H21年度実施（H21年1月14日）学習到達度試験（物理）の解答　　H21. 01. 16

領域１；速度・加速度・変位

$\boxed{1}$

(1)　v-t グラフより，物体は等加速度運動しているので加速度 a は v-t グラフの傾きより求める。

$$a=\frac{v-v_0}{t}=\frac{-3.0-9.0}{8.0}=-\frac{12.0}{8.0}=-1.5 \ \ \mathrm{m/s^2}.$$

→ $\boxed{ア}$ −　,　$\boxed{イ}$ 1　,　$\boxed{ウ}$ 5

別解；　等加速度 a，初速度 v_0 で動いている等加速度運動している物体の t 秒後の速度 v を表す式　$v=v_0+a\,t$　に数値を代入して，$-3.0=9.0+a*8.0$　より　$a=-1.5\ \mathrm{m/s^2}$

(2)　加速度 a，初速度 v_0 で動いている等加速度運動している物体の t 秒後の速度 v を表す式に数値を代入して求める。

$v=v_0+a\,t=9.0+(-1.5)*5.0=9.0-7.5=1.5\ \mathrm{m/s}$.

→ $\boxed{エ}$ +　,　$\boxed{オ}$ 1　,　$\boxed{カ}$ 5

(3)　等加速度 a，初速度 v_0 で動いている等加速度運動している物体の t 秒後の位置 x を表す式に数値を代入して求める。

$$x=v_0\,t+\frac{1}{2}a\,t^2=9.0*8.0+\frac{1}{2}(-1.5)*8.0^2=72-48=24\ \mathrm{m}.$$

→ $\boxed{キ}$ +　,　$\boxed{ク}$ 2　,　$\boxed{ケ}$ 4

$\boxed{2}$　初速 v_0，水平からの角度 θ で投げる斜方投射運動では，投げてから t 秒後の速度の水平成分（x 成分）v_x と鉛直成分（y 成分）v_y　及び，位置の水平成分 x と鉛直成分 y は時刻 t=0 での位置が原点にある場合は次の式のように表される。

$$速度\begin{cases} v_x=v_0\cos\theta\ , \\ v_y=v_0\sin\theta-g\,t\ , \end{cases}\qquad 位置\begin{cases} x=(v_0\cos\theta)\,t\ , \\ y=(v_0\sin\theta)\,t-\dfrac{1}{2}g\,t^2\ . \end{cases}$$

(1)　ボールが最高点となる時，速度の鉛直成分 v_y が 0 となるので，$v_y=0=v_0\sin\theta-g\,t$ に数値を代入して求める。

$v_y=0=v_0\sin\theta-g\,t=20\sin 40°-9.8\,t \fallingdotseq 20*0.6428-9.8\,t \fallingdotseq 12.86-9.8\,t$　→　$t\fallingdotseq 12.86/9.8 \fallingdotseq 1.312$ s .

→ $\boxed{ア}$ 1　,　$\boxed{イ}$ 3

(2)　投げてから壁までの水平距離 x が 30m となる時間 t は $x=(v_0\cos\theta)\,t$ を用いて，

$t=x/(v_0\cos\theta)=30/(20\cos 40°)\fallingdotseq 30/15.32 \fallingdotseq 1.958 \fallingdotseq 2.0$ s .

→ $\boxed{ウ}$ 2　,　$\boxed{エ}$ 0

領域２；　力のつり合いと運動方程式

1　（重力による）力のモーメントのつり合いの式を適用する。

$4g*x = 2g*(1-x)$, → $4x = 2(1-x)$, → $6x = 2$, → $x = 2/6 \fallingdotseq 0.33$ m .

