物　　理

注　意

1. 問題は全部で 22 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)～(15)にあてはまる最も適切な数値や式をそれぞれ解答群から選び，**解答用紙(その１)**の該当する記号をマークせよ。

図１―１に示すように，なめらかな水平面上に x 軸をとり，$x = \ell\,(>0)$ の位置に x 軸に垂直に板を固定した。原点Ｏ($x = 0$)の付近には x 軸に沿って動く質量 M のハンマーがある。さらに，原点Ｏに大きさの無視できる質量 m の小球を置いて静止させた。最初，ハンマーは $x < 0$ の位置にあり，小球とハンマーは離れていた。以下では，小球は x 軸に沿って運動するものとする。

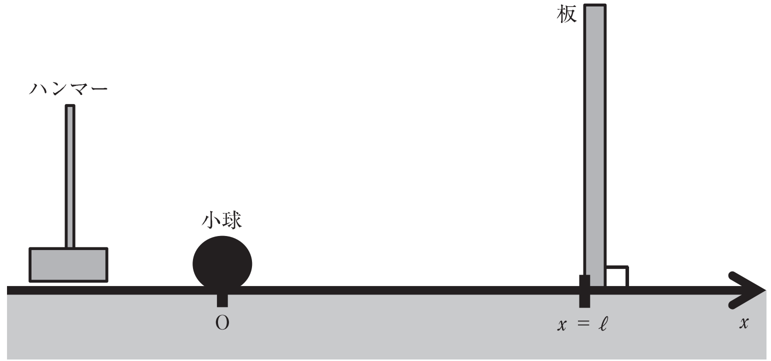

図１―１

［１―Ｉ］

ハンマーが動き，時刻 $t = 0$ で，原点Ｏにてハンマーが小球に弾性衝突した。小球と衝突する直前のハンマーの速度は U_0(ただし $U_0 > 0$)であった。ハンマーと小球の衝突直後の速度を，それぞれ U_1，v_1 とすると，ハンマーと小球の間の反発係数(はね返り係数)が１であることから，$U_1 - v_1 = \boxed{(1)} \times U_0$ となる。さらに，衝突前後で運動量保存の法則が成り立つことから，$v_1 = \boxed{(2)} \times \boxed{(3)} \times U_0$ となる。

空欄(1)，(2)に対する解答群

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

⑤ 0　⑥ $\frac{1}{2}$　⑦ 1　⑧ $\frac{3}{2}$

⑨ 2　⓪ 3

空欄(3)に対する解答群

① $\frac{M+m}{M}$　② $\frac{M-m}{M}$　③ $\frac{M^2+m^2}{M^2}$

④ $\frac{M^2-m^2}{M^2}$　⑤ $\left(\frac{M+m}{M}\right)^2$　⑥ $\frac{M}{M+m}$

⑦ $\frac{M}{M-m}$　⑧ $\frac{M^2}{M^2+m^2}$　⑨ $\frac{M^2}{M^2-m^2}$

⓪ $\left(\frac{M}{M+m}\right)^2$

以下では M は m よりも極めて大きいとする。このとき，$\boxed{(3)}$ $= 1$ と近似できるので，$v_1 = \boxed{(2)} \times U_0$ となる。

その後，小球は x 軸上を動き，板と弾性衝突した。衝突直後の小球の速度は $v'_1 = \boxed{(4)}$ となる。この後，小球は原点 O に戻った。小球が「原点 O →板→原点 O」という 1 往復に要した時間は $\varDelta T_1 = \boxed{(5)} \times \frac{\ell}{U_0}$ であった。

