

8-81-232

П - 121

ПАВЛОВ

Валентин Николаевич

ОРИЕНТИРОВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР
В КОМБИНИРОВАННОМ РЕФРИЖЕРАТОРЕ

РАСТВОРЕНИЯ ^3He В ^4He

И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЯДЕР ^{153}Tb ,
 ^{155}Tb , ^{148}Gd , ^{57}Co И ^{60}Co

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук

Б.С.Неганов

кандидат физико-математических наук

М.Сингер

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

А.Г.Зельдович

доктор физико-математических наук

Т.М.Муминов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва.

Защита диссертации состоится " " _____ 1981 г.
в _____ часов на заседании Специализированного совета Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " _____ 1981 г.

Ученый секретарь Специализированного совета
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одной из актуальных проблем экспериментальной ядерной физики является исследование свойств радиоактивных ядер, удаленных от области бета-стабильности. Работы этого направления ведутся многие годы в Объединенном институте ядерных исследований по программе ядерной спектроскопии на пучке протонов. Значение этих исследований в развитии современной теории атомного ядра не вызывает сомнений. В последние годы ядерная спектроскопия обогатилась возможностью получать более детальную информацию о структуре ядра на основе анализа спектров ядерного излучения, получаемого от системы ориентированных ядер. Исследование углового распределения гамма-излучения ориентированных ядер дает информацию о магнитном дипольном моменте основного состояния ядер, о квантовых характеристиках основных и возбужденных состояний атомных ядер, а также о физических свойствах ядерных излучений. Дальнейшее развитие исследований ориентированных ядер связано, в определенной степени, с созданием качественно новых экспериментальных установок. Для проведения подобных исследований в ОИЯИ разработана и внедрена в практику эффективная криогенная система для ориентирования ядер $X^{I/}$ на основе нового метода получения сверхнизких температур^{xx}. Эта система определяет основные физические условия экспериментов и является частью комплекса физической аппаратуры, предназначенного для систематического изучения радиоактивных ядер как методом их статического ориентирования при сверхнизкой температуре^{/2/}, так и методом ядерного магнитного резонанса^{/3/}, детектируемого с помощью гамма-излучения ориентированных ядер (ЯМР/ОЯ).

Цель работы. Настоящая диссертационная работа посвящена решению ряда физико-технических задач, связанных с созданием комплекса физической аппаратуры для исследования распада ориентированных радиоактивных ядер^{/4/} в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, и применению этого комплекса для измерения магнитного дипольного момента ядер ^{153}Tb , ^{155}Tb , ^{57}Co , ^{60}Co и изучения распада короткоживущего ядра ^{148}Tb . Указанная цель была достигнута благодаря реализации двух

x) Борисов Н.С. и др. ОИЯИ, I3-I0253, Дубна, 1976.

xx) Неганов Б.С. и др. ЖЭТФ, 1966, 50, вып.6, с. I445-I457.

изобретений^{/5,6/} при создании рефрижератора растворения ^3He в ^4He новой конструкции.

Научная новизна

1. Предложена^{/5/} и впервые создана^{/1/} новая конструкция рефрижератора растворения ^3He в ^4He , позволяющая форсировать охлаждение экспериментальных образцов, размещать их непосредственно в разбавленной фазе жидкого ^3He в камере растворения и заменять их на любой стадии работы рефрижератора.

2. Решены методические вопросы охлаждения короткоживущих радиоактивных ядер.

3. Предложено уравнение, описывающее временное изменение температуры камеры растворения рефрижератора ^3He - ^4He при разовом режиме откачки из нее ^3He .

4. На основе анализа измеренных анизотропий гамма-излучений ориентированных радиоактивных ядер получены следующие результаты.

- Определены или сделаны оценки величин параметров смешивания мультипольностей для I4 гамма-переходов в ^{148}Gd .

- Однозначно определены или ограничены возможными значениями квантовые характеристики I2 возбужденных состояний ^{148}Gd .

- Впервые измерено значение нижнего предела магнитного дипольного момента ядра ^{153}Tb в основном состоянии.

- Впервые измерен магнитный дипольный момент ядра ^{155}Tb в основном состоянии.

5. Измерено методом ЯМР/ОЯ отношение магнитных дипольных моментов ядер ^{57}Co и ^{60}Co в основном состоянии, которое подтверждает известные экспериментальные данные.

Практическая ценность

1. Созданный комбинированный рефрижератор растворения является криогенным устройством, уникальным по своим методическим возможностям. Его аналоги могут стать базовыми установками в ряде криогенных научно-исследовательских лабораторий для выполнения многих программ исследований и постановки ранее технически недоступных экспериментов (связанных, например, с вращением или перемещением экспериментальных образцов при $T \sim 0,01\text{ K}$).

2. Предложенное устройство для объемного дозирования^{/6/} может быть реализовано в виде нового прибора для прецизионного определения объемов герметичных емкостей и сплошных тел.

3. Предложенная конструкция датчика уровня жидкого гелия^{/7/} благодаря его экономичности, надежности и точности измерения может быть широко использована в системах измерения и регулирования уровня жидкого гелия.

