

## Обмер треков и бета-спектрограмм на универсальной установке МАС-1

© О.К. Егоров,<sup>1</sup> Т.А. Исламов,<sup>2,3</sup> В.Г. Калинин,<sup>2</sup> Н.Т. Камбарова,<sup>3</sup>  
В.В. Колесников,<sup>1</sup> Т.М. Муминов,<sup>3</sup> В.И. Силаев,<sup>1</sup> А.А. Солнышкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственный научный центр Российской Федерации,  
Институт теоретической и экспериментальной физики,  
117218 Москва, Россия

<sup>2</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Московская область, Россия

<sup>3</sup> Ташкентский государственный университет, Ташкент, Узбекистан

(Поступило в Редакцию 28 марта 2002 г. В окончательной редакции 16 сентября 2002 г.)

Приведены результаты обработки фотоэмульсионных пластинок экспонированных в нескольких экспериментах на автоматизированном комплексе МАС-1, использующем микроскоп. В частности, представлены случаи обнаружения очарованного мезона в фотоэмульсионной камере эксперимента WA-95 (CERN) и примеры результатов обработки спектрограмм электронов внутренней конверсии (ЭКВ), полученных на бета-спектрографе, с использованием прецизионной телевизионной системы считывания изображений, обеспечивающей точность  $1 \mu\text{m}$  по всем трем координатам.

### Введение

Созданная в ИТЭФ автоматизированная универсальная установка МАС-1 [1] ранее была использована для поиска нейтринных взаимодействий в ядерной фотоэмульсии, экспонированной в нейтринном пучке ускорителя SPS в CERN [2].

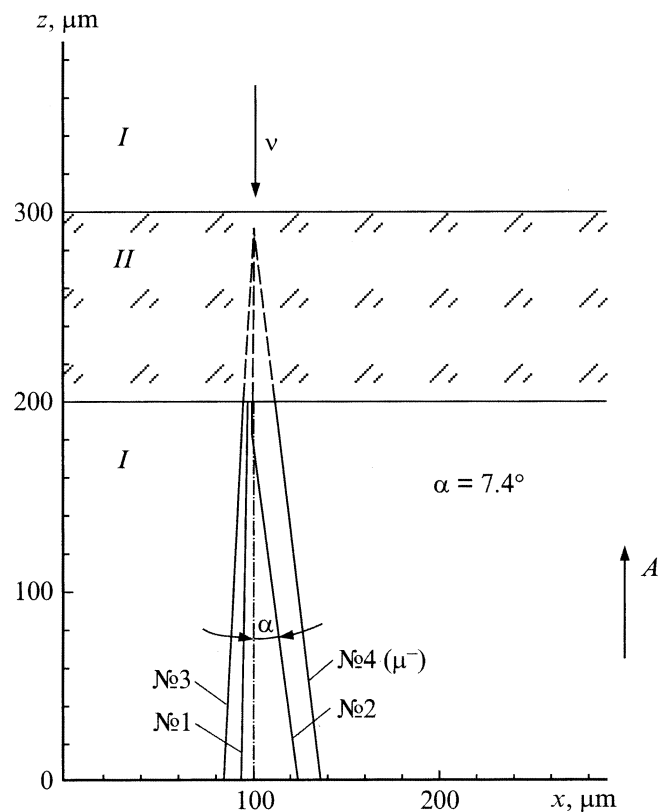
Основные параметры прибора МАС-1: размер предметного столика для просмотра и измерений в эмульсии  $450 \times 450 \text{ mm}$ , величина отсчета по трем координатам  $1 \mu\text{m}$ , перемещение по вертикали  $50 \text{ mm}$ . Прибор снабжен вакуумным прижимом пластин для фиксации эмульсии и телевизионной системой для наблюдения и записи изображений в память ЭВМ.

Установка была создана и для обмера событий эксперимента WA-95 (CERN) коллаборации CHORUS для поиска нейтринных осцилляций [3]. В этом эксперименте вся облученная фотоэмульсионная камера расклеивалась на полистирольную основу размером  $400 \times 400 \text{ mm}$  в определенном порядке, поиск событий велся в полуавтоматическом режиме (выезд на заданную координату производился автоматически, а оператор только фиксировал координаты событий). В качестве примера приведем найденный в этом эксперименте очарованный мезон (рис. 1). Здесь измерялось почернение, создаваемое каждым зерном фотоэмульсии.

