

5540

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛ

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 5540



А.У. Абдурахимов, Е.Н. Кладницкая,
Нгуен Дин Ты

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

МЕТОДЫ
ПОИСКА ИЗЛОМА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ СЛЕДОВ ЧАСТИЦ,
ПРЕТЕРПЕВШИХ РАССЕЯНИЕ
В ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ

1970

P1 - 5540

**А.У. Абдурахимов, Е.Н. Кладницкая,
Нгуен Дин Ты**

**МЕТОДЫ
ПОИСКА ИЗЛОМА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ СЛЕДОВ ЧАСТИЦ,
ПРЕТЕРПЕВШИХ РАССЕЯНИЕ
В ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЕ**

I . Введение

В пузырьковой камере, особенно в камере с тяжелой жидкостью, частицы часто претерпевают рассеяние на малый угол - излом, который трудно заметить при просмотре. Неучёт излома приводит к сильному искажению параметров следов частиц, в частности, импульс сильно искажается даже при небольшом угле излома (рис. 1).

Чтобы учитывать излом на следе, надо сначала выяснить, есть ли излом и где он находится (поиск излома), а потом с помощью особого метода определить параметры следов (восстановление параметров).

Известно несколько способов поиска излома. В одном из них излом ищется по величине отклонения экспериментальных точек от аппроксимирующей след кривой^{/1/}. В другом - по величине отклонения угла между хордами от среднего значения^{/2/}. Что касается метода восстановления параметров следа с изломом, то обычно параметры определяются на основе либо части следа (до или после излома), либо обеих частей следа в отдельности^{/1/}.

Упомянутые выше методы не чувствительны к малым углам излома (см. рис. 5б), а восстановленные параметры имеют большие ошибки, так как в расчётах обычно используется не вся длина следа.

Предложен новый метод поиска излома и восстановления параметров следов с изломом.

II . Метод поиска излома

Предположим, что имеется фиктивный излом на следе между точками k и $k + 1$ (далее такой излом будет сокращенно называться

"излом в точке k "). Обе части следа до и после излома аппроксимируются простыми кривыми с одинаковой кривизной вблизи точки фиктивного излома. В данной работе это параболы $y' = a_k x'^2 + b'_k$ и $y'' = a_k x''^2 + b''_k$. Из условия минимума функционала

$$F_k = \frac{1}{N-3} \left\{ \sum_{i=1}^k [y'_i - (a_k x_i'^2 + b'_k)]^2 + \sum_{j=k+1}^N [y''_j - (a_k x_j''^2 + b''_k)]^2 \right\},$$

где N - число измеренных точек на следе, определяются радиус кривизны $R_k = \frac{1}{2a_k}$ и угол фиктивного излома $\Theta_k = 2 \text{Arc sin} \left| \frac{d}{2R_k} \right|$ (d - расстояние между центрами двух кривых). Минимум функционала будет χ^2 . При изменении k от 2 до $N-2$ получаются 3 массива по $N-3$ значений в каждом: R_k , Θ_k и χ_k^2 . Если на следе нет излома, то R_k , Θ_k и χ_k^2 будут меняться в пределах, обусловленных в основном многократным рассеянием и ошибками в измерении координат точек на следе. Если имеется излом в точке m (истинный излом), то R_k , Θ_k и χ_k^2 будут меняться сильнее - тем сильнее, чем больше угол излома. При этом, начиная с некоторого значения угла излома, в точке излома Θ_m достигает максимального значения: $|\Theta_m| = |\Theta|_{\max}$

χ_k^2 - минимального значения: $\chi_m^2 = \chi_{\min}^2$, а R_k - экстремального: $R_m = R_{\max}$ или R_{\min} (максимального или минимального в зависимости от знака угла излома).

На рис. 2 показаны распределения R_k , Θ_k и χ_k^2 для генерированного следа частицы с импульсом 2000 Мэв/с и длиной 28 см с искусственным изломом ^{13/}. Видно, что при увеличении угла излома сначала R_k достигает своего экстремального значения (здесь - минимального) в точке излома, а затем Θ_k и χ_k^2 достигают соответственно мак-

