物　　　理

注　意

1. 問題は全部で11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)～(10)にあてはまるもっとも適切な式を解答群から選び，**解答用紙（その１）**の該当する記号をマークせよ。また，空欄(i)～(v)にあてはまる適切な式，または数値を**解答用紙（その２）**の該当する解答欄に記せ。

長さℓの質量の無視できる伸び縮みしない糸の一端を支点Oに固定し，他端に質量mの小球をつける。最下点Pから速さV_0で小球を図１―１のようにxy平面内で動き出させる。鉛直下方に対する振れの角度をθとし，以下の問いに答えよ。ただし，重力加速度をgとし，空気抵抗は無視できるものとする。

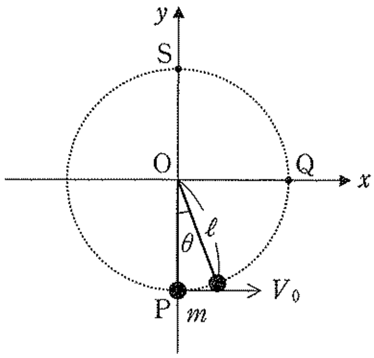

図１―１

糸がたるまずに小球が点Pを中心として運動するとき，糸の張力Tは重力の糸に平行な成分および遠心力とつりあっている。角度θにおける小球の速さをVとすると，遠心力の大きさは $\boxed{(1)}$ で表される。角度θが最大になったとき，張力Tの大きさは$T=$ $\boxed{(2)}$ となる。一方，点Pにおける位置エネルギーを0とし，点Pでの運動エネルギーと角度θが最大になったときの位置エネルギーの関係式 $\boxed{(i)}$ からTの大きさは$T=$ $\boxed{(3)}$ と表される。$V_0=$ $\boxed{(4)}$ のとき，角度θの最大値が90°となった。

(1)の解答群

① $\dfrac{V^2}{\ell}$　② $\dfrac{mV^2}{2}$　③ mV　④ $\dfrac{mV^2}{\ell}$

⑤ $\dfrac{mV}{\ell}$　⑥ $\dfrac{mV}{\ell}\sin\theta$　⑦ $\dfrac{mV}{\ell}\cos\theta$

(2)の解答群

① $m^2g\theta$　② $mg\theta$　③ $mg\sin\theta$　④ $mg\cos\theta$　⑤ $mg\tan\theta$

(3)の解答群

① $m\left(g-\dfrac{V_0{}^2}{\ell}\right)$　② $m\left(g-\dfrac{V_0{}^2}{2\,\ell}\right)$　③ $m\left(g-\dfrac{V_0{}^2}{3\,\ell}\right)$

④ $m\left(g-\dfrac{3\,V_0{}^2}{2\,\ell}\right)$　⑤ $m\left(g-\dfrac{2\,V_0{}^2}{\ell}\right)$　⑥ $m\left(g-\dfrac{3\,V_0{}^2}{\ell}\right)$

(4)の解答群

① $\sqrt{g\ell}$　② $\sqrt{2\,g\ell}$　③ $\sqrt{3\,g\ell}$

④ $\sqrt{5\,g\ell}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{g\ell}{2}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{g\ell}{5}}$

次に V_0 をさらに大きくしたところ，小球が O を中心とする円軌道を描くようになった。このときの V_0 の条件を求めよう。まず最上点 S での小球の速さを V_1 とすると，鉛直方向について遠心力と重力と張力 T がつりあっているので $T=$ $\boxed{\quad(5)\quad}$ とかける。さらに力学的エネルギーが保存されるので，V_1 は $V_1{}^2=$ $\boxed{\quad(6)\quad}$ と求まる。小球が円軌道を描くには糸がたるんではいけない。つねに $T\geqq 0$ が条件でなければならない。これより $V_0\geqq$ $\boxed{\quad(7)\quad}$ となる。

(5)の解答群

① $m\left(\dfrac{V_1{}^2}{2}-g\right)$　② $m(V_1{}^2-g)$　③ $2\,m\left(\dfrac{V_1{}^2}{\ell}-g\right)$

