

чества тепловой энергии, которое вводится в установку. По оценке авторов, при стоимости D₂O порядка 40 долл./кг стоимость получаемой таким образом электроэнергии может составить примерно 0,001 долл./квт·ч.

Материалы сборника отражают современное состояние технологии тяжелой воды за рубежом и представляют интерес для специалистов.

Я. Д. ЗЕЛЬВЕНСКИЙ, С. Г. КАТАЛЬНИКОВ

VIII Международная конференция по ускорителям высоких энергий

На конференции, которая проходила в Женеве 20—24 сентября 1971 г., обсуждались результаты последних исследований, связанные с разработкой и улучшением ускорительных установок и комплексов для получения встречных пучков частиц. Результаты этих исследований были изложены в 120 докладах, из них 31 сообщение поступило от исследовательских центров СССР.

Все представленные проекты как протонных, так и электронных ускорителей базируются на жестко-фокусирующих структурах магнитного поля (как правило, с разделенными функциями поворота и фокусировки) с использованием обычных или сверхпроводящих магнитов. На этой же основе создается большинство проектов ускорительных и накопительных систем для вторичных пучков (см. таблицу).

В лабораториях интенсивно ведутся исследовательские работы по сверхпроводящим импульсным магнитам с полями 4—6 тл. Основное направление этих исследований — снижение мощности низкотемпературных потерь на погонном метре магнита. С целью уменьшения потерь для импульсных магнитов разработаны специальные сверхпроводящие кабели с толщиной сверхпроводящих нитей 4—10 мк. Предельная индукция также лимитируется мощностью потерь, которые растут быстрее квадрата индукции. С проблемой мощности потерь связан выбор продолжительности цикла ускорения (скорость увеличения индукции). Установлено, что при уменьшении продолжительности цикла от 40 до 10 сек низкотемпературные потери в различных конструкциях (железо внутри или вне охлаждаемого

объема) возрастают в 5—20 раз. Потери при цикле 40 сек составляют 5—8 ат/м.

Среди проектов линейных ускорителей на высокие энергии заслуживает внимания проект удвоения энергии электронного пучка Станфордского линейного ускорителя на 20 Гэв (США) с одновременным уменьшением макроскважности пучка на два порядка. Проект включает накопительную систему протяженностью 6,8 км, расположенную вдоль линейного ускорителя, с двумя петлями на концах. Для компенсации энергетических потерь на излучение в петлях предусмотрены два сверхпроводящих резонатора.

Исследованиями по сверхпроводящим резонаторам, предназначенным для ускорителей заряженных частиц, на конференции было представлено большое число докладов. Однако, несмотря на большой объем проведенных в этом направлении научно-исследовательских работ, имеется ряд трудностей, осложняющих эксплуатацию таких результатов и получение характерных для них напряженностей электрического поля. К числу таких трудностей относятся старение материала (неповторяемость результатов измерений после соприкосновения с атмосферным давлением поверхностей резонаторов), резкая зависимость добротности от пикового значения напряженности электрического поля и радиационной «деформации» поверхностей.

Эти эффекты в случае ниобиевых резонаторов приводят к уменьшению добротности на порядок при изменении напряженности от 4 до 30 Мэ/м или при облучении потоком нейтронов 10¹⁵ см⁻². В области напряженностей выше 30 Мэ/м возникает электронная

Основные параметры кольцевых ускорителей на высокие энергии ($E \geq 25$ Гэв)

Институт, страна	Частицы	Конечная энергия, Гэв	Число частиц в импульсе	Частота повторения, гц	Запуск	Оценка стоимости	Примечание *
ЦЕРН, Швейцария	p	300	$2 \cdot 10^{12}$	0,23	1976	1150 млн. шв. франков	Увеличение энергии до 1000 Гэв
США	p	200	$5 \cdot 10^{13}$	0,25	1972	250 млн. долл.	Увеличение энергии до 500 Гэв
ИФВЭ, СССР	p	7,5	$2 \cdot 10^{12}$	0,18	1967	120 млн. руб.	Увеличение интенсивности до $5 \cdot 10^{13}$ p/имп
США	p	33	$2 \cdot 10^{12}$	0,5	1960	31 млн. долл.	
ЦЕРН, Швейцария	p	28	$2 \cdot 10^{12}$	0,5	1959	200 млн. шв. франков	Увеличение интенсивности до 10^{13} p/имп

* В таблице приведены данные для первого этапа сооружения, в примечании указаны результаты, которые предполагают получить на втором этапе.

эмиссия, которая приводит к нарушению сверхпроводящих свойств резонатора.

Среди накопительных колец для встречных пучков частиц высоких энергий следует отметить три проекта. Проект двухкольцевого протонного накопителя, осуществленный в ЦЕРНе, где в настоящее время получены встречные пучки с интенсивностью 4—7 а при вакууме в камере 10^{-10} торр. Потери пучка при токе 4 а, по расчетам, составляют $\sim 1\%$ в 1 ч. При токе выше 6 а наблюдается существенный рост потерь, причина которых не выяснена. В связи с этим величина проектной светимости, равная $4 \cdot 10^{30}$ см⁻²·сек⁻¹, не достигнута. Эксперименты проводятся при величине светимости 10^{28} — 10^{29} см⁻²·сек⁻¹.

