

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.165.8

Б-89

6-85-277

БРУДАНИН

Виктор Борисович

ИЗМЕРЕНИЕ

СПИРАЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО НЕЙТРИНО

Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1985

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель
доктор физико-математических наук Ц. Вьлов

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук, профессор В. Г. Зинов
кандидат физико-математических наук Р. Б. Иванов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт
ядерных исследований АН УССР, Киев.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1985 г.
в _____ час. на заседании специализированного Совета
Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1985 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь специализированного Совета
доктор физико-математических наук Ю. А. Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние годы интенсивно разрабатываются теории, объединяющие сильные и электрослабые взаимодействия. Одним из главных предсказаний большинства этих теорий является существование массы у нейтрино, что привело бы к наблюдению таких явлений, как осцилляции нейтрино и в случае майорановских масс — двойного безнейтринного бета-распада; а также проявилось бы в изменении формы бета-спектра в граничной области энергий. С массой нейтрино непосредственно связана и другая фундаментальная его характеристика — спиральность.

Экспериментально спиральность электронного нейтрино ν_e была определена более 25 лет назад в классическом опыте М. Гольдхабера и др. (Phys. Rev., 1959, v. 109, p. 1015). Однако анализ этих экспериментальных данных с учетом результатов детальных расчетов, сделанных в настоящей диссертации, приводит к выводу $\nu_e \neq -1$. Отсюда очевидна необходимость проведения нового эксперимента по измерению спиральности электронного нейтрино.

Для решения возникающих при этом задач, равно как и для проведения работ в рамках программы ЯСНАПП, необходимо создание единой автоматизированной системы, охватывающей все этапы исследования — от регистрации до полного анализа спектрометрической информации.

Цель работы. Создание трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа ядерно-спектроскопической информации. Разработка соответствующего программного обеспечения. Создание автоматизированной системы ядерно-спектроскопической информации с распределенным по трем уровням банком ядерных данных.

Исследование бета-распада ^{205}At с помощью трехуровневой системы и анализ ситуации с информационным обеспечением планируемых по программе ЯСНАПП-2 экспериментов на этом примере.

Создание в рамках трехуровневой системы спектрометра для измерения циркулярной поляризации гамма-квантов и определение спиральности нейтрино из распада $^{152\text{m}}\text{Eu}$.

Провести детальный расчет ожидаемой величины циркулярной поляризации гамма-квантов ν_e с энергией 963,4 кэВ из распада $^{152\text{m}}\text{Eu}$.

Научная новизна. Создана и внедрена современная трехуровневая система для регистрации, обработки и анализа ядерно-спектроскопической информации. Для работы системы в целом разработано оригинальное программное обеспечение.

Впервые методами прецизионной спектрометрии исследован радиоактивный распад ^{205}At . Обнаружено 94 новых электромагнитных перехода, впервые получены сведения о мультипольностях 54 переходов. По сравнению с более ранними работами точность измерения энергии гамма-квантов улучшена почти на порядок. Предложена новая схема распада ^{205}At , включающая 25 возбужденных состояний, в том числе 12 новых.

Впервые проведен детальный расчет величины циркулярной поляризации гамма-квантов N_γ с энергией 963,4 кэВ из распада ^{152m}Eu . Показано, что учет вклада электронного захвата со всех оболочек (K, L, M, N) атома, а также теплового движения атомов источника и резонансного рассеивателя, при $\text{N}_\gamma = -1$, приводит к величине $\text{N}_\gamma = -0,93 \pm 0,01$, что существенно отличается от более ранней оценки М.Гольдхабера и др. $\text{N}_\gamma = -0,84$. Исследовано влияние величины разности масс $^{152m}\text{Eu} - ^{152}\text{Sm}$ и температуры источника на рассчитанное значение N_γ . Новое значение N_γ ставит под сомнение вывод о полной продольной поляризации нейтрино из данных предшествующих экспериментов типа Гольдхабера и др.

Впервые измерена степень циркулярной поляризации гамма-квантов с энергией 963,4 кэВ из распада ^{152m}Eu с помощью Ge(Li)-детектора. Последнее позволило надежно исключить возможные источники систематических ошибок. Полученное значение $\text{N}_\gamma = -0,93 \pm 0,10$ согласуется с предположением о полной продольной поляризации нейтрино.

