物　　理

注　意

1. 問題は全部で18ページである。
2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。(ただし，マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。)
3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

1. 解答用紙(その１)はマーク・シートになっている。ＨＢの黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
3. 解答する記号の ⬭ を塗りつぶしなさい。○で囲んだり╳をつけたりしてはいけない。

解答記入例(解答が １ のとき)

1	⬬ ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⓪

4. 一度記入したマークを消す場合は，消しゴムでよく消すこと。╳をつけても消したことにならない。
5. 解答用紙をよごしたり，折り曲げたりしないこと。

1 以下の文章を読み，空欄(1)〜(21)に最も良くあてはまる式または数値をそれぞれの解答群より選び，**解答用紙（その１）**の解答欄の該当する記号をマークせよ。また，空欄(ア)〜(ウ)に最も良くあてはまる式を**解答用紙（その２）**の該当する解答欄に記入せよ。なお，重力加速度の大きさを g とする。

Ⅰ．図１―１のような振り子を考える。天井の点Sに長さ L の糸の上端が固定され，その下端には質量 M の小球がついている。糸はたるむことなく，空気抵抗や糸の質量は無視できるものとする。原点Oを小球の釣り合いの位置にとり，糸が鉛直下向きとなす角を θ とする。ここでは，小球は図１―１の紙面内でのみ運動するものとする。小球が受ける復元力の運動方向成分を F とすると，その大きさは θ を用いて $|F| =$ $\boxed{\quad(1)\quad}$ とあらわされる。

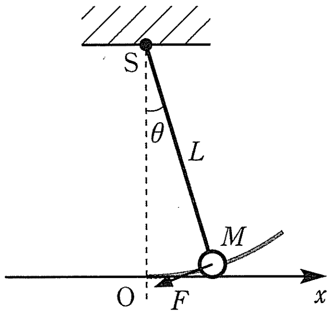

図１―１

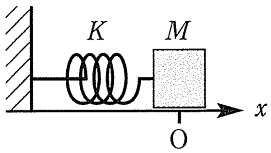

図１―２

(1)の解答群：

① Mg　② MgL　③ $\sqrt{\dfrac{g}{L}}$　④ $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$

⑤ $Mg|\sin\theta|$　⑥ $Mg|\cos\theta|$　⑦ $Mg|\tan\theta|$　⑧ 2θ

⑨ $\dfrac{1}{2}\theta$　⓪ 0

ここで，小球の釣り合いの位置からの変位が常に微小であるものとする。したがって角 θ について $|\theta| \ll 1$ が常に成り立ち，以降 $\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta \fallingdotseq \theta$ および $\cos\theta \fallingdotseq 1$ という近似が成り立つものとする。座標軸として紙面内の水平方向に x 軸をとる。θ が小さいことから，小球の運動は x 軸上の運動とみなすことができる。時刻 t における小球の位置座標を $x(t)$，速度を $v(t)$ とすると，振り子の復元力は $F = \boxed{\ (2)\ }$ となる。

比較のために，図1—2で示されたバネとおもりからなる系を考える。バネの一端は壁に固定されており，もう一端が質量 M のおもりにつながれている。バネのバネ定数を K とし，おもりは図の x 軸上を運動する。x 軸は水平面と平行である。座標原点Oを，おもりの釣り合いの位置に取る。摩擦力は働かず，おもりは単振動する。

これを振り子の運動と比較すると，θ が小さいときに小球の従う運動方程式は，バネ定数 $K = \boxed{\ (3)\ }$ の場合のおもりの運動方程式と全く同じである。このことから，この振り子も θ が小さいときに単振動を行うことがわかる。この運動の角振動数は $\omega = \boxed{\ (4)\ }$，周期は $T_1 = \boxed{\ (5)\ }$ で与えられる。また，両者の力学的エネルギー E には同じ保存則が成り立ち，振り子については $E = \boxed{\ (6)\ }$ が一定となる。

(2)，(6)の解答群：

① $\dfrac{1}{2}Mv(t)^2$　　② $\dfrac{1}{2}\dfrac{Mg}{L}x(t)^2$

③ $\dfrac{1}{2}Mv(t)^2 + \dfrac{1}{2}\dfrac{Mg}{L}x(t)^2$　　④ $\dfrac{1}{2}Mv(t)^2 + Mgx(t)$