→ $\boxed{ア}$ 3 , $\boxed{イ}$ 3

2

(1)　右向きを＋方向とし，質量 m の物体に合力 F が働くとすると，運動方程式 $F = ma$ より，生じる加速度 a を求める。

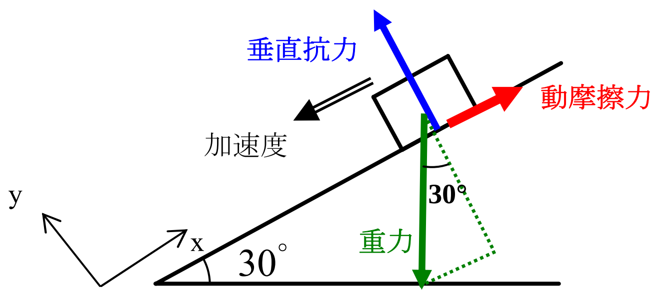
$$a = \frac{F}{m} = \frac{5.0+(-2.0)}{6.0} = \frac{3.0}{6.0} = 0.5 \text{ m/s}^2 .$$

→ $\boxed{ア}$ 0 , $\boxed{イ}$ 5

(2)　物体ＡとＢの間に働く力 F_2 と F_3 は作用・反作用の関係にある力なので大きさは同じ（$F_2 = F_3$）となる。また，物体Ａは右向きに加速度を生じるので，物体Ａに働く合力も右向きとなる。物体Ａに働く力は F_1 と F_2 なので右向きの加速度を生じるためには $F_1 > F_2$ となる必要がある。従って，３つの力 F_1，F_2 ，F_3 の大きさの大小関係は $F_1 > F_2 = F_3$ となる。　→ ③

3　斜面上で動いている物体に働く力は重力 $m\vec{g}$，垂直抗力 $\vec{N}$，動摩擦力 $\vec{F}'$ である。斜面に沿った上方向を+x 方向，斜面と垂直上方向を+y 方向として３つの力を成分表示すると次のように表される。

$m\vec{g} = (-mg \sin 30°, -mg \cos 30°)$,　$\vec{N} = (0, N)$,　$\vec{F}' = (F', 0) = (\mu' N, 0)$.　加速度 $\vec{a}$ は $\vec{a} = (-a, 0)$ と表される。



(1)　y 方向は力がつり合っているので，垂直抗力の大きさ $N = mg \cos 30°$ となる。従って，動摩擦力の大きさ F' は次のように計算される。

$F' = \mu' N = \mu' mg \cos 30° = 0.2*5.0*9.8*\sqrt{3}/2 \fallingdotseq 8.487 \fallingdotseq 8.5$ N.

→ $\boxed{ア}$ 8 , $\boxed{イ}$ 5

(2)　（x 方向の）運動方程式を書くと次の式のように表される。　$m(-a) = -mg \sin 30° + F'$. この式より加速度の大きさ a は次のように計算される。

$a = g \sin 30° - F' = = g \sin 30° - \mu' g \cos 30° = g(\sin 30° - \mu' \cos 30°)$

$= 9.8*(1/2 - 0.2*\sqrt{3}/2) \fallingdotseq 9.8*(0.5 - 0.1732) \fallingdotseq 3.203 \fallingdotseq 3.2 \text{ m/s}^2$.

→ $\boxed{ア}$ 3 , $\boxed{イ}$ 2

領域３．　力学的エネルギー・衝突

1

(1)　バネの伸び $x = 0.15\text{-}0.10 = 0.05$ m なので，弾性エネルギー U は次の式より求められる。

$$U = \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} *2.0 * (0.05)^2 = 0.0025 \text{ J} .$$ → ①

(2)　運動量 p は物体の質量 m と速度 v より，$p = m v$ と定義されるので次の式のように求められる。

$$p = m v = 3.0 * (-4.0) = -12 \text{ kg m/s} .$$ → ②

2

(1)　物体Ａに働く重力のした仕事 W は（物体の変位は重力の向きに 10 m 移動したので）次の式のように求められる。

$$W = m_A g h = 5.0 * 9.8 * 10 = 490 = 4.9\times10^2 \text{ J} .$$

→ ア　4 ， イ　9

(2)　衝突する前まで物体Ａには力学的エネルギー保存の法則が成立している。従って，衝突する寸前の速さを v_A とする次の式のように求められる。

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 = m_A g h , \quad \rightarrow \quad v_A = \sqrt{2gh} = \sqrt{196} = 14 \text{ m/s} .$$

