



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2945/2-81

15/6-81

13-81-160

Б.М.Головин, Ю.А.Горнушкин,
В.С.Надеждин, Н.И.Петров

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ
МНОГОАЗОРНЫХ ПРОЕКЦИОННЫХ
ИСКРОВЫХ КАМЕР

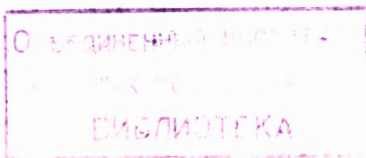
Направлено в ПТЭ

1981

Режим работы искровых камер, при котором траектория регистрируемой частицы приблизительно перпендикулярна электрическому полю, по-видимому, впервые был описан Фукуи и Миямото^{/1,2/} и получил название проекционного режима. Треки в таких камерах фотографируются через прозрачный электрод и выглядят цепочкой ярких точек - проекций искр, образующихся из электронов ионизации, на его плоскость. Более подробно работа проекционных камер /ПК/ описана в работах^{/3-6/}.

В 1972 г. Г.Шарпак описал многоззорную проекционную искровую камеру /МПИК/, представляющую собой стопку нескольких искровых камер с проволочными электродами^{/7/}. Было показано^{/7,8/}, что прозрачность таких электродов может быть сделана столь высокой, что оказывается возможным вести фотографирование через десятки последовательно расположенных электродов. Эта особенность МПИК позволяет создавать на ее основе детекторы большого объема. Изотропность свойств и пространственное разрешение такого прибора оказываются близкими к соответствующим характеристикам стримерной камеры /СК/. Яркость треков в многоззорных проекционных камерах почти такая же, как в обычных узкоззорных искровых камерах, и гораздо выше, чем в СК, а требования к высоковольтным импульсам /ВВИ/, обеспечивающим работу МПИК, значительно легче выполнить, чем в случае стримерной камеры. Действительно, для работы СК требуются ВВИ с амплитудой сотни киловольт, с короткими \sim нс/ временами нарастания и спада и длительностью импульса, выдержанной с точностью до ~ 1 нс^{/3/}. В то же время МПИК хорошо работает при подаче на нее импульса с амплитудой несколько киловольт, фронтом нарастания ≈ 50 нс и временем спада от ≈ 100 нс до нескольких мкс.

Некоторым недостатком МПИК по сравнению с СК может показаться сравнительно большое количество вещества в ее рабочем объеме за счет наличия в нем проволочных электродов. Однако было показано^{/7/}, что, используя алюминиевые проволоки диаметром 50 мкм, при расстоянии между ними 1 мм и межэлектродным зазоре 3 мм, можно построить камеру, средняя плотность вещества ≈ 3 мг/см³ / в которой будет одного порядка с плотностью газа. С другой стороны, на основе МПИК представляется возможным и создание прибора с довольно высокой плотностью вещества в рабочем объеме^{/7,9/}. Так, при сборке электродов из



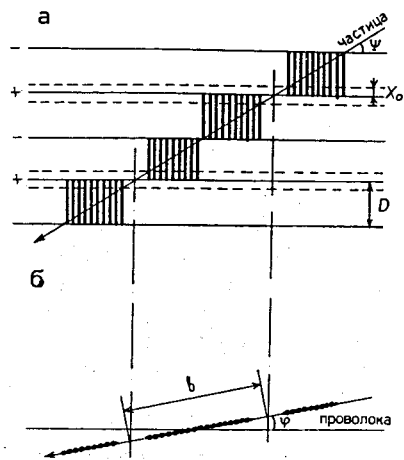


Рис.1. Структура треков в МПИК:
а/ в плоскости, содержащей трек
и перпендикулярной электродам;
б/ в плоскости электродов.

вольфрамовой проволоки диаметром 1 мм с расстоянием между проволоками 3 мм и межэлектродным зазором 3 мм средняя плотность вещества в камере будет около 2 г/см^2 , что соответствует радиационной длине $\approx 2,5 \text{ см}^{17}$.

Характерной особенностью треков в МПИК является их разрывность, то есть существование на них участков, где отсутствуют искровые пробои. Происхождение

разрывов связано с тем, что для формирования стримера и последующего образования искрового канала электронная лавина должна достичь критической длины $X_{кр}$, определяемой условием Петера:

$$\left. \begin{aligned} \exp\left[\int_0^t \alpha(t) v(t) dt \right] &\approx 20 \\ X_{кр} &= \int_0^t v(t) dt \end{aligned} \right\} /1/$$

Здесь $\alpha = \alpha\left(\frac{E(t)}{P}\right)$ - первый коэффициент Таунсенда; $v = v\left(\frac{E(t)}{P}\right)$ -

скорость дрейфа электронов в электрическом поле; $E(t)$ - электрическое поле в рабочем объеме камеры; P - давление газа. Поэтому электроны первичной ионизации, возникшие на расстояниях от анодов камеры, меньших $X_{кр}$, не образуют искровых пробоев, что приводит к образованию на треке так называемых темных анодных промежутков /ТАП/. Это иллюстрируется рис. 1, на котором видно, что середины ТАП соответствуют точкам пересечения частицей анодов камеры.

