

2. Мешков И.Н., Сидорин А.О., Сыресин Е.М., Смирнов А.В. Накопитель низкоэнергичных позитронов (электронов) с продольным магнитным полем. — В сб.: Докл. 16-го сов. по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1998, с. 19—23.
3. Иванов А.В., Ивашкевич С.А., Калинин В.В. и др. Накопитель позитронов низкой энергии для генерации направленных потоков позитрония: статус и развитие. — В сб.: Докл. 17-го сов. по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 2000, с. 87—90.
4. Korotaev Yu.V., Meshkov I.N., Mironov S.V. et al. The low energy positron storage ring for positronium generation. — In: Proc. of 6th European Particle Accelerator Conference, Stockholm, 1998, p. 853—856.
5. Ivanov A., Ivashkevich S., Korotaev Yu. et al. Focusing system of the modified betatron: design, technology, manufacturing and test. — NIM A 441, 2000, p. 262—266.
6. Meshkov I.N. Experimental studies of antihydrogen and positronium physics: problems and possibilities. — Phys. Part. Nucl. 28(2), March-April 1997, p. 198—224.

УДК 621.384.6

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА COSY (ЮЛИХ, ГЕРМАНИЯ)

*Штайн Х., Прасун Д., Штокхорст Х., Дитрих Ю., Фан К.,
Камерджиев В., Майер Р. (Исследовательский центр в Юлихе, Германия),
Мешков И.Н., Сидорин А.О. (ОИЯИ),
Пархомчук В.В. (Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН)*

Ускоритель-накопитель COSY предназначен для получения неполяризованных и поляризованных пучков протонов или дейтронов для экспериментов на внутренних и внешних мишенях в интервале импульса ускоренных ионов от 300 МэВ/с до 3,7 ГэВ/с [1]. Накопитель оборудован системами электронного и стохастического охлаждения и имеет следующие основные параметры:

Тип инъекции . . .	Перезарядная инъекция H^+ , D^+ , мишень — углеродная пленка толщиной 20—25 мкг/см ²
Энергия инъекции . . .	45 МэВ для протонов, 76 МэВ для дейтронов
Форма накопителя . . .	Две прямолинейные и две поворотные секции
Номинальный периметр орбиты, м . . .	183,473
Вакуумная камера . . .	В прямолинейных секциях круглого сечения диаметром 0,15 м, в поворотных секциях горизонтальный размер 0,15 м, вертикальный — 0,06 м
Частота бетатронных колебаний . . .	Настраивается в интервале от 3,55 до 3,7 в обеих плоскостях
Структурные функции в секции электронного охлаждения . . .	$\beta_x = 8$ м, $\beta_y = 16$ м, $D = -6$ м

Система стохастического охлаждения, перекрывающая интервал импульсов пучка от 1,5 ГэВ/с до максимального, используется для компенсации потерь энергии пучка в экспериментах на внутренней мишени, таких, как, например, COSY 11.

Система электронного охлаждения, разработанная и сооруженная одновременно с накопителем в период с 1988 по 1993 г. и введенная в эксплуатацию в мае 1993 г., в настоящее время все более активно используется для физических экспериментов. Ее основные проектные параметры следующие:

Геометрическая длина секции охлаждения, м . . .	2
Эффективная длина секции охлаждения, м . . .	~ 1,5
Диаметр вакуумной камеры в секции охлаждения, м . . .	0,15
Диаметр камеры в тороидах, м . . .	0,065
Диаметр электронного пучка, м . . .	0,0254
Радиус поворота пучка в тороидах, м . . .	0,6
Магнитное поле, мТл . . .	80—165
Энергия электронов, кэВ . . .	100
Первеанс электронной пушки, мкпервеанс . . .	0,84
Ток пучка при энергии 100 кэВ, А . . .	4
Ток пучка при энергии 25 кэВ, А . . .	1,8
Относительные потери в коллекторе . . .	$\leq 5 \cdot 10^{-4}$
Давление остаточного газа в секции охлаждения, Па . . .	$(5—10)10^{-7}$

Возможность получения электронного пучка энергией 100 кэВ и током 3 А была продемонстрирована в процессе наладки системы в 1993 г. [2]. В настоящее время электронное охлаждение используется только при энергии инжекции ионов. При большом токе электронов уменьшение времени охлаждения сопровождается существенным увеличением потерь ионов. Оптимальным с точки зрения времени охлаждения, типичное значение которого составляет ~ 10 с, и интенсивности охлажденного ионного пучка является ток электронов от 170 до 250 мА.