④ $m\left(\dfrac{V_1{}^2}{2\,\ell}-g\right)$　⑤ $m\left(\dfrac{V_1{}^2}{\ell}-g\right)$　⑥ $m\left(\dfrac{2\,V_1{}^2}{\ell}-g\right)$

(6)の解答群

① $V_0{}^2-2\dfrac{g\ell}{m}$　② $m(V_0{}^2-4\,g\ell)$　③ $m(V_0{}^2-2\,g\ell)$

④ $V_0{}^2$　⑤ $V_0{}^2-4\,g\ell$　⑥ $V_0{}^2-2\,g\ell$

(7)の解答群

① $\sqrt{g\ell}$　② $\sqrt{2\,g\ell}$　③ $\sqrt{3\,g\ell}$

④ $\sqrt{5\,g\ell}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{g\ell}{2}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{g\ell}{5}}$

次に，あるV_0のとき図1―2のように小球が点R($\theta = 120°$)，座標$(x,\ y) = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\ell,\ \frac{1}{2}\ell\right)$において，その糸がたるみ円軌道からはずれた。点Rでの小球の速さV_2は $\boxed{(8)}$ で，したがってV_0は $\boxed{(9)}$ であった。そして，小球は再び糸が張るまで放物線の軌道を描いた。小球が点Rにある時刻を$t=0$とすると，この軌道はtを用いて$x=$ $\boxed{(ii)}$，$y=$ $\boxed{(iii)}$ となる。y軸を通る時刻は$t=$ $\boxed{(10)}$ であり，このときの小球の座標は($\boxed{(iv)}$ ， $\boxed{(v)}$)である。

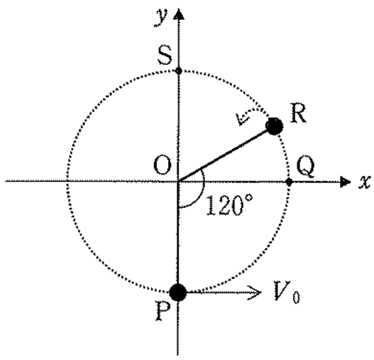

図1―2

(8)の解答群

① $\sqrt{g\ell}$　② $\sqrt{2g\ell}$　③ $\sqrt{3g\ell}$

④ $\sqrt{5g\ell}$　⑤ $\sqrt{\frac{g\ell}{2}}$　⑥ $\sqrt{\frac{7g\ell}{2}}$

(9)の解答群

① $\sqrt{\frac{g\ell}{2}}$　② $\sqrt{\frac{3g\ell}{2}}$　③ $\sqrt{\frac{5g\ell}{2}}$

④ $\sqrt{\frac{7g\ell}{2}}$　⑤ $\sqrt{\frac{g\ell}{3}}$　⑥ $\sqrt{\frac{2g\ell}{3}}$

(10)の解答群

① $\sqrt{\frac{2\ell}{g}}$　② $\sqrt{\frac{3\ell}{g}}$　③ $\sqrt{\frac{5\ell}{g}}$

④ $\sqrt{\frac{6\ell}{g}}$　⑤ $\sqrt{\frac{5\ell}{2g}}$　⑥ $\sqrt{\frac{7\ell}{2g}}$

<余　　白>

2 以下の文章を読み，空欄(11)～(23)にあてはまるもっとも適切な解答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。ただし導線は太さが無視でき，真空中におかれているものとする。真空の透磁率はμ_0で与えられる。(21 a)，(21 b)，(21 c)は組み合わせた解答群より選べ。

(A) 図２－１の様に，y軸方向におかれたじゅうぶん長い２本の導線ＷおよびＵがあり，それぞれには大きさI_1およびI_2の電流がy軸の正の方向に流れている。導線Ｕとx軸は点Q$(a,\ 0,\ 0)$(ただし$a > 0$)で交差している。この時，導線Ｕには導線Ｗが作る強さ$H_1 =$ $\boxed{(11)}$ の磁場により $\boxed{(12)}$ の力が働く。また，導線Ｕの点P$(a,\ b,\ 0)$(ただし$b > 0$)を中心とする長さdの部分が受ける力の大きさFは $\boxed{(13)}$ である。

