H23年度実施（H24年1月12日）学習到達度試験（物理）の解答

H24. 04. 20

領域１；速度・加速度・変位

$\boxed{1}$

（1）「x-t グラフの傾き= 平均速度 v」となる。問題として与えられた x-t グラフは，時間に関して 2 つの領域，つまり，$0 \leqq t \leqq 2.0$ s と 2.0 s $\leqq t$， で x-t グラフの傾きが異なる。

$0 \leqq t \leqq 2.0$ (s)で，　x-t グラフの傾き$= v = \dfrac{2.0-0.0}{2.0} = 1.0$ m/s,　(一定)

$2.0 \leqq t \leqq 4.0$ (s)で，　x-t グラフの傾き$= v = \dfrac{10-2.0}{4.0-2.0} = \dfrac{8.0}{2.0} = 4.0$ m/s.　(一定)

したがって，これを表している v-t グラフを選択する。

→ ③

（2）時刻 t_1=0.0 s で位置 x_1=0.0 m にあった物体は，時刻 t_2=3.0 s では位置 x_2=6.0 m に到達したので，この間の平均の速度 v は次のように表される。

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{6.0-0.0}{3.0-0.0} = 2.0 \text{ m/s.}$$

→ $\boxed{ア}$ 2 , $\boxed{イ}$ 0

$\boxed{2}$ 等加速度直線運動する物体において，時刻 $t=0$ で位置 $x=0$，速度(初速度)$v=v_0$ とすると，時刻 t での速度 v と位置 x は加速度 a を用いて次のように表される。

$v = v_0 + a\,t,$　①　　$x = v_0 t + a\,t^2/2.$　②

さらに，上の 2 つの式より時刻 t を消去して次のように表すこともできる。　$v^2 - v_0{}^2 = 2ax.$　③

（1）①式に，時刻 $t = 3.0$ s を代入する。→ $20=5+3a$,　→　加速度 $a = 15/3 = 5.0$ m/s^2 と求められる。

→ $\boxed{ア}$ + , $\boxed{イ}$ 5 , $\boxed{ウ}$ 0

（2）②式に，初速度 $v_0 = 3.0$ m/s, 加速度 $a = -5.0$ m/s^2，時刻 $t = 2.0$ s を代入する。→

$x = 3.0\times2.0+(-5.0)\times2.0^2/2 = 6.0-10 = -4.0$ m と求められる。

→ $\boxed{エ}$ − , $\boxed{オ}$ 4 , $\boxed{カ}$ 0

（3）③式に，初速度 $v_0 = 40$ m/s, 物体が位置 $x = 50$ m となったときの速度 $v = 50$ m/s を代入する。→

$50^2 - 40^2 = 2a\times50$，これより，加速度 $a = (2500-1600)/100 = 9.0$ m/s^2 と求められる。

→ $\boxed{キ}$ + , $\boxed{ク}$ 9 , $\boxed{ケ}$ 0

$\boxed{3}$ 速度 $\vec{v}_A$=(5.0, 2.0) m/s で動く物体 A から速度 $\vec{v}_B$=(−2.0, 4.0) m/s で動く物体 B を見るとその相対速度 $\vec{v}$ は物体 A の動きを基準とするので，$\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$ と表される。これを計算すると，相対速度 $\vec{v}$ は次のように求められる。

$$\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A = (-2.0, 4.0) - (5.0, 2.0) = (-2.0-5.0, 4.0-2.0) = (-7.0, 2.0) \text{ m/s.}$$

→ $\boxed{ア}$ − , $\boxed{イ}$ 7 , $\boxed{ウ}$ 0 , $\boxed{ウ}$ + , $\boxed{エ}$ 2 , $\boxed{カ}$ 0

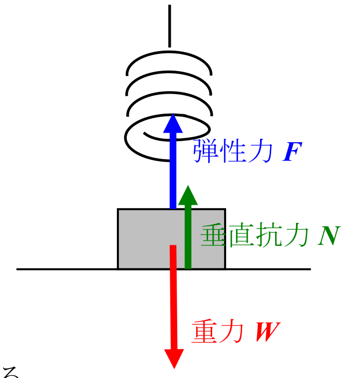
領域２；　力のつり合いと運動方程式

$\boxed{1}$　右の図のようにばねにつり下げられたおもりには，重力 W，ばねの弾性力 F，床からの垂直抗力 N の３つの力が働き，つりあっている。
重力と弾性力の大きさは次のように求められる。

