平成30年度　　〔試験時間　80分〕

E 3　物　理

この冊子は，物理の問題で1ページより23ページまであります。

〔注　意〕

(1) 試験開始の指示があるまで，この冊子を開いてはいけません。

(2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら，解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し，さらに受験番号をマークしてください。

(3) 解答は，所定の解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。

(4) 解答用マークシートについて

① 解答用マークシートは，絶対に折り曲げてはいけません。

② マークには黒鉛筆（ＨＢまたはＢ）を使用してください。
指定の黒鉛筆以外でマークした場合，採点できないことがあります。

③ 誤ってマークした場合は，消しゴムで丁寧に消し，消しくずを完全に取り除いたうえ，新たにマークしてください。

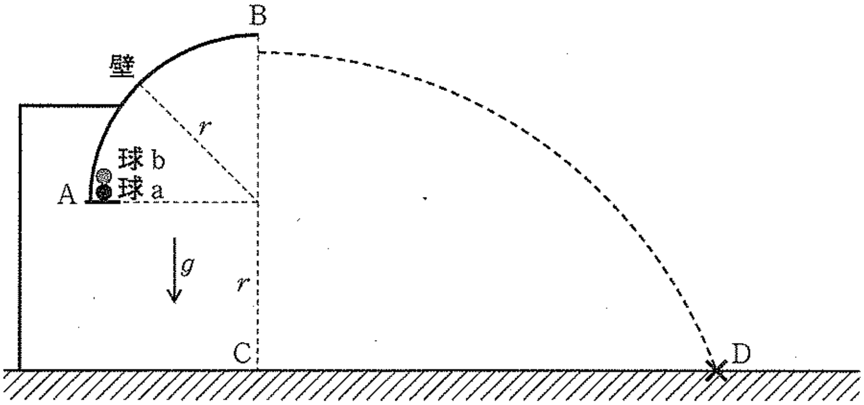
④ 解答欄のマークは，横１行について１箇所に限ります。
２箇所以上マークすると採点されません。
あいまいなマークは無効となるので，はっきりマークしてください。

⑤ 解答用マークシートに記載されている解答上の注意事項を，必ず読んでから解答してください。

(5) 試験開始の指示があったら，初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁，印刷不鮮明等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

(6) 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

1 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答を**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。必要なら，同一番号を繰り返し用いてよい。 (25 点)



図

図に示すように，水平な床から r〔m〕上方に中心を持つ，半径 r〔m〕で中心角が直角の円弧型の壁が固定されている。壁の最低点を点 A，最高点を点 B とすると，点 A より r〔m〕鉛直下方，点 B より $2r$〔m〕鉛直下方に床がある。ここで，点 B より $2r$〔m〕鉛直下方の床上の点を点 C とする。点 A には自由に取り除くことができ，厚さの無視できる板が固定されている。板の上には大きさの無視できる質量 M〔kg〕の球 a が，球 a の上には同じく大きさの無視できる質量 m〔kg〕の球 b が静止して置かれている。床と球 a，球 a と球 b の間の反発係数をともに e とし $0 < e \leqq 1$ とする。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とし，球と壁のあいだの摩擦および空気抵抗は無視できるとする。以下の問いに答えなさい。

(1) 点 A に固定していた板を静かに取り除くと，2 つの球は自由落下した。床に衝突する直前の球 a と球 b の速さは $v_0 =$ $\boxed{\text{(ア)}}$ 〔m/s〕となる。その後，球 a は床に衝突すると同時に球 b と衝突する。この過程を，球 a が床に衝突しはねかえる過程と，球 a と球 b が衝突する過程が順におこったと考える。鉛直

上向きを正とすると，球 a と球 b が衝突する直前の 2 つの球の運動量の和は $v_0 \times$ $\boxed{\text{(イ)}}$ 〔kg·m/s〕であり，球 b との衝突後の球 a の速度は

$$v_0 \times \frac{\boxed{\text{(ウ)}}}{\boxed{\text{(エ)}}} \ \text{〔m/s〕}$$

となる。ここで，球 a が球 b とのこの衝突により床で静止したとすると，M は $m \times$ $\boxed{\text{(オ)}}$ 〔kg〕となる。一方，この際の球 b の衝突直後の速度 v_1 は $v_0 \times$ $\boxed{\text{(カ)}}$ 〔m/s〕であり，2 度の衝突で球 a，b が失ったエネルギーは

$$mgr(1-e) \times \frac{\boxed{\text{(キ)}}}{\boxed{\text{(ク)}}} \ \text{〔J〕}$$

となる。

次の 2 ページは白紙です。

(ア)の解答群

0　$\sqrt{gr}$	1　$2\sqrt{gr}$	2　$\dfrac{\sqrt{gr}}{2}$	3　$\sqrt{2gr}$
4　$\sqrt{\dfrac{gr}{2}}$	5　$\sqrt{3gr}$	6　$\sqrt{\dfrac{gr}{3}}$	7　$4\sqrt{gr}$

(イ)の解答群

0　$m - M$	1　$M - m$	2　$Me - m$	3　$me - M$
4　$m - Me$	5　$M - me$	6　$m + M$	7　$2m + M$
8　$me + M$	9　$m + Me$		

