

226/83



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

10/1-83

1-82-679

А.А.Байрамов, Ш.Валкар, А.М.Дворник, А.А.Маилов

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
С МЕТРОВОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ

1982

В данной работе освещаются некоторые методические вопросы, связанные с исследованием адрон-ядерных взаимодействий с помощью однометровой пузырьковой камеры ПК-200 ЛЯП ОИЯИ, заполненной пропан-фреоновой смесью $C_3H_8 + CF_3Br$.

ПК-200 была создана в начале 60-х годов для исследований в пучках вторичных частиц синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ и размещена внутри электромагнита ИК-3-4 с напряженностью магнитного поля $H = 1,7$ Т. Установка использовалась для экспериментов на пучке π^- -мезонов со средним значением импульса $5,00 \pm 0,02$ ГэВ/с. Полная статистика обработанных неупругих пион-ядерных событий составляет 7500 взаимодействий.

1. АППРОКСИМАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПК-200

В программах геометрической реконструкции событий магнитное поле может быть задано как в виде таблицы, так и аналитически /аппроксимация поля полиномом/. В случае табличного представления компоненты поля задаются в узлах пространственной решетки^{1/} с постоянным /программы 1-6, 1-8/ или переменным шагом /ГЕОФИТ/^{2/}, а промежуточные значения напряженности магнитного поля определяются методом линейной интерполяции. Однако такой табличный метод требует значительного объема памяти ЭВМ. В работе^{3/} карты магнитного поля были заменены коэффициентами полиномов, что привело к увеличению скорости счета, но алгоритм расчета довольно громоздкий. Нам удалось в версии программы ГЕОФИТ для ПК-200 создать быстродействующий алгоритм для расчета магнитного поля.

Для ПК-200 результаты измерений Z -компоненты магнитного поля в магните ИК-3-4 аппроксимированы полем двух параллельных прямоугольных токовых витков, находящихся в горизонтальных плоскостях на расстоянии $Z = 114$ см. Значения Z -компоненты магнитного поля H_z измерялись с шагом $(\Delta x, \Delta y, \Delta z) = 5, 10, 5$ см в $17 \times 11 \times 13$ точках, из которых $11 \times 11 \times 9 = 1089$ точек находились в рабочем объеме камеры. Магнитное поле ИК-3-4 в объеме камеры достаточно однородно: $\Delta H_z / H_z \sim 5\%$, что позволило нам воспользоваться точным аналитическим выражением для магнитного поля прямоугольного токового витка. Это выражение для Z -компоненты поля предельно простое, и программа, использованная нами для расчета магнитного поля, является быстродействующей.

В случае поля, направленного поперек прямоугольного витка, можно, используя значение поля для отдельных сторон прямоуголь-

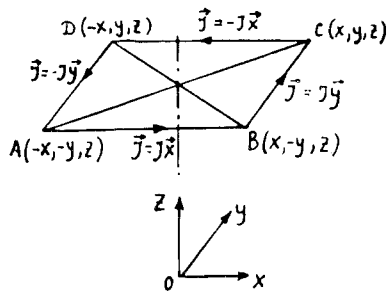


Рис.1. Система координатных осей, связанная с витком, и система координат, выбранная при измерении магнитного поля в камере.

ника, получить выражение для результирующего магнитного поля /4/. Система координатных осей, связанная с витком, совпадает с системой координат, выбранной при измерении магнитного поля в камере /рис.1/. Напряженность магнитного поля в любой точке, создаваемая бесконечно малым элементом тока, определяется из формулы Био-Савара-Лапласа

где $d\vec{J}$ - элемент тока, $\vec{\rho}$ - радиус-вектор, соединяющий текущую точку с произвольно взятой точкой пространства.

$$\vec{H} = \oint \frac{d\vec{J} \times \vec{\rho}}{\rho^3},$$

Отрезок АВ создает в начале координат поле, равное

$$\vec{H}_{AB} = 2 \int_0^x \frac{d\vec{J} \times \vec{\rho}}{\rho^3}, \quad /1/$$

$$d\vec{J} = \vec{j} dx, \quad \vec{\rho} = -(\vec{i}x - \vec{j}y + \vec{k}z), \quad \rho = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad /2/$$

