

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ В ЯДЕРНОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ В СОВРЕМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

*С. Г. Земскова<sup>1</sup>, С. Г. Дмитриевский*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Работа посвящена изучению возможности применения ядерной фотоэмульсии в современных ядерно-физических экспериментах с использованием автоматической обработки данных. Описан метод реконструкции треков, находящихся в плоскости эмульсии, с помощью преобразований Хафа.

This article is devoted to the methods of the nuclear emulsions processing with the automatic scanning station. The method of reconstruction for tracks located in the plane of emulsion based on Hough Transform algorithm (HT) here is described.

PACS: 29.40.Rg

### ВВЕДЕНИЕ

Ядерная фотоэмульсия представляет собой желатиновый раствор мелких кристаллов галоидного серебра ( $\text{AgBr} + \text{AgI}$ ). Заряженная частица, проходя через чувствительный эмульсионный слой, оставляет след, который после проявки виден в микроскоп в виде цепочки зерен металлического серебра. При этом отклонение проявленных зерен от траектории частицы составляет не более 0,8 мкм, что определяет высокое пространственное разрешение метода. По характеру видимого следа (его длине, толщине и т. п.) можно судить как о свойствах частицы (ее энергии, скорости, массе, направлении движения), которая оставила след, так и о характере процесса (рассеивание, ядерная реакция, распад частиц), если он произошел в эмульсии. Благодаря своим уникальным свойствам ядерная фотоэмульсия используется в физике частиц уже несколько десятилетий [1].

К недостаткам фотоэмульсионного метода относятся необходимость химической обработки фотопластинок, а также трудоемкость процесса ручной обработки и анализа событий в эмульсии. С развитием электронных методов регистрации частиц фотоэмульсия была практически полностью вытеснена из эксперимента. Однако в некоторых случаях рекордное пространственное разрешение эмульсии по-прежнему незаменимо. В течение последних 20 лет в связи с развитием и широким применением видеотехники и автоматических методов распознавания изображений, а также возросшей мощности компьютеров стала возможной полная автоматизация обработки эмульсионной информации, снимающая значительную часть ограничений эмульсионного метода.

---

<sup>1</sup>E-mail: zemskova\_s\_g@rambler.ru

## 1. АВТОМАТИЧЕСКОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Лаборатория ядерных проблем ОИЯИ имеет автоматический микроскоп типа Euroscan Scanning Station (ESS), разработанный для анализа фотоэмульсионных данных эксперимента OPERA. В ESS используются прецизионная каретка MICOS [2], обеспечивающая высокую точность (лучше одного микрона) перемещения столика с эмульсией и объектива микроскопа, оптика с большим полем зрения и высокоскоростная камера Microtron MC1310 с разрешением  $1280 \times 1024$  пикселей, способная работать с частотой до 500 кадров в секунду. Все это позволяет достичь высокой скорости сканирования эмульсии —  $20 \text{ см}^2$  в час — и высокой точности углового и координатного разрешения (0,3 мкм и 0,5 мрад соответственно).

Анализ данных в фотоэмульсии с помощью автоматической сканирующей станции можно представить в виде циклической последовательности шагов, включающей перемещение образца в поле зрения микроскопа, перемещение положения фокуса объектива по глубине, захват видимого в поле зрения изображения камерой, анализ этого изображения видеопроцессором, распознавания отдельных зерен, запись их координат и размеров в компьютер, восстановление треков и вершин.

Разработанное в рамках эксперимента OPERA программное обеспечение SySal [3] выполняет все вышеперечисленные процедуры. Однако реконструкция треков оптимизирована для их поиска под углами  $\pm 0,5$  рад и не позволяет восстанавливать треки, находящиеся в плоскости эмульсии. Однако имеется большое количество эмульсионного материала, полученного в других экспериментах, где треки расположены вне этого углового диапазона.

В данной работе исследуются методы автоматического анализа трековой информации в топологии, характерной, например, для экспериментов по изучению ядерной фрагментации, где изучаемые треки находятся в плоскости эмульсии, а анализ до сих пор проводится вручную.