(ウ)の解答群

0　$Me - me(1 + e)$	1　$me - Me(1 + e)$
2　$M(1 + e^2) - m(1 + e)$	3　$Me - m(1 + e)$
4　$me - M(1 + e)$	5　$Me - m(1 + e + e^2)$
6　$me - M(1 + e + e^2)$	7　$M(1 + e^2) - me$
8　$M(1 + 2e^2) - me$	

(エ)の解答群

0　$m + M$	1　$m + 2M$	2　$2m + M$	3　$m + 3M$
4　$3m + M$	5　$m - M$	6　$m - 2M$	7　$m - 3M$

(オ)の解答群

0　$\dfrac{1}{1+e}$	1　$\dfrac{1+e}{1+e^2}$	2　$\dfrac{1+e}{e}$	3　$\dfrac{e}{1+e}$
4　$\dfrac{1+e+e^2}{e}$	5　$\dfrac{1+e^2}{e}$	6　$\dfrac{e}{1+e^2}$	7　$\dfrac{1+2e^2}{e}$
8　$\dfrac{e}{1+2e^2}$	9　$\dfrac{e}{1+e+e^2}$		

(カ)の解答群

0　2	1　e	2　e^2	3　$e+1$
4　$e-1$	5　e^2-1	6　$e+e^2$	7　$2e+e^2$
8　$1-e+e^2$	9　$2+e+e^2$		

(キ)の解答群

0　$1+e+e^2$	1　$2+e^2+e^4$
2　$(1+e^2)^2$	3　$(1+e)^2(1+e+e^2)$
4　$(1+e+e^2)^2$	5　$(1+e)^3$
6　$(1+e)^4$	7　$(1+e)^5$

(ク)の解答群

0　2	1　3	2　4	3　e
4　e^2	5　e^3	6　e^4	7　$2e+1$

(2) (1)の2度の衝突の後，球bははね上がり図の点Aに到達した後，なめらかに壁の内側をすべり上がり点Bまできた。点Bでの球bの速さは $\boxed{\text{(ケ)}}$ 〔m/s〕であり，球bにはたらく向心力の大きさは $\boxed{\text{(コ)}}$ 〔N〕となる。このことから，球が壁から離れずに点Bを通過する条件は，$v_1^2 \geqq \boxed{\text{(サ)}}$ となる。

その後，球bは点Bより水平投射され，点Dで床に衝突した。このとき，CDの距離は $\boxed{\text{(シ)}}$ 〔m〕である。

(ケ)の解答群

0 $\sqrt{v_1^2 + gr}$　　1 $\sqrt{v_1^2 - gr}$　　2 $\sqrt{v_1^2 + 2gr}$

3 $\sqrt{v_1^2 - 2gr}$　　4 $\sqrt{2v_1^2 + gr}$　　5 $\sqrt{2v_1^2 - gr}$

6 $\sqrt{v_1^2 + 4gr}$　　7 $\sqrt{v_1^2 - 4gr}$

(コ)の解答群

0 $m\sqrt{v_1^2 + gr}$　　1 $m\sqrt{v_1^2 - gr}$

2 $\dfrac{m}{v_1^2 + gr}$　　3 $\dfrac{m}{v_1^2 - gr}$

4 $\dfrac{m}{r}(2v_1^2 + gr)$　　5 $\dfrac{m}{r}(2v_1^2 - gr)$

6 $\dfrac{m}{r(2v_1^2 - gr)}$　　7 $\dfrac{m}{r(v_1^2 - 4gr)}$

8 $\dfrac{m}{r}(v_1^2 + 4gr)$　　9 $\dfrac{m}{r}(v_1^2 - 4gr)$

(サ)の解答群

0 gr　　1 $\dfrac{g}{r}$　　2 $\dfrac{2g}{r}$　　3 $3gr$

4 $\dfrac{2r}{g}$　　5 $5gr$　　6 $\dfrac{7}{gr}$　　7 $7gr$

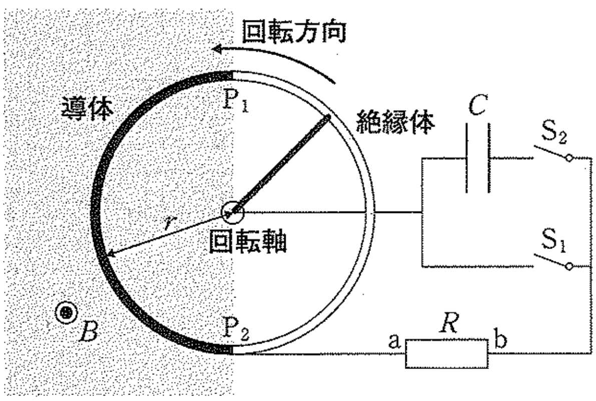
(シ)の解答群

0 $\sqrt{2\dfrac{v_1^2 r}{g} - mr^2}$　　1 $\sqrt{5\dfrac{v_1^2 r}{g} - 2r^2}$　　2 $2\sqrt{\dfrac{v_1^2 r}{g} - 4r^2}$

3 $\sqrt{\dfrac{v_1^2 r}{g} + 4r^2}$　　4 $\sqrt{3\dfrac{v_1^2 r}{g} - 4r^2}$　　5 $2\sqrt{\dfrac{v_1^2 r}{3g} - r^2}$

