

問題・解答
用紙番号

52

の解答用紙に解答しなさい。

物 理

〈受験学部〉

理工学部

問題は100点満点で作成しています。

I 次の文を読み、各問いに対する最も適当な答えを、それぞれの解答群から一つ選び、その記号を解答欄にマークせよ。なお、重力加速度の大きさを g [m/s²] とし、数値は最も近い値を解答群から選べ。(40点)

- [1] 図1のように、点 O から長さ l [m] の伸び縮みのしない軽い糸に質量 m [kg] の小球を静かに吊り下げた。最下点 A の小球に、水平右向きに初速 v [m/s] を与えたときの鉛直面内での運動を考える。最下点 A からの回転角を θ [rad] とし、空気抵抗の影響は無視できるものとして以下の問いに答えよ。

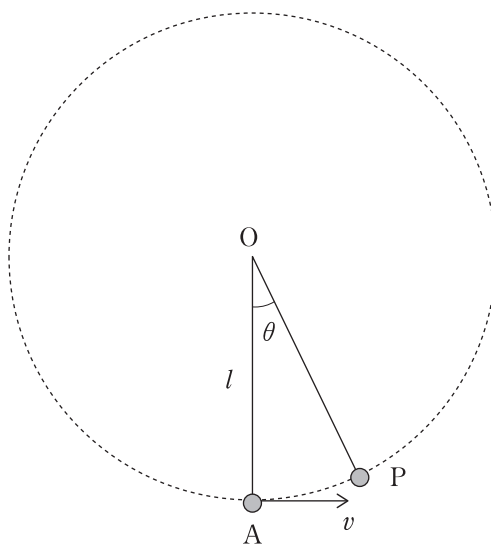


図1

最下点 A から進んだ小球は、糸がたるむことなく点 P まで到達した。このときの角度は $\theta = \theta_P$ [rad] であった。小球は点 P で静止したのち、最下点 A を中心に往復運動をした。

問 1. 点 A から点 P までの運動において、小球にはたらく重力がした仕事は何 J か。

解答群

- (ア) 0 (イ) $-mgl \sin \theta_P$ (ウ) $-mgl \cos \theta_P$
 (エ) $-mgl (1 - \sin \theta_P)$ (オ) $-mgl (1 - \cos \theta_P)$

問 2. 点 A から点 P までの運動において、小球にはたらく糸の引く力がした仕事は何 J か。

解答群

- (ア) 0 (イ) $mgl \sin \theta_P$ (ウ) $mgl \cos \theta_P$
 (エ) $mgl (1 - \sin \theta_P)$ (オ) $mgl (1 - \cos \theta_P)$

問 3. 点 P において糸が小球を引く力の大きさは何 N か。

解答群

- (ア) 0 (イ) $mg \sin \theta_P$ (ウ) $mg \cos \theta_P$
 (エ) $mg (1 - \sin \theta_P)$ (オ) $mg (1 - \cos \theta_P)$

問 4. $\cos \theta_P$ を l, g, v を用いて表せ。

解答群

- (ア) $\frac{v^2}{2lg}$ (イ) $1 - \frac{v^2}{2lg}$ (ウ) $1 + \frac{v^2}{2lg}$
 (エ) $\sqrt{\frac{v^2}{lg} \left(1 - \frac{v^2}{4lg}\right)}$ (オ) $\frac{v^2}{lg} \left(1 - \frac{v^2}{4lg}\right)$

問5. 角 θ_p が1に比べて十分小さいならば、小球の運動は単振り子とみなせる。この単振り子の周期は何 s か。 θ が十分小さいとき $\sin \theta \doteq \tan \theta \doteq \theta$, $\cos \theta \doteq 1$ の近似を必要があれば用いてもよい。

解答群

(ア) $\sqrt{\frac{g}{l}}$ (イ) $\sqrt{\frac{l}{g}}$ (ウ) $2\pi\sqrt{\frac{g}{l}}$ (エ) $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (オ) $2\pi v\sqrt{\frac{l}{g}}$

[2] 摩擦のない水平な床面上に、質量 2.0 kg の物体 A と質量 3.0 kg の物体 B を置いた。

図2のように、物体 A と物体 B が接した状態で、物体 A に水平右向きに大きさ F [N] の力を加え、物体 B に水平左向きに大きさ 4.0 N の力を加え続けたところ、物体 A, B は一体となって水平右向きに 0.4 m/s^2 の加速度で等加速度運動をした。

