電験どうでしょう管理人
KWG presents

電験オンライン塾

第20回　過去問解説
磁気（3）

2024.02.04 Sun

電磁気学における力と運動

クーロン力

電荷間で働く力　$F=\dfrac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon r^2}=Q_1E$

磁気力

磁荷間で働く力　$F=\dfrac{m_1m_2}{4\pi\mu r^2}=m_1H$

電磁力（ローレンツ力）

電流と磁界の間で生じる力　$F=I\times B\,\Delta l$

磁界中の運動する電荷に働く力　$f=qv\times B$

この２つの力が生じたときの電子（または電荷）の運動を考える

電磁気学における力と運動

クーロン力

電荷間で働く力　$F=\frac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon r^2}=Q_1E$

電磁力（ローレンツ力）

電流と磁束の間で生じる力　$F=I\times B\,\Delta l$

力が運動を表すわけではない

運動方程式

運動を表す式　$F=ma$

a：加速度

$a=\frac{F}{m}$ ⇒ $v=at+v_0$ ⇒ $x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0$

v：速度

v_0：初速度

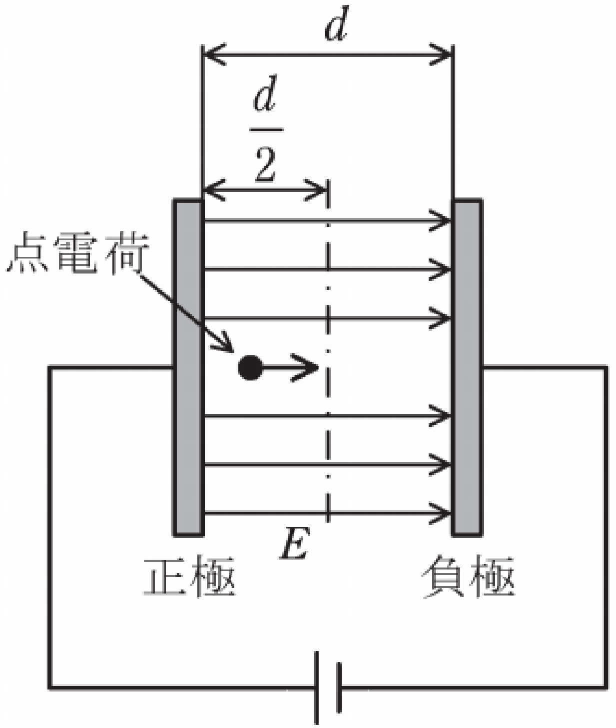
x：位置

x_0：初期位置

R01　問12

問 12　図のように，極板間の距離 d[m]の平行板導体が真空中に置かれ，極板間に強さ E[V/m]の一様な電界が生じている。質量 m[kg]，電荷量 $q(>0)$[C]の点電荷が正極から放出されてから，極板間の中心 $\frac{d}{2}$[m]に達するまでの時間 t[s]を表す式として，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，点電荷の速度は光速より十分小さく，初速度は 0 m/s とする。また，重力の影響は無視できるものとし，平行板導体は十分大きいものとする。

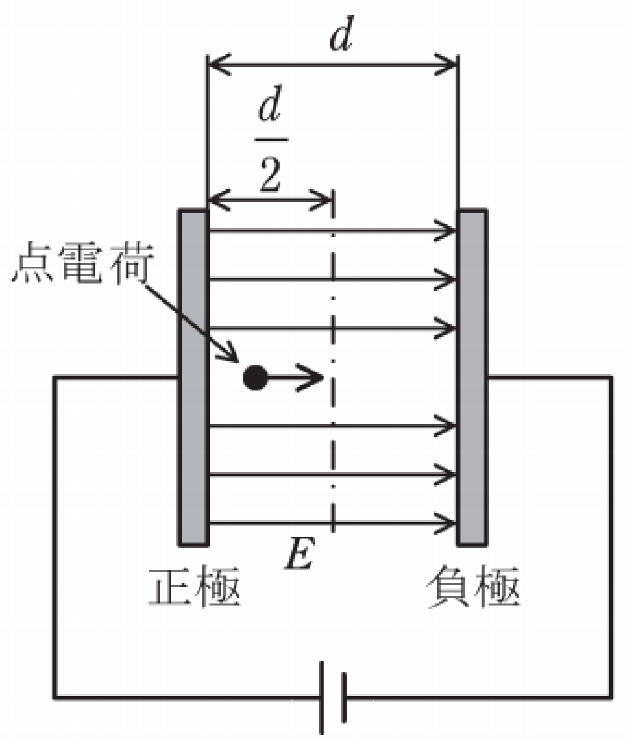


(1) $\sqrt{\dfrac{md}{qE}}$　(2) $\sqrt{\dfrac{2md}{qE}}$　(3) $\sqrt{\dfrac{qEd}{m}}$　(4) $\sqrt{\dfrac{qE}{md}}$　(5) $\sqrt{\dfrac{2qE}{md}}$

R01 問12

問 12　図のように，極板間の距離 d[m]の平行板導体が真空中に置かれ，極板間に強さ E[V/m]の一様な電界が生じている。質量 m[kg]，電荷量 q(>0)[C]の点電荷が正極から放出されてから，極板間の中心 $\frac{d}{2}$[m]に達するまでの時間 t[s]を表す式として，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，点電荷の速度は光速より十分小さく，初速度は 0 m/s とする。また，重力の影響は無視できるものとし，平行板導体は十分大きいものとする。