時刻 $t = 0$ でのハンマーと小球の衝突後，ハンマーは一度 $x < 0$ の位置に戻り，その後，再びちょうど原点 O において速度 U_0 で小球と弾性衝突するように動いた。そのため，小球は原点 O において速度 U_0 で動くハンマーと再び弾性衝突し，2 往復目に入った。M は m よりも極めて大きいため，$v_1 = \boxed{(2)} \times U_0$ と同様の近似を用いることができ，衝突前後でハンマーの速度は変わらないとできる。このことから，衝突直後の小球の速度 v_2 は，衝突直前の小球の速度 v'_1 とハンマーの速度 U_0 を用いて

$$v_2 = \boxed{(6)} \qquad \cdots\cdots \quad (1-1)$$

と書ける。つまり，ハンマーから見て衝突前後で小球の速度の大きさは変わらず，速度の符号が反転している。(1―1)式に $\boxed{(4)}$ の結果などを代入すると，$v_2 = \boxed{(7)} \times U_0$ となる。この後，小球は再び板と弾性衝突したあと原点 O に戻った。小球の「原点 O →板→原点 O」の 2 往復目に要した時間を $\varDelta T_2$ とすると，小球が 2 往復目の終わりに原点 O に戻る時刻 t_2 は，

$t_2 = \varDelta T_1 + \varDelta T_2 = \boxed{(8)} \times \frac{\ell}{U_0}$ となる。

空欄(4)に対する解答群

① $-2v_1$　② $-v_1$　③ $-\frac{1}{2}v_1$　④ 0　⑤ $\frac{1}{8}v_1$

⑥ $\frac{1}{4}v_1$　⑦ $\frac{1}{2}v_1$　⑧ v_1　⑨ $\frac{3}{2}v_1$　⓪ $2v_1$

空欄(5)に対する解答群

① $\frac{1}{8}$　② $\frac{1}{4}$　③ $\frac{3}{8}$　④ $\frac{1}{2}$　⑤ $\frac{5}{8}$

⑥ $\frac{3}{4}$　⑦ $\frac{7}{8}$　⑧ 1　⑨ $\frac{9}{8}$　⓪ $\frac{3}{2}$

空欄(6)に対する解答群

① v'_1+U_0　② v'_1-U_0　③ v'_1+2U_0　④ v'_1-2U_0

⑤ $\sqrt{v'_1U_0}$　⑥ $-v'_1+U_0$　⑦ $-v'_1-U_0$　⑧ $-v'_1+2U_0$

⑨ $-v'_1-2U_0$　⓪ $-\sqrt{v'_1U_0}$

空欄(7)に対する解答群

① -4　② -3　③ -2　④ -1　⑤ 0

⑥ 1　⑦ 2　⑧ 3　⑨ 4　⓪ 5

空欄(8)に対する解答群

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

⑥ $\frac{3}{2}$　⑦ $\frac{7}{4}$　⑧ 2　⑨ $\frac{9}{4}$　⓪ $\frac{5}{2}$

［1―Ⅱ］

板の固定をはずし，図1―2に示すように，板を x 軸に沿って一定速度 $-U_0$ で動くようにした。時刻 $t=0$ で板は $x=\ell$ の位置にあった。以下，板と小球は常に弾性衝突をするものとし，さらに，板の質量は小球の質量 m に比べて極めて大きいため，板の速度は小球と衝突しても変わらず，常に $-U_0$ のままであるとする。［1―Ⅰ］と同様に，M は m よりも極めて大きく，また，ハンマーは常に小球と原点Oで速度 U_0 で衝突するように x 軸に沿って動く。

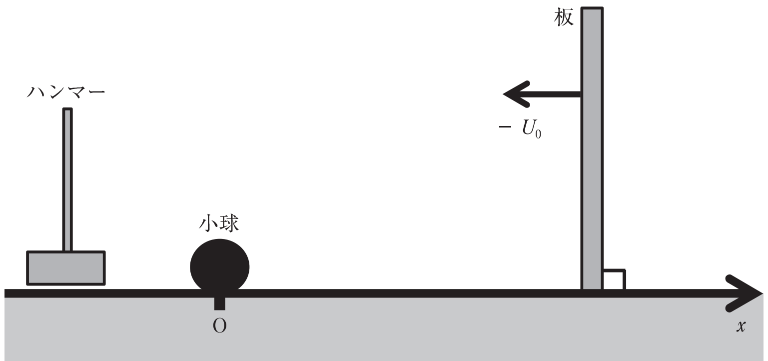

図1―2

［1―Ⅰ］と同様に，1往復目，小球は時刻 $t=0$ で原点Oから速度 $v_1=$ $\boxed{(2)}$ $\times U_0$ で動き始めた。その後，小球と板は弾性衝突した。小球と板が最初に弾性衝突した位置の x 座標は，$x_1=$ $\boxed{(9)}$ $\times\ell$ となる。この弾性衝突の直後の小球の速度は $v'_1=$ $\boxed{(10)}$ $\times U_0$ となる。$v'_1<0$ となるので，小球は原点Oに戻る。このとき，小球の「原点O→板→原点O」の1往復に要する時間は，$\Delta T_1=\frac{x_1}{v_1}+\frac{x_1}{|v'_1|}=$ $\boxed{(11)}$ $\times\frac{\ell}{U_0}$ となる。

