

# ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ СПЕКТРОМЕТРИИ $\alpha$ -ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ

**В.В. Дьячков, А.Л. Шакиров, А.В. Юшков**  
*НИИЭТФ, КазНУ им. аль-Фараби, г.Алматы*

Разработана прецизионная методика измерения активности альфа-источников и их энергетических линий с помощью твердотельно-трековых детекторов. Определены оптимальные условия для этапов извлечения регистрируемой спектрометрической информации. Исследованы различные материалы твердотельно-трековых детекторов (ТТД). Разработаны и оптимизированы методы компьютерной обработки ТТД для извлечения спектрометрических данных.

Современными методами регистрации заряженных частиц в области ядерной физики и физики высоких энергий являются, наряду с дорогостоящими и не долгоживущими полупроводниковыми детекторами, трековые методы регистрации. То есть регистрация исследуемой частицы осуществляется путем идентификации и интерпретации радиационных дефектов в твердотельно-трековом детекторе (ТТД), который, в основном, представляет собой аморфные диэлектрические пленки. Но главным преимуществом ТТД является возможность и относительная простота создания позиционно-чувствительных детекторов, которые одновременно измеряют сечения ядерных реакций в большом диапазоне углов. Такая равноточность измерений угловых распределений сечений ядерных реакций позволяет обнаруживать различные аномалии связанные с их механизмами. В [1] нами показан механизм образования латентного трека в полиэтилентерефталате.

В настоящей работе исследованы возможности спектрометрии с помощью твердотельных трековых детекторов (ТТД) на основе полиэтилентерефталата, нитрата целлюлозы, рентгеновских пленок CB-BU New и фотопленки KODAK 200. Решающим условием для применения ТТД послужило их уникальное свойство зависимости диаметров треков от энергии ионов (в дальнейшем –  $\alpha$ -частиц, для которых тестировалась настоящая методика).

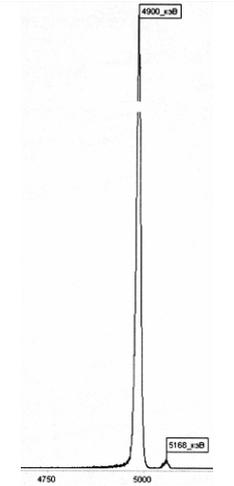
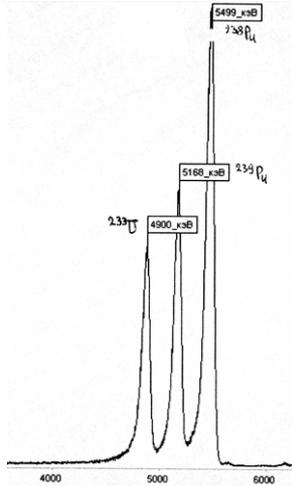
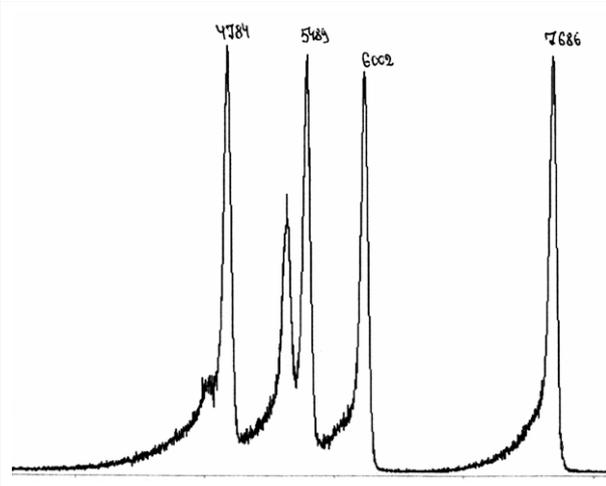
С помощью ТТД регистрировались  $\alpha$ -частицы от образцовых источников  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  в диапазоне энергий 4,7÷7,6 МэВ, а также рассеянные  $\alpha$ -частицы с энергией 5,5 МэВ. В таблице 1 представлены характеристики эталонных источников и их спектры, полученные на автоматизированной альфа-спектрометрической установке «Прогресс 2000» (Амплитуда).

Методика состоит из трех основных этапов получения спектра регистрируемых заряженных частиц.

