e-DEN【イーデン】 × 電験どうでしょう Let me inject Energy to you!

電験二種　オンライン講座

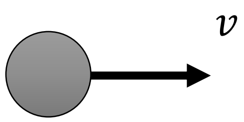
二種理論　電子の運動

2026.2.22 Sun

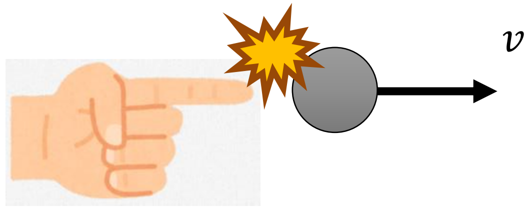
物体を加速させるとは

速度v [m/s]で進む物体が加速するには、物体に力を加える必要がある

速度v [m/s]で進む物体



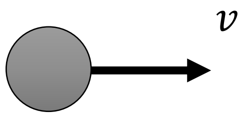
物体に力を加える



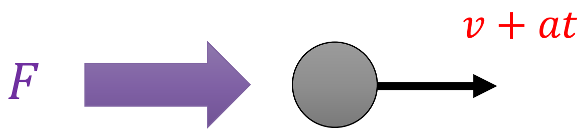
物体の速度が上昇する

速度v [m/s]で進む物体が加速し続けるには、物体に力を加える続ける必要がある

速度v [m/s]で進む物体



物体に力を加え続ける



物体に加速度aを生じる

力と加速度の関係を表す式
→運動方程式

$$F = ma$$

F：物体に加わる力 [N]
m：物体の質量 [kg]
a：物体に生じる加速度 [m/s^2]

運動方程式

運動方程式とは
物体に作用する力により生じる物体の運動を表す式

$F = ma$　　F [N] :力　m [kg] :質量　a[m/s^2] :加速度

＜色々な力＞

重力：mg
クーロン力：

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon r^2} = q_1 E$$

$$F = \frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}$$

電磁力（※）

$$F = I \times B\Delta l = qv \times B$$

※電磁力は回転運動を表す

・加速度をもとに、速度、位置（運動の軌道）、時間を導出することができる
・力がゼロ（$F = 0$）は物体の静止または等速直線運動

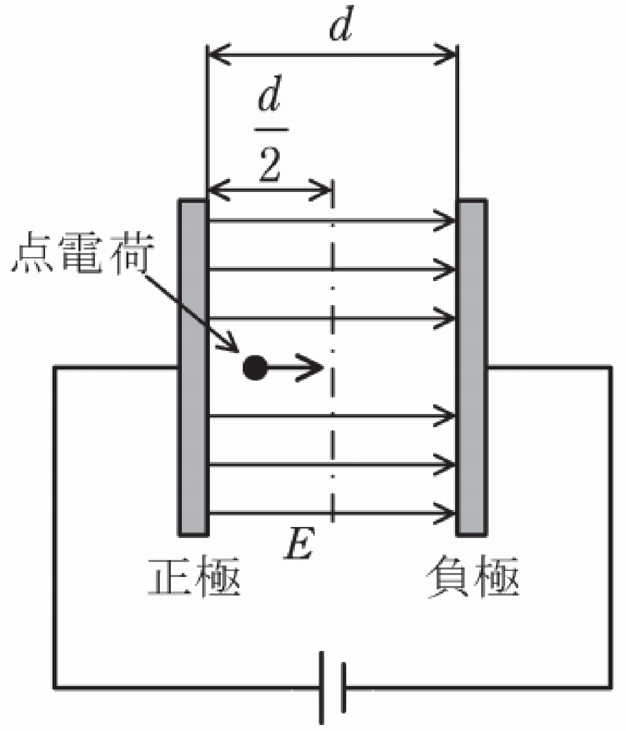
$$a = \frac{F}{m} \Rightarrow v = at + v_0 \Rightarrow x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$$

v：速度　x：位置
v_0：初速度　x_0：初期位置

三種 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。

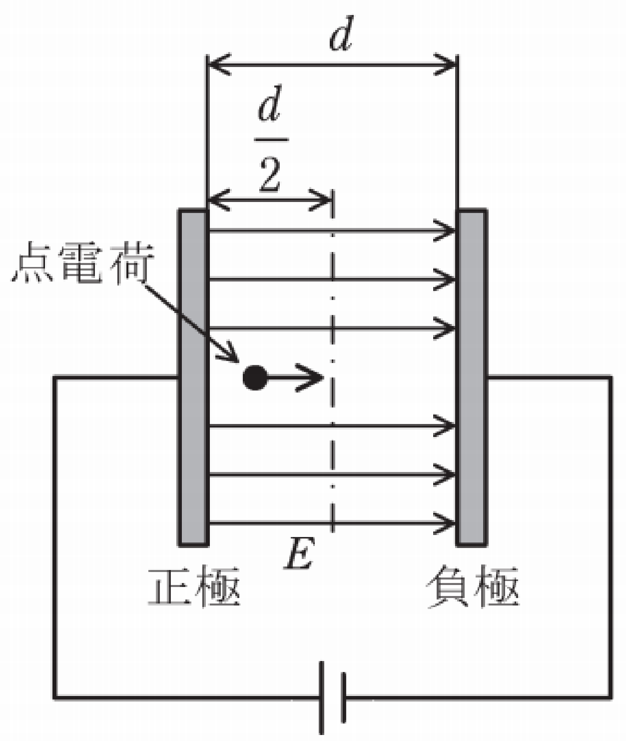


(1) $\sqrt{\dfrac{md}{qE}}$　(2) $\sqrt{\dfrac{2md}{qE}}$　(3) $\sqrt{\dfrac{qEd}{m}}$　(4) $\sqrt{\dfrac{qE}{md}}$　(5) $\sqrt{\dfrac{2qE}{md}}$

三種 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。



クーロン力

$$F = qE$$

運動方程式

$$F = ma$$

位置と時間の関係

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

$$F = qE$$
$$F = ma$$
$$\rightarrow qE = ma \rightarrow a = \frac{qE}{m}$$

$$x = \frac{1}{2}at^2 \rightarrow \frac{d}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{qE}{m} \times t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{md}{qE}}$$