4. Предложенная конструкция и технология изготовления низкотемпературного теплообменника^{/8/} может быть внедрена в производство серийных моделей комбинированного рефрижератора растворения.

5. Установка "СПИН" стала базовым экспериментальным комплексом для осуществления перспективной и широкой программы ядерно-физических исследований.

Апробация работы. Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на XXVII (Ташкент, 1977 г.), XXVIII (Алма-Ата, 1978 г.) и XXX (Ленинград, 1980 г.) Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, на рабочих совещаниях по установке "СПИН" в Дубне (1975 г.), в Бехине, ЧССР (1977 г.) и в Лишно, ЧССР (1980 г.), на XV совещании по ядерной спектроскопии и теории атомного ядра в Дубне (1978 г.), на 5-й конференции чехословацких физиков в Кошице, ЧССР (1977 г.), на 2I-ом Всесоюзном совещании по физике низких температур в Харькове (1980 г.) и на У международной конференции по сверхтонким взаимодействиям в Западном Берлине в 1980 г.

Публикации. Основные результаты настоящей диссертации опубликованы в 15 работах в виде препринтов ОИЯИ, тезисов докладов и статей в отечественных и зарубежных журналах.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 146 страницах, включая 35 рисунков, 8 таблиц и 146 библиографических ссылок.

II. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассматривается актуальность проблемы изучения свойств ядер, ориентированных при сверхнизких температурах, формулируется научно-техническая задача создания принципиально новой физической установки в ОИЯИ и дается обзор диссертации по главам.

В первой главе рассмотрен метод статического ориентирования ядер, основанный на воздействии сильных внешних электромагнитных полей на электрический квадрупольный и магнитный дипольный момент ядер, охлажденных до низкой температуры. Основное внимание уделено описанию наблюдаемого углового распределения гамма-излучения ансамбля ориентированных ядер и влиянию на него различных факторов эксперимента. Дана оценка области внешних магнитных полей и низких температур, при которых осуществляется эффективное ориентирование ядер.

Вторая глава посвящена разработке криогенной системы для ориентирования ядер. В ней кратко рассматривается история освоения нового метода получения сверхнизких температур путем растворения ^3He в ^4He .

Изложена энтропийная трактовка диаграммы состояния жидкой смеси изотопов гелия и показано, каким образом из свойств этой системы следует новый способ охлаждения, и на что надо обращать внимание при разработке рефрижераторов растворения.

Основной недостаток рефрижераторов растворения, использовавшихся ранее в экспериментальной физике, — невозможность прямого доступа в камеру растворения. Выполнение экспериментов с короткоживущими ядрами в "оф-лайн" режиме потребовало создания новой конструкции рефрижератора растворения. Основная идея ускорения охлаждения экспериментальных образцов заключается в том, чтобы работающий рефрижератор позволял вставлять образец прямо в камеру растворения. Схема такого рефрижератора показана на рис. 1. Отличительной особенностью данного рефрижератора является наличие дополнительного канала, соединяющего камеру растворения с камерой испарения непосредственно, минуя систему низкотемпературных теплообменников. Приведенная схема дает общее представление о новом рефрижераторе, который сочетает в себе достоинства как обычного испарительного рефрижератора, так и растворительного. Созданный рефрижератор^{1/} дает возможность осуществлять быструю смену образцов, закрепленных на нижней части извлекаемой тепловой пробки, проводить их эффективное предварительное охлаждение до температур меньше 0,3К и размещать непосредственно в камере растворения. Сочетание отмеченных достоинств позволяет назвать такой рефрижератор растворения комбинированным.

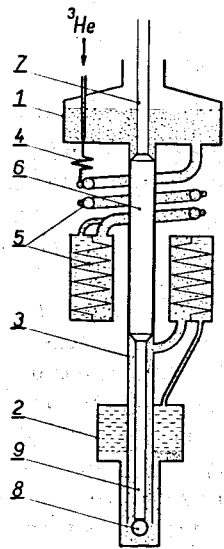


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированного рефрижератора растворения. 1 — камера испарения ^3He , 2 — камера растворения ^3He , 3 — соединительная трубка, 4 — основной дроссель, 5 — система теплообменников, 6 — тепловая пробка, 7 — шток, 8 — образец, 9 — держатель образца.

Далее приводится детальное описание особенностей трех моделей комбинированного рефрижератора, показанных на рис. 2, гелиевого криостата и системы циркуляции смеси ^3He и ^4He .

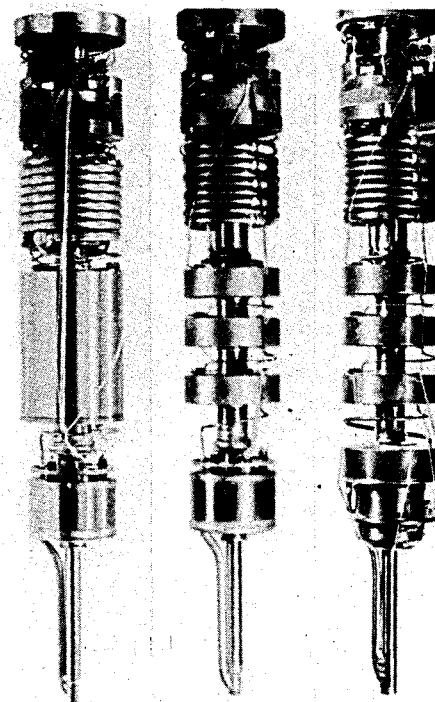


Рис. 2. Три модели комбинированного рефрижератора растворения. Слева направо: рефрижератор с непрерывным сильфонным теплообменником, рефрижератор с 3-ступенчатым низкотемпературным теплообменником, рефрижератор с 4-ступенчатым теплообменником.