重力 $W = mg = 5.0\times9.8 = 49$ N,

弾性力 $F = kx = (5.0\times10^2)\times0.04 = 20$ N,

力のつりあいより $(W = F{+}N)$，垂直抗力 $N = 29$ N と求められる。問題文にある「おもりが床を押す力」は「床がおもりを持ち上げる力(垂直抗力)」と作用反作用の関係にある力なので，垂直抗力 N と同じ大きさとなる。



→　⑤

$\boxed{2}$　下の図のように物体には３つの力(糸の張力 T，引く力 F，重力 W)が働いており，３つの力はつりあっている。力のつりあいについて，
鉛直方向と水平方向について考える。

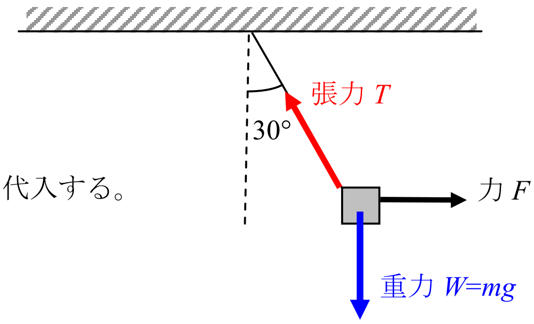
鉛直方向(y 方向)；　$T\cos30° = W$,　　①

水平方向(x 方向)；　$T\sin30° = F$.　　②

①式より張力 $T = W/\cos30°$ が得られる。これを②式に代入する。
引く力 F は次のように求められる。

$F = T\sin30° = W\sin30°/\cos30° = W\tan30°$

$= 3.0\times9.8\times(1/\sqrt{3}) = 16.97 \fallingdotseq 17$ N.



→　$\boxed{ア}$　１　,　$\boxed{イ}$　７

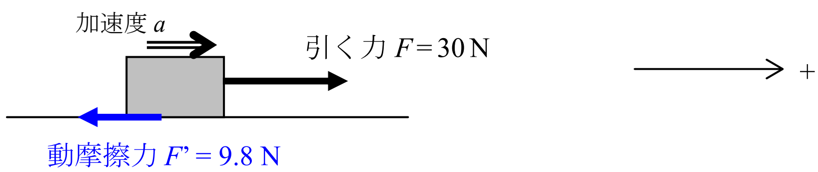
$\boxed{3}$

（１）　水平方向の運動方程式を考え，$F = ma$ より，物体に生じる加速度 $a = F/m = 30/10 = 3.0$ m/s^2 と求められる。

→　$\boxed{ア}$　３　,　$\boxed{イ}$　０

（２）　物体は机の上に水平に置かれているので，物体に働く垂直抗力の大きさ N は，$N = mg = 10\times9.8 = 98$ N である。したがって，物体に働く動摩擦力の大きさ $F' = \mu' N = 0.1\times98 = 9.8$ N である。

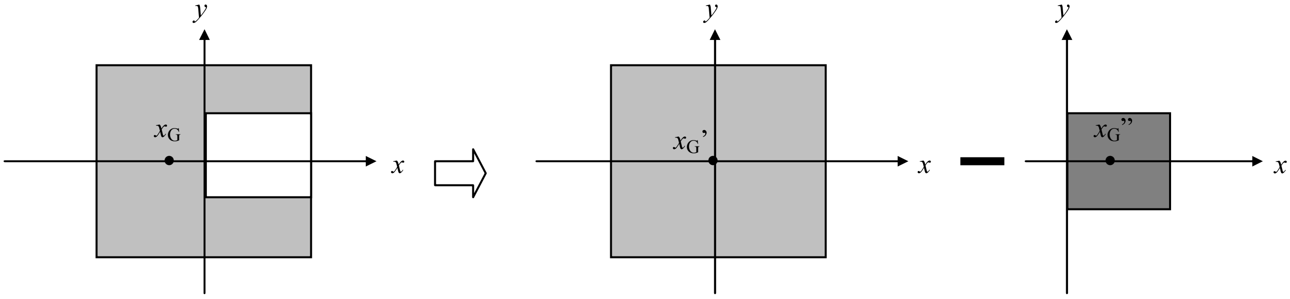
×



水平方向の運動のみを考え，右向きを正の向きとすると，運動方程式「合力= ma」より，次のように求められる。　$30+(-9.8) = 10\,a$　→ 加速度 $a = 2.02 \fallingdotseq 2.0$ m/s^2.

