物　　理

1 次の問いに対して，最も適切なものを選択肢の中から一つ選びなさい。なお，選ぶべき選択肢の数に指定のあるものについては指示に従いなさい。

I 長さ l の糸に質量 m のおもりをつけた振り子について，各問いに答えなさい。ただし，重力加速度の大きさを g とし，おもりの大きさと糸の質量および空気の抵抗は無視できるものとする。

問 1 図1のように，天井の1点から糸でおもりをつるし，これを鉛直下向きから角 θ だけ傾け，おもりを水平面内で等速円運動をさせた。

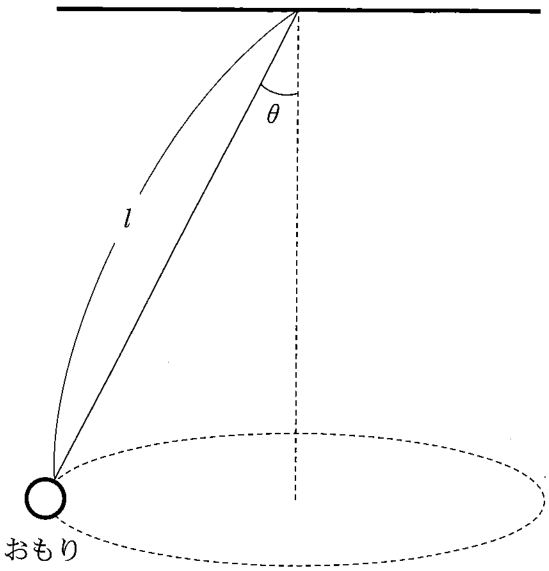


図1

（1） 糸の張力の大きさはいくらか。 $\boxed{ア}$

$\boxed{ア}$の選択肢

① mg ② $mg\sin\theta$ ③ $mg\cos\theta$ ④ $mg\tan\theta$

⑤ $\dfrac{mg}{\sin\theta}$ ⑥ $\dfrac{mg}{\cos\theta}$ ⑦ $\dfrac{mg}{\tan\theta}$

（2） 回転の角速度の大きさはいくらか。 $\boxed{イ}$

$\boxed{イ}$の選択肢

① $\dfrac{g}{l}$ ② $\sqrt{\dfrac{g}{l}}$ ③ $\sqrt{\dfrac{g\sin\theta}{l}}$

④ $\sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{l}}$ ⑤ $\sqrt{\dfrac{g\tan\theta}{l}}$ ⑥ $\sqrt{\dfrac{g}{l\sin\theta}}$

⑦ $\sqrt{\dfrac{g}{l\cos\theta}}$ ⑧ $\sqrt{\dfrac{g}{l\tan\theta}}$

問 2　図 2 のように，摩擦の無視できる側面をもつ円錐を，底面が水平になるように固定した。頂点 O から下した垂線が底面と交わる点を A，底面の円周上の 1 点を B としたとき，∠AOB を問 1 と同じ角度 θ とする。頂点 O から糸でおもりをつるし，糸がたるまないように，おもりを円錐側面上で等速円運動させた。おもりの回転の角速度の大きさを ω とする。

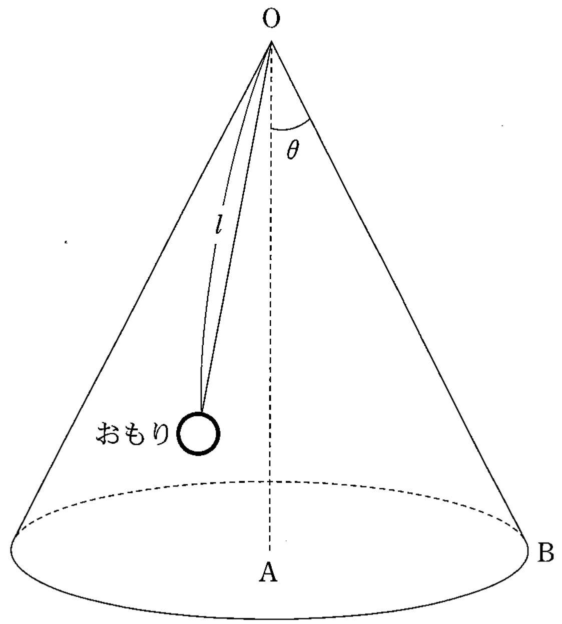


図 2

（1）　おもりにはたらく垂直抗力の大きさはいくらか。　$\boxed{\text{ウ}}$

（2）　糸の張力の大きさはいくらか。　$\boxed{\text{エ}}$

$\boxed{ウ}$, $\boxed{エ}$ の選択肢　(同じものを繰り返し選択してもよい)