Подставляя /2/ в /1/, получаем

$$\vec{H}_{AB} = 2J(\vec{k}y + \vec{j}z) \frac{x}{(y^2 + z^2) \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}},$$

или

$$H_{AB}^x = 0, \quad H_{AB}^y = 2J \frac{xz}{(y^2 + z^2) \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \quad H_{AB}^z = 2J \frac{xy}{(y^2 + z^2) \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}.$$

Аналогично вычисляем поля, создаваемые отрезками ВС, СД, ДА в начале координат. В результате получаем выражение для поля, создаваемого в начале координат прямоугольным токовым витком:

$$|\vec{H}| = H_{AB}^x + H_{AB}^y + H_{AB}^z + H_{BC}^x + H_{BC}^y + H_{BC}^z + H_{CD}^x + H_{CD}^y + H_{CD}^z + H_{DA}^x + H_{DA}^y + H_{DA}^z =$$

$$= 4J \left[\frac{y}{y^2 + z^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} + \frac{x}{x^2 + z^2} \cdot \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \right] = H_z^{(1)}.$$

Суммарное H_z от двух витков будет равно:

$$H_z = \sum_{i=1}^2 H_z^{(i)}.$$

Программа для расчета H_z написана на ФОРТРАНе в виде подпрограммы-функции MACFIL (x, y, z, L), где x, y, z - декартовы координаты точки $A(x, y, z)$, в которой вычисляется поле; L - число токовых витков. Для вычисления магнитного поля используется формула

$$H_z = \sum_{i=1}^2 A_i \frac{(x'_i - A_{i+4})(y'_i - A_7)}{\sqrt{(x'_i - A_{i+4})^2 + (y'_i - A_7)^2 + (z'_i - A_{i+2})^2}} \times$$

$$\times \left[\frac{1}{(x'_i - A_{i+4})^2 + (z'_i - A_{i+2})^2} + \frac{1}{(y'_i - A_7)^2 + (z'_i - A_{i+2})^2} \right].$$

Здесь $x'_i = x - A_{i+7}$, $y'_i = y - A_{i+9}$, $z'_i = z$.

Параметры $A_l / l = 1, 11$ были определены с помощью программ FUMILI и MINUIT минимизацией функционала

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{1089} \left[\frac{H_z^{\text{ЭКСП.}}(x, y, z) - H_z^{\text{ТЕОР.}}(x, y, z)}{\Delta H_z^{\text{ЭКСП.}}} \right]^2,$$

где $\Delta H_z^{\text{ЭКСП.}} = 0,005 H_z$.

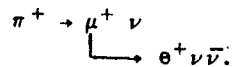
Анализ ~ 1000 медленных треков / $P \leq 0,6$ ГэВ/с/, обчисленных по программе ГЕОФИТ, показал, что задание X-компоненты магнитного поля $0 < H_x < 1$ кГс является превышением необходимой точности.

Прогиб измеренных треков в Z-направлении с $S_z \leq 1$ мм, обусловленный X-компонентой магнитного поля, находится вне пределов экспериментального разрешения.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТ ПРОПАН-ФРЕОНОВОЙ СМЕСИ

Для надежной идентификации положительных треков необходимо иметь рассчитанные зависимости пробег-импульс для π^+ , K^+ -мезонов, протонов и дейтронов. Чтобы получить такие данные для пропан-фреоновой смеси, необходимо точно знать состав этой смеси /считаем, что кривые пробег-импульс для пропана и фреона мы знаем/. Воспользуемся соотношением пробег-энергия для пробега частицы известного сорта / μ -мезона/ с известной энергией /двух-частичный распад положительного пиона на мюон и нейтрино/.

Для решения этой задачи были отобраны 120 событий, в которых имелись вторичные π^+ -мезоны, остановившиеся в камере, с характерным распадом



Измерение таких событий дает возможность определить пробег μ -мезона, величина которого соответствует определенному процентному содержанию компонент смеси.

