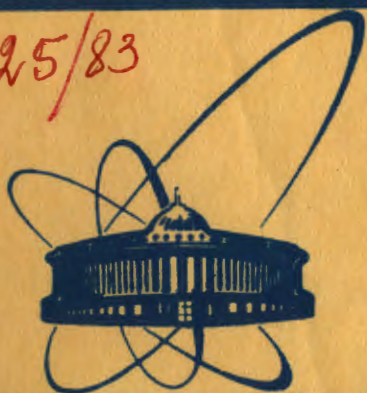


225/83



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

10/1-83

1-82-683

С.Г.Аракелян, А.О.Кечечян, А.С.Мартынов,  
А.И.Родионов, А.М.Рождественский, П.П.Темников,  
А.А.Тимонина, Б.А.Шахбазян

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
ОБРАБОТКИ СОБЫТИЙ С  $V^{\circ}$ -ЧАСТИЦАМИ  
В ПУЗЫРЬКОВОЙ ПРОПАНОВОЙ КАМЕРЕ,  
ОБЛУЧЕННОЙ ЯДРАМИ УГЛЕРОДА

1982

Двухметровая пропановая камера ОИЯИ<sup>1/1</sup> была облучена в пучке релятивистских ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. Полученные фотографии использовались для изучения рождения нейтральных странных частиц в ядро-ядерных столкновениях.

В настоящем сообщении рассматриваются методические вопросы, связанные с отбором, измерением и идентификацией событий с образованием  $V^0$ -частиц. Цель работы - исследование и демонстрация корректности методики обработки событий с 2-метровой пропановой пузырьковой камеры.

## §1. ОТБОР И ИЗМЕРЕНИЕ СОБЫТИЙ

Отбор событий производился на просмотровых столах УПС-50/80. Для измерения выбирались события, в которых наблюдались вилки от возможного распада нейтральных странных частиц. Регистрировались все звезды, из которых могла вылететь данная  $V^0$ -частица. Поэтому в полное число измеренных событий, кроме взаимодействий ядер углерода в пропане, включаются все вторичные взаимодействия.

Всего было просмотрено около 100000 фотографий. Просмотр был однократный, но производился двумя лицами одновременно для повышения эффективности. Вторично было просмотрено примерно 13000 снимков для определения эффективности просмотра. Было получено значение  $\epsilon_1 = 0,71 \pm 0,10$  для этой величины.

Все найденные события измерялись на полуавтоматических установках ПУОС. Обсчет производился на CDC-6500 по программе геометрической реконструкции и кинематического анализа ГЕОФИТ. После идентификации события с нейтральными странными частицами записывались на ленту суммарных результатов. В итоге набрано 847 событий, из которых 298 связано с первичными взаимодействиями. В этих событиях зарегистрировано 224/79/  $K^0$ -мезона, 471/161/  $\Lambda$ -гиперон и 199/72/ неоднозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц. В скобках указано число частиц, относящихся к взаимодействиям ядер углерода в пропане.

Взаимодействие считалось первичным, если оно связано с пучковым треком и лежит в пределах эффективной области регистрации. На основе распределения точек взаимодействия во фронтальной плоскости XZ были выбраны следующие границы этой области:

$$-9 \text{ см} < x < 5 \text{ см}, \quad 20 \text{ см} < z < 28 \text{ см}.$$

Кроме того, на пучковый трек накладываются такие ограничения:

$$|\text{tg} \alpha| < 0,02, \quad 1,65 \text{ рад} < \beta < 1,69 \text{ рад}.$$

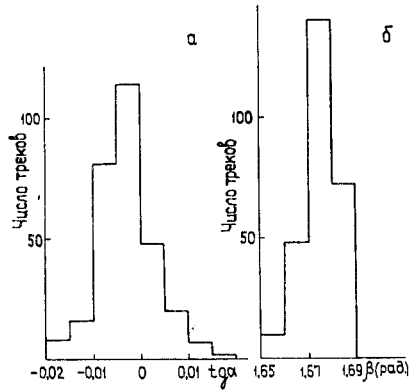


Рис.1. Распределения первичных частиц по  $\text{tg}\alpha$  /а/ и углу  $\beta$ /б/.