→ ウ　1 ， エ　4

(3)　衝突の前後では運動量保存の法則が成立するので，衝突後の台車ＡとＢの速さを v' とすると次の式が成立し，この式を用いて v' を求める。

$$m_A v_A = (m_A + m_B) v' , \quad \rightarrow \quad v' = \frac{m_A}{m_A + m_B} v_A = \frac{5.0}{5.0 + 9.0} *14 = 5.0 \text{ m/s} .$$

→ オ　5 ， カ　0

領域４；円運動・万有引力・単振動

1

(1)　角速度の大きさ $\omega = 2\pi f = 2\pi * 0.3 = 0.6\pi \fallingdotseq 1.885 \fallingdotseq 1.9$ rad/s .

→　$\boxed{ア}$　1 ,　$\boxed{イ}$　9

(2)　円運動する物体は円の接線方向に向かって動く。　→　①

(3)　円運動する物体の加速度の向きは円の中心方向である。　→　②

(4)　円運動する物体に働く向心力の大きさ F は $F = m r \omega^2$（ここで，物体の質量 m，円の半径 r）より

$F = m r \omega^2 = 1.5 * 2.0 * (0.6\pi)^2 \fallingdotseq 10.659 \fallingdotseq 11$ N .

→　$\boxed{ウ}$　1 ,　$\boxed{エ}$　1

2

時刻 t での単振動している物体の変位 x は　$x = A \sin(2\pi \dfrac{t}{T}) = 0.8 \sin(1.5\pi t)$　と表される。

(1)　物体の速度 v は次の式より求める。また，速度の最大値 v_{max} は三角関数（コサイン）の値が最大(=1)となる時である。

$$v = \frac{dx}{dt} = A\,\frac{2\pi}{T}\cos\left(2\pi\frac{t}{T}\right),\quad \rightarrow\quad 最大値\ v_{max} = A\frac{2\pi}{T} = 0.8*1.5\pi \fallingdotseq 3.770 \fallingdotseq 3.8\ \text{m/s}.$$

→　$\boxed{ア}$　3 ,　$\boxed{イ}$　8

(2)　物体の加速度 a は次の式より求める。

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot A\sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 x.$$

元の変位を表す式より, $2\pi/T = 1.5\pi$ となる。従って，$a = -(1.5\pi)^2 \times x$ と表すことができる。

→　④

領域５．　　熱

$\boxed{1}$ 物体の質量 m，与えた熱量 ΔQ，温度上昇 ΔT とすると比熱 c は以下の式で求められる。その結果から最も近い値となるものを選ぶ。

$$c = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{89}{80 * 2.5} = 0.445\ \mathrm{J/(g \cdot K)}\ .$$

→　③

$\boxed{2}$ 気体は理想気体なので，理想気体での状態方程式 $PV= nRT$ が成立する。ここで，気体の圧力 P，体積 V，モル数 n，絶対温度 T=273+t (t は摂氏温度)，気体定数 R とする。上の式より，体積 V は

$$V = \frac{nR}{P}T = \frac{nR}{P}(t+273) = \frac{nR}{P}t + \frac{nR}{P}273 = \frac{nR}{P}t + V_0\ ,$$

と表される。ここで，摂氏温度 t =0℃（絶対温度 T=273K）での気体の体積を V_0 とした。シリンダー内の気体の圧力は大気圧によって一定となっているので nR/P は一定値である。従って，上式から縦軸を体積 V, 横軸を摂氏温度 t としたグラフは，切片 V_0, 傾き nR/P の直線となる。さらに，摂氏温度 t =273℃の場合の体積は $2V_0$ となる。これらの条件に合致するグラフを選択する。