2 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答を**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。必要なら，同一番号を繰り返し用いてよい。（25 点）

図のように半分が導体，半分が絶縁体である半径 r〔m〕の円があり，導体と絶縁体の接する点を P_1，P_2 とする。円の中心には回転軸があり，長さ r〔m〕の導体棒の一端がその回転軸に固定され，もう一端は円上を接しながらなめらかに動くことができる。回転軸はモーターと連結させて一定の角速度で回転させることができ，また，回転の途中においてもモーターとの連結を外すことができる。導体を弧とする半円部分には磁束密度 B〔T〕の一様な磁場が紙面に対して垂直に裏から表向きに存在している。そして，**図**のように，円上の点 P_2 と回転軸上の導体棒の一端にはそれぞれ導線がつながっており，それらは抵抗 R〔Ω〕の抵抗，電気容量 C〔F〕のコンデンサー，スイッチ S_1，S_2 で構成されている回路に接続されている。**図**のように，抵抗の左端を a，右端を b とする。円の導体部，絶縁体部および導体棒の太さは無視でき，そのあいだの摩擦は無視できる。また，導体棒が動くことによって回路に生じる自己インダクタンスは無視できるものとして，以下の問いに答えなさい。



図

(1) 導体棒先端を絶縁体上に置き，スイッチ S_1 を閉じ，スイッチ S_2 は開く。そして，モーターを回転軸に連結し，図の矢印で示す回転方向に一定の角速度 ω_0〔rad/s〕で導体棒の回転をスタートさせた場合を考える。このとき，回転の周期 T_0〔s〕は $T_0 =$ $\boxed{\text{(ア)}}$ である。導体棒が P_1 に達した後，電磁誘導によって抵抗に電流が流れる。その電流の大きさ I_0〔A〕は $I_0 =$ $\boxed{\text{(イ)}}$ であり，電流の流れる向きは $\boxed{\text{(ウ)}}$ である。また，導体棒が円上を一周するごとに抵抗で生じるジュール熱 W_0〔J〕は $W_0 =$ $\boxed{\text{(エ)}}$ である。

一方，モーターと回転軸の連結を外し，導体棒先端を絶縁体上に静止させた状態から導体棒に角速度 ω_0〔rad/s〕を与えた場合には，導体棒は，$\boxed{\text{(オ)}}$ 。

(2) 導体棒先端を絶縁体上に置き，スイッチ S_1 を開き，スイッチ S_2 を閉じる。このとき，コンデンサーには電荷はないものとする。モーターを回転軸に連結し，図の矢印で示す回転方向に一定の角速度 ω_0〔rad/s〕で導体棒の回転をスタートさせる。導体棒が P_1 に達したとき，回路に流れる電流は I_0〔A〕である。その直後の微小時間 Δt〔s〕の間にコンデンサーに蓄えられる微小電荷量 ΔQ〔C〕は $\Delta Q = I_0 \Delta t$ とみなすことができる。よって，Δt〔s〕後の抵抗の両端での電位差は，a が b より電位が高い場合を正とすると，$\boxed{\text{(カ)}}$ $\times I_0 \Delta t$〔V〕変化し，抵抗を流れる電流は，a から b の向きを正とすると，$\boxed{\text{(キ)}}$ $\times I_0 \Delta t$〔A〕変化する。このように，抵抗に流れる電流とコンデンサーに蓄えられた電荷は時間とともに変化し，そのグラフは $\boxed{\text{(ク)}}$ のようになる。じゅうぶんに時間が経つと電流と電荷は一定値とみなすことができ，その電流値は 0 A，電荷量は $\boxed{\text{(ケ)}}$ 〔C〕である。

ここで，導体棒が絶縁体上を動いているときに，角速度を $\alpha(\alpha > 1)$ 倍にした。この時刻を t_0 とし，時刻 t_0 までに抵抗で生じたジュール熱を W〔J〕，コンデンサーに蓄えられたエネルギーを U〔J〕とする。じゅうぶん時間が経過し電流値と電荷量が再び一定値とみなせるようになったとき，時刻 t_0 以降に抵抗で生じたジュール熱は $\boxed{\text{(コ)}}$ $\times W$〔J〕，コンデンサーに与えられたエネルギーは $\boxed{\text{(サ)}}$ $\times U$〔J〕である。その後，導体棒が動いている状態を保ちながら，回転軸からモーターを静かに切り離した。すると，導体棒は $\boxed{\text{(シ)}}$ 。

(ア)の解答群

0 $\frac{\pi}{2\omega_0}$　1 $\frac{\pi}{\omega_0}$　2 $\frac{2\pi}{\omega_0}$　3 $\frac{1}{2\pi\omega_0}$

4 $\frac{1}{\pi\omega_0}$　5 $2\pi\omega_0$　6 $\pi\omega_0$

(イ)の解答群

0 $\frac{r^2B\omega_0}{4R}$　1 $\frac{r^2B\omega_0}{2R}$　2 $\frac{r^2B\omega_0}{R}$　3 $\frac{2r^2B\omega_0}{R}$

