

02;12

Исследование линий электронов внутренней конверсии методом счета треков

© Т.А. Исламов, В.Г. Калинин, Н.Т. Камбарова,
Т.М. Муминов, Н.А. Лебедев, А.А. Солнышкин,
Ю.Д. Алешин, В.В. Колесников, В.И. Силаев

ОИЯИ, Дубна

НИИПФ ТашГУ, Узбекистан

Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

Поступило в Редакцию 9 ноября 2000 г.

Получены данные по измерению линий электронов внутренней конверсии методом счета треков в ядерной фотоэмульсии с помощью оптического микроскопа и результаты сканирования на автоматизированной установке МАС-1.

В экспериментальной ядерной спектроскопии определенную роль выполняют прецизионные бета-спектрографы с постоянным магнитным полем. При относительной простоте их конструкции и эксплуатации они обладают также рядом преимуществ в определении энергий, интенсивностей и мультипольностей гамма-переходов в ядрах [1].

Высокое энергетическое разрешение и большой диапазон энергий, охватываемый в одном измерении, обусловили в 50–80-х гг. широкое использование комплекса бета-спектрографов в ядерно-спектрометрических исследованиях радионуклидов [2]. Однако низкая светосила бета-спектрографов, ограниченная чувствительность фотопластинок и их фотометрирования, требование высокой удельной активности источников ограничивают возможности их использования для исследования короткоживущих радионуклидов и слабоинтенсивных электронов внутренней конверсии (ЭВК).

Одним из способов повышения чувствительности и точности получаемой бета-спектрографической информации является использование метода счета треков вместо фотометрирования плотности почернения на фотопластинках [3–5]. Треки от сфокусированных и рассеянных электронов различаются по форме, что позволяет выделять линии ЭВК на большом уровне фона.

За 40-летний период исследований, проводимых на базе фазотрона ОИЯИ с использованием комплекса бета-спектрографов ТашГУ в НЭОЯС РХ Лаборатории ядерных проблем, накоплен большой объем экспериментальной информации о спектрах ЭВК более чем ста радионуклидов редкоземельных элементов, а также астата и актиния, хранящейся на фотопластинках. Значительная часть этой информации, недоступная для обработки линий ЭВК методом фотометрирования, и может быть обработана методом счета треков электронов на фотопластинках.

В настоящей работе описана разработанная применительно к фотопластинкам типа P-50 μm размером $400 \times 15 \text{ mm}$ методика счета треков на бета-спектрограммах ЭВК.

Эксперимент. С помощью бета-спектрографов, имеющих разрешение по энергии 0.03–0.06% и светосилу 0.01% [2], были получены бета-спектрограммы различных изотопов, приготовленные в виде тонких источников. Для этого на мишенях из Ta, Er, Cd, W, Au и других в реакциях глубокого расщепления ядер на внутреннем пучке протонов фазотрона ОИЯИ с $E_p = 660 \text{ MeV}$ получался изотоп фрагментов, из которого радиохимическим методом [6] выделялись соответствующие фракции изотопов. Затем эти изотопы электролизом высаживались на платиновую проволоку размером 10–100 μm , которая устанавливалась в бета-спектрографе в качестве источника для облучения фотопластинок.

Получение информации с фотопластинок. Для извлечения информации, накопленной в фотопластинках, о слабых линиях ЭВК в ряде работ успешно использовали метод счета треков в эмульсии [3–5]. Так, например, были измерены спектры ЭВК радионуклидов ^{137}Cs ($T = 30.1 \text{ year}$), ^{198}Tl ($T = 5.3 \text{ h}$), ^{206}Tl и ^{212}Pb при разрешении бета-спектрографа 0.02–0.04%. В работе [3] были измерены K-, L-, M-линии ЭВК γ -перехода с энергией 661.6 keV. В работе [4] исследовали L_1 -, L_2 -, L_3 -линии ЭВК γ -перехода с энергией 411.8 keV ^{198}Hg . В работе [5] исследовались низкоэнергетические L_{1-3} -, M_{1-3} -линии ЭВК γ -перехода с энергией 39.8 keV ^{208}Tl и K-линии ЭВК γ -перехода с энергией 115.7 keV ^{212}Bi . Следует заметить, что точность определения интенсивностей линий ЭВК в работах [3–5] составляла не более 8%.