① $mg\sin\theta + ml\omega^2\sin^2\theta$　② $mg\sin\theta + ml\omega^2\sin\theta\cos\theta$

③ $mg\sin\theta + ml\omega^2\cos^2\theta$　④ $mg\sin\theta - ml\omega^2\sin^2\theta$

⑤ $mg\sin\theta - ml\omega^2\sin\theta\cos\theta$　⑥ $mg\sin\theta - ml\omega^2\cos^2\theta$

⑦ $mg\cos\theta + ml\omega^2\sin^2\theta$　⑧ $mg\cos\theta + ml\omega^2\sin\theta\cos\theta$

⑨ $mg\cos\theta + ml\omega^2\cos^2\theta$　⓪ $mg\cos\theta - ml\omega^2\sin^2\theta$

⊕ $mg\cos\theta - ml\omega^2\sin\theta\cos\theta$　⊖ $mg\cos\theta - ml\omega^2\cos^2\theta$

(3) 角速度の大きさ ω の範囲を求めなさい。　$\boxed{オ}$

$\boxed{オ}$ の選択肢

① $0 < \omega \leqq \sqrt{\dfrac{g\sin\theta}{l}}$　② $0 < \omega \leqq \sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{l}}$

③ $0 < \omega \leqq \sqrt{\dfrac{g\tan\theta}{l}}$　④ $0 < \omega \leqq \sqrt{\dfrac{g}{l\sin\theta}}$

⑤ $0 < \omega \leqq \sqrt{\dfrac{g}{l\cos\theta}}$　⑥ $0 < \omega \leqq \sqrt{\dfrac{g}{l\tan\theta}}$

⑦ $\omega \geqq \sqrt{\dfrac{g\sin\theta}{l}}$　⑧ $\omega \geqq \sqrt{\dfrac{g\cos\theta}{l}}$

⑨ $\omega \geqq \sqrt{\dfrac{g\tan\theta}{l}}$　⓪ $\omega \geqq \sqrt{\dfrac{g}{l\sin\theta}}$

⊕ $\omega \geqq \sqrt{\dfrac{g}{l\cos\theta}}$　⊖ $\omega \geqq \sqrt{\dfrac{g}{l\tan\theta}}$

問 3 問 1 と問 2 の振り子の運動について正しいものを選択肢から選びなさい。　$\boxed{カ}$

$\boxed{カ}$ の選択肢

① 問 2 のおもりにはたらく遠心力の大きさは問 1 の遠心力の大きさより大きい。

② 問 2 のおもりにはたらく向心力の大きさは問 1 の向心力の大きさ以下である。

③ 問 2 の糸にはたらく張力の大きさは問 1 の張力の大きさより大きい。

④ 問 2 のおもりの円運動の周期は問 1 の周期より短い。

Ⅱ　図3のように，x軸，y軸，z軸を定め，一辺の長さL，体積Vの立方体の容器を設置する。この容器内に，質量mの単原子分子をN個，理想気体として加えた。分子の速度を$\vec{v}$，x軸，y軸，z軸方向における$\vec{v}$の各速度成分をそれぞれv_x，v_y，v_zとし，各分子は，他の分子と衝突せず容器の壁に衝突するまで等速直線運動を続ける。分子と容器の壁の衝突は弾性衝突とし，また，分子同士はお互いに力を及ぼし合わず，重力も作用しないものとする。

