

МАГНИТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
КОЭФФИЦИЕНТА КОНВЕРСИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ПОЗИТРОНЫ

Л. З. Джилаян, А. В. Лелеков

УДК 539.914 : 621.384.668.83

Описан магнитный спектрометр на базе элементов широко распространенной анализирующей системы, имеющих захватываемые телесный угол $\Delta\Omega \approx 0,5 \cdot 10^{-4}$ ср и энергетический разброс $\Delta E/E = 1,3\%$ при низком уровне фона.

Одной из основных величин, характеризующих генерацию позитронов при бомбардировке толстых мишеней пучком электронов, является дифференциальный коэффициент конверсии электронов в позитроны, который определяется следующим образом:

$$K = I_+ / (I_- \Delta E_+ \Delta\Omega),$$

где I_+ - ток позитронов из конверторной мишени, имеющих полную энергию E_+ с абсолютным разбросом ΔE_+ и выходящих внутри телесного угла $\Delta\Omega$; I_- - ток электронов, бомбардирующих конверторную мишень.

Для измерения зависимости величины K от энергии электронов и позитронов, толщины и атомного номера вещества конверторной мишени необходим магнитный спектрометр с известной величиной $\Delta E_+ \Delta\Omega$. Характерными требованиями к спектрометру для исследования поведения величины K являются сравнительно большие значения захватываемых телесных углов и импульсов при относительно большой длине спектрометра, чтобы можно было надежно измерять слабые токи позитронов на выходе спектрометра при удовлетворительном соотношении "эффект/фон". В то же время из-за плавного характера зависимости $K(E_+)$ не требуется высокой разрешающей способности спектрометра. Это позволяет использовать сравнительно простые магнитные элементы и ограничиться в расчетах линейным приближением.

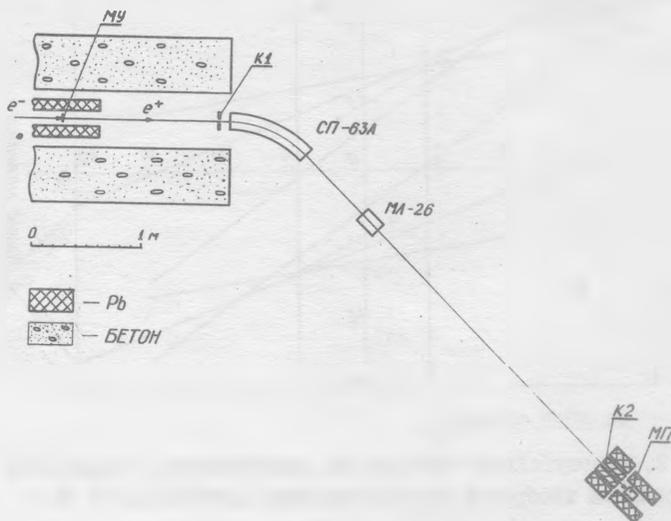
Учитывая эти соображения, был рассчитан и создан магнитный спектрометр на базе 45-градусного секторного магнита с однородным полем (СП-63А /1/) и магнитной квадрупольной линзы (МЛ-26 /1/), входящих в состав ахроматической поворотной-анализирующей системы /2,3/, которая является частью установки для получения позитронов и квазимонохроматических аннигиляционных фотонов на линейном ускорителе электронов (ЛУЭ) Института ядерных исследований АН СССР /4/. Следует отметить, что упомянутая выше анализирующая система /2,3/ является модификацией широко используемой на различных ЛУЭ ахроматической поворотной-анализирующей системы $2 \times 45^\circ$ /5/, поэтому проведенная работа может представлять интерес для многих других лабораторий.

Расчет проводился с использованием матричного метода и метода многоугольников аксептанса /6/. Кроме отклоняющегося магнита и квадрупольной линзы в состав спектрометра входят мишенный узел (МУ), прямоугольный ($2a_{x1} = 15,5$ мм; $2a_{y1} = 40$ мм) апертурный коллиматор на входе магнита (К1), прямоугольный ($2a_{x2} = 2a_{y2} = 36$ мм) выходной коллиматор (К2) и монитор слабых токов позитронов (МП) /7/. Схема спектрометра приведена на рис. 1. Узел конверторной мишени и монитор позитронов окружены свинцовой защитой. Кроме того, вокруг мишени установлена еще бетонная защита толщиной 0,5 м. Эта защита, а также значительная длина спектрометра (~ 4 м) позволяют получить удовлетворительное соотношение "эффект/фон".