В данной работе проведен счет треков ЭВК на фотопластинках для L_{1-3} -, M_{1-3} -, L_{1-3} -линий ^{161}Ho с энергией 25.655 и 74.42 keV соответственно, а также для ряда линий ядер: ^{163}Tm , ^{166}Tm , ^{135}Ce .

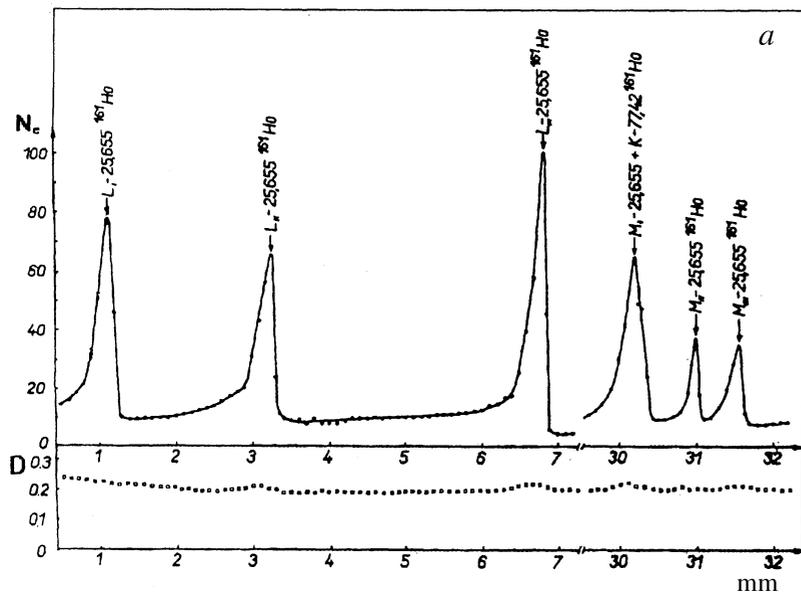


Рис. 1. Спектры ЭВК ¹⁶¹Ho, полученные методом фотометрирования (открытые точки) и методом счета треков на фотопластинке (сплошные линии). N_e — трек/250 μm²; D — плотность почернения.

Для счета треков ЭВК использовались фотопластинки с малым фоном. Результаты были получены с помощью оптического микроскопа МБИ-9 при увеличении 900 и 1350. Участки спектра ЭВК ¹⁶¹Ho, полученные методом счета треков и по плотности почернения при активности источника меньше одного милликюри, показаны на рис. 1, *a* и *b*. Измерения выполнены для линий ЭВК L_1 , L_2 и L_3 при энергии перехода 25.655 keV и линий L_1 , L_2 и L_3 при энергии 77.42 keV ¹⁶¹Ho. В таблице приведены результаты измерений отношения интенсивностей линий ¹⁶¹Ho с энергиями 25.655 и 77.42 keV и отношения, полученные из расчета по теории [8]. Из сравнения этих данных следует, что мультипольности переходов 25.655 и 77.42 keV относятся к $E1$ -переходам. Зависимость длины трека ЭВК от энергии электронов, согласно

