

МЕЛЛЕРОВСКИЙ ПОЛЯРИМЕТР ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ TJNAF (ЗАЛ А)

А.В.Гламаздин, В.Г.Горбенко, Л.Г.Левчук, Р.И.Помацалюк, П.В.Сорокин

ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, г. Харьков

Е.Чудаков, Д.П.Чен, А.Саха, Д.Дейл, А.Гаспарян

Лаборатория Т.Джефферсона, г.Ньюпорт-Ньюс, США

В 1993-1998 г.г. в соответствии с Меморандумом о Взаимопонимании между ННЦ ХФТИ (Украина) и Лабораторией Т.Джефферсона (США) был разработан, создан и запущен в эксплуатацию на пучковой линии Зала А (TJNAF) меллеровский поляриметр для измерения поляризации электронного пучка с энергией до 6 ГэВ. С 1995 г. в коллаборацию по созданию поляриметра включился Университет Кентукки (США).

В основе метода измерения поляризации был положен процесс меллеровского рассеяния поляризованных электронов пучка на поляризованных электронах мишени.

Поперечное сечение упругого электрон-электронного рассеяния в с.ц.м. является чувствительным к поляризации и может быть записано в виде:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega^*} = \frac{d\sigma_0}{d\Omega^*} \left(1 + \sum_{i,j} P_i^b A_{ij} P_j^t \right),$$

$$(i, j = x, y, z),$$

где $P_i^b (P_j^t)$ - компоненты поляризации пучка (мишени), $d\sigma_0 / d\Omega^*$ - поперечное сечение для неполяризованных частиц.

В ультрарелятивистском пределе можно записать:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega^*} = \frac{\alpha}{4m^2} \gamma^{-2} \frac{(4 - \sin^2 \theta^*)^2}{\sin^4 \theta^*},$$

$$A_{zz} = - \frac{(7 + \cos^2 \theta^*) \sin^2 \theta^*}{(3 + \cos^2 \theta^*)^2},$$

где $\alpha = 1/137$, θ^* - угол рассеяния в с.ц.м., m - масса электрона, $\gamma = \sqrt{(E_0 + m) / 2m}$, E_0 - полная энергия падающего электрона в л.с.

Легко видеть, что при $\theta^* = 90^\circ$ $A_{zz} = -7/9$, а неполяризованное сечение практически не зависит от энергии и равно 178 мбарн/ср. Для $\theta^* = 90^\circ$ рассеянный электрон и электрон отдачи имеют одинаковую энергию и вылетают симметрично относительно оси пучка.

В энергетическом диапазоне ускорителя TJNAF 0.5-6 ГэВ угол вылета каждого электрона мал и по величине изменяется от 2.5° до 0.7° .

В качестве мишени поляризованных электронов используются две тонкие ферромагнитные фольги из чистого железа и супермендюрора с толщинами 10 и 20 мкм соответственно. Мишени расположены в аксиальном магнитном поле пары безжелезных катушек Гельмгольца величиной 250 Гс под углами $\pm 20^\circ$ относительно оси пучка. С помощью электромеханического устройства каждая из мишеней попеременно может располагаться на оси пучка электронов с возможностью изменения углов наклона $\pm(20^\circ - 160^\circ)$.

Изменение направления магнитного поля позволяет ориентировать продольную составляющую вектора поляризации электронов мишени параллельно (антипараллельно) направлению падающего пучка. Измеряемая при этом асимметрия выходов электронов после меллеровского рассеяния $A = (N - N^{\downarrow}) / (N + N^{\downarrow})$ может быть связана с измеряемой поляризацией электронного пучка соотношением:

$$P_i^b = \frac{A}{A_{zz} P_i^t}.$$

Поляризация мишени измеряется с помощью расположенных на концах ферромагнитных фольг *pick-up* катушек по величине магнитного потока и для используемых материалов близка к 8%.

С целью уменьшения нагрева и деполяризации мишени мишенное устройство охлаждается с помощью жидкого азота до температуры $\sim 100\text{K}$.

Для выделения рассеянных под углами 90° в с.ц.м. электронов используется магнитооптическая система, представляющая собой малоугловой магнитный спектрометр. Схема меллеровского поляриметра представлена на рис. 1.