Найденные события были измерены на полуавтоматических измерительных устройствах и пропущены по программе геометрической реконструкции ГЕОФИТ. Длина пробега μ -мезона S_μ в программе вычислялась по формуле

$$S_\mu = \sqrt{(x_1 - x_n)^2 + (y_1 - y_n)^2 + (z_1 - z_n)^2},$$

где (x_1, y_1, z_1) и (x_n, y_n, z_n) - соответственно координаты первой и последней точки трека. Поправка на кривизну трека μ -мезона оказалась пренебрежимо малой ($\Delta S \approx 1 \mu$).

Среднее значение пробега μ -мезона получилось равным

$$\langle S_\mu \rangle = /0,329 \pm 0,006/ \text{ см.} \quad /1/$$

Пробег S_i для частицы i ($i = \mu, \pi, k$) с кинетической энергией T_i задается формулой

$$S_i(T_i) = \frac{m_i}{m_p} S_p \left(\frac{m_p}{m_i} T_i \right) F_i, \quad /2/$$

где m_i - масса i -й частицы, m_p - масса протона, $S_p \left(\frac{m_p}{m_i} T_i \right)$ - пробег протона с кинетической энергией $\frac{m_p}{m_i} T_i$. Для частиц, оставшихся в камере, $F_i = 1$. Как известно^{/5/}, пробег протона с кинетической энергией T_p в веществе с плотностью ρ выражается формулой

$$S = S_0 + \int \frac{dT_p}{\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx}}, \quad /3/$$

где S_0 - пробег протона с энергией $T_0 = 2 \text{ МэВ}$, $\frac{dE}{dx}$ - ионизационные потери протона.

Пробег частицы в веществе, которое состоит из n компонент, с хорошей точностью выражается формулой^{/5/}

$$\frac{1}{S} = \sum_{i=1}^n \frac{f_i}{S_i}, \quad /4/$$

где f_i - весовая доля каждой из компонент смеси, S_i - пробег частицы для i -й компоненты.

Используя выражения /2/ ÷ /4/, получаем график зависимости пробега μ -мезона S_μ от концентрации фреона в пропан-фреоновой смеси /рис.2/.

Таким образом, на основе полученного среднего значения пробега μ -мезона и зависимости на рис.2 получаем значения процентного весового содержания компонент пропан-фреоновой смеси:

$$f_{C_3F_8} = /29 \pm 3/ \% \quad \text{и} \quad f_{C_3H_8} = /71 \pm 3/ \%$$

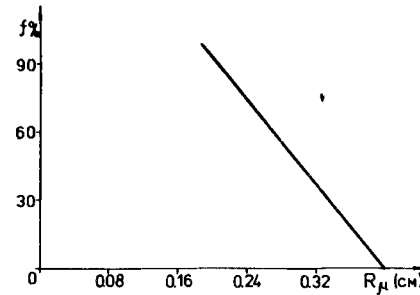


Рис.2. График зависимости пробега μ -мезона R_μ ($S_\mu \approx R_\mu$) от концентрации фреона в пропан-фреоновой смеси.

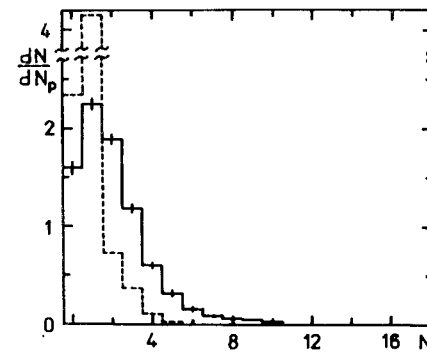
III. СТАТИСТИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ЯДРАХ УГЛЕРОДА, ФТОРА И БРОМА

Наши экспериментальные данные для случая пропан-фреоновой экспозиции относятся к реакциям на смеси ядер ^{12}C , ^{19}F , ^{80}Br . Мы попытались получить сведения о множественном рождении частиц на каждом из ядер в отдельности. Метод основан на том, что ядра ^{12}C , ^{19}F и ^{80}Br отличаются по атомному весу, соответственно этому различаются и распределения случаев по числу вторичных протонов для этих ядер. Действительно, средняя множественность протонов в глубоконеупругих ядерных реакциях резко зависит от $A^{1/3}$. Кроме этого, распределение по их числу хорошо описывается распределением Пуассона^{/7,8/}

$$P(n, \lambda) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!},$$

где λ - средняя множественность протонов для данного ядра, n - число протонов в данном событии.