(1) $\sqrt{\dfrac{md}{qE}}$　(2) $\sqrt{\dfrac{2md}{qE}}$　(3) $\sqrt{\dfrac{qEd}{m}}$　(4) $\sqrt{\dfrac{qE}{md}}$　(5) $\sqrt{\dfrac{2qE}{md}}$

クーロン力　$F = qE$

運動方程式　$F = ma \rightarrow a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{qE}{m}$

位置と時間の関係　$x = \dfrac{1}{2}at^2$

$$\frac{d}{2} = \frac{1}{2}at^2 \rightarrow t^2 = \frac{d}{a} = \frac{d}{qE/m}$$

$$t^2 = \frac{md}{qE} \rightarrow t = \sqrt{\frac{md}{qE}}$$

H23 問12

問12　次の文章は，真空中における電子の運動に関する記述である。

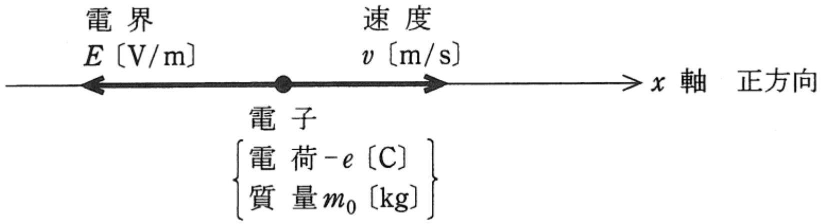
図のように，x 軸上の負の向きに大きさが一定の電界 E〔V/m〕が存在しているとき，x 軸上に電荷が $-e$〔C〕（e は電荷の絶対値），質量 m_0〔kg〕の1個の電子を置いた場合を考える。x 軸の正方向の電子の加速度を a〔m/s^2〕とし，また，この電子に加わる力の正方向を x 軸の正方向にとったとき，電子の運動方程式は

$$m_0 a = \boxed{\quad(ア)\quad} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad ①$$

となる。①式から電子は等加速度運動をすることがわかる。したがって，電子の初速度を零としたとき，x 軸の正方向に向かう電子の速度 v〔m/s〕は時間 t〔s〕の $\boxed{(イ)}$ 関数となる。また，電子の走行距離 x_{dis}〔m〕は時間 t〔s〕の $\boxed{(ウ)}$ 関数で表される。さらに，電子の運動エネルギーは時間 t〔s〕の $\boxed{(エ)}$ で増加することがわかる。

ただし，電子の速度 v〔m/s〕はその質量の変化が無視できる範囲とする。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	eE	一　次	二　次	1　乗
(2)	$\frac{1}{2}eE$	二　次	一　次	1　乗
(3)	eE^2	一　次	二　次	2　乗
(4)	$\frac{1}{2}eE$	二　次	一　次	2　乗
(5)	eE	一　次	二　次	2　乗

H23 問12

問12　次の文章は，真空中における電子の運動に関する記述である。

図のように，x 軸上の負の向きに大きさが一定の電界 E〔V/m〕が存在しているとき，x 軸上に電荷が $-e$〔C〕(e は電荷の絶対値)，質量 m_0〔kg〕の 1 個の電子を置いた場合を考える。x 軸の正方向の電子の加速度を a〔m/s²〕とし，また，この電子に加わる力の正方向を x 軸の正方向にとったとき，電子の運動方程式は

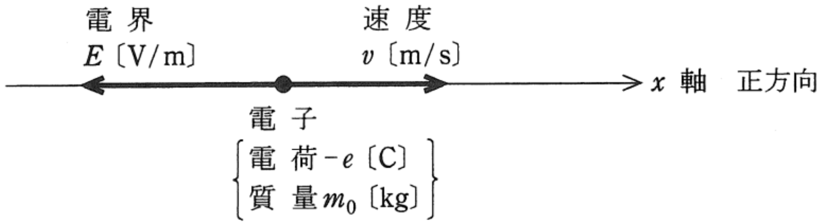
eE

$m_0 a =$ (ア) ……………………… ①

となる。①式から電子は等加速度運動をすることがわかる。したがって，電子の初速度を零としたとき，x 軸の正方向に向かう電子の速度 v〔m/s〕は時間 t〔s〕の 一次 (イ) 関数となる。また，電子の走行距離 x_{dis}〔m〕は時間 t〔s〕の 二次 (ウ) 関数で表される。さらに，電子の運動エネルギーは時間 t〔s〕の (エ) 2乗 で増加することがわかる。