⑤ $Mgx(t)$　　⑥ $-\dfrac{Mg}{L}x(t)$

⑦ $-\dfrac{g}{L}x(t)$　　⑧ $\dfrac{M}{L}x(t)$

⑨ Mg　　⓪ 0

(3), (4), (5)の解答群：

① Mg　② $\dfrac{g}{L}$　③ $\dfrac{Mg}{L}$　④ $\sqrt{Mg}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{Mg}{L}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{g}{L}}$　⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{g}{L}}$　⑧ $\sqrt{\dfrac{L}{g}}$

⑨ $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$　⓪ 0

時刻 $t=0$ において小球が $x=A(>0)$ で静止している場合，その後の振り子の運動における小球の位置は $x(t)=$ $\boxed{(7)}$ × $\boxed{(8)}$ で与えられる。一方で，時刻 $t=0$ において小球が位置 $x=0$ にて速度 $v_1(>0)$ で動いている場合を考える。この後，$x(t)$ の値は増加し，$t=$ $\boxed{(9)}$ $\times T_1$ において最大値 $\boxed{(10)}$ をはじめてとる。これより，時刻 $t>0$ における小球の位置は $x(t)=$ $\boxed{(11)}$ × $\boxed{(12)}$ で表される。

(7), (10), (11)の解答群：

① A　② L　③ v_1　④ v_1A

⑤ $v_1\sqrt{\dfrac{g}{L}}$　⑥ $\pi v_1\sqrt{\dfrac{g}{L}}$　⑦ $v_1\sqrt{\dfrac{L}{g}}$　⑧ $2\pi v_1\sqrt{\dfrac{L}{g}}$

⑨ $\dfrac{v_1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{L}{g}}$　⓪ 0

(8), (12)の解答群：

① $\cos\left(\sqrt{\dfrac{L}{g}}\,t\right)$　② $\cos\left(\sqrt{\dfrac{g}{L}}\,t\right)$　③ $\cos\left(2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}\,t\right)$

④ $\cos\left(\pi\sqrt{\dfrac{g}{L}}\,t\right)$　⑤ $\cos(\pi t)$　⑥ $\sin\left(\sqrt{\dfrac{L}{g}}\,t\right)$

⑦ $\sin\left(\sqrt{\dfrac{g}{L}}\,t\right)$　⑧ $\sin\left(2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}\,t\right)$　⑨ $\sin\left(\pi\sqrt{\dfrac{g}{L}}\,t\right)$

⓪ $\sin(\pi t)$

(9)の解答群：

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

⑤ $\dfrac{1}{2}$　　⑥ $\dfrac{1}{3}$　　⑦ $\dfrac{2}{3}$　　⑧ $\dfrac{1}{4}$

⑨ $\dfrac{3}{4}$　　⓪ 0

Ⅱ．先ほどの振り子において，小球が図１―３のようにいろいろな方向に運動する場合を考える。糸はたるむことなく，空気抵抗や糸の質量は無視することができる。原点Ｏは釣り合いの位置であり，Ｏを含む水平面内に xy 座標をとる。ここでも θ が十分に小さい場合のみを考え，$\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta \fallingdotseq \theta$ および $\cos\theta \fallingdotseq 1$ とする。このとき，小球の運動は xy 面内の運動と見なすことができる。

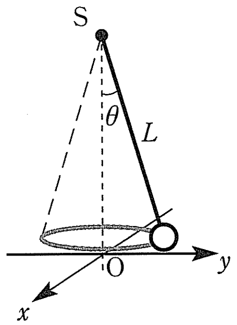

図１―３

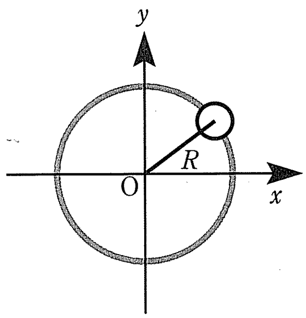

図１―４

まず小球が半径 R，速さ v_2 の等速円運動を行う場合に限って考える。振り子を真上から見たのが図１―４である。このとき，小球が受ける振り子の復元力 F は，問Ⅰと同様に考えるとその大きさが $|F| =$ $\boxed{(13)}$ であたえられる。これが向心力を生むことから，$v_2 =$ $\boxed{(14)}$ であり，この速さで円軌道を一周する周期は $T_2 =$ $\boxed{(15)}$ である。

