

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

621.384.6

**В ДУБНЕ УСКОРЯЮТСЯ ПРОТОНЫ, ЗАХВАЧЕННЫЕ  
В ЭЛЕКТРОННОЕ КОЛЬЦО \*)**

## I

Идея, лежащая в основе нового типа ускорителя частиц, состоит в том, чтобы использовать собственное поле кольца электронов для захвата протонов (или других положительных ионов), а затем ускорять все эти частицы вместе. Физики ОИЯИ (Дубна, СССР) планируют ускорять таким способом протоны до энергии примерно  $1 \text{ Гэв}$  при начальной энергии электронов  $1,5 \text{ Мэв}$ . Впервые, вместо того чтобы ускорять протоны, предлагается ускорять электроны, которые увлекают за собой протоны. Некоторые физики считают, что рождение идеи ускорителя нового типа — наиболее важное событие в области ускорительной техники со времени появления идеи накопительных колец или даже открытия жесткой фокусировки. Общая идея когерентного метода ускорения была независимо предложена Г. И. Будкером и В. И. Векслером в 1956 г. В сентябре прошлого года на Международной конференции по ускорителям в Кембридже (США) дубненская группа сообщила, что построена модель ускорителя, работающего на этом принципе. (Первым в списке авторов сообщения был В. И. Векслер, умерший в 1966 г.) В следующем месяце Д. Киф из Беркли посетил Дубну и из беседы с руководителем проекта В. П. Саранцевым выяснил, что протоны удастся захватить электронным кольцом.

Основанный на использовании когерентного метода ускоритель, который строится в Дубне, известен под различными названиями: коллективный линейный ускоритель ионов (CLIA), ускоритель электронного кольца (ERA) и «smokatron» (так как вращающиеся электроны напоминают дымовое кольцо). Дубненская группа будет ускорять протоны до  $1 \text{ Гэв}$ . В будущем планируется достичь энергий порядка  $1000 \text{ Гэв}$ . Этот метод может также успешно использоваться для ускорения тяжелых ионов.

В Лоуренсовской радиационной лаборатории специалисты по ускорителям с энтузиазмом работают над сооружением небольшой модели для проверки основных принципов. В феврале 1968 г. здесь состоялась Международная конференция по коллективным ускорителям и двухнедельное теоретическое совещание по устойчивости электронных колец. Основная проблема состоит в том, будет ли кольцо устойчивым? Принцип заключается в инжекции электронов в аксиально симметричное магнитное поле под прямым углом к полю. (В Дубне используются электроны с энергией  $1,5 \text{ Мэв}$ .) Электроны движутся по круговым орбитам (с радиусом примерно  $25 \text{ см}$ ) в плоскости, перпендикулярной к полю (см. рисунок). Затем инжектируется водород, который ионизуется интенсивным пучком электронов, и положительные ионы (протоны) захватываются внутрь вращающегося электронного кольца потенциальной ямой пространственного заряда электронов (таким образом, протоны являются как бы начинкой пирога). Вслед за этим магнитное поле увеличивается от  $0,2$  до  $10 \text{ кэс}$ , что приводит к уменьшению радиуса кольца до  $5 \text{ см}$  и увеличению энергии электронов до  $15 \text{ Мэв}$ . Кольцо можно ускорять, пропуская его через ВЧ резонаторы или с помощью магнитного поля, меняющегося вдоль направления движения электронного кольца.

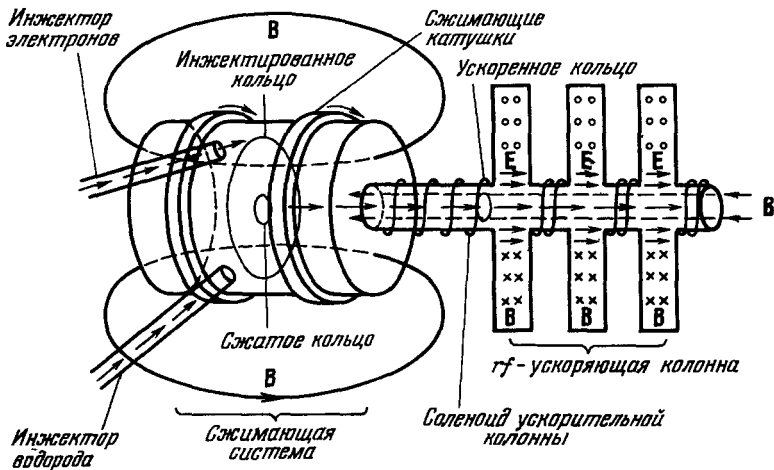
Дубненские физики используют для ускорения кольца 4 ВЧ резонатора. Поскольку градиенты электрического поля не очень велики и число протонов мало ( $10^{11}$ )

\*) Dubna Accelerates Protons Captured by the Electron Ring, Phys. Today, No. 2 (1968). Перевод И. В. Кузнецова.

