

С. А. Хейфец

**Способ создания устойчивости вертикального движения  
 в ускорителе с увеличивающимся по радиусу магнитным полем**

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. И. Алиханяном 17. III 1959)

Как известно, для поддержания резонанса в циклотроне необходимо увеличивающееся по радиусу магнитное поле. Такое поле является дефокусирующим для движения частиц в вертикальном направлении. Вследствие этого вертикальное движение оказывается неустойчивым. Однако устойчивость вертикального движения можно создать специальным электростатическим полем. При условиях, приведенных ниже (4, 6), фокусирующее действие электростатического поля оказывается сильнее дефокусирующего действия магнитного.

Рассмотрим, например, квадратичное магнитное поле:

$$H_z = H_0 \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{r}{r_M} \right)^2 - \left( \frac{z}{r_M} \right)^2 \right]$$

$$H_r = H_0 \frac{rz}{r_M^2} \tag{1}$$

В таком поле при выполнении неравенства  $r/r_M \ll 1$  частица обращается с постоянной частотой  $\omega_s$ , что является необходимым условием циклотронного резонанса. Константа  $r_M$ , входящая в (1), равна  $c/\omega_s$ .

Уравнение движения по координате  $z$  в поле (1) вблизи плоскости  $z = 0$  имеет вид:

$$\ddot{z} + \frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon} \dot{z} - \omega_s^2 \frac{r_s^2}{r_M^2} z - \frac{c^2 e}{\epsilon_s} E_z, \tag{2}$$

где  $\epsilon$  — полная энергия частицы,  $r_s$  — радиус ее равновесной орбиты. В правую часть уравнения (2) мы добавили силу, действующую на частицу в электростатическом поле  $E_z$ .

Предположим, что  $E_z$  пропорциональна  $z$ , кроме того, сила, действующая на частицу, достаточно быстро осциллирует вследствие движения частицы:



$$eL_z = -gz \sin \Omega t.$$

В таком случае уравнение (2) принимает вид:

$$\ddot{z} = \left( \omega_s^2 \frac{r_x^2}{r_M^2} - \frac{c^2 eg}{\epsilon_s} \sin \Omega t \right) z. \quad (3)$$

В (3) мы пренебрегли несущественным здесь затуханием. Применяя для решения уравнения (3) метод, предложенный П. Л. Капицей (1), получим, что при выполнении неравенства

$$gcr_M/H_s r_s \Omega > \sqrt{2} \quad (4)$$

вертикальное движение является колебательным с частотой

$$\omega_z = \omega_s \frac{r_s}{r_M} \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{gcr_M}{H_s r_s \Omega} \right)^2 - 1}. \quad (5)$$

Для справедливости этого вывода необходимо, чтобы частота  $\Omega$  была бы достаточно велика:

$$c^2 eg / \epsilon_s \Omega^2 < 1. \quad (6)$$

Электростатическое поле нужного вида может быть создано специальной конфигурацией электродов. При этом оно не обязательно должно быть линейным по  $z$ . Достаточно оказывается, чтобы  $E_z$  было нечетной функцией  $z$ .

Укажем, в качестве примера, параметры системы, при которых выполняются неравенства (4) и (6):  $H_0 \sim 10^4$  эрст,  $\Omega/\omega_s = 5$ ,  $g \sim 50-70$  кв/см<sup>2</sup>. Для ускорения протонов до кинетической энергии  $\sim 350$  Мэв при таких параметрах радиус полюсов оказывается равным  $\sim 2$  м, при ускорении дейтонов до кинетической энергии  $\sim 750$  Мэв радиус полюсов вдвое больше.

Ограничение разложения поля (1) в ряд квадратичными членами не является принципиальным и было сделано для упрощения задачи. Дополнительная дефокусировка вертикальных колебаний отброшенными членами более высокого порядка несущественна, если ограничиться ускорением частиц до энергий  $\sim 1,4 mc^2$ , что соответствует  $(r/r_M)^2 \sim 1/2$ . Протоны, ускоренные до такой энергии, будут иметь кинетическую энергию  $\sim 350$  Мэв, что вполне достаточно для рождения мезонов в ядерных столкновениях. При этом можно ожидать, что выход мезонов несмотря на близость к порогу рождения будет на несколько порядков выше, чем в фазотроне.

Физический институт  
Академии наук Армянской ССР

Ս. Ա. ԽԵՅՅԵՑ

Ըստ ճանապարհի աճող մագնիսական դաշտով սրագացուցիչում մասնիկների կայուն ուղղահայաց շարժումը սեղծելու մեթոդ

Առաջարկվող մեթոդը մասնիկների ուղղահայաց շարժումը դարձնում է կայուն, չնայած շտապիղով աճող մագնիսական դաշտի փեփոկուսացնող հատկութեանը: Մեթոդը կայունում է նրանում, որ օգտագործվում է հատուկ ընտրված էլեկտրոստատիկ դաշտ՝ որոշակի կոնֆիգուրացիա ունեցող էլեկտրոդների օգնությամբ:

Անհավասարությունների ձևով, որոնք կապում են արագացուցիչի պարամետրները, ստացված են ուղղահայաց տատանումների կայունության (1) և (6) պայմանները, գնահատված են անհավասարությունների մեջ մտնող մեծությունների արժեքները:

Բերված մեխոլի կիրառումը հնարավորություն է կառ ցիկլոտրոնային սեփմում գրոտոնները արագացնել մինչև ~350 միլիոն էլեկտրոն վոլտ կինետիկ էներգիան: Այսպիսի էներգիայի ժամանակ կարելի է սպասել, որ մեզոնների ելքը կստացվի մի քանի կարգ բարձր քան ֆազատրոնում, չնայած նրան, որ այդ էներգիան մոտ է մեզոնների աստիճան շեմին:

ЛИТЕРАТУРА — ԴՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> П. Л. Капица, ЖЭТФ, т. 21, № 5 (1951).