Практическая ценность. Созданная трехуровневая система регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации внедрена в исследованиях структуры атомных ядер в рамках программы ЯСНАПП, а также в решении ряда прикладных задач (разработка нормалей энергии гамма-квантов радионуклидов, создание атласа аппаратурных спектров, ряда радиохимических исследований, контроля радиоактивной загрязненности окружающей среды и т.д.). Разработанные аппаратные и программные модули нашли широкое применение при организации аналогичных экспериментов в ряде других организаций СССР (ФИ им. В.Г.Хлопина, ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, ИЯИ АН УССР и др.).

На защиту выносятся следующие положения и результаты:

1. Создание и внедрение трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа ядерно-спектроскопической информации, а также программного обеспечения.

2. Создание и внедрение автоматизированной трехуровневой системы ядерно-спектроскопической информации.

3. Экспериментальные данные об энергиях и интенсивностях гамма-квантов и электронов внутренней конверсии, а также схема распада $^{205}\text{At} - ^{205}\text{Po}$.

4. Детальный расчет величины степени циркулярной поляризации гамма-квантов (N_γ) с энергией 963,4 кэВ из распада ^{152m}Eu .

5. Результат измерения величины N_γ (963,4 кэВ) из распада ^{152m}Eu ($\text{N}_\gamma = -0,87 \pm 0,10$) и вывод о спиральности нейтрино: $\text{N}_\nu = -0,93 \pm 0,10$.

Апробация работы и публикации по теме диссертации. Основные результаты исследований, вошедших в диссертацию, докладывались на XXXIII (Москва, 1983 г.), XXXIV (Алма-Ата, 1984 г.) Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, на XI (Братислава, 1983 г.) Международной конференции по ядерной электронике, на VI (Новосибирск, 1981 г.) Всесоюзной конференции по автоматизации научных исследований, на Международной конференции по физике атомного ядра в Дабрецене (Венгрия, 1983 г.), на конференции "Нейтрино-84" (Дортмунд, ФРГ, 1984 г.), опубликованы в 9 работах (в виде препринтов, сообщений и кратких сообщений ОИЯИ; в Изв.АН СССР, серия физическая; в тезисах докладов).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения и содержит 129 страниц текста, 10 таблиц на 13 страницах, 25 рисунков на 22 страницах и список литературы из 113 наименований на 15 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается обоснование актуальности темы исследования, сформулированы цели работы и описывается структура диссертации.

В первой главе описана трехуровневая система регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации, получаемой при исследовании излучений радионуклидов /1/. Структурная схема системы приведена на рис.1.

Основой нижнего уровня системы являются спектрометры различных типов, применяемые для измерения энергетического, временного и пространственного распределения излучений и корреляции между ними.

Широко используются одномерные энергетические спектрометры, в которых информация с полупроводниковых детекторов поступает в многоканальные амплитудные анализаторы как промышленные, так и созданные в Лаборатории ядерных проблем в стандарте КАМАК.

Более сложные спектрометры работают под управлением микро-ЭВМ в стандарте КАМАК, например, спектрометр Yt -совпадений на основе двух

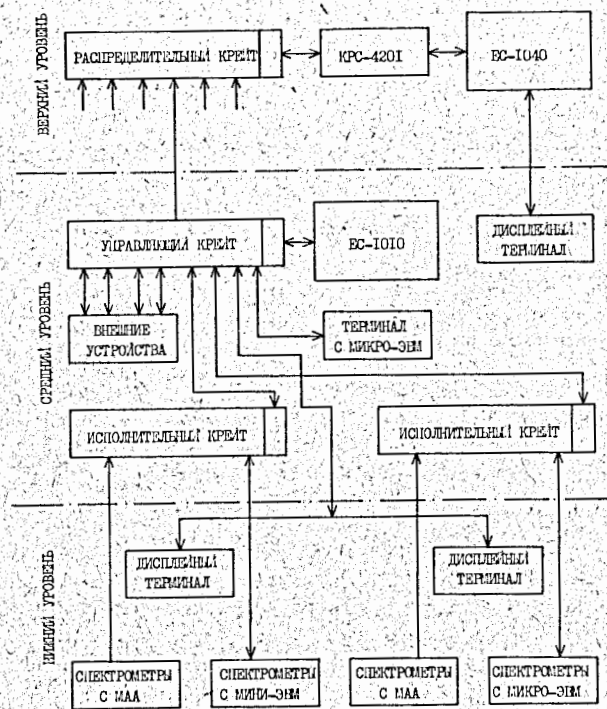


Рис.1 Структурная схема трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации.