Возможности рассмотренных моделей видны из графика их сравнительной холодопроизводительности (рис. 3) и хода охлаждения образца (рис. 4) в наиболее совершенной модели комбинированного рефрижератора растворения с 4-ступенчатым теплообменником. Достоинства последней модели рефрижератора растворения обусловлены новой системой низкотемпературных теплообменников, конструкция и технология изготовления которых детально описаны^{1/6/}.

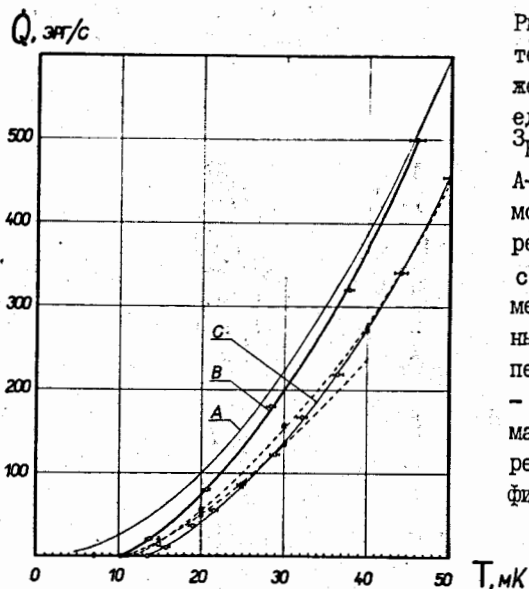


Рис.3. Холодопроизводительность различных рефрижераторов, приведенная к единой скорости циркуляции ${}^3\text{He } \dot{n}_3 = 3 \cdot 10^{-4}$ моль/с. А-теоретическая зависимость, В-комбинированный рефрижератор растворения с 4-ступенчатым теплообменником, С-комбинированный рефрижератор с 3-ступенчатым теплообменником, Δ - рефрижератор Энкольма^x, \square - коммерческий рефрижератор DRP - 36 фирмы S.H.E. Corp.

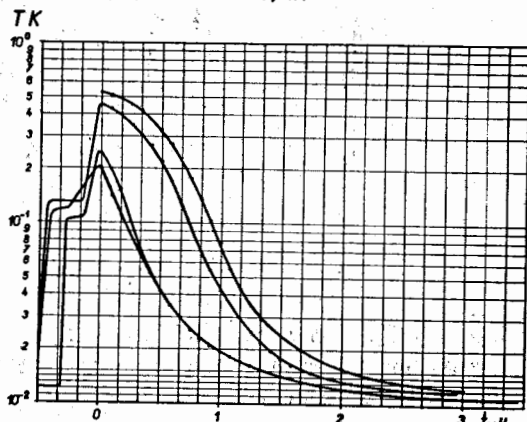


Рис.4. Ход охлаждения в комбинированном рефрижераторе с 4-ступенчатым теплообменником после установки экспериментального образца в камеру растворения в момент времени $t = 0$.

^x Ehnholm G.J. et al. Cryogenics, 1971, 11, p.39.

Первоначальный запуск любого рефрижератора растворения упрощается, если точно известен объем его низкотемпературных частей, заполняемых жидким гелием. Для решения этой задачи предложено устройство для объемного дозирования^{6/}, которое используется также для измерения импеданса дросселей рефрижератора.

Для контроля и измерения уровня жидкого гелия разработаны экономичные и надежные датчики. Детально описана их конструкция^{7/} и рабочие характеристики.

Особое внимание уделено вопросу измерения сверхнизких температур и проблеме охлаждения экспериментального образца разбавленной фазой ${}^3\text{He}$. Измерение температуры различных узлов рефрижератора растворения осуществляется с помощью моста переменного тока типа Cryo bridge S72 и различных резисторов типа Speer и Allen Bradley. Приводятся характеристики используемых датчиков, прокалиброванных по упругости пара ${}^3\text{He}$, а в области более низких температур по первичному ядерному ориентационному термометру ${}^{54}\text{Mn}(\text{Ni})$ ^{9/}. Эффективное охлаждение радиоактивных образцов осуществляется с помощью специальной тепловой подложки с большой поверхностью теплообмена.

При измерении температурной зависимости анизотропии гамма-излучения ориентированных радиоактивных ядер в ряде случаев требуется получение стабильных температур ниже 10 мК. В работе приводится анализ возможности получения таких температур в камере растворения при разовом режиме откачки из нее ${}^3\text{He}$ ^{10/}.

