第２問　電荷をもった粒子の運動を磁場により制御することを考える。重力の効果は無視できるものとして，以下の設問に答えよ。ただし，角度の単位はすべてラジアンとする。また，θ を微小な角度とするとき，$\cos\theta \fallingdotseq 1$，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$，$\tan\theta \fallingdotseq \theta$ と近似してよい。

Ⅰ　図２―１のように，$|x| \leqq \dfrac{d}{2}$ の領域 A_1 にのみ，磁束密度が y 座標にゆるやかに依存する磁場が z 軸方向(紙面に垂直，手前向きを正)にかけられている。質量 m，正の電荷 q をもつ粒子Ｐを，x 軸正方向に速さ v で領域 A_1 に入射する。

(1)　領域 A_1 を通過した結果，粒子Ｐの運動方向が微小な角度だけ曲がり，その x 軸からの角度が θ となった。領域 A_1 内を通過する間，粒子の y 座標の変化は小さく，粒子にはたらく磁束密度 B はその間一定としてよいとする。このときの θ を求めよ。以後，角度の向きは図２―１の矢印の向きを正とする。

(2)　領域 A_1 内の磁束密度が y 座標に比例し，正の定数 b を用いて $B = by$ と表されるとき，粒子Ｐは入射時の y 座標によらず x 軸上の同じ点 $(x, y) = (f,\ 0)$ を通過する。このとき f を求めよ。ただし，d は f に比べて無視できるほど小さいとする。また，領域 A_1 内を通過する間，粒子の y 座標の変化は小さく，粒子にはたらく磁束密度 B はその間一定としてよいとする。

(3)　図２―２(a)のように配置された電磁石の組の点線で囲まれた範囲(拡大図と座標を図２―２(b)に示す)を考える。鉄芯(しん)を適切な形に製作すると，$z = 0$ の平面内で(2)のような磁場が実現できる。このとき，二つの電磁石に流す電流 I_1，I_2 の向きはどうするべきか。それぞれの符号を答えよ。ただし，図中の矢印の向きを正とする。