Система координат в камере введена так, что ось ОУ направлена по пучку, а плоскость ХУ совпадает с верхним стеклом, причем ось ОZ направлена вниз. Азимутальный угол  $\beta$  отсчитывается от оси ОХ в плоскости ХУ, а угол погружения  $\alpha$  - от проекции трека на эту плоскость. Распределения по  $\text{tg}\alpha$  и углу  $\beta$  для первичных частиц показаны на рис.1.

Эффективная область регистрации первичных звезд, а также область, в которой лежат вторичные взаимодействия и вершины для  $V^0$ -частиц, приведены на рис.2.

Точность определения параметров заряженных частиц определяется качеством измерения треков, которое характеризуется величинами  $\chi^2_{xy}$  и  $\chi^2_z$ . Для отбора хороших треков был введен следующий критерий:  $\chi^2_{xy} < 3,5$  и  $\chi^2_z < 3,5$  /на 1 степень свободы/. Кроме того, на относительную погрешность в определении импульса частицы накладывалось ограничение:  $\Delta p/p < 0,3$ . По ионизации следа были идентифицированы все медленные частицы / $p \leq 1$  ГэВ/с/. На рис.3 показаны распределения по относительной ошибке импульса  $\Delta p/p$  и длине трека L для останавливающихся и вылетающих из камеры частиц. Средние значения для этих величин соответственно равны:

$$\begin{aligned} \text{а/ } \langle \Delta p/p \rangle &= /3,03 \pm 0,06/\%, \quad \langle L \rangle = /7,7 \pm 0,3/\text{ см}; \\ \text{б/ } \langle \Delta p/p \rangle &= /9,2 \pm 0,1/\%, \quad \langle L \rangle = /36,8 \pm 0,4/\text{ см}. \end{aligned}$$

Средние значения для погрешностей в измерении углов равны:

$$\begin{aligned} \text{а/ } \langle \Delta \text{tg}\alpha \rangle &= /0,0099 \pm 0,0002/; \\ \text{б/ } \langle \Delta \beta \rangle &= /0,0052 \pm 0,0001/\text{ рад}. \end{aligned}$$

## §2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ $V^0$ -ЧАСТИЦ

При идентификации нейтральных странных частиц первоначально отбирались гипотезы, удовлетворяющие условию  $\chi^2 < 20$ . Распределение по  $\chi^2$  для однозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц приведено на рис.4 совместно с гистограммой теоретического  $\chi^2$ -распределения для 3 степеней свободы. Сравнение этих распределений по критерию Пирсона дает значение  $\chi^2 = 46$  при 22 степенях свободы, что соответствует уровню достоверности 0,2%. То, что распределение по  $\chi^2$  растянуто по сравнению с теоретическим можно объяснить не совсем корректным приписыванием ошибок параметров вторичных частиц при геометрической реконструкции.