В качестве магнитных элементов оптической системы используются широкоапертурные ($D=10\text{см}$)

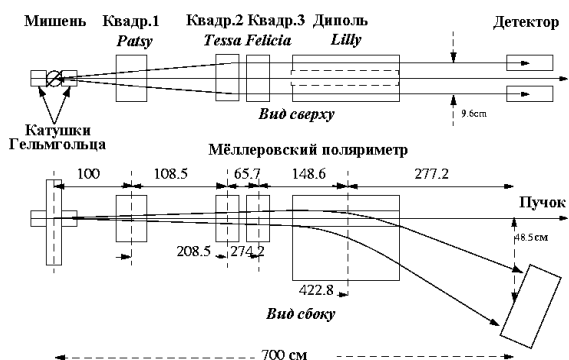


Рис. 1. Блок схема меллеровского поляриметра.

квадрупольные линзы и отклоняющий вертикально двухзазорный дипольный магнит с отверстием в экранирующей вставке. Так как электроны после меллеровского рассеяния с углами $\theta_{1,2}^* = 90^\circ$, $\phi_1 = 0^\circ$ и $\phi_2 = 180^\circ$ вылетают в горизонтальной плоскости л.с. под углами $\theta \approx 1^\circ$ относительно оси пучка, направление и величина магнитного поля квадруполь обеспечивают преобразование траекторий, расходящихся в горизонтальной плоскости, в почти параллельные и отстоящие на 4 см от оси пучка.

Затем рассеянные электроны попадают в пару зазоров (2 см высотой) дипольного магнита и после отклонения в вертикальной плоскости на углы 10° детектируются парой симметрично расположенных годоскопов. Электроны первичного пучка, испытавшего многократное рассеяние в мишени, проходят почти без отклонения вблизи оси квадрупольных магнитов, через отверстие в экранирующей магнитное поле вставке диполя вдоль оси пучковой линии к главной физической мишени и могильнику электронов.

Пара идентичных годоскопов, состоящих каждый из апертурного счетчика и четырехканального счетчика из свинцового стекла, регистрируют пару меллеровских электронов в совпадениях, обеспечивая скорость счета свыше 100 кГц.

Отличительной особенностью такой магнитной системы является компенсация при энергиях выше 1.5 ГэВ в неоднородном поле квадрупольных магнитов зависимости угла вылета меллеровских электронов от их импульсов в л.с. Это приводит к фокусировке электронов в узкую (3 мм) полосу на входной плоскости детектора и, как результат, практически полное отделение меллеровских событий от моттовского рассеяния и фоновых частиц. Достаточно большой ($\pm 20^\circ$) захват по углу меллеровского рассеяния позволяет нейтрализовать эффект [1], связанный с тем, что электроны мишени не являются свободными.

Все это, а также периодический реверс по случайному закону направления вектора поляризации пучка позволяет за время измерения около 10 мин обеспечить статистическую точность величины поляризации пучка лучше 1% при 2-3% уровне систематических погрешностей.

В процессе отладки результаты, получаемые с меллеровского поляриметра Зала А, сравнивались с измерениями в других Залах и на моттовском поляриметре инжектора. Пример экспериментального исследования величины поляризации пучка в зависимости от фазового угла спиновращателя инжектора. приведен на рис. 2.

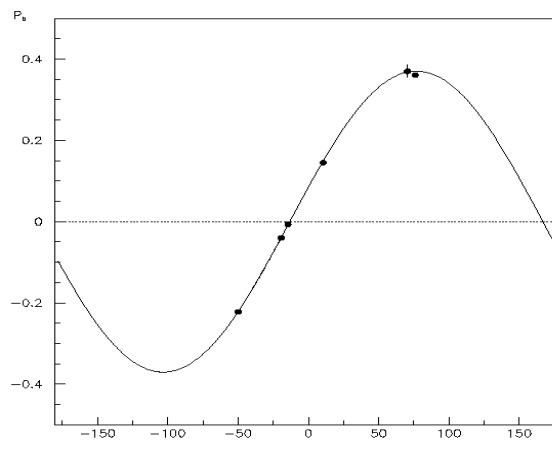


Рис. 2. Зависимость поляризации пучка от фазы спина на инжекторе.

В настоящее время меллеровский поляриметр Зала А постоянно используется в экспериментальных исследованиях на поляризованном пучке.

Выполнение настоящей работы частично финансировалось Министерством Науки и Технологий Украины (договор № Ф5/1758-97 по проекту № 2.5.1/27).

Литература

1. Левчук Л.Г. Препринт ХФТИ 92-32, Харьков, 1992; Levchuk L.G. Nucl. Instr. and Meth. **A345**, 496 (1994).

Статья поступила: в редакцию 15 мая 1998 г.;
в издательство 1 июня 1998 г.