Первым серьезным достижением при использовании электронного охлаждения была реализация быстрого вывода протонного пучка малого диаметра с помощью диагностического (относительно слабого) кикера. Получаемый короткий импульс протонов используется для эксперимента JESSICA. Начиная с 2001 г. охлажденный электронами протонный пучок, выведенный из накопителя с помощью системы медленного стохастического вывода, используется для экспериментов на магнитном спектрометре BIG KARL и времяпролетном спектрометре TOF. Электронное охлаждение пучка перед ускорением, например, в эксперименте BIG KARL приводит к увеличению эффективности его использования в 60 раз благодаря меньшему размеру пучка и, что более важно, существенному снижению интенсивности гало [3].

При подготовке пучка для экспериментов были изучены методы оптимальной настройки электронного охлаждения. Наилучшее перекрытие электронного и ионного пучков достигается за счет регулирования положения электронного пучка специальными обмотками и соответствует минимальной частоте обращения не-сгруппированного протонного пучка. Минимальная ширина профилей потока атомов водорода, образующихся в секции охлаждения, соответствует наилучшему выравниванию электронного пучка [4]. Измерения продольного компонента силы трения методом скачка напряжения в интервале скорости ионов в системе частиц от 10^4 до 10^6 м/с показали, что максимум силы трения, нормализованной на плотность электронного пучка 10^{13} м $^{-3}$, равен $\sim 3 \cdot 10^{-1}$ эВ/м, что находится в разумном согласии с результатами других лабораторий. Начальный разброс по импульсу $\Delta p/p = 2 \cdot 10^{-3}$ при охлаждении снижается примерно в 10 раз, что ведет к формированию в спектре продольных шумов сигнала с двумя пиками, соответствующего интенсивному пучку с высокой фазовой плотностью. В зависимости от интенсивности 2σ эмиттанс охлажденного пучка составляет 0,4—4 п-мм-мрад.

Ограничение интенсивности протонного пучка при использовании электронного охлаждения связано с уменьшением времени жизни ионов в присутствии электронного пучка непосредственно после инжекции и развитием неустойчивости после завершения охлаждения [5]. В настоящее время устойчиво получаемая интенсивность пучка составляет $(1—1,5)10^{10}$ протонов при эмиттансе $0,5 \pi$ -мм-мрад. Потери ионов в процессе охлаждения стали одним из основных предметов изучения в ходе четырех сеансов работы накопителя (с мая 2001 по сентябрь 2002 г.), посвященных исследованию электронного охлаждения [6]. Было установлено, что потери интенсивности охлажденного пучка происходят при развитии в нем когерентных вертикальных колебаний ввиду малого вертикального аксептанса. Для подавления когерентной неустойчивости пучка в настоящее время разрабатывается система обратной связи.

Электронное охлаждение дейтронов было впервые опробовано в январе 2002 г. в рамках подготовки к предстоящим экспериментам. После 14 с охлаждения электронным пучком током 190 мА был получен пучок дейтронов интенсивностью $5,5 \cdot 10^{10}$ частиц, которые без потерь были сгруппированы и ускорены с эффективностью 90%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stockhorst H. e.a. Progress and developments at the cooler synchrotron COSY. — In: Proc. of EPAC 2002, Paris.
2. Prasuhn D., Derissen V., Maier R. e.a. Technical features and final electron beam tests of the COSY electron cooler and first proton beam cooling. — In: Proc. of ECOOL 1993, Montreux, p. 317—322.
3. Prasuhn D. e.a. Electron Cooling and Slow Extraction. IKP Annual Report 2001.
4. Sidorin A. e.a. Natural Neutralization in the Electron Beam of the COSY Electron Cooler. IKP Annual Report 2001.
5. Parkhomchuk V.V. New insights in the theory of electron cooling. — NIM A 441, 2000, p. 9—17.
6. Meshkov I.N. e.a. Observation of Instabilities of Electron Cooled Proton Beams. IKP Annual Report 2001.

УДК 621.384.633

АДРОННЫЕ ОХЛАДИТЕЛИ В ЦЕРНе

*Белошицкий П., Боссер Ж., Касперс Ф., Шанел М., Эрикссон Т., Хольцер Е.,
Мори С., Транкиль Ж. (ЦЕРН, Швейцария)*

Замедлитель антипротонов. Источник антипротонов ЦЕРНа состоит из единственного кольца AD (Antiproton Decelerator) [1], который поставляет пучок импульсом 100 МэВ/с (кинетическая энергия 5,3 МэВ) для трех экспериментов: ATHENA, ASACUSA и ATRAP. Протоны энергией 26 ГэВ/с выводятся из протонного синхротрона и транспортируются на мишень. Образующиеся антипротоны транспортируются в AD. Сразу после инжекции на энергии 3,57 ГэВ/с (рис. 1, участок 1) при включенных резонаторах, работающих на частоте 9,5 МГц, пучок поворачивается на 90° в продольном фазовом пространстве. Благодаря короткой длительности сгустков (около 25 нс) это позволяет уменьшить разброс по импульсу.