→　$\boxed{ウ}$　２　,　$\boxed{エ}$　０

$\boxed{4}$ 板は一様な材質で作られているので面密度を ρ [kg/m^2]とすると，切り取られた部分の面積が$(a/2)^2$なので，全体の質量 M は，$M=\rho(a^2-a^2/4)=3\rho a^2/4$, である。小さい正方形を切り抜かれた重心の位置を x_G(y 方向は対称なので，y 方向の重心の位置 $y_G=0$)，小さい正方形を切り抜かない正方形の重心の位置 $x_G'=0$, 切り抜いた小さい正方形の重心の位置 $x_G''=a/4$ とすると, 次の関係式が成り立つ。



(全質量 M)　　(質量 M')　　(質量 M'')

$$M x_G = M' x_G' - M'' x_G'' \quad \rightarrow \quad \frac{3}{4}\rho a^2 x_G = 0 - \frac{1}{4}\rho a^2 \times \frac{a}{4} \quad \rightarrow \quad x_G = -\frac{a}{12}$$

→ ⑦

・別解

質量 M の 2 次元の物体の重心の位置 $\vec{r}_G=(x_G, y_G)$は，微小質量要素 dm, 微小質量要素の位置 $\vec{r}$, 面密度 $\rho(\vec{r})$，微小面積要素 $dxdy$ とすると，次の式で定義される。

$$M\vec{r}_G = \int \vec{r}\,dm = \iint \vec{r}\,\rho(\vec{r})\,dxdy,$$

ここで微小質量要素 $dm=\rho(\vec{r})\,dxdy$ を用いた。

上式をこの問題に適用する。板は y 方向には対称なので，$y_G=0$ となるので，x 方向の重心の位置 x_G を求める。

小さい正方形を切り抜かれた板の残った部分は，次の 2 つの領域である。

① $-a/2 \leqq x \leqq 0$ では，$-a/2 \leqq y \leqq a/2$ の領域に板がある

② $0 \leqq x \leqq a/2$ では，$\{-a \leqq y \leqq -a/2$ と $a/2 \leqq y \leqq a\}$の 2 つの領域に板がある。

したがって，上で示した重心の位置の定義より，重心の位置 x_G を求めることができる。

$$M x_G = \iint_{\{\text{板がある領域}\}} x\,\rho\,dxdy$$

$$= \rho\left(\int_{-a/2}^{0} x\,dx \int_{-a/2}^{a/2} dy + 2\int_{0}^{a/2} x\,dx \int_{a/4}^{a/2} dy\right) = \rho\,(-a^3/8+2\times a^3/32) = -\rho a^3/16$$

$$\rightarrow x_G = -\frac{\rho a^3/16}{M} = -\frac{\rho a^3/16}{3\rho a^2/4} = -\frac{a}{12}$$

領域３．　力学的エネルギー・衝突

$\boxed{1}$

（1）「力積＝運動量の変化（＝終わりの運動量–始めの運動量）」より，

力積 $F\,\Delta t = mv - mv_0 = 0.045\times40 - 0 = 1.8$ kg m/s (=N s).

→ $\boxed{ア}$ 1 , $\boxed{イ}$ 8

（2）エネルギーと仕事の関係より，「外からされた仕事＝運動エネルギーの変化」より，

ボールにした仕事 $W = m\,v^2/2 - m\,v_0^{\,2}/2 = 0.045\times40^2/2 - 0 = 36$ J.

→ $\boxed{ウ}$ 3 , $\boxed{エ}$ 6

$\boxed{2}$ 図より衝突前の物体 A の速度 $\vec{v}_A = (2.0, 0)$ m/s，物体 B の速度 $\vec{v}_B = (0, 5.0)$ m/s と表される。

（1）運動量保存則（「衝突前の全運動量＝衝突後の全運動量」）より，衝突後に一体化した時の速度 $\vec{V} = (V_\mathrm{x}, V_\mathrm{y})$とすると，次の式が成り立つ。

$$m_\mathrm{A}\vec{v}_A + m_\mathrm{B}\vec{v}_B = (m_\mathrm{A}+m_\mathrm{B})\vec{V} \;\rightarrow\; \vec{V} = (V_\mathrm{x}, V_\mathrm{y}) = (m_\mathrm{A}\vec{v}_A + m_\mathrm{B}\vec{v}_B)/(m_\mathrm{A}+m_\mathrm{B}) = (16, 10)/10 = (1.6, 1.0)\ \mathrm{m/s}.$$