При анализе принято, что в камере растворения ${}^3\text{He}$ в разовом режиме развивается холодопроизводительность

$$\dot{Q}_3 = \dot{n}_3 \cdot (\alpha - \beta) \cdot T^2(t) \quad (1)$$

где \dot{n}_3 - молярная скорость откачки ${}^3\text{He}$, $\alpha = 108$ Дж/(моль·К²) и $\beta = 24$ Дж/(моль·К²) представляют температурные коэффициенты молярной теплоемкости соответственно для разбавленной и концентрированной фазы ${}^3\text{He}$, а $T(t)$ - равновесная температура камеры растворения в момент времени t . Часть холодопроизводительности затрачивается на компенсацию внешнего теплопритока \dot{q} , а оставшаяся часть \dot{Q}_3 уходит на понижение температуры обеих фаз ${}^3\text{He}$ на величину dT .

Тогда уравнением теплового баланса будет

$$dT = - \frac{\dot{Q}_3 - \dot{q}}{C(T,t)} dt \quad (2)$$

Для полной теплоемкости $C(T,t)$ можно написать

$$C(T,t) = \beta T(M_0 - \dot{n}_3 t) + \alpha T(N_0 + \dot{n}_3 t) \quad (3)$$

где M_0 и N_0 – начальные молярные количества соответственно концентрированной и разбавленной фаз ^3He в камере растворения, а $\dot{\gamma}$ – молярная скорость увеличения количества разбавленной фазы.

$$\text{Очевидно, что } \dot{\gamma} = \dot{n}_3 V_{3c} / V_{3d} \quad (4)$$

где V_{3c} и V_{3d} – молярные объемы соответственно концентрированной и равновесной разбавленной фазы ^3He . Подстановка (1), (3) и (4) в (2) и интегрирование дают формулу

$$\left[\frac{\dot{n}_3(\alpha - \beta) T^2 - \dot{q}}{\dot{n}_3(\alpha - \beta) T_0^2 - \dot{q}} \right]^{\frac{\beta - \alpha V_{3c}/V_{3d}}{2(\alpha - \beta)}} = 1 - \frac{(\beta - \alpha V_{3c}/V_{3d}) \dot{n}_3 t}{\beta M_0 + \alpha N_0} \quad (5)$$

Формула (5), справедливая при условии, что начальная температура $T_0 < 40$ мК, учитывает влияние начального фазового состава жидкости и его динамическое изменение в камере растворения на конечную температуру T . На рис. 5 приведен графический анализ некоторых вероятных случаев разового режима растворения. Из рис. 5 видно, что заключительная часть процесса растворения при наличии тепловой нагрузки

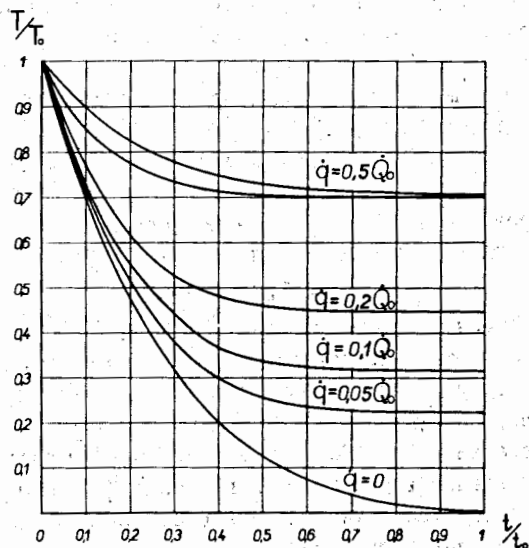


Рис. 5. Относительное временное изменение температуры камеры растворения при разовом режиме откачки ^3He . Кривые рассчитаны по формуле (5) для различных внешних тепловых нагрузок \dot{q} , составляющих некоторую часть от стартовой холодопроизводительности $Q_0(T_0)$, в предположении $N_0 = 0$, кроме верхней, для которой принято $N_0 = 0,1$ и $M_0 = 1$.

\dot{q} происходит практически при постоянной температуре. Этот вывод находит свое экспериментальное подтверждение в работах ^X.

В третьей главе кратко описываются экспериментальная установка "СПИН"^{1/2/}, в которой комбинированный рефрижератор является основным прибором, определяющим физические условия эксперимента, а также методики приготовления радиоактивных образцов, получения и обработки спектрометрических данных. Блок-схема установки "СПИН" показана на рис. 6. Гамма-излучение системы ориентированных ядер регистрируется Ge(Li)-детекторами, установленными под углами 0° , 90° и 180° относительно направления поля сверхпроводящего магнита. Спектрометрические сигналы усиливаются стандартной электроникой и накапливаются в памяти многоканальных анализаторов. Гамма-спектры передаются с помощью амплитудно-цифровых преобразователей, записываются на магнитные ленты и обрабатываются на ЭВМ. Анизотропия наблюдаемого углового распределения гамма-излучения определяется как относительное изменение площади спектральной линии и анализируется с помощью теоретической зависимости от факторов эксперимента и конкретных свойств ядра и ядерного излучения. Приводится проверка достоверности получаемых на установке "СПИН" данных на примере методического исследования ядра ^{160}Tb /II/.