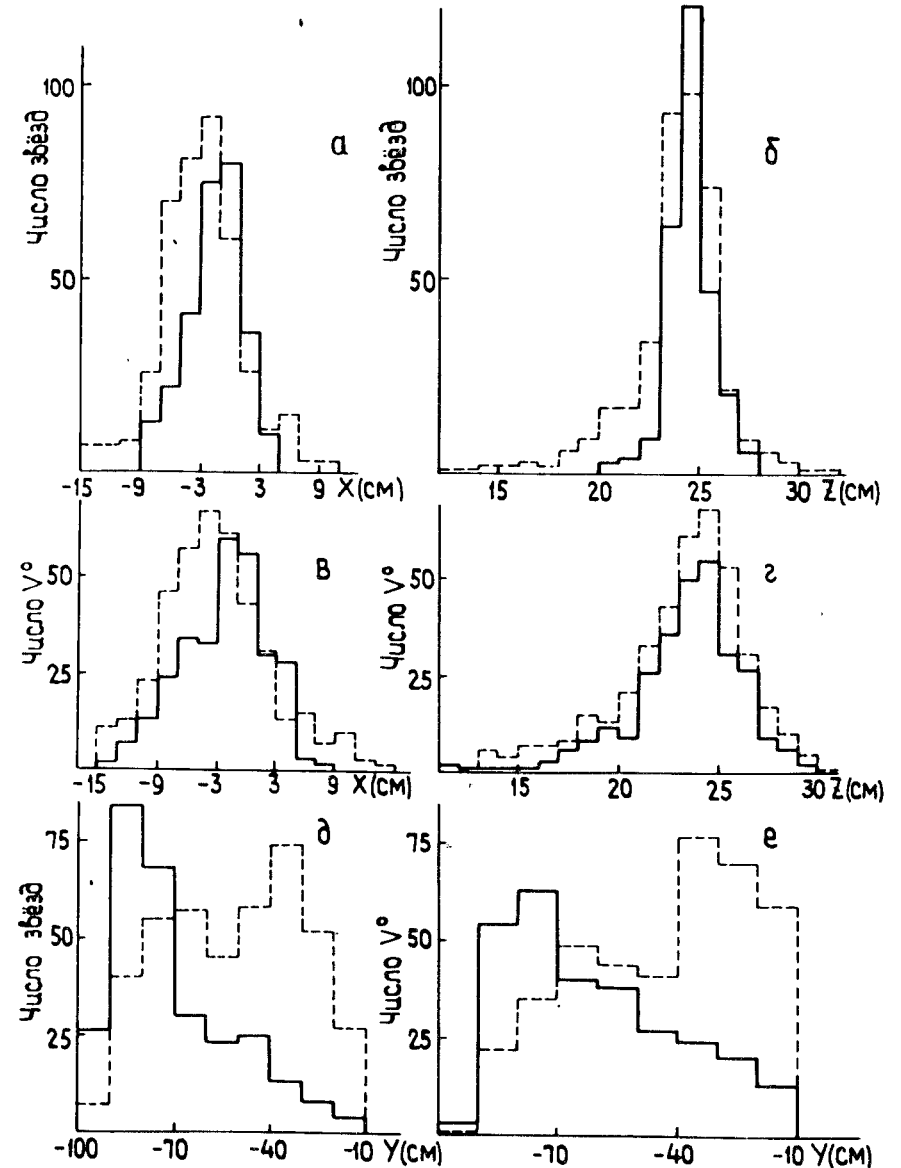


Рис.2. Распределения вершин звезд и  $V^0$ -частиц по координатам x /а,в/, y /д,е/ и z /б,г/. Пунктир соответствует вторичным взаимодействиям, а сплошная линия - первичным.