→ $\boxed{ア}$ 1 , $\boxed{イ}$ 6 , $\boxed{ウ}$ 1 , $\boxed{エ}$ 0

（2）「失ったエネルギー＝始めの全エネルギー – 終わりの全エネルギー」より，失った運動エネルギー$\Delta E = \{m_\mathrm{A}v_\mathrm{A}^{\,2}/2 + m_\mathrm{B}v_\mathrm{B}^{\,2}/2\} - (m_\mathrm{A}+m_\mathrm{B})V^2/2 = \{16+25\} - 17.8 = 23.2 \fallingdotseq 23$ J.

(ここで，$V^2 = V_\mathrm{x}^{\,2} + V_\mathrm{y}^{\,2}$ を用いた)

→ $\boxed{オ}$ 2 , $\boxed{カ}$ 3

$\boxed{3}$ ばねの伸び x のとき，ばねの弾性力が持つ位置エネルギーU は，$U = kx^2/2$ と表される。

ばね定数 k は力 F と伸び x の F-x グラフの傾きから，$k = 40/0.4 = 100$ N/m と求められる。

（1）ばねの変位と弾性力は同じ向きなので，ばねの弾性力が物体にした仕事 W は正となり，次のように求めることができる。

W = (伸び 0.4 m での弾性エネルギー) – (伸び 0.2 m での弾性エネルギー)

$= U(x{=}0.4\ \mathrm{m}) - U(x{=}0.2\ \mathrm{m}) = 100\times0.4^2/2 - 100\times0.2^2/2 = 8.0 - 2.0 = 6.0$ J.

→ $\boxed{ア}$ 6 , $\boxed{イ}$ 0

（2）力学的エネルギー保存則「(伸び 0.4 m での全エネルギー) = (伸び 0.2 m での全エネルギー)」より，

$0 + U(x{=}0.4\ \mathrm{m}) = mv^2/2 + U(x{=}0.2\ \mathrm{m}) \;\rightarrow\; v^2 = 2\{U(x{=}0.4\ \mathrm{m}) - U(x{=}0.2\ \mathrm{m})\}/m = 2\times6/3 = 4 \;\rightarrow\; v = 2.0$ m/s.

→ $\boxed{ウ}$ 2 , $\boxed{エ}$ 0

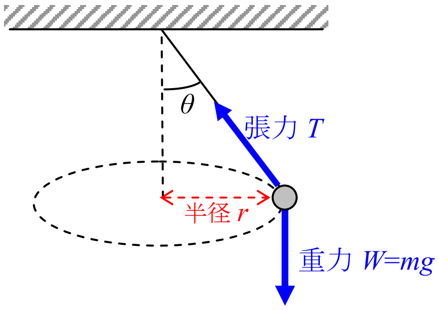
領域４；円運動・万有引力・単振動

1

（1） 等速円運動する物体に働く向心力は，円の中心方向を向く。

→ ④

（2） 右の図のように物体には重力と糸の張力が働いている。鉛直方向には力がつりあっている($T\sin\theta = mg$)。重力と張力の合力の水平成分が向心力となり，等速円運動している。向心力 F は重力 $W = mg$ を用いて，$F = mg\tan\theta$ と求められる。一方，一般に等速円運動する物体に働く向心力 F は等速円運動の角速度を ω，円の半径を r として，$F{=}ma = mr\omega^2$ と表される(回転半径 r は糸の長さを L とすると $r = L\sin\theta$)ので，2つ式から，加速度 $a = g\tan\theta$，角速度 ω は，$\omega = \sqrt{g\tan\theta / r} = \sqrt{g/(L\cos\theta)}$ と求められる。



→ ア ⑤ ， イ ④

2 時刻 t での単振動している物体の変位(位置)x は一般に，次の式で表される。

$$x = A\sin(\omega t + \theta_0) = \mathrm{A}\sin(2\pi\frac{t}{T} + \theta_0),$$

ここで，振幅 A，角振動数 ω，周期 T，初期位相 θ_0 である。

（1） 問題に与えられた式と上式を対応させると，振幅 A=1.5 m となる。

→ ア 1 ， イ 5

（2） 同様に，角振動数 $\omega{=}5\pi$ となり，角振動数 ω と振動数 f の間には $\omega{=}2\pi f$ の関係が成り立つので，振動数 $f{=}\omega/2\pi = 5\pi/2\pi = 2.5$ Hz と求められる。