4 $\frac{4r^2B\omega_0}{R}$　5 $\frac{r^2B\omega_0}{4\pi R}$　6 $\frac{r^2B\omega_0}{2\pi R}$　7 $\frac{r^2B\omega_0}{\pi R}$

8 $\frac{2r^2B\omega_0}{\pi R}$　9 $\frac{4r^2B\omega_0}{\pi R}$

(ウ)の解答群

0 a から b の向き　1 b から a の向き

(エ)の解答群

00 $\frac{\pi r^2B}{4\omega_0}$　01 $\frac{\pi r^2B}{2\omega_0}$　02 $\frac{\pi r^2B}{\omega_0}$　03 $\frac{r^2B\omega_0}{4}$

04 $\frac{r^2B\omega_0}{2}$　05 $r^2B\omega_0$　06 $\frac{r^4B^2\omega_0}{4R}$　07 $\frac{r^4B^2\omega_0}{2R}$

08 $\frac{r^4B^2\omega_0}{R}$　09 $\frac{\pi r^4B^2\omega_0}{4R}$　10 $\frac{\pi r^4B^2\omega_0}{2R}$　11 $\frac{\pi r^4B^2\omega_0}{R}$

右のページは白紙です。

(オ), (シ)の解答群

0 絶縁体上では減速し，導体上では速度を変えずに回転する。その結果，絶縁体上のある位置で停止する

1 絶縁体上では減速し，導体上では速度を変えずに回転する。その結果，絶縁体上のある位置で一度停止し，その後反対方向に回転を始める

2 絶縁体上では速度を変えずに回転し，導体上では減速する。その結果，導体上のある位置で停止する

3 絶縁体上では速度を変えずに回転し，導体上では減速する。その結果，導体上のある位置で一度停止し，その後反対方向に回転を始める

4 絶縁体上でも導体上でも速度を変えずに回転する

5 絶縁体上では速度を変えずに回転し，導体ではある角速度に達するまで減速し，その後一定の角速度で回転するようになる

6 絶縁体上では速度を変えずに回転し，導体ではある角速度に達するまで加速し，その後一定の角速度で回転するようになる

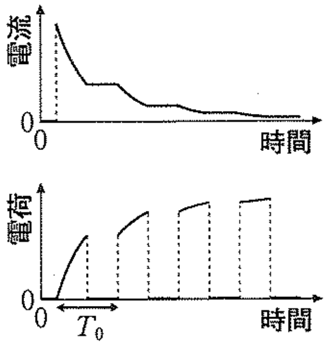
(カ), (キ)の解答群

00 $\frac{1}{R}$	01 $\frac{1}{C}$	02 R	03 C
04 $-\frac{1}{R}$	05 $-\frac{1}{C}$	06 $-R$	07 $-C$
08 $\frac{1}{RC}$	09 $\frac{C}{R}$	10 $\frac{R}{C}$	11 RC
12 $-\frac{1}{RC}$	13 $-\frac{C}{R}$	14 $-\frac{R}{C}$	15 $-RC$

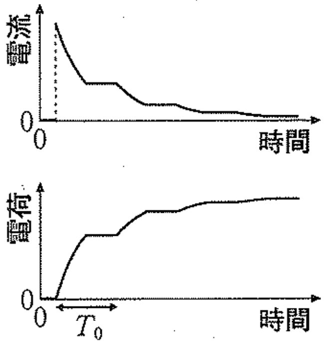
右のページは白紙です。

(ク)の解答群

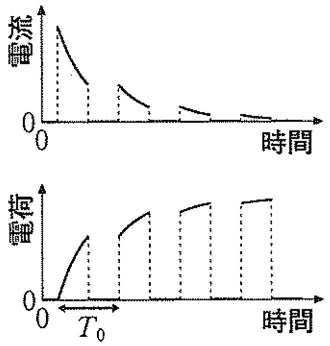
0



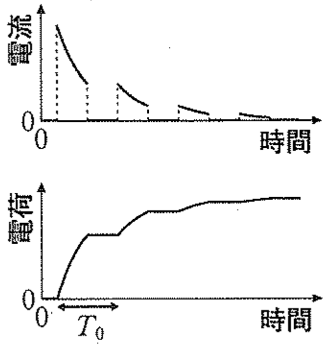
1



2



3



(ケ)の解答群

0 $\dfrac{Cr^2B\omega_0}{4}$　　1 $\dfrac{Cr^2B\omega_0}{2}$　　2 $Cr^2B\omega_0$　　3 $2Cr^2B\omega_0$

4 $4Cr^2B\omega_0$　　5 $\dfrac{Cr^2B\omega_0}{4\pi}$　　6 $\dfrac{Cr^2B\omega_0}{2\pi}$　　7 $\dfrac{Cr^2B\omega_0}{\pi}$