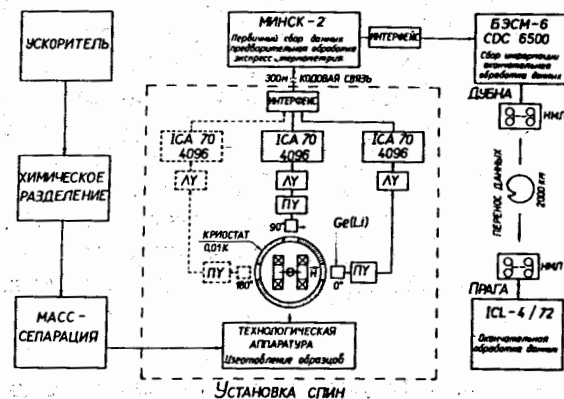


Рис. 6. Блок-схема установки "СПИН" и ее внешние связи. ПУ – зарядочувствительные предусилители, ЛУ – спектрометрические линейные усилители, ИСА-70 – многоканальные анализаторы гамма-спектров, НМЛ – накопители на магнитной ленте.

^X Vilches O.E., Wheatley J.C. Phys.Lett., 1967, 24A, p. 440; Пешков В.П. УФН, 1968, 94, с. 607.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию распада ориентированных ядер ^{153}Tb , ^{155}Tb и ^{148}Tb .

Путем измерения и анализа температурной зависимости анизотропии гамма-излучения ориентированных ядер определены параметры сверхтонкого магнитного дипольного расщепления для ядер ^{153}Tb и ^{155}Tb в гадолинии. Типичный пример такой зависимости приведен на рис.7. На основании найденных параметров расщепления и известного значения эффективного магнитного поля $B_{\text{эфф}} = 303 \text{ Т}$, действующего на примесные ядра тербия в гадолинии^X, впервые экспериментально определен нижний предел магнитного дипольного момента ядра ^{153}Tb в основном состоянии ($\mu \geq 3,1$ ядерного магнетона), а также измерен магнитный дипольный момент ядра ^{155}Tb в основном состоянии $\mu = 2,0(2)$ я.м./14/ (Здесь и дальше в круглых скобках указана погрешность определения последних значащих цифр измеряемых величин).

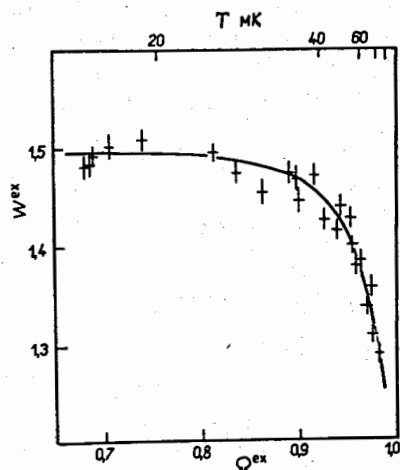


Рис.7. Зависимость значений нормированной интенсивности гамма-перехода $^{161,3} \text{кэВ}$ в ^{155}Gd в зависимости от нормированной интенсивности Ω^{ex} линии $835,3 \text{кэВ}$ ядерного ориентационного термометра $^{54}\text{Mn}(\text{Ni})$. Теоретическая кривая рассчитана в предположении, что параметр электрического квадрупольного взаимодействия для ^{155}Tb в гадолинии равен $P = 9 \cdot 10^{-7}$ эВ. Указанные ошибки определения экспериментальных точек соответствуют среднеквадратичным отклонениям.

Впервые проведено исследование распада ориентированных короткоживущих ($T_{1/2} = 60$ мин) ядер $^{148}\text{Tb}/^{157}\text{Tb}$. На основе полученных экспериментальных данных определены параметры смешивания для I4 гамма-переходов в ^{148}Gd , приведенные в таблице I. Уточнена схема распада ядра ^{148}Tb , фрагмент которой с учетом наших результатов показан на рис.8. Определены однозначно спин и четность для восьми возбужденных уровней ^{148}Gd : ($E = 2700,0 \text{кэВ}$, $I^\pi = 2^+$), ($E = 2505,8 \text{кэВ}$, $I^\pi = 3^-$), ($E = 2503,7 \text{кэВ}$, $I^\pi = 2^-$), ($E = 2424,1 \text{кэВ}$, $I^\pi = 3^+$), ($E = 2310,9$

Таблица I
Квантовые характеристики уровней ^{148}Gd и параметры смешивания мультипольностей измеренных гамма-лучей ^{148}Tb

Уровень кэВ	I_i^π	E_f кэВ	I_f^π	δL	δ	$ \delta(\alpha_k) ^x$
1863,4	2^+	1079,0 1863,4	2^+ 0^+	MI+E2 E2	-0,24(9) или 5,2(+40,-20)	
2188,7	2^+	1404,2 2188,6	2^+ 0^+	MI+E2 E2	0,18(+33,-20) или 1,5(+9,-7)	$\leq 1,0$
2233,6	3^-	960,1 1449,2	3^- 2^+	MI+E2 E1+M2	-0,26(6) -0,08(9)	0,3(+8,-3)
2276,0	$1^-, 2^-$	1002,5	3^-	E2, MI		
2310,9	2^+	1526,4 2310,0	2^+ 0^+	MI+E2 E2	-0,46(+22,-33)	
2424,1	3^+	1007,7 1639,7	4^+ 2^+	MI+E2 MI+E2	-0,24(8) или -2,8(7) -0,40(+12,-22) или -1,4(4)	0,8(+19,-8)
2503,7	2^-	1230,2 1719,6	3^- 2^+	MI+E2 E1+M2	0,51(+25,-16) или 3,2(+24,-13) -20(9)	$\sim 0,6$
2505,8	3^-	1089,4	4^+	E1+M2	-0,026(30)	0,30(+10,-12)
2522,0	$3^+, 4^+$	1105,6	4^+	MI+E2		
2614,6	$1^-, 2^+$	1830,1	2^+	E1+M2 MI+E2	-0,06(+8,-5) -0,45(11)	
2700,0	2^+	1426,6 1915,5	3^- 2^+	E1+M2 MI+E2	0,08(48) 0,22(+21,-29) или 1,4(+8,5)	
3089,5	$2^-, 3^+, 4^+$	1816,1	3^-	E1 MI+E2		