ПЩ или электростатический спектрометр, предназначенный для прецизионного анализа спектров электронов в области 0,5–50 кэВ.

В состав установок нижнего уровня входит также поляризационный спектрометр, описываемый в III главе.

Основой среднего уровня является ЭВМ ЕС-1010, с помощью которой осуществляется сбор информации от установок нижнего уровня и предварительная ее обработка с целью управления экспериментом. Для этой цели разработана связь ЕС-1010 с управляющим крейтом КАМАК на основе контроллера КК004. Управляющий крейт связан с исполнительными крейтами и непосредственно со спектрометрами, в состав которых входит микро-ЭМ. Прием массивов накопленных данных из многоканальных анализаторов осуществляется с помощью специальных интерфейсов. Для расширения возможностей ЕС-1010 в управляющем крейте размещены интерфейсы графических внешних устройств, а также интерфейсы алфавитно-циф-

ровых дисплеев, размещенных у спектрометров нижнего уровня для управления ЭВМ.

Основой верхнего уровня системы является базовая ЭВМ Лаборатории ЕС-1040, к которой подключен графопостроитель ЕС-7054 и видеотерминал, состоящий из малой ЭВМ КРС-4201 и графического дисплея ГД-71. Прием информации со среднего уровня и выдача результатов обработки производится через малую ЭВМ КРС-4200, играющую роль буферного процессора. Эта ЭВМ связана с ЭВМ ЕС-1040 через селекторный канал с высшим приоритетом и с универсальным контроллером КК004 распределительного крейта КАМАК. На среднем уровне системы размещен терминал от ЕС-1040, с помощью которого можно управлять прохождением заданий в ЕС-1040.

Для обеспечения работы трехуровневой системы создано необходимое программное обеспечение на ЭВМ всех уровней. В него входят:

1. Программы, расширяющие дисковые операционные системы ЭВМ ЕС-1010 специальными секциями для работы с аппаратурой КАМАК /2/.
2. Программы сбора цифровых данных от спектрометров нижнего уровня и их записи на магнитные носители /2/.
3. Программы поиска аппаратурных спектров по их идентификатору, а также программы систематизации расположения спектров на НМЛ (в соответствии с элементами идентификатора) /2/.
4. Программы визуального представления спектров /2,3/ на дисплеях различных типов и их разметки для последующей обработки на ЭВМ среднего и верхнего уровней.
5. Программы предварительной (экспрессной) обработки спектральных линий, которые позволяют следить за ходом эксперимента и эффективно им управлять /2/.
6. Программы прецизионной обработки и анализа спектров /1-3/.

В последнем параграфе описывается автоматизированная информационная система для ядерно-спектроскопического эксперимента /4/, структурная схема которой приведена на рис.2. В силу разнообразия данных и использования неоднородной вычислительной среды, в системе используются распределенные банки данных.

Информационную основу нижнего уровня системы составляют базы данных одномерных и многомерных аппаратурных спектров, полученных в различных экспериментах.

В соответствии с задачами, решаемыми на среднем уровне системы, в базах данных уровня хранятся следующие данные: нормали энергий и интенсивностей дискретных излучений; нормали КЕК; КЕК на различных оболочках атома как функции энергий; функции для анализа непрерывных бета-спектров и т.д. Кроме того, имеется доступ к базе аппаратурных

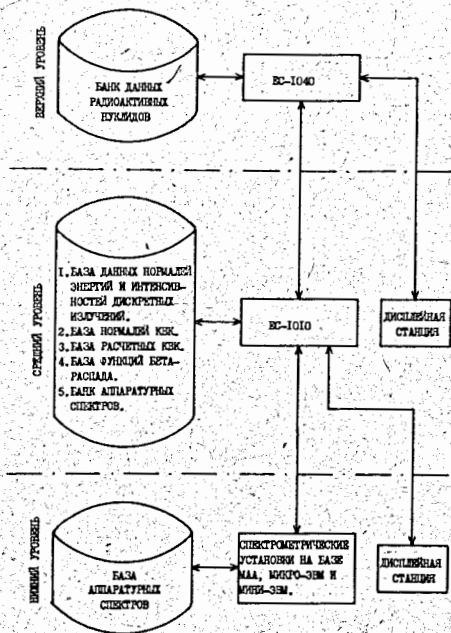


Рис.2 Структурная схема информационной трехуровневой системы для ядерно-спектрологических экспериментов с распределенным банком данных.