На рис.3 представлены распределения по числу протонов для взаимодействий в пропан-фреоновой смеси и, для сравнения, для событий на пропане.



Распределение по числу протонов для событий в пропан-фреоновой смеси аппроксимировалось в виде суммы трех распределений Пуассона с четырьмя свободными параметрами^{/9/}.

Рис.3. Распределение по числу протонов для взаимодействий в пропан-фреоновой смеси /сплошная гистограмма/ и в пропане /пунктирная гистограмма/.

$$N(n_p) \sim [W_1 \mathcal{P}(n_p, \lambda_C) + W_2 \mathcal{P}(n_p, \lambda_F) + (1 - W_1 - W_2) \mathcal{P}(n_p, \lambda_{Br})], \quad /1/$$

где W_1 и W_2 - относительные доли случаев реакций на ядрах ^{12}C и ^{19}F ; λ_C , λ_F и λ_{Br} - средние множественности протонов для ядер ^{12}C , ^{19}F , ^{80}Br соответственно; $\lambda_C = 1,06 \pm 0,01$.

В результате подгонки выражения /1/ под экспериментальную кривую на рис.3 получены следующие значения параметров:

$$W_1 = 0,63 \pm 0,03, \quad W_2 = 0,31 \pm 0,03, \\ \lambda_F = 2,15 \pm 0,07, \quad \lambda_{Br} = 6,6 \pm 0,3.$$

Критерий согласия на степень свободы $\chi^2 = 0,9$. Относительная доля случаев взаимодействий на ядрах ^{80}Br будет равна:

$$W_3 = 1 - W_1 - W_2 = 0,06 \pm 0,04.$$

Значение величины W_3 занижено из-за относительно низкой эффективности регистрации протонов в многолучевых событиях, вследствие чего происходит "перекачка" доли событий на ядрах брома к доле событий на ядрах фтора. На рис.4 представлены зависимости R_C , R_F и R_{Br} от n_p , где

$$\begin{cases} R_C = \frac{W_1 \mathcal{P}(n_p, \lambda_C)}{W_0} \\ R_F = \frac{W_2 \mathcal{P}(n_p, \lambda_F)}{W_0} \\ R_{Br} = \frac{W_3 \mathcal{P}(n_p, \lambda_{Br})}{W_0} \end{cases}, \quad W_0 = W_1 \mathcal{P}(n_p, \lambda_C) + W_2 \mathcal{P}(n_p, \lambda_F) + W_3 \mathcal{P}(n_p, \lambda_{Br}).$$

Это веса, с которыми каждое событие должно быть отнесено к случаям реакций на углероде, на фторе и на бrome /с учетом смеси ядер в камере/ в зависимости от числа вторичных протонов.

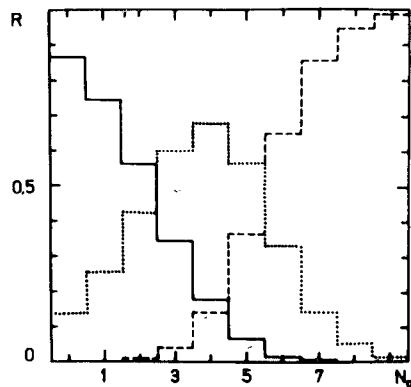


Рис.4. Зависимость весов, с которыми каждое событие должно быть отнесено к случаям реакций на углероде /сплошная гистограмма/, на фторе /точки/ и на бrome /пунктирная гистограмма/, от числа вторичных протонов.

ВЫВОДЫ

1. Найдена простая параметризация магнитного поля электромагнита ИК-3-4 в рабочем объеме камеры. Алгоритм вычисления всех трех компонент магнитного поля реализован в программе ГЕОФИТ.