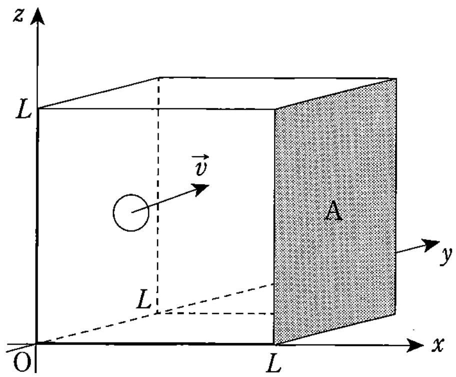


図3

問1　1個の単原子分子の運動について考える。

（1）　x軸に垂直な壁Aに衝突するとき，分子が壁Aから受ける力積はいくらか。　$\boxed{キ}$

$\boxed{キ}$**の選択肢**

① $-2mv_x$　② $-mv_x$　③ $-\dfrac{mv_x}{2}$　④ $\dfrac{mv_x^2}{2}$

⑤ $2mv_x$　⑥ mv_x　⑦ $\dfrac{mv_x}{2}$　⑧ mv_x^2

（2）　この単原子分子が単位時間あたりに壁Aにあたえる力積はいくらか。　$\boxed{ク}$

$\boxed{ク}$**の選択肢**

① $-\dfrac{2mv_x^2}{L}$　② $-\dfrac{mv_x^2}{L}$　③ $-\dfrac{mv_x^2}{2L}$　④ $-\dfrac{mv_x^2}{4L}$

⑤ $\dfrac{2mv_x^2}{L}$　⑥ $\dfrac{mv_x^2}{L}$　⑦ $\dfrac{mv_x^2}{2L}$　⑧ $\dfrac{mv_x^2}{4L}$

問 2　容器内の単原子分子全体について考える。分子の速度の 2 乗を平均した値を $\overline{v^2}$，v_x，v_y，v_z の 2 乗を平均した値をそれぞれ $\overline{v_x^2}$，$\overline{v_y^2}$，$\overline{v_z^2}$ とすると，$\overline{v_x^2}+\overline{v_y^2}+\overline{v_z^2}=\overline{v^2}$ と，$\overline{v_x^2}=\overline{v_y^2}=\overline{v_z^2}=\dfrac{\overline{v^2}}{3}$ が成り立つ。このときの気体の温度は T であり，気体定数を R，アボガドロ定数を N_A とする。

（1）　容器内の圧力はいくらか。　$\boxed{ケ}$

$\boxed{ケ}$ **の選択肢**

① $\dfrac{Nm\overline{v^2}}{V}$　② $\dfrac{Nm\overline{v^2}}{2V}$　③ $\dfrac{3Nm\overline{v^2}}{2V}$　④ $\dfrac{5Nm\overline{v^2}}{2V}$

⑤ $\dfrac{Nm\overline{v^2}}{3V}$　⑥ $\dfrac{2Nm\overline{v^2}}{3V}$　⑦ $\dfrac{Nm\overline{v^2}}{5V}$　⑧ $\dfrac{2Nm\overline{v^2}}{5V}$

（2）　容器内の単原子分子の運動エネルギーの平均値はいくらか。　$\boxed{コ}$

$\boxed{コ}$ **の選択肢**

① $\dfrac{RT}{5N_A}$　② $\dfrac{RT}{3N_A}$　③ $\dfrac{RT}{2N_A}$　④ $\dfrac{3RT}{4N_A}$

⑤ $\dfrac{RT}{N_A}$　⑥ $\dfrac{5RT}{4N_A}$　⑦ $\dfrac{3RT}{2N_A}$　⑧ $\dfrac{5RT}{2N_A}$

問 3　問 2 の状態から，気体の温度のみを 2 倍にすると $\sqrt{\overline{v^2}}$ の値はどうなるか。　$\boxed{サ}$

問 4　問 2 の状態から，単原子分子の個数のみを 2 倍にすると $\sqrt{\overline{v^2}}$ の値はどうなるか。　$\boxed{シ}$

$\boxed{サ}$，$\boxed{シ}$ **の選択肢**　**（同じものを繰り返し選択してもよい）**

① $\sqrt{\dfrac{1}{2}}$ 倍になる　② $\sqrt{\dfrac{3}{2}}$ 倍になる　③ $\sqrt{2}$ 倍になる

④ $\dfrac{1}{2}$ 倍になる　⑤ $\dfrac{3}{2}$ 倍になる　⑥ 2 倍になる

⑦ 4 倍になる　⑧ 変化しない

Ⅲ　なめらかに動くピストンがついた容器に，単原子分子の理想気体を閉じ込めたところ，気体の圧力 p と体積 V がそれぞれ p_1，V_1 となった。この状態を状態Aとし，図4のようにA→B→C→D→Aを1サイクルとする熱機関をつくった。ただし，すべての区間は直線に沿っての状態変化である。