В работе^{8/} было отмечено, что, зная межэлектродное расстояние D и измерив по фотографии трека расстояние между серединами ТАП b , можно определить угол ψ , образованный траекторией частицы и плоскостью электрода:

$$\psi = \arctg\left(\frac{2D}{b}\right). \quad /2/$$

Точность определения угла ψ в этой работе не оценивалась, но было указано, что она зависит от плотности искр на анализируемом треке.

Авторы работы^{9/} обратили внимание на то, что, кроме анодных разрывов, на треке наблюдаются также более узкие темные

катодные промежутки /ТКП/, и высказали предположение, что они возникают из-за неоднородности электрического поля вблизи катода, обусловленной его дискретной структурой. Очевидно, что темные катодные промежутки также могут быть использованы для определения угла ψ по формуле /2/.

Отметим, что искровые пробои на треке в МПИК развиваются независимо из отдельных электронов, возникших в процессе ионизации газа первичной частицей. Это позволяет надеяться на возможность применить такие камеры при измерении ионизирующей способности регистрируемых частиц. Таким образом, многоззорная проекционная искровая камера обладает рядом свойств, которые могут заинтересовать исследователей, работающих в области ядерной физики и физики элементарных частиц.

В настоящей работе приводятся результаты исследования некоторых особенностей работы МПИК и уточняются возможности использования этого прибора в физическом эксперименте.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Использованная в наших опытах камера содержала 11 электродов /5 высоковольтных и 6 заземленных/, каждый из которых представлял собой раму из стеклотекстолита толщиной 3 мм, с параллельно натянутыми на нее проволоками диаметром 0,1 мм из бериллиевой бронзы на расстоянии 1,2 мм друг от друга. С обеих сторон проволоки запаивались на общие шины. Рамы имели наружные размеры $330 \times 330 \text{ мм}^2$ и окно $250 \times 250 \text{ мм}^2$. При сборке камеры между электродами помещались шайбы из оргстекла, и стопка электродов стягивалась четырьмя болтами из нержавеющей стали. Расстояния между электродами в большинстве опытов равнялись 10,5 мм. Между электродами можно было устанавливать внутренние мишени из диэлектрических материалов. Собранная камера помещалась в герметический бокс из нержавеющей стали со съемным окном из оргстекла. Камера наполнялась неоном, гелием или их смесью с добавками метилала или этилового спирта /1-2%/.

Высоковольтные импульсы подавались на камеру через $\approx 370 \text{ нс}$ после прохождения частицы и имели амплитуду 5-9 кВ для неона или 12-15 кВ для гелия, передний фронт $\approx 10 \text{ нс}$ и экспоненциальный спад /без пробоя/ $\approx 2,5 \text{ мкс}$. Треки фотографировались с расстояния 0,8 м на 35-миллиметровую пленку чувствительностью 1000 ед.ГОСТ объективом с относительным отверстием $1/2,8$ для He и $1/4-1/5,6$ для Ne. На рис. 2 представлены типичные треки космических частиц, полученные в указанных условиях в камере, наполненной Ne.

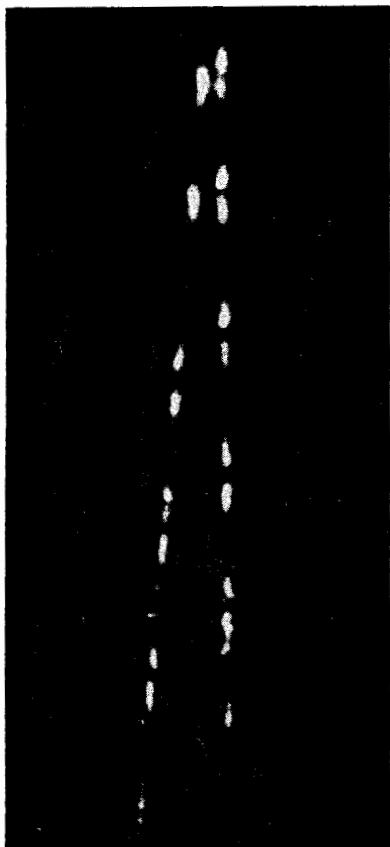


Рис.2. Фотографии треков пары заряженных частиц в МПИК, заполненной неоном, при $P=1$ атм.