空欄(9)に対する解答群

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

⑥ $\frac{1}{5}$　⑦ $\frac{2}{5}$　⑧ $\frac{3}{5}$　⑨ $\frac{4}{5}$　⓪ $\frac{1}{6}$

空欄(10)に対する解答群

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

⑥ -2　⑦ -3　⑧ -4　⑨ -5　⓪ -6

空欄(11)に対する解答群

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

⑥ $\frac{1}{5}$　⑦ $\frac{2}{5}$　⑧ $\frac{3}{5}$　⑨ $\frac{4}{5}$　⓪ $\frac{1}{6}$

1往復目の終わりに速度U_0で動くハンマーと原点Oで時刻$t_1 = \Delta T_1$で弾性衝突した小球は，衝突直後（つまり，2往復目の開始時）には速度$v_2 = \boxed{(12)} \times U_0$を持つ。2往復目に入った小球の原点Oから板に衝突するまでの，時刻tでの小球のx座標$X(t)$が，

$$X(t) = v_2 \times (t - t_1)$$

と書けることに注意しよう。すると，小球が板と2度目の弾性衝突をする位置のx座標は$x_2 = \boxed{(13)} \times \ell$となる。板との衝突直後の小球の速度$v_2'$は$v_2' = \boxed{(14)} \times U_0$となる。従って，この2往復目の「原点O→板→原点O」の小球の移動に要する時間をΔT_2とすると，小球が2往復目の終わりに原点Oに戻る時刻は，$t_2 = \Delta T_1 + \Delta T_2 = \boxed{(15)} \times \frac{\ell}{U_0}$となる。

空欄(12)に対する解答群

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

⑥ 3　⑦ 4　⑧ 5　⑨ 6　⓪ 7

空欄(13)に対する解答群

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

⑥ $\frac{3}{8}$　⑦ $\frac{5}{8}$　⑧ $\frac{1}{9}$　⑨ $\frac{7}{9}$　⓪ 1

空欄(14)に対する解答群

① -8　② -4　③ -2　④ -1　⑤ $-\frac{1}{2}$

⑥ $\frac{1}{2}$　⑦ 1　⑧ 2　⑨ 4　⓪ 8

空欄(15)に対する解答群

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

⑥ $\frac{5}{8}$　⑦ $\frac{7}{8}$　⑧ $\frac{1}{9}$　⑨ $\frac{5}{9}$　⓪ $\frac{7}{9}$

＜余　　白＞

2 次の文章を読み，空欄(16)～(28)にあてはまるもっとも適切な式，数値，または文をそれぞれの解答群より選び，**解答用紙（その１）**の該当する記号をマークせよ。また，空欄(ア)～(オ)に当てはまるもっとも適切な式，または数値を**解答用紙（その２）**の該当する欄に記入せよ。長さの単位は[m]，電流の単位は[A]であり，本問に現れる他の物理量の単位はこれらの単位を組み合わせて表される。

曲がった導線を流れる電流が作る磁界（磁場）を表す式を求めよう。そのためまずは直線電流がある点に作る磁界を考える。図２―１のように x 軸上にある無限に長い直線の導線に大きさ I[A]の電流を正の向きに流すと，導線から距離 ℓ [m]の点 a には次の式でその強さ H_{a} が表される磁界 $\overrightarrow{H_{\mathrm{a}}}$[A/m]ができ，その向きは紙面裏から表に向かう向きとなる。

$$H_{\mathrm{a}} = \frac{I}{2\pi\ell} \qquad (2―1)$$

図２―１のように x 軸と点 a を含む面が $x-y$ 平面となるように y 軸を定め，紙面裏から表に向かう向きを z 軸正の向きとする。$\overrightarrow{H_{\mathrm{a}}}$[A/m] の向きは z 軸正の向きとなる。