Однако разработанная методика позволяет также производить измерения совокупности зерен и конечно спектральные линии. В настоящей работе описана методика и особенности сканирования на установке МАС-1 пластинок с ядерной фотоэмульсией, на которых были зарегистрированы линии электронов внутренней конверсии различных радионуклидов с помощью бета-спектрографов с целью показать преимущества предложенной методики по сравнению с техникой микрофотометров [4]. Используемые фотопластинки раз-

мером  $400 \times 15 \text{ mm}$  имели эмульсию толщиной  $50 \mu\text{m}$ , типа *P* производства НПО ФОМОС.

Параметры бета-спектрографов подробно рассмотрены в работе [4], и основными из них являются сле-



**Рис. 1.** Пример обмера рождения очарованного мезона на установке МАС-1. Событие  $1272 = 1925$ , камера 54, трек предсказания 212 (6)-адрон. *I*–*4* — номера треков, *I* — фотоэмульсия, *II* — полистирол, *A* — направление поиска вершины взаимодействия.

дующие: энергетическое разрешение 0.03%, диапазон энергий регистрируемых электронов 0–3000 keV, активность источников 5–30 mCi и использование в качестве регистратора электронов пластинок с ядерной фотоэмульсией. Применение фоторегистратора в качестве детектора электронов позволяет получать информацию об энергетических спектрах конверсионных электронов в широком диапазоне энергий и с высоким разрешением. Но для извлечения интересующих данных с фоторегистраторов необходимы прецизионные измерительные установки, имеющие телевизионную технику считывания и оцифровку оптического изображения. При этом телекамера (ТК) должна обладать высоким пространственным разрешением, чтобы обеспечить качественное изображение отдельных зерен эмульсии, размер которых составляет — 1  $\mu\text{m}$ .

### Телевизионная система считывания изображений

На установке МАС-1, предназначенной для проведения измерений в ядерной фотоэмульсии, была специально установлена спектрометрическая телевизионная камера на основе ПЗС (прибор с зарядовой связью) матрицы. Обработка информации с такой камеры проводилась с помощью разработанных алгоритмов, в которых записанное изображение раскладывалось на  $512 \times 512$  ячеек, в каждой из них запоминалась величина яркости в диапазоне 0–255 единиц.

Телевизионная камера со светочувствительным элементом из ПЗС-матрицы работает в области оптического спектра и имеет максимум чувствительности при  $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$ . Камера с ПЗС матрицей типа SONYCCB-M27B/CE предназначена для высококачественного ввода черно-белых изображений в ЭВМ типа РС. В ней формируются видеосигнал и вспомогательные сигналы и она имеет следующие технические параметры: размер ПЗС матрицы 1/2", количество рабочих элементов  $768 \times 576$ , размер чувствительной области  $6.46 \times 4.83 \text{ mm}$ , время срабатывания электронного затвора 1/50–1/10 000 с, время накопления сигналов около минуты, чувствительность 0.251. Камера имеет внешнюю синхронизацию для кадровой развертки и автоматическую регулировку усиления (АРУ). Телевизионная камера соединена на прямую с контроллером, установленным в компьютере, который производит оцифровку сигнала и управляет ее работой. Контроллер работает на тактовой частоте ТВ камеры, что обеспечивает высокое качество изображения и точное соответствие оцифрованной картинки физическому растру ПЗС матрицы.

Телевизионная система считывания информации обеспечивает ввод изображения и имеет следующие характеристики: полное число ячеек в растре ТК  $768 \times 576$ , время ввода изображения 40 ms, количество запоминающих экранов сканирования в буфере памяти  $\sim 8$ , количество градаций яркости 256, тактовая частота разложения

кадра 14.1875 MHz. Она имеет входную и выходную таблицу перекодировки данных, электронные регулировки уровней яркости, 16-битный интерфейс с шиной IBM PC, четырехбитный оверлейный слой памяти, в котором может записываться информация наложением на основное изображение.

ТВ камера состоит из 4 плат: ПЗС матрицы, платы управления ПЗС матрицей, блока питания и платы интерфейса с контроллером. Все функции контроллера изменяются с помощью его перепрограммирования. Часть функций может перепрограммироваться пользователем, а часть определяется типом прошивки, программируемой вентиляционной матрицей (ПВМ). Прошивки определяют конкретные характеристики работы контроллера. Они могут загружаться в контроллер в любой момент времени и любое число раз. Одна загрузка прошивки в контроллер занимает 80 ms.