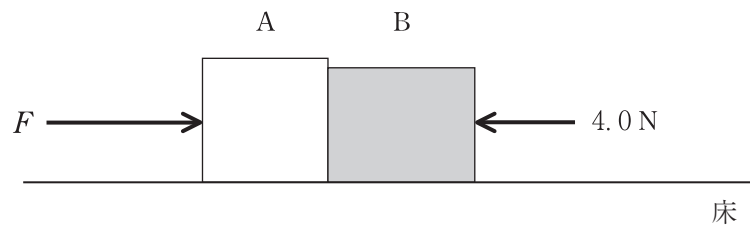


図2

問6. 物体 A に加えた力の大きさ F は何 N か。

解答群

(ア) 0.8 (イ) 1.2 (ウ) 4.8 (エ) 5.2 (オ) 6.0

問7. 物体 A が物体 B を押す力の大きさは何 N か。

解答群

(ア) 0.8 (イ) 1.2 (ウ) 4.8 (エ) 5.2 (オ) 6.0

- [3] 図3のように質量 m [kg] の小物体を、水平な床面から θ [rad] 傾いた粗い斜面の上に置いた。この斜面上で静止している小物体に、図3のように斜面に沿って上向きに大きさ F [N] の力を加え続け、 d [m] だけ移動させた。斜面と小物体との間の動摩擦係数を μ' として以下の問いに答えよ。

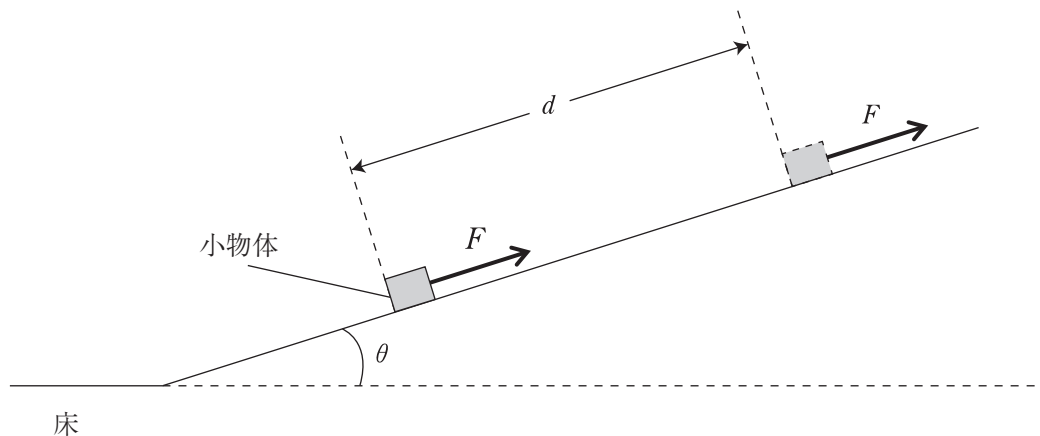


図3

- 問8. 小物体が静止していた位置から d [m] だけ移動したとき、大きさ F [N] の加えた力は小物体に対し何 J の仕事を行ったか。

解答群

- | | | |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| (ア) $F d$ | (イ) $F d \sin \theta$ | (ウ) $F d \cos \theta$ |
| (エ) $\frac{F d}{m}$ | (オ) $\frac{F d}{m} \sin \theta$ | (カ) $\frac{F d}{m} \cos \theta$ |

- 問9. 小物体が静止していた位置から d [m] だけ移動したとき、摩擦力は小物体に対し何 J の仕事を行ったか。

解答群

- | | | |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| (ア) $-\mu' m g$ | (イ) $-\mu' m g \sin \theta$ | (ウ) $-\mu' m g \cos \theta$ |
| (エ) $-\mu' m g d$ | (オ) $-\mu' m g d \sin \theta$ | (カ) $-\mu' m g d \cos \theta$ |

問10. 小物体が静止していた位置から d [m] だけ移動したとき、この小物体の速度の大きさは何 m/s か。

解答群

$$(ア) \sqrt{2d \left(\frac{F}{m} - g - \mu' g \right)}$$

$$(イ) \sqrt{2d \left(\frac{F}{m} + g + \mu' g \right)}$$

$$(ウ) \sqrt{2d \left(\frac{F}{m} - g - \mu' g \cos \theta \right)}$$

$$(エ) \sqrt{2d \left(\frac{F}{m} + g + \mu' g \cos \theta \right)}$$

$$(オ) \sqrt{2d \left(\frac{F}{m} - g \sin \theta - \mu' g \cos \theta \right)}$$

$$(カ) \sqrt{2d \left(\frac{F}{m} + g \sin \theta + \mu' g \cos \theta \right)}$$

- Ⅱ 次の文を読み、各問いに対する最も適当な答えを、それぞれの解答群から一つ選び、その記号を解答欄にマークせよ。ただし、抵抗以外の電気抵抗および導体棒の運動における摩擦や空気抵抗は無視できるものとする。(30点)