спектров нижнего уровня и к банку данных радионуклидов верхнего уровня для соответствующего анализа результатов эксперимента.

Информационную основу верхнего уровня составляет совокупность ядерно-спектрологических характеристик: основных и возбужденных состояний; альфа-, бета- и гамма-переходов; электромагнитных переходов и т.д. Банк данных верхнего уровня системы обеспечивает не только их хранение,

быстрый и удобный доступ к ним, но также допускает простое расширение номенклатуры данных при неизменном способе доступа к ним и без изменения функционирующих программных комплексов. Информационной базой верхнего уровня являются данные по структуре атомного ядра и схемам распада ядер, представленные в международном обменном файле ENSDF. В настоящее время общий объем файла превышает 200000 записей (~17 Мбайт) о характеристиках 2000 нуклидов.

Во второй главе рассматривается применение трехуровневой системы регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации для исследования распада ^{205}At — ^{205}Po [5,6].

Были исследованы спектры гамма-лучей, конверсионных электронов, $e\gamma$ - и $\gamma\gamma$ -совпадений. В результате было обнаружено 148 γ -переходов, из них 94 — впервые. 8 γ -переходов (165,7 кэВ, 178,6 кэВ, 205,6 кэВ, 331,9 кэВ, 462,5 кэВ, 506,2 кэВ, 583,7 кэВ, 1026,2 кэВ), ранее отнесенных к распаду ^{205}At предположительно, мы не наблюдали. Определены мультипольности для 70 электромагнитных переходов, для 54 из них — впервые. На основе полученных данных построена схема распада (см. рис.3), включающая 25 состояний, из которых 12 введены впервые: 799,05 кэВ ($5/2^-$), 806,44 кэВ ($3/2^-$, $5/2^-$), 872,16 кэВ ($7/2^-$), 902,26 кэВ, 1394,96 кэВ ($7/2^-$, $9/2^-$, $11/2^-$), 1426,11 кэВ ($7/2^-$, $9/2^-$),

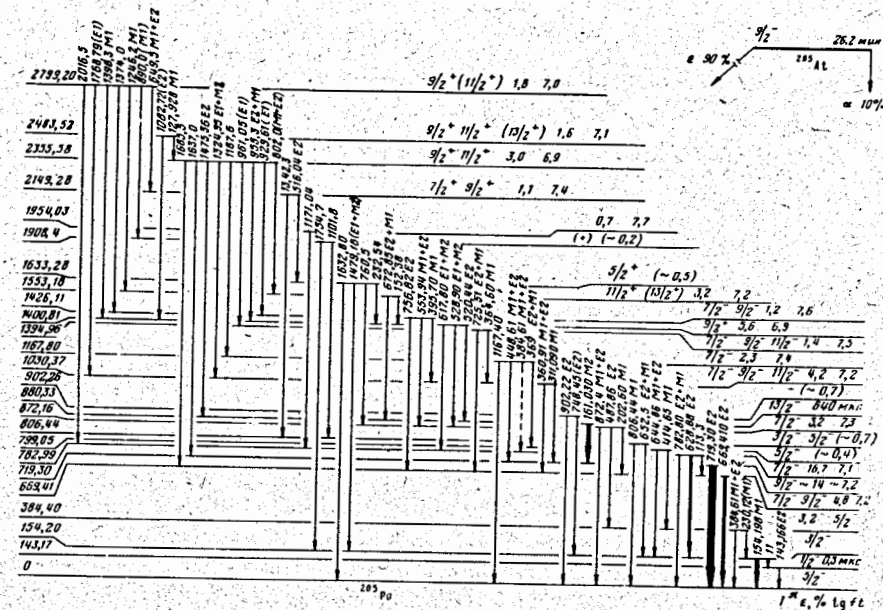


Рис.3 Схема распада ^{205}At — ^{205}Po

1553,18 кэВ ($11/2^+$, $13/2^+$), 1633,28 кэВ ($5/2^+$), 1908,4 кэВ, 1954,03 кэВ, 2149,28 кэВ ($7/2^+$, $9/2^+$), 2483,52 кэВ ($9/2^+$, $11/2^+$), 2799,20 кэВ ($9/2^+$, $11/2^+$). Полученные сведения о гамма-переходах ^{205}At значительно дополняют и существенно (~на порядок) превосходят по точности имевшиеся ранее.

