

## Работа 5.19

### Определение масс и времени жизни элементарных частиц

**Оборудование:** измерительный микроскоп, фотографии следов распада.

#### Введение

Характерной особенностью элементарных частиц является их взаимопревращение — *рождение* и *распад*. Если при рождении или распаде выполняются законы сохранения, соответствующие сильному взаимодействию, то процесс происходит быстро, за ядерное время ( $10^{-23} — 10^{-22}$ ) с. Если законы сохранения соответствуют слабому взаимодействию, то процессы распада происходят медленно ( $\sim 10^{-10}$  с).

Часто встречаются распады, происходящие по следующим схемам:

- 1)  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ ;
- 2)  $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ ;
- 3)  $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ .

Суммарный заряд продуктов распада должен быть равным заряду распадающейся частицы. Для трековых приборов, работающих в магнитном поле, знаки зарядов частиц легко определить по кривизне следов. Если магнитное поле отсутствует, то знак заряда  $\pi^-$ -мезона, например, можно установить по следующим признакам: положительный пион распадается по схеме  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$ , а отрицательный захватывается ядром рабочего вещества.

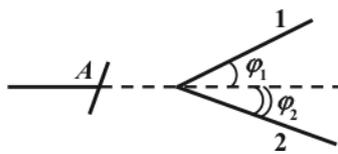


Рис. 5.47

Результатом закона сохранения импульса при распаде является условие *компланарности* следов частиц. На рис. 5.47 схематически показано образование и распад нейтральной частицы на две заряженные.

Пунктиром обозначено направление полета частицы, сплошными линиями следы заряженных частиц. Условие компланарности в этом случае требует, чтобы точка образования нейтральной частицы (*A*) лежала в плоскости, образованной направлениями полета продуктов распада (линии 1 и 2). Проверка условия компланарности позволяет отбросить случаи, не принадлежащие к распадам 2 и 3. Для того чтобы отнести исследуемый процесс к типу распада 2 или 3, необходимо определить природу вторичных частиц, т. е. установить, является ли положительно заряженная частица протоном или  $\pi^+$ -мезоном.

Распад на две частицы должен удовлетворять следующим равенствам:

$$p_1 \cos \varphi_1 + p_2 \cos \varphi_2 = p, \quad (1)$$

$$p_1 \sin \varphi_1 = p_2 \sin \varphi_2, \quad (2)$$

$$\sqrt{(m_1 c^2)^2 + (p_1 c)^2} + \sqrt{(m_2 c^2)^2 + (p_2 c)^2} = \sqrt{(M c^2)^2 + (p c)^2}, \quad (3)$$

где  $M$  и  $P$  — масса и импульс распадающейся частицы;  $m_1, m_2, p_1, p_2$  — массы и импульсы вторичных частиц. Решение уравнений (1) — (3) позволяет определить массу и импульс распадающейся частицы. Измерение пробегов вторичных частиц дает возможность достаточно точно определить импульсы  $p_1$  и  $p_2$ .

Определение времени жизни частиц при помощи трековых приборов основано на измерении *длины пробега*, т. е. расстояния, которое пролетает частица от момента ее рождения до распада.

Если известны импульс частицы  $P$  и длина ее пробега  $L$ , то время жизни каждой отдельной нейтральной частицы в данной системе можно определить следующим образом:

$$t = \frac{LM}{p}. \quad (4)$$

Рабочим материалом для исследования служат фотографии, полученные в пузырьковой камере, в которую направлялся пучок  $\pi^-$ -мезонов. Большие размеры рабочего объема камеры позволяли регистрировать распады:

$$K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-; \Lambda \rightarrow p + \pi^-.$$

Для точного измерения длин пробегов частиц в работе используется измерительный микроскоп с ценой деления нониуса 0,01 мм.

## Порядок выполнения работы

1. Снимите копию треков частиц на прозрачную бумагу, отметьте точку рождения нейтральной частицы, точку ее распада, несколько точек на следах вторичных частиц и конечные точки этих следов.