кэВ, $I^\pi = 2^+$), ($E = 2233,6 \text{кэВ}$, $I^\pi = 3^-$), ($E = 2188,7 \text{кэВ}$, $I^\pi = 2^+$), ($E = 1863,4 \text{кэВ}$, $I^\pi = 2^+$). Ограничены возможные значения квантовых характеристик четырех возбужденных уровней ^{148}Gd : ($E = 3089,5 \text{кэВ}$; $I^\pi = 2^-, 3^+, 4^+$), ($E = 2614,6 \text{кэВ}$; $I^\pi = 1^-, 2^+$), ($E = 2522,0 \text{кэВ}$; $I^\pi = 3^+, 4^+$), ($E = 2276,0 \text{кэВ}$; $I^\pi = 1^-, 2^-$).

^X Шусь А.Ф. и др. Тезисы докладов XXIX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", Л., 1979, с.90.

^X Kobayashi S. et al. J.Phys.Soc.Jap., 1967, 23, p. 474.

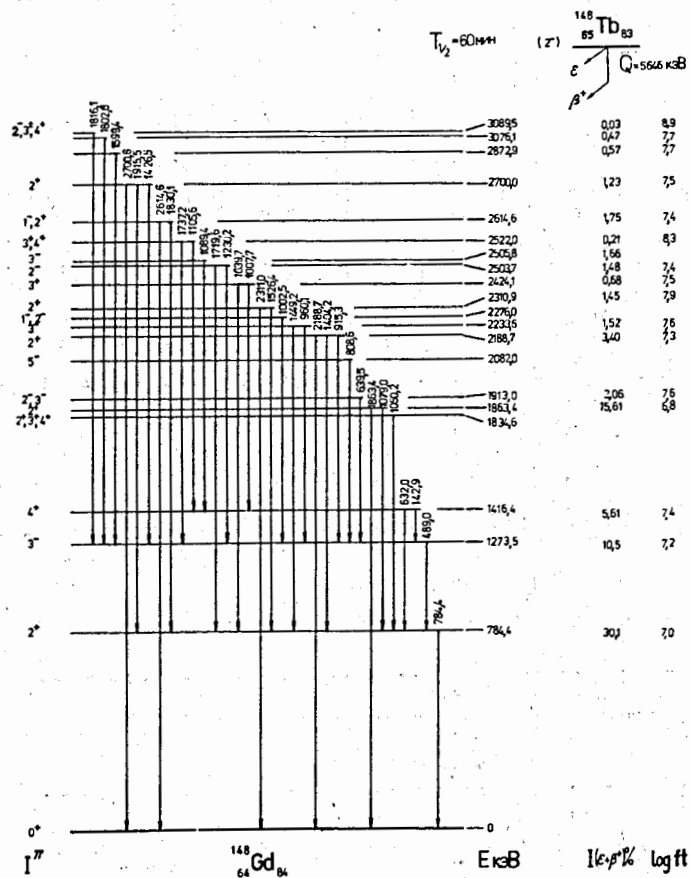


Рис. 8. Фрагмент схемы распада ^{148}Tb

Пятая глава посвящена освоению техники ядерного магнитного резонанса (ЯМР), детектируемого по изменению анизотропии гамма-излучения системы ориентированных ядер (ОЯ). Кратко рассмотрены преимущества метода ЯМР/ОЯ и основные свойства его спектров. Главное внимание уделено двум экспериментальным методам ЯМР/ОЯ: методу, основанному на частотной модуляции внешнего высокочастотного поля, и методу быстрого адиабатического прохождения высокочастотного сигнала через область резонанса. Кратко описана методика приготовления радиоактив-

ных образцов для ЯМР/ОЯ, блок-схема аппаратуры и процедура выполнения экспериментов с ядрами ^{57}Co и ^{60}Co . Приводятся экспериментальные данные по изучению спин-решеточной релаксации ориентированных ядер в железной матрице.

