

УДК 621.384.634

ФИЗИКА

Ю. Г. БАСАРГИН, Е. Г. КОМАР,
член-корреспондент АН СССР В. М. ЛОБАШЕВ, И. А. ШУКЕЙЛО

ПРОТОННЫЙ СИНХРОТРОН НА СРЕДНИЕ ЭНЕРГИИ КАК ИСТОЧНИК ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКОВ КАОНОВ

Задачи, решаемые посредством ускорителей протонов, включают как исследование нуклонных взаимодействий, так и генерацию пучков вторичных долгоживущих частиц, π -, K -мезонов и антипротонов. При этом, если для исследования взаимодействий самих ускоряемых частиц с нуклонами и ядрами требования к интенсивности при существующей экспериментальной технике могут ограничиваться средним током 10–20 $\mu\text{а}$, то требования к интенсивности вторичных пучков при условии их сепарации принципиально не имеют ограничений. С этой точки зрения важно определить, какой способ получения вторичных пучков является наиболее эффективным: увеличение интенсивности первичного пучка при умеренной энергии или увеличение энергии и тем самым увеличение множественности рождения вторичных частиц. Повышение энергии ускоряемых частиц, разумеется, позволяет получить большую энергию вторичных частиц, однако последнее не является обязательным требованием в большей части экспериментов, связанных с ядерной физикой, исследованием распадов π -, K -мезонов и генерации гиперонов. Действительно, использование хорошо сепарированных растянутых пучков π - и K -мезонов возможно лишь в области импульсов $\sim 1\text{--}2$ Гэв/сек. Для получения остановленных пионов и каонов также наиболее выгодны энергии $\sim 0,1\text{--}0,2$ Гэв/сек для пионов и $\sim 0,5\text{--}1,5$ Гэв/сек для каонов.

Что касается способа получения высокоинтенсивных пионных пучков, то для упомянутой области энергий общепризнанной является необходимость создания сильноточных ускорителей на энергию 600–800 Мэв с током ~ 1 ма («мезонных фабрик»).

Следующий ступенью по энергии, безусловно, является ускоритель, генерирующий каоны («каонная фабрика»). Однако существуют высказывания ⁽¹⁾, что повышение энергии ускоряемых частиц позволяет решить задачу получения интенсивного пучка каонов умеренных энергий ($\sim 1\text{--}2$ Гэв).

Расчеты, выполненные в работе ⁽²⁾, и сравнение с существующими экспериментальными данными показывают, что величина $d^2N/d\Omega dp$, которая является наиболее существенной характеристикой для обычных магнито-оптических каналов вторичных пучков, для K^+ и K^- -мезонов имеет характерный быстрый рост до энергии протонов ~ 3 Гэв для K^+ -мезонов и до 5–7 Гэв для K^- -мезонов при импульсе K^+ , K^- в области 1–1,5 Гэв/сек, а затем имеет место только очень медленный рост. Даже при энергии протонов 70 Гэв величина $d^2N/d\Omega dp$ в расчете на один протон, испытавший ядерное взаимодействие в мишени, для K^+ и K^- -мезонов с импульсом 1 Гэв/сек всего лишь в 1,2–1,5 раза больше, чем для энергии протонов 5 Гэв.

Таким образом, наиболее выгодны для получения каонов умеренных энергий ускорители протонов на энергию 5–7 Гэв. Требования к току в настоящее время трудно определить. Если учитывать существующие программы модернизации работающих ускорителей, то, по-видимому, ближайшей задачей является увеличение интенсивности на ~ 2 порядка, т. е. средний ток — 100 $\mu\text{а}$.

Первоначально предполагалось, что оптимальным сильноточным ускорителем протонов в указанном диапазоне энергий является линейный ускоритель. Однако основанная на стоимости линейного ускорителя на 800 Мэв в Лос-Аламосе ⁽³⁾ экстраполяция приводит к чрезмерной стоимости ускорителя на 5—7 Гэв. С другой стороны, доказано преимущество перед циклическими линейного ускорителя с энергией до 1 Гэв, дающего интенсивные пучки пионов. При этом одновременное ускорение протонов (средняя интенсивность 1 ма) и отрицательных ионов водорода (100 ма) существенно расширяет экспериментальные возможности ⁽³⁾.

Возникает вопрос об использовании синхротрона с большой частотой повторения циклов для ускорения интенсивного пучка протонов до энергии 5—7 Гэв. Последнее десятилетие отмечено рядом крупных достижений в технике сооружения и эксплуатации синхротронов. Полностью решена проблема однооборотного, а также медленного вывода пучка из синхротрона с эффективностью, практически равной единице. Накоплен значительный опыт в области сооружения электромагнитов с очень жесткой фокусировкой, возбуждаемых на частоте в десятки герц. Решена проблема создания мощных ускоряющих систем. Примерами современных быстрых синхротронов являются бустер на 8 Гэв в Батавии ⁽⁴⁾ и проектируемый для Серпуховского ускорителя бустер на 1,5 Гэв ⁽⁵⁾.

