

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

1942



Е.С. Басова , А.С. Вовенко, У.Г. Гулямов ,
В.Г. Колесник Т. Саневска , Л.В. Сильвестров,
Э.Скжипчак , Сюй Юн-чан, М.С. Хвастунов

ОБЛУЧЕНИЕ ЭМУЛЬСИОННОЙ КАМЕРЫ
СОВМЕСТНО С ИСКРОВОЙ КАМЕРОЙ

ТЖЭ, 1966, № 1, с 73-76.

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

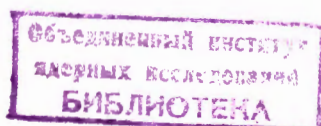
1965

Е.С. Басова^{х/}, А.С. Вовенко, У.Г. Гулямов^{х/},
В.Г. Колесник^{х/}, Т. Саневска^{хх/}, Л.В. Сильвестров,
Э.Скжипчак^{ххх/}, Сюй Юн-чан, М.С. Хвастунов

ОБЛУЧЕНИЕ ЭМУЛЬСИОННОЙ КАМЕРЫ
СОВМЕСТНО С ИСКРОВОЙ КАМЕРОЙ

Направлено в ПТЭ

х/ Институт ядерной физики АН Уз. ССР, Ташкент.
хх/ Институт ядерных исследований, Варшава.
ххх/ Варшавский университет.



Применение ядерных фотоэмульсий в экспериментах с частицами релятивистских энергий может быть существенно расширено, если сделать эмульсионную камеру в какой-то степени "управляемой", иными словами, если совместить эмульсионную камеру с электронной аппаратурой, которая бы отбирала в пучке частицы или события заданного типа. Связующим звеном между эмульсией и электронной аппаратурой может служить искровая камера, которая запускается по сигналу электронной аппаратуры в момент пролета нужной частицы. По координатам искр можно рассчитать место входа частицы в эмульсию и найти ее след, либо определить район эмульсии, в котором произошло событие заданного типа.

Идея такого прибора возникла несколько лет назад в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Подробное описание установки, названной "системой целеуказания" /СЦУ/, содержится в работах ^{1,2/}. Установка состоит из искровой камеры с тремя искровыми промежутками и диаметром электродов 5 см, фоторегистратора и поворотного стола, осуществляющего повороты эмульсионной камеры в процессе облучения.

1. Облучение эмульсии космическими частицами

Для разработки методики поиска следов в эмульсии и для определения точности целеуказания установка СЦУ с эмульсионной камерой облучалась космическими частицами. Запуск искровой камеры осуществлялся от телескопа сцинтилляционных счетчиков, регистрирующего частицы в конусе с углом полураствора 10° , прошедшие через искровую и эмульсионную камеры. Мягкая компонента космических лучей поглощалась в фильтре, состоящем из свинцового кирпича толщиной 10 см и алюминиевой пластинки толщиной 2 см. В первом опыте эмульсионная камера набиралась из 103 слоев 400-микронной эмульсии типа НИКФИ-Р размером 5x10 см и укреплялась неподвижно относительно искровой камеры. Для непосредственной привязки координат фоторегистратора к координатам эмульсии применялись капроновые нити, имитирующие трек частицы. Нити закладывались между слоями эмульсии в разных местах камеры. Перед облучением искровая камера убиралась, нити натягивались в поле зрения фоторегистратора и фотографировались. На проявленных эмульсионных слоях видны отпечатки нитей в виде черных полос. Сопоставляя расчетное положение нитей с их отпечатками на эмульсии, можно скорректировать привязку координат для данной эмульсионной камеры.

Во втором опыте эмульсионная камера набиралась из 35 слоев 400-микронной гиперсенсибилизированной эмульсии НИКФИ-Р /диаметр слоя 10 см/. В процессе облучения эмульсионная камера поворачивалась на угол 60° и 120° от первоначального положения /угол 0° /. Применялась та же методика привязки координат с помощью нитей, что и в предыдущем опыте.