**На первом этапе** проводилось облучение эталонными постоянными  $\alpha$ -источниками, по методике автордиографии (рис. 1, 2) Затем выполнялось фотометрирование исследуемых пленок и изучались зависимости потемнения поверхности облучения от времени облучения (рис. 3-5). На этом этапе получена интегральная активность согласно эффективной энергетической области регистрации заряженных частиц [1], от эталонных  $\alpha$ -источников.

**На втором этапе** ТТД подвергались вторичной химической обработке для вскрытия латентных треков, находящихся под фоточувствительном слоем, в слое подложки пленки. ТТД травилась в щелочном растворе, в результате чего фотоизображение исчезало, но появлялось трековое поле. Для попадания в область эффективного трекообразования разработаны режимы облучения, травления [2,3], просмотра под микроскопом и компьютерного контрастирования для каждого  $\alpha$ -источника.

Таблица 1 – Характеристики эталонных источников (ОСИИ)

Тип	$^{239}\text{Pu}$	$^{233}\text{U} + ^{238, 239}\text{Pu}$	$^{226}\text{Ra}$
Поток $\alpha$ -частиц, 1/с	1880	18900	15400
Энергия, кэВ	5105,9 (11,9 %) 5143,9 (15,0 %) 5156,7 (73,0 %)	4824 (82,7 % $^{233}\text{U}$ ) 5156 (73,0 % $^{239}\text{Pu}$ ) 5499 (70,9 % $^{238}\text{Pu}$ )	4601,7 (5,6 %) 4784,4 (94,4 %) 5489,5 (99,92 %) 6002,4 (99,98 %) 7686,9 (99,99 %)
Спектр			

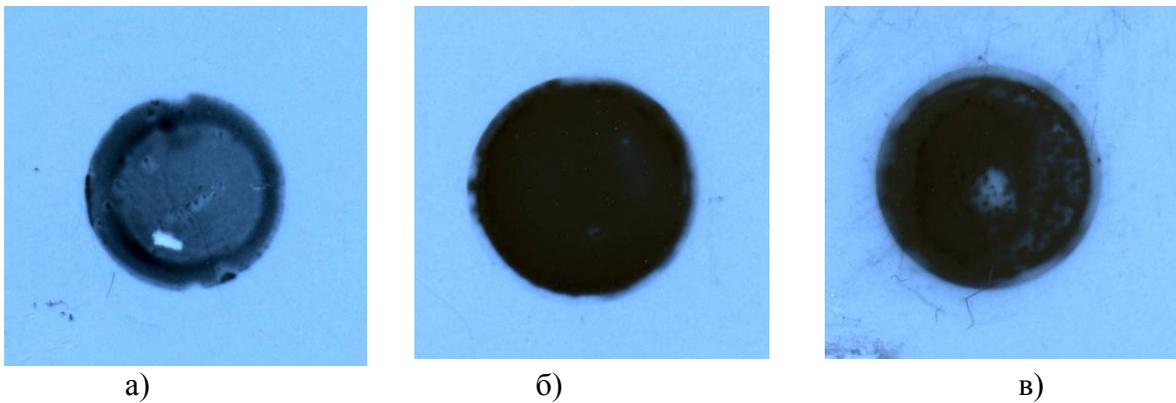


Рис. 1. Результаты облучения рентгеновской пленки AGFA CB-BU New эталонными  $\alpha$ -источниками с временем облучения 60 мин, а) –  $^{239}\text{Pu}$ , б) – Триплет  $^{233}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ , в) –  $^{226}\text{Ra}$

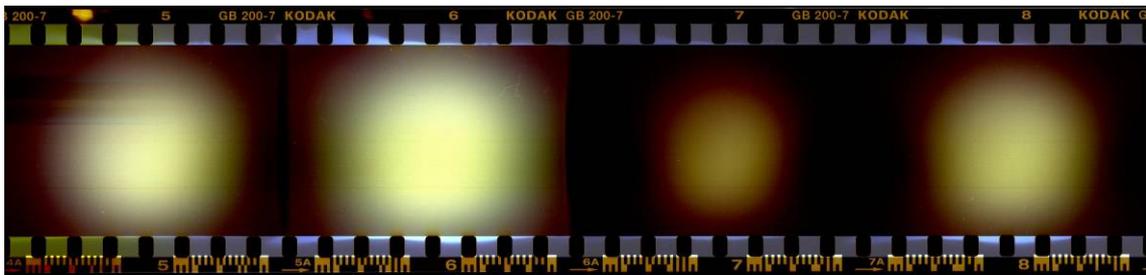


Рис.2. Часть экспонированной фотопленки KODAK 200 (позитив)  $^{226}\text{Ra}$ ; видна зависимость фотоизображения от времени экспозиции