→ ウ 2 ， エ 5

3 質量 m_1 と m_2 の物体間の距離を r とするとき，2つの物体に働く万有引力の大きさ F は，$F{=}G\dfrac{m_1 m_2}{r^2}$ と表される。ここで，万有引力定数を G とした。月の質量 m，地球の質量 m_1，太陽の質量 m_2，月と地球の間の距離 r_1，月と太陽の間の距離 r_2 とすると，月と地球の間の万有引力の大きさ F_1 と月と太陽の間の万有引力の大きさ F_2 の比 F_2/F_1 は次のように計算できる。

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{G\,m_2 m/r_2^{\,2}}{G\,m_1 m/r_1^{\,2}} = \frac{m_2}{m_1}\frac{r_1^{\,2}}{r_2^{\,2}} \fallingdotseq \frac{2.0\times10^{30}}{6.0\times10^{24}}\frac{3.8^2\times10^{16}}{1.5^2\times10^{22}} = 2.139 \fallingdotseq 2.1.$$

(注；問題文の図に書いてあるように，「太陽と地球の間の距離≒太陽と月の間の距離」とした)

→ ア 2 ， イ 1

領域５．　熱

1　質量 m, 比熱 c の物体に熱 ΔQ を加えたとき, 温度が ΔT 上昇したとすると, 物体に加えた熱 Q は,「$\Delta Q = m c \Delta T$」と与えられる。この式より，加えた熱 ΔQ は，$\Delta Q = 20\times0.45\times30 = 270 = 2.7\times10^{2}$ J と求められる。

→ ア　2 , イ　7 , ウ　2

2　定積モル比熱を c_v，定圧モル比熱 c_p をとする。気体 1 モルに加える熱量を Δq，外部から気体 1 モルにする仕事を Δw，気体の圧力を p，気体 1 モルの体積変化 Δv とすると，気体 1 モルの内部エネルギー変化 Δu は熱力学第 1 法則を用いて，「$\Delta u = \Delta q + \Delta w = \Delta q - p\Delta v$ 」と与えられる。

(1)　モル比熱 c は $c = (\Delta q/\Delta T)$ と表されるので，定積モル比熱を c_v は $c_v = (\Delta q/\Delta T)_{v=一定} = \Delta u/\Delta T$，定圧モル比熱 c_p は $c_p = (\Delta q/\Delta T)_{p=一定}$ と表される。加える熱量 $\Delta q = c\,\Delta T$ と表される。問題文より，$c_v < c_p$ なので，加える熱量が等しければ，「(定積変化での温度上昇)>(定圧変化での温度上昇)」となる。

　さらに，定積変化では，体積変化 Δv=0 となるので仕事 Δw=0 となり，定圧変化では，体積変化を伴うので気体は外部へ仕事をすることができる。

→ ア　② , イ　③

(2)　A の始めの温度を T_A，B の始めの温度を T_B，熱平衡状態での A と B の温度を T' とすると，A の温度の下降分 $\Delta T_A = T_A - T'$，B の温度の上昇分 $\Delta T_B = T' - T_B$ と表される。A のモル数 n_A = B のモル数 n_B = 2.0 mol なので，熱量保存則「物体 A の失った熱 ΔQ_A = 物体 B の得た熱 ΔQ_B」を用いて次のように求めることができる($\Delta Q_A = n_A \Delta q_A$)。

→ $n_A\, c_v\, \Delta T_A = n_B\, c_p\, \Delta T_B$ → $12.5\times(90-T')=20.8\times(T'-10)$ → $33.3T' = 1333$ → $T'=40.03 \fallingdotseq 40$ ℃.