симального и минимального значения в точке излома. Такой же порядок появления экстремальных значений R_k , Θ_k и X_k^2 наблюдается для других генерированных следов. Это говорит о том, что надо искать излом именно по экстремальному значению R_k . Но тогда будет двузначность, т.к. излом может быть там, где R_k - максимальный или минимальный. Чтобы решить вопрос о месте излома, надо сравнить отношение $(\frac{\Theta_k}{X_k^2})$ в этих двух местах: излом должен быть там, где это отношение больше (если, конечно, есть излом). Излом, действительно, имеет место только при условии

$$\left| \frac{\Delta R}{R_m} \right| > C_R \quad (1)$$

или

$$|\Theta_m| > \Theta_{lim} \quad (2)$$

C_R и Θ_{lim} определяются на основе учёта многократного рассеяния и ошибок в измерении координат точек на трекке:

$$C_R^2 = \left(\frac{C_1 P^2}{L^4} + \frac{C_2}{V^2 L} \right) \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad (3)$$

$$\Theta_{lim}^2 = \left(\frac{C_3 L}{P^2} + \frac{C_4}{L^2} \right) \quad (4)$$

Здесь P и V - импульс и скорость частицы, оцениваемые по значению R_m и среднему значению магнитного поля; L - полная длина следа; α - угол наклона следа относительно плоскости фотографирования; C_1, C_2, C_3, C_4 - константы, зависящие от напряженности магнитного поля \bar{H} , радиационной длины X_0 в жидкости камеры и ошибки измерения координат точек в камере ΔS .

Для пропановой камеры при $\bar{H} = 15 \text{ кГ}$ и $\Delta S = 0,01 \text{ см}$ $C_1 = 0,0052$, $C_2 = 2,08$, $C_3 = 4,0$, $C_4 = 0,01$. Излом вблизи середины следа чаще обнаруживается по условию (1), а вблизи концов следа - по условию (2). Процесс поиска излома считается законченным после обнаружения излома с указанием места излома и значений R_m и Θ_m .

III. Метод определения параметров следа с изломом

Расчет основан на методе численного интегрирования уравнения движения заряженной частицы в тормозящей среде, помещенной в неоднородное магнитное поле $1/r$, с добавлением нового параметра - угла излома.

Расчет угла наклона следа α проводится так же, как в программе ГЕОФИТ-1^{/4/}. Для определения импульса и азимутального угла надо минимизировать функционал

$$M = \sum_{i,j}^N (y_i - y_{i \text{ exp}})(G + D_{xy})_{ij}^{-1} (y_j - y_{j \text{ exp}}),$$

где y_i и y_j - теоретические координаты i и j точек на следе, $y_{i \text{ exp}}$ и $y_{j \text{ exp}}$ - измеренные координаты i и j точек, G и D_{xy} - матрица многократного рассеяния и матрица

измерительных ошибок на плоскости xu , N - число точек на следе.

Параметрами являются $g = \frac{1}{P}$, где P - импульс частицы, β - азимутальный угол следа, y_0 - y - координата первой точки и Θ - угол излома. $y(s)$ разлагаем по этим параметрам и, ограничиваясь линейными членами, получаем

$$y^{i+1}(s) = y_0^i + \frac{\partial y}{\partial y_0} \Big|_i \delta y_0^i + \frac{\partial y}{\partial g} \Big|_i \delta g^i + \frac{\partial y}{\partial \beta} \Big|_i \delta \beta^i + \frac{\partial y}{\partial \Theta} \Big|_i \delta \Theta^i ;$$

индекс i - номер итерации, $i=0$ соответствует нулевому приближению, полученному от аппроксимации по параболе^{/4/}.

Обозначим

$$H(s) = -H_z + \text{tg } \alpha (H_x \cos \beta + H_y \sin \beta) ;$$

$$F(s) = \frac{e}{Pc} H(s) ;$$

имеем

$$\frac{\partial y(s)}{\partial y_0} = 1 ;$$

$$\frac{\partial y(s)}{\partial g} = \frac{P^2}{\frac{dP}{ds}} \int_0^s ds' \int_0^{s'} \left(\frac{e}{cP^2(s'')} \frac{dP}{ds} H(s'') ds'' \right) \left[\cos \left(\beta + \int_0^{s'} F(s'') ds'' \right) \right] ;$$

$$\frac{\partial y(s)}{\partial \beta} = \int_0^s \cos \left[\beta + \int_0^{s'} F(s'') ds'' \right] ds' ;$$

$$\frac{\partial y(s)}{\partial \Theta} = \begin{cases} 0 & \text{при } s < s_m ; \\ \int_{s_m}^s \cos \left[\beta + \int_0^{s'} F(s'') ds'' \right] ds' & \text{при } s \geq s_m . \end{cases}$$

Здесь s_m - длина следа до точки излома на плоскости xy . Интегралы вычисляются численно по методу аппроксимации по параболе. Приращения δy_0^i , δg^i , $\delta \beta^i$ и $\delta \Theta$ получаются из решения системы линейных уравнений

$$\frac{\partial M}{\partial y_0} = 0; \quad \frac{\partial M}{\partial g} = 0; \quad \frac{\partial M}{\partial \beta} = 0; \quad \frac{\partial M}{\partial \Theta} = 0,$$

а затем вычисляются:

$$g^{i+1} = g^i + \delta g^i; \quad \beta^{i+1} = \beta^i + \delta \beta^i; \quad \Theta^{i+1} = \Theta^i + \delta \Theta^i.$$

Обычно требуется 1-3 итерации, т.к. первое приближение уже достаточно точное.