### Методика сканирования бета-спектрограмм

Экспонированные в бета-спектрографе фотопластинки в результате воздействия спектров ЭВК изотопов радионуклидов накапливали информацию об энергии линий, их ширинах и интенсивностях. После проявления и сушки, фотопластинки устанавливались на стол МАС-1 с жесткой фиксацией. Толщина облученного эмульсионного слоя после проявления составляла  $\sim 25 \mu\text{m}$  при толщине стеклянной подложки 2 mm. В фотоэмульсии накапливалось число черных зерен, плотность которых зависит непосредственно от интенсивности переходов между ядерными уровнями элементов. Реально изображение зерна, наблюдаемое с помощью ТК, составляет

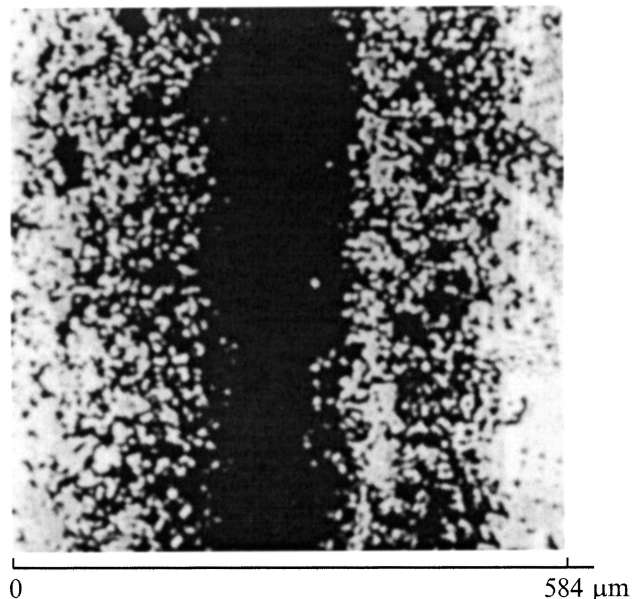
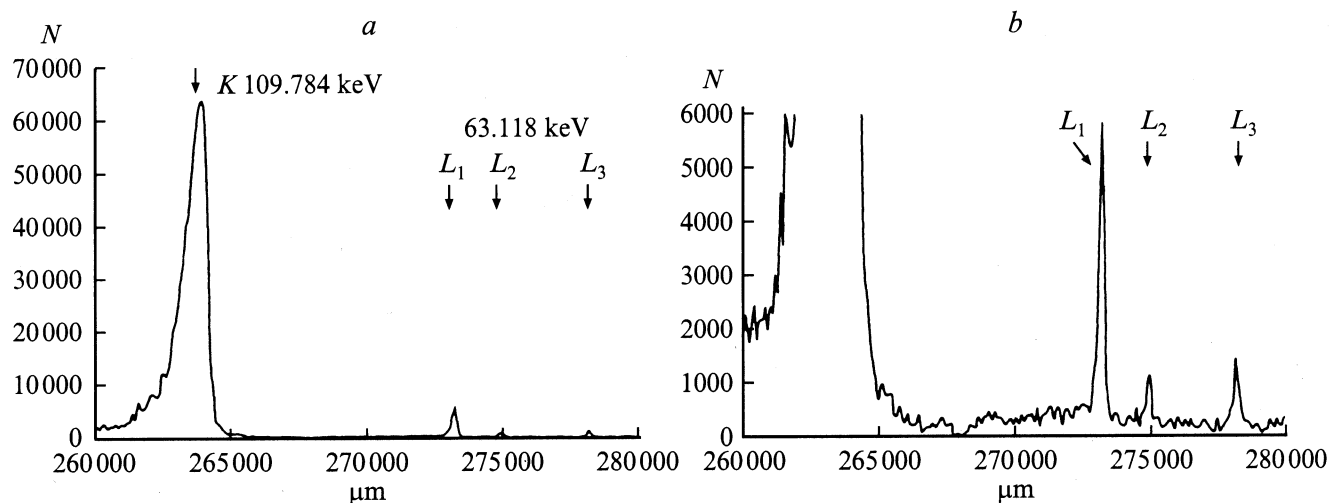


Рис. 2. Линии конверсионных электронов в фотоэмульсии на установке МАС-1.



