

С 344.1

М-34

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13 - 4470

Э.М.Матевсян

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ  
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ШИРОКОЗАБОРНОЙ  
ИСКРОВОЙ КАМЕРЫ, ПОМЕЩЕННОЙ В МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

Т.Л. Асатиани

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник

В.М. Харитонов

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

А.Ф. Писарев

Ведущее предприятие:

Физический институт им. П.Н. Лебедева АН СССР.

Автореферат разослан

1969 г.

Защита диссертации состоится

1969 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

А.А. Кузнецов

13 - 4470

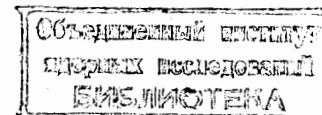
Э.М. Матвоян

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ  
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ШИРОКОЗАОРНОЙ  
ИСКРОВОЙ КАМЕРЫ, ПОМЕЩЕННОЙ В МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

6108 89.



В последние годы искровые камеры с большим разрядным промежутком начинают широко применяться в экспериментах по исследованию частиц высоких энергий (на ускорителях и в космических лучах), что в значительной мере обусловлено успешным развитием этих камер в Советском Союзе.

Управляемость, малое время памяти, малое время восстановления, возможность измерения импульсов с большой точностью углов и в некоторой степени ионизации, высокая ливневая эффективность и возможность наблюдения распадов и взаимодействия частиц в газе камеры, вместе с простотой изготовления и дешевизной, делают весьма заманчивым их использование в качестве быстродействующих трековых приборов.

В настоящее время в ряде экспериментов на различных ускорителях мира пузырьковые камеры в зазорах больших электромагнитов успешно заменяются стримерными и широкоазорными искровыми камерами <sup>/1/</sup>. Использование широкоазорных искровых камер, установленных в магнитном поле, для измерения импульсов заряженных частиц стало возможным после того, как нами была показана возможность следования искрового канала по заранее заданной круговой траектории заряженной частицы <sup>/2/</sup>.

Целью настоящей работы являлось: 1) исследование возможности и точности измерения импульсов заряженных частиц в широкоазорной искровой камере, помещенной в магнитное поле, по кривизне искрового следа; 2) подробное рассмотрение

сопутствующих данному методу ошибок и подбор оптимальных условий для получения максимально возможных точностей в измерении импульсов заряженных частиц.

Диссертация состоит из введения, семи глав, приложений и основных выводов.

Первая глава содержит обзор по всем существующим типам искровых камер. Рассматриваются и критически сравниваются их основные характеристики.

Во второй главе приводятся некоторые сведения из физики газового разряда, относящиеся к механизму работы широкозазорных искровых камер. Рассматривается процесс образования наклонных искровых треков по отношению к направлению электрического поля в камере, а также формирование треков, имеющих круговую траекторию.

В третьей главе описывается экспериментальная установка, на которой впервые были получены круговые искровые следы космических частиц в искровой камере, помещенной в зазор электромагнита. Приведены предварительные количественные данные по определению импульсов заряженных частиц.

В четвертой главе дается подробный анализ ошибок данного метода измерения импульсов заряженных частиц.

В пятой и шестой главах приводятся два эксперимента на калиброванных пучках  $\pi^-$ -мезонов, проведенные в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ с двумя системами, последовательной оптимизацией их параметров с целью увеличения точности измерения импульсов заряженных частиц в широкозазорных искровых камерах.

В седьмой главе обсуждаются результаты, полученные в III-VI главах, и дается перечень физических экспериментов с использованием данного метода измерения импульсов.

В приложениях рассматриваются:

а) влияние диффузии первичных центров ионизации на дисперсию искрового трека,

б) влияние постоянного магнитного поля на диффузию первичных электронов,

в) метод построения топографии импульсного электрического поля в широкозазорных искровых камерах.

В заключение даются основные выводы.

## I .

В развитии методики искровых камер отмечаются три направления:

а) создание крупных многопластинчатых камер, состоящих из многих десятков промежутков, размером до 10 мм;

б) разработка полностью изотропных камер (в основном микроволновых);

в) создание различных трековых искровых камер с большими межэлектродными промежутками.

В настоящее время в экспериментах при наборе большого статистического материала с многократным срабатыванием установки за один цикл ускорителя, широко применяются нитяные координатные искровые камеры с непосредственным выводом информации на счетную машину. Эти камеры являются продолжением развития первого типа камер, однако их возможности ограничены при наличии многих частиц.

Микроволновые камеры до настоящего времени не получили существенного развития.