図1のように、磁束密度の大きさ B [T] の鉛直上向きの一様な磁界中に、水平に l [m] 離して固定した2本の平行な導線レール ab , cd に、長さ l [m]、質量 m [kg] の導体棒 PQ を導線レールに垂直に置いた。導体棒 PQ は電氣的に絶縁されたばね定数 k [N/m] のばねに水平に連結されており、ばねの他端は壁に固定されている。導体棒 PQ は2本の導線レールと電氣的な接触を保ちながらレール上をなめらかに動くものとする。

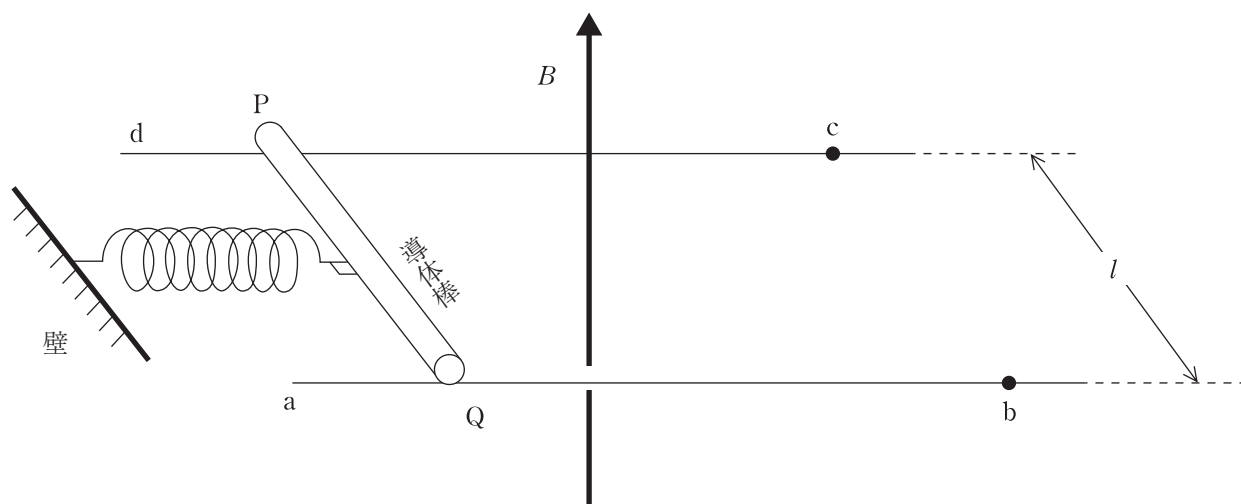


図1

- [1] 導体棒 PQ を移動させ、ばねを自然長の位置から A [m] 縮めて静かに手をはなした。その後、導体棒 PQ は単振動を行った。手をはなした時刻を $t = 0$ s、導体棒 PQ 中の自由電子の電気量を $-e$ [C] ($e > 0$) として、以下の問いに答えよ。

問1. 導体棒 PQ がばねの自然長の位置を図1中の左側から右側に通過するとき、導体棒 PQ 中の自由電子にはたらくローレンツ力の大きさは何 N か。

解答群

(ア) $BAl\sqrt{\frac{k}{m}}$ (イ) $BAl\sqrt{\frac{m}{k}}$ (ウ) $eBl\sqrt{\frac{k}{m}}$ (エ) $eAB\sqrt{\frac{k}{m}}$ (オ) $eAB\sqrt{\frac{m}{k}}$

問2. 問1のとき、自由電子にはたらくローレンツ力の向きを図2を参考に解答群の中から選べ。

解答群

- | | | |
|-----------|-----------|--------------------------------|
| (ア) 鉛直上向き | (イ) 水平右向き | (ウ) 導体棒の $P \rightarrow Q$ の向き |
| (エ) 鉛直下向き | (オ) 水平左向き | (カ) 導体棒の $Q \rightarrow P$ の向き |

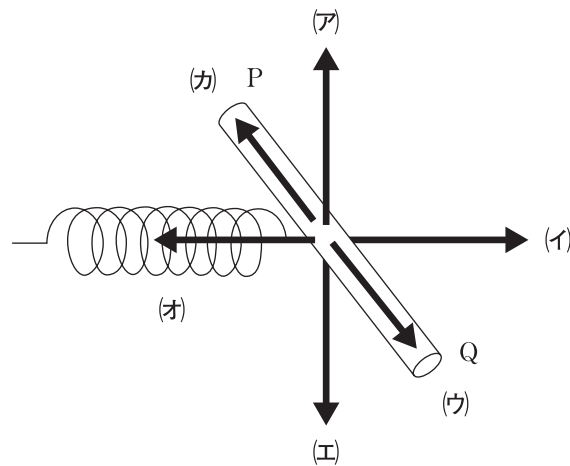


図2

問3. 問1のとき、PQ間の誘導起電力の大きさは何Vか。

解答群

- | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| (ア) $BAl\sqrt{\frac{k}{m}}$ | (イ) $BAl\sqrt{\frac{m}{k}}$ | (ウ) $eBl\sqrt{\frac{k}{m}}$ | (エ) $eAB\sqrt{\frac{k}{m}}$ | (オ) $eAB\sqrt{\frac{m}{k}}$ |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|