В последнем параграфе главы проведен анализ возбужденных состояний ^{205}Po . Показана неполнота данных актуального файла ENSDF в области ядер, удаленных от полосы бета-стабильности, и подчеркнуты преимущества выбранной структуры информационной системы.

Третья глава посвящена измерению спиральности электронного нейтрино [7-9].

Постановка эксперимента по измерению спиральности нейтрино (H_ν) из распада ^{152m}Eu сводится к измерению степени циркулярной поляризации гамма-квантов (H_γ), разряжающих возбужденное состояние с энергией 963,4 кэВ. Показано, что результаты трех предшествующих экспериментов хорошо согласуются между собой и не противоречат упрощенной оценке H_ν в предположении $H_\nu = -1$.

В диссертации проведен детальный расчет величины N_H , в котором, в отличие от предыдущих оценок, учтены вклад всех оболочек (K, L, M, N) в электронном захвате, а также тепловое движение атомов в источнике и резонансном рассеивателе. Исследовано влияние величины разности масс $^{152m}\text{Eu} - ^{152}\text{Sm}$ и температуры источника на значение N_H . Расчеты проводились двумя методами: численного интегрирования и Монте-Карло, давшими близкий результат.

Сводка результатов приведена в таблице I. Как видно, новое расчетное значение N_H ставит под сомнение вывод о полной продольной поляризации нейтрино из данных предшествующих экспериментов. Отсюда очевидна необходимость проведения нового эксперимента по измерению спиральности электронного нейтрино.

Таблица I. Результаты измерения циркулярной поляризации гамма-квантов 963,4 кэВ (^{152m}Eu) в различных экспериментах.

№	Авторы	Год	Детектор	$N_H, \%$
1	Goldhaber et al.	1958	NaJ(Tl)	$-(67 \pm 10)$
2	Marklund, Page	1958	NaJ(Tl)	$-(80 \pm 30)$
3	Palathingal	1970	NaJ(Tl)	$-(61 \pm 12)$
4	СРЕДНЕЕ	-	-	$-(66 \pm 8)$
5	РАСЧЕТ	1958	-	- 84
6	РАСЧЕТ	1983	-	- 93
7	Настоящая работа	1983	Ge(Li)	$-(87 \pm 10)$

Для этих целей был создан поляризационный спектрометр (см. рис.4) [7]. Измерения проводились в условиях (геометрия эксперимента, вес рассеивателя Sm_2O_3 , содержание ^{152}Sm в рассеивателе), близких к условиям эксперимента Гольдхабера. Новыми моментами являются:

- применение Ge(Li)-детектора объемом 100 см³ с высоким энергетическим разрешением;
- проведение измерений в режиме многоканального амплитудного анализа, что позволило выделить все фоновые эффекты, связанные как с рассеянием в материалах, окружающих детектор и рассеиватель, так и с естественным радиоактивным фоном.

В установке используется электромагнит с сердечником из "Армко" железа, в котором при рабочем токе (~ 2 А) заведомо достигается на-

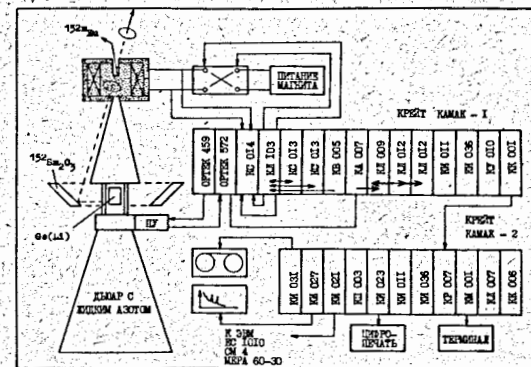


Рис.4 Блок-схема установки с Ge(Li)-детектором для измерения спиральности нейтрино из распада ^{152m}Eu .