(13)の解答群：

① Mg　② $\dfrac{g}{L}$　③ $\dfrac{Mg}{L}$　④ $\dfrac{Mg}{R}$

⑤ $\dfrac{MgR}{L}$　⑥ Mv_2　⑦ $Mv_2^{\,2}$　⑧ $\dfrac{1}{2}Mv_2^{\,2}$

⑨ Mv_2R　⓪ 0

⑭, ⑮の解答群：

① Mg　　② $\dfrac{g}{L}$　　③ $\dfrac{Mg}{L}$　　④ MgR

⑤ $\sqrt{\dfrac{g}{L}}R$　　⑥ $\sqrt{\dfrac{g}{L}}$　　⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{g}{L}}$　　⑧ $\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$

⑨ $2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$　　⓪ 0

Ⅲ. 図１―３で示された振り子において θ が十分に小さく小球が xy 面(水平面)上を運動すると見なせる一般の場合を考える。このとき，時刻 t において小球が位置 $\overrightarrow{r}(t) = (x(t),\ y(t))$ にいるときの振り子の復元力を考える。この振り子を真上から見たのが図１―５である。このとき，小球の受ける力の x 成分，y 成分はそれぞれ f_x = $\boxed{(16)}$ ，f_y = $\boxed{(17)}$ で与えられる。これより小球の加速度の x 成分および y 成分はそれぞれ a_x = $\boxed{(18)}$ ，a_y = $\boxed{(19)}$ で与えられる。

この振り子の運動方程式を考えよう。問Ⅰで考えたように，同じ運動方程式からは同じ運動が生じることから，小球の x 座標と y 座標は，それぞれ図１―６で示されるような水平面上の２つの独立なバネの単振動と同じように振る舞うことがわかる。

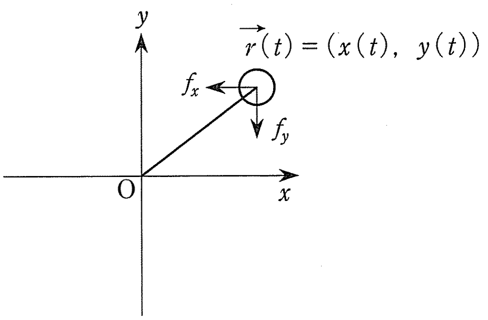

図１―５

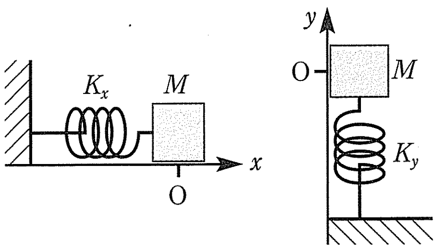

図１―６

(16)，(17)，(18)，(19)の解答群：

① $\dfrac{1}{2}\dfrac{Mg}{L}x(t)^2$　② $\dfrac{1}{2}\dfrac{Mg}{L}y(t)^2$　③ $-\dfrac{Mg}{L}x(t)$

④ $-\dfrac{Mg}{L}y(t)$　⑤ $Mgx(t)$　⑥ $Mgy(t)$

⑦ $-\dfrac{g}{L}x(t)$　⑧ $-\dfrac{g}{L}y(t)$　⑨ Mg

⓪ 0

したがって，時刻 $t=0$ において小球が位置 $\vec{r}=(R,\ 0)$ にあり，その速度が $\vec{v}=(0,\ V)$ であったとき，その後，時刻 t における小球の位置座標は