この直線電流を十分短い長さ Δx[m] の微小な区間に分割し，それぞれの区間の電流が点 a の位置に作る磁界を考える。これらの磁界をすべて足し合わせれば直線電流の作る磁界となる。この微小区間の作る磁界は電流などの物理量との単純な関係から与えられるとして，この磁界を物理的な考察から求めよう。図の微小区間内の点を b とし，点 b から点 a に向かう向きのある線分（ベクトル）を $\overrightarrow{\mathrm{ba}}$ と記す。他も同様である。

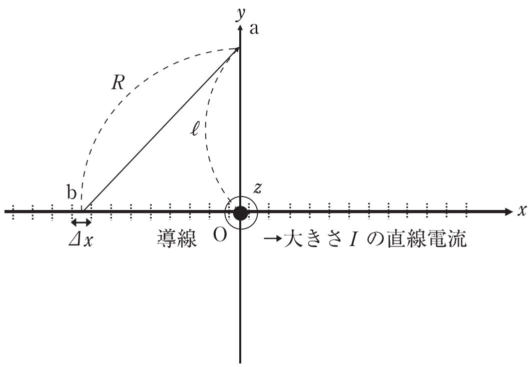

図 2 ― 1

点 b を含む微小区間の電流が点 a の位置に作る磁界 $\vec{H}_{\mathrm{ba}}$[A/m]を考える。微小区間の電流の向きと大きさは導線上の微小区間の位置によらず一定である。$\vec{H}_{\mathrm{ba}}$ を決める物理量は，電流の向きと大きさ，$\overrightarrow{\mathrm{ba}}$ の向きと大きさ R[m]，微小区間の長さ Δx[m]，直線電流の流れる導線と点 a との距離 ℓ であると考えられる。

[2 ― I]

$\vec{H}_{\mathrm{ba}}$ の向きを決めよう。ここで与えられている向きは電流の向きと $\overrightarrow{\mathrm{ba}}$ の向きしかないことを考えると，候補となる向きは次のあからかの 6 つである。

あ 電流の向き

い 電流の逆向き

う $\overrightarrow{\mathrm{ba}}$ の向き

え $\overrightarrow{\mathrm{ba}}$ の逆向き

お 電流と $\overrightarrow{\mathrm{ba}}$ を含む平面に直交し電流の向きから $\overrightarrow{\mathrm{ba}}$ の向きに右ネジを回したときにネジが進む向き，すなわち図 2 ― 1 で z 軸正の向き

か おの逆向き(z 軸負の向き)

である。この 6 つの向きのうち，あ，い，う，えは直線電流上の微小区間の位置によらず常に $\boxed{(16)}$ 。よって $\vec{H}_{\mathrm{ba}}$ の向きがこれらのいずれかであるとした場合，微小区間を流れる電流が点 a に作る磁界をすべて足し合わせた磁界は $\boxed{(17)}$ 。一方，すべての微小区間を流れる電流が作る磁界を足し合わせると直線電流の作る磁界 $\vec{H}_{\mathrm{a}}$ となる。よって，$\vec{H}_{\mathrm{ba}}$ の向きは $\boxed{(18)}$ のいずれかである。直線電流の作る磁界 $\vec{H}_{\mathrm{a}}$ との比較から $\vec{H}_{\mathrm{ba}}$ の向きは $\boxed{(19)}$ と決まる。