## 2. РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРЕКОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ПЛОСКОСТИ ЯДЕРНОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ

В экспериментах по исследованию периферийной фрагментации легких ядер [4] следы частиц находятся практически в плоскости эмульсии и поэтому хорошо видны как цепочка зерен уже в одном поле наблюдения ( $365 \times 280$  мкм). В случае развала ядер образуются дочерние ядра, следы которых расположены под небольшими углами к треку начального ядра и отличаются плотностью кластеров на треке, так как являются более легкими фрагментами. Из-за предельно малых углов между начальными и дочерними ядерными треками разделить их с помощью других, не эмульсионных, методов не представляется возможным. В настоящее время анализ этой информации в эмульсии в основном производится с помощью традиционного «ручного» прослеживания трека посредством микроскопа. Однако трековая информация, характерная для данной задачи, может быть автоматически проанализирована с помощью сканирующей станции, если будут развиты соответствующие методы и подходы. В нашей работе для реконструкции треков, находящихся в плоскости эмульсии, использовался метод преобразований Хафа [5]. Это один из глобальных алгоритмов распознавания образов, который широко используется в физике частиц для реконструкции треков в различных детекторах

(дрейфовых трубках, сцинтиляционных стриповых детекторах и т. п.), в частности для поиска прямых треков в детекторе, находящемся вне магнитного поля. Поэтому этот метод подходит для обработки фотоэмульсионных данных экспериментов по исследованию периферийной фрагментации ядер, где обычно имеют дело с прямыми треками.

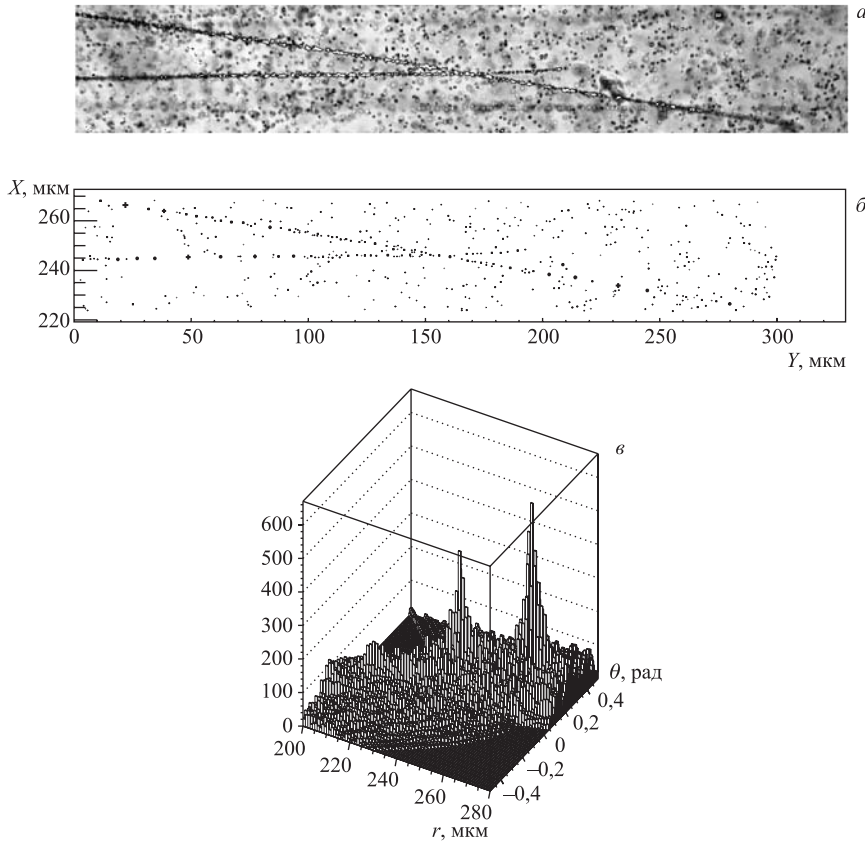
Линейное преобразование Хафа используется для обнаружения кластеров, принадлежащих одной прямой (треку). Семейство прямых  $y = kx + b$ , проходящих через точку  $(x_i, y_i)$ , описывается уравнением

$$r(\theta) = x_i \cos(\theta) + y_i \sin(\theta), \quad (1)$$

где  $\tan(\theta) = -1/k$  и  $r = b \sin(\theta)$ . Таким образом, задача поиска точек, лежащих на одной прямой в декартовой системе координат, сводится к задаче поиска пересекающихся кривых (1) в пространстве параметров  $(r, \theta)$ .