$x(t)=$ $\boxed{(ア)}$ $\times$ $\boxed{(20)}$ ，$y(t)=$ $\boxed{(イ)}$ $\times$ $\boxed{(21)}$ で表される。$R\neq 0$ かつ $V\neq 0$ の場合，

$$\frac{x(t)^2}{(\boxed{(ア)})^2}+\frac{y(t)^2}{(\boxed{(イ)})^2}=1$$

が常に成り立つことから，小球の軌道は楕円軌道となり，その周期は $\boxed{(ウ)}$ である。

(20)，(21)の解答群：

① $\cos\left(\sqrt{\frac{L}{g}}\,t\right)$　② $\cos\left(\sqrt{\frac{g}{L}}\,t\right)$　③ $\cos\left(2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\,t\right)$

④ $\cos\left(\pi\sqrt{\frac{g}{L}}\,t\right)$　⑤ $\cos(\pi t)$　⑥ $\sin\left(\sqrt{\frac{L}{g}}\,t\right)$

⑦ $\sin\left(\sqrt{\frac{g}{L}}\,t\right)$　⑧ $\sin\left(2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\,t\right)$　⑨ $\sin\left(\pi\sqrt{\frac{g}{L}}\,t\right)$

⓪ $\sin(\pi t)$

2 以下の文章を読み，空欄(22)〜(29)にあてはまる最も適切な式，数値，または回路図をそれぞれの解答群から選び，**解答用紙(その1)**の該当する記号をマークし，空欄(ア)〜(エ)にあてはまる最も適切な式，または数値を**解答用紙(その2)**の該当する解答欄に書け。

図2—1のように，抵抗値$4R_0$の抵抗$\mathrm{R_1}$と内部抵抗値R_0の電流計および電源電圧がV_0で内部抵抗の無視できる電源をもちいて回路Aと回路Bをつくる。回路Bの抵抗$\mathrm{R_1}$に流れる電流の大きさは，回路Aの抵抗$\mathrm{R_1}$に流れる電流の大きさの $\boxed{(22)}$ 倍になる。このように，回路に電流計をつなぐと回路に流れる電流に影響をおよぼす。

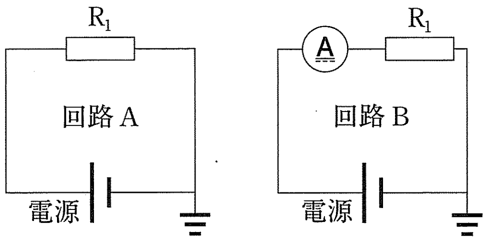

図2—1

(22)の解答群：

① $\frac{1}{5}$　② $\frac{1}{4}$　③ $\frac{4}{5}$　④ 1

⑤ $\frac{5}{4}$　⑥ 4　⑦ 5

そこで，回路Bに抵抗 R_2 を接続する。このとき抵抗 R_1 に流れる電流の大きさを回路Aの抵抗 R_1 に流れる電流の大きさの0.99倍にしたい。そのためには図2―2の回路図 $\boxed{(23)}$ のように抵抗値 $\boxed{(24)}$ $\times R_0$ の抵抗 R_2 を接続すればよい。このとき $\boxed{(23)}$ の電流計に流れる電流の大きさは $\boxed{(25)}$ $\times \dfrac{V_0}{R_0}$ である。

(23)の解答群：

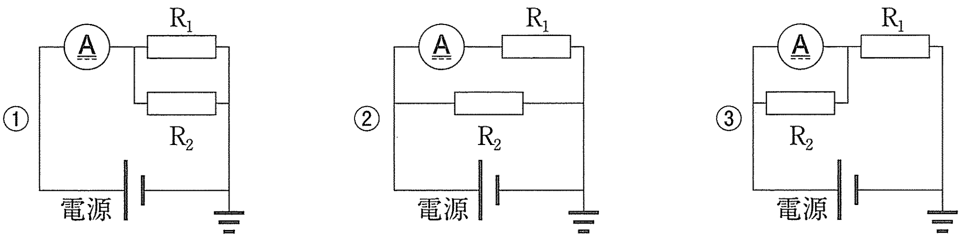

図2―2

(24)の解答群：

① $\dfrac{1}{100}$　② $\dfrac{1}{99}$　③ $\dfrac{4}{99}$　④ $\dfrac{4}{95}$　⑤ $\dfrac{1}{24}$