Пленка с фоторегистратора измерялась на микроскопе и обсчитывалась по программе, изложенной в Приложении.

Поиск следов в эмульсии проводился на микроскопе МБИ-9 с увеличением 60x15. Плотность следов релятивистских частиц была 20-25 сгустков на 100 мк для первой камеры и 30-35 сгустков для второй. Район поиска составлял 3 ммx3 мм (в плоскости, перпендикулярной к искомому следу) для первого облучения и 2 ммx2 мм для второго. Чтобы исключить искажения на краю эмульсии, район просмотра выбирался в 2-3 мм от ее края. У всех релятивистских следов измерялся приблизительно /в одном поле зрения микроскопа/ плоский угол α и угол погружения θ . Те следы, у которых углы отличались меньше чем на 2° от расчетных углов, прослеживались в эмульсии на длину 4-5 мм, и по координатам двух точек следа более точно вычислялись углы α и θ . Затем строилось распределение отклонений найденных координат и углов от их расчетных значений.

Средние значения отклонений оказались равны

$$M\{\Delta x\} = 0,30 \text{ мм,}$$

$$M\{\Delta z\} = 0,28 \text{ мм,}$$

$$M\{\Delta\alpha\} = 0,53^\circ,$$

$$M\{\Delta\theta\} = 0,57^\circ.$$

Следов, принятых к поиску в первом облучении, было 29 и во втором - 53. Из них найдено (есть следы в пределах $|\Delta x| \leq 1 \text{ мм}$, $|\Delta z| \leq 1 \text{ мм}$, $|\Delta\alpha| \leq 2^\circ$, $|\Delta\theta| \leq 2^\circ$) 26 и 52 соответственно. Случаев, когда в указанном интервале отклонений было бы два следа, найдено не было.

2. Облучение эмульсии π^+ -мезонами

Чтобы проверить возможность работы установки на ускорителе, установка помещалась в пучок положительных частиц с импульсом 3,2 Гэв/с. Запуск искровой камеры производился от аппаратуры, выделяющей в пучке π^+ -мезоны. План расположения аппаратуры показан на рис. 1. Соотношение частиц в пучке было следующим: 65% протонов, 34% π^+ -мезонов и ~1% K^+ -мезонов. Интенсивность пучка во время облучения эмульсионной камеры была выбрана минимально возможной. В среднем за один цикл ускорителя через счетчики HS_2 проходило 3,3 π^+ -мезона. Искровая камера запускалась только от первого во времени π^+ -мезона. В промежутке между циклами ускорителя эмульсионная камера могла поворачиваться вокруг вертикальной оси на угол в 5° . Всего было осуществлено 27 таких поворотов (от 0° до 135°). Эмульсионная камера была набрана из 120 слоев 400-микронной эмульсии типа НИКФИ-Р. Слои имели форму круга с диаметром 10 см. В трех местах в камеру были заложены "привязочные" нити.

Фотографии искр измерялись на микроскопе, и затем на электронно-счетной машине рассчитывались координаты и угол входа частицы в эмульсию. Методика поиска следов была такая же, как и в предыдущих облучениях. Чтобы выявить возможные систематические сдвиги в рассчитанных координатах, район просмотра выбирался при поисках первых 20 следов заведомо большим, а именно 4 ммx3 мм в плоскости, перпендикулярной к рассчитанному следу. Для всех релятивистских следов, найденных при просмотре, подсчитывались отклонения их координат и углов от расчетных значений. Отклонения Δx и $\Delta\alpha$