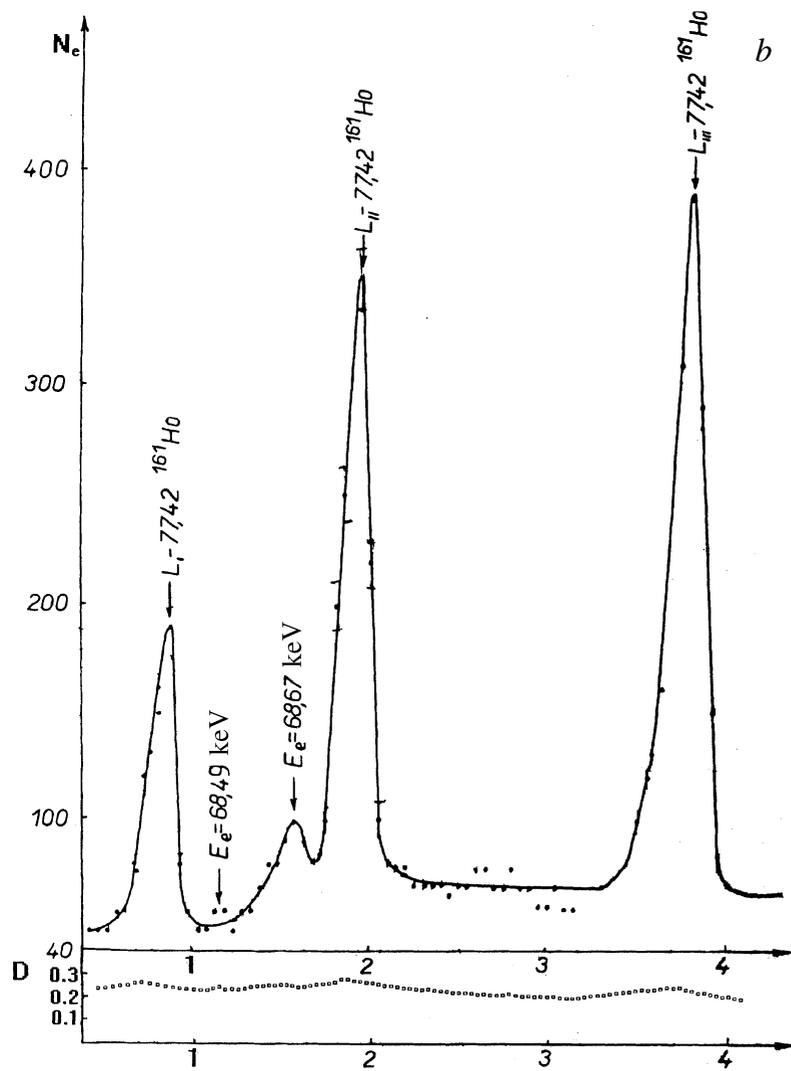


Рис. 1 (продолжение).

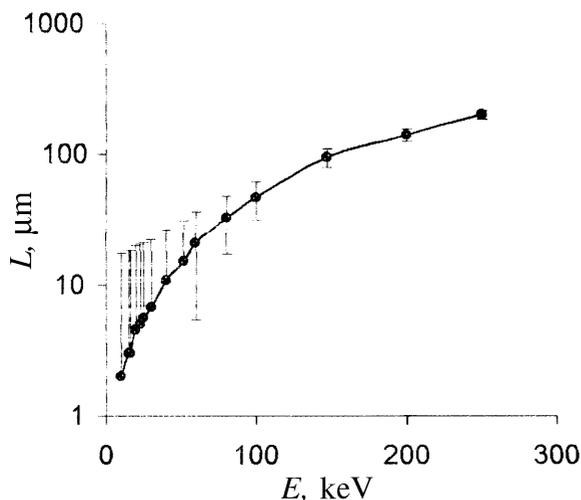


Рис. 2. Зависимость длины трека в фотоэмульсии от энергии электронов.

данным [3–5] и нашим, показана на рис. 2. Отсюда следует, что для счета треков ЭВК необходимо использовать увеличение микроскопа 2700, так как электроны с энергией меньше 16 keV имеют длину треков меньше $4 \mu\text{m}$. Из спектральной чувствительности фотоэмульсии P-50 известно, что длина треков электронов растет с энергией до 200 keV [1–2]. Далее с увеличением энергии электронов число затронутых зерен не возрастает. Треки, возникающие от электронов различной энергии, отличаются друг от друга по числу зерен вдоль трека, длиной трека и углами рассеяния. Методом счета треков электронов были измерены также линии ЭВК в следующих переходах: ^{166}Tm (k -194.8 keV), ^{169}Yb (k -197.97 keV), ^{160}Ho (k -218.1 keV), ^{135}Cs (L_1, L_2, L_3 -59.08 keV, K -146.2 keV, K -162.1 keV, K -572.0 keV, K -665.4 keV, K -783.3 keV, K -828.2 keV), ^{160}Ho ($L_1, L_2, L_3, M_2, M_3, N_-, O_-$ -86.49 keV).