При изучении структуры треков на полученных нами фотографиях было установлено, что ширина темных промежутков зависит от величины и направления очищающего электрического поля /ОП/ в камере. В том случае, когда очищающее поле по направлению противоположно полю ВВИ, с увеличением ОП ширина ТАП уменьшается, а ширина ТКП увеличивается. И наоборот, при возрастании очищающего поля, направление которого совпадает с направлением ВВИ, ширина ТАП увеличивается, а ТКП сужаются или полностью исчезают. Этот эффект, на наш взгляд, объясняется смещени-



Рис.3. Влияние очищающего поля на структуру трека /в нео-не, $P=1$ атм, $U_{ВВИ}=9$ кВ/:
 а/ $U_{Оч}=-100$ В; б/ $U_{Оч}=-30$ В;
 в/ $U_{Оч}=0$; г/ $U_{Оч}=+100$ В.

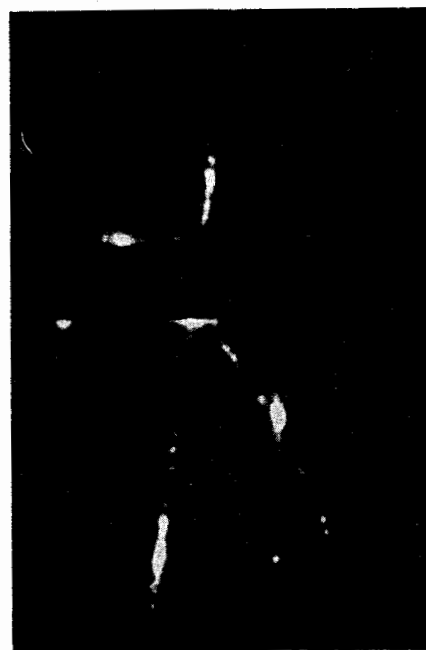


Рис.4. Рассеяние космической частицы на внутренней мишени в МПИК /в нео-не, $P=1$ атм, $U_{ВВИ}=9$ кВ/.

ем электронов первичной ионизации под действием ОП за время задержки ВВИ. На рис. 3 приведены фотографии треков для разных значений и направления ОП. Обращает на себя внимание тот факт, что границы ТКП на фотографиях видны более четко, чем границы ТАП.

Для выяснения возможности использовать МПИК в качестве вершинного детектора была проведена серия опытов с помещенной внутрь камеры полистирольной мишенью, состоящей из 10 полос, размером $250 \times 20 \times 7$ мм³. Фотография событий, связанных с взаимодействием космических частиц с веществом мишени, приведены на рис. 4.

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ УГЛОВ ТРЕКА

Как известно, пространственную ориентацию движущейся частицы полностью определяет задание двух углов. В системе координат, изображенной на рис. 5, такими углами могут быть, например, зенитный угол θ и азимутальный угол ϕ . При обработке фотографий с МПИК вместо θ удобнее использовать уже упоминавшийся в тексте дополнительный угол $\psi = \frac{\pi}{2} - \theta$, определяющий наклон траектории частицы к плоскости электрода.

Экспериментальный материал для оценки точности определения ψ был получен при таком расположении сцинтилляционных счетчиков, что: 1/ регистрируемые частицы пересекали все электроды камеры; 2/ значения углов ψ для регистрируемых частиц лежали в интервале

$$36,2^\circ < \psi < 44,4^\circ.$$

/3/

Напряжение очищающего поля равнялось 30 В и было направлено противоположно полю ВВИ.

Полученные в этих опытах треки имели вид, показанный на рис. 2 и 3б, т.е. на фотографиях каждого трека было по 5 ТАП

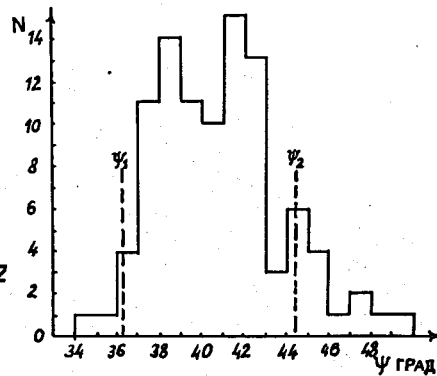
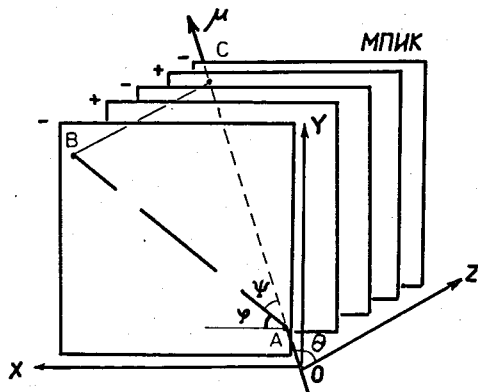


Рис.5. Система координат: AC – траектория движения частицы внутри МПИК; AB – проекция траектории на плоскость электродов /плоскость Oxy /.