- [2] 図1の平行な導線レールの接続点 b, c に抵抗値 $R [\Omega]$ の抵抗をとりつけ回路を作った(図3)。導体棒 PQ を移動させ、ばねを自然長の位置から $A [\text{m}]$ 縮めて静かに手をはなした。手をはなした時刻を $t = 0 \text{ s}$ として、以下の問いに答えよ。ただし、回路を流れる電流が作る磁界は無視できるものとする。

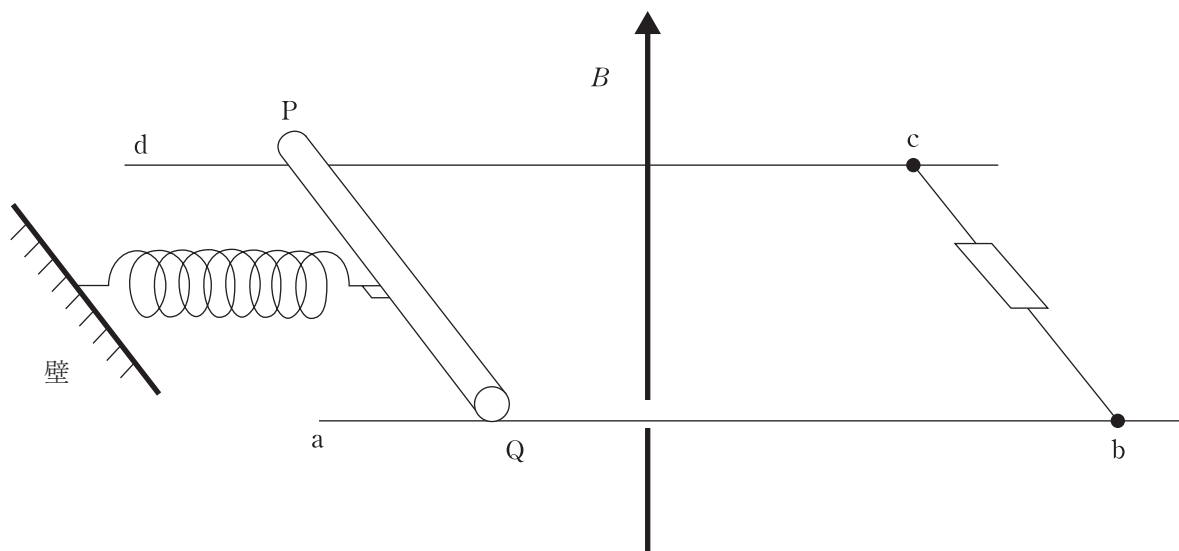


図3

問4. 導体棒 PQ がばねの自然長の位置を図3中の左側から右側に通過するとき、抵抗に流れる電流の向きについて正しいものを選び。

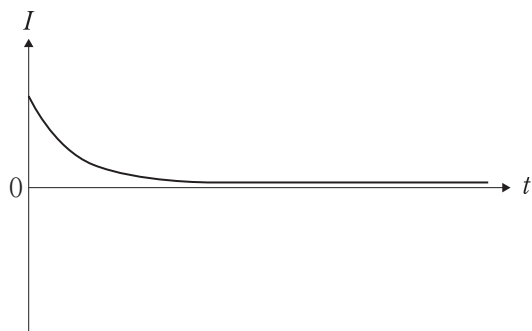
解答群

- (ア) 接続点 b から接続点 c の向きに電流が流れる。
- (イ) 接続点 c から接続点 b の向きに電流が流れる。
- (ウ) 電流は流れないので、向きはなし。

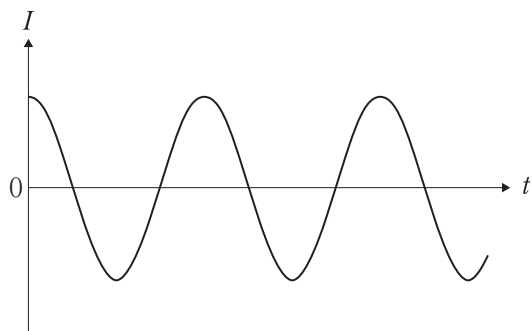
問5. 任意の時刻 t と抵抗に流れる電流 I の関係を表すグラフで適切なものを選び。ただし、電流は抵抗を接続点 b から接続点 c に流れる向きを正とする。