ただし，電子の速度 v〔m/s〕はその質量の変化が無視できる範囲とする。

上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。



運動方程式

$$F = m_0 a = eE \rightarrow a = \frac{eE}{m_0}$$

速度

$$v = at$$

距離

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

運動エネルギー

$$K = \frac{1}{2}m_0 v^2 = \frac{1}{2}m_0 a^2 t^2$$

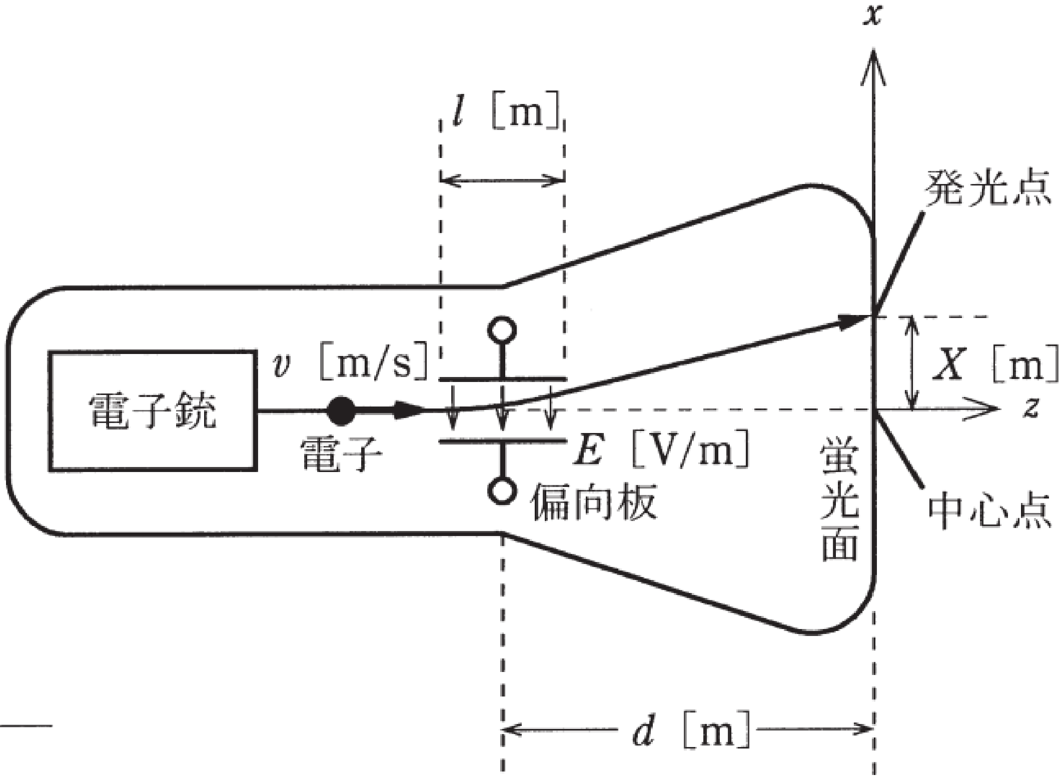
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	eE	一 次	二 次	1 乗
(2)	$\frac{1}{2}eE$	二 次	一 次	1 乗
(3)	eE^2	一 次	二 次	2 乗
(4)	$\frac{1}{2}eE$	二 次	一 次	2 乗
(5)	eE	一 次	二 次	2 乗

H27 問12

問12　ブラウン管は電子銃，偏向板，蛍光面などから構成される真空管であり，オシロスコープの表示装置として用いられる。図のように，電荷$-e$［C］をもつ電子が電子銃から一定の速度v［m/s］でz軸に沿って発射される。電子は偏向板の中を通過する間，x軸に平行な平等電界E［V/m］から静電力$-eE$［N］を受け，x方向の速度成分u［m/s］を与えられ進路を曲げられる。偏向板を通過後の電子はz軸と$\tan\theta=\dfrac{u}{v}$なる角度θをなす方向に直進して蛍光面に当たり，その点を発光させる。このとき発光する点は蛍光面の中心点からx方向に距離X［m］だけシフトした点となる。

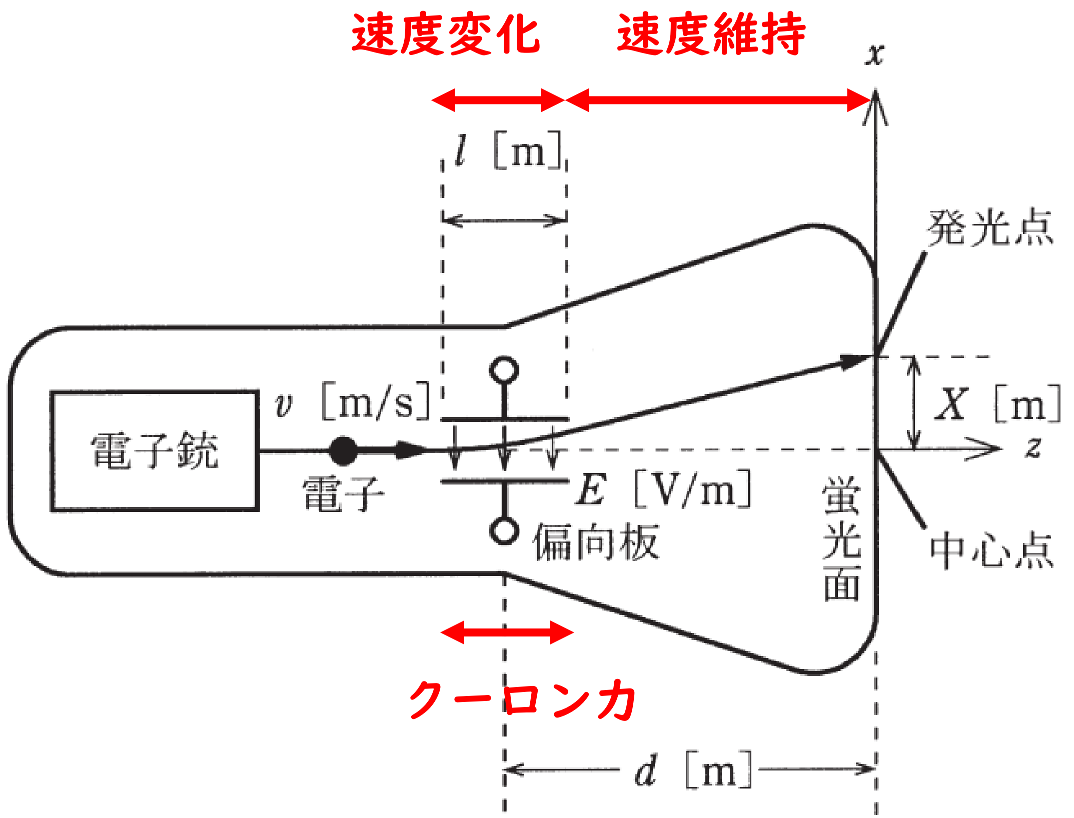
uとXを表す式の組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，電子の静止質量をm［kg］，偏向板のz方向の大きさをl［m］，偏向板の中心から蛍光面までの距離をd［m］とし，$l \ll d$と仮定してよい。また，速度vは光速に比べて十分小さいものとする。



