

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
СО АН СССР

23

Я.С.Дербенев

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИ -  
МЕНТОВ С ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ЧАСТИ -  
ЦАМИ В УСКОРИТЕЛЯХ И НАКОПИТЕЛЯХ**

ПРЕПРИНТ ИЯФ 79 - 32

Новосибирск

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТАНОВКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С  
ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ ЧАСТИЦАМИ В УСКОРИТЕЛЯХ  
И НАКОПИТЕЛЯХ

Я.С.Дербенев

(Доклад на сессии Отделения ядерной физики АН СССР,  
МГУ, январь 1979 г.)

А Н Н О Т А Ц И Я

Дан краткий обзор возможностей получения интенсивных пучков поляризованных тяжелых частиц в ускорителях. Подчеркивается, что современное положение в этой области позволяет приступить сегодня к постановке экспериментов на поляризованных пучках.

Данное сообщение, основанное главным образом на работах, выполненных в ИЯФ СО АН СССР (Новосибирск), имеет целью обратить внимание экспериментаторов и теоретиков на возможности получения интенсивных пучков поляризованных тяжелых частиц в ускорителях и накопителях. Такие возможности сегодня видны во всем диапазоне энергий от нерелятивистских до самых высоких, которые могут быть получены в неотдаленном будущем (порядка 1 ТэВ).

По-видимому, сегодня нет необходимости подчеркивать то важное значение, которое могут иметь эксперименты с поляризованными частицами для физики элементарных частиц. В настоящее время активно обсуждаются аспекты, связанные со спиновой зависимостью в рамках кварковых моделей, и начинают разрабатываться программы соответствующих экспериментов. Становятся традиционными конференции и совещания по этой тематике /1-3/.

В Аргоннской лаборатории проведены первые эксперименты с поляризованными протонами в области энергий до 12 ГэВ (максимальная энергия ускорителя) /4/. По данным этих экспериментов существует сильная и растущая с энергией зависимость сечения упругого рассеяния с большими поперечными импульсами от взаимной поляризации сталкивающихся протонов. На очереди — продвижение в область более высоких энергий, хотя и исследования в области до 12 ГэВ нужно считать только начатыми.

Переход на программу экспериментов с поляризованными частицами в ускорителях и накопителях тяжелых частиц связан в общем случае с решением двух задач:

1. Создание источников, дающих достаточно интенсивный поляризованный пучок;

2. Сохранение степени поляризации при ускорении частиц. Над созданием интенсивных источников поляризованных частиц (протонов, дейтронов, отрицательных ионов водорода и других ионов) работают сейчас во многих лабораториях. Основные технические проблемы в этой области можно считать решенными. Источник поляризованных протонов в Аргонне дает ток в импульсе примерно 70 мка /5/. В Дубне источник поляризованных протонов или дейтронов сегодня дает ток 20 мка /6/. Имеется предложение

и уже начата работа по созданию источника протонов и отрицательных ионов водорода, в котором в качестве поляризованной перезарядной мишени используются пары щелочного металла /7/. В случае успеха такой источник позволит получить в ускорителях те же интенсивности поляризованных пучков, что и неполяризованных.

В перспективе видятся возможности получать интенсивные пучки поляризованных антипротонов, используя спиновую зависимость ядерного рассеяния на поляризованной мишени и технику охлаждения и накопления пучков в режиме циркуляции в накопителе /8/.

В настоящее время можно считать решенной и проблему сохранения поляризованного состояния пучка при ускорении до максимальных энергий существующих и проектируемых ускорителей и накопителей. Деполяризация пучка связана с возмущениями магнитной системы и с неоднородностью магнитного поля. При ускорении до высоких энергий, вследствие пропорциональной зависимости частоты прецессии спина от энергии, приходится проходить большое число резонансов между прецессией спина и возмущающими полями на траектории частиц, что и приводит к деполяризации.

Очевидные способы борьбы с деполяризацией — компенсация резонансных возмущений и увеличение скорости прохождения резонансов. Такие приемы использовались в Аргоннской лаборатории. Возможно, что с помощью этой техники удастся продвинуться еще вверх по энергии поляризованных протонов. Однако, трудности на этом пути, требующем кропотливой работы, быстро увеличиваются с ростом максимальной энергии.

В последнее время был предложен и теоретически обоснован более радикальный метод, позволяющий многократно повысить максимальную энергию поляризованных частиц. Этот метод заключается не в уменьшении возмущений, а, напротив, во введении в промежутки между основными магнитами специальных полей, существенно перестраивающих спиновое движение и зависимость частоты прецессии спина от энергии так, что спиновые резонансы при ускорении оказываются невозможными /9-II/. Наиболее характерными являются варианты, когда после прохождения промежутка спин оказывается повернутым вокруг горизонтальной оси (например, вокруг скорости) на угол  $\tilde{\pi}$ . При этом средняя частота прецессии спина независимо

от энергии составляет полуцелое число от частоты обращения частиц в ускорителе. Другим важным свойством таких вариантов является то, что направление равновесной (когерентной) поляризации отклоняется от постоянного вертикального, периодически меняясь по орбите в режиме циркуляции пучка. Это позволяет создавать в заданном месте орбиты любое нужное направление поляризации, например, продольное, в месте соударения частиц с мишенью или со встречными частицами. Соответственно, становится возможной инжекция в ускоритель продольно поляризованного пучка непосредственно из источника. Существование устойчивой периодически меняющейся по орбите поляризации пучка в накопителе с произвольной конфигурацией поля строго установлено в работе /2/. Подчеркнем, что несмотря на усложненное движение спина, поляризация пучка оказывается устойчивой даже в большей степени, чем при движении в ускорителе с всюду вертикальным полем.