IV . Проверка метода

На основе вышеизложенного метода была написана подпрограмма **KINK** для поиска излома и внесено дополнение в **PAZFIT** в программе **ГЕОФИТ-1^{4/}** для восстановления параметров следов с изломом. К этой системе был присоединен блок генерации фиктивных следов с изломом - **FIKTIV**. **FIKTIV** генерирует след с заданным импульсом, а затем делает искусственный излом в заданном месте следа и с известным значением угла излома, причём величина угла излома постепенно увеличивается до тех пор, пока излом не будет обнаружен. Цель проверки состоит в том, чтобы выяснить, а) какова вероятность правильного обнаружения излома с заданным значением угла излома и б) какова точность восстановления параметров следов с изломом.

Ниже представлены результаты, относящиеся к следам, генерированным для условий 2-метровой пропановой пузырьковой камеры^{/5/}. На рис. 3,4 показаны распределения обнаруженных углов излома и зависимость вероятности их обнаружений (сплошные кривые) для следов π^- -мезонов при импульсах 1 и 2 Гэв/с и длине 47,5 см. Можно видеть, что углы излома более 26 мрад ($1,5^{\circ}$) для $P_{\pi^-} = 1$ Гэв/с и более 17 мрад (1°) для 2 Гэв/с обнаруживаются со 100%-ной вероятностью. Для сравнения чувствительности методов обнаружения излома на рис. 5 показаны распределения по углу излома, обнаруженному на следе π^- -мезонов с импульсом 2 Гэв/с и длиной 47,5 см а) с помощью метода, предложенного в данной работе, б) с помощью метода, предложенного в работе^{/2/}. Видно, что наш метод более чувствителен. На рис. 6 показаны кривые зависимости угла излома, соответствующего 80%-ной вероятности обнаружения излома, от длины следа и импульса частицы (π^- -мезона). Ход изменения этих кривых качественно соответствует зависимости (4).

Для выяснения точности восстановления параметров группы по 200 следов без излома с заданным импульсом были генерированы и обчислены по программе ГЕОФИТ. Затем были сделаны искусственные изломы на этих же следах, и следы обчислялись а) без учёта излома, б) с учётом излома по предложенному здесь методу. Результаты представлены в таблице и на рис. 7,8.

Видно, что неучёт излома приводит к сильному искажению среднего значения импульса и азимутального угла, а учёт излома по предложенному методу дает возможность получить правильные значения этих параметров.

Предложенный метод можно использовать не только для обнаружения излома на следе частицы с целью правильного восстановления параметров следов, но также и для изучения рассеяния частиц на малый угол, как, например, рассеяния элементарных частиц на ядре.

Авторы выражают благодарность М.И. Соловьеву, В.Н. Пеневу за интерес к работе и полезные обсуждения.

Литература

1. Н.Ф. Маркова, В.И. Мороз, В.И. Никитина, А.П. Стельмах, Г.Н. Тентюкова. Сообщение ОИЯИ, P10-3768, Дубна, 1968.
2. M. Huybrechts. "STAN" a geometry programme for heavy liquid bubble chambers, Universite libre de Bruxelles. Bulletin No 36 (1968).
3. А.У. Абдурахимов, К.П. Вишневская, Нгуен Дин Ты. Сообщение ОИЯИ, 1-5462, Дубна, 1970.
4. А.У. Абдурахимов, Нгуен Дин Ты, В.Н. Пенев. Сообщение ОИЯИ, 1-5140, Дубна, 1970.
5. M.P. Balandin, N.G. Borisov, Wan Yung-chang, R.P. Kukhareva, V.A. Moiseenko, V.I. Snyatkov, M.I. Soloviev, I.V. Chuvilo. N.I.M., 20 110 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
24 декабря 1970 года.