解答群

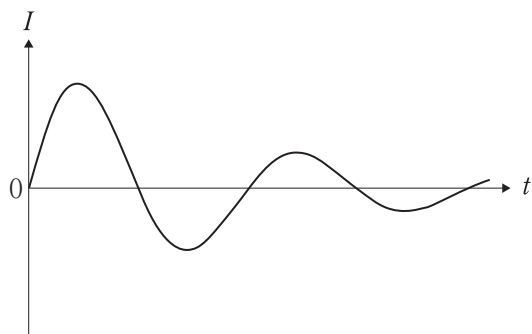
(ア)



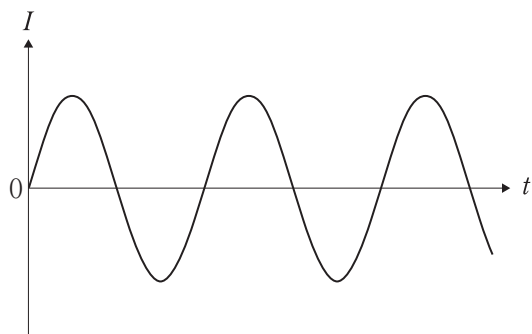
(イ)



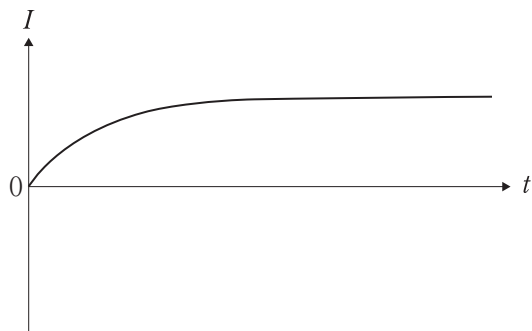
(ウ)



(エ)



(オ)



(カ)



問6. 導体棒 PQ は十分時間が経過すると静止した。 $t = 0 \text{ s}$ から静止するまでに抵抗で発生したジュール熱は何 J か。

解答群

(ア) $\frac{(BAL)^2 k}{mR}$ (イ) $BAlR\sqrt{\frac{k}{m}}$ (ウ) $\frac{1}{2}kA^2$ (エ) $BAl\sqrt{\frac{k}{m}}$ (オ) $\frac{(BAL)^2}{R}$

[3] 図1の平行な導線レールの接続点 b, c に C [F] のコンデンサーをとりつけ回路を作った(図4)。導体棒 PQ を移動させ、ばねを自然長から縮めて離れたところ、導体棒 PQ は振幅 x_0 [m]、周期 T [s] の単振動を行い、コンデンサーには周期 T [s] の振動電流が流れた。以下の問いに答えよ。ただし、回路を流れる電流が作る磁界は無視できるものとする。

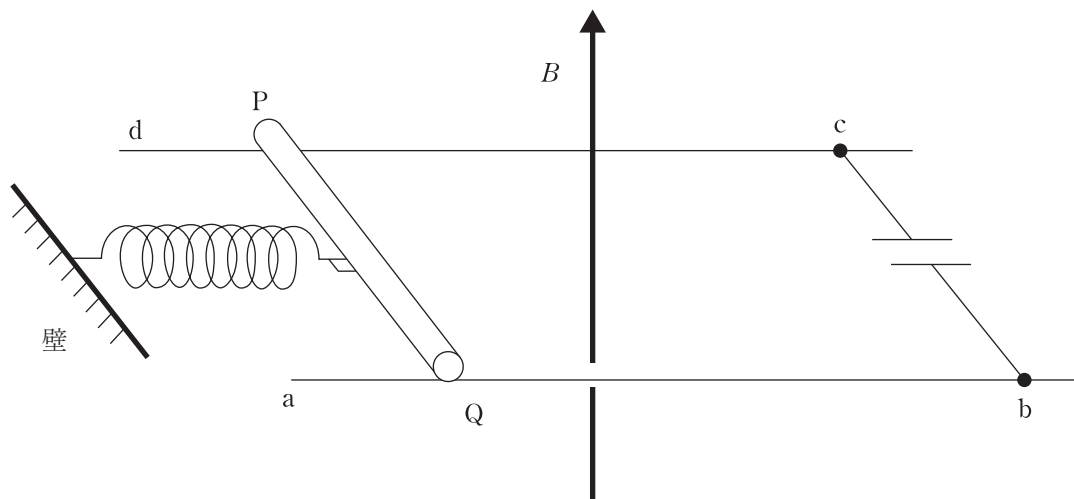


図4

問 7. バネが自然長から x_0 [m] 縮まった状態とバネが自然長となった状態において、ばね、導体棒 PQ とコンデンサーの間に成立するエネルギー保存則で正しいものを選べ。
 なお、ばねが自然長となったときの導体棒 PQ の速度の大きさを v_0 [m/s] とする。