	u	X
(1)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{2eldE}{mv^2}$
(2)	$\dfrac{elE^2}{mv}$	$\dfrac{2eldE}{mv^2}$
(3)	$\dfrac{elE}{mv^2}$	$\dfrac{eldE^2}{mv}$
(4)	$\dfrac{elE^2}{mv^2}$	$\dfrac{eldE}{mv}$
(5)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{eldE}{mv^2}$

H27 問12



力がかかっていないときの物体の運動は
- ・等速直線運動
- ・静止

のどちらか

x方向の速度v_xを求める

$$F_x = ma_x = eE$$

$$a_x = \frac{eE}{m} \rightarrow v_x = u = a_x t_0 = \frac{eE}{m} t_0$$

t_0はクーロン力F_xが発生している時間であり、偏向板を通過している時間なので、

$$t_0 = \frac{l}{v_z} = \frac{l}{v}$$

$$\therefore u = \frac{elE}{mv}$$

偏向板から蛍光面までの距離をdとし、z方向の速度vより蛍光面に衝突するまでの時間t_1は

$$t_1 = \frac{d}{v_z} = \frac{d}{v}$$

x方向へのずれXは、

$$X = v_x t_1 = u t_1 = \frac{elE}{mv} \times \frac{d}{v}$$

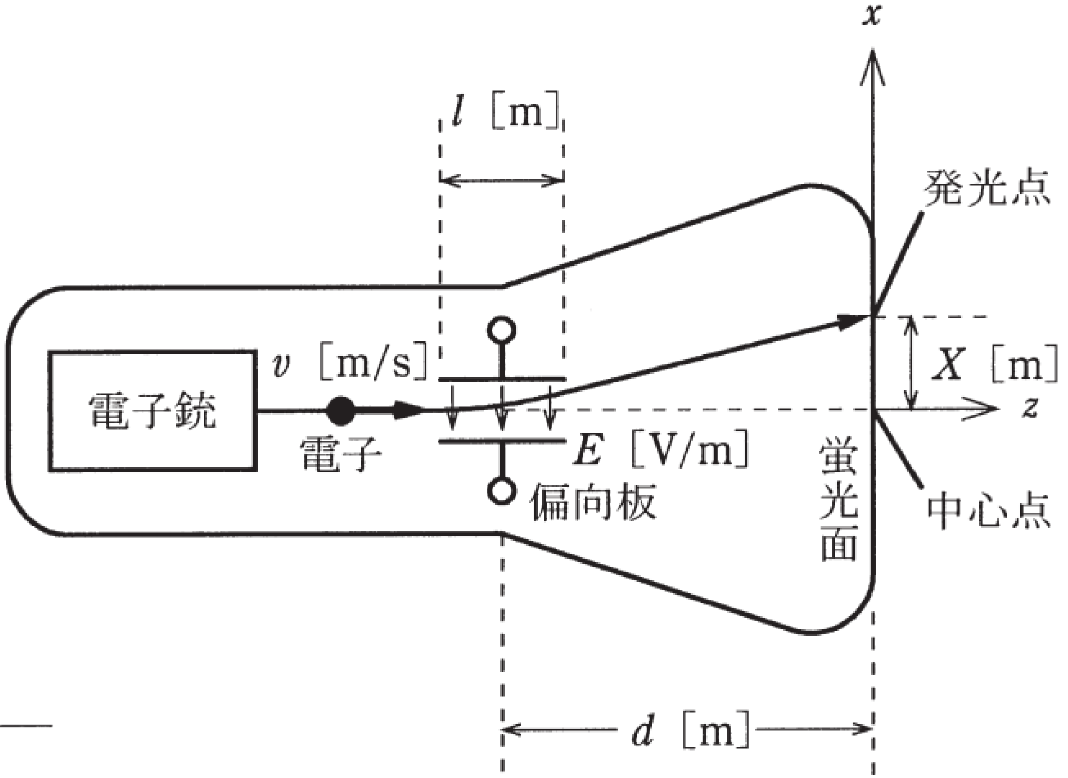
$$\therefore X = \frac{eldE}{mv^2}$$

H27 問12

問12　ブラウン管は電子銃，偏向板，蛍光面などから構成される真空管であり，オシロスコープの表示装置として用いられる。図のように，電荷$-e$［C］をもつ電子が電子銃から一定の速度v［m/s］でz軸に沿って発射される。電子は偏向板の中を通過する間，x軸に平行な平等電界E［V/m］から静電力$-eE$［N］を受け，x方向の速度成分u［m/s］を与えられ進路を曲げられる。偏向板を通過後の電子はz軸と$\tan\theta=\dfrac{u}{v}$なる角度θをなす方向に直進して蛍光面に当たり，その点を発光させる。このとき発光する点は蛍光面の中心点からx方向に距離X［m］だけシフトした点となる。

uとXを表す式の組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，電子の静止質量をm［kg］，偏向板のz方向の大きさをl［m］，偏向板の中心から蛍光面までの距離をd［m］とし，$l \ll d$と仮定してよい。また，速度vは光速に比べて十分小さいものとする。