⑥ $\dfrac{1}{4}$　⑦ 24　⑧ 96　⑨ 101

(25)の解答群：

① $\dfrac{1}{104}$　② $\dfrac{1}{100}$　③ $\dfrac{1}{96}$　④ $\dfrac{1}{5}$　⑤ 96

⑥ 100　⑦ 104

次に図２―３のように電源電圧 V_1 の内部抵抗の無視できる電源と抵抗値が共に $4R_0$ の抵抗 R_1，R_3 を接続した回路をC，内部抵抗値が R_0 の電流計も接続した回路をDとする。回路Dの電流計を流れる電流の大きさが I_0 のとき，回路Dの抵抗 R_1 の両端の電位差(電圧降下)は I_0 を用いて [(ア)] となり，電流計で電圧を見積もることができる。しかし，この電圧は電流計のない回路Cの抵抗 R_1 の両端の電圧の [(26)] 倍になる。

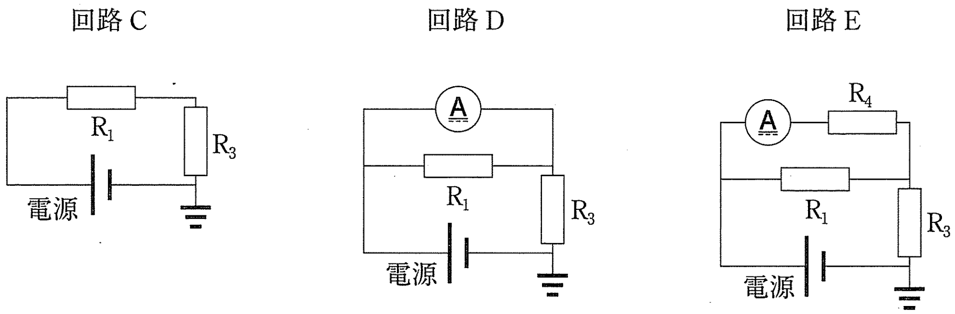

図２―３

電流計には電流の測定範囲があるため，測定できる電圧には上限がある。そこで，回路Dに抵抗 R_4 を接続して回路Eをつくる。回路Dで測定できる抵抗 R_1 の両端の最大電圧が V_{max} のとき，回路Eの抵抗 R_4 の抵抗値を [(27)] $\times R_0$ にすると，回路Eで測定できる抵抗 R_1 の両端の最大電圧は $50\,V_{\mathrm{max}}$ になる。このとき，回路Eにおける抵抗 R_1 の両端の電圧は，電流計のない回路Cの抵抗 R_1 の両端の電圧の [(イ)] 倍になる。

(26)の解答群：

① $\frac{1}{6}$　② $\frac{1}{5}$　③ $\frac{1}{4}$　④ $\frac{1}{3}$　⑤ $\frac{1}{2}$

⑥ 1　⑦ $\frac{4}{5}$　⑧ $\frac{5}{6}$

⑵7)の解答群：

① 1　　② 46　　③ 49　　④ 96　　⑤ 99

⑥ $\frac{101}{100}$　　⑦ $\frac{1}{50}$　　⑧ 104

豆電球は電流を流すと，その温度が上昇して抵抗値が変化する。豆電球Mを流れる電流の大きさI_2と豆電球Mの両端の電圧V_2を豆電球の温度が一定になった後で測ったところ，測定する範囲内では

$$I_2^2[\mathrm{A}^2] = 0.04[\mathrm{A}^2/\mathrm{V}] \times V_2[\mathrm{V}]$$

と表すことができた。この豆電球Mの消費電力は，豆電球に流れる電流を2倍にすると $\boxed{(28)}$ 倍になり，豆電球に加わる電圧を2倍にすると $\boxed{(29)}$ 倍になる。内部抵抗の無視できる電源と二つの豆電球Mと内部抵抗5.0 Ωの電流計を接続して図2―4の回路をつくる。電流計が0.4 Aを示すときは，電源の電圧は $\boxed{(ウ)}$ Vである。