→　②

$\boxed{3}$

(1)　気体の体積が膨張している時，気体は(気体の圧力によってピストンを押す力 F とピストンの変位 $\Delta\ell$ の向きが同じなので)，次の式のように気体の外部に正の仕事 Δw となる。

$$\Delta w = F\,\Delta\ell = (P\,S)\,\Delta\ell = P\,\Delta V = 1.0\times10^5 * (4.4\times10^{-3} * (0.5 - 0.2)) = 1.32\times10^2 \fallingdotseq 1.3\times10^2\ \mathrm{J}.$$

（ここで，シリンダーの体積変化 ΔV はピストンの断面積 S と変位 $\Delta\ell$ の積である。）

→　$\boxed{ア}$　1　，　$\boxed{イ}$　3

(2)　気体の内部エネルギーの変化量 ΔU は熱力学第１の法則より，気体に外から加えた熱量 ΔQ，気体に外からした仕事 ΔW (気体が外にする仕事 Δw とは異符号となる。$\Delta W = -\Delta w$)を用いて次の式のように計算される。

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W = \Delta Q - P\,\Delta V = 3.3\times10^5 - 1.32\times10^2 = 1.98\times10^2 \fallingdotseq 2.0\times10^2\ \mathrm{J}.$$

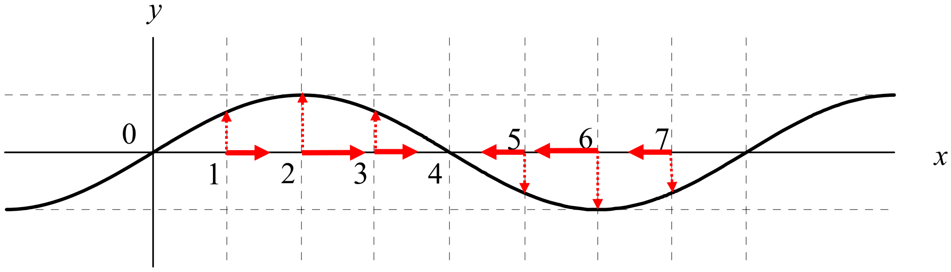
→　$\boxed{ウ}$　2　，　$\boxed{エ}$　0

領域６．波動

$\boxed{1}$ 点ＡとＢから発する波は同じ周期の波を発生している。点Ｐでは水面は振動しないので，点Ａから到達した波が山ならば，点Ｂから到達した波は谷とならなければならない。（点Ａから出た波と点Ｂから出た波は同じ媒質内を進むので同じ速さとなる。） → ①

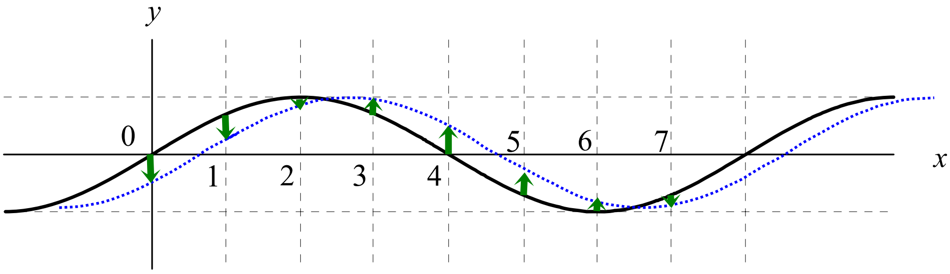
$\boxed{2}$

(1) 位置 x=1 から 7 の上で縦波の変位を（進行方向と同じ向きに）実線の矢印で表す。



この図より，媒質の密度が高くなる（媒質が集まっている）のは x=4 の位置である。 → ④

(2) 上の図の状態から少しだけ時間が経過した波も青い点線で加えた図を作成すると，次の図のように表すことができる。２つの状態の変化量を緑の矢印で表す。緑の矢印の長さが正の向きに最大となっている場所が最も大きな速度を持つことになる。 → ④



