

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

373 / 83

12/1-83

P10-82-690

Э.Мулас, Л.С.Охрименко, Б.Словинский*

ПРОСТОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ
И УГЛОВ ЭМИССИИ ПРОТОНОВ,
РЕГИСТРИРУЕМЫХ В ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕРАХ,
НАПОЛНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ ЖИДКОСТЯМИ

* Институт физики Варшавского технического университета

1982

Определение энергии и углов эмиссии вторичных частиц, испускаемых в ядерных взаимодействиях, которые регистрируются в ряде следовых детекторов, является, как правило, весьма трудоемкой задачей. Вместе с тем эти детекторы, и в особенности пузырьковые камеры, наполненные тяжелыми жидкостями, играют весьма существенную роль при изучении множественного образования частиц в области промежуточных и высоких энергий. Оказывается, что в некоторых случаях задачу определения энергии и направления вылета вторичных частиц можно упростить без заметного уменьшения точности измерений. При этом, как правило, достигается выигрыш во времени получения окончательных результатов. В настоящем сообщении приведено описание простого планиметрического метода /ПМ/ определения длин L пробегов и углов θ эмиссии вторичных протонов, регистрируемых на снимках с ксеноновых пузырьковых камер /далее: КПК/, работающих без магнитного поля.

1. ДЛИНЫ ПРОБЕГА ПРОТОНОВ

Как было нами показано ранее путем моделирования траектории протонов с энергией $E = 22 \div 244$ МэВ в жидком ксеноне ^{/1/}, отношение $x = R/L$ имеет весьма узкое распределение с максимумом вблизи среднего значения $\bar{x} = 0,9606$ и среднеквадратичным отклонением для спектра, просуммированного по E , $s_{\bar{x}} = 0,007$. Здесь R - отрезок в пространстве, соединяющий точку взаимодействия /ТВ/ и точку остановки протона, L - длина пробега протона. Было также установлено, что функция плотности распределения $W(x, x_0)$ величины x может быть описана с помощью нормальных распределений:

$$W(x, x_0) = \begin{cases} p N(x_0, \sigma_1^2), & x \leq x_0, \\ p N(x_0, \sigma_2^2), & x > x_0, \end{cases} \quad /1/$$

где $p = \sqrt{\frac{2}{\pi}} (\sigma_1 + \sigma_2)^{-1}$, и средние значения параметров p, x_0, σ_1 и σ_2 , усредненные по всему изученному энергетическому интервалу протонов, равны ^{/1/}

$$\bar{p} = 0,295 \pm 0,004, \quad \bar{x}_0 = 0,9626 \pm 0,0002, \\ \bar{\sigma}_1 = 80 \pm 1 / \cdot 10^{-4}, \quad \bar{\sigma}_2 = 55 \pm 1 / \cdot 10^{-4}.$$

Итак, измерив длину отрезка R для данного конкретного следа протона и воспользовавшись распределением /1/, можно оценить истинную длину L пробега этого протона. Благодаря малой ширине

Она, ...
де, ...

распределения $W(x, x_0)$ ($\sigma_x/\bar{x} \approx 0,007$), можно с практически удовлетворительной точностью $\sim 1\%$ положить, что

$$L = R/\bar{x}. \quad /2/$$

Далее, кинетическую энергию E протона можно получить из соотношения пробег-энергия:

$$E = A [1 + \beta (L - L_0)] L^a, \quad /3/$$

где для жидкого ксенона

$$A = 33,51, \quad a = 0,58, \quad \beta = \begin{cases} 0, & L < L_0, \\ 8,46 \cdot 10^{-3}, & L > L_0. \end{cases}$$

$L_0 = 14,32$, L и L_0 выражены в см, E - в МэВ². На основании функции $W(x, x_0)$ распределения плотности вероятности величины x и соотношения /3/ оценена по методу переноса ошибок точность определения кинетической энергии E протонов в интервале значений E , представляющем основной практический интерес. В табл.1 приведены соответствующие численные данные для суммарной среднеквадратичной ошибки σ_E определения энергии E . При этом учтены ошибки в определении координат точек начала и конца следа частицы, дисперсия распределения $W(x, x_0)$:

$$\sigma_x^2 \approx \frac{\sigma_1^3 + \sigma_2^3}{\sigma_1 + \sigma_2} \quad /4/$$

и страгглинг, относительная величина которого составляет $\sigma_0/E \approx 1 \div 2\%$.