сущение магнитной индукции, а также устройство, осуществляющее включение и изменение направления тока в электромагните. Система управления экспериментом обеспечивала в каждой серии автоматическое многократное повторение цикла измерений при разных направлениях магнитного поля и накопление двух результирующих спектров с помощью многоканального амплитудного анализатора. Запись спектров на магнитную ленту и их предварительная обработка с целью контроля за ходом эксперимента осуществлялись с использованием автономной микропроцессорной системы.

Источники ^{152m}Eu получались в реакции $^{151}\text{Eu}(n, \gamma)$ на реакторе ИЯФ АН УзССР [7]. Активность источников составляла 1+5 Ки, аппаратные спектры резонансно рассеянных гамма-квантов приведены на рис.5 и 6. Как видно, вклад естественного радиоактивного фона в области 841,6 кэВ пренебрежимо мал, в то время как в области 963,4 кэВ наличие линии ^{228}Ac с энергиями 964,6 и 968,9 кэВ заметно осложняет получение результата. Для снижения вклада нерезонансного рассеяния на материалах, окружающих детектор и рассеиватель, детектор был защищен полиметаллическим (Al, Cu, Cd, Pb) фильтром, уменьшавшим нагрузку детектора почти в 5 раз. Конусная защита из вольфрама предотвращала прямое попадание излучения источника ^{152m}Eu в детектор. С каждым источником проводилась серия измерений, длившаяся 18-20 часов.

Измеряемая в эксперименте величина δ , равная

$$\delta = 2 \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}$$

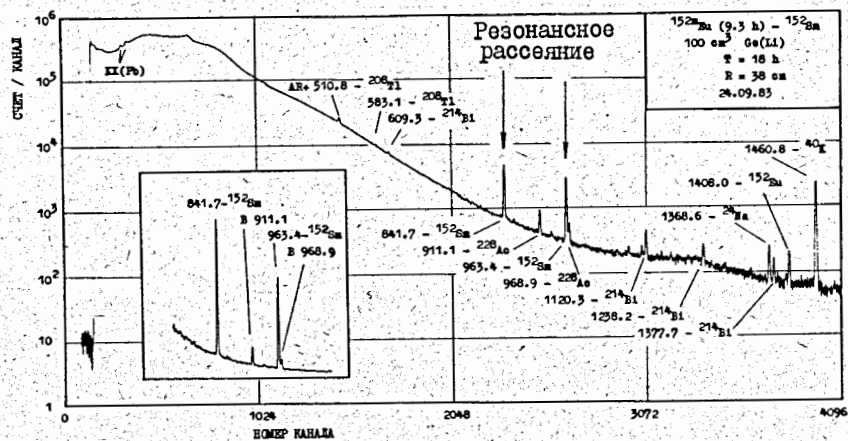


Рис.5 Аппаратурный спектр резонансно-рассеянных гамма-квантов ^{152m}Eu .

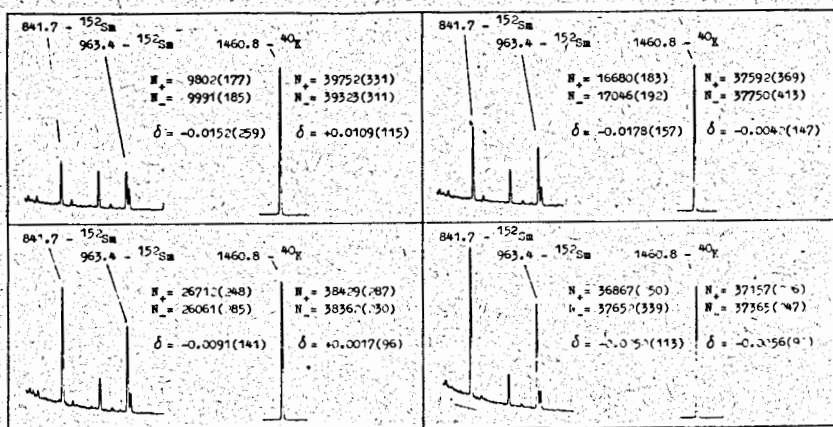


Рис.6 Фрагменты аппаратурных спектров для различных отношений эффект/фон. В приводимых значениях δ учтена коррекция на временной цикл измерения.