откладывались по осям корреляционной диаграммы. Такая же диаграмма строилась для Δz и $\Delta\theta$. На диаграммах было видно, что имеется район сгущения точек. Очевидно, эти точки должны относиться к истинным следам, так как фоновые следы, распределенные изотропно [см. ниже], не должны иметь корреляций между отклонениями координат и углов. Район сгущения ограничен пределами

$$\begin{aligned} -1,5 \text{ мм} \leq \Delta x \leq 0,5 \text{ мм}; & & -1,0 \text{ мм} \leq \Delta z \leq 1,5 \text{ мм}; \\ -1,5^\circ \leq \Delta \alpha \leq 1,5^\circ; & & -1,5^\circ \leq \Delta \theta \leq 1,5^\circ. \end{aligned}$$

Несимметричность пределов по Δx и Δz указывает на то, что существует систематический сдвиг в рассчитанных координатах следов. По-видимому, он объясняется тем, что координаты центра вращения стола $X_{\text{оф}}$ и $Z_{\text{оф}}$ (см. Приложение) были определены для данной стопки недостаточно точно. При дальнейшем поиске следов просмотр эмульсии проводился в этих пределах $\Delta x, \Delta z$.

По фотографиям искр было рассчитано положение 179 следов. Из них в выбранной нами области отклонений Δx , Δz , $\Delta \alpha$, $\Delta \theta$ при первом просмотре было найдено в 83 случаях по 1 следу, в 48 случаях по 2, в 17 случаях по 3 и в 5 случаях по 4 следа. В 26 случаях не было найдено ни одного следа. Для этих случаев эмульсия просматривалась второй раз на предмет поиска пропущенных следов. При этом район просмотра был расширен до $-2,0 \text{ мм} \leq \Delta x \leq 0,5 \text{ мм}$ и $-1,0 \text{ мм} \leq \Delta z \leq 2,0 \text{ мм}$ и выбирался на 2-3 мм дальше от края эмульсии, чем при первом просмотре. Было найдено дополнительно по 1 следу в 10 случаях и по 2 следа в 5 случаях. Это означает, что первоначально пределы были выбраны несколько заниженными. Осталось ненайденными 11 следов или $\approx 6\%$ от числа рассчитанных следов.

Значительное число случаев с 2 и более следами объясняется большей, чем допустимо, загрузкой эмульсии. Просмотр эмульсии в разных участках стопки показал, что имеется довольно значительный фон релятивистских следов, изотропно распределенных по углам. Плотность фоновых следов, имеющих углы α от 0° до 180° и θ — от 0° до 3° , равна $0,44 \text{ мм}^{-2}$. Отсюда вероятность того, что в выбранной нами области отклонений Δx , Δz , $\Delta \alpha$, $\Delta \theta$ окажется 2 или 3 следа (истинный и фоновые), $W = 34\%$, что примерно согласуется с тем, что найдено при просмотре эмульсии.

На рис. 2 приведены суммарные распределения отклонений координат и углов следов от их расчетных значений для эмульсий, облученных в космических лучах и на ускорителе. Из последнего облучения в распределения включены только случаи с 1 найденным следом, исправленные на систематический сдвиг по Δx и Δz . Здесь же приведены распределения величин δx и δz , характеризующие разброс искр в искровой камере относительно истинного трека частицы. Из сопоставления графиков на рис. 2 а, б, в можно сделать заключение, что неточность в определении координат входа частицы в эмульсию в основном обусловлена разбросом искр около трека частицы.

Рассмотрение гистограмм на рис. 2а показывает, что в 80% случаев отклонения измеренных координат от расчетных лежат в пределах $\pm 0,5 \text{ мм}$.

Для средних значений отклонений получаются следующие цифры:

$$\begin{aligned} M\{\Delta x\} &= 0,29 \text{ мм}, & M\{\Delta \alpha\} &= 0,47^\circ, \\ M\{\Delta z\} &= 0,38 \text{ мм}, & M\{\Delta \theta\} &= 0,56. \end{aligned}$$

Таким образом, описываемая установка позволяет достаточно надежно выделять в сравнительно небольшом объеме эмульсии интересные нас события.