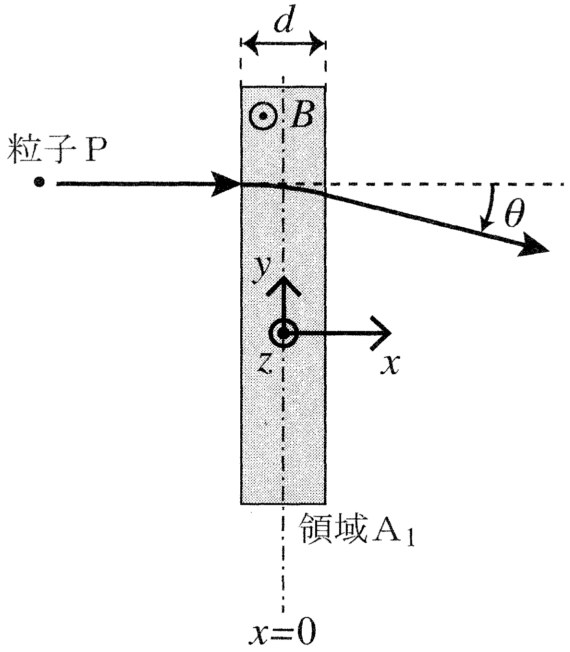

図 2 — 1

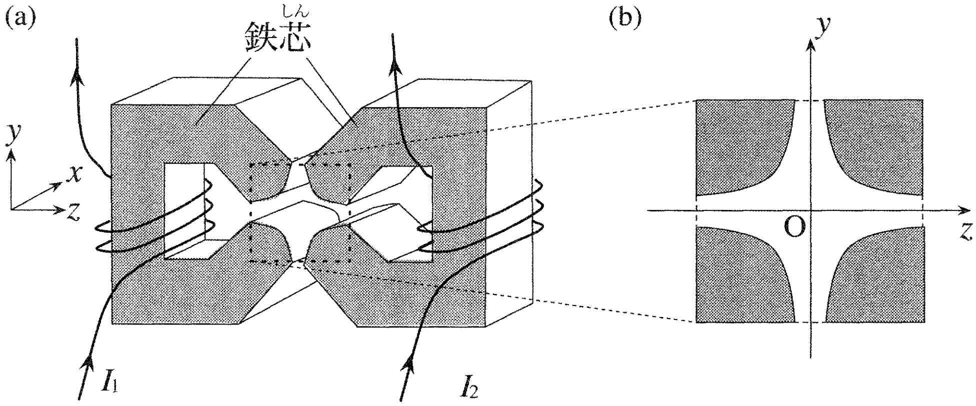

図 2 — 2

II　次に，I(2)の領域A_1に加えて，図2―3のように，$x=\frac{3}{2}f$を中心とし幅dの範囲に，z軸方向に磁束密度kby（kは定数）の磁場がかかっている領域A_2を考える。ここで，領域A_1とA_2を両方通過した後の粒子の運動方向の変化は，それぞれの領域でI(1)のように求めた曲げ角の和として計算できるものとし，またdはfに比べて無視できるほど小さいとしてよいとする。粒子Pと，同じ電荷qをもつ別の粒子Qとが，x軸正方向に速さvをもって$y=y_0$で領域A_1に別個に入射したところ，粒子Pの運動方向が微小な角度θ_0，粒子Qの運動方向が角度$\frac{\theta_0}{2}$だけ曲げられて，それぞれ領域A_2に入射した。

(1)　粒子Qの質量を求めよ。

(2)　粒子P，粒子Qが領域A_2に入る際のy座標は，それぞれy_0の何倍となるか。

(3)　粒子P，粒子Qが領域A_2を通過した後の運動方向のx軸からの角度を，それぞれkとθ_0を用いて表せ。

(4)　kの値を調整すると，粒子Pと粒子Qが$x>\frac{3}{2}f$でx軸上の同じ点を通過するようにできる。このときのkの値を求めよ。

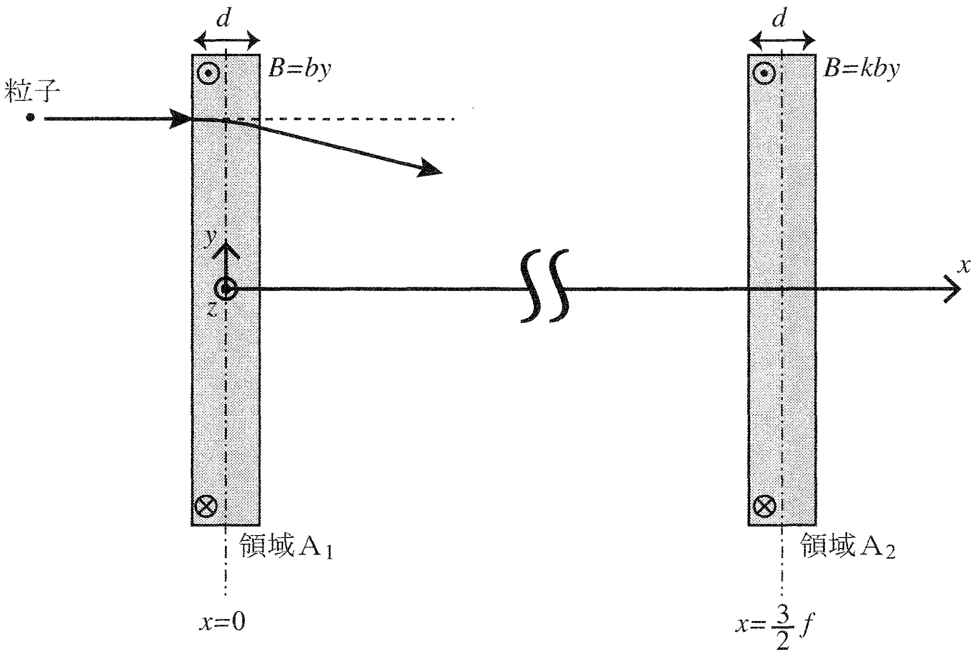

図2―3