別解； 位置 x, 時刻 t における正弦波の変位 y を表す式として下のように表すことができる。

$$y = A \sin (kx - \omega t)$$

ここで，振幅 A, 波数 $k = 2\pi/\lambda$ (λ は波長)，角速度 $\omega = 2\pi/T$（T は周期）である。上の図で表されるような時刻としては例えば，t=0 の時で波形は $y = A \sin (kx)$ となる。

一方，（変位の）速度 v は下の式のように表される。

$$v = \frac{dy}{dt} = -A\omega \cos (kx - \omega t)$$

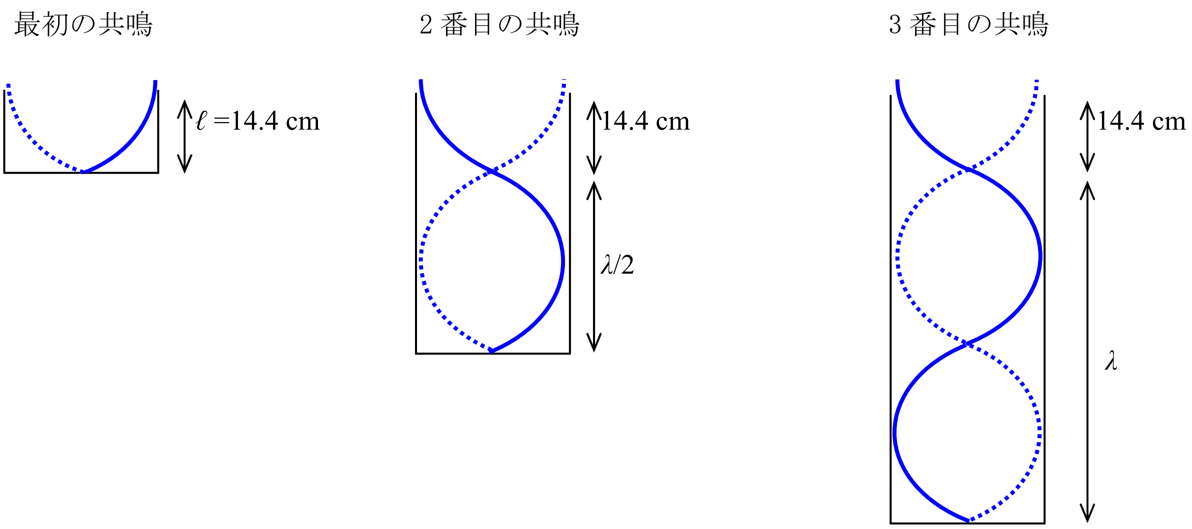
従って，時刻 t=0 では $v = -A\omega \cos (kx)$ と表され，$kx=\pi$ の時，速度 v が最大となる。これは，図中の④での位置である。

$\boxed{3}$

(1)　円筒と容器Ａでの液面は同じ高さになるので，円筒の液面を下げるには容器Ａも下げる。

→　⑤

(2)　円筒内で定常波ができる条件に合致した時，共鳴音がなる。円筒の水面を下げてできる定常波の波形を次の図に示す。ここで，λ は定常波の波長を表す。



2 番目の共鳴した図より，　$\lambda/2 = 48.2 - 14.4 = 33.8$ cm .　となる。これを 3 番目の共鳴が起こる図に適用させると，水面までの距離 $\ell = \lambda + 14.4 = 33.8*2+14.4 = 67.6+14.4 = 82.0$ cm .