Авторы приносят благодарность М.И. Подгорецкому за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения, И.И. Мамонтову, Е.М. Носачеву и С.В. Рихвицкому за помощь в подготовке облучения, Л.И. Аверьяновой, М.А. Балашовой, Н.Б. Ерошкиной, Н. Саидханову, Б. Цесьляк и Х. Мош за помощь в измерениях и просмотре эмульсии.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Расчет места входа частиц в эмульсию

На рис. 3 показано расположение искровой камеры, реперной метки, от которой ведется отсчет координат искр, поворотного стола и эмульсионной камеры. Здесь же приведены системы координат СЦУ, с которыми нам придется иметь дело при расчете: система координат эмульсии (совпадающая с координатной сеткой, нанесенной на эмульсионные слои), система координат поворотного стола и система координат фоторегистратора.

Расчет ведется в следующем порядке:

а) определяется коэффициент усадки пленки с фотографиями искр (имеется в виду усадка пленки по ширине). Для этого сразу же после экспонирования на пленку впечатывается через каждые 20–30 кадров эталонная сетка с ячейкой 2 мм. Каждый день перед началом измерений искр меряется отпечаток сетки, ближе всего расположенный к измеряемым кадрам. Коэффициент усадки K определяется как отношение расстояния между двумя линиями на пленке к расстоянию между соответствующими линиями эталонной сетки. Измерения проводятся по трем независимым парам линий, и результат усредняется. Координаты искр на соответствующих кадрах исправляются на коэффициент K .

Опыт показал, что при хранении пленки в необорудованном помещении усадка пленки с течением времени увеличивается и достигает величины $K = 0,30\%$ (кинопленка типа ДК на нитрооснове).

б) По формулам геометрической оптики рассчитываются координаты искр в системе координат фоторегистратора: $X_1 Z_1, X_2 Z_2, X_3 Z_3$.

в) По методу наименьших квадратов определяются параметры прямых $X = a_x + b_x Y$ и $Z = a_z + b_z Y$, проходящих через точки $X_i Y_i$ и $Z_i Y_i$ ($i = 1, 2, 3$). Так как положение искровых промежутков Y_1, Y_2, Y_3 фиксировано, вычисление параметров a_x, b_x, a_z, b_z сильно упрощается и сводится к решению линейных уравнений с постоянными коэффициентами

$$a_x = A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3,$$

$$b_x = B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3.$$

Аналогичные уравнения получаются для a_y и b_y . Значения a_x и a_y переводим в систему координат стола, добавляя соответствующие постоянные (см. рис. 3):

$$a'_x = a_x + X_{0ф}, \quad a'_y = a_y + Z_{0ф}.$$

г) Находятся координаты X_0 , Y_0 , Z_0 точки пересечения прямой $X = a'_x + b_x Y$ с окружностью $X^2 + Y^2 = R^2$ и прямой $Z = a'_y + b_y Y$ с боковой поверхностью цилиндра радиуса R (где R — радиус эмульсионного слоя). Для контроля вычислений и для создания наглядной картины положения следа в эмульсии расчеты проводятся для трех радиусов: 50 мм, 45 мм и 40 мм.

д) Последним шагом вычислений является переход от системы координат стола к системе координат эмульсии. В процессе облучения эмульсионная камера может менять свое положение. После облучения в начальном положении она поворачивается вокруг оси Z_0 на угол в 5° , и производится новая экспозиция. Всего можно осуществить 35 таких поворотов (от 0° до 175°). Применяя обычные формулы сдвига и поворота прямоугольных координат, получим для каждого из трех значений R :

$$X_{\text{э}} = X_0 \cos \phi + Y_0 \sin \phi + X_{0\text{э}},$$

$$Y_{\text{э}} = -X_0 \sin \phi + Y_0 \cos \phi + Y_{0\text{э}},$$

$$Z_{\text{э}} = Z_0 - Z_{0\text{э}},$$

где $X_{0\text{э}}$, $Y_{0\text{э}}$, $Z_{0\text{э}}$ — постоянные перехода от системы координат стола к системе координат эмульсии, ϕ — угол поворота, $X_{\text{э}}$, $Y_{\text{э}}$, $Z_{\text{э}}$ — координаты следа в эмульсии.