Следует отметить, что относительная точность σ_E/E определения энергии протонов в КПК, когда длина пробега протонов измеряется на микроскопе УПМ-21 или ПУОСе по методу соответственных точек, в среднем не ниже 3%. Необходимо также подчеркнуть, что применение традиционных методов определения L как по соответственным, так и по несоответственным точкам /например /3/ / влечет за собой систематическую недооценку E на $\sim 4\%$. Значение этой систематической ошибки было получено путем экспериментального определения распределения $W(x, x_0)$, когда длина пробега L измерялась этими методами /1/.

Таблица 1

Значения среднеквадратичной ошибки σ_E определения кинетической энергии E протонов, регистрируемых в КПК /пробег протона определяется по длине отрезка R и далее по соотношениям /2/ и /3/

E /МэВ/	40	70	120
σ_E /МэВ/	4,9	3,3	2,7
σ_E/E	0,12	0,05	0,02

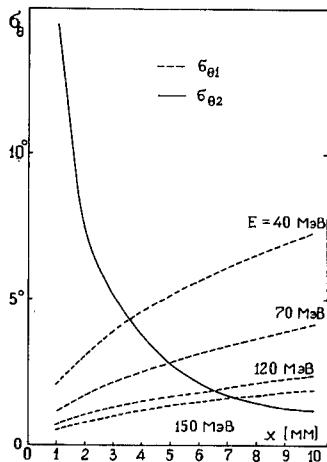
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВ ЭМИССИИ

Наряду с энергией угол эмиссии является одной из основных характеристик вторичных частиц, определение которой в КПК нередко связано со значительными трудностями. Это относится к следующим частицам, регистрируемым в КПК: протоны с энергией $40 \div 150$ МэВ, заряженные π -мезоны с энергией $10 \div 70$ МэВ и гамма-кванты, конвертирующие вблизи ТВ. Сущность этих трудностей в случае заряженных частиц, особенно π -мезонов и медленных протонов, состоит в определении касательной к проекциям следа частицы в точке взаимодействия: толщина следа может заметно исказить результаты измерений направления полета, когда это направление определяется по близко лежащим точкам. В случае гамма-квантов аналогичные трудности выступают главным образом при энергиях $E_\gamma \geq 500$ МэВ, когда длины конверсии x_k относительно малы. В любом же случае углы эмиссии доли

$$P = 1 - e^{-\mu(E_\gamma) x_k} \quad /5/$$

гамма-квантов с энергией E_γ , имеющих длину конверсии x , меньше некоторого критического значения $x_{k \approx 3 \div 5}$ мм, определяются ненадежно и, как правило, плохо; здесь $\mu(E_\gamma)$ - коэффициент поглощения /4/.

