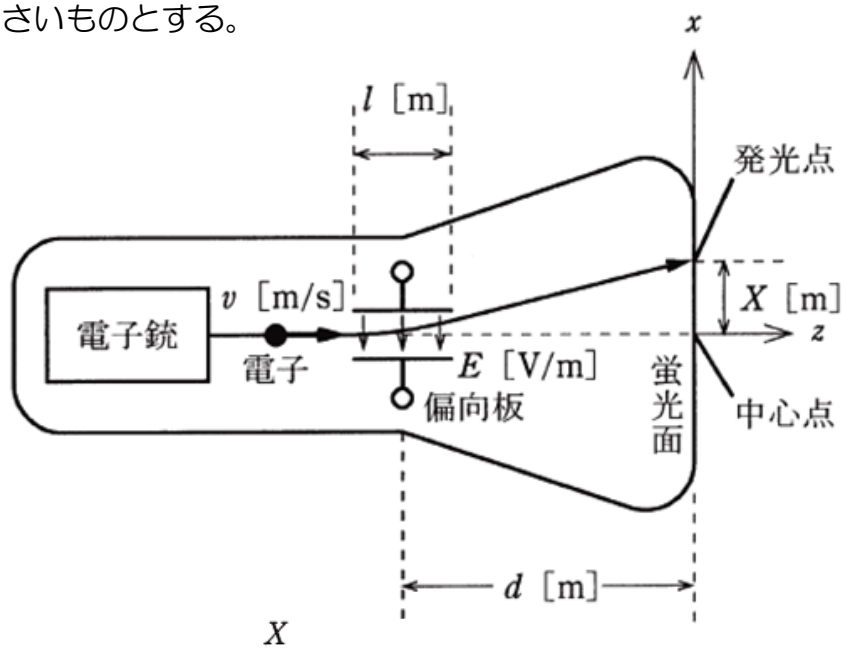
ブラウン管は電子銃，偏向板，蛍光面などから構成される真空管であり，オシロスコープの表示装置として用いられる。

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に小さいものとする。



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

解説

この問題では、以下の 3 つの式を使います。

運動方程式

$F = ma$

F [N]：力

m [kg]：質量

a [m/s²]：加速度

質量 m[kg]の物体に F[N]の力を加えると、物体に加速度 a[m/s²]が生じる。

そのときの「物体 m」と「力 F」と「生じる加速度 a」の関係を表す式。

静止している物体が、毎秒加速度 a を加えられたときの t 秒後の速度を表す式

$v = at$

v [m/s]：t 秒後の速度

a [m/s²]：加速度

t [s]： 時間(秒)

加速度は、単位時間当たり(ここでは 1 秒当たり)の速度の変化率のことなので、

加速度 × 時間(秒) = 速度 になる

物体が、距離 l を速度 v で移動したときにかかる時間を求める式

$$t = \frac{l}{v}$$

t [s]： 時間(秒)

