Заметим следующее:

$$\boxed{B\rho = \frac{cMv_1}{q},} \tag{57}$$

где $Mv_1$— это импульс частицы *в плоскости, перпендикулярной* к **B**. Это важное соотношение; в одной из последующих глав мы

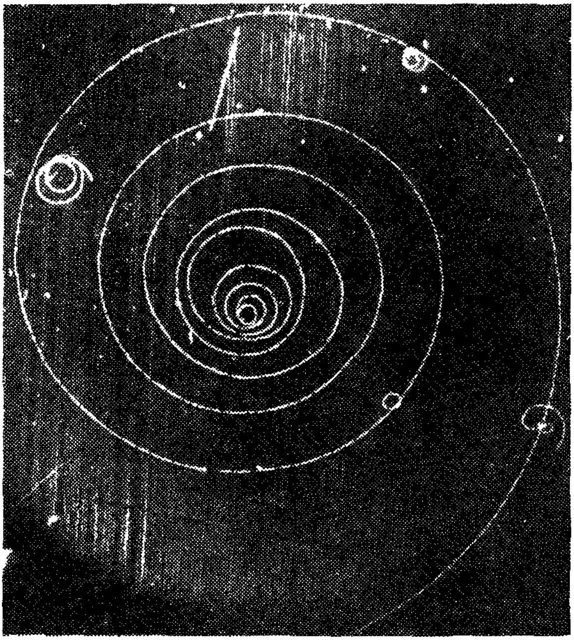

Рис. 4.10. Полученная в водородной пузырьковой камере фотография траектории электрона, движущегося с большой скоростью в магнитном поле. Электрон входит в поле зрения внизу слева. Теряя свою энергию на ионизацию водородных молекул, электрон замедляет движение. Когда уменьшается скорость электрона, уменьшается и радиус кривизны его траектории в магнитном поле. Поэтому траектория имеет форму спирали. (*Радиационная лаборатория им. Лоуренса*)

увидим, что оно выполняется и в релятивистской области скоростей, если вместо $Mv_1$ подставить в него релятивистский импульс $p$. Поэтому можно применять соотношение (57) для определения импульсов частиц с очень высокой энергией.

## 4.5. Размерности

Всегда целесообразно проверить, что размерности обеих частей полученного окончательного уравнения одинаковы. Это легкий способ обнаружить принципиальные ошибки. Для правой части уравнения (57) имеем

$$\left[\frac{cMv_1}{q}\right] = \left[\frac{L}{T}\right][M]\left[\frac{L}{T}\right]\left[\frac{1}{q}\right] = \left[\frac{ML^2}{qT^2}\right], \tag{58}$$

где $T$ — время, а $L$ — длина. Квадратные скобки означают размерность заключенной в них величины. Для левой части уравнения (57)

$$[B\rho]=\left[\frac{F}{q}\right][L]=\left[\frac{ML^2}{qT^2}\right], \tag{59}$$

потому что согласно уравнению (9), определяющему силу Лоренца, индукция $B$ имеет в гауссовой системе единиц размерность силы, деленной на заряд. Как показывают равенства (58) и (59), обе части уравнения (57) имеют одинаковую размерность.

Пример. *Гироскопическая частота.* Какова гироскопическая частота электрона в магнитном поле с индукцией 10 *кгс* ($1\cdot10^4$ *гс*)? (Величина индукции 10÷15 *кгс* типична для магнитных полей обычных лабораторных электромагнитов с железным сердечником.)

Согласно формуле (51) получаем

$$\omega_{\text{ц}}=\frac{eB}{mc}\approx\frac{(5\cdot10^{-10})\cdot(10^4)}{(10^{-27})\cdot(3\cdot10^{10})}\,сек^{-1}\approx\frac{5\cdot10^{-6}}{3\cdot10^{-17}}\,сек^{-1}\approx2\cdot10^{11}\ сек^{-1}. \tag{60}$$

Частота периодического движения, обозначаемая как $f_{\text{ц}}$, равна

$$f_{\text{ц}}=\frac{\omega_{\text{ц}}}{2\pi}\approx3\cdot10^{10}\ гц, \tag{61}$$

и ей соответствует следующая длина электромагнитной волны в свободном пространстве:

$$\lambda_{\text{ц}}=\frac{c}{f_{\text{ц}}}\approx\frac{3\cdot10^{10}}{3\cdot10^{10}}\,см\approx1\ см. \tag{62}$$

Гироскопическая частота $\omega_{\text{ц}}(\mathrm{p})$ протона относится к гироскопической частоте электрона в том же самом магнитном поле, как 1/1836, т. е. так же, как масса электрона к массе протона. В магнитном поле с индукцией 10 *кгс* гироскопическая частота протона равна

$$\omega_{\text{ц}}(\mathrm{p})=\frac{m}{M_{\mathrm{p}}}\,\omega_{\text{ц}}(\mathrm{e})\approx\frac{2\cdot10^{11}}{2\cdot10^3}\,сек^{-1}\approx10^8\ сек^{-1}. \tag{63}$$

Направление кругового движения электрона в магнитном поле противоположно направлению движения протона, потому что их заряды имеют противоположные знаки.

Пример. *Гироскопический радиус.* Каков радиус траектории электрона, движущегося в циклотроне со скоростью $10^8$ *см/сек* в плоскости, перпендикулярной к вектору магнитной индукции **B**, величина которого равна 10 *кгс*?

Применяя уравнения (56) и (60), получим следующую величину гироскопического радиуса:

$$\rho=\frac{v_1}{\omega_{\text{ц}}}\approx\frac{10^8}{2\cdot10^{11}}\,см\approx5\cdot10^{-4}\ см. \tag{64}$$

Гироскопический радиус протона, движущегося с той же скоростью, больше в $M_{\mathrm{p}}/m$ раз:

$$\rho\approx(5\cdot10^{-4})\cdot(2\cdot10^3)\,см\approx1\ см. \tag{65}$$