Чтобы избежать указанных трудностей, углы эмиссии вторичных заряженных частиц и гамма-квантов, для которых $x \leq x_k$, определялись планиметрическим методом и, в частности, по так называемому методу фиктивной точки /ФТ/. Суть этого метода сводится к следующему. В плоскости обеих проекций проводятся касательные к следу частицы в ТВ. Затем, на одной из касательных, на расстоянии $x \approx 3$ см от ТВ фиксируется постулативным образом точка, координаты которой измеряются на этой проекции следа. На второй проекции координаты этой точки восстанавливаются с учетом оптических искажений объективов фотоаппаратов КПК как соответствующей точки, лежащей на касательной к следу на данной проекции изображения /например /3/ /. По координатам проекций этой ФТ, а также ТВ и направлению следа первичной частицы, вычисляется угол θ эмиссии протона. Остается еще определить оптимальную длину x_0 проекции отрезков траектории частицы, по которым проводятся касательные к траектории в ТВ. Естественно, что чем больше x_0 , тем меньше дисперсия σ_{θ_1} угла θ , обусловленная неточностью в определении координат ФТ. Но при этом возрастает дисперсия σ_{θ_2} , связанная с многократным кулоновским рассеянием заряженной частицы в веществе. Оказывается, что для жидкого ксенона равенство $\sigma_{\theta_1} \approx \sigma_{\theta_2}$ выполняется тогда, когда x заключено в интервале значением $3 \div 8$ мм, в зависимости от кинетической энергии E протона. На рисунке приведена зависимость от x дисперсии σ_{θ_1} , а также дисперсии σ_{θ_2} для четырех значений E . Не трудно заметить, что разумно определять направление касательных



Зависимость дисперсии σ_{θ} , угла θ эмиссии протонов с энергией E от глубины x проникновения в жидком ксеноне: σ_{θ_1} - дисперсия, обусловленная пространственными размерами пузырьков точки взаимодействия и точки, по которой проводится касательная к следу протона; σ_{θ_2} - дисперсия, вызванная многократным кулоновским рассеянием.

к проекциям траектории частицы в ТВ по начальным отрезкам, длина которых не превышает $x_0 \approx 3 \div 8$ мм, в зависимости от данного значения энергии E протона. Выбор же конкретного значения величины $x_t \approx 3$ см основан на том, что при $x_t \geq 3$ см дисперсия σ_{θ} остается приблизительно постоянной, в то время

как при расстояниях, больших 3 см, существенно возрастают искажения, вносимые оптической системой камеры. Следовательно, целесообразно принять, что $x_t \approx 3$ см. В случае гамма-квантов, длина конверсии которых меньше некоторого критического значения, направление полета можно определить как направление вдоль оси создаваемых ими ливней. Такую ось, как правило, нетрудно провести уже при энергии гамма-квантов $E_{\gamma} \geq 100$ МэВ.

Для оценки точности метода ФТ воспользуемся величиной суммарной дисперсии $\sigma_{\theta}^2 = \sigma_{\theta_1}^2 + \sigma_{\theta_2}^2$, численные значения которой приведены в табл.2.

Следует отметить, что аналогичные ошибки, соответствующие измерениям на микроскопе по методу соответственных и несоответственных точек, не превышают 5°.

Обсуждаемый в данной работе ПМ восстановления углов эмиссии частиц проверялся на выборке 8 пар гамма-квантов, зарегистрированных в виде электронно-фотонных ливней на снимках с КПК. По условиям отбора, во-первых, источником пары гамма-квантов в каждом событии являлся π^0 -мезон, поэтому эффективные массы пар гамма-квантов должны совпадать, в пределах ошибок измерений, с массой покоя π^0 -мезона. Во-вторых, результаты измерений, выполненных на микроскопе, оказались искаженными из-за трудностей в определении точки конверсии гамма-квантов, лежащей на близком расстоянии от ТВ. Среднее значение эффективной массы пары гамма-квантов для этой выборки, когда углы эмиссии определялись на микроскопе, равно $\bar{m}_{\gamma\gamma}(M) = 106,9 \pm 46,5$ МэВ. Применение же ПМ измерения углов, и, в частности, метода ФТ, ведет к следующему результату: $\bar{m}_{\gamma\gamma} / \text{ПМ} = 136,5 \pm 35,4$ МэВ. Если сравнить эти средние значения по критерию Стьюдента /соответствующие генеральные совокупности можно считать нормальными, выборки зависимые/, то

Таблица 2

Значения суммарной дисперсии σ_{θ} распределения углов θ эмиссии протонов с энергией E , когда θ изменяется по методу ФТ

E /МэВ/	40	70	120
σ_{θ}	5,6°	4,6°	4,2°

оказывается, что при уровне значимости 0,02 результаты измерений на микроскопе и ПТ различаются значимо. Другими словами, ПМ, и, в частности, метод ФТ, статистически значимо улучшает результаты измерений углов эмиссии, выполненных на микроскопе в условиях сложной топографии следов.