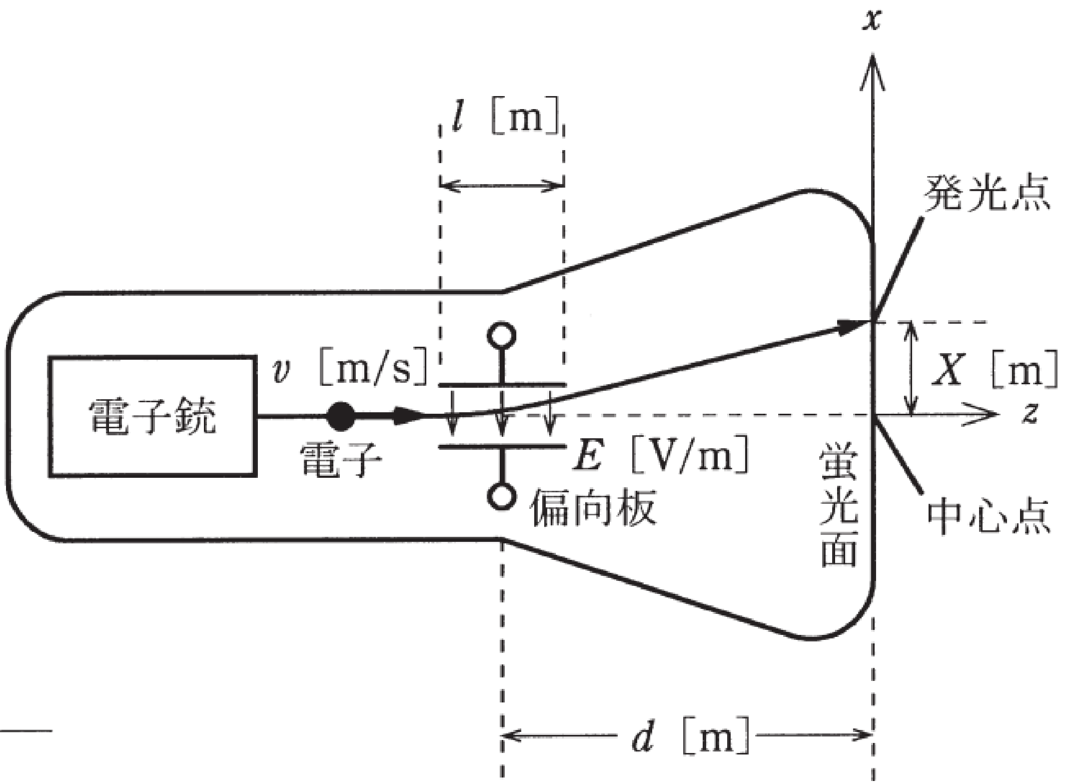
(1) $\sqrt{\frac{md}{qE}}$　(2) $\sqrt{\frac{2md}{qE}}$　(3) $\sqrt{\frac{qEd}{m}}$　(4) $\sqrt{\frac{qE}{md}}$　(5) $\sqrt{\frac{2qE}{md}}$

三種 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。

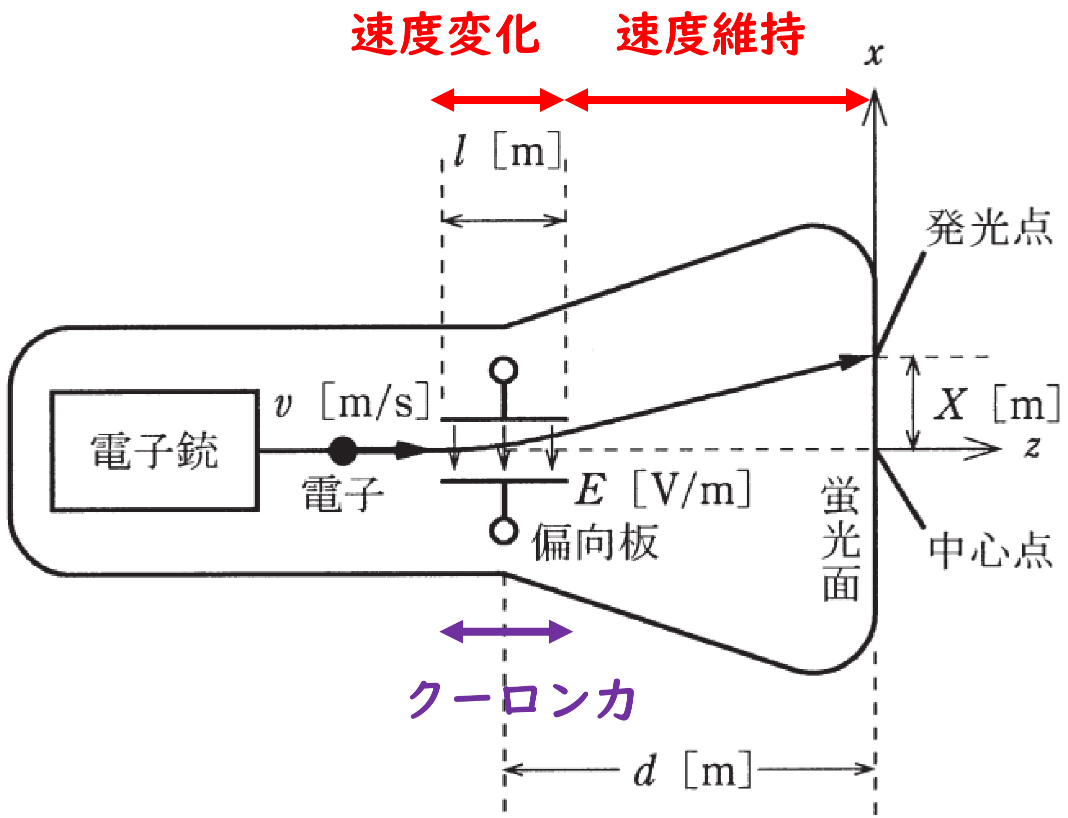
uとXを表す式の組合せとして，正しいものを次の(1)～(5)のうちから一つ選べ。

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)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{eldE}{mv^2}$