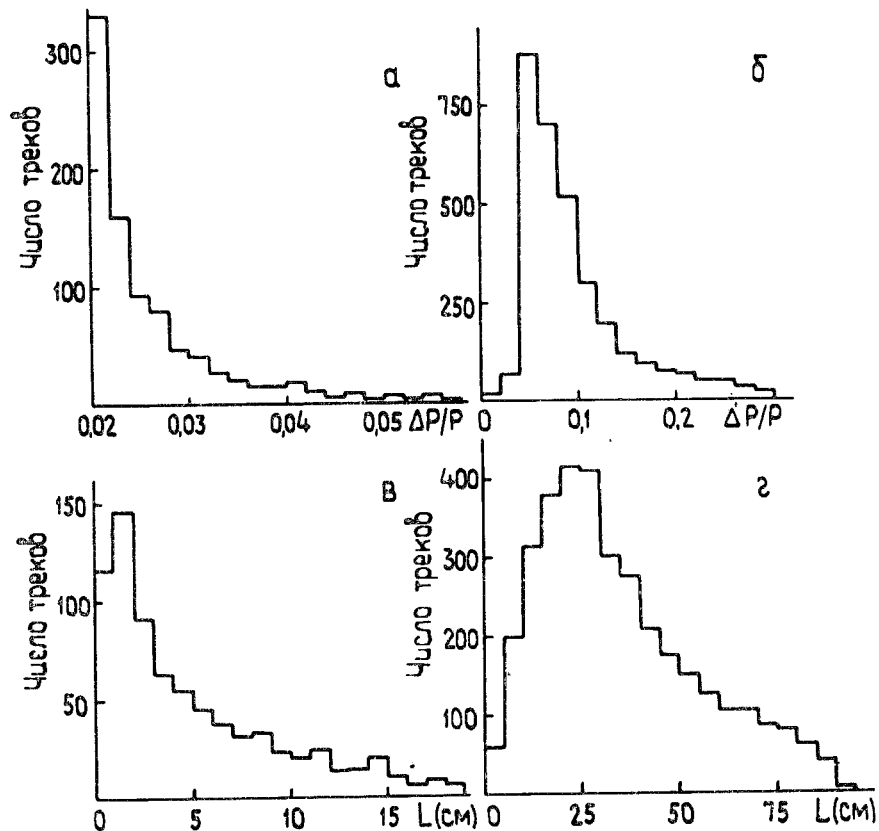


Рис.3. Распределения по величине относительной погрешности импульса  $\Delta p/p$  и длине трека  $L$  для частиц, которые останавливаются в камере /а,в/, и частиц, вылетающих из нее /б,г/.

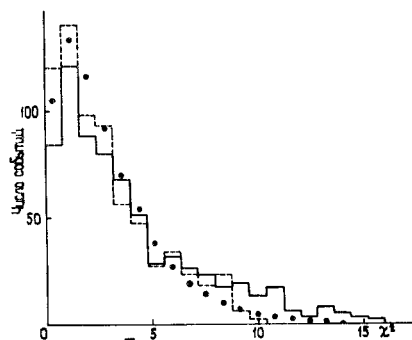


Рис.4. Распределение по  $\chi^2$  для однозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц /пунктир - с учетом масштабного множителя, сплошная линия - без учета/. Гистограмма для теоретического  $\chi^2$ -распределения с 3 степенями свободы показана точками.

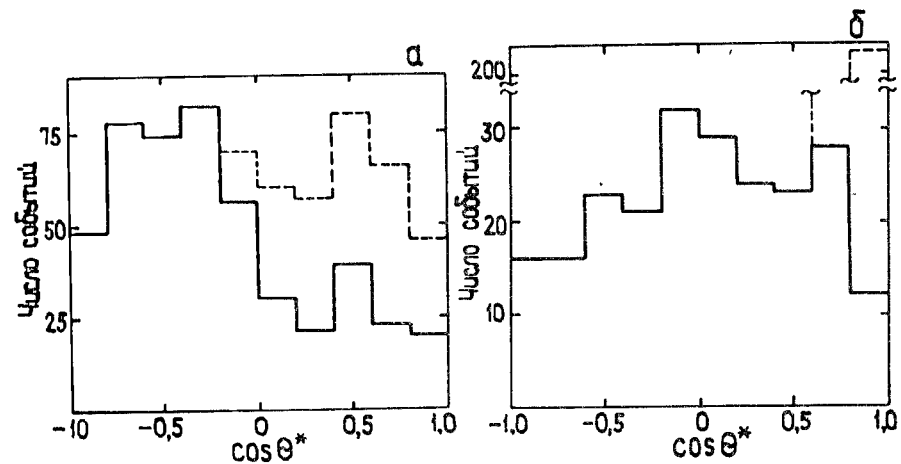


Рис.5. Распределения по  $\cos \theta^* / \theta^*$  - угол вылета  $\pi^-$ -мезона в системе покоя  $V^0$ -частицы относительно направления ее движения/ для  $\Lambda$ -гиперонов /а/ и  $K^0$ -мезонов /б/ /сплошная линия/. Пунктир соответствует добавлению в гистограмму неоднозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц.