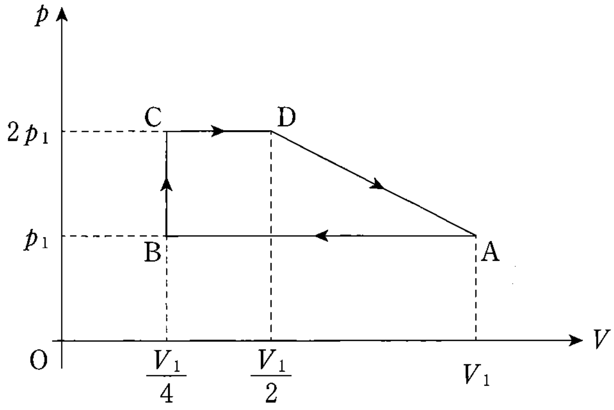


図4

問 1　状態Cから状態Dの変化において，ピストン内の気体が外部にする仕事はいくらか。　$\boxed{ス}$

問 2　状態Cから状態Dの変化において，ピストン内の気体が外部から吸収する熱量はいくらか。　$\boxed{セ}$

問 3　状態Dから状態Aの変化において，ピストン内の気体が外部にする仕事はいくらか。　$\boxed{ソ}$

問 4　1サイクルの間に，この熱機関が外部にする正味の仕事はいくらか。　$\boxed{タ}$

問 5　1サイクルの間に，気体が外部の高熱源から吸収する熱量 Q_{in}，気体が外部に放出する熱量 Q_{out} はそれぞれいくらか。

Q_{in} : $\boxed{\text{チ}}$　Q_{out} : $\boxed{\text{ツ}}$

$\boxed{\text{ス}}$ ～ $\boxed{\text{ツ}}$ **の選択肢　（同じものを繰り返し選択してもよい）**

① $\dfrac{p_1V_1}{4}$　② $\dfrac{3p_1V_1}{8}$　③ $\dfrac{p_1V_1}{2}$　④ $\dfrac{3p_1V_1}{4}$

⑤ p_1V_1　⑥ $\dfrac{9p_1V_1}{8}$　⑦ $\dfrac{5p_1V_1}{4}$　⑧ $\dfrac{3p_1V_1}{2}$

⑨ $\dfrac{13p_1V_1}{8}$　⓪ $\dfrac{15p_1V_1}{8}$　⊕ $\dfrac{19p_1V_1}{8}$　⊖ $\dfrac{21p_1V_1}{8}$

問 6　この熱機関の熱効率はいくらか。　$\boxed{\text{テ}}$

$\boxed{\text{テ}}$ **の選択肢**

① $\dfrac{2}{15}$　② $\dfrac{2}{13}$　③ $\dfrac{4}{19}$　④ $\dfrac{4}{15}$　⑤ $\dfrac{6}{19}$

⑥ $\dfrac{2}{5}$　⑦ $\dfrac{10}{19}$　⑧ $\dfrac{13}{21}$　⑨ $\dfrac{2}{3}$　⓪ $\dfrac{13}{15}$

Ⅳ

問 1 水面上の座標(0, $-L$)の点に設置された波源から，周期 T，波長 λ の正弦波が同心円状に伝わっている。波源での振動が始まった時刻を $t=0$ として，以下の問いに答えなさい。

(1) 原点で振動が始まった時刻を求めなさい。 $\boxed{ト}$

$\boxed{ト}$ **の選択肢**

① T ② $2\pi T$ ③ $\dfrac{T}{2\pi}$ ④ $\dfrac{LT}{\lambda}$ ⑤ $\dfrac{\lambda T}{L}$