2. Измерьте длину пробега  $L_3$  нейтральной частицы, длины следов продуктов распада  $L_{31}$  и  $L_{32}$ , углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  и с учетом масштаба  $L_m$  определите их истинные значения:  $L, L_1, L_2$  [ $L_i = (5L_3 / L_m)$  см]. Результаты запишите в таблицу:

№ п/п	$L_3$ , мм	$L_{31}$ , мм	$L_{32}$ , мм	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$L_m$ , мм	$L$ , мм	$L_1$ , мм	$L_2$ , мм
-------	------------	---------------	---------------	-------------	-------------	------------	----------	------------	------------

3. По кривым пробег — энергия  $E(L)$  (рис. 5.48) определите энергии вторичных частиц  $E_1$  и  $E_2$ , а по кривым энергия — импульс  $p(E)$  (рис. 5.49)

определите импульсы  $p_1$  и  $p_2$ . Чтобы окончательно установить природу вторичных частиц, проверьте выполнимость равенства (2) для значений  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

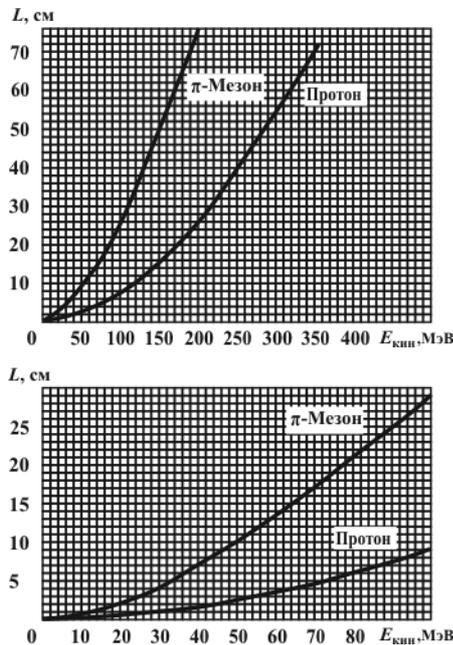


Рис. 5.48

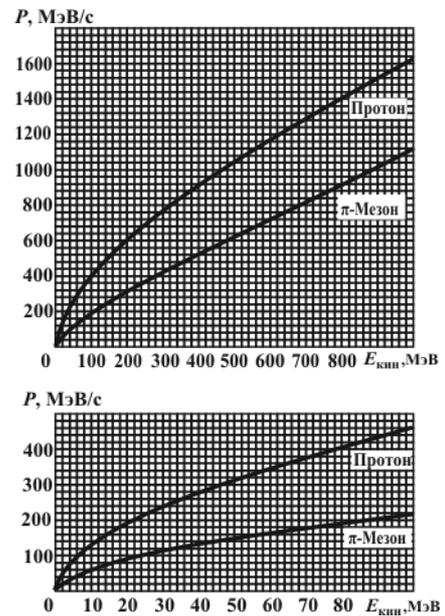


Рис. 5.49

4. Используя равенства (1) и (3), определите импульс  $p$  и массу  $M$  распадающейся нейтральной частицы. С помощью равенства (4) определите время жизни  $t$  этой частицы.

5. Результаты измерений запишите в таблицу:

№ п/п	Распад	Частица	$E_1$ , МэВ	$E_2$ , МэВ	$p_1$ , МэВ/с	$p_2$ , МэВ/с	$p_1 \sin \varphi_1 = p_2 \sin \varphi_2$	$p$ , МэВ/с	$M$ , МэВ	$t$ , с



### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные характерные особенности элементарных частиц.
2. Какие схемы распадов вы знаете? Запишите их.
3. Какие законы выполняются при взаимопревращениях элементарных частиц?
4. Что является результатом выполнимости закона сохранения импульса при распаде?
5. В чем заключается условие компланарности при распаде?

6. Назовите время жизни частицы, если распад происходит при сильном взаимодействии.

7. Каково время жизни частицы при слабом взаимодействии?

8. Назовите приборы, с помощью которых можно наблюдать следы частиц.

9. На измерении какого параметра основано определение времени жизни частицы?

10. Почему при измерении пробега частиц необходимо учитывать масштаб фотографии?