(28)，(29)の解答群：

① $\frac{1}{4}$　② $\frac{1}{2}$　③ $\frac{\sqrt{2}}{2}$
④ $\sqrt{2}$　⑤ 2　⑥ $2\sqrt{2}$
⑦ 4　⑧ $4\sqrt{2}$　⑨ 8

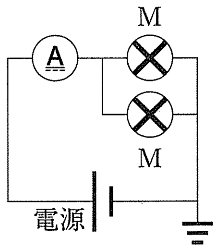

図2―4

図2―5のように電源と7.5 Ωの抵抗と豆電球Mをつないで回路をつくる。電源の電圧が1.0 Vのとき，豆電球Mに流れる電流の大きさは $\boxed{(エ)}$ Aである。

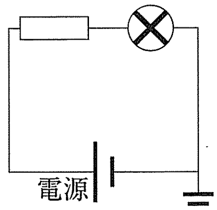

図2―5

<余　　　白>

3 次の文章を読み，(30)から(41)の空欄に入る最も適切な文，語句，式を以下の選択肢から選び，**解答用紙（その１）**の該当する記号をマークせよ。(ア)と(イ)の空欄に入る最も適切な選択肢の記号，(i)から(iv)の空欄にはいる式または数値，また問のグラフを**解答用紙（その３）**の該当する解答欄に記入せよ。

図３―１のような密封された円筒容器と壁からなる実験装置がある。円筒容器は二つの端面を除き熱をとおさず，壁は常に端面と平行で滑らかに動くことができ熱を通さず円筒容器内を左右の領域L，Rに分ける。端面は熱をとおす。それぞれの領域には同じ種類の気体が入っている。この実験装置は常に一定の温度T_Aに保たれた実験室内にあり，最初，円筒容器内のそれぞれの領域内の気体も同じ温度であり，領域L，Rの体積，圧力は等しくそれぞれV_A，p_Aであった。この状態をAとする。

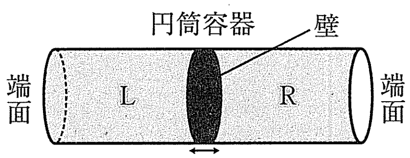

図３―１

この後，この円筒容器の端面を断熱材で囲み，壁をわずかに左に動かした。このとき，L，R内の気体は壁からそれぞれ [(30)]，[(31)] の仕事をされる。それにより，L，R内の気体の温度はT_Aからそれぞれ [(32)]，[(33)]，L，R内の圧力はp_Aからそれぞれ [(34)]，[(35)]。この状態から壁をさらに左に動かすには壁に [(36)]。

壁をさらに左へゆっくり動かし，Lの体積が$V_{BL} = 0.5\,V_A$，Rの体積が$V_{BR} = 1.5\,V_A$になったところで壁を固定した。このとき，L，Rの温度はそれぞれT_{BL}，T_{BR}，圧力はそれぞれp_{BL}，p_{BR}となった。この状態をBとする。図３―２の圧力pと体積VのグラフにAでの気体の状態を表す点A，Bでの領域L，Rの気体の状態を表す点BL，BRおよび，領域L，Rの気体がそれぞれAからBへ至る過程が記してある。AからBに至る過程の間に壁がL，R内の気体にした全仕事は [(37)] であり，$T_{BL} - T_A$と$T_{BR} - T_A$の間には [(ア)] の関係がある。