⑥ $2\pi\dfrac{LT}{\lambda}$ ⑦ $2\pi\dfrac{\lambda T}{L}$ ⑧ $\dfrac{LT}{2\pi\lambda}$ ⑨ $\dfrac{\lambda T}{2\pi L}$

(2) 時刻 t における，x 軸上での波の位相を求めなさい。 $\boxed{ナ}$

$\boxed{ナ}$ **の選択肢**

① $2\pi\dfrac{t}{T}-\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}$ ② $2\pi\dfrac{t}{T}-\dfrac{L}{\lambda}\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}$

③ $2\pi\dfrac{t}{T}-\dfrac{\lambda}{L}\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}$ ④ $2\pi\left(\dfrac{t}{T}-\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}\right)$

⑤ $2\pi\left(\dfrac{t}{T}-\dfrac{L}{\lambda}\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}\right)$ ⑥ $2\pi\left(\dfrac{t}{T}-\dfrac{\lambda}{L}\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}\right)$

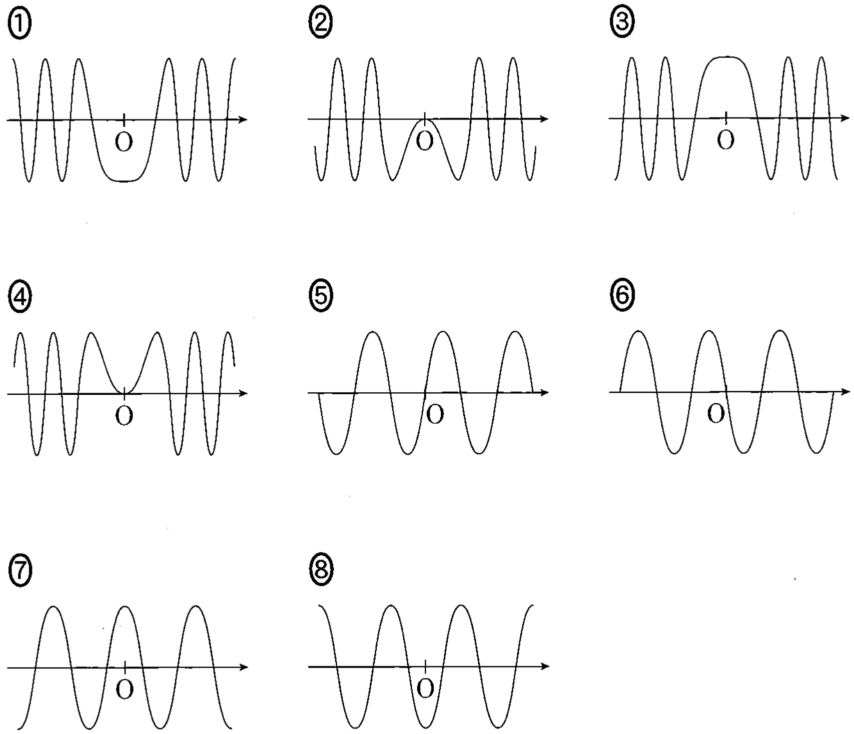
⑦ $2\pi\left(\dfrac{t}{T}-\dfrac{2\pi}{L}\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}\right)$ ⑧ $2\pi\left(\dfrac{t}{T}-\dfrac{2\pi}{\lambda}\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}\right)$

⑨ $2\pi\left(\dfrac{t}{T}-\dfrac{2\pi\lambda}{L}\sqrt{1+\dfrac{x^2}{L^2}}\right)$

(3) 原点に波が到達してからじゅうぶん時間が経ったある時刻，原点での波の位相は 2π の整数倍だった。このときの原点付近の x 軸上および y 軸上の変位の様子として最も適切な波形を選びなさい。

x 軸上：$\boxed{ニ}$　y 軸上：$\boxed{ヌ}$

$\boxed{ニ}$，$\boxed{ヌ}$ の選択肢　（同じものを繰り返し選択してもよい）



問 2　水面上に波源 1 と波源 2 を設置し，時刻 $t = 0$ に二つの波源から同位相で振幅 1，周期 T，波長 λ の正弦波を発生させ始めた。波源 $i(i = 1,\ 2)$ からの距離が r_i となる点における，両波源からの波が到達した後の振動について以下の問いに答えなさい。