Рис.6. Экспериментальное распределение угла ψ : ψ_1, ψ_2 – границы интервала, заданного геометрией счетчиков.

и по 4 ТКП. Это позволило на треке длиной ≈ 15 см получать по 7 независимых измерений угла ψ . Для типичного трека усреднение по ТАП /4 значения/ приводило к погрешности $\sigma(\psi)_1 = 0,57^\circ$, а по ТКП /3 значения/ погрешность составляла $\sigma(\psi)_2 = 0,53^\circ$. Усреднение всех измерений на треке приводит к погрешности $\sigma(\psi)_0 = 0,3^\circ$. Очевидно, что с увеличением размеров камеры и количества электродов точность определения угла ψ возрастает. Распределение измеренных значений угла ψ представлено на рис. 6. Видно, что найденные значения хорошо укладываются в интервал /3/, определяемый геометрией опыта. События, для которых значения ψ лежат за пределами интервала /3/, соответствуют случаям регистрации на одном снимке пары частиц, из которых лишь одна проходит через оба счетчика.

Угол ϕ лежит в плоскости фотографии трека, и его измерение является обычной задачей камерного эксперимента. Можно, например, определить координаты средних точек световой полосы трека в нескольких сечениях и с помощью метода наименьших квадратов найти параметры наилучшим образом согласованной с ними прямой. Погрешность определения угла ϕ зависит от длины L трека, среднеквадратичного отклонения искр от аппроксимирующей прямой σ и количества n точек, через которые эта прямая

проводится^{/10/}, и может быть /при равноудаленных точках/ представлена в виде*

$$\sigma_{\phi} = \cos \phi \cdot \frac{2\sigma}{L} \sqrt{\frac{3(n-1)}{n(n+1)}} \quad /4/$$

В наших опытах при $\phi = 45^\circ$, $L = 15$ см, $\sigma = 0,5$ мм погрешность измерения угла ϕ не превышала $0,2^\circ$.

Очевидно, точность измерения ϕ может быть существенно повышена за счет увеличения размеров камеры /длина трека L /. Возможно, по-видимому, и значительное уменьшение разброса положений искр. Так, в работе^{/11/} с одной из конструкций МПИК для широкого интервала значений ϕ было получено среднеквадратичное отклонение искр от трека $\sigma = 0,15$ мм.

Таким образом, при работе МПИК по фотографии одной проекции трека оказывается возможным определить оба угла, характеризующих пространственную ориентацию траектории регистрируемой частицы. Описанные выше опыты по использованию многозачерной проекционной искровой камеры с внутренней мишенью позволяют надеяться, что этот прибор сможет найти применение, например, в качестве вершинного детектора, поляриметра и т.п. для случаев, когда не требуется большая частота его повторных срабатываний.

Авторы выражают свою благодарность В.П.Джелепову за интерес к работе и неоднократное обсуждение затронутых в ней вопросов, а также В.В.Ермакову, Г.Ф.Исаеву, Е.М.Сыропатову за помощь при изготовлении, наладке и эксплуатации установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fukui S., Miyamoto S. Nuovo Cim., 1959, 11, p. 113.
2. Fukui S., Miyamoto S. Phys.Soc.Jap., 1961, 16, p. 2574.
3. Дайон М.И. и др. Искровая камера. Атомиздат, М., 1967.

* Эта формула неприменима при $\phi = \pi/2$. В этой области значений можно, например, определять дополнительный угол $\phi = \frac{\pi}{2} - \phi$, формула для вычисления погрешности которого имеет тот же вид /4/.

4. Говоров А.М. и др. ПТЭ, 1961, 6, с. 49.
5. Charpak G. et al. Rev.Sci.Instr., 1963, 39, p. 664.
6. Долгошеин Б.А. и др. ПТЭ, 1964, 5, с. 60.
7. Charpak G. Nucl.Instr.Meth., 1972, 100, p. 157.
8. Breskin A. CERN, 73-7, Geneva, 1973.
9. Geissler K. et al. Nucl.Instr.Meth., 1976, 135, p. 415.
10. Bagge E. et al. Atomkernenergie, 1959, 4, p. 169.
11. Breskin A. et al. Nucl.Instr.Meth., 1973, 107, p. 361.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 марта 1981 года.