⒃の解答群

① $x-y$ 平面内にある

② $x-y$ 平面に直交する

③ $x-y$ 平面内には無いが，$x-y$ 平面と直交しない

⒄の解答群

① z 軸方向の成分を持つ　　② z 軸方向の成分を持たない

⒅の解答群

① あ，い　　② う，え

③ お，か　　④ あ，い，う，え

⒆の解答群

① あ　② い　③ う　④ え　⑤ お　⑥ か

［２―Ⅱ］

次に，磁界 $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ba}}$[A/m]の強さを考えよう。直線電流の流れる導線から点 a までの距離 ℓ [m]が有限の場合は電流と点 a を含む平面は一通りに決まる。しかし $\ell=0$ とすると点 a は導線上にあり，電流と $\overrightarrow{\mathrm{ba}}$ の向きは同じ，または逆向きとなる。この場合，電流と点 a を含む平面は一通りには決まらず，その平面に直交する向きも決まらない。$\overrightarrow{H}_{\mathrm{ba}}$ の強さが有限ならばその向きも決まらねばならないが，その向きが決まらない。従って $\ell=0$ の場合，点 a の微小区間の電流の作る磁界 $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ba}}$[A/m]の強さは 0 となると考えられる。この条件を満たす最も簡単な関係は，$\overrightarrow{H}_{\mathrm{ba}}$ の強さが ℓ に比例することである。この関係が成り立つとしよう。各微小区間が作る磁界をすべて足し合わせたものが直線電流の作る磁界 $\overrightarrow{H}_{\mathrm{a}}$ である。先に記した $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ba}}$ を決める物理量を考え，式（２―１）と比較すると，$\overrightarrow{H}_{\mathrm{ba}}$ の強さは，

$$c\,I^{p}\,\ell\,R^{q}\,\Delta x \qquad （２―２）$$

と表されると考えられる。ここで c は単位をもたない比例定数，p，q は実数の定数である。各微小区間の電流が点 a に作る磁界をすべて足し合わせれば式（２―１）となるので，式（２―１）と式（２―２）は同じ単位を持つ。これより $p=$ $\boxed{(ア)}$ ，$q=$ $\boxed{(イ)}$ となる。この q の値を使うと Δx が十分小さいとき，

$$(R^{q}\Delta x)\text{のすべての区間についての和} = \frac{2}{\ell^{2}} \qquad （２―３）$$

となることが数学的にわかっている。これをもちいると，式（２―２）をすべての区間について和をとった結果と式（２―１）より，$c=$ $\boxed{(ウ)}$ と決まる。これより $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ba}}$ の向きは $\boxed{⒆}$ ，その強さは $\boxed{⒇}$ と求まる。

⒇ の解答群

① $\dfrac{I}{2\pi}\dfrac{\ell}{R}\varDelta x$ ② $\dfrac{I}{2\pi}\dfrac{\ell}{R^2}\varDelta x$ ③ $\dfrac{I}{2\pi}\dfrac{\ell}{R^3}\varDelta x$ ④ $\dfrac{I^2}{2\pi}\dfrac{\ell}{R}\varDelta x$

⑤ $\dfrac{I^2}{2\pi}\dfrac{\ell}{R^2}\varDelta x$ ⑥ $\dfrac{I^2}{2\pi}\dfrac{\ell}{R^3}\varDelta x$ ⑦ $\dfrac{I}{4\pi}\dfrac{\ell}{R}\varDelta x$ ⑧ $\dfrac{I}{4\pi}\dfrac{\ell}{R^2}\varDelta x$

⑨ $\dfrac{I}{4\pi}\dfrac{\ell}{R^3}\varDelta x$ ⓪ $\dfrac{I^2}{4\pi}\dfrac{\ell}{R}\varDelta x$ ⓐ $\dfrac{I^2}{4\pi}\dfrac{\ell}{R^2}\varDelta x$ ⓑ $\dfrac{I^2}{4\pi}\dfrac{\ell}{R^3}\varDelta x$

［2―Ⅲ］

次にこの結果を用いて図2―2のように半径 s［m］の円形の導線に電流を流す場合の磁界を求めよう。この円の中心軸上にあり円を含む平面から距離 y［m］の位置にある点dにできる磁界を考える。円の中心を原点とし図2―2のように x 軸と y 軸をとる。