（1）　波の減衰が無視できるとき，時刻 t における二つの波源からの波の合成波を表す式を求めなさい。

ただし，$\sin A \pm \sin B = 2\sin\dfrac{A \pm B}{2}\cos\dfrac{A \mp B}{2}$，

$\cos A + \cos B = 2\cos\dfrac{A + B}{2}\cos\dfrac{A - B}{2}$，

$\cos A - \cos B = -2\sin\dfrac{A + B}{2}\sin\dfrac{A - B}{2}$ を用いてよい。　$\boxed{ネ}$

$\boxed{ネ}$ **の選択肢**

① $2\sin\left[2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{r_1 + r_2}{\lambda}\right)\right]\cos\left[\pi\dfrac{r_1 - r_2}{\lambda}\right]$

② $2\cos\left[2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{r_1 + r_2}{\lambda}\right)\right]\sin\left[\pi\dfrac{r_1 - r_2}{\lambda}\right]$

③ $2\sin\left[2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{r_1 + r_2}{\lambda}\right)\right]\sin\left[\pi\dfrac{r_1 - r_2}{\lambda}\right]$

④ $2\cos\left[2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{r_1 + r_2}{\lambda}\right)\right]\cos\left[\pi\dfrac{r_1 - r_2}{\lambda}\right]$

⑤ $2\sin\left[2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{r_1 + r_2}{2\lambda}\right)\right]\cos\left[\pi\dfrac{r_1 - r_2}{\lambda}\right]$

⑥ $2\cos\left[2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{r_1 + r_2}{2\lambda}\right)\right]\sin\left[\pi\dfrac{r_1 - r_2}{\lambda}\right]$

⑦ $2\sin\left[2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{r_1 + r_2}{2\lambda}\right)\right]\sin\left[\pi\dfrac{r_1 - r_2}{\lambda}\right]$

⑧ $2\cos\left[2\pi\left(\dfrac{t}{T} - \dfrac{r_1 + r_2}{2\lambda}\right)\right]\cos\left[\pi\dfrac{r_1 - r_2}{\lambda}\right]$

(2) 常に変位が0となるのはどのような点か。ただし，選択肢中のnを任意の整数とする。 $\boxed{ノ}$

$\boxed{ノ}$ **の選択肢**

① $\dfrac{r_1 + r_2}{2} = n\lambda$ となる点

② $r_1 - r_2 = n\lambda$ となる点

③ $\dfrac{r_1 + r_2}{2} = \left(n + \dfrac{1}{2}\right)\lambda$ となる点

④ $r_1 - r_2 = \left(n + \dfrac{1}{2}\right)\lambda$ となる点

V　図5のように，長さLの導体棒Xの中心Oに導体棒Yを垂直につなげ，Yの下端P_0から抵抗値Rの抵抗R_1，R_2をそれぞれXの両端P_1，P_2に接続させて回路を構成する。さらに，Yの中心より上の空間に磁束密度Bの一様な磁場をYに平行かつ鉛直下向きに発生させる。その後，Yを回転軸としてXを一定の大きさωの角速度で回転させた。ただし，R_1とR_2以外の電気抵抗は無視できるものとする。

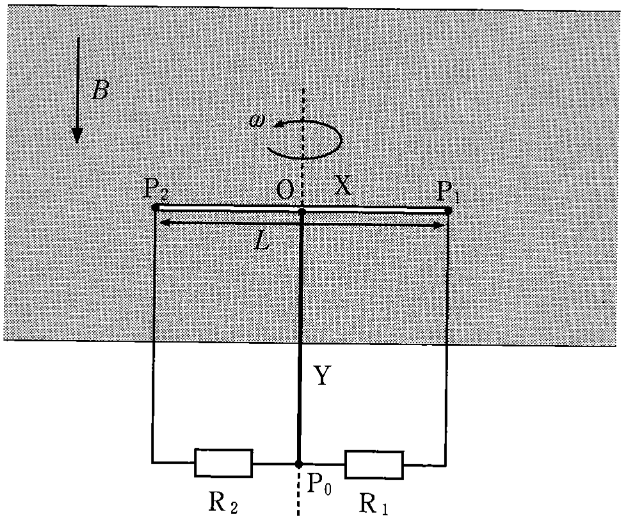


図5

問 1　OP_1間で発生する起電力の大きさはいくらか。　ハ

ハ の選択肢

① ωBL^2　② $\dfrac{\omega BL^2}{2}$　③ $\dfrac{\omega BL^2}{4}$　④ $\dfrac{\omega BL^2}{8}$

