1 真空中で，図 1 のような磁場と電場のかかる水平面（xy 平面）内を運動する質量 m，電気量 $q\,(>0)$ の荷電粒子を考える．$x<0$ の領域（領域 L）および $x>d$ の領域（領域 R）では，磁束密度の大きさ B の一様かつ時間的にも一定な磁場が鉛直下向きにかかっているが，電場はかかっていない．一方，$0 \leq x \leq d$ の領域には，大きさ E の電場が x 軸の正の向きにかかっているが，磁場はかかっていない．この電場の向きは反転させることができる．荷電粒子は原点 O から初速度 0 で運動を開始する．重力の影響を無視して，以下の問いに答えよ．

問 1　荷電粒子が領域 R に入るときの速さ v_1 を求めよ．

問 2　領域 R において，荷電粒子は半円の軌道を描いた．その理由を説明せよ．また，半円の半径 r_1 と，荷電粒子が領域 R 内にあった時間 t_1 を求めよ．

問 3　荷電粒子が領域 R を出るときに電場の向きを反転させた．その後，荷電粒子が領域 L に入るときの速さ v_2 を，v_1 を用いて表せ．

問 4　領域 L において，荷電粒子は半径 r_2 の半円の軌道を描いたあと，磁場のかかっていない領域に戻った．荷電粒子が領域 L 内にあった時間 t_2 を，t_1 を用いて表せ．また，r_2 を，r_1 を用いて表せ．

以上のように，荷電粒子が磁場のかかっていない領域に入るたびに電場の向きを反転させると，荷電粒子を加速し続けることができる．

問 5　荷電粒子が $n\,(n=2,3,4,\cdots)$ 回目に磁場のかかっている領域に入るときの速さ v_n を，v_1 と n を用いて表せ．さらに，その領域における軌道の半径 r_n を，r_1 と n を用いて表せ．

以上の操作を行って荷電粒子を高速に加速させるためには，非常に広い面積が必要となる．しかし，電場の向きだけでなく，磁束密度の大きさも変化させれば，装置を巨大化させることなく荷電粒子を加速し続けることができる．そこで，荷電粒子が n 回目に磁場のかかっている領域に入るときにかける磁束密度の大きさを B_n とする．

問 6　荷電粒子を，図 2 のような直線と半径 r_1 の半円からなる軌道を維持したまま加速し続けるための B_n を，n と $B_1\,(B_1=B)$ を用いて表せ．ただし，磁場の変化で生じる誘導電場は無視できるものとする．