Таблица

№	L (см)	\bar{D} (МэВ/с)			Азимутальный угол (рад.)		
		нет излома	с учетом излома	без учета излома	нет излома	с учетом излома	без учета излома
I	19,0	1030,4	1046,9	1397,7			
2	28,5	1008,1	1014,1	1178,3			
3	47,5	1010,5	1015,2	1241,7	1,5700	1,5700	1,5678
4	95,0	1004,0	1002,5	1215,8			
5	19,0	2040,6	2034,1	2358,2			
6	28,5	2018,0	2058,3	2928,3			
7	47,5	2007,5	2013,0	2693,8	1,5691	1,5690	1,5663
8	95,0	2012,5	2015,6	2412,0	1,5692	1,5697	1,5681
9	47,5	1998,6	2004,0	2550,7			
10	47,5	4030,0	4026,8	3790,0	1,5700	1,5701	1,5667
11	95,0	4023,6	4022,4	4877,0			

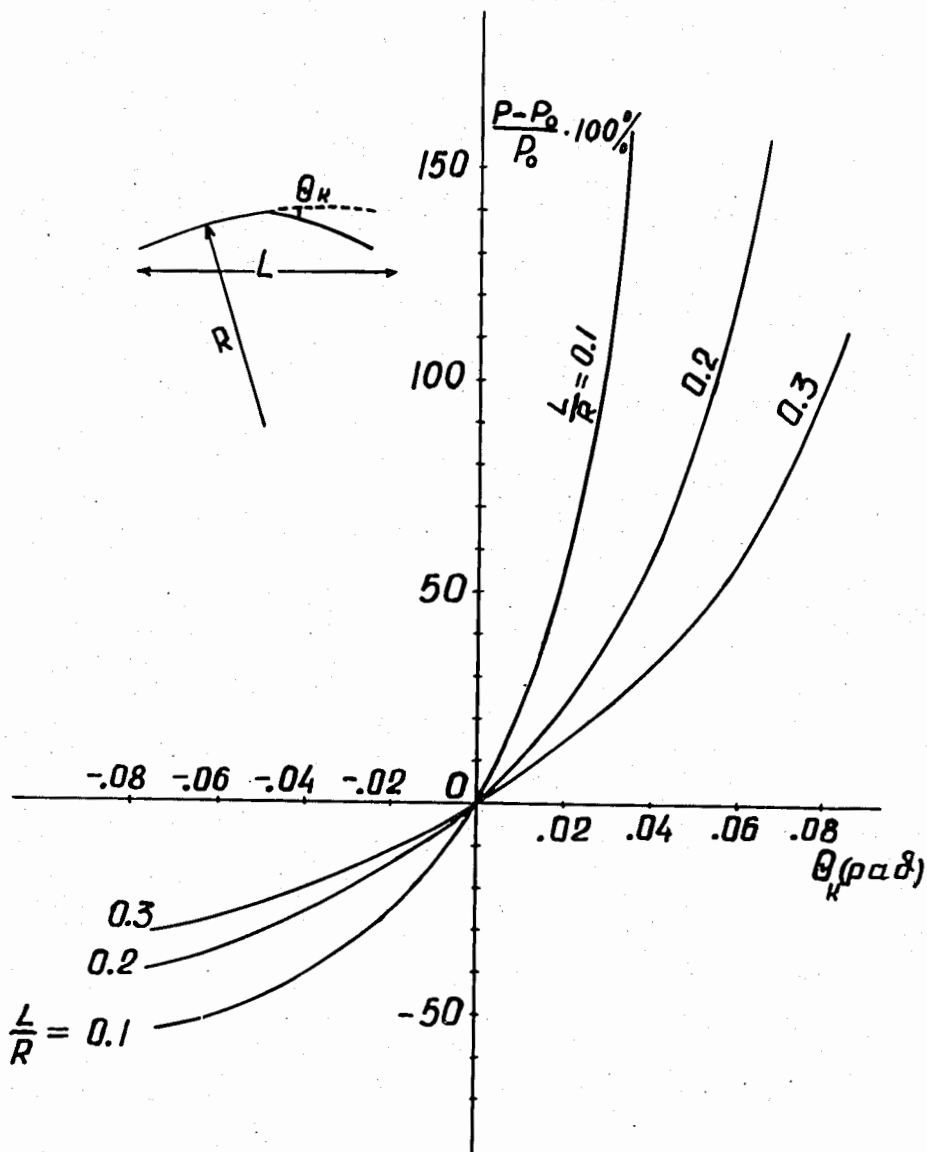


Рис. 1. Изменение импульса частиц в зависимости от угла излома при различных значениях L/R .