Искровые камеры с большими промежутками, в отличие от координатных, являются трековыми приборами. Они дают гораздо больше сведений о событиях, происходящих в объеме камеры, и дают возможность получать полную информацию об элементарных актах взаимодействия заряженных частиц, независимо от числа вторичных частиц. Развитие методики подобных камер привело к созданию двух трековых приборов, а именно: широкозазорной и стримерной камер.

Основное преимущество широкоазорных искровых камер по сравнению со стримерными – большая яркость треков и более точное следование искры вдоль траектории частицы, недостаток – ограниченная изотропность.

В первой главе рассматриваются также основные характеристики широкоазорных камер (время памяти и разрешающее время, эффективность регистрации одной или многих частиц, время восстановления), зависящие от состава и давления рабочего газа, параметров высоковольтного импульса и конструктивных особенностей камеры.

## II.

Попытки дать приемлемое объяснение /3,4/ физике процесса формирования искрового следа вдоль траектории заряженной частицы основываются на существующих теориях генерационного или канального (стримерного) механизмов возникновения электрического разряда в газах. Тот или иной механизм предполагает различную степень электронного усиления первичных лавин. Как правило, образование стримеров наблюдается при усилении  $e^{\alpha x} \approx 10^8$ . В широкоазорных камерах, при прохождении заряженных частиц под малыми углами к электрическому полю, формирование искрового трека происходит согласно генерационному механизму. При значительных углах возможно существование стримерного механизма. Понятие о величинах этих углов условное, так как они определяются размером лавины, достигающей критического усиления, что, в свою очередь, зависит от параметров высоковольтного импульса.

На основе рассмотренных моделей образования наклонных искровых треков (геометрическое перекрывание или взаимодействие пространственных полей соседних лавин) были получены выражения, отражающие связь между максимальным углом трека и параметрами  $E/P$  и  $\alpha(E)/P$ :

$$\sin \theta \lesssim \frac{13,4}{a P} [E/P \cdot \alpha(E)/P]^{1/2}, \quad \cos \theta \gtrsim \frac{20}{a P} [E/P \cdot \alpha(E)/P]^{1/2},$$

где  $a$  – расстояние между центрами лавинообразования,  $P$  – давление газа камеры,  $\alpha(E)$  – первый коэффициент ионизации.

Графическая интерпретация этих двух условий показывает, что при фиксированных параметрах высоковольтного импульса для траекторий в магнитном поле (т.е. для следов с изменяющимся угловым параметром) могут формироваться искровые треки согласно обоим моделям.

Первые треки, имеющие "круговую" траекторию, наблюдались в камере с промежутком в 21 см, наполненной неоном до давления 1,5 ата, установленной в зазоре магнита СП-23 ( $H = 5,5$  Кгс), на космической станции Нор-Амбердт /2/. Для увеличения вероятности наблюдения круговых траекторий над камерой помещался спинцовый конвертор толщиной 2 см, генерирующий пары и ливни сравнительно малоэнергичных электронов.

Тот факт, что полученные искровые треки действительно отражали характер траектории заряженных частиц в магнитном поле, с несомненностью подтверждался двумя обстоятельствами:

- 1) наличием двух знаков кривизны, соответствующих двум знакам заряда заряженных частиц;
- 2) разной величиной кривизны треков, обусловленных импульсным спектром космических частиц.

Для определения степени соответствия кривизны искровых треков импульсу заряженных частиц, были собраны две установки, позволяющие одновременно проводить измерение импульса по кривизне искрового трека и по остаточному пробегу /5/. В одной из установок пробег определялся с помощью многопластинчатой "пробежной" искровой камеры. Для интервала импульсов 350–400 Мэв/с, соответствующих остановке  $\mu$  – мезона в одной из пластин "пробежной" камеры, значение им-

пульса, измеренное по кривизне трека длиной 20 см, совпало с точностью до 4%. Несмотря на то, что эти предварительные данные носили скорее качественный характер, они показывали, что точность данного метода может быть очень высокой.

При анализе ошибок в измерениях с широкоазорными искровыми камерами, как и в измерениях с другими трековыми приборами, необходимо, наряду с ошибками случайными, рассматривать ошибки, вносимые систематическими искажениями истинной кривизны следа.