三種 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、

$$X = v_x t_1 = ut_1 = \frac{elE}{mv} \times \frac{d}{v}$$

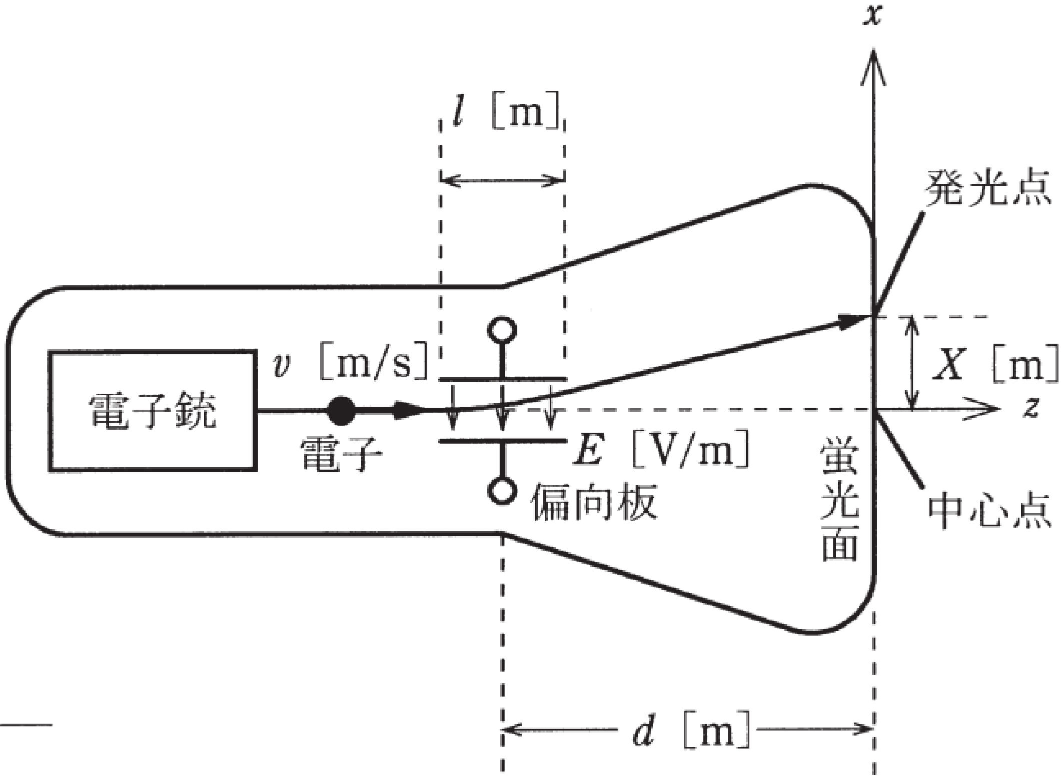
$$\therefore X = \frac{eldE}{mv^2}$$

三種 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$\tan\theta = \frac{u}{v}$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。

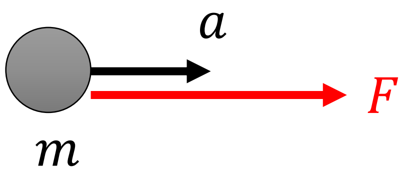


	u	X
(1)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{2eldE}{mv^2}$
(2)	$\dfrac{elE^2}{mv}$	$\dfrac{2eldE}{mv^2}$
(3)	$\dfrac{elE}{mv^2}$	$\dfrac{eldE^2}{mv}$
(4)	$\dfrac{elE^2}{mv^2}$	$\dfrac{eldE}{mv}$
(5)	$\dfrac{elE}{mv}$	$\dfrac{eldE}{mv^2}$

運動方程式

運動方程式：加速度a [m/s^2]で進む質量m[kg]の物体がもつ力F [N]

$$F = ma$$



$$F = m\frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} \qquad a = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}$$

加速度：距離を時間で2階微分

$$F = m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \qquad v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

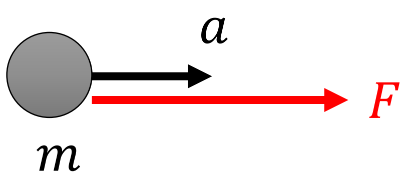
速度：距離を時間で微分

物体の運動は時間を含む微分の式で表すことができる→微分方程式という

運動方程式と物体の運動

運動方程式：加速度a [m/s^2]で進む質量m[kg]の物体がもつ力F [N]

$$F = ma$$



運動方程式：加速度a [m/s^2]で進む質量m[kg]の物体について考える
（初速度$v_0 = 0$、初期位置$x_0 = 0$とする）

$$F = m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = ma \rightarrow \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = a$$

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \int_0^t a\,\mathrm{d}t = at + \underline{C}$$

積分定数

$t = 0$で$v_0 = 0$なので　$0 = a \times 0 + C \rightarrow C = 0$　$v = at$

$$x = \int_0^t v\,\mathrm{d}t = \int_0^t at\,\mathrm{d}t = \frac{1}{2}at^2 + \underline{C_1}$$

積分定数

$t = 0$で$x_0 = 0$なので　$0 = \frac{1}{2}a \times 0^2 + C_1 \rightarrow C_1 = 0$　$x = \frac{1}{2}at^2$

運動方程式と物体の運動

運動方程式：加速度a [m/s^2]で進む質量m[kg]の物体について考える
（初速度v_0、初期位置x_0とする）

$$F = m\frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} = ma \rightarrow \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} = a$$

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = \int_0^t a\,\mathrm{d}t = at + \underline{C}$$

積分定数

$t = 0$でv_0なので

$$v_0 = a \times 0 + C \rightarrow C = v_0$$

$$v = at + v_0$$

$$x = \int_0^t v\,\mathrm{d}t = \int_0^t at + v_0\,\mathrm{d}t = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + \underline{C_1}$$