Несмотря на то что использование метода счета треков дает интересные результаты, продолжать эти работы на оптических микроскопах вручную не является перспективным. Поэтому в дальнейшем этот процесс необходимо прежде всего автоматизировать.

Отношение интенсивностей линий ЭВК (L_{1-3} -линий) для γ -переходов с энергиями 25.655 и 77.42 keV в ядре ^{161}Dy

Энергия E_γ , keV	Отношение интенсивностей линий	Эксперимент	Теория	Вывод о мультипольности перехода
25.655	$L_1 : L_2$	1.40	1.37	E1
	$L_2 : L_3$	0.70	0.68	
	$L_1 : L_3$	0.93	0.94	
77.42	$L_1 : L_2$	3.60	3.59	E1
	$L_2 : L_3$	0.80	0.80	
	$L_1 : L_3$	2.88	2.86	

Сканирование фотопластинок на автоматизированной установке МАС-1. С использованием телевизионной техники для оцифровки изображения в ядерной фотоэмульсии возникают новые возможности при обмере фотоспектрограмм. Так, на универсальной автоматизированной установке МАС-1 [7] с телевизионным съемом и передачей информации в компьютер после обработки записанного массива и фильтрации определяется автоматически количество черных пикселей, принадлежащих зернам экспонированной фотоэмульсии. Телевизионная камера с ПЗС-матрицей, размером $1/2''$ раскладывает сфокусированное на нее изображение на 512×512 пикселей. Сканирование фотопластинки размером 400×400 mm происходит с помощью микроскопных объективов с полем зрения от $60-300 \mu\text{m}$. Отсчет положения точки по трем координатам во всей области рабочего стола производится с помощью датчиков на дифракционных решетках с точностью $1 \mu\text{m}$. Точность в пределах одного поля зрения может достигать $0.2 \mu\text{m}$. В каждую ячейку записанного изображения заносится градация яркости в пределах от 1–256 единиц. Поэтому в компьютере одно поле зрения занимает 256 кбайт памяти. При сканировании с объективом $40\times$ поле зрения составляет $100 \mu\text{m}$ и, следовательно, на $1 \mu\text{m}$ приходится 5 пикселей. А отдельное зерно на кадре занимает порядка 20 пикселей. В этом случае телевизионная камера позволяет проводить сканирование опти-