解答群

$$\begin{array}{ll}
 (\text{ア}) \quad \frac{1}{2} kx_0^2 = \frac{1}{2} mv_0^2 + \frac{1}{2} CBlv_0 & (\text{イ}) \quad \frac{1}{2} kx_0^2 = \frac{1}{2} mv_0^2 + \frac{1}{2} C(Blv_0)^2 \\
 (\text{ウ}) \quad \frac{1}{2} kx_0^2 = \frac{1}{2} mv_0^2 + \frac{1}{2} CBlx_0 & (\text{エ}) \quad \frac{1}{2} kx_0^2 = \frac{1}{2} mv_0^2 + \frac{1}{2} C(Blx_0)^2 \\
 (\text{オ}) \quad \frac{1}{2} kx_0^2 = \frac{1}{2} C(Blx_0)^2 + \frac{1}{2} C(Blv_0)^2 &
 \end{array}$$

問 8. PQ 間の誘導起電力の大きさの最大値は何 V か。

解答群

$$\begin{array}{lll}
 (\text{ア}) \quad \frac{k}{C} x_0^2 & (\text{イ}) \quad x_0 \sqrt{\frac{k}{C}} & (\text{ウ}) \quad Blx_0 \sqrt{\frac{k}{m}} \\
 (\text{エ}) \quad Blx_0 \sqrt{\frac{k}{m + CBl}} & (\text{オ}) \quad Blx_0 \sqrt{\frac{k}{m + C(Bl)^2}} &
 \end{array}$$

問 9. コンデンサーに流れる電流 I の大きさの最大値は何 A か。

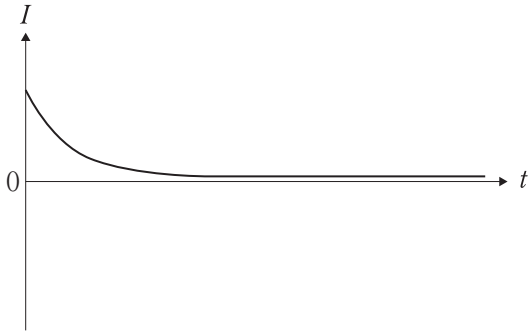
解答群

$$\begin{array}{lll}
 (\text{ア}) \quad \frac{2\pi CBlx_0}{T} & (\text{イ}) \quad \frac{2\pi CBlx_0}{T} \sqrt{\frac{k}{m + CBl}} & (\text{ウ}) \quad \frac{2\pi CBlx_0}{T} \sqrt{\frac{k}{m}} \\
 (\text{エ}) \quad \frac{2\pi CBlx_0}{T} \sqrt{\frac{k}{m + C(Bl)^2}} & (\text{オ}) \quad \frac{TCBlx_0}{2\pi} & (\text{カ}) \quad \frac{TCBlx_0}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m + CBl}} \\
 (\text{キ}) \quad \frac{TCBlx_0}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} & (\text{ク}) \quad \frac{TCBlx_0}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m + C(Bl)^2}} &
 \end{array}$$

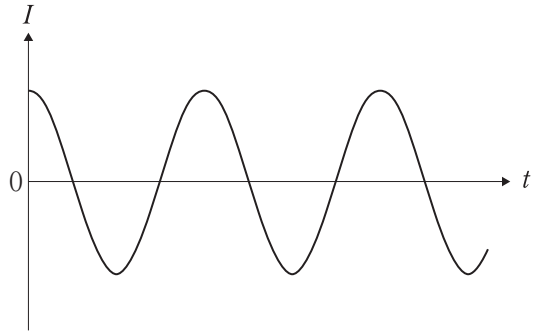
問10. 任意の時刻 t とコンデンサーに流れる電流 I の関係を表すグラフで適切なものを選び。ただし、ばねが自然長の位置から x_0 [m] 縮まったある時刻を $t = 0$ s とし、電流はコンデンサーを接続点 b から接続点 c に流れる向きを正とする。