Основные экспериментальные данные приведены в графическом виде на рис. 9. В таблице 2 приведены наши и опубликованные в других работах данные о значениях резонансных частот ν_{00} и магнитных моментов основных состояний ^{57}Co и ^{60}Co . Согласно этим данным, найденная нами величина отношения магнитных дипольных моментов основных состояний ядер ^{57}Co и ^{60}Co хорошо согласуется в пределах экспериментальных ошибок с известными значениями, полученными в других работах. Обращает на себя внимание разброс резонансных частот ($\sim 1\%$), полученных в разных работах, для ядер этих изотопов. Это связано, по-видимому, с разной величиной эффективного магнитного поля в экспериментальных образцах. Для точного определения магнитных моментов примесных ядер необходимо знание точной величины эффективного поля в образце. В связи с этим предпочтительно использовать такие образцы, в которых можно изучать резонанс совместно хотя бы для ядер двух изотопов, один из которых применяется в качестве репера.

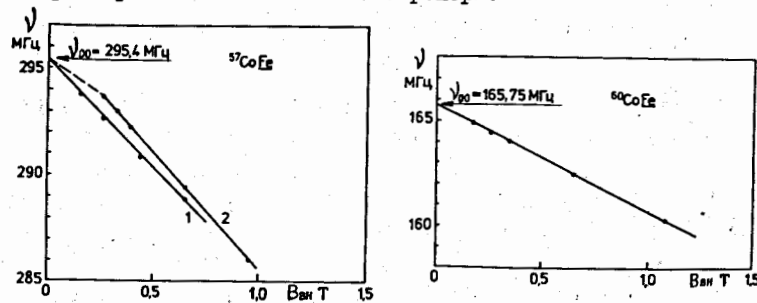


Рис. 9. Зависимость резонансной частоты для ядер ^{57}Co в поликристаллическом (линия 1) и монокристаллическом (линия 2) железе от внешнего магнитного поля и та же зависимость для ядер ^{60}Co в поликристаллической железной фольге толщиной 1,2 мкм.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. При решающем участии автора создан криогенный комплекс экспериментальной установки "СПИН".
2. На основе изобретения /5/ создан рефрижератор растворения ^3He в ^4He , позволяющий форсировать охлаждение экспериментальных образцов, размещать их непосредственно в разбавленной фазе ^3He в каме-

Таблица 2

^{57}Co			^{60}Co			$^{57}\mu/^{60}\mu$	Ссылка
Матрица	ν_{Co} МГц	$^5\mu$ я.м.	Матрица	ν_{Co} МГц	$^{60}\mu$ я.м.		
Fe	292,5(2)	4,720(10)	Fe	164,4(1)		1,2454(16)	а)
LMN	107,8(5)	4,722(17)	LMN	60,6(2)	3,790(8)	1,245(7)	б)
Fe	295,42(6)	4,708(12)					в)
			Fe	166,06(3)			г)
			Fe	165,957(5)			д)
			Fe	166,32(44)			е)
			Fe	166,01(5)			ж)
			Fe	166,31(7)			з)
Fe	295,40(25)		Fe	165,75(25)		1,247(3)	Наша дан- ные ^{3/}

- а) Stewart G.A. et al. J.Phys.C., 1977, 10, p. 3651.
б) Niesen L., et al. Physica, 1972, 57, p.1.
в) Laurenz R., et al. Z.Phys., 1974, 270, p. 233
г) Kopp M., et al. Hyperfine Interac. 1977, 3, p. 321.
д) Hagn E., et al. Hyperfine Interactions, Uppsala, 1974, p. 148.
е) Mattias E. et al. Phys.Rev.Lett., 1966, 17, p.893.
ж) Templeton J.E., et al. Phys.Rev.Lett., 1967, 18, p. 240.
з) Kieser R., et al. Solid State Comm., 1975, 17, p.423.

ре растворения, заменять их на любой стадии работы рефрижератора и получать температуру на образце около 7 мК. Время охлаждения образца от комнатной температуры до 20 мК составляет около 1,5 часа.

3. Для упрощения первоначального запуска рефрижератора растворения предложено использовать устройство для объемного дозирования^{6/}, с помощью которого можно производить измерение объема узлов рефрижератора и прочих герметичных емкостей величиной до литра с точностью около 0,1%. Это же устройство служит для точного измерения импеданса дросселей рефрижератора.

4. Предложена и реализована конструкция экономичного датчика уровня криогенной жидкости, не критичного к размерам и форме температурно-чувствительного элемента и нечувствительного к колебаниям температуры криогенной жидкости. Датчик со сверхпроводящим температурно-чувствительным элементом измеряет уровень жидкого He II с точностью не хуже 0,05 мм и может работать в сильных магнитных полях.

5. Разработана конструкция и технология изготовления низкотемпературного теплообменника для жидких фаз ^3He в ^4He .

6. Детально изучены рабочие характеристики трех моделей комбинированного рефрижератора растворения. Доказаны большие методические возможности рефрижератора в осуществлении разнообразных физических экспериментов.

7. Предложено уравнение, описывающее временное изменение температуры в реальной камере растворения рефрижератора ^3He - ^4He при разовом режиме откачки из нее ^3He . Показана возможность кратковременного получения практически стабильных температур более низких, чем достигаемые в режиме непрерывной циркуляции ^3He .

8. Впервые экспериментально определен нижний предел магнитного дипольного момента ядра ^{153}Tb в основном состоянии. $\mu \geq 3,1$ я.м.

9. Впервые измерен магнитный дипольный момент ядра ^{155}Tb в основном состоянии. $\mu = 2,0(2)$ я.м.