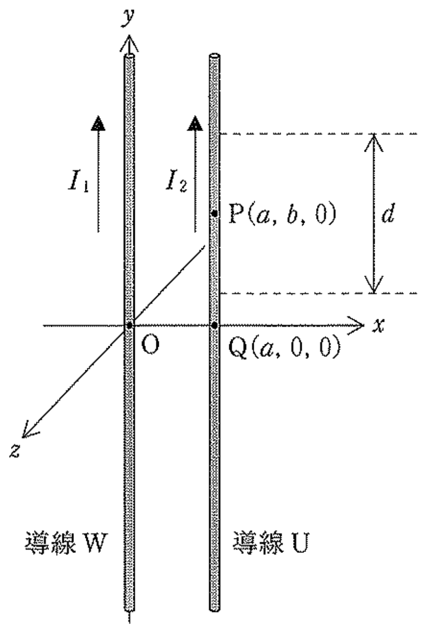

図２－１

(11)の解答群

① $\dfrac{I_1}{a}$　② $\dfrac{I_1}{\pi a}$　③ $\dfrac{I_1}{2\pi a}$　④ $\dfrac{I_1}{3\pi a}$　⑤ $\dfrac{I_2}{a}$

⑥ $\dfrac{I_2}{\pi a}$　⑦ $\dfrac{I_2}{2\pi a}$　⑧ $\dfrac{I_2}{3\pi a}$　⑨ $\dfrac{I_1}{\pi a^2}$　⓪ $\dfrac{I_2}{\pi a^2}$

(12)の解答群

① x 軸の正の向き　② x 軸の負の向き　③ y 軸の正の向き

④ y 軸の負の向き　⑤ z 軸の正の向き　⑥ z 軸の負の向き

(13)の解答群

① $\mu_0 I_1 H_1 d$　② $I_1 H_1 d$　③ $\mu_0 I_1 H_1$　④ $\dfrac{\mu_0 I_1 H_1}{d}$

⑤ $I_2 H_1 d$　⑥ $\mu_0 I_2 H_1$　⑦ $\dfrac{\mu_0 I_2 H_1}{d}$　⑧ $\dfrac{I_1 H_1 d}{\mu_0}$

⑨ $\dfrac{I_2 H_1 d}{\mu_0}$　⓪ $\mu_0 I_2 H_1 d$

(B) 図2―2の様に，y 軸方向におかれたじゅうぶん長い導線Wと回路を，回路の辺PQ，DJおよびGKが y 軸と平行に，辺PGが x 軸と平行に，そして辺QKが x 軸に沿うように並べる。また図の様に，回路には内部抵抗の無視できる起電力 V の電池E1，容量 C のコンデンサーC1，および抵抗値 R の抵抗R1とR2が接続してある。これらの電池，コンデンサー，および抵抗は回路に比べてじゅうぶんに小さくて大きさが無視できる。また，回路に流れている電流は時間によらない。

この場合，抵抗R1を流れる電流の大きさは $\boxed{(14)}$ であり，抵抗R2を流れる電流の大きさ I_{GK} は $\boxed{(15)}$ である。

これより，導線Wを y 軸の正方向に流れる大きさ I_1 の電流が回路のPQの部分につくる磁場によってPQが受ける力の大きさは $\boxed{(16)}$ であり，向きは $\boxed{(17)}$ である。同様にして，GKが受ける力の大きさは $\boxed{(18)}$ で，向きは $\boxed{(19)}$ である。さらに，回路中の点Dと点Jを結ぶ，抵抗R1とコンデンサC1を含む導線部分DJが受ける力の大きさは $\boxed{(20)}$ である。

一方，回路のPG上およびQK上の，導線Wから同じ距離はなれた微小部分に働く力をくらべると，力の大きさは $\boxed{(21\,a)}$ ，向きは互いに $\boxed{(21\,b)}$ である。したがって，回路のPGおよびQKに働く力の向きは $\boxed{(21\,c)}$ 。