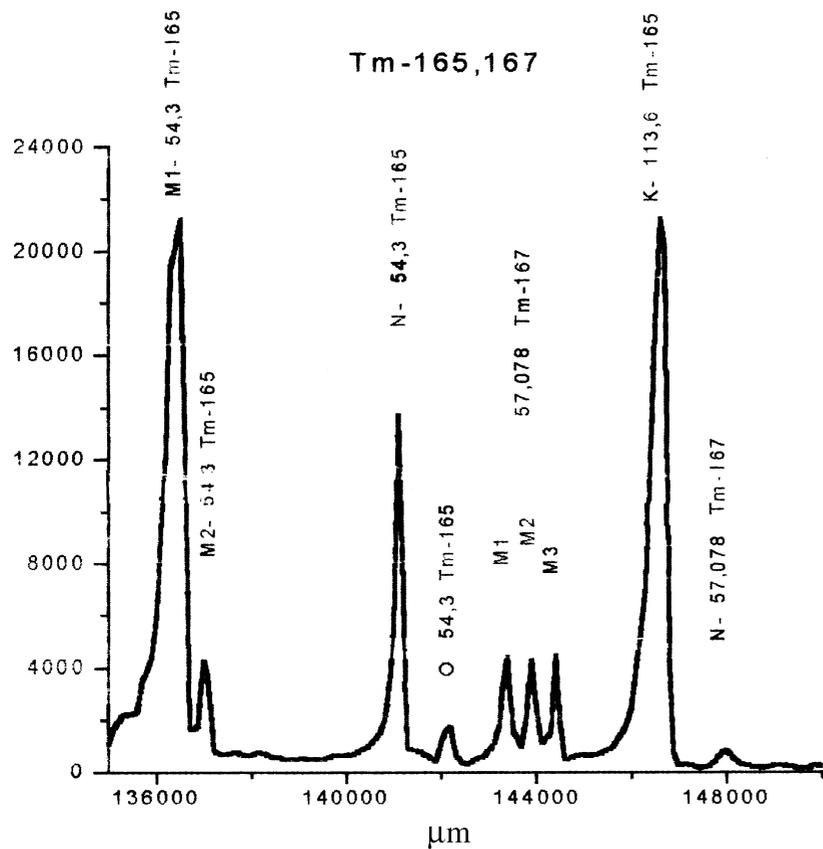


Рис. 3. Спектр линий ЭВК для радиоактивной фракции $^{165,167}\text{Tm}$, полученный на автоматизированной установке МАС-1.

ческого изображения с точностью до отдельных зерен. Использование процедуры фильтрации при оцифровке изображений позволяет получать достоверные результаты.

На рис. 3 показан один из спектров ЭВК для радиоактивной фракции $^{165,167}\text{Tm}$, полученный на автоматизированной установке МАС-1.

Заключение. Из рассмотрения различных способов обработки линий ЭВК с использованием фоторегистраторов можно отметить их основные особенности:

1. Счет треков ЭВК на фотопластинках обеспечивает значительно большую чувствительность по сравнению с методом фотометрирования, что в определенной степени обусловлено и возможностью отделения треков ЭВК от треков рассеянных электронов.

2. Исследование бета-спектрограмм по плотности почернения связано с большими удельными активностями, т.е. обусловлено, с одной стороны, ограниченной чувствительностью метода фотометрирования (минимальная чувствительность фотопластинки 5000 треков электронов на ширине линии 0.3 mm).

3. Кроме того, при фотометрировании ширина линии ЭВК уширяется из-за конечного размера щели входного окна фотометра.

4. При использовании метода счета треков ЭВК можно проводить измерения с источниками в 1000 раз слабее, чем при исследовании по плотности почернения.

5. Применение автоматизированного спектрометрического микроскопа МАС-1 с телевизионным съемом информации для исследований линий ЭВК на фотопластинках обеспечивает высокую точность положения линий (несколько μm) и при этом сохраняет чувствительность почернения на уровне нескольких зерен.

Список литературы

- [1] Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Умаров Г.Я. Бета-спектрографы с постоянными магнитами. Ташкент: ФАН, 1970. 187 с.
- [2] Абдуразаков А.А., Исламов Т.А. и др. Атлас спектров электронов внутренней конверсии нейтронодефицитных радиоактивных нуклидов в области $A = 131-172$. Ташкент: Узбекистан, 1991. 346 с.
- [3] Антоньева И.А. // ЖЭТФ. 1956. Т. 30. С. 571.
- [4] Reitman D., Schneider H. et al. // Nucl. Inst. and Methods. 1963. V. 22. P. 345-350.
- [5] Sevier K.D. // Arkiv for Physik. 1963. B25. N 7. P. 87.
- [6] Молнар Ф., Халкин В., Херманн Э. // ЭЧАЯ. 1973. Т. 4. С. 1077-1150.
- [7] Алёшин Ю.Д., Колесников В.В., Силаев В.И. // ПИЭ. 1997. № 2. С. 49.
- [8] Hager R.S., Soltzer E.C. // Nucl. Data Tables. A61. 1969.