8 $\dfrac{2Cr^2B\omega_0}{\pi}$　　9 $\dfrac{4Cr^2B\omega_0}{\pi}$

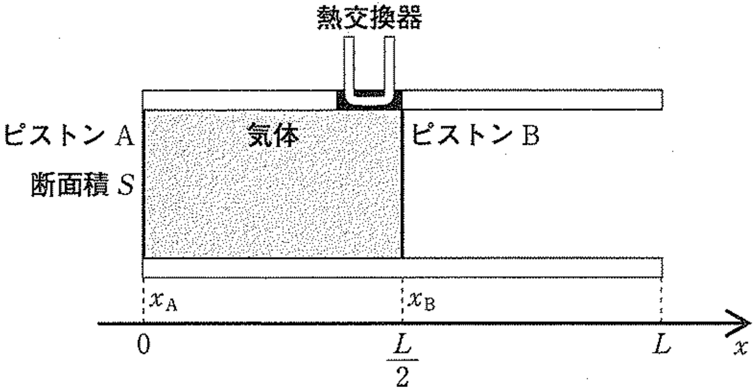
(コ)，(サ)の解答群

0 α　　1 $\alpha-1$　　2 α^2-1　　3 $(\alpha-1)^2$

4 $\dfrac{1}{\alpha}$　　5 $\dfrac{1}{\alpha-1}$　　6 $\dfrac{1}{\alpha^2-1}$　　7 $\dfrac{1}{(\alpha-1)^2}$

右のページは白紙です。

3 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答を**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。必要なら，同一番号を繰り返し用いてよい。 (25 点)



図

図のように断面積 S〔m^2〕，長さ L〔m〕の断熱材でできたシリンダーが水平に置かれている。内部には断熱材でできた，質量と厚さが無視できる 2 つのピストンが備えられている。それぞれのピストンはシリンダー内をなめらかに動き，任意の場所で固定もできる。水平方向に x 軸をとり，座標を x〔m〕とする。ここではシリンダーの左端を原点，右端を $x = L$ とする。左方のピストンを A，右方のピストンを B とし，それぞれの位置を x_A〔m〕，x_B〔m〕と表す。2 つのピストンに囲まれたシリンダー内部には単原子分子の理想気体 1 mol が封入されている。$x = \frac{3L}{8}$ から $x = \frac{L}{2}$ の間のシリンダーの壁には熱交換器が埋め込まれており，内部の気体を自由に加熱または冷却できる。シリンダー外部の圧力は p〔Pa〕で，気体定数を R〔J/(mol·K)〕とする。断熱変化では圧力を P〔Pa〕，体積を V〔m^3〕とすると $PV^{\frac{5}{3}} =$ (一定) の関係が成り立つものとする。

(1) はじめにピストンA，Bは$x_A = 0$，$x_B = \dfrac{L}{2}$にあった。ここでピストンBは固定されており，ピストンAは自由に動けるとする。このときのピストン間の気体の温度は $\boxed{(ア)}$ × $\boxed{(イ)}$ 〔K〕である。次に熱交換器を作動させ，気体を等圧で圧縮したところピストンAがゆっくりと移動し，$x_A = \dfrac{L}{8}$で静止した。このときのピストン間の気体の温度T_1〔K〕は$T_1 =$ $\boxed{(ウ)}$ × $\boxed{(エ)}$ となる。この圧縮過程で外部から気体にした仕事は $\boxed{(オ)}$ × $\boxed{(カ)}$ 〔J〕，外部から気体に加えた熱は $\boxed{(キ)}$ × $\boxed{(ク)}$ 〔J〕となる。その後，この状態からピストンAに右向きに一定の力f〔N〕を静かに加えながら熱交換器を作動させることで気体を等温圧縮した。ピストンAはゆっくりと移動し，$x_A = \dfrac{3L}{8}$で静止した。このとき$f =$ $\boxed{(ケ)}$ である。

(ア), (ウ), (オ), (キ)の解答群

00 4	01 2	02 $\frac{1}{2}$	03 $\frac{1}{4}$	04 $\frac{3}{4}$
05 $\frac{1}{8}$	06 $\frac{3}{8}$	07 $\frac{5}{8}$	08 $\frac{1}{16}$	09 $\frac{3}{16}$
10 $\frac{5}{16}$	11 -4	12 -2	13 $-\frac{1}{2}$	14 $-\frac{1}{4}$
15 $-\frac{3}{4}$	16 $-\frac{1}{8}$	17 $-\frac{3}{8}$	18 $-\frac{5}{8}$	19 $-\frac{1}{16}$
20 $-\frac{3}{16}$	21 $-\frac{5}{16}$			

(イ), (エ), (カ), (ク)の解答群

0 pL^3	1 pL	2 $\frac{1}{pL}$	3 pSL	4 $\frac{pSL}{R}$
5 $pSLR$	6 $\frac{pL^3}{R}$	7 $\frac{SL}{p}$	8 $\frac{R}{pSL}$	9 $\frac{pS}{LR}$

(ケ)の解答群

0 pS	1 $\frac{p}{S}$	2 $3\frac{S}{p}$	3 $2pS$	4 pSL
5 $\frac{pSR}{2L}$	6 $3pL^2$	7 $3pS$	8 $\frac{p}{4SL}$	9 $2pR$