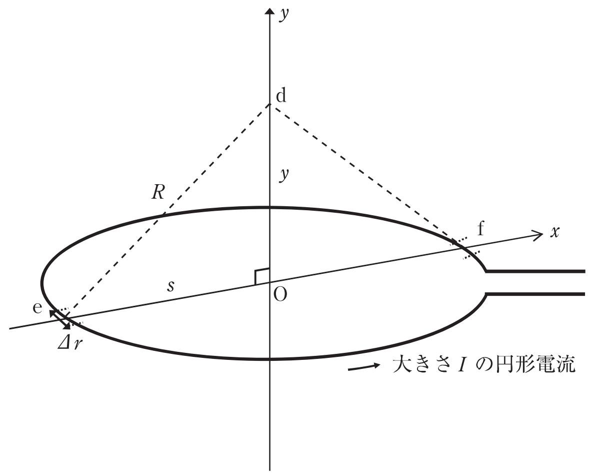

図2―2

円形電流の向きは図に示す向きとする。直線電流の場合と同じように円形電流を長さ $\varDelta r$［m］の微小区間に分割すると，各区間を流れる電流は直線電流の場合の微小区間を流れる電流と同じと見なせる。図2―2の x 軸上にある点eを含む微小区間の電流が点dに作る磁界 $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ed}}$［A/m］の向きは，直線電流の微小区間の電流が作る磁界をもとに考えると，微小区間の電流と $\overrightarrow{\mathrm{ed}}$ を含む平面に直交することがわかる。図2―2の $x-y$ 平面に対して図2―3に示される向きを考えると，$\overrightarrow{H}_{\mathrm{ed}}$ の向きは図2―3に示される $\boxed{(21)}$ の向きとなる。いま，点eと y 軸に対して対称な点fを考える。点fを含む微小区間の電流が点dにつくる磁界 $\overrightarrow{H}_{\mathrm{fd}}$ の強さは $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ed}}$ の強さと等しく，向きは図2－3に示される $\boxed{(22)}$ となる。従って $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ed}}$ と $\overrightarrow{H}_{\mathrm{fd}}$ の和は図2－3に示される $\boxed{(23)}$ の向きと一致する。よって

円形電流が点 d に作る磁界を考えるとき，その $\boxed{(23)}$ 方向の成分だけを考えれば良い。図２―２に示す $\overrightarrow{\mathrm{ed}}$ の大きさ R[m] は，$\boxed{(24)}$ と求まる。今の場合，直線電流の時の直線と磁界ができる位置の間の距離 ℓ[m]は，この R と等しくなる。これより $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ed}}$ の強さは($cI^p \times$ $\boxed{(25)}$ $\times \Delta r$)となる。一方，$\overrightarrow{H}_{\mathrm{ed}}$ の $\boxed{(23)}$ の向きに平行な成分の強さと $\overrightarrow{H}_{\mathrm{ed}}$ の強さの比は相似な三角形の

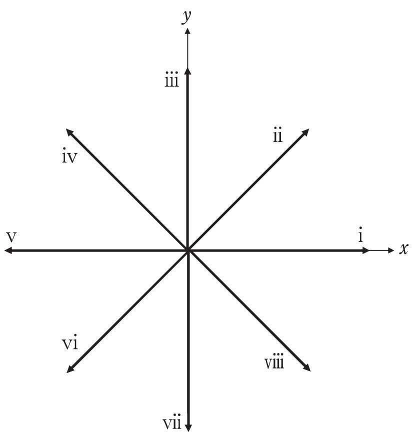

図２―３

条件から $\boxed{(26)}$ と等しくなる。よって，$\overrightarrow{H}_{\mathrm{ed}}$ の $\boxed{(23)}$ に平行な成分の強さは($cI^p \times$ $\boxed{(27)}$ $\times \Delta r$)と求まる。円形電流上の各点と点 d の間の距離は一定であり，各微小区間の長さ Δr を円形の導線についてすべて足すと $\boxed{(28)}$ である。各微小区間の電流が点 d に作る磁界をすべて足し合わせると円形の電流が点 d の位置に作る磁界が求まる。その向きは図２―３の $\boxed{(23)}$ であり，強さは $\boxed{(ウ)}$ の c の値を使い I，s，y で表すと $\boxed{(エ)}$ [A/m]となる。したがって円形電流の中心での磁界の強さは $\boxed{(オ)}$ [A/m]となる。