Описываемый в этой статье метод коллективного ускорения был предложен акад. В. И. Векслером, который до последнего дня своей жизни непосредственно руководил разработкой и созданием модели нового ускорителя. (Прим. ред.)

по сравнению с числом электронов ( $10^{13}$ ), захваченные протоны остаются внутри потенциальной ямы. Так как протоны ускоряются до той же скорости, что и все кольцо, конечная энергия протона равна произведению энергии электрона, приобретенной при ускорении, на отношение массы протона ( $1836 m_e$ ) к релятивистской массе электрона ( $(30 \div 40) m_e$ ). Таким образом, когда кольцо получает энергию от резонаторов, протон приобретает энергию в 50 раз большую, чем электрон. Этим методом дубненская группа будет ускорять протоны до энергии 100 *Мэв*.

Дубненские физики также исследуют и другой метод ускорения, который хорошо подходит для получения протонов с энергией 1 *Гэв* или более тяжелых ионов с энергией 1 *Гэв* на нуклон. Они создают аксиальное магнитное поле, уменьшающееся в продольном направлении. Это уменьшение обуславливает увеличение радиуса электронного кольца и переход вращательной энергии в продольную. В одном из вариантов радиус



Ускоритель электронного кольца.

Электроны инжектируются и движутся по круговой орбите. Впускается водород, ионы захватываются в кольцо пространственным зарядом электронов, увеличивается магнитное поле, радиус кольца уменьшается и возрастает энергия электронов. Затем кольцо ускоряется в резонаторах. Так как протоны приобретают ту же скорость, что и все кольцо, они получают энергию, много большую, чем электроны (в 30—40 раз).

кольца увеличивается от 5 до 20 см; таким образом удается получить протоны с энергией 1 *Гэв*. Для достижения более высоких энергий нужно было бы брать больше энергии от резонаторов, однако, дополнительную энергию можно получить, изменяя магнитное поле в последней секции дрейфа.

## II. РАБОТЫ В КАЛИФОРНИИ

Специалисты по ускорителям в Лоуренсовской лаборатории с энтузиазмом исследуют возможные способы проверки на модели основных принципов метода. Когда мы недавно посетили лабораторию в Беркли, А. Сеслер, который начинал работы в лаборатории, рассказал нам, что они для этой цели могут применить уже существующий электронный ускоритель, который используется в экспериментах по управляемому термоядерным реакциям («Астрон») в Ливерморе. Ускоритель позволяет получать пучок электронов с энергией 4,5 *Мэв* и током 1000 *а*. Если окажется, что модель работает, группа будет изучать возможность применения этого метода для создания ускорителя высоких энергий.

Лоуренсовская группа разработала новый импульсно-линейный метод ускорения, который кажется более дешевым, чем ускорение с помощью резонаторов. В этой системе ускорительная колонна состоит из большого числа проводящих пластин (расположенных в плоскостях, перпендикулярных к направлению ускорения кольца), отстоящих друг от друга на расстоянии нескольких сантиметров. Энергия запасается в кабелях, которые действуют как электрические емкости, а кабели изолируются от пластин искровыми промежутками. В нужный момент несколько пластин в непосредственной близости к ускоряемому кольцу возбуждаются при пробое искрового промежутка.

Сеслер сообщил, что, так как ускоритель имеет очень короткий одиночный импульс высокой интенсивности (с длительностью порядка пикосекунд), пучок должен

хорошо подходит для нейтринных экспериментов и экспериментов на пузырьковых камерах. Он должен быть хорошим также для обычных экспериментов со счетчиками. Однако для большинства экспериментов со счетчиками желательно использовать дополнительно сверхпроводящее растягивающее кольцо с постоянным магнитным полем высокой напряженности, которое может захватить импульс частиц, растянуть его во времени, сделать энергию частиц монохроматической и выдать пучки для счетчиков с коэффициентом заполнения импульса около 100%.

Чтобы оценить верхний предел характеристик ERA, Сеслер делает предположение, что кольцо может удерживать протоны при максимально достижимых ускорениях, и что разумный практический предел средних ускоряющих полей 70—150 *кв/см*. Тогда энергия, которую получают протоны, может быть около 700 *Мэв/м*. Он отмечает, что типичный линейный ускоритель протонов дает только 3 *Мэв/м*.