2. Получены значения процентного весового содержания компонент пропан-фреоновой смеси:

$$f_{\text{C}_3\text{F}_8} = 29 \pm 3\%, \quad f_{\text{C}_3\text{H}_8} = 71 \pm 3\%.$$

3. Определены относительные доли случаев на ядрах ^{12}C , ^{19}F и ^{80}Br :

$$W_C = 0,63 \pm 0,03, \quad W_F = 0,31 \pm 0,03, \quad W_{Br} = 0,06 \pm 0,04.$$

4. Оценены средние множественности протонов при взаимодействии π^- -мезона с ядрами ^{19}F и ^{80}Br :

$$\langle n \rangle_F = 2,15 \pm 0,07, \quad \langle n \rangle_{Br} = 6,6 \pm 0,3.$$

Авторы выражают благодарность Ю.А.Будагову, В.Б.Флягину, Ю.Ф.Ломакину и Ю.Н.Харжееву за ценные советы и обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркова Н.Ф. и др. ОИЯИ, Р10-3768, Дубна, 1968.
2. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, 1-5140, Дубна, 1970.
3. Калинин П.А. Препринт ИФВЭ, 76-65, Серпухов, 1976.
4. Монтгомери Д. Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. "Мир", М., 1971.
5. Пузырьковые камеры /под ред. Н.Б.Делоне/. Госатомиздат, М., 1963.
6. Arefyev A.V. et al. Preprint ITER, 1978, No. 18.
7. Азимов С.А. и др. ЯФ, 1975, 22, с. 750.
8. Арефьев А.В. и др. Препринты ИТЭФ, 1975, №56; 1978, №51.
9. Лексин Г.А., Смирнитский А.В. Препринт ИТЭФ, 1978, №153.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 сентября 1982 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
Д17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
Д6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
Д3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XIII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Байрамов А.А. и др. 1-82-679
Некоторые методические вопросы обработки данных с метровой пузырьковой камеры

Выполнен ряд методических работ, связанных с исследованием адрон-ядерных взаимодействий с помощью однометровой пузырьковой камеры ПК-200 ЛЯП ОИЯИ, заполненной пропан-фреоновой смесью $C_3H_8 + CF_3Br$. Найдена простая параметризация магнитного поля электромагнита ИК-3-4 в рабочем объеме камеры. Получены значения процентного весового содержания компонент пропан-фреоновой смеси: $f_{CF_3Br} = 29 \pm 3\%$, $f_{C_3H_8} = 71 \pm 3\%$. Определены относительные доли случаев взаимодействий на ядрах ^{12}C , ^{19}F , ^{80}Br : $W_C = 0,63 \pm 0,03$, $W_F = 0,31 \pm 0,03$, $W_{Br} = 0,06 \pm 0,04$. Оценены средние множественности протонов при взаимодействии π^- -мезона с ядрами ^{19}F и ^{80}Br : $\langle n \rangle_F = 2,15 \pm 0,07$ и $\langle n \rangle_{Br} = 6,6 \pm 0,3$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Bayramov A.A. et al. 1-82-679
Some Methodical Problems of Processing Data from One Meter Propane Bubble Chamber

Methodical investigations connected with hadron-nuclear interactions were carried out by using PK-200 one-meter propane bubble chamber (JINR). It was filled with propane-freon mixture $C_3H_8 + CF_3Br$. A simple parametrization of magnetic field of IK-3-4 electromagnet in chamber's effective volume has been found. Some values of percent weight content of components of propane-freon mixture are determined: $f_{CF_3Br} = (29 \pm 3)\%$, $f_{C_3H_8} = (71 \pm 3)\%$. Relative parts of cases on ^{12}C , ^{19}F , ^{80}Br : $W_C = 0,63 \pm 0,03$, $W_F = 31 \pm 0,03$, $W_{Br} = 0,06 \pm 0,04$. Proton average multiplicities at the interaction of π^- -meson with ^{19}F and ^{80}Br nuclei are estimated: $\langle n \rangle_F = 2,15 \pm 0,07$, $\langle n \rangle_{Br} = 6,6 \pm 0,3$.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.