(21)，(22)，(23)の解答群

① i　② ii　③ iii　④ iv
⑤ v　⑥ vi　⑦ vii　⑧ viii

(24)，(25)，(26)，(27)の解答群

① $(s^2+y^2)^{3/2}$　② (s^2+y^2)　③ $(s^2+y^2)^{1/2}$
④ $(s^2+y^2)^{-1/2}$　⑤ $(s^2+y^2)^{-1}$　⑥ $(s^2+y^2)^{-3/2}$
⑦ $s(s^2+y^2)^{3/2}$　⑧ $s(s^2+y^2)$　⑨ $s(s^2+y^2)^{1/2}$
⓪ $s(s^2+y^2)^{-1/2}$　ⓐ $s(s^2+y^2)^{-1}$　ⓑ $s(s^2+y^2)^{-3/2}$

(28)の解答群

① s　② s^2　③ $2s$　④ $2s^2$
⑤ πs　⑥ πs^2　⑦ $2\pi s$　⑧ $2\pi s^2$

＜余　　白＞

3　以下の文章を読み，空欄(29)〜(38)に最も良くあてはまるものをそれぞれの解答群より選び，**解答用紙（その１）**の該当する記号をマークせよ。また問１から問３の最も適切な解答を**解答用紙（その２）**の解答欄に記入せよ。

図３―１のようなシリンダー，隔壁，およびピストンからなる装置を考える。シリンダーの断面積は S で，シリンダーの筒部は断熱性が良い。シリンダーの左の壁は熱伝導性が良く，図のように温度 $2T_0$ の恒温槽が設置されている。シリンダーの内部には断熱性の良い隔壁が置かれている。隔壁はシリンダー内をなめらかに動かすことができる。シリンダーの左の壁と隔壁との距離を x_1 とする。隔壁には内径の無視できる管が通っており，ここを気体はゆっくりと通過できる。図のように隔壁の右側にはピストンが置かれている。隔壁とピストンとの間の距離を x_2 とする。ピストンは熱伝導性が良く，温度 T_0 の恒温槽と接続されている。

シリンダー内部の気体の量は全部で１モルである。２つの恒温槽とシリンダー内部の気体との間の熱伝導性が良く，かつ隔壁を通る管は十分に細いため，気体がシリンダー内をゆっくりと移動する場合には隔壁の左右の領域にある気体の温度は常にそれぞれ $2T_0$，T_0 に保たれるものとする。

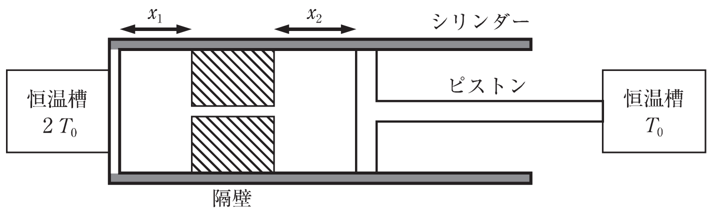

図３―１

最初，隔壁は $x_1 = 0$ の位置にあり，シリンダーの左の壁に密着していた。またピストンは $x_2 = l_0$ となる位置で固定されていた。このときの気体の状態を状態Ａと呼ぶ。状態Ａにおける気体の温度は T_0，体積は $V_0 = Sl_0$ であり，このときの圧力を p_0 とする。

ここから，ピストンの位置を固定したまま，隔壁をゆっくりと右に動かした。すなわち $x_1 + x_2 = l_0$ を保ったまま x_1 を増加させた。ちょうど $x_1 = x_2 = l_0/2$ としたときに，n モルの気体が隔壁の左へ移動し，移動した気体の温度は $2T_0$ となっている。隔壁の右に残った気体の温度は T_0 のままである。隔壁の左右は細い管でつながっているために気圧が等しいことに注意すると，$n =$ $\boxed{(29)}$ であり，またこのときの気圧は $\boxed{(30)}$ $\times p_0$ である。

さらに隔壁を右に動かしてピストンに密着させた。すなわち $x_1 = l_0$，$x_2 = 0$ とした。この状態を状態Bと呼ぶ。このときの気体の圧力は $\boxed{(31)}$ $\times p_0$ である。

状態Aから状態Bへ変化したときの内部エネルギーの変化を ΔU，気体が与えられた熱を Q，気体が外部から与えられた仕事を W とすると，$\boxed{(32)}$ である。