**Рис. 3.** *a* — результаты сканирования бета-спектрограммы электронов внутренней конверсии изотопа  $Yb-169$  ( $N$  — число „черных“ ячеек); *b* — результаты сканирования этой же спектрограммы, но растянутой по оси  $Y$  (по отношению интенсивностей  $L$ -линий определяют мультипольность переходов).

**Таблица 1.** Линии спектра  $^{169}Yb$

Линия	Положение, $\mu m$	Ширина, $\mu m$	Интенсивность	Сигнал/фон
$K$	$264100 \pm 50$	1500	1	11.40
$L_1$	$273300 \pm 50$	400	$0.0175 \pm 0.0002$	2.20
$L_2$	$275000 \pm 50$	300	$0.0019 \pm 0.0002$	0.76
$L_3$	$278200 \pm 50$	300	$0.0026 \pm 0.0002$	0.93

величину  $\sim 1 \mu m$  и занимает на ПЗС матрице  $\sim 10$  ячеек, что является вполне достаточным для выделения отдельных зерен даже при значительной флуктуации их размеров. Подсветка фотоэмульсии осуществлялась параллельным пучком света с использованием лампы накаливания мощностью до 100 W, конденсора и полевого объектива. Качество изображения устанавливалось с использованием электронных регулировок при помощи специального пакета программ компьютера. Градация яркостей подбиралась так, чтобы „черные“ ячейки имели яркость от 0–127 единиц, а „светлые“ — от 128–255 единиц. Выбранный режим регистрации изображений на ТК в оптическом канале фиксировался на отдельном кадре размером  $512 \times 512$  ячеек и после оцифровки яркости записывался в виде файла компьютера. На рис. 2 представлена картина регистрации электронов на фотопластинке для элемента Lu, наблюдаемая на ТК после проведенной настройки. Обработка же записанных изображений происходила в дальнейшем по специально разработанному алгоритму в несколько этапов.

1. Сначала информация о кадре с изображением подвергалась фильтрации с целью очистки его от каких-либо примесей, дефектов или поврежденных эмульсии.

2. Спектр распределения яркостей на кадре подвергался операции „эквализации“, т. е. функция распределения

яркостей подвергалась аналитическому продолжению на весь доступный диапазон.

3. Проводилась операция „бинаризации“ яркости на кадре, чтобы окончательно величины яркостей принимали значения либо 0, либо 1.

4. В зависимости от выбранного шага сканирования линии спектра, проводилось определение числа „черных“ ячеек на кадре (соответствующих значению яркости 0) в проекции на ось, перпендикулярной расположению линии.

На рис. 2, который получен указанным способом записи изображения, рядом с интенсивной линией просматривается отделенная просветом слабая линия. Обычно для регистрации слабых линий приходится уменьшать шаг сканирования, так и коэффициент оптического увеличения. Это связано с тем, что при большом увеличении размер линии сильно размывается и переход от одной линии к другой, расположенной рядом, из-за малой статистики становится незаметным. Размер поля зрения всего рис. 2 составляет  $584 \times 584 \mu m$ , а провал между линиями имеет длину  $53 \mu m$ . Поэтому сканирование подобных спектрограмм из-за наличия слабых линий становится возможным с шагом не менее  $25 \mu m$ . Но в то же время при отсутствии заметного фона шаг сканирования можно выбирать, учитывая соотношение величины сигнала к величине фона.

Таблица 2. Линии спектра  $\text{In}^{111}$ 

Линия	Положение, $\mu\text{m}$	Ширина, $\mu\text{m}$	Интенсивность
L	$81395 \pm 12$	607	1
M	$82975 \pm 5$	216	$0.340 \pm 0.001$
N + O	$83281 \pm 8$	273	$0.048 \pm 0.002$

В процессе сканирования фотопластинок на установке МАС-1 производится фиксация координат и определяется число „черных“ ячеек в каждом поле зрения на ЭВМ, работающей в режиме реального времени. Сканирование бета-спектрограмм проводится по всей длине фотопластинки при одной настройке системы считывания. При этом для определения расположения линий удается сохранить единую погрешность на всем протяжении спектра конверсионных электронов (КЭ).