ВЫВОДЫ

Выполненные в настоящей работе исследования возможности определения пробегов протонов с энергией 40 ÷ 120 МэВ и углов эмиссии протонов и гамма-квантов планиметрическим методом на стереоснимках ксеноновых пузырьков камер, дают основание сделать следующие выводы:

1. Относительная ошибка в определении длины пробега протонов не превышает 12% и быстро уменьшается при возрастании энергии протонов. Эта ошибка соизмерима в среднем с соответствующей ошибкой измерения на микроскопе длины пробегов протонов, вычисляемых как сумма длин прямолинейных отрезков, проводимых по точкам на следе, когда координаты этих точек определяются как соответствующие или несоответствующие.

2. Ошибка в определении углов эмиссии протонов по методу фиктивной точки не более 6°, и приблизительно совпадает с соответствующей ошибкой, характеризующей метод как несоответственных, так и соответственных точек, когда измерения выполняются на микроскопе. Однако в ряде случаев с особенно сложной конфигурацией следов планиметрический метод, и, в особенности, метод фиктивной точки, является единственным, при помощи которого можно получить разумные результаты.

3. Планиметрический метод определения длин пробегов и углов эмиссии вторичных частиц дает заметный выигрыш во времени получения окончательных результатов при решении ряда физических задач и уменьшает возможность появления грубых ошибок, связанных с неправильной интерпретацией событий. Этот метод можно применить и в других следовых детекторах, использующих в качестве регистрирующего вещества тяжелые жидкости и экспонируемых без магнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мулас Э. и др. ОИЯИ, 10-80-612, Дубна, 1980.
2. Канарек Т., Стругальский З. ОИЯИ, 1-3320, Дубна, 1967.
3. Словинский Б., Томашевич А. ОИЯИ, P10-7358, Дубна, 1973.
4. Охрименко Л.С. и др. ОИЯИ, P13-3918, Дубна, 1968.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

D13-11182	Труды IX Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1977.	5 р. 00 к.
D17-11490	Труды Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1977.	6 р. 00 к.
D6-11574	Сборник аннотаций XV совещания по ядерной спектроскопии и теории ядра. Дубна, 1978.	2 р. 50 к.
D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	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.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII 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.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 октября 1982 года.

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

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Мулас Э., Охрименко Л.С., Словинский Б. P10-82-690
Простой метод определения энергии и углов эмиссии протонов, регистрируемых в пузырьковых камерах, наполненных тяжелыми жидкостями

Предложен простой планиметрический метод /ПМ/ определения длины L пробега и углов θ эмиссии протонов, регистрируемых на стереоснимках с ксеноновых пузырьковых камер. Показано, что точность этого метода в среднем приблизительно такая же, как и в случае измерения L и θ на микроскопе по методу несоответственных и соответственных точек. ПМ дает возможность избежать грубых ошибок в событиях со сложной конфигурацией следов вторичных частиц и дает заметный выигрыш во времени получения окончательных результатов при решении ряда физических задач.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ и Институте физики Варшавского технического университета.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Mulas E., Okhrimenko L.S., Słowinski B. P10-82-690
Simple Method of Energy and Emission Angles Determination of Protons Registered in Bubble Chambers Filled with Heavy Liquides

The simple planimetric method (PM) for range L and emission angle θ determination of protons registered on stereopictures on xenon bubble chambers is proposed. It is shown that the accuracy of this method is approximately the same in average as when measurements of L and θ are made using the microscope according to the corresponding and in corresponding points method. The PM permits to avoid rough errors in events having complicated configuration of secondary particle tracks and gives a chance to gain time in obtaining final results in some physical problems resolution.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation and the Physical Institute of the Warsaw Technical University.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.