10. Подтверждена величина отношения магнитных дипольных моментов ядер ^{57}Co и ^{60}Co в основном состоянии. $^{57}\mu/^{60}\mu = 1,247(3)$.

11. Определены параметры смешивания мультипольностей для I4 гамма-переходов, сопровождающих распад короткоживущих ($T_{1/2} = 60$ мин) ядер ^{148}Tb , однозначно определены квантовые характеристики восьми возбужденных состояний ^{148}Gd и ограничены возможные значения квантовых характеристик для четырех возбужденных состояний ^{148}Gd .

Основные результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в следующих работах:

1. Pavlov V.N., Neganov B.S., Koníček J., Ota J. A Combined ^3He - ^4He Dilution Refrigerator. Cryogenics, 1978, 18, p. 115-119.
2. Громова И.И., Дулак Я., Коничек Я., Крацикова Т.И., Лебедев Н.А., Махова А., Неганов Б.С., Ота Й., Павлов В.Н., Прохазка И., Ржицковская И., Фингер М., Фоминых В.И., Фоминых М.И., Хан Хен Мо, Цупко-Ситников В.М., Шусь А.Ф., Яноут З. Физический комплекс для исследований распада ориентированных ядер (Установка "СПИН"). Прикладная ядерная спектроскопия. Атомиздат, 1979, вып.9, М., с.3-13.
3. Дулак Я., Коничек Я., Павлов В.Н., Петржик М., Роттер М., Седлак Б., Фингер М., Янски И. Ядерный магнитный резонанс на радиоактивных ядрах, ориентированных при сверхнизких температурах. Препринт ОИЯИ, P6-80-481, Дубна, 1980, 21 с.
4. Навратил И., Неганов Б.С., Ота Й., Павлов В.Н., Фингер М., Цупко-Ситников В.М., Установка "СПИН" (Проект). БЗ-6-9223, ОИЯИ, Дубна, 1976, 39 с.
5. Неганов Б.С., Павлов В.Н., Борисов Н.С. Устройство для получения низких температур. Авторское свидетельство СССР № 579508 от 19.II.1975 г. Бюлл. ОИПОТЗ, 1977, 41, с. 140.
6. Павлов В.Н. Устройство для объемного дозирования. Авторское свидетельство СССР № 720310 от 22.06.1978 г. Бюлл. ОИПОТЗ, 1980, № 9, с. 179.
7. Павлов В.Н., Коничек Я. Контактный датчик уровня криогенной жидкости. Препринт ОИЯИ, P8-III74, 1977, 7 с.; ПТЭ, 1979, 3, с.231.

8. Павлов В.Н. Низкотемпературный теплообменник для комбинированного рефрижератора растворения. Препринт ОИЯИ, Р8-80-482, 1980, 9 с.
9. Dupák J., Finger M., Fominych M.I., Koníček J., Fominych V.I., Kracíková T.I., Machová A., Pavlov V.N., Procházka I., Tsupko-Sitnikov V.M., Schus A.F., Janout Z., Říková J. The use of radioactive thermometers for the measurement of low temperatures on the "SPIN" facility. Proc. of the Fifth Conf. of Czech Physicists, Košice, 1977, p. 333-335.
10. Павлов В.Н. О работе камерн растворения в разовом режиме. Тезисы докладов 21 Всесоюзного совещания по физике низких температур. Харьков, 1980, с. 218-219.
11. Громова И.И., Дупак Я., Коничек Я., Крацикова Т.И., Лебедев Н.А., Неганов Б.С., Павлов В.Н., Прохазка И., Фингер М., Цупко-Ситников В.М., Шусь А.Ф., Махова А., Гамильтон У.Д., Фокс Р.А. Изучение распада ориентированных ядер ^{160}Tb . Известия АН СССР, сер. физ., 1979, т.43, с.53-62.
12. Дупак Я., Коничек Я., Крацикова Т.И., Павлов В.Н., Петрижик М., Прохазка И., Фингер М., Фоминых М.И., Цупко-Ситников В.М., Мухонен Й. О магнитном моменте основного состояния ^{153}Tb . Тезисы докладов XXX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ленинград, 1980, с.242.
13. Dupák J., Finger M., Fominych M.I., Koníček J., Kracíková T.I., Muhonen J., Procházka I., Pavlov V.N., Petřík M., Tsupko-Sitnikov V.M. On the magnetic dipole moment of the ^{153}Tb ground state. JINR, B6-80-383, Dubna, 1980, p. 1-6.
14. Dupák J., Finger M., Koníček J., Kracíková T.I., Muhonen J., Pavlov V.N., Procházka I., Hamilton W.D., Nuclear Orientation Study of ^{155}Tb Decay. Czech.J.Phys., 1979, B29, p. 361-369.
15. Дупак Я., Крацикова Т.И., Лебедев Н.А., Павлов В.Н., Петрижик М., Фингер М., Цупко-Ситников В.М., Янкех А., Гамильтон У.Д., Гирит Д. Параметры смешивания мультипольностей гамма-переходов в распаде 73,9 мин ^{148}Tb . Тезисы докладов XXX Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ленинград, "Наука", 1980, с. 240-241.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1981 года.