右のページは白紙です。

(2) (1)の過程の後，ピストンA，Bをともに固定した。このときの気体の圧力を p_1〔Pa〕とする。その後，熱交換器を作動させて熱 q〔J〕を気体に加えた。するとピストン内部の圧力は T_1〔K〕，p_1〔Pa〕等を用いて表すと $p_1 \times$ $\boxed{\text{(コ)}}$ 〔Pa〕となる。その後，ピストンBの固定をはずすと気体は断熱的に膨張した。ピストンBはゆっくりと移動し $x_B = L$ で静止した。このとき，q〔J〕は T_1〔K〕，p_1〔Pa〕等を用いて表すと，$\boxed{\text{(サ)}}$ $\times$ $\boxed{\text{(シ)}}$ 〔J〕となる。また，ピストン間の気体の温度は $\boxed{\text{(ス)}}$ $\times$ $\boxed{\text{(セ)}}$ 〔K〕であり，この断熱膨張の過程で気体が外部にした仕事は $\boxed{\text{(ソ)}}$ $\times$ $\boxed{\text{(タ)}}$ 〔J〕となる。

(コ)の解答群

0　$1+\dfrac{q}{RT_1}$　　1　$1+\dfrac{RT_1}{q}$　　2　$2+\dfrac{RT_1}{q}$　　3　$1+\dfrac{q}{2RT_1}$

4　$1+\dfrac{2RT_1}{q}$　　5　$1+\dfrac{2q}{3RT_1}$　　6　$1+\dfrac{3RT_1}{2q}$　　7　$1+\dfrac{2q}{5RT_1}$

8　$1+\dfrac{5RT_1}{2q}$　　9　$2+\dfrac{2q}{5RT_1}$

(サ)の解答群

0　$\dfrac{p}{p_1}5^{\frac{3}{5}}-3$　　1　$\dfrac{p_1}{p}5^{\frac{3}{5}}-3$　　2　$\dfrac{p}{p_1}5^{\frac{5}{3}}-3$　　3　$\dfrac{p_1}{p}5^{\frac{5}{3}}-3$

4　$\dfrac{p}{p_1}5^{\frac{5}{3}}-1$　　5　$\dfrac{p_1}{p}5^{\frac{5}{3}}-1$　　6　$\dfrac{p}{p_1}4^{\frac{5}{3}}-1$　　7　$\dfrac{p_1}{p}4^{\frac{5}{3}}-1$

8　$\dfrac{p}{p_1}3-5^{\frac{5}{3}}$　　9　$\dfrac{p_1}{p}3-5^{\frac{5}{3}}$

(シ)の解答群

0　$\dfrac{R}{2T_1}$　　1　$\dfrac{3RT_1}{2}$　　2　$\dfrac{5RT_1}{2}$　　3　$\dfrac{7T_1}{2R}$　　4　$2RT_1$

5　$\dfrac{2RT_1}{3}$　　6　$\dfrac{2}{5RT_1}$　　7　$\dfrac{2T_1}{5R}$　　8　$\dfrac{2RT_1}{7}$　　9　$\dfrac{3T_1}{7R}$

(ス)の解答群

0　$\dfrac{1}{2}$　　1　$\dfrac{1}{4}$　　2　$\dfrac{3^{\frac{5}{3}}}{4}$　　3　$\dfrac{1}{8}$　　4　$\dfrac{3^{\frac{3}{5}}}{8}$

5　$\dfrac{5}{8}$　　6　$\dfrac{5^{\frac{5}{3}}}{8}$　　7　$\dfrac{5^{\frac{3}{5}}}{8}$　　8　$\dfrac{3^{\frac{5}{3}}}{16}$　　9　$\dfrac{5^{\frac{3}{5}}}{16}$

(セ)の解答群

0　pL^3　　1　pL　　2　$\dfrac{1}{pL}$　　3　pSL　　4　$\dfrac{pSL}{R}$

5　$pSLR$　　6　$\dfrac{pL^3}{R}$　　7　$\dfrac{SL}{p}$　　8　$\dfrac{R}{pSL}$　　9　$\dfrac{pS}{LR}$

(ソ)の解答群

0 $5^{\frac{3}{5}}-5$	1 $4^{\frac{3}{5}}-3$	2 $3^{\frac{3}{5}}-3$	3 $5^{\frac{5}{3}}-2$
4 $3-2^{\frac{3}{5}}$	5 $5^{\frac{5}{3}}-3^{\frac{3}{5}}$	6 $5^{\frac{5}{3}}-5$	7 $7^{\frac{5}{3}}-7$

(タ)の解答群

0 $\dfrac{5pS}{16L}$	1 $\dfrac{5pSL}{16}$	2 $\dfrac{3pSL}{16}$	3 $\dfrac{pSL}{4R}$
4 $2pSLR$	5 $\dfrac{5pSL}{4R}$	6 $\dfrac{3R}{pSL}$	7 $\dfrac{pSL}{2}$

右のページは白紙です。

4 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答を**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。必要なら，同一番号を繰り返し用いてよい。 (25点)

光の屈折および回折現象について，以下の問いに答えなさい。ただし，真空中での屈折率は1とする。また，1 nm は 1×10^{-9} m である。

(1) **図1**のように，真空中に置かれた屈折率 n の透明な物体に対して，入射角 θ_i〔rad〕で平面波の光を入射したとき，屈折角が θ_t〔rad〕である場合を考える。入射光の波面を AB，物体中の光の波面を CD とする。A と D は境界面上にあり，AD 間の距離を L とする。光の周期 T〔s〕は，真空中における光の波長 λ〔m〕と光の速さ c〔m/s〕を用いて，$T =$ $\boxed{(ア)}$ である。この値は，物体中でも変わらない。一方，物体中での光の速さは空気中の $\boxed{(イ)}$ 倍になる。距離 AC を光が進むために要する時間は $\boxed{(ウ)}$〔s〕であり，これは距離 BD を光が進む時間と等しいため，$\boxed{(エ)}$ の関係式が成立する。