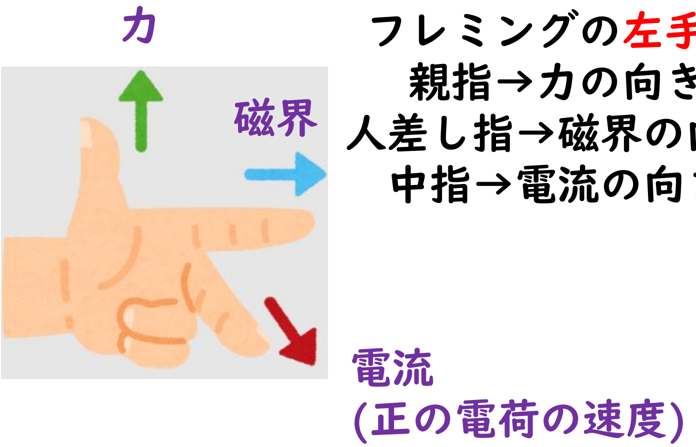


	u	X
(1)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{2eldE}{mv^2}$
(2)	$\dfrac{elE^2}{mv}$	$\dfrac{2eldE}{mv^2}$
(3)	$\dfrac{elE}{mv^2}$	$\dfrac{eldE^2}{mv}$
(4)	$\dfrac{elE^2}{mv^2}$	$\dfrac{eldE}{mv}$
(5)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{eldE}{mv^2}$

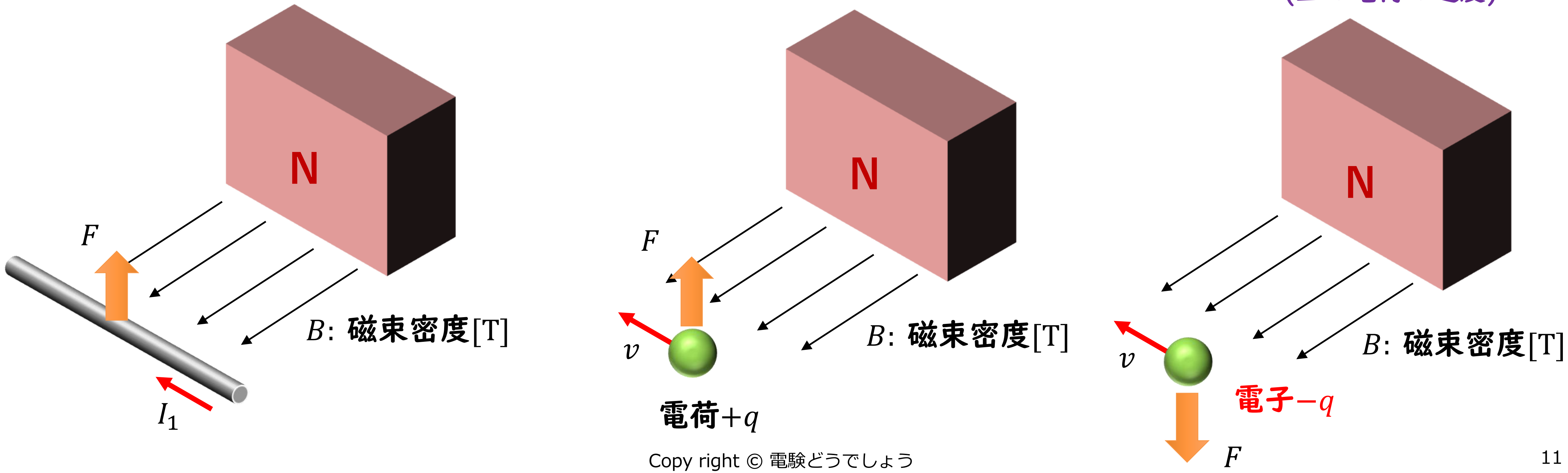
ローレンツ力による電荷の運動

電磁力（ローレンツ力）
電流と磁束の間で生じる力　$F = I \times B\,\Delta l$

電荷と磁束の間で生じる力　$F = \frac{\Delta q}{\Delta t} \times B\,\Delta l = \Delta q \frac{\Delta l}{\Delta t} \times B = qv \times B$



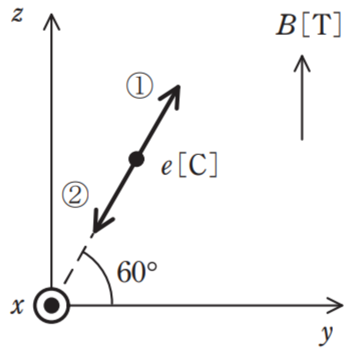
フレミングの左手則
親指→力の向き
人差し指→磁界の向き
中指→電流の向き



R04下 問12

問 12　図のように，z 軸の正の向きに磁束密度 $B=1.0\times10^{-3}$ T の平等磁界が存在する真空の空間において，電気量 $e=-4.0\times10^{-6}$ C の荷電粒子が yz 平面上を y 軸から 60°の角度で①又は②の向きに速さ v[m/s] で発射された。この瞬間，荷電粒子に働くローレンツ力 F の大きさは 1.0×10^{-8} N，その向きは x 軸の正の向きであった。荷電粒子の速さ v に最も近い値[m/s]とその向きの組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，重力の影響は無視できるものとする。図中の ⦿ は，紙面に対して垂直かつ手前の向きを表す。