→ $\boxed{ア}$　8　,　$\boxed{イ}$　2　,　$\boxed{ウ}$　0

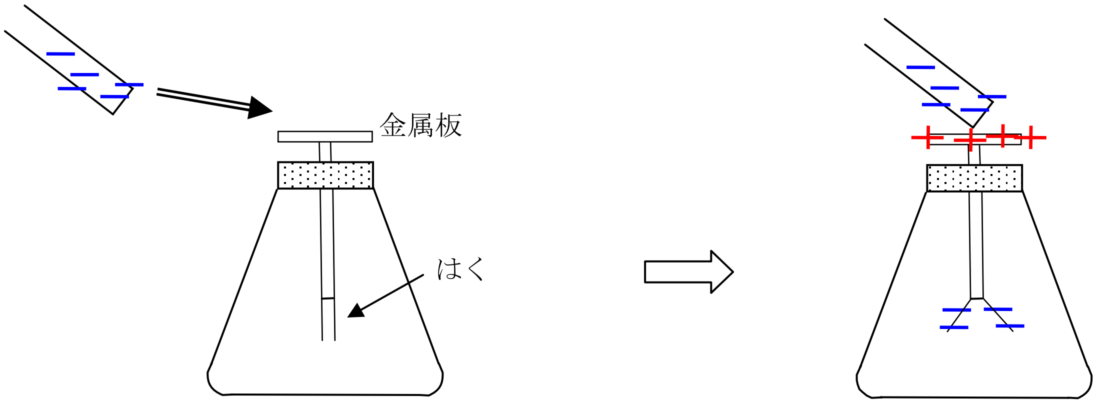
(2)　音速を v とすると, $v = f\lambda$ より, $v = 500$ (Hz=1/s)*0.676(m) = 338 m/s .　→　③

