

Электронные и ионные пучки

УДК 621.384.6

Об охлаждении пучков частиц

Е. В. Майоров

Институт биохимической физики имени Н. М. Эмануэля Российской академии наук, Москва, Россия

В. В. Огороков

Государственный научный центр РФ "Институт теоретической и экспериментальной физики имени А. И. Алиханова", Москва, Россия

Предложен метод охлаждения пучков ускоряемых частиц любой массы.

При проведении экспериментов (особенно на коллайдерах) качество и скорость набора экспериментальных результатов зависят от плотности частиц в ускоряемых пучках и разброса импульсов по величине и направлению.

Для увеличения плотности используют разные методы "охлаждения" ускоряемых частиц, т. е. снижение эффективной температуры ускоряемого сгустка в его центре инерции.

Если в электронных ускорителях "охлаждение" ускоряемых электронов происходит практически автоматически за счет излучения фотонов (синхротронное излучение) электронами на орбите [1], то для пучков тяжелых частиц (протоны, ядра) охлаждение синхротронным излучением непригодно из-за большой массы ускоряемых частиц.

Для охлаждения тяжелых частиц предложены изящные и остроумные методы — электронное [2] и стохастическое [3] охлаждение.

Научная значимость охлаждения частиц в ускорителях для физики высоких энергий подтверждается тем, что автор стохастического охлаждения тяжелых частиц С. ван дер Меер получил Нобелевскую премию по физике в 1984 г. за участие в большом цикле экспериментов по открытию триплета элементарных частиц W^+ , W^- и Z^0 .

В этих экспериментах использовались сложные установки для осуществления столкновений высокоэнергичных протонов и антипротонов [3].

Ниже изложена еще одна возможность охлаждения пучков ускоряемых частиц, использующая общую идею, высказанную в известной статье Г. И. Будкера и А. И. Скринского [2]: "Логически самым простым является использование для этой цели диссипативных сил, аналогичных обычному трению и направленных против полной скорости каждой частицы...".

Введение диссипативных сил для увеличения фазовой плотности ускоряемых частиц можно, по-

видимому, реализовать также с помощью нагруженных на активное сопротивление плоских проволочных контуров, располагающихся около оси пучка и индуктивно связанных с ним (рис. 1).

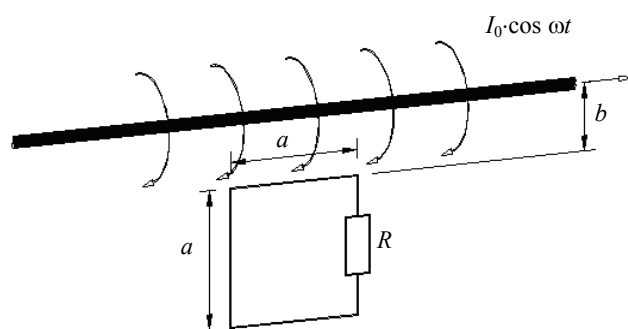


Рис. 1. Взаимное расположение пучка частиц и проволочного контура, поясняющее возникновение индуктивной связи между ними

Напряжение U , наводимое на сопротивлении R при таком расположении контура и тока пучка, определяется током $I_0 \cdot \cos \omega t$, протекающим вдоль одной из сторон рамки. Эти величины (в вакууме) связаны простым соотношением

$$I = \frac{U}{\mu_0 a v \ln \left(1 + \frac{a}{b} \right)}, \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Г/м — магнитная постоянная.

При разумных параметрах тока пучка $\sim 0,1$ — 1 А ($v = \frac{\omega}{2\pi} = 1$ МГц), геометрии контура ($a \sim b \sim 4$ см) и мощности рассеяния на сопротивлении R менее $0,01$ Вт потеря энергии каждой частицы пучка может составить $\sim 10^2$ — 10^4 эВ/с.

Эта величина, естественно, может быть увеличена порядка на два за счет увеличения числа кон-

туров, взаимодействующих с частицами пучка и радиально-расположенными относительно оси последнего (рис. 2) в виде нескольких секций.

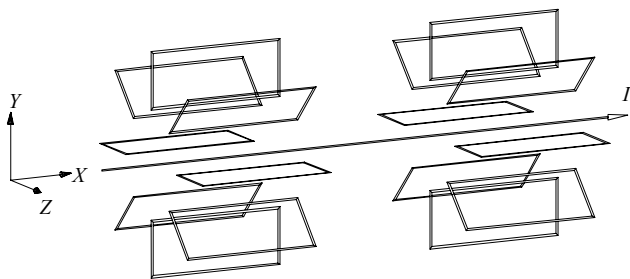


Рис. 2. Пример расположения двух охлаждающих секций относительно оси пучка

Тем самым часть ионопровода ускорителя длиной ~1 м обеспечивает необходимую диссипативную потерю энергии ускоряемых частиц любой массы. Величина потерь энергии каждой частицы зависит от расстояния b между ее траекторией и осью “диссипативных секций” и пропорциональна квадрату величины U , наводимой пучком на сопротивлении R и вычисляемой из (1). Это обуславливает “перемешивание” охлаждаемого пучка и уменьшение его диаметра.

Отметим также, что регулировка величины диссипативных сил, аналогичных обычному трению и направленных против скорости каждой частицы, легко регулируется нагрузочными сопро-

тивлениями R в цепи каждого проволочного контура и может регулироваться управляющим потенциалом, подаваемым на смещение транзисторов, которые можно использовать вместо нагрузочного сопротивления.

Идея экспериментально апробировалась на трех макетах, в которых пучок имитировался проводником. Геометрия нагрузочных секций этих макетов была подобна геометрии секций, изображенных на рис. 2, и различалась величиной сопротивлений R . Во всех случаях наблюдалось выделение энергии на этих сопротивлениях.

Следует отметить, что обсуждаемая в настоящей статье схема охлаждения пучков ускоряемых частиц допускает несколько вариантов использования для этой цели таких контуров, индуктивно связанных с пучком частиц и обуславливающих их диссипативные потери. Обсуждение этих вариантов целесообразно вести несколько позднее.

Таким образом, описан сравнительно простой способ охлаждения частиц любой массы и приведены доводы в пользу его работоспособности.

Л и т е р а т у р а

1. Коломенский А. А., Лебедев А. Н. Теория циклических ускорителей. — М.: Физматгиз, 1962.
2. Будкер Г. И., Скринский А. И. // УФН. 1978. Т. 124. Вып. 4. С. 561.
3. С. ван дер Меер // Там же. 1985. Т. 147. Вып. 2. С. 405.

Статья поступила в редакцию 13 декабря 2006 г.

On the cooling of particles' bunches

E. V. Mayorov

Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences Moscow, Russia

V. V. Okorokov

Alikhanov Institute for Theoretical and Experimental Physics, Russian Federation State scientific center, Moscow, Russia

The method of cooling of bunches of accelerated particles of any mass is presented in this article.

УДК 621.383.734: 621.9.048.7

Влияние электронно-лучевой обработки на параметры фотоэмитирующих структур и фактор шума МКП

С. П. Авдеев, А. А. Кравченко, Е. Ю. Гусев

Таганрогский государственный радиотехнический университет, г. Таганрог, Россия

Представлены результаты влияния электронно-лучевой обработки (ЭЛО) на параметры и характеристики многощелочных и бищелочных фотокатодов (ФК) вакуумных фото