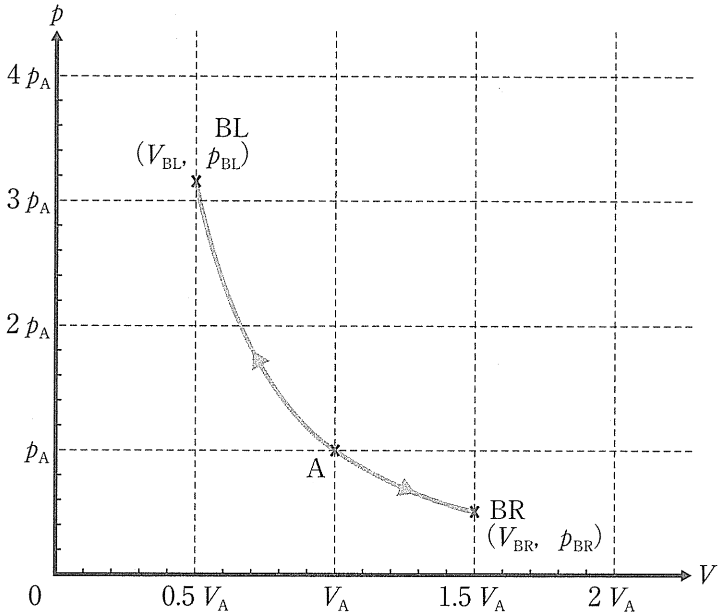

図3―2

(ア)の選択肢

1. $T_{BL} - T_A > T_{BR} - T_A > 0$
2. $T_{BR} - T_A > T_{BL} - T_A > 0$
3. $T_{BR} - T_A = T_{BL} - T_A > 0$
4. $T_A - T_{BL} > T_A - T_{BR} > 0$
5. $T_A - T_{BR} > T_A - T_{BL} > 0$
6. $T_A - T_{BR} = T_A - T_{BL} > 0$
7. $T_{BL} - T_A > T_A - T_{BR} > 0$
8. $T_{BR} - T_A > T_A - T_{BL} > 0$
9. $T_{BR} - T_A = T_A - T_{BL} > 0$
10. $T_A - T_{BR} = T_{BL} - T_A > 0$

次に壁を固定したまま円筒容器端面の断熱材を除いたところ，L，Rの温度はゆっくり変化し，最終的にそれぞれ T_{CL}，T_{CR}，圧力はそれぞれ p_{CL}，p_{CR} となった。この状態をCとする。$p_{CL}-p_{BL}$，$p_{CR}-p_{BR}$ はそれぞれ $\boxed{(38)}$，$\boxed{(39)}$ であり，$\dfrac{p_{CL}}{p_A}=\boxed{\text{(i)}}$，$\dfrac{p_{CR}}{p_A}=\boxed{\text{(ii)}}$ の関係がある。

状態Cから出発し壁をゆっくりと右に移動していき，領域Lと領域Rの体積が等しくなったときに壁を再び固定した。この状態をDとする。DでのL，Rの温度を T_D とし，圧力はそれぞれ p_{DL}，p_{DR} とすると，

$\dfrac{p_{DL}}{p_A}=\boxed{\text{(iii)}}$，$\dfrac{p_{DR}}{p_A}=\boxed{\text{(iv)}}$ の関係がある。CからDに至る過程で壁がL，R内の気体にした全仕事は $\boxed{(40)}$，L，R内の気体が外部からもらった全熱量は $\boxed{(41)}$ である。状態A，B，C，Dのそれぞれにおける領域LとRの内部エネルギーの和，U_A，U_B，U_C，U_D の間には $\boxed{(イ)}$ の関係がある。

BからC，Dに至るL，Rの気体の状態の過程を**解答用紙(その3)**図3―3の $p-V$ 図に記入せよ。C，DでのL，Rの気体の状態を表す点CL，CR，DL，DRも明記すること。

(イ)の選択肢

1．$U_A=U_B=U_C=U_D$
2．$U_A<U_B=U_C=U_D$
3．$U_A=U_B<U_C=U_D$
4．$U_A=U_B=U_C<U_D$
5．$U_B<U_C=U_D=U_A$
6．$U_B=U_C<U_D=U_A$
7．$U_B=U_C=U_D<U_A$
8．$U_A<U_C<U_D=U_B$
9．$U_A=U_C=U_D<U_B$
10．$U_A<U_B<U_C<U_D$
11．$U_A=U_B<U_C<U_D$
12．$U_A<U_B=U_C<U_D$
13．$U_A<U_B<U_C=U_D$

(30), (31), (37), (38), (39), (40), (41)の選択肢

① 正　　② 負　　③ 0

(32), (33), (34), (35)の選択肢

① 高くなる　　② 低くなる　　③ 変わらない

(36)の選択肢

① 右向きの力を加えなければならない

② 左向きの力を加えなければならない

③ 力を加える必要はない