領域７．電気

1　　はく検電器に負に帯電した帯電体を近づける。　→　静電誘導により，金属板は正の電荷が帯電

→　金属板とはくは全体で電気的中性になるので，はくは負に帯電する。

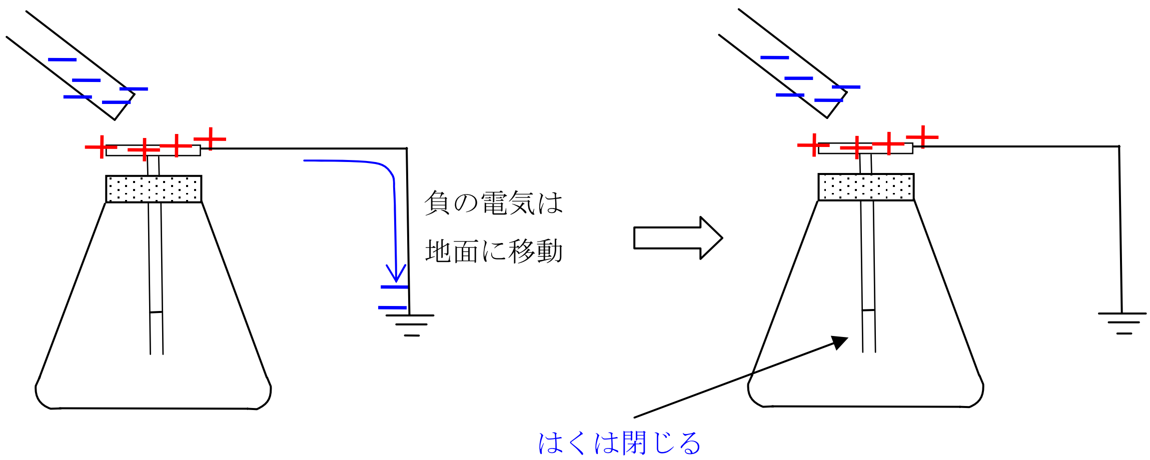
→　負に帯電した２つのはくの間に反発力が働き，はくは開く。



上部の金属板に指を触れることは，「接地して余分な電気を取り去る」ことを意味する。

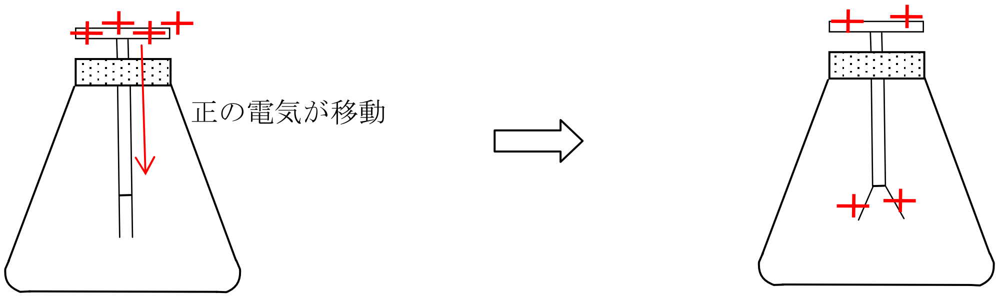
→　はくにあった負の電気が取り去られる。（金属板にある正の電気は静電誘導があるため，なくならない。）

→　はくには電気がないので，はくは閉じる。



金属板から指を離すことは接地をやめること，帯電体を遠ざけることは静電誘導をなくすことを意味する。　→　金属板に帯電していた正の電気は金属板とはくに一様に分布する。

→　はくには正の電気がのこり，はくは反発力により開く。



上の説明に合致するものを選択する。　　→　⑦

$\boxed{2}$

(1)　電気力線は＋の電気をもつ物体から発しーの電気をもつ物体に到達する。等電位線は電気力線と直交する。図１から極板Ａに正の電気が帯電するので，条件に合致する最も適当な図を選択する。 → ④

(2)　電界の強さを E，極板間の距離 d，極板間の電位差（電圧）V とすると，電界の強さが一様な場合は次の式から計算される。

$$E = \frac{V}{d} = \frac{50}{0.2} = 250\ \mathrm{V/m}\ .$$

→ ②

(3)　電荷が負となる電子は正の電気を持つ電極Ａに引き寄せられる。電荷$-q$ の電荷を持つ電子に加わる静電気力の大きさ F は次の式のように求められる。

$$F = q\,E = 1.6\times10^{-19} * 250 = 4.0\times10^{-17}\ \mathrm{N}\ .$$

→ $\boxed{ア}$ ② , $\boxed{イ}$ 4 , $\boxed{ウ}$ 0

(4)　電極Ｂは接地されているので, 電極Ｂの電位は 0 である。また, 電極Ａの電位は 50 V である。従って，電極Ａと点Ｏでの電位差（電圧）V_O は次の式のように表される。さらに，電子が電極Ａに到達するまでに得る運動エネルギーは，エネルギー保存則より，静電気力の（点Ｏでの）位置エネルギー U_O に等しい。

$$U_O = q\,V_O = 1.6\times10^{-19} * \left(\frac{0.15}{0.20}\times 50\right) = 1.6\times10^{-19} *37.5 = 6.0\times10^{-18}\ \ \mathrm{J}\ .$$

→ $\boxed{エ}$ 6 , $\boxed{オ}$ 0

領域８．磁気

1　右ネジの法則より適当な図を選択する。　→　②

2　図２より，磁束 Φ は次の式のように時間変化する（振幅 A，角速度 $\omega=2\pi/T$ とする。）

$$\Phi = A\cos(\omega t) \ .$$

コイルによって生じる起電力 V はファラデーの電磁誘導の法則より次の式のように計算される。

$$V = -\frac{d\Phi}{dt} = A\,\omega\ \sin(\omega t)\ .$$

上の計算より最も適当なグラフを選択する。　→　①

3

（1）　ローレンツ力の定義から（或いはフレミング左手の法則より）自由電子に働く力はＰからＱへの向きとなる。　→　③

（2）　電子が進む向きと磁束密度が直交する場合，ローレンツ力の大きさ $F\,(=q\,v\,B)$ によって長さ L だけ動いた時に与える仕事 W は次の式のように計算される。

$$W = F\,L = q\,v\,B\,L = 1.6\times10^{-19} * 5.0\times10^{-2} * 2.0\times10^{-2} * 0.3 = 4.8\times10^{-23}\ \mathrm{J}\ .$$

→　ア　4　，　イ　8