積分定数

$t = 0$でx_0なので

$$x_0 = \frac{1}{2}a \times 0^2 + v_0 \times 0 + C_1$$

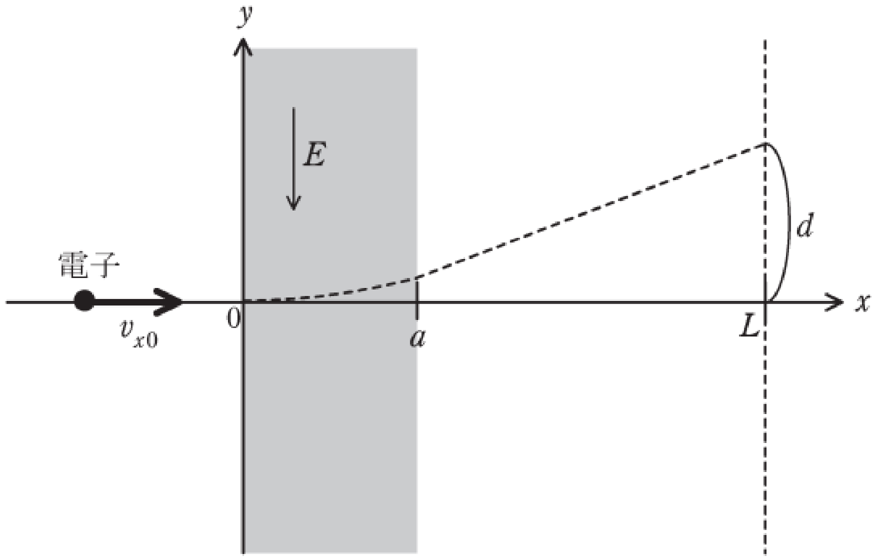
$$\rightarrow C_1 = x_0$$

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$$

R03 問6

問６　次の文章は，静電界による電子の運動に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，真空中を電子（質量 m，電荷量 $-e$，$e>0$）が x 軸上を $x<0$ の領域から一定速度 v_{x0} (>0) で運動している。領域 $0 \leqq x \leqq a$ には，図に示すように y 軸の負の方向に均一な電界 E (>0) がかかっており，それ以外の領域では電界がないものとする。電子の x 座標が $x=0$ から $x=a$ に達するまでにかかる時間は $\boxed{(1)}$ である。領域 $0 \leqq x \leqq a$ では，電子は電界から力 $F=$ $\boxed{(2)}$ を受けて y 方向に偏向する。運動の第２法則から y 方向の運動方程式は $m\dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=$ $\boxed{(2)}$ と表される。ただし，v_y は速度の y 方向成分を表す。微分方程式を解くことにより，電子の x 座標が $x=a$ に到達したときの v_y は $\boxed{(3)}$ となり，そのときの電子の y 座標は $\boxed{(4)}$ となる。領域 $x>a$ では，電子の運動は x，y 方向共に等速度運動となることから，電子が $x=L(>a)$ に到達した際の y 座標を d とすると，$d=$ $\boxed{(5)}$ となる。



〔問６の解答群〕

（イ）$\dfrac{eE}{m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$　（ロ）$\dfrac{eE}{2m}\dfrac{a(2L-a)}{v_{x0}{}^2}$　（ハ）$\dfrac{eE}{m}\dfrac{a}{v_{x0}}$

（ニ）$\dfrac{eE}{2m}\dfrac{a(L-a)}{v_{x0}{}^2}$　（ホ）$\dfrac{m}{eE}\dfrac{L-a}{v_{x0}}$　（ヘ）eE

（ト）$\dfrac{eE}{m}\dfrac{v_{x0}}{a}$　（チ）$\dfrac{eE}{m}$　（リ）$\dfrac{a}{v_{x0}}$

（ヌ）$\dfrac{L}{v_{x0}}$　（ル）$\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$　（ヲ）$\dfrac{eE}{m}\dfrac{a(2L-a)}{v_{x0}{}^2}$

（ワ）aE　（カ）$\dfrac{L-a}{v_{x0}}$　（ヨ）$\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{L}{v_{x0}}\right)^2$

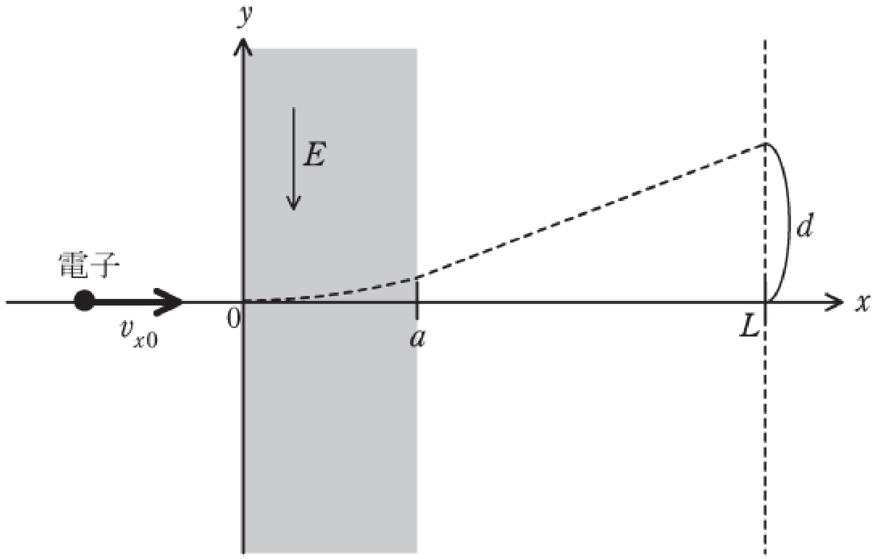
R03 問6

問６　次の文章は，静電界による電子の運動に関する記述である。文中の$\boxed{}$に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，真空中を電子（質量m，電荷量$-e$，$e>0$）がx軸上を$x<0$の領域から一定速度v_{x0}（>0）で運動している。領域$0\leqq x\leqq a$には，図に示すようにy軸の負の方向に均一な電界E（>0）がかかっており，それ以外の領域では電界がないものとする。電子のx座標が$x=0$から$x=a$に達するまでにかかる時間は$\boxed{(1)}$ $\dfrac{a}{v_{x0}}$である。領域$0\leqq x\leqq a$では，電子は電界から力$F=\boxed{(2)}$ eEを受けてy方向に偏向する。運動の第２法則からy方向の運動方程式は$m\dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\boxed{(2)}$ eEと表される。ただし，v_yは速度のy方向成分を表す。微分方程式を解くことにより，電子のx座標が$x=a$に到達したときのv_yは$\boxed{(3)}$ $\dfrac{eE}{m}\dfrac{a}{v_{x0}}$となり，そのときの電子の$y$座標は$\boxed{(4)}$ $\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$となる。領域$x>a$では，電子の運動は$x$, y方向共に等速度運動となることから，電子が$x=L$（$>a$）に到達した際のy座標をdとすると，$d=\boxed{(5)}$となる。