一方，物体中を進む光が真空との境界面に対し入射角 θ_i'〔rad〕で入射する場合，$\boxed{(オ)}$ が成立するならば，光は真空中へ透過していく。

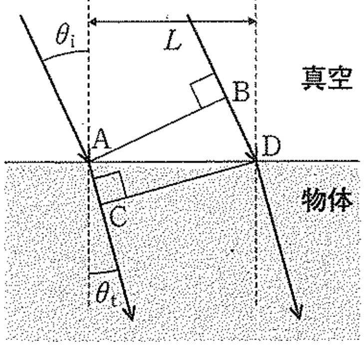


図1

(ア)の解答群

0 λc　　1 $\dfrac{1}{\lambda c}$　　2 $\dfrac{\lambda}{c}$　　3 $\dfrac{c}{\lambda}$

4 $2\pi\lambda c$　　5 $\dfrac{2\pi}{\lambda c}$　　6 $\dfrac{2\pi\lambda}{c}$　　7 $\dfrac{2\pi c}{\lambda}$

(イ)の解答群

0 $n-1$　　1 n　　2 $n+1$　　3 $\dfrac{1}{n-1}$

4 $\dfrac{1}{n}$　　5 $\dfrac{1}{n+1}$

(ウ)の解答群

0 $\dfrac{L}{nc}\sin\theta_t$　　1 $\dfrac{L}{nc}\dfrac{1}{\sin\theta_t}$　　2 $\dfrac{nL}{c}\sin\theta_t$　　3 $\dfrac{nL}{c}\dfrac{1}{\sin\theta_t}$

4 $\dfrac{L}{nc}\cos\theta_t$　　5 $\dfrac{L}{nc}\dfrac{1}{\cos\theta_t}$　　6 $\dfrac{nL}{c}\cos\theta_t$　　7 $\dfrac{nL}{c}\dfrac{1}{\cos\theta_t}$

(エ)の解答群

0 $n\sin\theta_i = \sin\theta_t$　　1 $\sin\theta_i = n\sin\theta_t$

2 $n\cos\theta_i = \cos\theta_t$　　3 $\cos\theta_i = n\cos\theta_t$

4 $(n+1)\sin\theta_i = \sin\theta_t$　　5 $\sin\theta_i = (n+1)\sin\theta_t$

6 $(n+1)\cos\theta_i = \cos\theta_t$　　7 $\cos\theta_i = (n+1)\cos\theta_t$

(オ)の解答群

0 $\sin\theta_i' > \dfrac{1}{n}$　　1 $\sin\theta_i' < \dfrac{1}{n}$　　2 $\cos\theta_i' > \dfrac{1}{n}$

3 $\cos\theta_i' < \dfrac{1}{n}$　　4 $\sin\theta_i' > \dfrac{1}{n+1}$　　5 $\sin\theta_i' < \dfrac{1}{n+1}$

6 $\cos\theta_i' > \dfrac{1}{n+1}$　　7 $\cos\theta_i' < \dfrac{1}{n+1}$

(2) **図2**のように，じゅうぶんに幅の狭いスリットが距離 d〔m〕の間隔で並んでいる多重スリットを真空中に置き，波長 λ〔m〕の平面波の光を入射角 0 rad で入射した場合について考える。ここで，多重スリット板の厚さはじゅうぶん小さく無視できるとする。回折により，各スリットからは円状の波面(**図2**中の破線)の光が生じるが，それら全てが強め合うじゅうぶん遠方の点に向かって，回折光は平面波として伝わっていくとみなすことができる。このとき，隣り合うスリットから回折光の同じ波面までの経路の差は，波長の整数倍となる。すなわち，**図2**のように，多重スリットの垂線に対し回折光が進む向きを回折角 θ_{d}〔rad〕とすると，θ_{d} は整数 m($m = 0, \pm1, \pm2, \cdots$) を用いて $\boxed{\text{(カ)}} = m\lambda$ を満たす。回折角 θ_{d}〔rad〕は負の値も取りうることに注意しよう。ここで，λ〔m〕とは異なる波長 λ'〔m〕の光が入射角 0 rad で多重スリットに入射する場合を考えよう。$\lambda' = \dfrac{2}{3}\lambda$ であるとき，波長 λ〔m〕の光と λ'〔m〕の光が同じ方向に回折される条件は，整数 p($p = 0, \pm1, \pm2, \cdots$)を用いて，$\boxed{\text{(キ)}} = p\lambda'$ である。