Случайные ошибки в основном определяются качеством трека ( $\delta_k$ ), они зависят также от точности определения координат ( $\delta_n$ ) и качества изображения на пленке ( $\delta_n$ ). Так как эти ошибки не коррелируют, то суммарная случайная ошибка определится как  $\delta_x^2 = \delta_k^2 + \delta_n^2 + \delta_n^2$ , где  $\delta_x$  - дисперсия искрового трека, найденная методом наименьших квадратов. Зная  $\delta_x$ , можно определить случайную ошибку в измерении кривизны трека из известного выражения  $(\delta_c)_{\text{изм.}} = \frac{\delta_x}{l^2} [A(n)]$  где  $A(n)$  - функция числа измеряемых точек,  $l$  - длина трека.

Систематические ошибки обусловлены многократным рассеянием заряженных частиц в газе камеры, неоднородностью электрического поля в камере и дисторсией оптической системы. Следовательно, суммарную ошибку в определении кривизны искрового трека можно найти из выражения

$$\delta_c^2 = (\delta_c)_{\text{изм.}}^2 + (\delta_c)_{\text{расс.}}^2 + (\delta_c)_{\text{эл.}}^2 + (\delta_c)_{\text{опт.}}^2$$

При измерении импульсов по кривизне трека становится важным вопрос влияния ЕН-поля на пространственное искажение трека. Решение дифференциальных уравнений движения электронов вдоль электрического поля и в направлении вектора  $[\vec{E}\vec{H}]$  дает выражения, определяющие смещение электронов и лавин, в течение времени ( $t$ ) прикладывания электрического поля ( $E$ ) вдоль этих осей,

$$\bar{x} = \frac{c E \omega r}{H(1 - \omega^2 r^2)} t \quad \text{и} \quad \bar{z} = \frac{c E \omega^2 r^2}{H(1 - \omega^2 r^2)} t,$$

где  $\omega = \frac{eH}{mc}$  - циклотронная частота, а  $r$  - время между двумя соударениями электрона с атомами газа. Отсюда следует, что дрейф электронов в процессе формирования искрового трека происходит под углом  $\text{tg } \psi = \omega r$ . Для треков, имеющих круговую траекторию, это означает поворот относительно некоторой оси без изменения радиуса кривизны. Такой эффект поддается учету.

V.

Для точных количественных оценок предлагаемого метода определения импульсов заряженных частиц на калиброванном пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 4,1 Гэв/с (разрешение 2%) была проведена серия измерений. Для этого были изготовлены две искровые камеры. Первая камера имела промежуток 40 см. Вторая - два промежутка по 25 см со средним электродом из алюминиевой фольги толщиной 40 мк. Камеры помещались в зазор электромагнита СП-40 ( $H = 13,5 \pm 0,25$  Кгс). Для импульса 4,1 Гэв/с была достигнута точность в 10% на длине трека в 40 см <sup>/6,7/</sup>. При разборе ошибок оказалось, что наибольший вклад вносит неоднородность электрического поля в камере (6,5%).

С помощью второй камеры определялись абсолютные угловые точности и смещение искр относительно истинной траектории. В таблице 1 приведены полученные значения для различных углов входа частиц в камеру.

Экспериментально был получен угол дрейфа электронов в ЕН-поле. Для конкретных параметров установки этот угол оказался равным  $\approx 14^\circ$ .

Таблица 1

Угол входа	$0^{\circ}$	$-4^{\circ}$	$+5^{\circ}$
$\bar{\beta}$ <i>град</i>	$0,27 \pm 0,2$	$0,47 \pm 0,12$	$0,44 \pm 0,18$
$\bar{b}_p$ <i>град</i>	$1,5 \pm 0,18$	$1,25 \pm 0,11$	$1,46 \pm 0,11$
$\bar{a}$ <i>мм</i>	$-0,01 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,03$
$\bar{b}_a$ <i>мм</i>	$0,28 \pm 0,03$	$0,50 \pm 0,03$	$0,63 \pm 0,04$

## VI .

С учетом анализа ошибок предыдущей серии измерений была создана новая установка с улучшенными параметрами, позволившая значительно повысить точность измерения импульсов заряженных частиц /9,10/.

Основные параметры установки следующие:

а) общее время запаздывания при запуске искровых камер не превышало 230 нсек,

б) длительность фронта высоковольтного импульса на камере не превышала  $2 \pm 0,5$  нсек.

Измерения проводились с тремя различными камерами, в которых с помощью специально принятых мер была достигнута высокая однородность электрического поля.

Первая камера (ИК-51) имела один промежуток в 51 см. Вторая - (ИК-2x21) - два промежутка по 21 см, разделенных проволочным электродом. Третья камера (ИКД-2x20) имела два промежутка по 20 см, разделенных также проволочным электродом. Эта камера имела изолированные внешние электроды.