Точность, с которой определяются координаты входа частицы в эмульсию, зависит от нескольких причин: от разброса искр относительно истинного трека частицы, от искажений, вносимых оптической системой фоторегистратора, от точности привязки координат фоторегистратора к координатам эмульсионной камеры.

Разброс искр для искровой камеры СЦУ приведен в работе ^{1/} (распределение отклонений средней искры от прямой, проведенной через 2 крайние искры, имеет полуширину = 0,3 мм). Для оценки оптических искажений производилось фотографирование тест-объекта. Найдено, что расстояние между двумя точками искрового промежутка, рассчитанное по фотографии тест-объекта, отличается от истинного расстояния в среднем на величину $\pm 0,05$ мм по оси X и на величину $\pm 0,05$ мм по оси Z .

Постоянные перехода от системы координат фоторегистратора к системе координат стола ($X_{0ф}$ и $Z_{0ф}$ на рис. 3) и от системы координат стола к системе координат эмульсии ($X_{0\text{э}}$ и $Y_{0\text{э}}$) были определены с точностью $\pm 0,1$ мм и равны:

$$X_{0ф} = 80,4 \text{ мм},$$

$$Z_{0ф} = 10,7 \text{ мм},$$

$$X_{0\text{э}} = 140,2 \text{ мм},$$

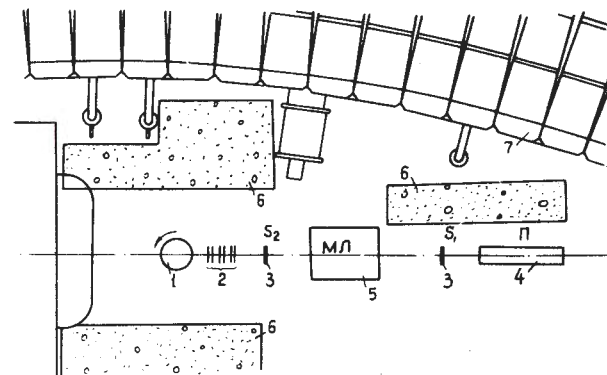
$$Y_{0\text{э}} = 51,3 \text{ мм}.$$

Координата Z нижнего края эмульсионной камеры ($Z_{0э}$) зависит от толщины балласта между поверхностью поворотного стола и эмульсией и для каждой камеры указывается отдельно.

Л и т е р а т у р а

1. A.S.Dvoretzki et al. Instrumentation for High Energy Physics, 277, Amsterdam, 1963.
2. И.В. Колесов, В.Ф. Сяколенко, И.И. Скрыль, Н.С. Фролов, ПТЭ, № 2, 54, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 января 1965 г.



Р и с. 1. План расположения аппаратуры.

1- эмульсионная камера, 2 - искровая камера,
3 - спинтилляционные счетчики (S_1 и S_2),
4- пороговый газовый черенковский счетчик (Π),
5- магнитная линза, 6- бетонная защита, 7- магнит
ускорителя.