где N_+ , N_- - скорости счета ^{152m}Eu при противоположных направлениях магнитного поля, связана с N_0 соотношением

$$\delta = \alpha \cdot N_0$$

Здесь α - некоторая константа, зависящая от условий эксперимента, в частности, от параметров анализирующего магнита. В нашем эксперименте $\alpha = 0,0255$.

В общей сложности проведено 46 серий измерений величины δ , результаты которых приведены на рис.7. Там же приведено значение δ для фоновой линии 1460,8 кэВ (^{40}K), свидетельствующее об отсутствии аппаратной асимметрии установки. Заметим, что на рис.7 указаны две оценки стандартного отклонения: чисто статистические и из фактического разброса. Правильность определения знака величины δ проверялась с помощью тормозного излучения ^{32}P , имеющего отрицательную спиральность.

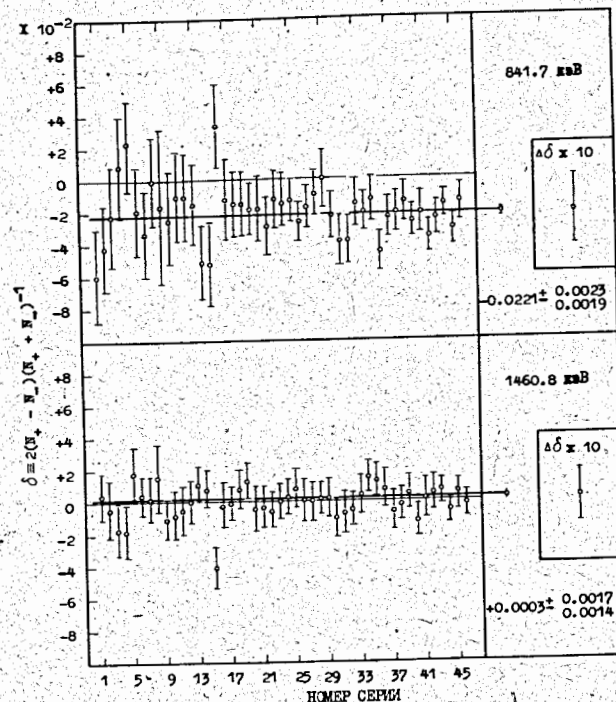


Рис.7 Результаты измерений величины δ для резонансно-рассеянных гамма-квантов при распаде ^{152m}Eu .

Таким образом, в эксперименте найдено

$$\delta = -0,0221 \pm 0,0023 .$$

Следовательно,

$$N_{\nu} = -0,87 \pm 0,10 ,$$

что согласуется с ожидаемым значением N_{ν} при $N_{\nu} = -1$ (см. табл. I).
Полученный результат можно также записать следующим образом

$$N_{\nu} = -0,93 \pm 0,10 .$$

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертации.

I. Для проведения исследований структуры атомных ядер в рамках программы ЯСНАПП создана и внедрена трехуровневая система регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации. На нижнем уровне системы находятся спектрометрические установки для детектирования излучений, а также отбора и накопления информации. На среднем - аппаратура для сбора информации от установок нижнего уровня и соответствующие программные средства для предварительной обработки данных с целью управления экспериментом. На верхнем - аппаратные и программные средства для полной обработки и анализа информации.

2. Для проведения ядерно-спектроскопических экспериментов создана автоматизированная информационная система с распределенным по трем уровням банком ядерных данных. База данных нижнего уровня - аппаратные спектры; среднего - нормалы энергий и интенсивностей дискретных излучений, нормалы КЭК и т.п.; верхнего - международный обменный файл ENSDF.

3. С помощью трехуровневой системы проведено измерение спектров гамма-квантов и ЭК из распада ^{205}At . Впервые получены сведения о 94 электромагнитных переходах, а энергии известных уточнены в несколько раз. Для 54 гамма-переходов впервые определена мультипольность. Изучены $e\gamma$ - и $\gamma\gamma$ -совпадения. Предложена схема распада ^{205}At , в которой введено 25 уровней, из которых 12 новых.

На примере распада ^{205}At рассмотрена ситуация с информационным обеспечением экспериментов, планируемых в рамках программы ЯСНАПП-2 на установке "Ф".