В целом набор возможных приемов для сохранения поляризации при ускорении сводится к следующему.

1. Компенсация опасных гармоник искажений магнитной системы и использование техники скачков бетатронных частот.

2. Введение продольных магнитных полей, поворачивающих спин на некоторый малый угол либо на угол  $\leq \tilde{\pi}$  и меняющихся при ускорении пропорционально энергии. При этом не искажается орбита пучка, но может потребоваться введение дополнительных квадрупольных линз для компенсации появляющейся связи вертикальных и горизонтальных колебаний частиц. Эти приемы могут быть целесообразными при ускорении поляризованных дейтронов, а также в ускорителях протонов на невысокие энергии (порядка 10 ГэВ) или на начальном этапе ускорения протонов в синхротронах на высокие энергии.

3. Введение в промежутки (в один или несколько) поперечных полей специальных конфигураций, поворачивающих спин вокруг горизонтальной оси (например, на угол  $\tilde{\pi}$ ) с одновременной компенсацией искажения орбиты на выходе из промежутка. Величина этих полей остается постоянной при всех энергиях. Последний прием целесообразен и практически незаменим в области высоких энергий (более 10 ГэВ для протонов).

В конкретных условиях могут использоваться отдельные из перечисленных приемов или их комбинации.

Приведем примеры для экстремального случая поворота спина в промежутке на угол  $\hat{\pi}$ . При введении продольного поля  $H_z$  (в теслах) на длине  $l$  (в метрах) требуется для протонов, чтобы

$$H_z l = 3.7 E_{\text{ГэВ}}.$$

При достаточно высоких энергиях нужно переходить к поперечным (к траектории) полям. Например, можно использовать поперечное винтовое магнитное поле. При числе периодов винта  $M$  требуется, чтобы имело место (для протонов):

$$H_z l \approx 11 \sqrt{M}.$$

Переполюсовка винтового поля после каждого периода позволяет уменьшить амплитуду смещения орбиты в промежутке до величины

$$\Delta(\text{см}) \approx 600 / M H_z E_{\text{ГэВ}}.$$

При четном числе периодов  $M$  орбита на выходе из промежутка полностью восстанавливается. В работах /I, II/ содержатся другие примеры.

По оценкам, метод переверота спина решает задачу ускорения протонов без деполяризации до энергий  $E \approx 10^3$  ГэВ, а возможно и выше.

Программам экспериментов с поляризованными пучками тяжелых частиц придается сейчас все большее значение в крупнейших ускорительных лабораториях США и в лаборатории ЦЕРН, причем в ускорительной части эти программы основываются на комплексе перечисленных выше мер. По нашему убеждению, сейчас имеются основания и все необходимые послышки для того, чтобы начать работы по получению поляризованных пучков в действующих ускорителях, таких как синхротроны ИТЭФ и ИФВЭ и синхрофазотрон ОИЯИ. Затраты на такие работы кажутся лежащими на уровне текущих расходов на эксплуатацию и модернизацию ускорителей. Лаборатории США и ЦЕРН располагают или в будущем будут располагать ускорителями на несколько сотен ГэВ. Однако, ввиду того, что поляризованные

пучки существенно расширяют разнообразие и возможности экспериментов, нет сомнений, что и в ускорителях на меньшие энергии можно получить интересные и важные результаты, дополнительные к тем, которые могут быть получены в экспериментах на ускорителях на сотни ГэВ.

В заключение добавим, что отработка и реализация программ поляризационных экспериментов на действующих ускорителях представляются исключительно полезными (если не необходимыми) для эффективной работы с поляризованными пучками в будущих ускорителях и накопителях, в особенности в таких гигантских комплексах, как Серпуховский проект УНК.

## Л и т е р а т у р а

1. High Energy Physics with Polarized Beams and Targets, AIP Conf. Proceedings (Argonne 1976) No 35, New York, 1976.
2. High Energy Polarized Proton Beams, AIP Conference Proceedings (Ann Arbor, 1977) No 42, New York, 1978.
3. C E R N -Courier No 12 v. 18, 435 (1978).
4. C E R N -Courier No 10 v. 18, 347 (1978).
5. R.L.Martin. Труды X Международной конференции по ускорителям заряженных частиц высоких энергий. Протвино. 1977, т.2, стр.64.
6. А.А.Белушкина и др. ПТЭ № 6, стр.31 (1976).
7. В.Г.Шамовский, Ю.М.Шатунов. Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1978.
8. В.Г.Зелевинский, С.Г.Попов, А.Н.Скринский. Препринт ИЯФ СО АН СССР 78-45, Новосибирск, 1978.
9. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко ДАН СССР 223, № 4, 830 (1975).
10. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко. Труды X Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, Протвино, 1977, т.2, стр.70.
11. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко. Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1978.
12. Я.С.Дербенев, А.М.Кондратенко, А.Н.Скринский ДАН СССР, 192, 1255 (1970).

Работа поступила - 19 марта 1979 г.

---

Ответственный за выпуск - С.Г.ПОПОВ  
Подписано к печати II.Y-1979 г. МН 06297  
Усл. 0,4 печ.л., 0,3 учетно-изд.л.  
Тираж 150 экз. Бесплатно  
Заказ № 32.

---

Отпечатано на ротапинтере ИЯФ СО АН СССР