→ ウ　4 , エ　0

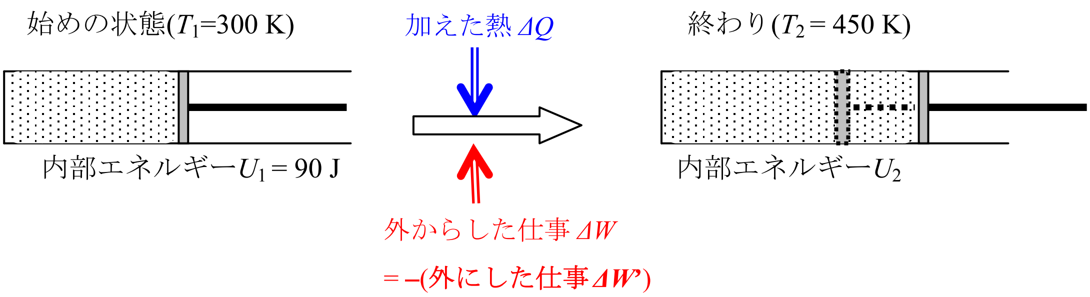
3

(1)　理想気体には，ボイル・シャルルの法則($PV/T=$ 一定；圧力 P，体積 V，絶対温度 T)が成り立つ。

圧力 P が一定なので，$\dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_2}{T_2}$ の関係が成り立つ。また，体積の関係が $V_2 = 3V_1$ となるので，温度 $T_2 = 3T_1$ の関係が成立する。したがって，$T_2 = 3T_1 = 3\times273 = 819$ K = 546 ℃.

→ ア　5 , イ　4 , ウ　6

(2)　理想気体が持つ内部エネルギー U は絶対温度 T に比例する。その比例定数を α とすると，$U = \alpha T$ と表されるので，始めの状態から，比例定数 $\alpha = 0.3$ J/K となる。また，熱力学第 1 法則は「内部エネルギーの変化 ΔU =気体に加えた熱 ΔQ +外から気体に加えた仕事 ΔW 」と表される。



内部エネルギーの変化 $\Delta U = U_2 - U_1 = \alpha \Delta T = \alpha\,(T_2 - T_1) = 0.3\times(450 - 300) = 45$ J で，外部にした仕事が 30 J なので, 外から気体にした仕事 $\Delta W = -30$ J となる。したがって, 気体に加えた熱 $\Delta Q = \Delta U - \Delta W = 45 + 30 = 75$ J と求められる。

→ ⑥

領域６．波動

1 波が異なる媒質に入射すると，波の振動数 f は変化せずに，波の進む速さ v が変化する。したがって，媒質 1(波の速さ v_1，波長 λ_1)から媒質 2(波の速さ v_2，波長 λ_2)へ波が入射するときの屈折率(媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率) $n_{1\to2}$ は $v=f\lambda$ より，次のように与えられ，波長 λ_2 が求められる。さらに，入射角 i，屈折角 r とすると，屈折率と入射角と屈折角の関係も次のように与えられる。

$n_{1\to2}=v_1/v_2=\lambda_1/\lambda_2=\sin i/\sin r$ → $3.0/6.0=2.0/\lambda_2$ → $\lambda_2=4.0$ m.

屈折した波が進む向きは，$n_{1\to2}=0.5=\sin i/\sin r$ から，$i<r$ となりその軌跡は②である。

→ ア ②，イ 4，ウ 0

2 点 A と B からは同位相で球面波が発生している。ある地点 P で波が「弱め合う条件は，n をある適当な整数とすると，$|AP–BP|=(n+1/2)\lambda$」である。AP=5.0 cm，λ=4.0 cm なので，条件式にあてはめると，$|5–BP|=(n+1/2)\times4$ となる。整数 n=0 の場合は BP=3.0 cm または **7.0 cm**, n=1 の場合は BP=11 cm,・・となる。　一方，「強め合う条件は，　$|AP–BP|=n\lambda$」で，整数 n=0 の場合は BP=5.0 cm, n=1 の場合は **BP=9.0 cm**,・・となる。

→ ア ③，イ ⑦

3

(1) 図 1 より，波長 $\lambda=8.0$ m なので波の速さ v は，$v=f\lambda=0.25\times8.0=2.0$ m/s と求められる。

→ ア 2，イ 0

(2) 周期 $T=1/f=1/0.25=4.0$ s となる。位置 x=2.0 m で波を観測すると図 1 のグラフより，時刻 t=0 で山となり，その後，谷に向かう。

→ ウ ②

位置 x=8.0 m で波を観測すると図 1 のグラフより，時刻 t=0 で変位 y=0 で，その後，谷に向かう(時刻 t=0 より少し時間が経過したとき，図 1 のグラフより波の進む向きを考えると変位が負となる)。