Алгоритм поиска треков, находящихся в плоскости эмульсии, состоит в следующем:

1) через каждую точку изображения проводится множество прямых, заполняется двумерная гистограмма параметров  $r(\theta)$ ;



а) Фотография фрагмента фотоэмульсионной пластинки, на которой видны следы ядер  $^{12}\text{C}$ ; б) результат обработки фотографии, изображенной на рис. а, с помощью SySal; в) гистограмма, полученная для этого изображения в результате применения преобразований Хафа, координаты пиков на гистограмме соответствуют параметрам треков

2) пикам на этой гистограмме соответствуют параметры прямых, проходящих через относительно большее число точек;

3) отбираются точки на изображении, принадлежащие этим прямым (в соответствии с разрешающей способностью эмульсии);

4) точки, принадлежащие одной прямой, аппроксимируются полиномом первой степени, получаем таким образом более точные параметры прямой;

5) «сшиваются» соседние кадры, смежные «поля зрения» микроскопа для реконструкции полного трека на всей пластине эмульсии (каждое «поле зрения» микроскопа имеет размер  $365 \times 280$  мкм);

б) реконструируются 3-мерные треки.

На рисунке приведен пример автоматического реконструирования двух треков в небольшом фрагменте эмульсии, облученной ядрами  $^{12}\text{C}$ . Алгоритм имеет высокие координатное и угловое разрешения и в дальнейшем, после настройки, позволит разделять треки, находящиеся на расстоянии нескольких микрон друг от друга, или треки, сходящиеся под малыми углами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе описан метод автоматического распознавания следов частиц в ядерной фотоэмульсии, находящихся в плоскости фотоэмульсионной пластинки. Алгоритм реконструкции треков основан на использовании метода преобразований Хафа. Метод протестирован на фотоэмульсионной пластинке, содержащей следы ядер  $^{12}\text{C}$ . Автоматическая реконструкция треков — первый этап полной автоматизации обработки фотоэмульсионных экспериментов, где изучаемые треки находятся в плоскости эмульсии. Данный метод может применяться для реконструкции треков вдоль всей фотоэмульсионной пластинки, что позволит с высокой точностью вычислять параметры треков. Анализируя плотность и размер зерен на треке, а также плотность  $\delta$ -электронов вдоль следа частицы, можно восстановить все ее характеристики. Автоматическая обработка ядерной фотоэмульсии с помощью ESS позволяет применять те же методы анализа данных, что и «ручная» обработка, при этом время анализа данных и затраченные усилия существенно уменьшаются.

Работа поддержана грантами РФФИ 09-02-91226-СТ\_а и 10-02-16037-моб\_з\_рос.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пауэлл С., Фаулер П., Перкинс Д. Исследование элементарных частиц фотографическим методом: Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
2. Sorrentino G. et al. Hardware Performance of a Scanning System for High Speed Analysis of Nuclear Emulsions // Nucl. Instr. Meth. A. 2006. V. 568, No. 2. P. 578–587.
3. Amendola S. et al. SySal: System of Salerno // Proc. of the First Intern. Workshop on Nuclear Emulsion Techniques, Nagoya, June 12–14, 1998. P. 26.
4. Адамович М. И. и др. Исследование кластеризации легких ядер в процессах релятивистской мультифрагментации // ЯФ. 2004. Т. 67. С. 533–536.
5. Duda R. O., Hart P. E. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures // Commun. ACM. 1972. V. 15, No. 1. P. 11–15.