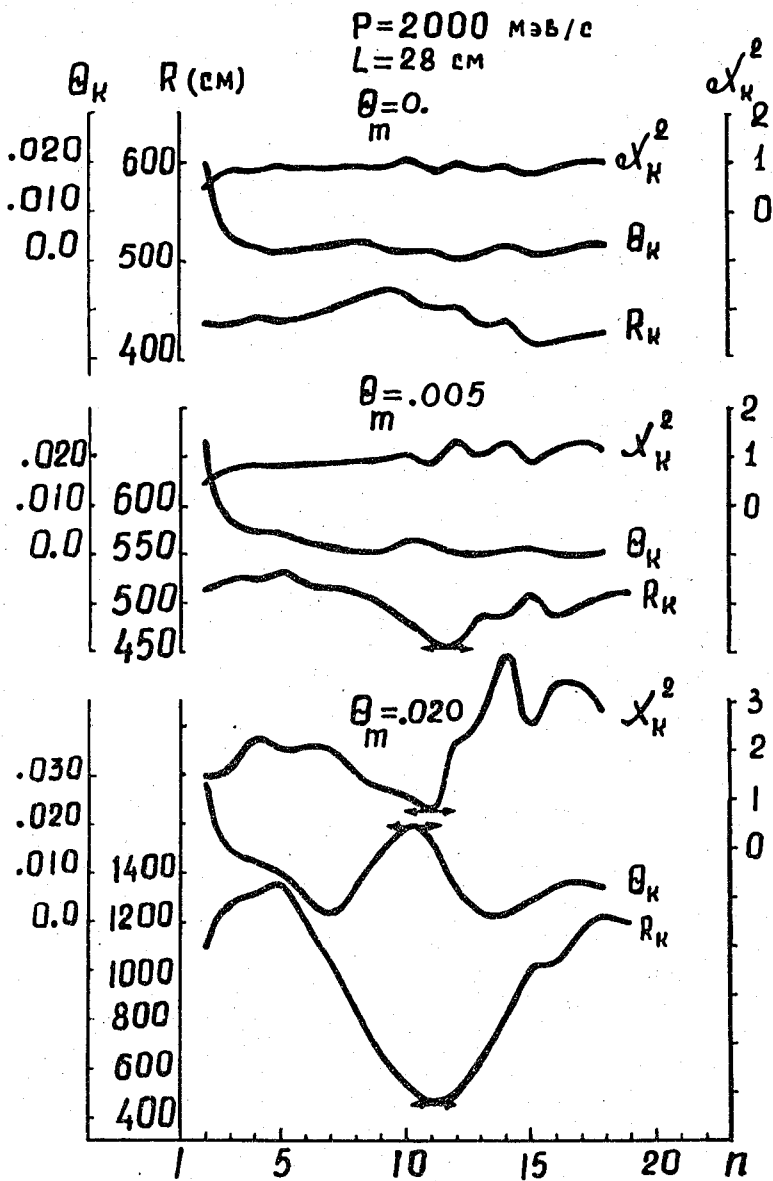


Рис. 2. Поведение χ_k^2 , θ_k , R_k при различных значениях угла излома θ_m в середине следа частицы с импульсом 2000 МэВ/с и длиной 28 см.