Это можно учесть путем введения масштабного множителя  $\alpha$  для величины  $\chi^2/2$ . Методом минимума  $\chi^2$  было получено значение  $\alpha = 0,796 \pm 0,037$ , при котором наблюдается хорошее согласие с теоретическим  $\chi^2$ -распределением: на 22 степени свободы значение  $\chi^2$  равно 21 /50% уровень достоверности/. Окончательно для отбора гипотез был введен следующий критерий:  $\alpha \cdot \chi^2 \leq 9,9$ , что соответствует уровню достоверности 2%.

Проведено разделение гипотез для неоднозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц, которые по критерию  $\chi^2$  могут быть и  $\Lambda$  и  $K^0$ . Для двухчастичных распадов угловые распределения частиц в системе покоя распадающейся частицы должны быть изотропны. На рис.5 показаны эти распределения для  $\pi^-$ -мезонов в случае однозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц, а также с добавлением соответствующих гипотез для неразделенных событий. Видно, что для  $\Lambda$ -гиперонов угловое распределение не является изотропным:  $\langle \cos \theta^* \rangle = -0,22 \pm 0,02$ , где  $\theta^*$  - угол вылета  $\pi^-$ -мезона. Если все неоднозначно идентифицированные частицы считать  $\Lambda$ -гиперонами, то суммарное распределение становится изотропным и  $\langle \cos \theta^* \rangle = -0,006 \pm 0,008$ . Для  $K^0$ -мезонов в первом случае распределение изотропно / $\langle \cos \theta^* \rangle = 0,02 \pm 0,03$ / и становится заметно анизотропным при добавлении  $\Lambda/K^0$  событий  $\langle \cos \theta^* \rangle = 0,89 \pm 0,01$ . На этом основании можно считать, что все неоднозначно идентифицированные  $V^0$ -частицы являются  $\Lambda$ -гиперонами.

Существует возможность оценить вероятность для той и другой гипотезы <sup>18/</sup>. Угол  $\theta^*$  и величина поперечного импульса  $p_t$  связаны

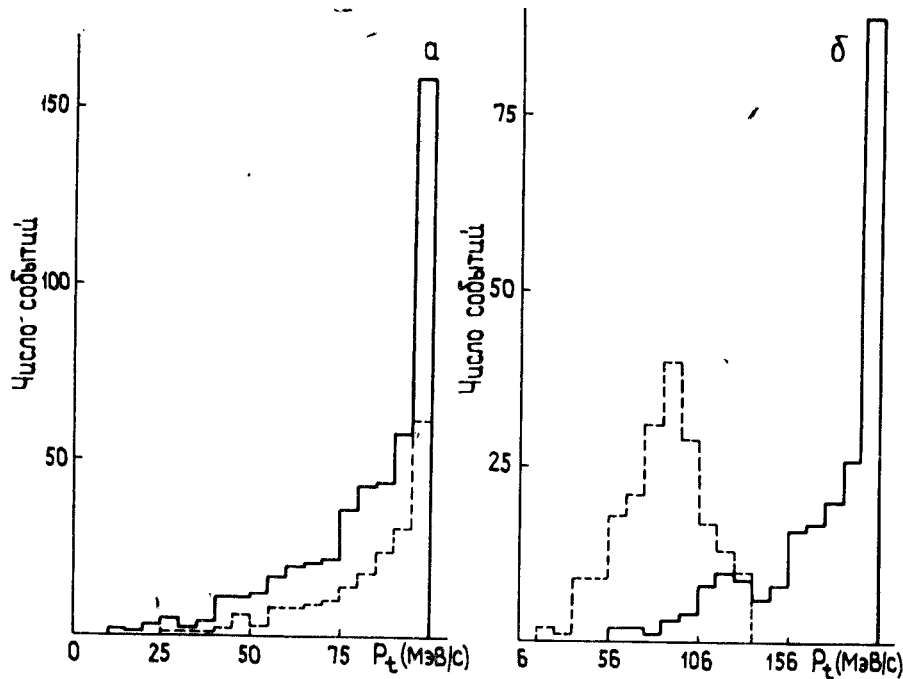


Рис.6. Распределения по поперечному импульсу  $p_t$   $\pi^-$ -мезона для  $\Lambda$ -гиперонов /а/ и  $K^0$ -мезонов /б/ /сплошная линия/. Пунктир - распределения для неоднозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц.