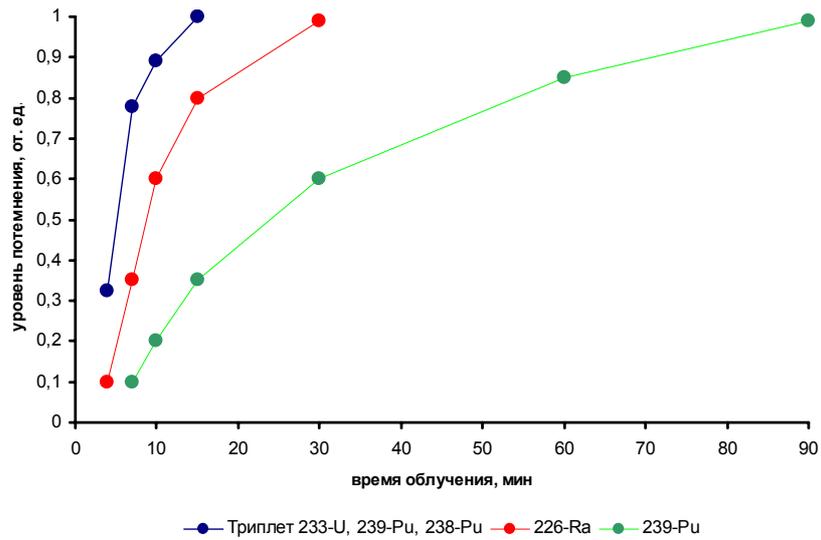


Рис.3. Зависимость потемнения рентгеновской пленки AGFA CB-BU New от времени облучения эталонными  $\alpha$ -источниками; триплет (38,6 кБк); плутоний (40,1 кБк); радий (30,6 кБк)

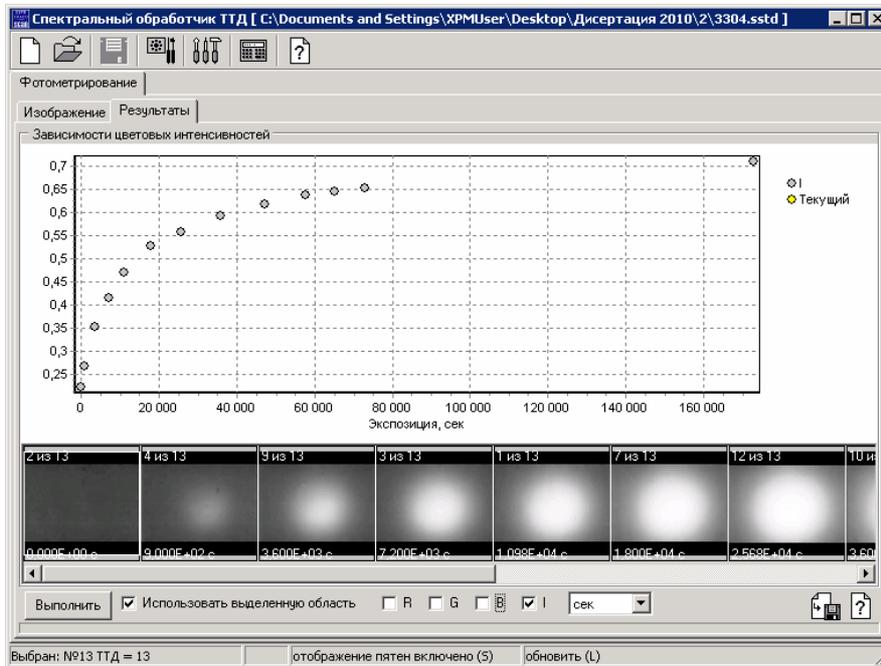


Рис.4. Результат подсчета интенсивностей экспонированных кадров KODAK 200 с помощью разработанного нами программного обеспечения (ПО)