解答群

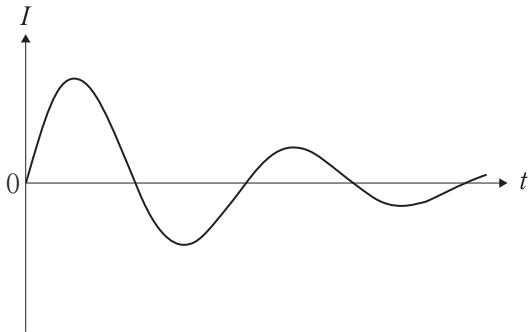
(ア)



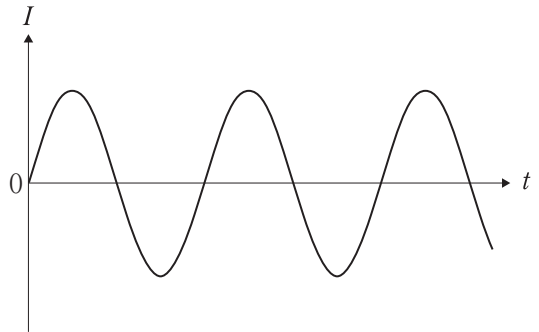
(イ)



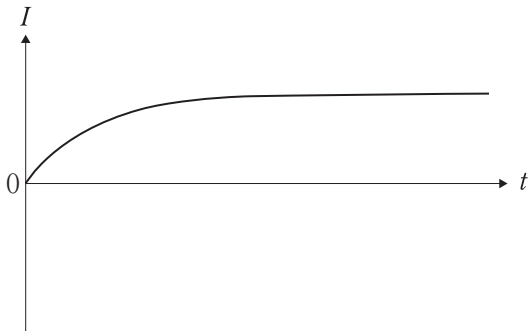
(ウ)



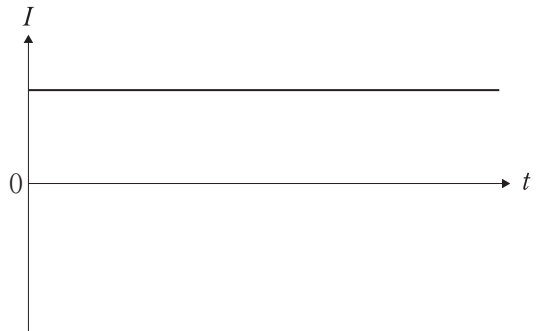
(エ)



(オ)



(カ)



- Ⅲ 次の文を読み、各問いに対する最も適当な答えを、それぞれの解答群から一つ選び、その記号を解答欄にマークせよ。(30点)

大気圧が P_0 [Pa]、大気温度と水の温度が T_0 [K] とする。図 1 のように、高さ H [m] で断面積 S [m²] の円筒形のコップを下に向けて、開口部を水面に接した状態で、コップ内に、圧力 P_0 [Pa] で温度 T_0 [K] の n [mol] の単原子分子理想気体を封入した。コップは断熱材でできており熱の出入りはコップの開口部からのみとする。気体が水に溶け込んだり水が蒸発したりすることや、水面の表面張力は無視し、以下の問いに答えよ。なお、水の密度を ρ [kg/m³]、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

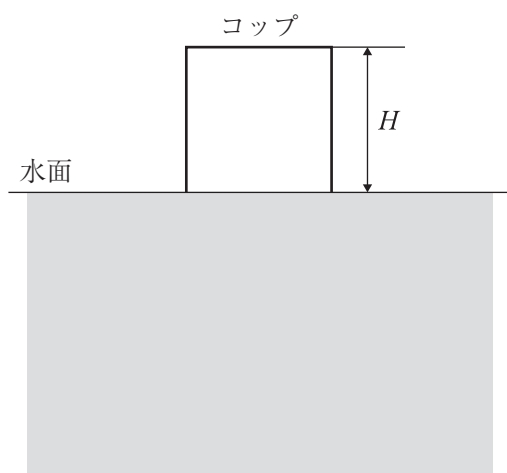


図 1

- [1] コップ内の気体がもれないように静かにコップを水中に沈め、図 2 のように、コップ内の水面の深さが d [m] となった状態で固定したところ、コップ内の水面はコップの開口部から h [m] だけ高い位置となった。気体の温度は水の温度と等しく T_0 [K] であった。

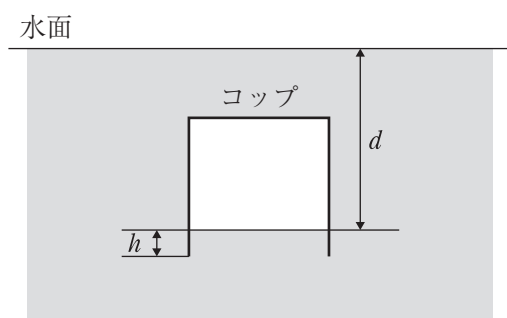


図 2

問 1. 水深 d [m] での水圧は, 何 Pa か。

解答群

(ア) $P_0 + \rho d$ (イ) $P_0 + gd$ (ウ) $P_0 + \rho g$ (エ) $P_0 + \rho g d$ (オ) $P_0 + \rho g h$