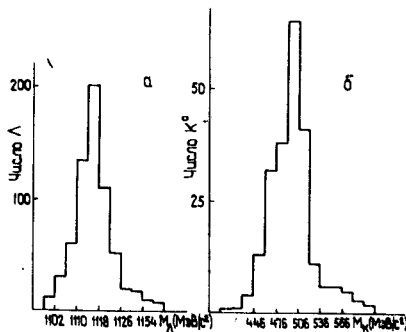


Рис.7. Распределения эффективных масс для  $\Lambda$ -гиперонов /а/ и  $K^0$ -мезонов /б/.

соотношением  $p_0 \cos \theta^* = \sqrt{p_0^2 - p_t^2}$ , где  $p_0$  равно 100,45 МэВ/с для  $\Lambda$ -гиперона и 206 МэВ/с для  $K^0$ -мезона. Из условия изотропии углового распределения следует, что распределение по поперечному импульсу имеет вид;

$$F(p_t) = \frac{p_t}{2p_0 \sqrt{p_0^2 - p_t^2}}$$

На рис.6 приведены соответствующие распределения. Видно, что распределение для неоднозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц не соответствует этой формуле, если считать их  $K^0$ -мезонами. Для каждой частицы была определена вероятность иметь данное значение поперечного импульса для обеих гипотез. Оказывается, что вероятность для  $\Lambda$ -гиперона более чем в 4 раза выше, чем для  $K^0$ -мезона у всех неоднозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц, а для 86% частиц - в 5 раз выше.

Для проверки правильности методики были построены распределения по эффективной массе для  $\Lambda$ -гиперонов и  $K^0$ -мезонов/рис.7/, которая вычислялась по измеренным значениям импульсов и углов. Средние значения для соответствующих масс равны:

$$\langle M_\Lambda \rangle = 1116,1 \pm 0,6 \text{ МэВ/с}^2,$$

$$\langle M_K \rangle = 495,4 \pm 3,6 \text{ МэВ/с}^2.$$

Была сделана оценка времени жизни для  $\Lambda$ -гиперона и  $K^0$ -мезона методом максимума правдоподобия с использованием S-функции Бартлетта<sup>4</sup>. Использование этой функции лежит в основе метода получения оценок для одного параметра. Она имеет нулевое среднее и единичную дисперсию. Решение уравнения  $S(\lambda)=0$  дает оценку параметра  $\lambda$ , а доверительный интервал определяется из уравнения  $S(\lambda) = \pm 1, \pm 2$  и т.д.

Функция Бартлетта для определения времени жизни  $V^0$ -частицы имеет вид<sup>5</sup>:

$$S(\lambda) = \sum_i \left[ 1 - \lambda t_i + \frac{\lambda(\alpha e^{-\lambda\alpha} - \beta e^{-\lambda\beta})}{e^{-\lambda\alpha} - e^{-\lambda\beta}} \right] \times \\ \times \left\{ \sum_i \left[ 1 - \frac{\lambda^2(\alpha-\beta)^2 \exp(-\lambda\alpha - \lambda\beta)}{(e^{-\lambda\alpha} - e^{-\lambda\beta})^2} \right] \right\}^{-1/2},$$

где  $\tau = 1/\lambda$  - время жизни,  $\alpha(\beta)$  - время пролета, соответствующее минимальному /максимальному/ расстоянию до звезды  $L_{\min}$  ( $L_{\max}$ ),  $t_i$  - время пролета для  $i$ -й частицы. В таблице приведены значения времени жизни для  $\Lambda$ -гиперона и  $K^0$ -мезона при различных значениях  $L_{\min}$  и  $L_{\max}$ .