Спектрометр рассчитан так, чтобы в плоскости поворота пучка (горизонтальная плоскость) выполнялась фокусировка "точка в точку" (конверторная мишень - выход коллиматора К2), т.е. $T_{12}^x = 0$ /6/. В расчете учитывались рассеянные поля магнитных элементов (использовались эффективные значения длины и радиуса кривизны элементов /3/).

Форма области, занимаемой в фазовом пространстве пучком позитронов, прошедшим через спектрометр, определяется различными коллиматорами. В нашем спектрометре все коллиматоры в сечении, перпендикулярном оси пучка, имеют ограничивающие поверхности в виде прямоугольников со сторонами, параллельными горизонтальной и вертикальной осям. Использование таких коллиматоров сильно упрощает задачу определения пропускной способности (аксептанса) спектрометра (ν) и захватываемого спектрометром телесного угла ($\Delta\Omega$), так как в этом случае переменные разделяются и $\nu = \nu_x \nu_y$; $\Delta\Omega = \Delta\theta_x \Delta\theta_y$.

Действие всех коллиматоров удобно рассмотреть в одной точке по оси пучка, например, в точке, где расположена конверторная мишень.



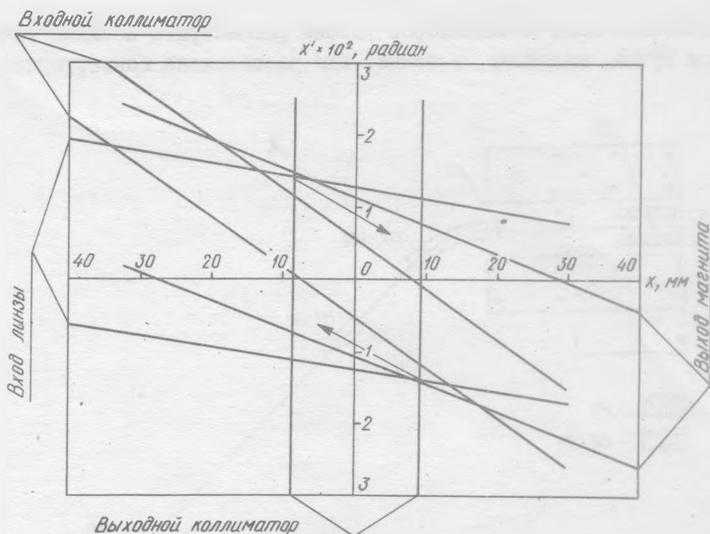
Р и с. I. Схема спектрометра

Можно показать следующее:

I. Если центр коллиматора $K_1(2a_{x1}; 2a_{y1})$ совпадает с осью спектрометра, то захватываемые спектрометром позитроны с $\Delta E_+/E_+ = 0$ в месте расположения конверторной мишени на фазовой плоскости $x_1 x_1'$ могут находиться в области между двумя параллельными прямыми (левые нижние индексы), которые задаются точками пересечения осей (левые верхние индексы):

$$\begin{aligned} (1x_1' = 0, \quad 1x_1 = a_{x1}/T_{11}^{x1}), \quad (2x_1' = 0, \quad 2x_1 = a_{x1}/T_{12}^{x1}); \\ (1x_1' = 0, \quad 1x_1 = -a_{x1}/T_{11}^{x1}), \quad (2x_1' = 0, \quad 2x_1 = -a_{x1}/T_{12}^{x1}). \end{aligned}$$

Аналогично в плоскости $u_1 u_1'$. Здесь $\Delta E_+/E_+$ - относительное изменение энергии позитронов, T_{11}^{x1}, T_{12}^{x1} - коэффициенты матрицы преобразования от конверторной мишени до коллиматора K_1 .



Р и с. 2. Многоугольный аксептанса спектрометра в плоскости $x-x'$.
Стрелками изображен вектор смещения для $\Delta E_+/E_+ = \pm 1\%$

2. В плоскости $u-u'$ при $\Delta E_+/E_+ \neq 0$ упомянутые выше прямые остаются неизменными.