Результаты применения, описанной выше методики для сканирования бета-спектрограмм изотопа  $^{169}\text{Yb}$  в области спектра выше 50 keV на установке МАС-1, показаны на рис. 3, а данные по обработке этих линий представлены в табл. 1. Следует заметить, что при сравнении данных, полученных нами, с данными, известными из литературы, наблюдается хорошее согласие с результатами работы [5], однако качество и точность размещения линий, полученные нами, существенно лучше.

Данные, полученные по интенсивностям линий спектра ЭВК смеси изотопов  $^{163,165}\text{Tm}$ , представлены в [6]. Можно отметить, что в этих измерениях из-за высокой чувствительности предложенного метода удалось определить относительные интенсивности очень слабых линий с высокой степенью их достоверности.

Новые результаты нами были получены при сканировании бета-спектрограмм изотопа  $^{161}\text{Ho}$  в энергетическом диапазоне вплоть до 100 keV. Эти данные представлены в [6].

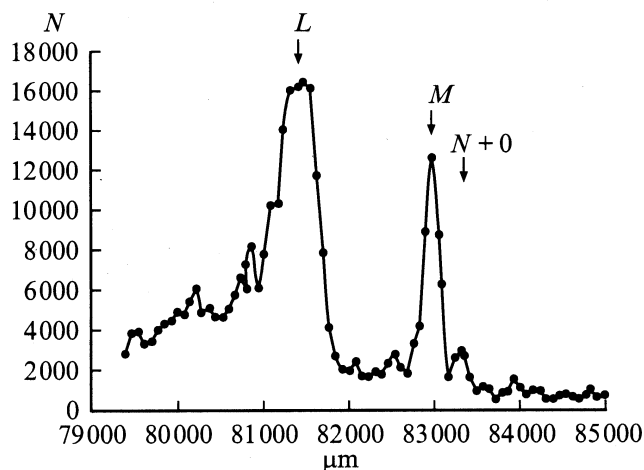


Рис. 4. Результаты сканирования бета-спектрограммы ЭВК изотопа  $^{111}\text{In}$  с энергией 171.29 keV.

На рис. 4 приведены данные по результатам сканирования фотопластинки со спектром ЭВК от изотопа  $^{111}\text{In}$  в области энергий до 500 keV. Для трех типов линий из этого спектра были вычислены их интенсивности с учетом фитирования линий функцией Лоренца при линейной зависимости фона в области этих линий. В табл. 2 приведены сведения о положении этих линий и их относительные интенсивности. Ранее этих данных в литературе не было.

## Заключение

Использование модернизированной универсальной установки МАС-1 для измерения бета-спектрограмм, зарегистрированных на фотопластинках в бета-спектрографе, позволило впервые количественно определить относительные интенсивности линий ряда изотопов радионуклидов. По сравнению с обработкой бета-спектрограмм, проводимой ранее на микрофотометрах, установка МАС-1 значительно превосходит их по точности и чувствительности [7].

Авторы благодарны В.А. Дитлову за предложение использовать МАС-1 для обработки бета-спектрограмм ЭВК, К.Я. Громову и Ю.В. Хольнову за интерес к работе.

Работа частично поддержана РФФИ (грант № 00-02-16695).

## Список литературы

- [1] Алешин Ю.Д., Колесников В.В., Силаев В.И. // ПТЭ. 1997. № 2. С. 43.
- [2] Алешин Ю.Д., Егоров О.К., Колесников В.В. и др. // ПТЭ. 1999. № 5. С. 37.
- [3] Алешин Ю.Д., Виноградов В.В., Егоров О.К. и др. Препринт ИТЭФ. № 10-97. М., 1997.
- [4] Абдуразаков А.А., Исламов Т.А., Холматов А.Х. и др. Атлас спектров ЭВК в области  $A = 131-172$ . Ташкент: ТГУ, 1991.
- [5] Джелепов Б.С., Шестопалова С.А. Схемы распада радиоактивных ядер с  $A = 169-170$ . Л.: Наука, 1988.
- [6] Алешин Ю.Д., Исламов Т.А., Калинин В.Г. и др. // ПТЭ. 2001. № 3. С. 72.
- [7] Исламов Т.А., Калинин В.Г., Камбарова Т.Т. и др. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. Вып. 13. С. 76.