WITH KINK ACCOUNT
 DISTRIBUTION OF KINK ANGLE
 TOTAL NUMBER OF EVENTS 199

$P=1000$ $S=47.5$
 UNITS 1/1

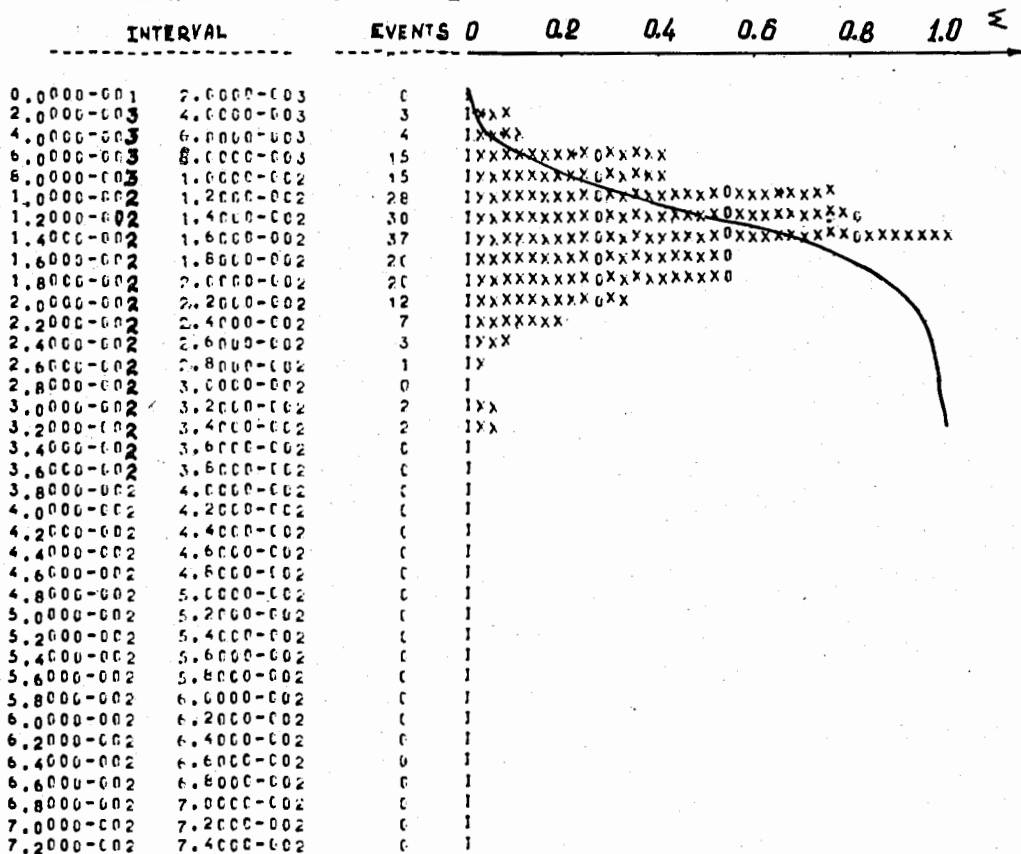


Рис. 3. Распределение обнаруженных углов излома для следов частиц с импульсом 1000 Мэв/с и длиной 47,5 см. Кривая показывает ход вероятности обнаружения различных углов излома.

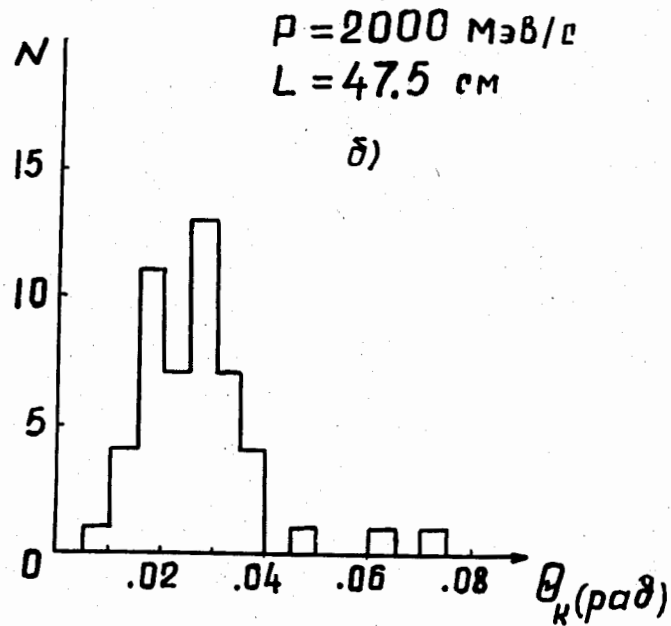
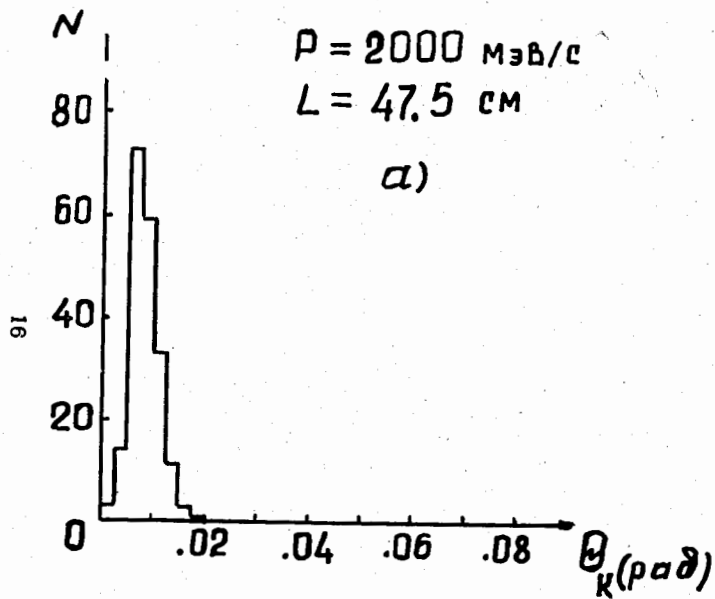


Рис. 5. Распределение углов излома для следов частицы с импульсом 2000 МэВ/с и длиной 47,5 см, обнаруженных а) методом, излагаемым в настоящей работе, б) методом, предложенным в работе^{12/}.