4. Создана установка для измерения степени циркулярной поляризации гамма-квантов на базе автономной микропроцессорной системы и высокоэффективного $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора. С ее помощью проведено новое измерение спиральности нейтрино из распада ^{152}mEu .

5. Впервые получено точное расчетное значение степени циркулярной поляризации гамма-квантов с энергией 963,4 кэВ, ставящее под

сомнение выводы более ранних экспериментов о полной продольной поляризации нейтрино.

6. Измерена спиральность нейтрино из радиоактивного распада ^{152}mEu . Полученный результат $N_{\nu} = -0,93 \pm 0,10$ хорошо согласуется с предположением о полной продольной поляризации нейтрино в отличие от данных предшествующих экспериментов. Фактически точность экспериментального определения величины N_{ν} улучшена примерно в 3 раза.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В.Б.Бруданин, Ц.Вывлов, К.Я.Громов, Н.И.Журавлев, С.В.Игнатъев, С.В.Медведь, М.Ноак, П.Петев, В.Т.Сидоров, А.Н.Сынаев, Т.М.Телевинова, В.Г.Чумин, И.Н.Чурин, Ф.Шварценберг. Трехуровневая система регистрации, обработки и анализа спектрометрической информации. - Дубна, 1982. - 15 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: 6-82-23).
2. Е.С.Богомолова, В.Б.Бруданин, Ц.Вывлов, А.Ф.Грашин, С.П.Зинькевич, Л.Л.Капустина, В.М.Колобашкин, Т.М.Телевинова, А.А.Цыганов, Б.А.Шукин. Автоматизированная информационная система для ядерно-спектроскопических экспериментов. - Дубна, 1982. - 16 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: 10-82-158).
3. В.Б.Бруданин, Ц.Вывлов, А.Гопин, Н.И.Журавлев, А.Маринов, М.Ноак, П.Петев, В.Н.Покровский, В.Т.Сидоров, А.Н.Сынаев, И.Н.Чурин, Х.-В.Эберль. Использование ЭВМ ЕС-1010 в системе обработки спектрометрической информации. - Дубна, 1982. - 14 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: 6-82-624).
4. В.Б.Бруданин, Г.Булла, Ф.Булла, Ц.Вывлов, С.В.Медведь. Гранс-система графического анализа ядерно-спектроскопической информации. - Дубна, 1982. - 6 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: 10-82-84).
5. М.Я.Кузнецова, В.Б.Бруданин, В.В.Кузнецов, М.Мзланов, П.В.Норсеев, Р.Р.Усманов, В.Г.Чумин, Ю.В.Ишечевич. Исследование излучений при распаде ^{205}At . Мультипольности переходов ^{205}Po . - Изв. АН СССР, сер. физ., 1982, т.46, № II, с.2217-2222.
6. М.Я.Кузнецова, В.Б.Бруданин, В.Г.Чумин. Схема распада ^{205}At — ^{205}Po . - Изв. АН СССР, сер. физ., 1982, т.46, № II, с.2223-2229.
7. Ц.Вывлов, В.Б.Бруданин, В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, Н.И.Журавлев, И.Кульджанов, Н.А.Лебедев, А.Маринов, А.Минкова, А.И.Муминов, В.Н.Покровский, Р.Ражаббаев, А.В.Саламатин, А.Н.Сынаев. Экспериментальная установка для измерения спиральности нейтрино из распада ^{152}mEu . - Дубна, 1984. - 14 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: P6-84-148).

8. Ц.Вылов, В.Б.Бруданин, В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, И.Кульджанов, А.Маринов, А.Минкова, А.И.Муминов, В.Н.Покровский, Р.Ражаббаев. Измерение спиральности нейтрино из распада ^{152m}Eu с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора. - Дубна, 1984. - 14 с. (Препринт/Объед. ин-т ядерн. исслед.: P6-84-149).
9. Ц.Вылов, В.Б.Бруданин, В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, А.Маринов, А.Минкова, А.И.Муминов, В.Н.Покровский. Измерение спиральности нейтрино из распада ^{152m}Eu с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора. - Изв. АН СССР, сер. физ., т.48, № 19, 1984, с.1809-1818.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 апреля 1985 года.