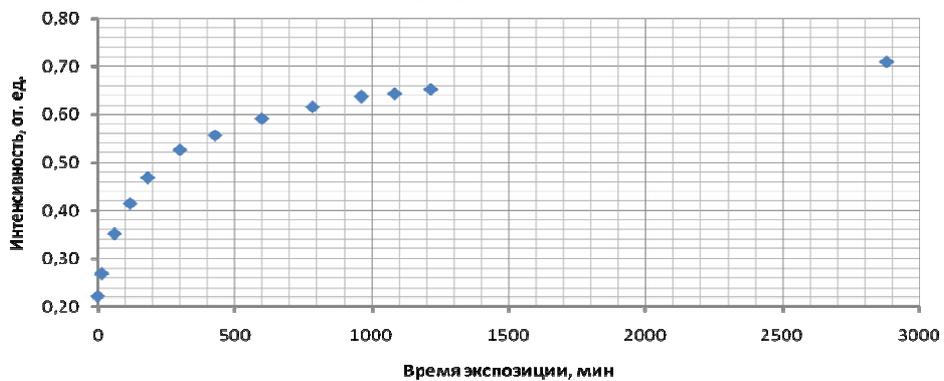


Рис.5. Зависимость потемнения KODAK 200 от времени облучения  $^{226}\text{Ra}$ , полученная компьютерной обработкой

Для отработки оптимальных режимов  $\alpha$ -спектрометрии проводились следующие измерения: скорости травления поверхности пленок в зависимости от концентрации раствора (рис. 6); характера трекового поля от времени облучения и увеличения оптического микроскопа (МБИ-9), а также оптического спектра источника света; типа контрастирующего вещества (родамин и др.).

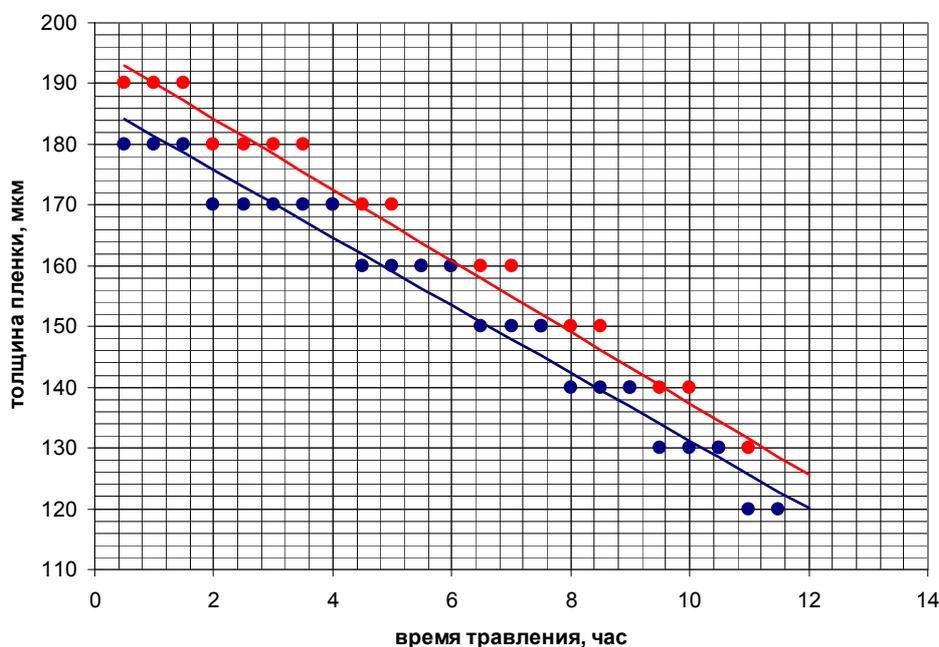


Рис.6. Скорость травления поверхности ТТД от их типа в травящем растворе 40% NaOH с температурой 60<sup>0</sup> С

В таблице 2 приведены оптимальные режимы химической обработки различных типов пленок.

Таблица 2 – Режимы травления полимерных ТТД

Полимер	Травитель	Температура °С	Концентрация %	Длительность травления, ч
Полиэтилентерафтолат (лавсан)	NaOH	60	25	3
Поликарбонат	NaOH	60	25	3
Триоцетат целлюлозы	NaOH	40	25	1
Нитрат целлюлозы	NaOH	40	25	0,5
CR-39	NaOH	70	25	1
Поливинилхлорид	KMnO <sub>4</sub>	80	25	4
Фторпласт Ф40-Б	KMnO <sub>4</sub>	100	-	6
Полиимид	KMnO <sub>4</sub>	60	-	8
Полиэтилен	K <sub>2</sub> Cn <sub>2</sub> O <sub>7</sub> +H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	85	-	0,5

После химической обработки ТТД возникают оптически наблюдаемые трековые поля. На **третьем этапе** обработки ТТД, для построения спектра диаметров (энергетического спектра) треков, нами разработан программно-математический комплекс на основе идентификации трека из цветового контраста пикселей цифрового изображения (рис. 7), который формирует спектр регистрируемых треков (рис. 8).