Задача получения средней интенсивности 100 ма из-за ограничений по объемному заряду может быть решена лишь при энергии линейного ускорителя-инжектора не менее 600—800 Мэв и при частоте синхротрона, составляющей несколько десятков герц. Это подтверждается простым пересчетом предельной интенсивности синхротронов ^(5, 6) при увеличенной энергии инжекции. Однако остаются трудности, связанные с заполнением камеры синхротрона требуемым зарядом ($1-2 \cdot 10^{13}$ протонов в цикле). Хорошо разработанная техника однооборотной инжекции не обеспечивает здесь требуемой интенсивности. Поэтому накопление частиц в синхротроне на уровне поля инжекции целесообразно производить путем перезарядки ускоренных в линейном ускорителе отрицательных ионов водорода, как это было ранее предложено ⁽⁶⁾. Аналогичное решение проблемы инжекции намечается в бустере Аргоннской лаборатории ⁽⁷⁾.

«Мезонная фабрика» типа Лос-Аламосской, как следует из сказанного выше, могла бы давать интенсивные пионные пучки и одновременно направлять отрицательные ионы водорода в «каонную фабрику» — быстрый синхротрон на энергию 5—7 Гэв. Частота посылок импульсов отрицательных ионов в инжекторе должна соответствовать частоте изменения поля в синхротроне.

Условия эксперимента требуют непрерывного во времени потока каонов. Медленный вывод протонов из синхротрона обеспечивает коэффициент временной загрузки экспериментального оборудования не выше 0,1—0,2. Более радикальным представляется разделение функций ускорения и вывода. Из синхротрона пучок может выводиться однооборотно в дополнительное малоапертурное кольцо со стационарным полем. Из этого кольца осуществляется медленный вывод, обеспечивающий загрузку 100% времени. Подобный двухступенчатый вывод предполагался ранее в проекте ускорителя легких и тяжелых ионов ⁽⁸⁾.

Заметим, что и в случае линейного ускорителя на 5—7 Гэв для растяжки пучка также потребовалось бы кольцевая дорожка со стационарным магнитным полем. Медленный вывод, осуществляемый из дополнительного кольца, позволяет упростить задачу прецизионного контроля параметров системы вывода с целью получения монохроматичного пучка по методу ⁽⁹⁾.

Простота плавного регулирования энергии в очень широких пределах является очевидным достоинством синхротрона. При этом возможно также изменение энергии в сторону ее уменьшения до уровня примерно 200 Мэв с соответствующим понижением интенсивности. В «мезонной фабрике» ⁽³⁾ необходимое для нуклонных экспериментов варьирование энергии достига-

ется отключением ускоряющих секций. Этот метод имеет два недостатка: нарушение нормальных условий мезонных экспериментов и необходимость перестраивать режимы фокусирующих и юстирующих элементов на тракте ускорения. Наличие синхротрона снимает эти ограничения, благодаря чему ускоритель-инжектор может всегда работать в фиксированном режиме.

Таким образом, проблема получения протонов с энергией 5–7 Гэв при интенсивности 100 μ а не выходит за рамки современных технических возможностей, если используется быстрый синхротрон с инжектором — линейным ускорителем типа «мезонной фабрики». Этот синхротрон был бы ценным дополнением, позволяющим расширить круг работ по физике средних энергий за счет продвижения в область каонной физики. Существенно, что работа синхротрона не только не препятствует эксплуатации линейного ускорителя с целью получения пионов, но повышает ее эффективность. Стоимость синхротрона примерно равна стоимости комплекса линейного ускорителя-инжектора.

Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д. В. Ефремова
Ленинград

Поступило
28 VII 1972

Ленинградский институт ядерной физики
им. Б. П. Константинова

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. С. Герштейн, А. М. Зайцев и др., Препринт Инст. физики высоких энергий, СТФ/СЭФ 71—60, Серпухов, 1971. ² В. Б. Копелиович, Ядерная физика, 16, 9 (1972); М. В. Казарновский, В. Б. Копелиович, Препринт Ленингр. инст. ядерной физики АН СССР, № 420 (1972). ³ Л. Розен, Международн. конф. по ускорителям частиц высоких энергий, Ереван, 1, 1970, стр. 177. ⁴ М. С. Ливингстон, Тр. Всесоюзн. совещ. по ускорителям заряженных частиц, 1, М., 1970, стр. 33; R. Bellinge, S. C. Snowden, IEEE, Trans. Nucl. Sci., NS-16, № 3, 969 (1969). ⁵ V. I. Balbekov, F. A. Vodopjanov et al., Proc. of the 8-th Intern. Conf. on High Energy Accelerators, CERN, Jeneve, 1971, p. 21. ⁶ Г. И. Будкер, Г. И. Димов, Тр. Международн. конф. по ускорителям, М., 1964, стр. 993. ⁷ R. L. Martin, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-18, № 3, 953 (1971). ⁸ A. Ghiorso, R. M. Main, B. N. Smith, Ibid., NS-13, № 4, 280 (1966). ⁹ Д. Г. Кошкарёв, Приборы и техника эксп., № 6, 13 (1970).