$$m\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=eE\ \rightarrow\ \frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\frac{eE}{m}\ \rightarrow\ \int\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t=\int\frac{eE}{m}\mathrm{d}t\rightarrow v_y=\frac{eE}{m}t$$

$$v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=\frac{eE}{m}t\ \rightarrow\int\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t=\int\frac{eE}{m}t\,\mathrm{d}t\ \rightarrow y=\frac{eE}{2m}t^2$$



$x=a$に達する時間t_a

$$a=v_{x0}t_a\ \rightarrow t_a=\frac{a}{v_{x0}}$$

電子に加わるクーロン力Fより

$$F=eE\ \rightarrow m\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=eE$$

$x=a$に達したときの速度v_y

$$v_y=\frac{eE}{m}t_a=\frac{eE}{m}\frac{a}{v_{x0}}$$

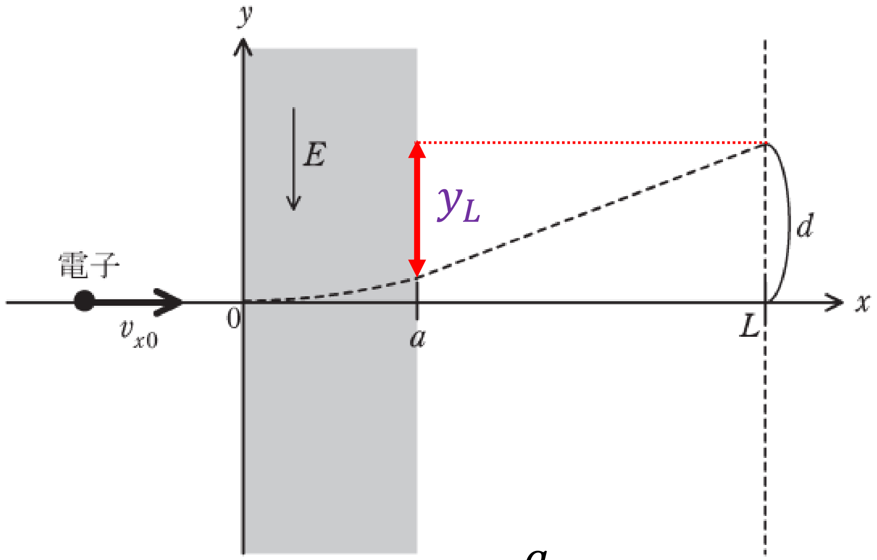
$x=a$に達したときのy方向の位置y_0

$$y_0=\frac{eE}{2m}t_a^2=\frac{eE}{2m}\left(\frac{a}{v_{x0}}\right)^2$$

R03 問6

問６　次の文章は，静電界による電子の運動に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，真空中を電子（質量 m，電荷量 $-e$，$e>0$）が x 軸上を $x<0$ の領域から一定速度 v_{x0} (>0) で運動している。領域 $0 \leqq x \leqq a$ には，図に示すように y 軸の負の方向に均一な電界 E (>0) がかかっており，それ以外の領域では電界がないものとする。電子の x 座標が $x=0$ から $x=a$ に達するまでにかかる時間は $\boxed{(1)}$ $\dfrac{a}{v_{x0}}$ である。領域 $0 \leqq x \leqq a$ では，電子は電界から力 $F=$ $\boxed{(2)}$ eE を受けて y 方向に偏向する。運動の第２法則から y 方向の運動方程式は $m\dfrac{dv_y}{dt}=$ $\boxed{(2)}$ eE と表される。ただし，v_y は速度の y 方向成分を表す。微分方程式を解くことにより，電子の x 座標が $x=a$ に到達したときの v_y は $\boxed{(3)}$ $\dfrac{eE}{m}\dfrac{a}{v_{x0}}$ となり，そのときの電子の y 座標は $\boxed{(4)}$ $\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$ となる。領域 $x>a$ では，電子の運動は x, y 方向共に等速度運動となることから，電子が $x=L$ $(>a)$ に到達した際の y 座標を d とすると，$d=$ $\boxed{(5)}$ $\dfrac{eE}{2m}\dfrac{a(2L-a)}{v_{x0}^2}$ となる。



$$t_a=\frac{a}{v_{x0}}$$　　t_L

$$t_L=\frac{L}{v_{x0}}\qquad t_L-t_a=\frac{L}{v_{x0}}-\frac{a}{v_{x0}}=\frac{L-a}{v_{x0}}$$

$$y_L=v_y(t_L-t_a)=\frac{eE}{m}\frac{a}{v_{x0}}\cdot\frac{L-a}{v_{x0}}=\frac{eE}{m}\frac{a(L-a)}{v_{x0}^2}$$