→ エ ⑧

(3) 一般に，時刻 t，位置 x における周期 T，波長 λ で+x 方向に進む波の変位 y は，振幅 A，初期位相 θ_0 を用いて，

$$y=A\sin\{2\pi(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda})+\theta_0\},\qquad ①$$

と表される。問題文にあるように，時刻 t=0 での波の変位 $y=A\sin(2\pi\frac{x}{\lambda})=0.3\sin(2\pi\frac{x}{8})=0.3\sin(0.785x)$ と表されるためには初期位相 $\theta_0=\pi$ と選ぶよい(この時，$y=A\sin\{-2\pi\frac{x}{\lambda}+\pi_0\}=A\sin\{2\pi\frac{x}{\lambda}\}=0.3\sin(0.785x)$ となる)。

さらに，①式を変形すると下の式が得られる。 → $y=A\sin\{\frac{2\pi}{\lambda}(\frac{\lambda}{T}t-x)+\pi\}=A\sin\{\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+\pi\}=A\sin\{\frac{2\pi}{\lambda}(x-vt)\}=0.3\sin\{0.785(x-vt)\}$.　　**(注意；関数の括弧の位置に注意して選択する)**

→ オ ④

領域７．電気

$\boxed{1}$

（１） t 秒間に Q [C]の電気量が導体を通過するとき， 電流 I [A]は，$I = Q/t$, と表される。 電子によって電気が運ばれるとすると，電子の電荷を e，通過する電子の個数を n とすると，$Q = n|e|$, と表される。したがって， 1 秒間当たりに通過する電子の個数 n/t は， $n/t = I/|e| = 80\times10^{-3}/(1.6\times10^{-19}) = 5.0\times10^{17}$ 個/s と求められる。

→ $\boxed{ア}$ 5 , $\boxed{イ}$ 0

（２） 電場 E が電子 1 個を距離 x 動かすときに電場が電子にする仕事 W は，電子に働く力 $F=eE$ と表されるので仕事 $W = Fx = eEx$, と与えられる。一方，電場 E は電位差(電圧)V と距離 x を用いて，$E = V/x$, と表される。さらに，電圧 V は電流 I と抵抗 R を用いると， $V = IR$, と表されるので，この 2 つの式を用いると, 電場が電子にする仕事の大きさ$|W|$は次のように求めることができる。

$$|W| = |e|V = |e|IR = (1.6\times10^{-19})\times(80\times10^{-3})\times50 = 6.4\times10^{-19}\ \text{J}.$$

→ $\boxed{ウ}$ 6 , $\boxed{エ}$ 4

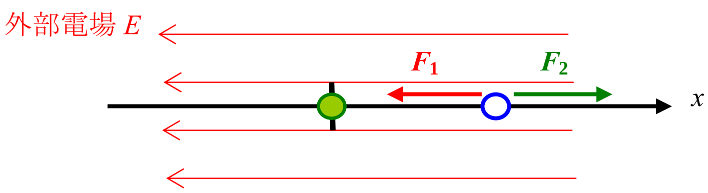
$\boxed{2}$

（1） 点電荷 Q が電界 E の中にあるとき，電界から受ける力の大きさ F は次のように求められる。

$$\rightarrow\ F = QE = (2.0\times10^{-9})\times(4.5\times10^{2}) = 9.0\times10^{-7}\ \text{N}.$$

→ $\boxed{ア}$ 9 , $\boxed{イ}$ 0

（2） 点電荷 q の電気量によらずに，外部電場 E から受ける力 $F_1 = qE$ と点電荷 Q から受ける静電気力(クーロン力)F_2 がつりあう。仮に原点から+の方向に距離 a だけ離れた地点に正の点電荷 q を置いてみよう。そのとき，2 つの力の向きは図のように逆向きになるので，力がつりあう可能性がある。



力がつりあう位置 a は次のようにして求められる。 → $F_1 = F_2$ → $qE = k_e \dfrac{qQ}{a^2}$ → $a = \sqrt{\dfrac{k_e Q}{E}}$

$$= \sqrt{\frac{(9.0\times10^{-9})\times(2.0\times10^{-9})}{4.5\times10^{2}}} = 2.0\times10^{-1} = +\,0.20\ \text{m}.$$

(注; $-x$ 方向に点電荷 q を置くと，電場から受ける力と電荷 Q から受ける静電気力がともに$-x$ 方向を向き，2 つの力がつりあうことはない)

→ $\boxed{ウ}$ ＋ , $\boxed{エ}$ 2 , $\boxed{オ}$ 0

$\boxed{3}$

（1） スイッチ S_1 を閉じると, コンデンサーAのみに電圧が加わる。コンデンサーAにたまる電気量 Q, 電圧 V, 電気容量 C とすると，$Q=CV$ の関係より，次のように求められる。

→ $Q = CV = (1.2\times10^{-6})\times200 = 2.4\times10^{-4}$ C.