問 2. 図 2 におけるコップ内の気体の体積は, 何 m^3 か。

解答群

(ア) Sd (イ) SH (ウ) Sh (エ) $S(H - h)$ (オ) $S(d - h)$

問 3. コップ内の気体の内部エネルギーは, 何 J か。

解答群

(ア) $\frac{1}{2} P_0 SH$ (イ) $\frac{3}{2} P_0 SH$ (ウ) $\frac{3}{2} P_0 S(H - h)$
(エ) $\frac{5}{2} P_0 SH$ (オ) $\frac{5}{2} P_0 S(H - h)$

問 4. h は, 何 m か。

解答群

(ア) $\frac{\rho g d}{P_0 + \rho g d}$ (イ) $\frac{\rho g H}{P_0 + \rho g d}$ (ウ) $\frac{\rho g d H}{P_0 + \rho g d}$
(エ) $\frac{\rho g d H}{P_0 + \rho g H}$ (オ) $\frac{\rho g d}{P_0 + \rho g H}$

[2] 次に、図3のようにコップ内の水面の深さを d [m] に保ちながら、水の温度を T_0 [K] からゆっくりと上昇させた。問1で求めた水深 d [m] での水圧を P [Pa] として、以下の問いに答えよ。

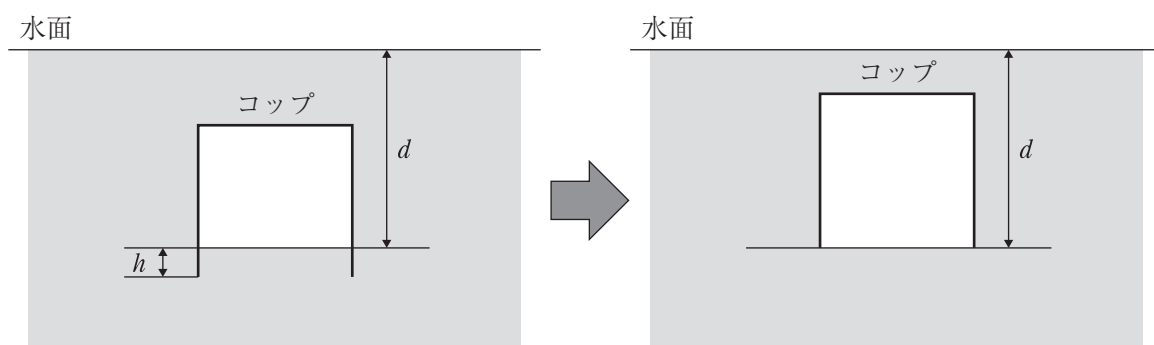


図3

問5. 温度が T_1 [K] のとき、図3の右図のように、 $h = 0$ となった。温度 T_1 は、何 K か。

解答群

- (ア) T_0 (イ) $\frac{P}{P_0} T_0$ (ウ) $\frac{P_0}{P} T_0$ (エ) $\frac{d}{H} T_0$ (オ) $\frac{H}{d} T_0$

問6. 問5の位置でコップを固定し、さらに温度をゆっくりと上昇させると、温度が T_2 [K] のときコップから $0.1n$ [mol] の気体が水中に出た。温度 T_2 は、何 K か。

解答群

- (ア) $\frac{9}{10} T_0$ (イ) T_0 (ウ) $\frac{10}{9} T_0$ (エ) $\frac{9}{10} \frac{P}{P_0} T_0$ (オ) $\frac{10}{9} \frac{P}{P_0} T_0$

[3] 問6の状態におけるコップ内の気体 $0.9n$ [mol] を保持するように水の温度をゆっくり変化させながら，コップを静かに持ち上げ，コップの開口部の面が図1のように水面と接触させた状態にした。このときの水とコップ内の気体の温度は T_3 [K] であった。

問7. 温度 T_3 は，何 K か。

解答群

(ア) $\frac{9}{10}T_0$ (イ) T_0 (ウ) $\frac{10}{9}T_0$ (エ) $\frac{9}{10}\frac{P}{P_0}T_0$ (オ) $\frac{10}{9}\frac{P}{P_0}T_0$

問8. コップ内の気体の内部エネルギーは，何 J か。

解答群

(ア) $\frac{3}{2}P_0SH$ (イ) $2P_0SH$ (ウ) $\frac{5}{2}P_0SH$ (エ) $3P_0SH$ (オ) $\frac{7}{2}P_0SH$