$x=a$ に達したときの速度 v_y

$$v_y=\frac{eE}{m}\frac{a}{v_{x0}}$$

$x=a$ に達したときの y 方向の位置 y_0

$$y_0=\frac{eE}{2m}\left(\frac{a}{v_{x0}}\right)^2$$

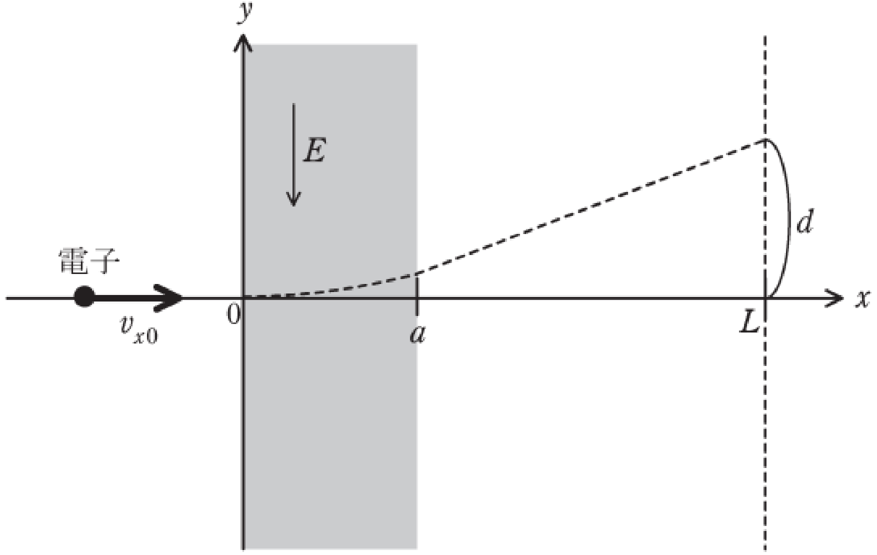
$$d=y_L+y_0=\frac{eE}{m}\frac{a(L-a)}{v_{x0}^2}+\frac{eE}{2m}\left(\frac{a}{v_{x0}}\right)^2$$
$$=\frac{eE}{2m}\frac{2a(L-a)+a^2}{v_{x0}^2}=\frac{eE}{2m}\frac{a(2L-a)}{v_{x0}^2}$$

Cop

R03 問6

問６　次の文章は，静電界による電子の運動に関する記述である。文中の $\boxed{\quad}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように，真空中を電子（質量 m，電荷量 $-e$，$e>0$）が x 軸上を $x<0$ の領域から一定速度 v_{x0} (>0) で運動している。領域 $0 \leqq x \leqq a$ には，図に示すように y 軸の負の方向に均一な電界 E (>0) がかかっており，それ以外の領域では電界がないものとする。電子の x 座標が $x=0$ から $x=a$ に達するまでにかかる時間は $\boxed{(1)}$ $\dfrac{a}{v_{x0}}$ である。領域 $0 \leqq x \leqq a$ では，電子は電界から力 $F=$ $\boxed{(2)}$ eE を受けて y 方向に偏向する。運動の第２法則から y 方向の運動方程式は $m\dfrac{dv_y}{dt}=$ $\boxed{(2)}$ eE と表される。ただし，v_y は速度の y 方向成分を表す。微分方程式を解くことにより，電子の x 座標が $x=a$ に到達したときの v_y は $\boxed{(3)}$ $\dfrac{eE}{m}\dfrac{a}{v_{x0}}$ となり，そのときの電子の y 座標は $\boxed{(4)}$ $\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$ となる。領域 $x>a$ では，電子の運動は x，y 方向共に等速度運動となることから，電子が $x=L\,(>a)$ に到達した際の y 座標を d とすると，$d=$ $\boxed{(5)}$ $\dfrac{eE}{2m}\dfrac{a(2L-a)}{v_{x0}^2}$ となる。



〔問６の解答群〕

(イ) $\dfrac{eE}{m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$　(ロ) $\dfrac{eE}{2m}\dfrac{a(2L-a)}{v_{x0}^2}$ (5)　(ハ) $\dfrac{eE}{m}\dfrac{a}{v_{x0}}$ (3)

(ニ) $\dfrac{eE}{2m}\dfrac{a(L-a)}{v_{x0}^2}$　(ホ) $\dfrac{m}{eE}\dfrac{L-a}{v_{x0}}$　(ヘ) eE (2)

(ト) $\dfrac{eE}{m}\dfrac{v_{x0}}{a}$　(チ) $\dfrac{eE}{m}$　(リ) $\dfrac{a}{v_{x0}}$ (1)

(ヌ) $\dfrac{L}{v_{x0}}$　(ル) $\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{a}{v_{x0}}\right)^2$ (4)　(ヲ) $\dfrac{eE}{m}\dfrac{a(2L-a)}{v_{x0}^2}$

(ワ) aE　(カ) $\dfrac{L-a}{v_{x0}}$　(ヨ) $\dfrac{eE}{2m}\left(\dfrac{L}{v_{x0}}\right)^2$

R06 問6

問6　次の文章は，真空中における交流電界中の電子の運動に関する記述である。文中の $\boxed{\quad}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

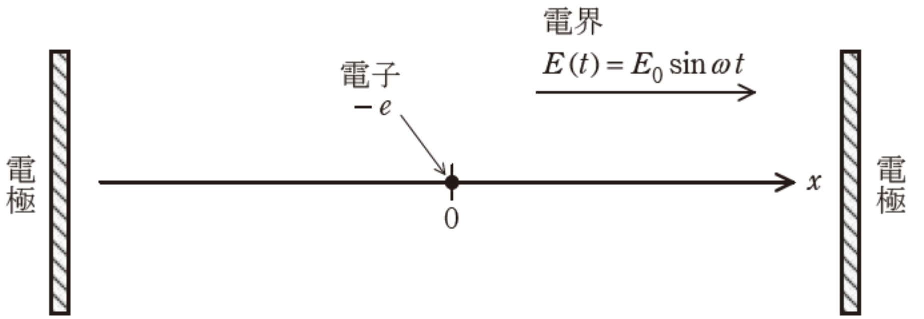
図のように x 軸を定め，原点から十分離れた平行平板電極が作る一様な交流電界 $E(t)$ を，振幅 $E_0\,(>0)$，角周波数 ω として，$E(t)=E_0\sin\omega t$ とする。時刻 $t=0$ で原点($x=0$)に電子が一つ存在する状況を考える。なお，電子の質量を m，電荷量を $-e\,(e>0)$ とし，電子の速度は x 軸に沿った方向のみを考えるものとし，質量の変化が無視できる範囲とする。電子は電界から力 F を受けて運動する。F の正の方向を x 軸の正の方向にとると，$F=\boxed{(1)}\times\sin\omega t$ と表される。電子の速度を v とし，v の正の方向を x 軸の正の方向にとると，運動の第2法則より，次の微分方程式が得られる。

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\boxed{(2)}\times\sin\omega t$$