⑤ $\pi\omega BL^2$　⑥ $\dfrac{\pi\omega BL^2}{4}$　⑦ ωBL　⑧ $\dfrac{\omega BL}{2}$

問 2　導体棒 Y 上のOP_0間を流れる電流の大きさはいくらか。　$\boxed{\text{ヒ}}$

$\boxed{\text{ヒ}}$**の選択肢**

① $\dfrac{2\,\omega BL^2}{R}$	② $\dfrac{\omega BL^2}{R}$	③ $\dfrac{\omega BL^2}{2\,R}$	④ $\dfrac{\omega BL^2}{4\,R}$
⑤ $\dfrac{\omega BL^2}{8\,R}$	⑥ $\dfrac{2\,\pi\omega BL^2}{R}$	⑦ $\dfrac{\pi\omega BL^2}{R}$	⑧ $\dfrac{\pi\omega BL^2}{2\,R}$
⑨ $\dfrac{\pi\omega BL^2}{4\,R}$	⓪ $\dfrac{2\,\omega BL}{R}$	⊕ $\dfrac{\omega BL}{R}$	⊖ $\dfrac{\omega BL}{2\,R}$

Ⅵ　次の反応は，陽子 $^1_1$H と電子 e^- から，ヘリウム原子核 $^4_2$He と電子ニュートリノ ν_e が生成されることを表している。

$$4\,^1_1\mathrm{H} + \boxed{フ}\,e^- \longrightarrow {}^4_2\mathrm{He} + 2\,\nu_e$$

次の問いに答えなさい。ただし，$^1_1$H，$^4_2$He および中性子の質量をそれぞれ 1.0078 u，4.0026 u，1.0087 u，真空中の光の速さを 3.00×10^8 m/s，電気素量を 1.60×10^{-19} C，$1\,\mathrm{u} = 1.66 \times 10^{-27}$ kg とする。

問 1　$\boxed{フ}$ に当てはまる数字を選びなさい。

$\boxed{フ}$ の選択肢

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5　⑥ 0

問 2　この反応は何か。　$\boxed{ヘ}$

$\boxed{ヘ}$ の選択肢

① α 崩壊　② 核分裂反応　③ ドップラー効果
④ 核融合反応　⑤ 光電効果　⑥ 誘電分極

問 3　質量 1 u は何 eV のエネルギーに相当するか。最も適切なものを選びなさい。　$\boxed{ホ}$

問 4　この反応で 1 回あたりに放出されるエネルギーとして，最も適切なものを選びなさい。ただし，e^- と ν_e の質量を無視できるものとする。

$\boxed{マ}$

問 5 ${}^{4}_{2}$Heの1核子当たりの結合エネルギーとして，最も適切なものを選びなさい。 $\boxed{ミ}$

$\boxed{ホ}$ ～ $\boxed{ミ}$ **の選択肢　（同じものを繰り返し選択してもよい）**

① 2.39×10^{-29} eV
② 1.66×10^{-27} eV
③ 1.60×10^{-19} eV
④ 0.163 MeV
⑤ 0.511 MeV
⑥ 0.931 MeV
⑦ 1.63 MeV
⑧ 6.65 MeV
⑨ 7.08 MeV
⓪ 26.6 MeV
⊕ 28.3 MeV
⊖ 931 MeV

問 6 電子ニュートリノはレプトンに分類される。次の粒子の中でレプトンはどれか。ただし，選択肢にレプトンが複数ある場合は，全てマークしなさい。 $\boxed{ム}$

$\boxed{ム}$ **の選択肢**

① パイ中間子
② クォーク
③ タウ粒子
④ 陽子
⑤ 光子
⑥ 中性子
⑦ ミュー粒子
⑧ グルーオン
⑨ ミューニュートリノ