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

（2） 次に，スイッチ S_1 を開きスイッチ S_2 を閉じると，コンデンサーA にたまった電気が導線を通じてコンデンサーB にも流れる。コンデンサーA とコンデンサーB にかかる電圧は同じでここでは静電容量も同じ $C = 1.2$ μF なので，各々の持つコンデンサーの電気量 $Q_A=Q_B=1.2\times10^{-4}$ C と元の電気量の半分となる。電圧(電位差)V は $V=Q/C$ より元の電圧の半分になる。

→ $\boxed{エ}$ ③ , $\boxed{オ}$ ③

領域８．磁気

$\boxed{1}$

（1） 右ネジの法則より，磁場の向きは「②」となる。また，コイルの中心に作る磁場の大きさ H は電流の大きさ I，コイルの半径 r，巻き数 n とすると，次のように求められる。

$$H=\frac{nI}{2r}=\frac{5\times 0.2}{2\times 0.1}=5.0\ \text{A/m}.$$

→ $\boxed{ア}$ ②，$\boxed{イ}$ 5，$\boxed{ウ}$ 0

$\boxed{2}$

（1） コイルの自己インダクタンス L，コイルに流れる電流 I，発生する誘導起電力 V とすると，誘導起電力 V は，次のように求められる。

$$V=-L\frac{dI}{dt}=-(0.40)\times\frac{2.5}{0.2}=-5.0\ \text{V} \quad \rightarrow \quad \text{その大きさは } 5.0\ \text{V}.$$

→ $\boxed{ア}$ 5，$\boxed{イ}$ 0

（2） コイルで発生する電圧(起電力) V_L はインダクタンス L を用いて，$V_L=-L\dfrac{dI}{dt}$，と表される。直列つなぎで結ばれているこの回路全体の起電力はで電池の起電力 V とコイルで発生する起電力の和に等しい。これが，抵抗 R で発生する電圧 $V_R(V_R=RI)$に等しいので，次の式が得られる。

$$V+V_L=V_R \ \rightarrow\ V=-V_L+V_R \ \rightarrow\ V=L\frac{dI}{dt}+RI.$$

始め，スイッチが開いていたので電流は流れない(I=0；時刻 $t\leqq 0$)。一方，スイッチを閉じてから時刻が無限大になったところでは電流 I が一定(時間変化しない)なので，$V_L=0$ ととなり，$I=V/R=$ 一定，となる。この条件に合致するグラフは⑥である。

→ ⑥

$\boxed{3}$

（1） 磁束密度 B の磁場が面積 S(横の長さ a，縦の長さ b の長方形の場合，面積 $S=ab$，である)を貫いているとすると，この面積中の磁束 Φ は，$\Phi=BS$，と与えられる。したがって磁束の 1 秒間当たりの変化量 $d\Phi/dt$ は，磁束密度が一定では面積の増加速度に等しいので次のように求められる。

$$\frac{d\Phi}{dt}=B\frac{dS}{dt}=B\left(a\frac{db}{dt}\right)=B\,(a\,v)=4.0\times(0.6\times 0.25)=0.60\ \text{Wb/s}. \qquad (\text{速さ } v\text{=縦方向に進む速さ})$$

→ $\boxed{ア}$ 6，$\boxed{イ}$ 0

（2） 磁束 Φ の時間変化(電磁誘導)によって起電力 V が発生する($V=-(d\Phi/dt)$)。この回路は抵抗 R をつなぐことで，この起電力によって電流 I が生じ，電流 I は次のように求められる。

$V=IR \ \rightarrow\ -(d\Phi/dt)=IR \ \rightarrow\ I=-(d\Phi/dt)/R=-(0.6)/2.0=-3.0$ A.　(負は①の向きを意味する)

→ $\boxed{ウ}$ ①，$\boxed{エ}$ 3，$\boxed{オ}$ 0