$t=0$ における電子の速度を $v_0\,(>0)$ とすると，時刻 $t\,(>0)$ における電子の速度 $v(t)$ は，上の微分方程式を t で積分することにより，

$$v(t)=v_0-\boxed{(3)}(1-\cos\omega t)$$

と表される。さらに，時刻 t における電子の位置 $x(t)$ は，$x(t)=\boxed{(4)}$ となる。このことから，電子が原点を中心に同じ区間を往復運動し続けるためには，角周波数が $\omega=\boxed{(5)}$ でなければならないことがわかる。



〔問6の解答群〕

(イ) $-emE_0$　　(ロ) $-\dfrac{eE_0}{m}$

(ハ) $-\dfrac{E_0}{em}$　　(ニ) $\dfrac{eE_0}{mv_0}$

(ホ) $\dfrac{mE_0}{e\omega}$　　(ヘ) $-eE_0$

(ト) $v_0t+\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$　　(チ) $\left(v_0-\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\right)t+\dfrac{eE_0}{m\omega}\sin\omega t$

(リ) $\dfrac{mE_0}{ev_0}$　　(ヌ) $-mE_0$

(ル) $-\dfrac{m}{eE_0}$　　(ヲ) $\dfrac{eE_0\omega}{m}$

(ワ) $\dfrac{eE_0}{m\omega}$　　(カ) $\left(v_0-\dfrac{eE_0}{m\omega}\right)t+\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$

(ヨ) $\dfrac{ev_0}{mE_0}$

R06 問6

問 6　次の文章は，真空中における交流電界中の電子の運動に関する記述である。文中の ☐ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように x 軸を定め，原点から十分離れた平行平板電極が作る一様な交流電界 $E(t)$を，振幅 $E_0(>0)$，角周波数 ω として，$E(t)=E_0\sin\omega t$ とする。時刻 $t=0$ で原点$(x=0)$に電子が一つ存在する状況を考える。なお，電子の質量を m，電荷量を $-e\,(e>0)$とし，電子の速度は x 軸に沿った方向のみを考えるものとし，質量の変化が無視できる範囲とする。電子は電界から力 F を受けて運動する。F の正の方向を x 軸の正の方向にとると，$F=$ $\boxed{(1)}$ $\times\sin\omega t$ と表される。電子の速度を v とし，v の正の方向を x 軸の正の方向にとると，運動の第 2 法則より，次の微分方程式が得られる。

$-eE_0$

$-\dfrac{eE_0}{m}$

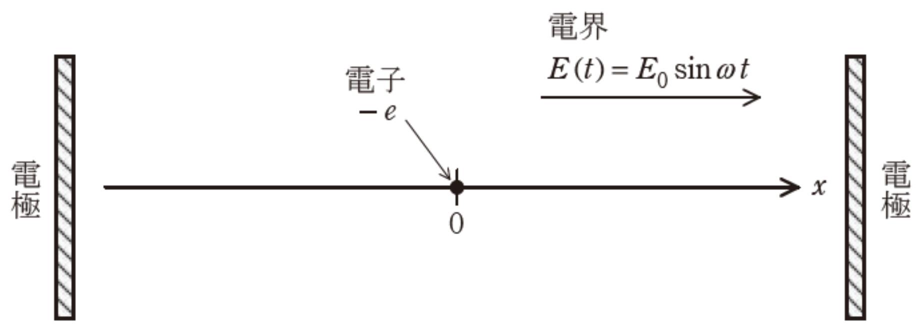
$$\frac{dv}{dt}=\boxed{(2)}\times\sin\omega t$$

$t=0$ における電子の速度を $v_0\,(>0)$とすると，時刻 $t\,(>0)$における電子の速度 $v(t)$は，上の微分方程式を t で積分することにより，

$$v(t)=v_0-\boxed{(3)}(1-\cos\omega t)$$

$\dfrac{eE_0}{m\omega}$

と表される。さらに，時刻 t における電子の位置 $x(t)$は，$x(t)=$ $\boxed{(4)}$ となる。このことから，電子が原点を中心に同じ区間を往復運動し続けるためには，角周波数が $\omega=$ $\boxed{(5)}$ でなければならないことがわかる。



クーロン力は電荷×電界なので　$F=-eE_0\sin\omega t$

運動方程式より　$F=m\dfrac{dv}{dt}\rightarrow\dfrac{dv}{dt}=-\dfrac{eE_0}{m}\sin\omega t$

$$v(t)=\int_0^t\frac{dv}{dt}dt=\int_0^t\left(-\frac{eE_0}{m}\sin\omega t\right)dt$$

$$=\left[\frac{eE_0}{m\omega}\cos\omega t\right]_0^t+C=\frac{eE_0}{m\omega}\cos\omega t-\frac{eE_0}{m\omega}+C$$

初期条件$v(0)=v_0$より　$v_0=\dfrac{eE_0}{m\omega}-\dfrac{eE_0}{m\omega}+C\rightarrow C=v_0$

$$v(t)=v_0-\frac{eE_0}{m\omega}(1-\cos\omega t)$$

R06 問6

問６　次の文章は，真空中における交流電界中の電子の運動に関する記述である。文中の □ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように x 軸を定め，原点から十分離れた平行平板電極が作る一様な交流電界 $E(t)$を，振幅 $E_0(>0)$，角周波数ωとして，$E(t)=E_0\sin\omega t$ とする。時刻 $t=0$ で原点($x=0$)に電子が一つ存在する状況を考える。なお，電子の質量を m，電荷量を $-e\,(e>0)$とし，電子の速度は x 軸に沿った方向のみを考えるものとし，質量の変化が無視できる範囲とする。電子は電界から力 F を受けて運動する。F の正の方向を x 軸の正の方向にとると，$F=$ (1) $\times\sin\omega t$ と表される。電子の速度を v とし，v の正の方向を x 軸の正の方向にとると，運動の第２法則より，次の微分方程式が得られる。

(1) $-eE_0$

$$\frac{dv}{dt}=\boxed{(2)}\times\sin\omega t$$

(2) $-\dfrac{eE_0}{m}$

$t=0$ における電子の速度を $v_0\,(>0)$とすると，時刻 $t\,(>0)$における電子の速度 $v(t)$は，上の微分方程式を t で積分することにより，