3. В плоскости $x-x'$ при $\Delta E_+/E_+ \neq 0$ упомянутые выше прямые для коллиматоров, расположенных до элемента, вносящего дисперсию (магнита), также не перемещаются, а для коллиматоров, расположенных после магнита, перемещаются одинаково, а именно: смещение каждой точки на этих прямых для некоторого $\Delta E_+/E_+$ выражается вектором с компонентами

$$\Delta x = (M_{12}^x M_{23}^x - M_{22}^x M_{13}^x) (\Delta E_+/E_+)$$

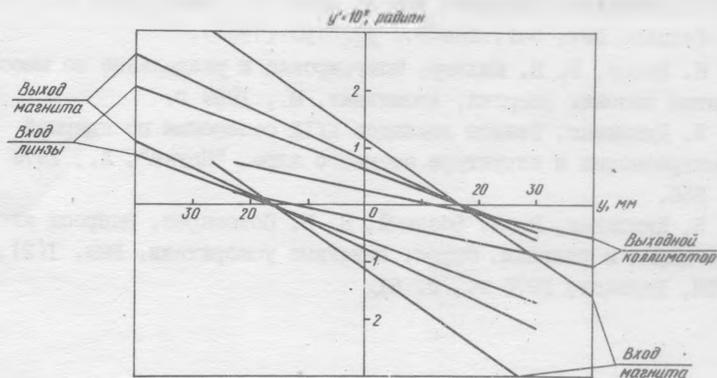
$$\Delta x' = (M_{21}^x M_{13}^x - M_{11}^x M_{23}^x) (\Delta E_+/E_+)$$

Здесь M_{jk}^x — коэффициенты матрицы преобразования от конверторной мишени до выхода магнита.

На рис. 2 и 3 показаны многоугольники аксептанса нашего спектрометра в плоскостях $x-x'$ и $u-u'$. Видно, что $\Delta \theta_x$, $\Delta \theta_y$, $\Delta E_+/E_+$ постоянны и не зависят друг от друга при координатах позитронов на кон-

верторной мишени, удовлетворяющих условиям: $-8 \text{ мм} \leq x \leq +8 \text{ мм}$, $-10 \text{ мм} \leq y \leq +10 \text{ мм}$.

Эти условия легко выполнить, так как пучок электронов можно сфокусировать в центре конверторной мишени в пятно малого размера. Фокусировку и центровку электронного пучка на конверторной



Р и с. 3. Многоугольник акцептанса спектрометра в плоскости yz

мишени можно проверить с помощью специального коллиматора, установленного в МУ. Собственное поперечное размытие позитронного пучка в мишени достаточно мало, чтобы не нарушать эти условия. Положение электронного пучка на конверторной мишени и его интенсивность контролировались по переходному излучению /8/ и с помощью тока, снимаемого с конверторной мишени.

Получены следующие характеристики спектрометра: захватываемые углы в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно равны $\Delta\theta_x = 1,09 \cdot 10^{-2}$ рад и $\Delta\theta_y = 0,46 \cdot 10^{-2}$ рад, т.е. $\Delta\Omega \approx 0,5 \cdot 10^{-4}$ ср, а относительный разброс энергий захватываемых позитронов $\Delta E_+/E_+ = 1,3 \cdot 10^{-2}$. Эти характеристики позволили провести измерения величины K в широких диапазонах значений E_- , E_+ и толщины конверторной мишени.

Авторы благодарны В. А. Обозному за интерес к работе и за предоставление программы вычисления матричных коэффициентов и М. А. Жарену за помощь в создании вакуумных элементов установки.

Институт ядерных исследований
АН СССР

Поступила в редакцию
17 мая 1979 г.

Л и т е р а т у р а

1. Электрофизическая аппаратура промышленного изготовления. Справочник. Госатомиздат, М., 1963 г.
2. Л. З. Джилавян, В. А. Обозный, Труды ФИАН, 69, 120 (1973).
3. Л. З. Джилавян, В. А. Обозный, Труды ФИАН, 69, 125 (1973).
4. Л. З. Джилавян, Препринт ИИИ АН СССР, П - 0099, 1978 г.
5. S. Penner, Rev. Sci. Instr., 32, 150 (1961).
6. В. И. Котов, В. В. Миллер, Фокусировка и разделение по массам частиц высоких энергий, Атомиздат, М., 1969 г.
7. Л. З. Джилавян, Тезисы докладов XXIX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. "Наука", Л., 1979 г., с. 356.
8. Л. З. Джилавян, В. А. Обозный, В. Н. Пономарев, Вопросы атомной науки и техники. Серия: Линейные ускорители. Вып. I(2), ХФТИ, Харьков, 1976 г., с. 61.