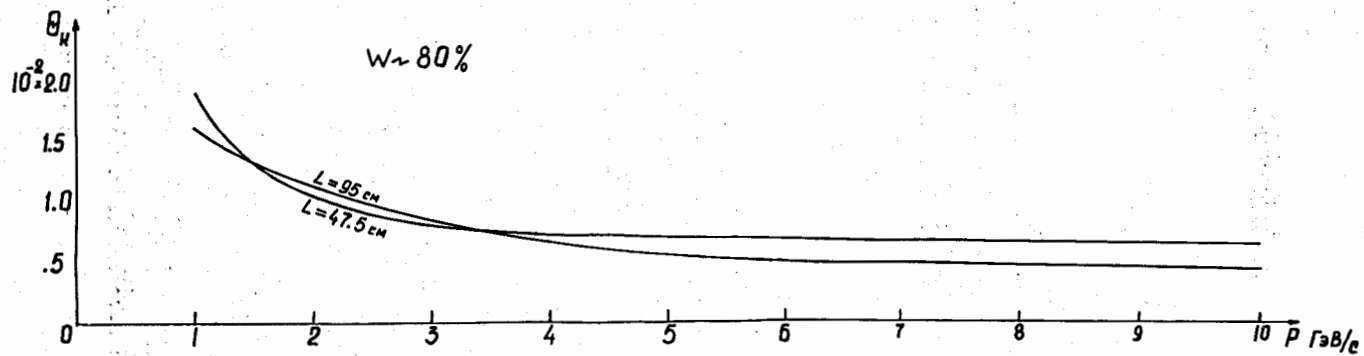


Рис. 6. Зависимость величины угла излома, обнаруживаемого с 80%-ной вероятностью, от импульса частицы и длины следа.

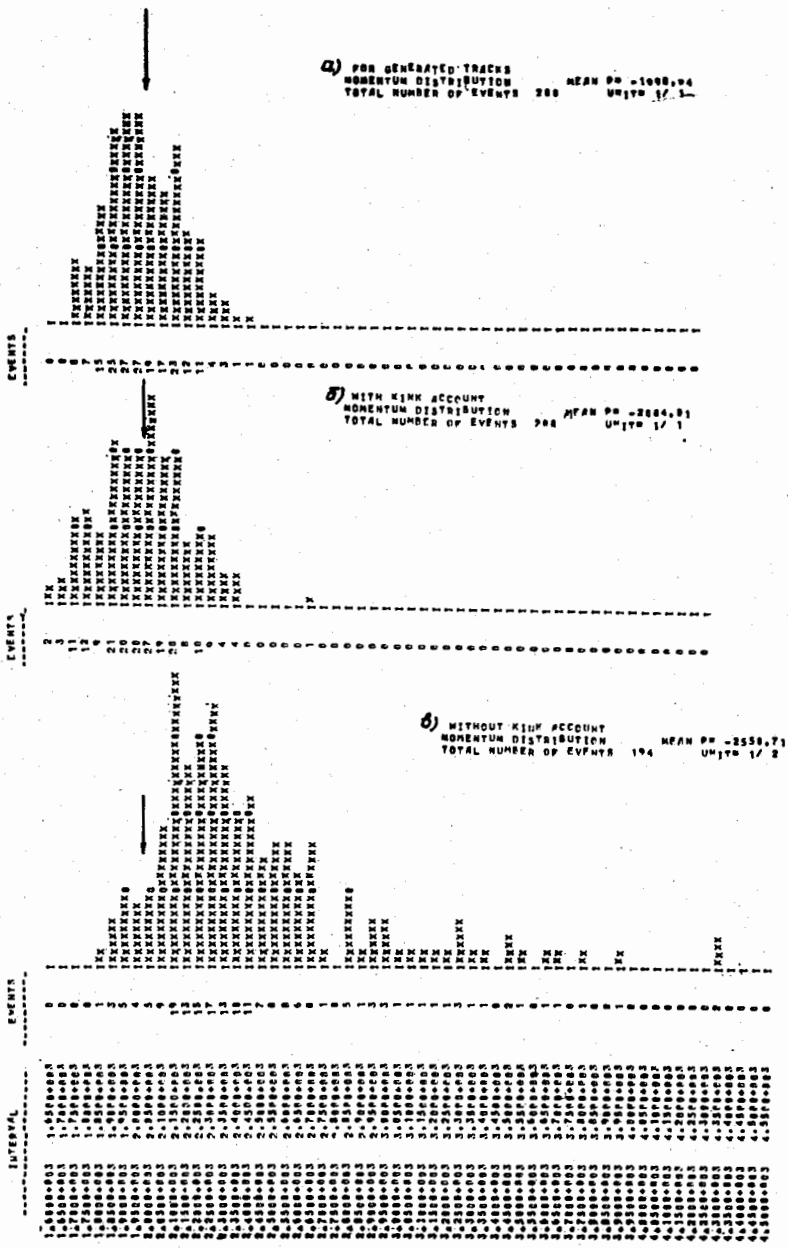


Рис. 7. Импульсные распределения π^- -мезонов: а) следы π^- -мезонов генерировались без излома, б) следы π^- -мезонов генерировались с изломом, импульсы определялись с учетом излома (см. текст), в) следы π^- -мезонов генерировались с изломом, излом при определении импульса не учитывался.