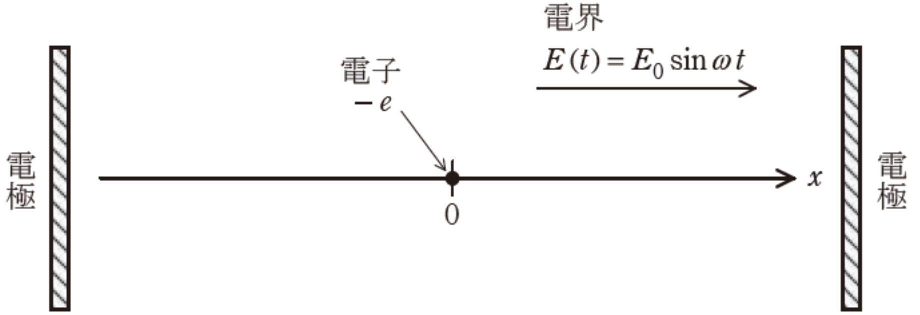
$$v(t)=v_0-\boxed{(3)}\,(1-\cos\omega t)$$

(3) $\dfrac{eE_0}{m\omega}$

と表される。さらに，時刻 t における電子の位置 $x(t)$は，$x(t)=$ (4) となる。このことから，電子が原点を中心に同じ区間を往復運動し続けるためには，角周波数が $\omega=$ (5) でなければならないことがわかる。

(4) $\left(v_0-\dfrac{eE_0}{m\omega}\right)t+\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$

(5) $\dfrac{eE_0}{mv_0}$



$$v(t)=v_0-\frac{eE_0}{m\omega}(1-\cos\omega t)$$

$$x(t)=\int_0^t\frac{dx}{dt}dt=\int_0^t v\,dt=\int_0^t v_0-\frac{eE_0}{m\omega}(1-\cos\omega t)\,dt$$

$$=\left[v_0t-\frac{eE_0}{m\omega}t+\frac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t\right]_0^t+C$$

$$=v_0t-\frac{eE_0}{m\omega}t+\frac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t+C$$

初期条件$x(0)=0$より　$x(0)=C=0$

$$x(t)=\left(v_0-\frac{eE_0}{m\omega}\right)t+\frac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$$

この部分が0であれば、電子は単振動する

$$v_0-\frac{eE_0}{m\omega}=0\ \rightarrow\ \omega=\frac{eE_0}{mv_0}$$

R06 問6

問６　次の文章は，真空中における交流電界中の電子の運動に関する記述である。文中の $\boxed{}$ に当てはまる最も適切なものを解答群の中から選べ。

図のように x 軸を定め，原点から十分離れた平行平板電極が作る一様な交流電界 $E(t)$ を，振幅 $E_0(>0)$，角周波数 ω として，$E(t)=E_0\sin\omega t$ とする。時刻 $t=0$ で原点 $(x=0)$ に電子が一つ存在する状況を考える。なお，電子の質量を m，電荷量を $-e\ (e>0)$ とし，電子の速度は x 軸に沿った方向のみを考えるものとし，質量の変化が無視できる範囲とする。電子は電界から力 F を受けて運動する。F の正の方向を x 軸の正の方向にとると，$F=\boxed{(1)}\times\sin\omega t$ と表される。電子の速度を v とし，v の正の方向を x 軸の正の方向にとると，運動の第２法則より，次の微分方程式が得られる。

$-eE_0$

$-\dfrac{eE_0}{m}$

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\boxed{(2)}\times\sin\omega t$$

$t=0$ における電子の速度を $v_0\ (>0)$ とすると，時刻 $t\ (>0)$ における電子の速度 $v(t)$ は，上の微分方程式を t で積分することにより，

$$v(t)=v_0-\boxed{(3)}(1-\cos\omega t)$$

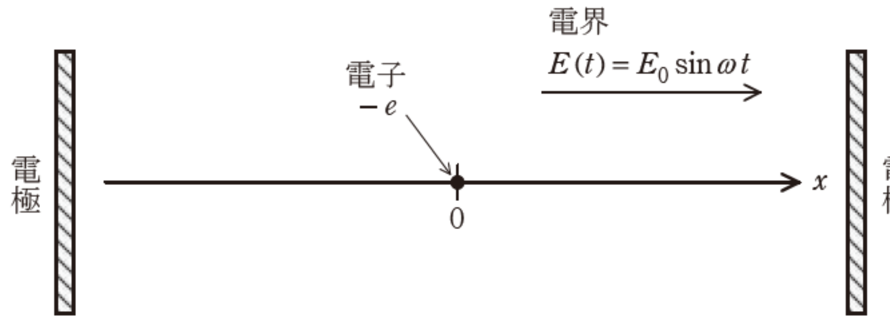
$\dfrac{eE_0}{m\omega}$

と表される。さらに，時刻 t における電子の位置 $x(t)$ は，$x(t)=\boxed{(4)}$ となる。

$\left(v_0-\dfrac{eE_0}{m\omega}\right)t+\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$

このことから，電子が原点を中心に同じ区間を往復運動し続けるためには，角周波数が $\omega=\boxed{(5)}$ でなければならないことがわかる。

$\dfrac{eE_0}{mv_0}$



〔問６の解答群〕

(イ) $-emE_0$

(ロ) $-\dfrac{eE_0}{m}$ (2)

(ハ) $-\dfrac{E_0}{em}$

(ニ) $\dfrac{eE_0}{mv_0}$ (5)

(ホ) $\dfrac{mE_0}{e\omega}$

(ヘ) $-eE_0$ (1)

(ト) $v_0t+\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$

(チ) $\left(v_0-\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\right)t+\dfrac{eE_0}{m\omega}\sin\omega t$

(リ) $\dfrac{mE_0}{ev_0}$

(ヌ) $-mE_0$

(ル) $-\dfrac{m}{eE_0}$

(ヲ) $\dfrac{eE_0\omega}{m}$

(ワ) $\dfrac{eE_0}{m\omega}$ (3)

(カ) $\left(v_0-\dfrac{eE_0}{m\omega}\right)t+\dfrac{eE_0}{m\omega^2}\sin\omega t$ (4)

(ヨ) $\dfrac{ev_0}{mE_0}$

ご聴講ありがとうございました!!