Таблица 2.

Камера, ее рабочий режим	Толщина трека в мм, диафрагма	Измеренное значение импульса			$\Delta P/P$ %	$P_{\text{макс}}$ Гэв/с	$\delta_x$ мк	$\varrho$ см
		$\bar{P}$ Гэв/с	$\sigma_P$ Гэв/с	$\Delta P/P$ %				
ИК-2x2I неон, 760 тор 4,5 кв/см	I,4 (I/II)	$6,2I \pm 0,036$	0,45	7,3	7,0	85	100	40
	I,6 (I/8)	$6,2I \pm 0,04$	0,48	7,7	7,7	80	160	40
II ИКД-2x20 неон + 3% C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 13,5 кв/см	а) I,4 (I/5,6)	$6,0I \pm 0,5$	1,05	17,5	15	35	90	18
	б) I,4 (I/5,6)	$5,96 \pm 0,2I$	1,48	25	15	25	90	18

( $\Delta P/P$ ) - определена из: ( $\Delta P/P$ ) =  $\left[ (\Delta P/P)_{\text{опт}}^2 + (\Delta P/P)_{\text{рас}}^2 + (\Delta P/P)^2 \right]^{1/2}$

а) и б) соответствуют разным отсекам камеры с толщиной диэлектрика 6 мм и 12 мм



Таблица 3.

Камера, ее рабочий режим	Толщина трека в мм, диафрагма	Объектив		$\sigma \times 10^{-2} \text{ м}^{-1}$	$\sigma_{\text{с}}$ $\times 10^{-2} \text{ м}^{-1}$	$P_{\text{макс}}$ ГэВ/с	$\varnothing$ см
		I	II				
ИК-5I неон, 760 тор 5,5 кв/см	I,0 (I/II)	I		$- 0,35 \pm 0,023$	0,24	170	49
ИК-2x2I неон, 760 тор 4,5 кв/см	I,0 (I/8)	II		$+ 0,34 \pm 0,037$	0,4I	100	49
ИКД-2x20 неон +3% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 7 кв/см	I,6 (I/8)	I		$- 0,18 \pm 0,1$	0,58	70	40
	I,4 (I/II)	II		$+ 0,12 \pm 0,08$	0,43	95	40
	I,2 (I/5,6)	I		$- 0,1 \pm 0,05$	0,68	60	38
	а) I,2(I/5,6)	I		$+ 0,04 \pm 0,18$	2,1	20	18
	б) I,2(I/5,6)	I		$- 3,2 \pm 0,27$	3,1	15	18

$P_{\text{макс.}}$  найдено для магнитного поля  $H = 13,5$  Кгс.

Измерения проводились на пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 6,13 Гэв/с (разрешение 2,5%). Напряженность магнитного поля равнялась 13,5 Кгс.

Результаты измерения в магнитном поле и вне его приведены в таблицах 2 и 3.

Данные об относительной угловой точности между треками в отдельных отсеках, а также относительное смещение между треками приведены в таблице 4.

Таблица 4

Углы и смещения	ИК-2x2I неон, 760 тор 4,5 кв/см	ИКД-2x2I неон +3% C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH 7 кв/см
$\bar{\alpha}$ мрад	0,20 ± 0,08	0,03 ± 0,09
$\sigma_{\alpha}$ мрад	0,42	0,8
$\bar{B}$ мм	-0,01 ± 0,04	-0,08 ± 0,03
$\sigma_B$ мм	0,21	0,30

## VII.

Последовательное улучшение конструкции широкоазорных искровых камер, системы их питания и запуска, позволило нам достигнуть максимально измеримого импульса порядка 150 Гэв/с с помощью камер с промежутком 40+50 см, установленных в магнитном поле напряженностью 13,5 Кгс. Это превосходит лучшие результаты в конденсационной камере /11,12/ и пузырьковой камере, наполненной тяжелой жидкостью, и сравнимо с точностью, допускаемой в жидководородной камере /13,14/.

Полученная угловая точность  $\sigma_{\alpha} = 0,42$  мрад (табл. 4) позволяет надеяться, что с помощью широкоазорных искровых

камер, установленных перед магнитом и за ним, можно проводить измерение импульсов весьма больших значений ( $\approx 1000$  Гэв/с).

После опубликования нами первых результатов относительно возможности измерения импульсов заряженных частиц по кривизне искрового трека, данный метод был широко использован в ряде физических экспериментов /1,15/.