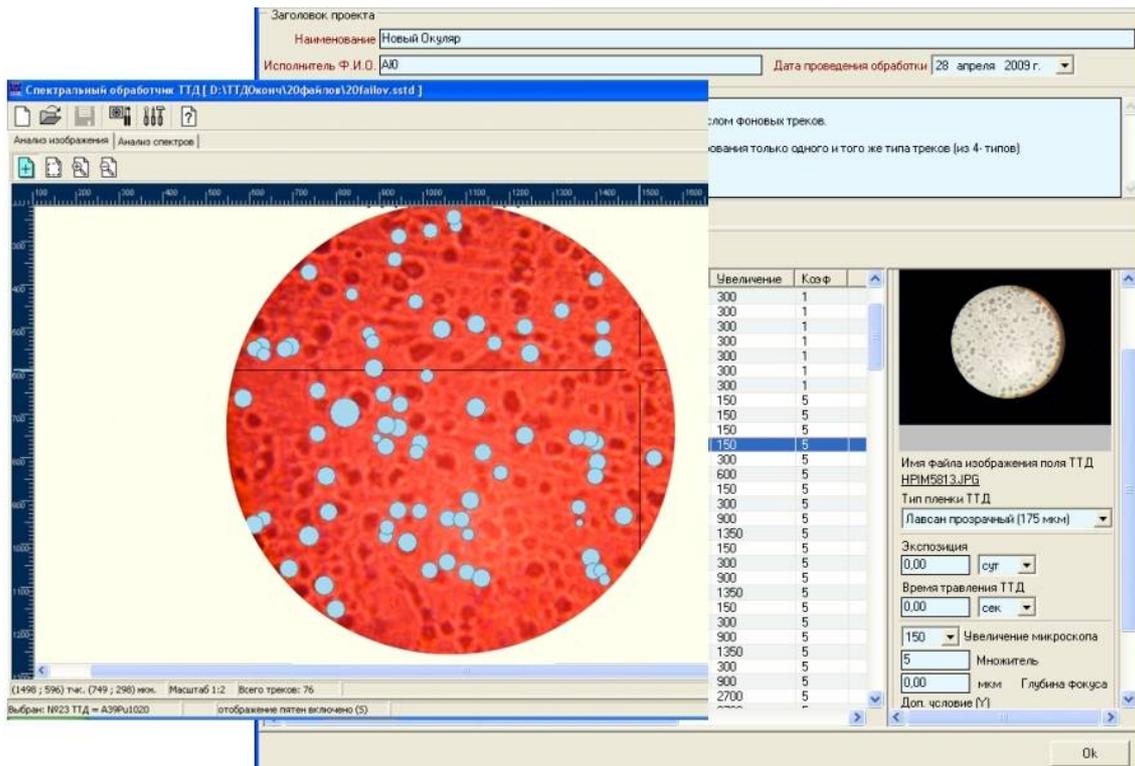


Рис.7. Программный комплекс для обработки ТТД

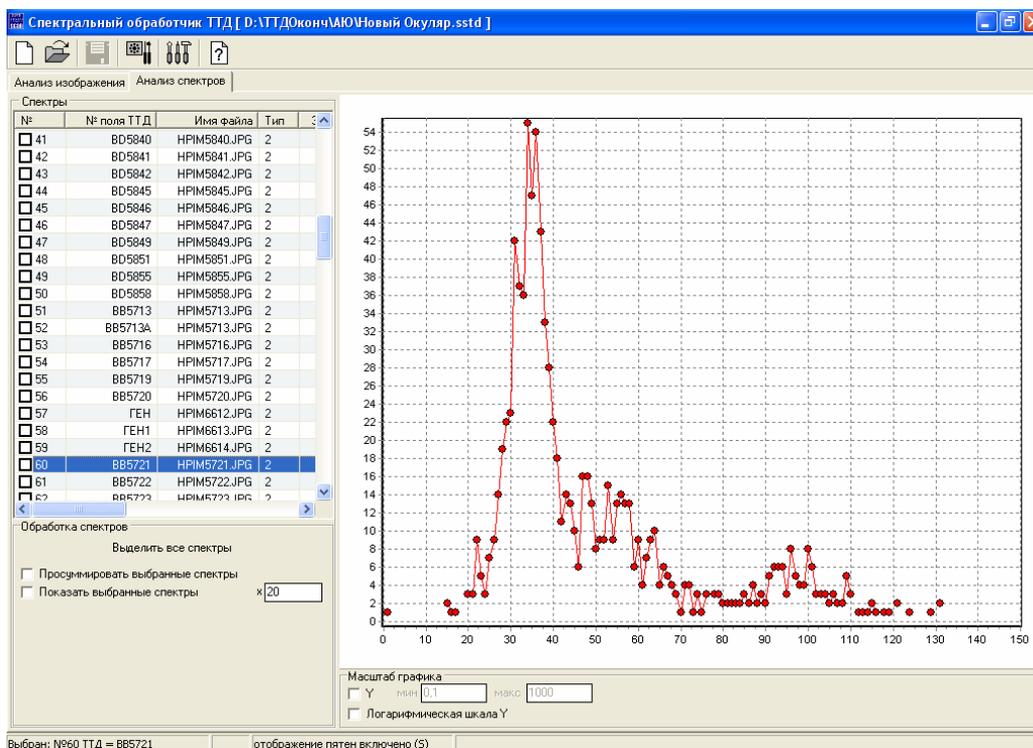


Рис.8. Спектр распределения диаметров треков

В заключение необходимо отметить, что для спектрометрической регистрации частиц с помощью ТТД в каждом эксперименте необходимо проводить эталонное облучение для

построения калибровочной кривой, определяющей зависимость диаметров треков от энергии альфа-частиц ими образованными. Универсальную калибровочную кривую для спектрометрического режима построить не возможно в силу многих факторов присутствующих на всех этапах обработки ТТД. Особенно это относится к экспериментам на пучках ускоренных ионов (от протонов до ионов урана).

### **Литература**

1. В.В. Дьячков, А.В. Юшков // Трекообразование при регистрации  $\alpha$ -частиц твердотельно-трековыми детекторами. Вестник КазНУ. Серия физическая. №1 (28) Алматы, 2009, с. 46-54.
2. Р.Л.Флейшнер, П.Б.Прайс, Р.М.Уокер // Треки заряженных частиц в твердых телах. Принципы и приложения. Ч. 1. Методы исследования треков. М., Энергоиздат, 1981, 152 с.
3. С.П.Третьякова // Диэлектрические детекторы и их использование в экспериментальной ядерной физике // ЭЧАЯ, 1992. – Т. 23. – вып. 2. – С. 365-429.