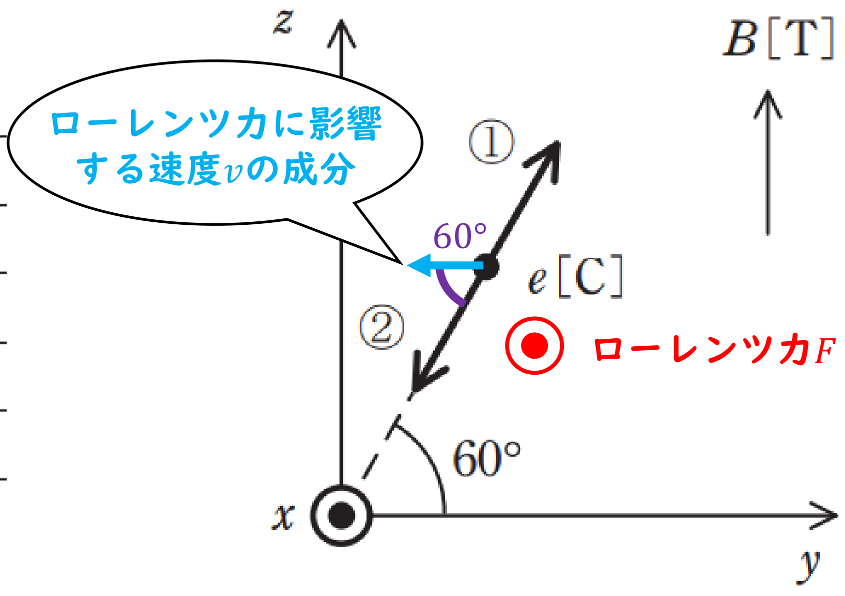
	速さ v	向き
(1)	2.5	①
(2)	2.9	①
(3)	5.0	①
(4)	2.9	②
(5)	5.0	②

R04下 問12

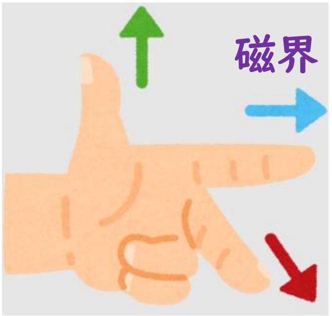
問 12　図のように，z 軸の正の向きに磁束密度 $B = 1.0\times10^{-3}$ T の平等磁界が存在する真空の空間において，電気量 $e = -4.0\times10^{-6}$ C の荷電粒子が yz 平面上を y 軸から 60°の角度で①又は②の向きに速さ v[m/s]で発射された。この瞬間，荷電粒子に働くローレンツ力 F の大きさは 1.0×10^{-8} N，その向きは x 軸の正の向きであった。荷電粒子の速さ v に最も近い値[m/s]とその向きの組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

ただし，重力の影響は無視できるものとする。図中の ⊙ は，紙面に対して垂直かつ手前の向きを表す。

	速さ v	向き
(1)	2.5	①
(2)	2.9	①
(3)	5.0	①
(4)	2.9	②
(5)	5.0	②



電流による力の向き：フレミングの左手則
親指→力の向き
人差し指→磁界の向き
中指→電流の向き（正の電荷の向き）



電流（正の電荷の向き）→ 負の電荷の場合反対になる

荷電粒子はy軸の負側へ進むので、②が正しい

ローレンツ力Fを求める

$$F = qvB\times(v\text{と}B\text{の直交の割合})$$

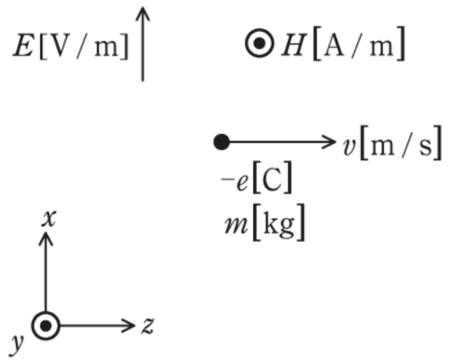
$$F = q(v\cos 60°)B$$

$$v = \frac{F}{qB\cos 60°} = \frac{1.0\times10^{-8}}{1.0\times10^{-3}\times4.0\times10^{-6}\times0.5} = 5\ \mathrm{m/s}$$

R03 問12

問 12　図のように，x 方向の平等電界 E [V/m]，y 方向の平等磁界 H [A/m]が存在する真空の空間において，電荷 $-e$ [C]，質量 m[kg]をもつ電子が z 方向の初速度 v[m/s]で放出された。この電子が等速直線運動をするとき，v を表す式として，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし，真空の誘電率を ε_0 [F/m]，真空の透磁率を μ_0 [H/m]とし，重力の影響を無視する。