l [m]： 物体が移動する距離

v [m/s]： 物体の速度

この 3 つの式は、どれも電気の公式ではなく、物理の公式になります。

電気の問題というよりは、物理の問題のような感じです・・・

u を求める

電子銃から発射された電子は最初 右方向(z 方向)に進むが、途中にある偏向板で力を加えられ上方向(x 方向)に加速されて、斜め上方向に進路を変える。

このときの上方向(x 方向)の速度成分 u を求めよということです。

ここでは、斜め上方向の速度を求めるのではなく、上方向(x 方向)の速度だけを求めることになります。

ここで、力と加速度の関係式 $F = ma$ を使います。

$F = ma$ は質量 m[kg]の物体に F[N]の力が働く時、加速度 a[m/s²]が生じるという公式

F[N]：力

m[kg]：質量

a[m/s²]：加速度

問題中に「電子は平等電界 E[V/m]から静電力 −eE [N] を受け」とあるので、

<u>電子に −eE [N] という力が働く</u>ということがわかる。

$F = ma$ の F を eE（平等電界からの静電力）に置き換えると次の式になる。

$$eE = ma$$

a = の形にする

$$a = \frac{eE}{m}$$

$$a = \frac{eE}{m}$$

偏向板の中を電子が通過する間は、上方向(x 方向)の力を与え続けられることになる。

したがって、偏向板の中を電子が通過する時間 t を考える必要がある。

偏向板の長さは l で、電子は l の距離を速度 v で通過することになるので、

電子が偏向板の中を通過する時間 t は、$t = \frac{l}{v}$ の式で表せる。

<u>距離 l を速度 v で割ると、通過時間 t が求められる式</u>

加速度 a が加えられたときの t 秒後の速度 u（上方向の速度）は、$v = at$ の v を u に変えて $u = at$ と表すことができる。

$u = at$ に $a = \frac{eE}{m}$ と $t = \frac{l}{v}$ を代入する。

$$u = at = \frac{eE}{m} \times \frac{l}{v} = \frac{elE}{mv}$$

したがって、速度 u は $\frac{elE}{mv}$ になる。

Xを求める

問題文に $\tan\theta = \frac{u}{v}$ とあり、図を見ると $\tan\theta = \frac{X}{d}$ になっているので、

$\frac{u}{v} = \frac{X}{d}$ が成り立つ。

$\frac{u}{v} = \frac{X}{d}$ X = の形にする

$X = \frac{du}{v}$

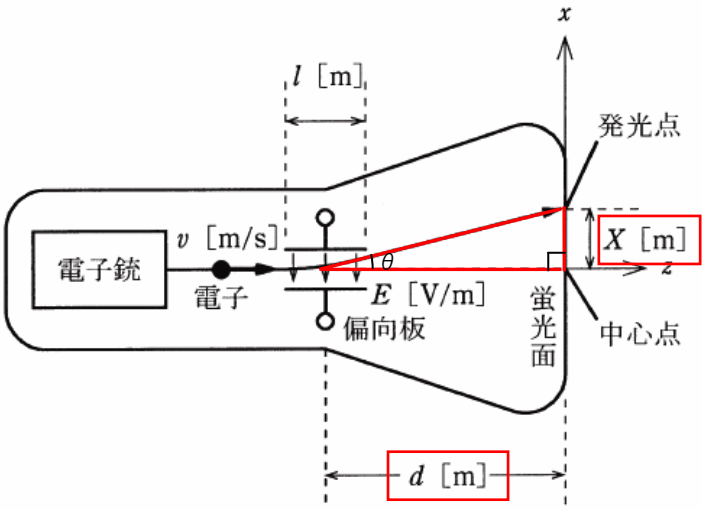
この式に $u = \frac{elE}{mv}$ を代入する

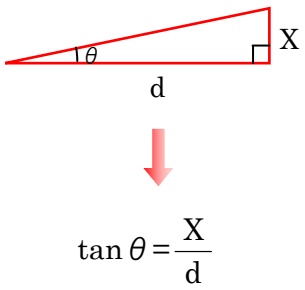
$X = \frac{d}{v} \times \frac{elE}{mv}$

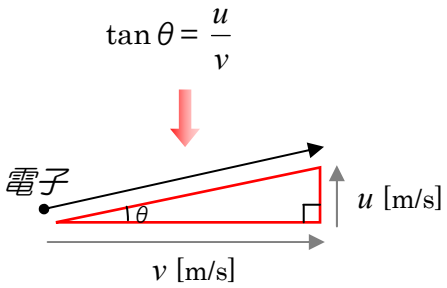
$X = \frac{eldE}{mv^2}$

したがって、距離 X は $\frac{eldE}{mv^2}$ になる。

答　(5)







電子は偏向板を通過後、
横方向に v [m/s]の速度、上方向に u [m/s]の
速度となる角度 θ で移動