Второй большой проект протон-антипротонного кольца на энергию 25 Гэв находится в стадии сооружения (г. Новосибирск). Этот проект ожидается завершить в 1972—1973 гг.

В качестве далекой перспективы развития этого направления Брукхейвенская национальная лаборатория предлагает проект накопительных колец для протонов с энергией 200 Гэв. В США обсуждается вопрос о финансировании этого проекта.

Значительное внимание на конференции было уделено методу коллективного ускорения. Лучшие экспериментальные результаты по этому методу были получены в ОИЯИ, где было положено начало этому направлению. В ОИЯИ получено ускорение α -частиц до энергии 29 ± 6 Мэв при энергетическом градиенте ~ 32 Мэв/м. Число α -частиц, которые удалось удержать при ускорении в каждом электронном кольце, составляет 10^9 при числе электронов $\sim 5 \cdot 10^{12}$.

Лаборатории в Беркли (США) и Мюнхене (ФРГ) продолжали разработки различных вариантов компрессоров для создания электронных колец с максимальным числом электронов. Лучший результат, полученный мюнхенской группой по накоплению электронов, составляет $2 \cdot 10^{12}$ в каждом кольце. Исследовательская группа в Беркли продолжала исследования неустойчивостей электронного кольца, которые возникают в их компрессоре при $5 \cdot 10^{12}$ в каждом кольце. Причины возникновения неустойчивостей окончательно не выяснены.

В результате работы над конструкцией компрессора в Карлсруэ (ФРГ) показано, что имеется принципиальная возможность для достижения частоты посылок колец в резонатор, равной 1000 ац.

Теоретические исследования по коллективному методу ускорения были представлены несколькими институтами. Наибольший интерес вызвала работа

по теории колебаний протонного кольца внутри электронного сгустка, выполненная в ИТЭФ (СССР).

Линейная теория этих колебаний приводит к резонансным ограничениям по предельной энергии ускоряемых частиц в области нескольких десятков гигаэлектронвольт. Эти результаты обсуждались на специальном заседании по теории коллективных методов ускорения и не были опровергнуты на конференции. Пока не указаны эффективные методы борьбы с резонансными эффектами.

Дальнейшее развитие получил метод ускорения многокклонных частиц в синхротронах с мягкой фокусировкой. Впервые этот метод был реализован на синхрофазотроне ОИЯИ, где были ускорены дейтроны до энергии 10 Гэв.

Ученые Принстонского университета (США) доложили об ускорении ионов азота (N^{+5} , N^{+6}) на синхротроне до энергии 4 и 7 Гэв соответственно. При ускорении этих многозарядных ионов была подтверждена существенная зависимость интенсивности ускорителя от вакуумных условий в камере ускорителя. Так, изменение вакуумных условий с 10^{-7} до $2 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст. приводило к уменьшению интенсивности на порядок. Показано, что для Принстонского синхротрона при частоте повторения импульсов 18—20 ац для ускорения многозарядных ионов требуется улучшение вакуума в камере до 10^{-8} мм рт. ст. Аналогичные работы были выполнены также на бэватроне в Беркли, где были ускорены ионы N^{+7} до энергии 36 Гэв. Основной целью этих усовершенствований, по мнению авторов, является открывающаяся возможность исследования в области космической физики.

На конференции были доложены некоторые теоретические исследования и расчеты в области дальнейшего развития ускорителей типа «Ливатрон» (Институт физики, Торина, Италия), один из вариантов которого был предложен в ФИАНе (СССР), а также по распространению циклотронного метода ускорения на область релятивистских энергий для протонов и электронов (Лаборатория ядерных проблем, ОИЯИ).

С успехом проводятся исследования по автоматическому управлению пучком в синхротроне с помощью вычислительных машин. Разработанная программа управления для машины IBM-1800 позволила втрое уменьшить амплитуды отклонения замкнутой орбиты в синхротроне ЦЕРНа на 28 Гэв. В качестве управляющих элементов были использованы обмотки двух резонансных гармоник в структуре магнитного поля (шестая, седьмая).

В. П. ДМИТРИЕВСКИЙ

О некоторых перспективах развития физики высоких энергий

17—18 сентября 1971 г. в городке Морж (недалеко от Женевы) состоялся традиционный международный семинар по перспективам развития физики высоких энергий. Этот семинар, на который приглашаются ученые разных стран, проводится Объединенным институтом ядерных исследований и ЦЕРНом. Основная цель семинара — перспективы развития в области физики высоких энергий. На последнем семинаре были рассмотрены состояние и ближайшие планы на самых больших ускорителях, а также прогнозы развития существующих установок и строительства новых ускорителей в ближайшие 10 лет. В связи с тем, что буду-

щие ускорители представляются гигантскими сооружениями, требующими огромных капиталовложений, обсуждалась также возможность кооперации стран для строительства новых установок.

Большой интерес вызвали сообщения А. Д. Соловьева (Серпухов) и Р. Вильсона (Батавия, США) о состоянии крупнейших ускорителей и физической программе на них. Была дана очень высокая оценка работе протонного синхротрона ИФВЭ на энергию 76 Гэв и осуществляемой программы экспериментов на этом ускорителе.