### **ҚАТТЫ ДЕНЕЛІ ТРЕК ДЕТЕКТОРДЫҢ КӨМЕГІМЕН $\alpha$ -БӨЛШЕКТІ СПЕКТРОМЕТРДІҢ МҮМКІНДІГІН ЗЕРТТЕУ**

**В.В. Дьячков, А.Л. Шакиров, А.В. Юшков**

Қатты денелі трек детектордың көмегімен  $\alpha$ -сәуле көзінің белсендігін және олардың энергетикалық сызықтарын өлшеу прецизиондық әдістемесі құрастырылды. Тіркелетін спектрметрлік ақпараттың алу этаптарының оптимальды шарттары анықталды. Қатты денелі трек детектордың (ҚДТД) әртүрлі материалдары зерттелді. Спектрметрлік берілгендерді алу үшін ҚДТД-ді өңдеу компьютерлік әдісі жасалды және оптимизацияланды.

### **THE INVESTIGATION OF POSSIBILITY SPECTROMETRY $\alpha$ -PARTICLES BY SOLID-BODY TRACKING DETECTORS**

**V.V. Dyachkov, A.L. Shakirov, A.V. Yushkov**

A precise method of measuring the activity of alpha-sources of energy lines by using solid-track detectors is developed. The optimum conditions of extraction stages of registered information are defined. Various materials of solid-track detectors (SSTD) are researched. Studied and developed methods for the intermediate and final processing of SSTD to extract spectral data