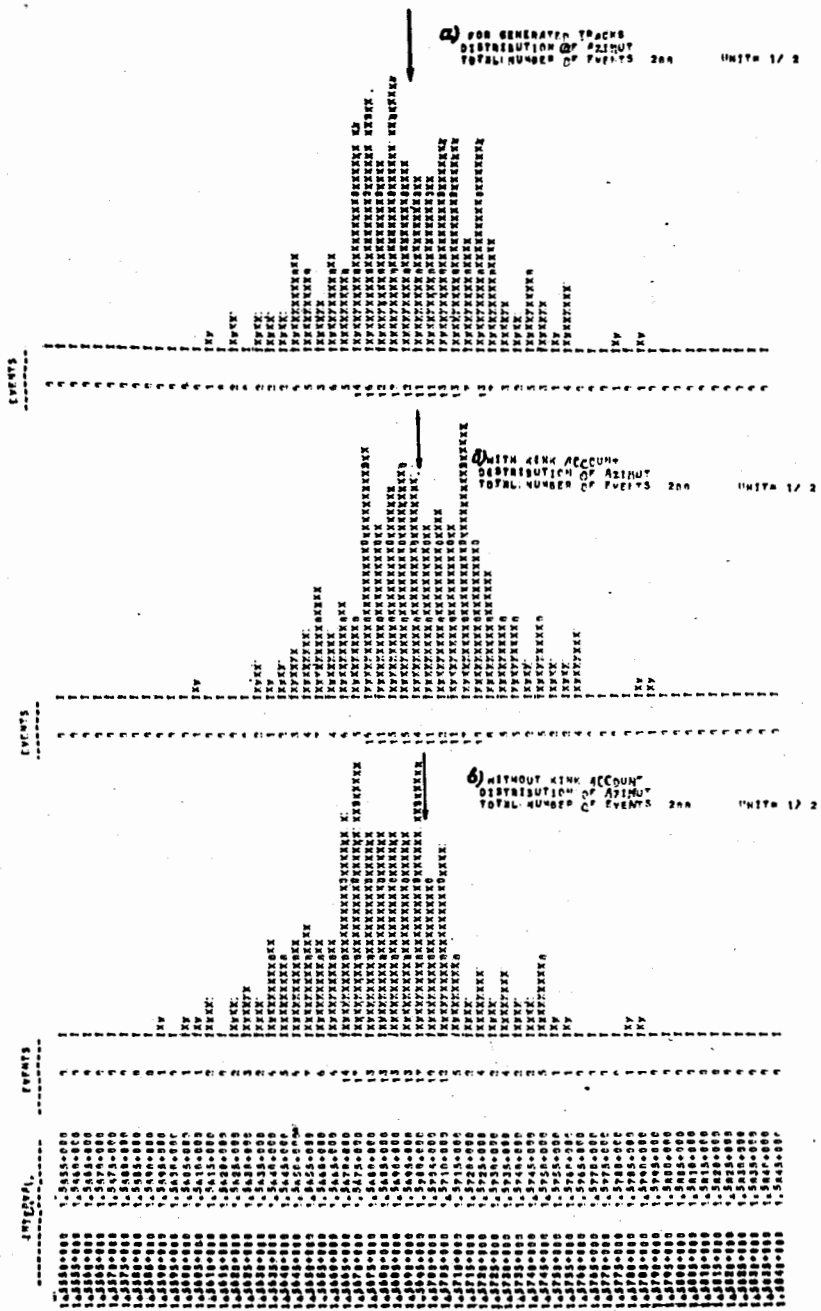


Рис. 8. Распределения по азимутальному углу для π^- -мезонов. а), б), в) соответствуют условиям, указанным для рис. 7.

Методы поиска излома и определения параметров следов частиц, претерпевших рассеяние в пузырьковой камере

Предложен метод эффективного поиска малых углов рассеяния на следе частицы, а также метод восстановления параметров следов с учётом рассеяния.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1970

Abdurakhimov A.U., Kladnitskaya E.N.,
Nguyen Din Thy

P1-5540

Method of Searching for the Kink and Determining
the Track Parameters of Particles Scattered in a Bubble
Chamber

A method is suggested for an effective search for the small angles of scattering in the particle track as well as the method of reconstruction of the track parameters taking into account scattering

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1970