(29)，(30)，(31)，(33)，(35)，(38)の解答群

① 0	② 1	③ 2	④ 3
⑤ 1/2	⑥ 3/2	⑦ 5/2	⑧ 1/3
⑨ 2/3	⓪ 4/3	ⓐ 5/3	ⓑ 1/4
ⓒ 3/4	ⓓ 5/4	⊖ 7/4	

(32)，(34)の解答群

① $\Delta U = 0$ および $Q = W > 0$	② $\Delta U = 0$ および $Q = W < 0$
③ $\Delta U = 0$ および $Q = -W > 0$	④ $\Delta U = 0$ および $Q = -W < 0$
⑤ $Q = 0$ および $W = \Delta U > 0$	⑥ $Q = 0$ および $W = \Delta U < 0$
⑦ $Q = 0$ および $W = -\Delta U > 0$	⑧ $Q = 0$ および $W = -\Delta U < 0$
⑨ $W = 0$ および $\Delta U = Q > 0$	⓪ $W = 0$ および $\Delta U = Q < 0$
ⓐ $W = 0$ および $\Delta U = -Q > 0$	ⓑ $W = 0$ および $\Delta U = -Q < 0$

次に，ピストンは固定したまま隔壁を元の位置に戻して気体の状態を状態Aにした。ここから，隔壁を固定したのち，ピストンをゆっくりと右に動かした。すなわち，$x_1 = 0$ のまま x_2 を増加させた。このとき気体の温度は T_0 のままである。$x_2 = 2l_0$ となったときの状態を状態Cとする。このときの気体の圧力は $\boxed{(33)}$ $\times p_0$ である。

状態Aから状態Cへ変化したときの内部エネルギーの変化を ΔU，気体が与えられた熱を Q，気体が外部から与えられた仕事を W とすると，$\boxed{(34)}$ が成り立つ。

この状態から，さらにピストンを固定したまま隔壁を右に移動させ，$x_1 = 2l_0$，$x_2 = 0$ とした。気体の温度は $2T_0$ となった。この状態を状態Dとする。このときの気体の圧力は $\boxed{(35)}$ $\times p_0$ である。

ここで，この装置を用いて，気体の状態変化(サイクル)による熱機関として動作させることを考えよう。この熱機関における1サイクルは，(i)ピストンを固定して隔壁を動かす，(ii)隔壁を固定してピストンを動かす，(iii)ピストンと隔壁を密着させたまま動かす，のいずれかの動作によって気体の状態A，B，C，D間を適切な順番でゆっくりと変化させて力学的エネルギーを取り出すものである。

このときの状態の変化の様子を，縦軸に気体の圧力，横軸に気体の合計の体積をとった $p-V$ 図として表してみよう。図3―2では描き方の例として状態Xから状態Yへの変化が示されているので，これを参考にすること。

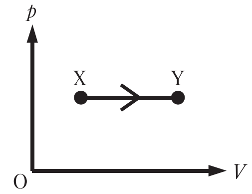

図3―2

問1　状態A，B，C，Dを$p-V$図に黒丸とアルファベットを用いて表せ。**解答用紙（その2）**の図3—3に記入せよ。

問2　この熱機関のサイクルを，図3—3の$p-V$図において状態を線で結んで表せ。熱機関として動作させるときの変化の向きを，図3—2の例にならって矢印で記入せよ。

この1サイクル中における状態の変化のうち，外部に仕事をしているのは $\boxed{(36)}$ である。その仕事をW_1とする。また外部から仕事をされているのは $\boxed{(37)}$ で，その仕事をW_2とする。ここで，W_1，W_2ともに正である。

問3　W_2は$p-V$図における図形の面積で表すことができる。この図形を**解答用紙（その2）**の図3—3に記入せよ。記入方法は，図3—4の例を参考にせよ。

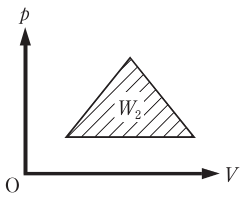

図3—4

このときW_1とW_2の間には$W_1/W_2 =$ $\boxed{(38)}$ が成り立つ。

(36)，(37)の解答群

① A→B	② A→C	③ A→D	④ B→A
⑤ B→C	⑥ B→D	⑦ C→A	⑧ C→B
⑨ C→D	⓪ D→A	ⓐ D→B	ⓑ D→C