Полученные значения масс и времен жизни в пределах погрешностей согласуются с табличными<sup>6</sup>. Это свидетельствует об отсутствии значительных систематических погрешностей в методике обработки событий с нейтральными странными частицами.



Таблица

| Частица   | $L_{\min}$ /см/ | $L_{\max}$ /см/ | $(\tau \pm \sigma) \cdot 10^{-10}$ с |
|-----------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
| $K^0$     | 1,5             | 30              | $0,906 \pm 0,076$                    |
|           | 1               | 30              | $0,953 \pm 0,076$                    |
|           | 1               | 20              | $0,933 \pm 0,086$                    |
|           | 1,5             | 20              | $0,871 \pm 0,082$                    |
| $\Lambda$ | 1,5             | 30              | $2,668 \pm 0,094$                    |
|           | 0,5             | 40              | $2,738 \pm 0,090$                    |
|           | 1,5             | 40              | $2,565 \pm 0,081$                    |

В заключение авторы благодарят проф. М.И.Соловьева за содействие и группу пропановой камеры за получение фотографий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Balandin M. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1963, 20, p.110.
2. Розенфельд А., Хамфри У. УФН, 1965, 86, с.141.
3. Barreiro F. et al. Phys.Rev., 1978, 17D, p.669.
4. Bartlett M. Phil.Mag., 1953, 350, p.249.
5. Clayton E.F. et al. Nucl.Phys., 1975, 95B, p.130.
6. Review of Particle Properties. CERN, Geneva, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 сентября 1982 года.

Аракелян С.Г. и др.

1-82-683

Некоторые методические вопросы обработки событий с  $V^0$ -частицами в пузырьковой пропановой камере, облученной ядрами углерода

Рассмотрена методика отбора, измерения и идентификации событий с образованием  $V^0$ -частиц во взаимодействиях ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон. Рассматривается точность измерения параметров заряженных частиц; относительная среднеквадратичная ошибка в определении импульса составляет  $9,2 \pm 0,1\%$  для вылетающих из камеры и  $3,0 \pm 0,6\%$  - для останавливающихся в ней частиц. Описывается идентификация  $V^0$ -частиц. Показано, что  $\chi^2$ -распределение с масштабным множителем  $\alpha = 0,8$  хорошо согласуется с теоретическим для трех степеней свободы. Проведено разделение гипотез для неоднозначно идентифицированных  $V^0$ -частиц. Определены средние значения эффективных масс для  $\Lambda$ -гиперонов и  $K^0$ -мезонов. Проведена оценка времени жизни для этих частиц. Полученные значения хорошо согласуются с табличными.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Arakelian S.G. et al.

1-82-683

Some Methodical Problems of Processing Events with  $V^0$ -Particles in the Propane Bubble Chamber Exposed to Carbon Nuclei

Methodical problems of selection, measurement and identification of events with the production of  $V^0$ -particles in interactions of carbon nuclei with  $pc = 4.2$  GeV/u momentum are investigated. The accuracy of measurement of charged particle parameters are considered, relative root-mean-square error in determination of momentum is equal to  $9.2 \pm 0.1\%$  for non-stopped particles and  $3.0 \pm 0.6\%$  for particles stopped in the chamber. The identification of  $V^0$ -particles is described. It is shown that the  $\chi^2$ -distribution with the scale coefficient  $\alpha = 0.8$  is in good agreement with theoretical form for 3 degrees of freedom. Selection of hypotheses for ambiguously identified  $V^0$ -particles was carried out. Mean values of  $\Lambda$ -hyperon and  $K^0$ -meson effective masses are determined and their lifetimes are estimated. The obtained values are in good agreement with the tabular ones.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.