#### Краткий перечень основных выводов

1. Экспериментально осуществлен новый метод измерения импульсов заряженных частиц.
2. Показано, что искровые камеры с промежутком до 50 см в магнитном поле 13,5 Кгс позволяют проводить измерение импульсов порядка 150 Гэв/с.
3. Выяснено, что на точность измерения импульсов подобным методом влияют, в основном, три фактора:
  - а) качество трека,
  - б) степень однородности электрического поля,
  - в) оптические искажения.
4. Показано, что при помощи камеры с диэлектрической прослойкой, обладающей некоторыми преимуществами по сравнению с широкоазорной, также возможно проводить измерение импульса с большой точностью.
5. Выяснено влияние толщины диэлектрика в такой камере на степень искажения электрического поля и на точность измерения импульсов.
6. Практически осуществлен эффективный метод повышения однородности электрического поля в широкоазорных искровых камерах.
7. Определена степень влияния диффузии первичных электронов на дисперсию искрового трека в зависимости от задержки в запуске искровой камеры.

8. Предложен простой метод построения топографии импульсного электрического поля в камерах.

9. Показано, что относительный угол между треками в отдельных отсеках одной камеры или треками в двух камерах при одинаковом направлении вектора электрического поля меньше, чем при противоположном.

10. Получена высокая угловая точность между треками.

11. Показано, что данный метод измерения импульсов заряженных частиц может быть с успехом использован в широком интервале импульсов (от сотни Мэв/с до сотен Гэв/с).

Материалы диссертации содержатся в публикациях /2,5-10/, а также докладывались и обсуждались на всесоюзных и международных конференциях и совещаниях. Материалы диссертации приводились в лекциях А.И. Алиханяна и Т.Л. Асатиани в школе физиков (Нор-Амбердт) в 1963 и в 1964 гг., а также в Ioeb -лекции А.И. Алиханяна в Кембридже (США).

#### Л и т е р а т у р а

1. CEAL- 1039, Semi-annual report, Cambridge, 1968. experiments 103a, 118a, 103h.
2. А.И. Алиханян, Т.Л. Асатиани, Э.М. Матевосян. ЖЭТФ 44, 2 (1963).
3. Lyubimov V.A. and Sidorov J.V. Nuclear Instruments and Methods 33, 355, 356 (1965).
4. Г.Е. Чиковани. Диссертация (1968).
5. A.I. Alikhanian, T.H. Asatiani, E.M. Matevosian and R.O. Sharkhatynian. Physics Letters, 4, 5 (1963).
6. А.И. Алиханян, Т.Л. Асатиани, Э.М. Матевосян, А.А. Назарян, Р.О. Шархатунян. ЖЭТФ 11, 1684 (1963).
7. А.И. Алиханян, Т.Л. Асатиани, В.М. Кришян, Э.М. Матевосян, А.А. Назарян, Р.О. Шархатунян. Труды международной конференции по физике высоких энергий, т.2, Дубна (1964).

8. A.I.Alikhanian, T.L.Asatiani, V.M.Krishtyan, E.M.Matevosian, R.O.Sharkhatynian. Inter. Conf. on Cosmic Rays, Jaipur, 1965, v.5.
9. A.M.Avakian, A.I.Alikhanian, T.H.Asatiani, V.A.Ivanov, L.A.Jirova, V.M.Krishtyan, E.M.Matevosian. Inter. Symposium on Nuclear Electronics, Versailles, 1968, 12-1.
10. А.И. Алиханян, Т.Л. Асатиани, К.М. Авакян, И.Е. Васанюк, Л.А. Жирова, В.А. Иванов, В.М. Кришян, Э.М. Матевосян, Л.В. Тепляшина. Препринт ЕФИ-МЭ-10 (1968).
11. Thompson R.W., Burwell I.R., Ruggett R.W. Nuovo Cim, Supplement, (10), 4, 286 (1956).
12. Материалы совещания по камерам Вильсона, диффузионным и пузырьковым камерам, Дубна (1959).
13. Э.П. Кистенев, Е.П. Кузнецов, Ю.П. Рябов. Препринт ИФВЭ, 68-18-к (1968).
14. H.Bradner. Annu. Rev. Nucl. Science, 10, 1960.
15. L.Wang, R.C. Smith, M.Whitley and F.G.T.Zorn, Intern. Symposium on Nuclear Electronics, Versailles, 1968, 11-1.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 апреля 1969 года.