

#### 4.6. Магнитная фокусировка при повороте на угол $180^\circ$

Представим себе пучок заряженных частиц, попадающий в ту часть пространства, где действует однородное магнитное поле с индукцией  $\mathbf{B}$ , направленной перпендикулярно к движению пучка. Частицы будут отклоняться, и радиусы кривизны их траекторий можно определить из соотношения  $B\rho = (c/q)Mv_t$ , где  $v_t$  — составляющая их скорости в плоскости, перпендикулярной к  $\mathbf{B}$ . Если мы исследуем пучок в какой-то момент, например после поворота на  $180^\circ$ , то обнаружим, что он рассеялся в плоскости движения (т. е. в плоскости чертежа на рис. 4.11), потому что у разных частиц с разными массами и скоростями будут различны и радиусы кривизны траекторий.

На принципе поворота в однородном магнитном поле основано действие *селектора импульсов* — прибора, в котором образуется пучок частиц с почти одинаковыми импульсами при условии, что одинаковы заряды  $q$  всех частиц.

Преимущество использования поворота именно на  $180^\circ$  состоит в том, что частицы с одинаковыми по абсолютной величине импульсами, поступающие во входную щель под несколько различными

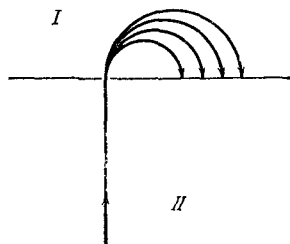


Рис. 4.11. Действие магнитного поля как селектора импульсов (показан пучок ионов с различными импульсами  $P$ ). I — область однородного магнитного поля; вектор  $\mathbf{B}$  перпендикулярен к плоскости рисунка; II — область, где индукция магнитного поля равна нулю.

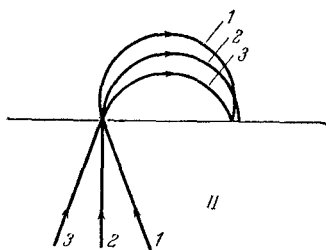


Рис. 4.12. Фокусировка пучка ионов в магнитном поле при повороте на  $180^\circ$ . Ионы с импульсами, равными по величине, но различающимися по направлению, фокусируются, попадая почти в одну точку. Пучок состоит из ионов, имеющих одинаковую абсолютную величину импульса  $|P|$ , но поступающих в щель под разными углами. I — область однородного магнитного поля; вектор  $\mathbf{B}$  перпендикулярен к плоскости рисунка; II — область, где индукция магнитного поля равна нулю.

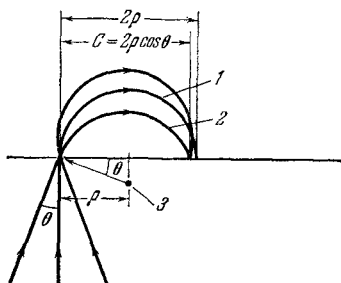


Рис. 4.13. Схема, показывающая подробности фокусировки в селекторе скоростей с поворотом пучка на  $180^\circ$ . I — траектория частицы, входящей под углом  $\theta = 0$ ; 2 — траектория частицы, входящей под углом  $\theta \neq 0$ ; 3 — центр кривизны траектории частицы, входящей при  $\theta \neq 0$ .

$$2\rho(1 - \cos \theta) \cong \rho\theta^2,$$

углами, после поворота на  $180^\circ$  проходят приблизительно через один общий фокус.

Расчет точности фокусировки представляет собой чисто геометрическую задачу. Рассмотрим траекторию частицы, проходящей через входную щель под углом  $\theta$  к идеальной траектории (рис. 4.13). Расстояние между входной щелью и точкой, в которой эта траектория пересечет поверхность мишени, равно длине хорды круга с радиусом  $\rho$ . Разность длин диаметра и хорды равна

$$2\rho - C = 2\rho(1 - \cos \theta) \approx \rho\theta^2, \quad (66)$$

где для малых  $\theta$  мы ограничились первыми двумя слагаемыми разложения косинуса в степенной ряд:

$$\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \dots, \quad (67)$$

которое приводится в математических справочниках. Если мы примем в качестве меры четкости угловой фокусировки следующую величину:

$$\frac{2\rho - C}{2\rho} \approx \frac{1}{2} \theta^2, \quad (68)$$

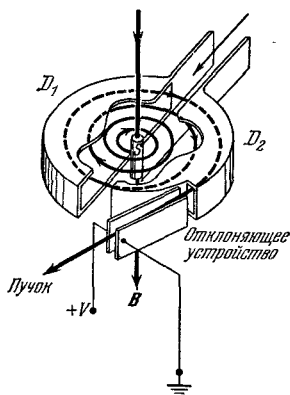
то для  $\theta=0,1$  получаем такое ее значение:

$$\frac{2\rho - C}{2\rho} \approx 5 \cdot 10^{-3}. \quad (69)$$

Эта величина выражает фокусирующее действие селектора импульсов.

#### 4.7. Принцип ускорения заряженных частиц в циклотроне

Рис. 4.14. Вид в разрезе обычного циклотрона низких энергий, состоящего из источника ионов  $S$ , полых ускоряющих электродов в форме D-образных колец ( $D_1$ ,  $D_2$ ) и отклоняющего устройства. Весь прибор находится в однородном вертикальном магнитном поле, вектор индукции которого  $B$  направлен вниз. Плоскость траектории частицы горизонтальна и находится посередине между D-образными кольцами. Ускоряющее высокочастотное электрическое поле приложено в промежутке между D-образными кольцами.



В обычном циклотроне заряженные частицы движутся в постоянном магнитном поле по почти спиральным орбитам, как это описано в отрывке «Из истории физики», приводимом в конце главы. После каждого полуоборота частицы ускоряются электрическим полем, изменяющимся по закону колебаний. Для периодического

ускорения необходимо, чтобы частота электрического поля была строго равна циклотронной частоте ускоряемых частиц.

Циклотронная частота протонов в магнитном поле с индукцией  $10 \text{ кгс}$  равна

$$\omega_{\text{ц}} = \frac{eB}{M_p c} \approx \frac{(5 \cdot 10^{-10}) \cdot 10^4}{(2 \cdot 10^{-24}) \cdot (3 \cdot 10^{10})} \text{ сек}^{-1} \approx 1 \cdot 10^8 \text{ сек}^{-1}, \quad (70)$$

или  $f_{\text{ц}} = \omega_{\text{ц}} / 2\pi \approx 10 \text{ Мгц}$ . До тех пор, пока скорость частицы остается нерелятивистской, эта частота не зависит от энергии частицы.