また，電子の質量は変化しないものとする。図中の⊙は紙面に垂直かつ手前の向きを表す。

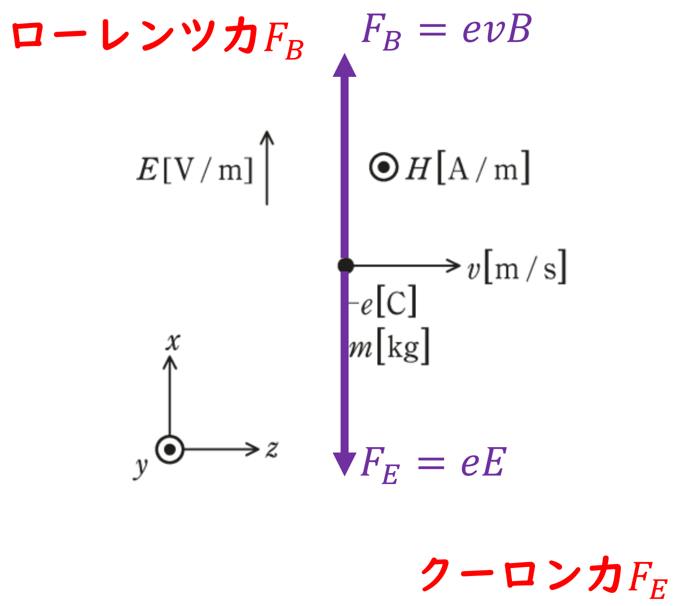


(1) $\dfrac{\varepsilon_0 E}{\mu_0 H}$　(2) $\dfrac{E}{H}$　(3) $\dfrac{E}{\mu_0 H}$　(4) $\dfrac{H}{\varepsilon_0 E}$　(5) $\dfrac{\mu_0 H}{E}$

R03 問12

問 12　図のように，x 方向の平等電界 E [V/m]，y 方向の平等磁界 H [A/m]が存在する真空の空間において，電荷 $-e$ [C]，質量 m[kg]をもつ電子が z 方向の初速度 v[m/s]で放出された。この電子が等速直線運動をするとき，v を表す式として，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。ただし，真空の誘電率を ε_0 [F/m]，真空の透磁率を μ_0 [H/m]とし，重力の影響を無視する。

また，電子の質量は変化しないものとする。図中の⦿は紙面に垂直かつ手前の向きを表す。



クーロン力F_Eとローレンツ力F_Bが釣り合うとき、電荷は等速直線運動する

$$F_B = evB = ev\mu_0 H$$

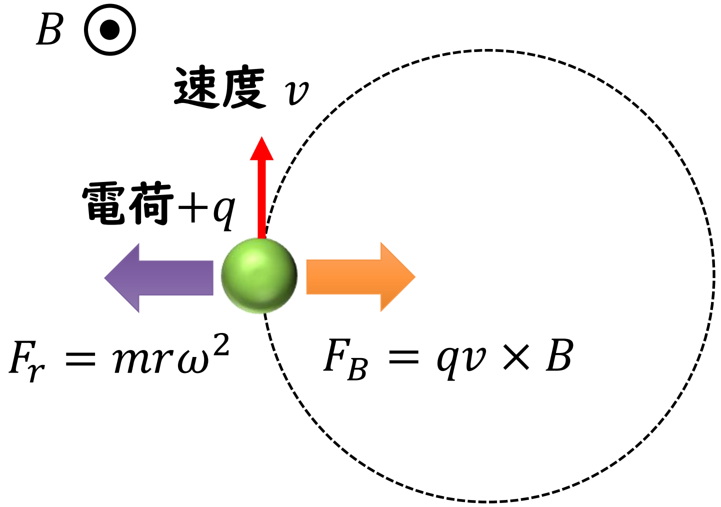
$$F_E = eE$$

$$F_E = F_B \ \rightarrow \ ev\mu_0 H = eE \ \rightarrow \ v\mu_0 H = E \ \rightarrow v = \frac{E}{\mu_0 H}$$

(1) $\dfrac{\varepsilon_0 E}{\mu_0 H}$　(2) $\dfrac{E}{H}$　(3) $\dfrac{E}{\mu_0 H}$　(4) $\dfrac{H}{\varepsilon_0 E}$　(5) $\dfrac{\mu_0 H}{E}$

ローレンツ力による電荷の運動

電磁力（ローレンツ力）
電荷と磁束の間で生じる力　$F_B = qv \times B$



遠心力
円運動により物体が受ける慣性力

$$F_r = mr\omega^2 = m\frac{v^2}{r} = mv\omega$$

$v = r\omega$　ω：角速度　r：円運動の半径

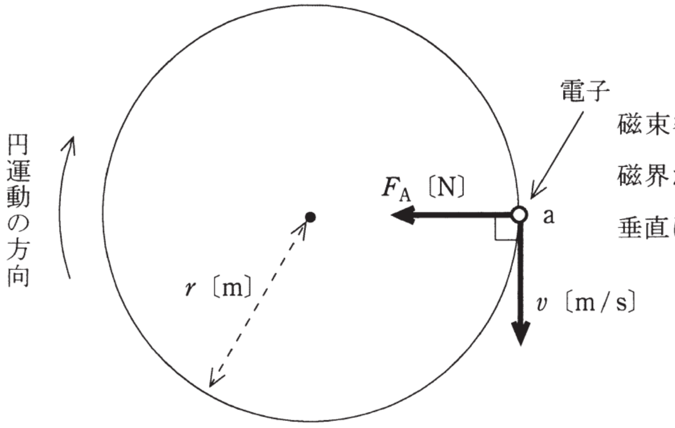
- 進行方向と垂直な方向に力が加わると物体は“円運動”する
- このとき、中心へ向かう力（向心力）がローレンツ力となり、この力は遠心力と釣り合う