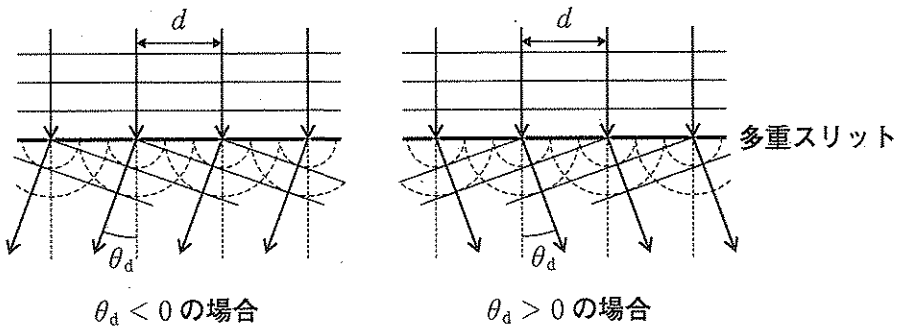
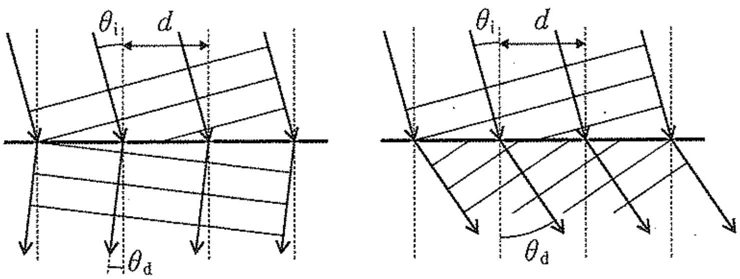


図2

(カ), (キ)の解答群

00	$\dfrac{d}{3}\sin\theta_{\mathrm{d}}$	01	$\dfrac{2d}{3}\sin\theta_{\mathrm{d}}$	02	$\dfrac{d}{2}\sin\theta_{\mathrm{d}}$	03	$d\sin\theta_{\mathrm{d}}$
04	$\dfrac{3d}{2}\sin\theta_{\mathrm{d}}$	05	$2d\sin\theta_{\mathrm{d}}$	06	$3d\sin\theta_{\mathrm{d}}$	07	$\dfrac{d}{3}\cos\theta_{\mathrm{d}}$
08	$\dfrac{2d}{3}\cos\theta_{\mathrm{d}}$	09	$\dfrac{d}{2}\cos\theta_{\mathrm{d}}$	10	$d\cos\theta_{\mathrm{d}}$	11	$\dfrac{3d}{2}\cos\theta_{\mathrm{d}}$
12	$2d\cos\theta_{\mathrm{d}}$	13	$3d\cos\theta_{\mathrm{d}}$				

(3) 次に，多重スリットに対して**図3**のように入射角 θ_{i}〔rad〕で平面波を入射した場合を考える。このとき，θ_{i} は正の値とする。(2)と同じように，各スリットからの回折で生じる円状の波面の光が強め合い，回折角 θ_{d}〔rad〕の方向に回折光が平面波として伝わっていく。このとき，入射光の1つの波面が各スリットに到達する時刻が異なることを考慮すると，各スリットから回折される光が強め合う条件は $\boxed{\text{(ク)}} = m\lambda$ となる。(2)と同様に，θ_{d}〔rad〕は負の値も取りうることに注意する。ここで，$d = 1000\ \mathrm{nm}$，$\lambda = 600\ \mathrm{nm}$，$\theta_{\mathrm{i}} = \dfrac{\pi}{6}$ の場合を考えると，回折光の数(強め合う条件を満たす回折角の数)は $\boxed{\text{(ケ)}}$ 本ある。さらに，**図4**のように多重スリットの裏に屈折率 $n = 1.5$ のじゅうぶんに厚い平板状の透明な物体をぴったりとつけた場合を考える。このとき，物体中を進む回折光は $\boxed{\text{(コ)}}$ 本ある。そのうち，物体の反対側の面を透過していく回折光は $\boxed{\text{(サ)}}$ 本である。



$\theta_{\mathrm{d}} < 0$ の場合　　　　$\theta_{\mathrm{d}} > 0$ の場合

図3

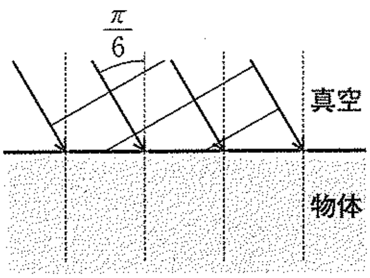


図4

(ク)の解答群

00 $\frac{d}{2}(\sin\theta_d + \sin\theta_i)$

01 $d(\sin\theta_d + \sin\theta_i)$

02 $2d(\sin\theta_d + \sin\theta_i)$

03 $\frac{d}{2}(\sin\theta_d - \sin\theta_i)$

04 $d(\sin\theta_d - \sin\theta_i)$

05 $2d(\sin\theta_d - \sin\theta_i)$

06 $\frac{d}{2}(\cos\theta_d + \cos\theta_i)$

07 $d(\cos\theta_d + \cos\theta_i)$

08 $2d(\cos\theta_d + \cos\theta_i)$

09 $\frac{d}{2}(\cos\theta_d - \cos\theta_i)$

10 $d(\cos\theta_d - \cos\theta_i)$

11 $2d(\cos\theta_d - \cos\theta_i)$

(ケ), (コ), (サ)の解答群

0 0　　1 1　　2 2　　3 3　　4 4

5 5　　6 6　　7 7　　8 8　　9 9