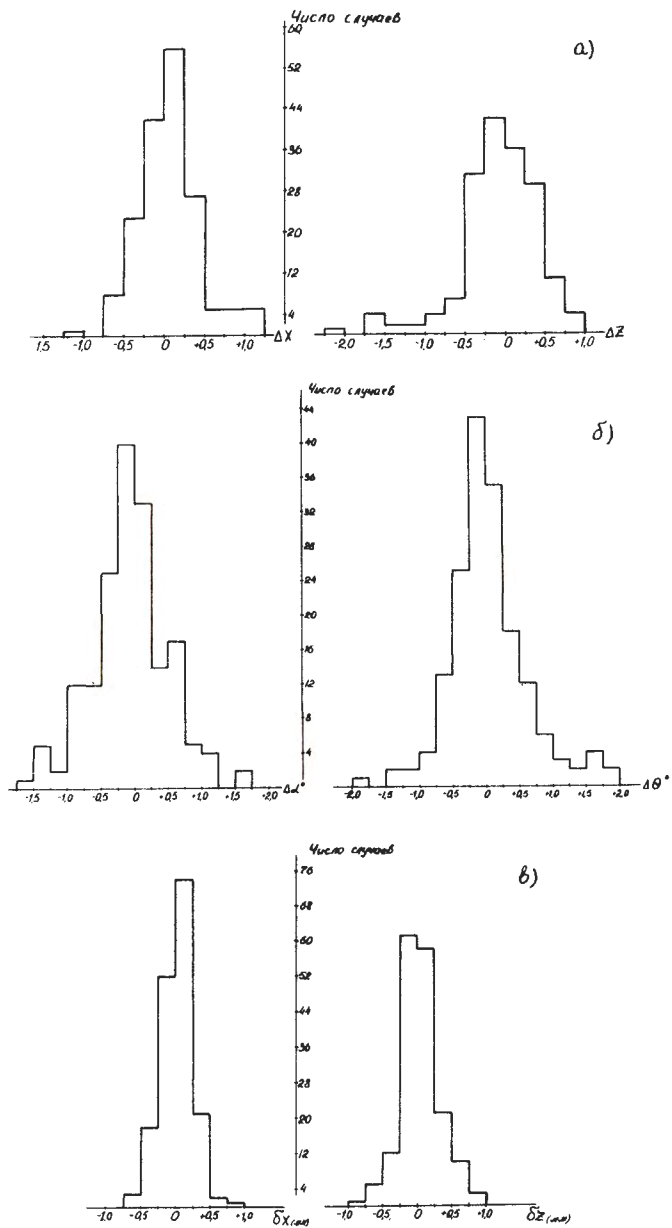
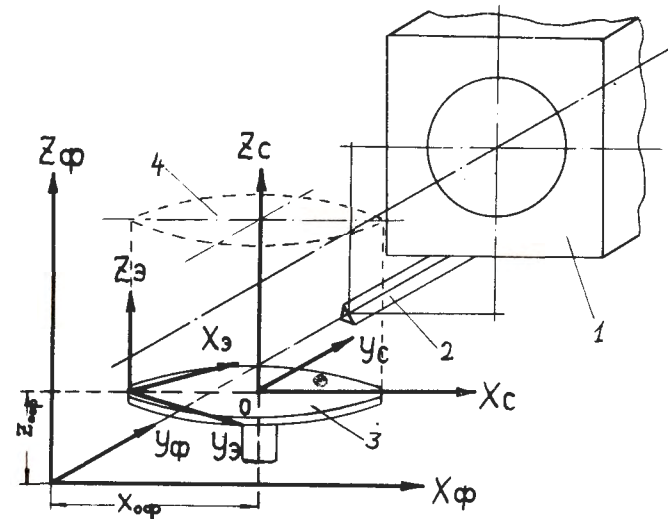


Рис. 2. а) и б). Распределение отклонений координат и углов следов от их расчетных значений.
 в) Разброс искр для тех же случаев (δx и δz — отклонения по осям X и Z средней искры от прямой, проведенной через 2 крайние искры).



Р и с. 3. Схема расположения искровой камеры (1), реперной метки (2), поворотного стола (3) и эмульсионной камеры (4).
 X_ϕ, Y_ϕ, Z_ϕ — система координат фоторегистратора; X_c, Y_c, Z_c — система координат стола,
 $X_\varepsilon, Y_\varepsilon, Z_\varepsilon$ — система координат эмульсии.