H24 問12

問12　次の文章は，図に示す「磁界中における電子の運動」に関する記述である。

真空中において，磁束密度B〔T〕の一様な磁界が紙面と平行な平面の $\boxed{(ア)}$ へ垂直に加わっている。ここで，平面上の点 a に電荷 $-e$〔C〕，質量 m_0〔kg〕の電子をおき，図に示す向きに速さ v〔m/s〕の初速度を与えると，電子は初速度の向き及び磁界の向きのいずれに対しても垂直で図に示す向きの電磁力 F_A〔N〕を受ける。この力のために電子は加速度を受けるが速度の大きさは変わらないので，その方向のみが変化する。したがって，電子はこの平面上で時計回りに速さ v〔m/s〕の円運動をする。この円の半径を r〔m〕とすると，電子の運動は，磁界が電子に作用する電磁力の大きさ $F_A = Bev$〔N〕と遠心力 $F_B = \dfrac{m_0}{r}v^2$〔N〕とが釣り合った円運動であるので，その半径は $r = \boxed{(イ)}$〔m〕と計算される。したがって，この円運動の周期は $T = \boxed{(ウ)}$〔s〕，角周波数は $\omega = \boxed{(エ)}$〔rad/s〕となる。

ただし，電子の速さ v〔m/s〕は，光速より十分小さいものとする。また，重力の影響は無視できるものとする。



上記の記述中の空白箇所(ア)，(イ)，(ウ)及び(エ)に当てはまる組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

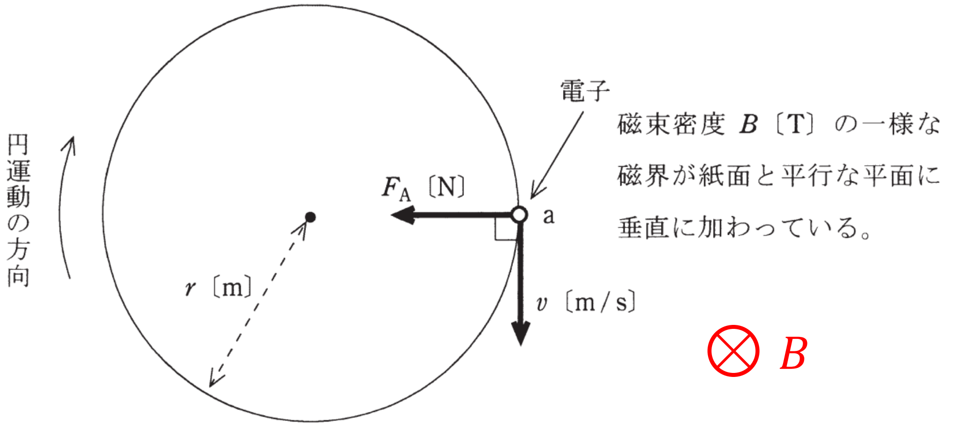
	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	裏からおもて	$\dfrac{m_0 v}{eB^2}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$
(2)	おもてから裏	$\dfrac{m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$
(3)	おもてから裏	$\dfrac{m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{e^2 B}$	$\dfrac{2e^2 B}{m_0}$
(4)	おもてから裏	$\dfrac{2m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB^2}$	$\dfrac{eB^2}{m_0}$
(5)	裏からおもて	$\dfrac{m_0 v}{2eB}$	$\dfrac{\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$

H24 問12

問12　次の文章は，図に示す「磁界中における電子の運動」に関する記述である。

真空中において，磁束密度 B〔T〕の一様な磁界が紙面と平行な平面の $\boxed{(ア)}$ へ垂直に加わっている。ここで，平面上の点 a に電荷 $-e$〔C〕，質量 m_0〔kg〕の電子をおき，図に示す向きに速さ v〔m/s〕の初速度を与えると，電子は初速度の向き及び磁界の向きのいずれに対しても垂直で図に示す向きの電磁力 F_A〔N〕を受ける。この力のために電子は加速度を受けるが速度の大きさは変わらないので，その方向のみが変化する。したがって，電子はこの平面上で時計回りに速さ v〔m/s〕の円運動をする。この円の半径を r〔m〕とすると，電子の運動は，磁界が電子に作用する電磁力の大きさ $F_A = Bev$〔N〕と遠心力 $F_B = \dfrac{m_0}{r}v^2$〔N〕とが釣り合った円運動であるので，その半径は $r = \boxed{(イ)}$〔m〕と計算される。したがって，この円運動の周期は $T = \boxed{(ウ)}$〔s〕，角周波数は $\omega = \boxed{(エ)}$〔rad/s〕となる。

ただし，電子の速さ v〔m/s〕は，光速より十分小さいものとする。また，重力の影響は無視できるものとする。



	(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)
(1)	裏からおもて	$\dfrac{m_0 v}{eB^2}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$
(2)	おもてから裏	$\dfrac{m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$
(3)	おもてから裏	$\dfrac{m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{e^2 B}$	$\dfrac{2e^2 B}{m_0}$
(4)	おもてから裏	$\dfrac{2m_0 v}{eB}$	$\dfrac{2\pi m_0}{eB^2}$	$\dfrac{eB^2}{m_0}$
(5)	裏からおもて	$\dfrac{m_0 v}{2eB}$	$\dfrac{\pi m_0}{eB}$	$\dfrac{eB}{m_0}$

$$F = evB = mr\omega^2 = m\frac{v^2}{r} = mv\omega$$

$$eB = m\omega \rightarrow \omega = \frac{eB}{m}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{eB}$$

$$evB = m\frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{eB}$$

ご聴講ありがとうございました!!