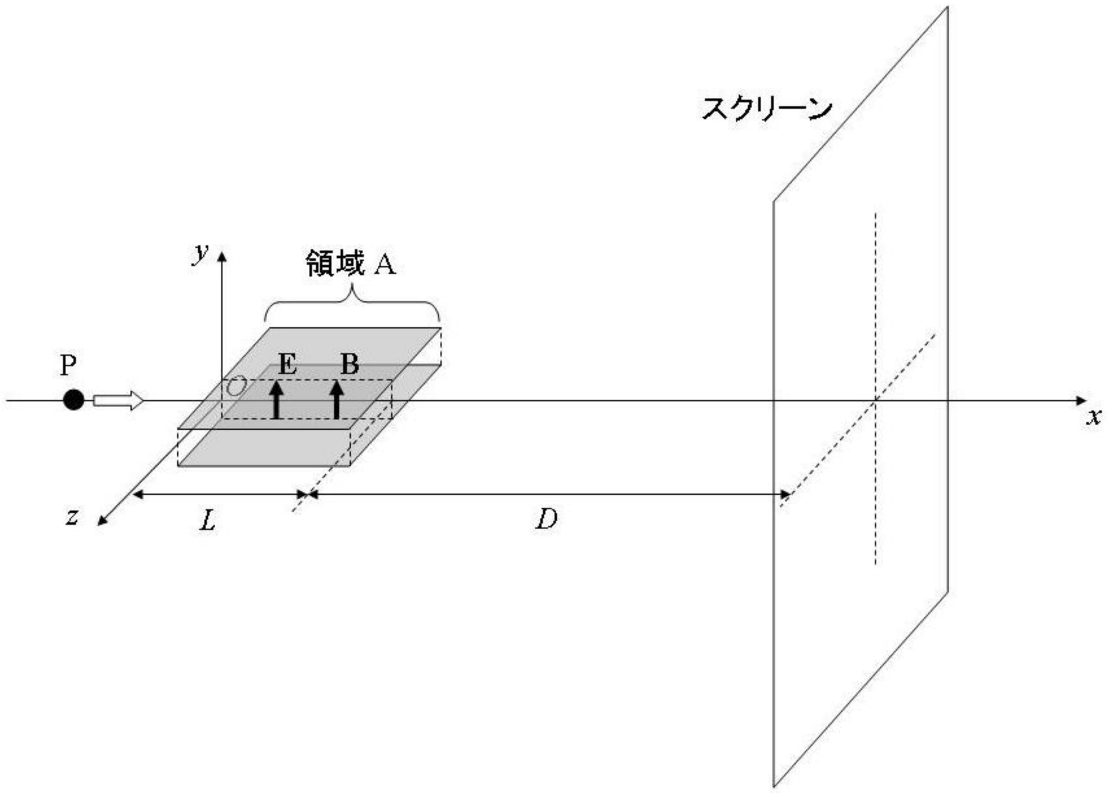
［物理学基礎］

図のように，左から $x$ 軸にそって，質量 $m$ [kg]，電荷 $q$ [A･s] を持つ荷電粒子 P が，速度 $v_{x0}$ [m/s]の等速直線運動をした後，$x = 0$ （$yz$ 平面）から $x = L$ （$yz$ 平面に平行な平面）の間に存在する領域 A に入射する．領域 A では，$y$ 軸の正の方向に，均一な電場および均一な磁場がかけられている．電場の大きさは $E$ [V/m]，磁場の大きさは磁束密度 $B$ [V･s/m$^2$]とする．荷電粒子は領域 A において軌跡が曲げられ，領域 A を出た後等速直線運動をし，$x = L + D$ の位置にあるスクリーン（検出器面）に到達する．スクリーン面は $yz$ 平面に平行である．また，領域 A 以外の場所には電場と磁場は存在せず，重力については無視できるものとする．

以下の問いに答えよ．解答にいたる道筋も示せ．なお，MKSA 単位系を用いるとする．




（１）一般に，均一な電場 **E**, 均一な磁束密度 **B** を持つ３次元空間において，質量 $m$ ，電荷 $q$ を持つ粒子が，速度 $\boldsymbol{v}$ で運動するとき，その粒子にかかる力 **F** を式で表せ．ここで，**E**, **B**, $\boldsymbol{v}$ , **F** はすべてベクトル量である．

（２）（１）の結果を参照として，領域 A 内において荷電粒子 P にかかる力 **F** を $q, E, B$ などを用いて表せ．ここで $x$ 方向の単位ベクトルを $\mathbf{e}_x$，$y$ 方向の単位ベクトルを $\mathbf{e}_y$，$z$ 方向の単位ベクトルを $\mathbf{e}_z$ と表すものとする．また，荷電粒子 P の速度ベクトル $\boldsymbol{v}$ は，$\boldsymbol{v} = v_x\,\mathbf{e}_x + v_y\,\mathbf{e}_y + v_z\,\mathbf{e}_z$ と表されるものとする．

（３）（２）の結果を用い，この粒子の加速度 $\boldsymbol{a}$（ベクトル量）を $\boldsymbol{a} = a_x\,\mathbf{e}_x + a_y\,\mathbf{e}_y + a_z\,\mathbf{e}_z$ と表すとき，$a_x, a_y, a_z$ を $q, m, E, B$ などを用いて表せ．

（4）$v_x$ に比べて $v_z$ が十分に小さく $v_z = 0$ と見なされるとき，荷電粒子 P が領域 A から抜け出す瞬間の速度ベクトルおよび位置ベクトルを求めよ．

（5）領域 A を抜け出した荷電粒子 P は，その後，スクリーンに到達する．スクリーン上での荷電粒子 P の到達点の位置座標を求めよ．

（6）（5）において，$L << D$ と見なせるとき，スクリーン上の荷電粒子の到達点が描く軌跡を表す式を求めよ．

（7）荷電粒子が炭素原子イオン $^{12}C^{+}$，窒素原子イオン $^{14}N^{+}$，酸素原子イオン $^{16}O^{+}$であるとき，これらそれぞれのイオン種について，スクリーン上に現れる軌跡の概略を描け．