л и т е р а т у р а

1. В.И. Калашникова, В.И. Лебедев, И.Е. Спивак. Атомная энергия, т. № 1, (1957).
2. B.C. Diven, H.C. Martin, R.F. Tashek, J. Terrell. *Phys.Rev.*, vol.101, 3, 1012 (1956).
3. D.A. Hicks, J. Ise, Jr. and R.V. Pyle. *Phys.Rev.*, vol.101, 3, 1016 (1956).
4. D.S. Mather, P. Fieldhouse, A. Moat. *Phys.Rev.*, vol.133, 6B (1964).
5. B.R. Leonard et al. *BAPS, ser.II, v.1,8* (1956).
6. J. Michel. Auclair et al. *Compt.Rend* 241, 1935 (1955).
7. L.M. Bollinger. *Conference on Neutron Physics by Time-of-Flight held at Gatlinburg, Oak Ridge (1956). (ORNL-2309).*
8. Ван Ши-ди, Ю.В.Рябов. *ПТЭ №4, 63* (1965).
9. Г.Е. Блохин, Д.И. Блохинцев и др. *Атомная энергия* 10, вып. 5, 437 (1961).

10. Г.П. Жуков. Автореферат диссертации, Дубна (1966).
11. Ю.В. Рябов, Й. Томик и др. Препринт ОИЯИ, Р10-3761, Дубна, 1968.
12. Л.И. Прохорова, Г.Н. Смиренькии. *Second Phys. and Chemistry of Fission*, IAEA, Vienna, July 1969, p.419.

Рукопись поступила в издательский отдел

14 мая 1970 года.