これらのことから，回路に働く合力の向きは $\boxed{(22)}$ で，その大きさは $\boxed{(23)}$ である。

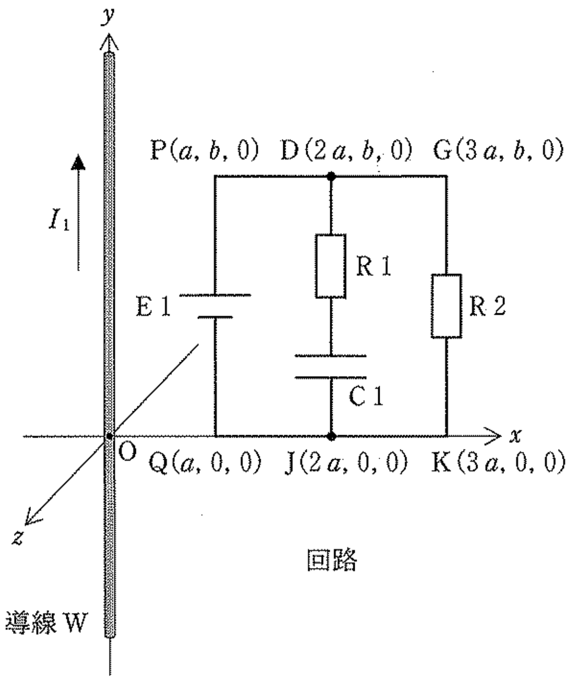

図2―2

(14)，(15)の解答群

① 0　② $\dfrac{V}{R}$　③ $\dfrac{V}{2R}$　④ $\dfrac{2V}{R}$　⑤ CV

⑥ $2CV$　⑦ $\dfrac{CV}{2}$

(16)，(18)，(20)，および(23)の解答群

① 0　② $\dfrac{\mu_0 I_1 I_{GK} b}{\pi a}$　③ $\dfrac{\mu_0 I_1 I_{GK} b}{\pi a^2}$　④ $\dfrac{\mu_0 I_1 I_{GK}}{2\pi a}$

⑤ $\dfrac{\mu_0 I_1 I_{GK} b}{2\pi a}$　⑥ $\dfrac{\mu_0 I_1 I_{GK} b}{a}$　⑦ $\dfrac{\mu_0 I_1 I_{GK} b}{3\pi a}$　⑧ $\dfrac{\mu_0 {I_1}^2 b}{2\pi a}$

⑨ $\dfrac{\mu_0 I_1 I_{GK} b}{6\pi a}$　⓪ $\dfrac{\mu_0 I_1 I_{GK} b}{4\pi a}$

(17)，(19)，(22)の解答群

① x 軸の正の向き　② x 軸の負の向き　③ y 軸の正の向き

④ y 軸の負の向き　⑤ z 軸の正の向き　⑥ z 軸の負の向き

解答群(21 a)，(21 b)，(21 c)の組み合わせ

① (a) 同じであり
(b) 同じ向き
(c) 両方とも y 軸の正の方向を向く

② (a) 互いに異なり
(b) 同じ向き
(c) 両方とも y 軸の負の方向を向く

③ (a) 同じであり
(b) 逆向き
(c) それぞれ y 軸の正および負の方向を向く

④ (a) 互いに異なり
(b) 逆向き
(c) それぞれ y 軸の正および負の方向を向く

⑤ (a) 同じであり
(b) 同じ向き
(c) 両方とも z 軸の正の方向を向く

⑥ (a) 互いに異なり
(b) 同じ向き
(c) 両方とも z 軸の負の方向を向く

⑦ (a) 同じであり
(b) 逆向き
(c) それぞれ z 軸の正および負の方向を向く

⑧ (a) 互いに異なり
(b) 逆向き
(c) それぞれ z 軸の正および負の方向を向く

⑨ (a) 同じであり
(b) 逆向き
(c) それぞれ z 軸の負および正の方向を向く

3 なめらかに動くピストンでシリンダー内の気体を閉じ込め，図３－１のように気体の状態をA→B→C→Aとゆっくり変化させた。このとき，以下の文章の空欄(24)～(34)にあてはまるもっとも適切な式または語句をそれぞれの解答群から選び，**解答用紙(その１)**に記された記号をマークせよ。また，設問(1)～(3)については，**解答用紙(その２)**の所定の欄に解答せよ。ただし，状態Aにおける気体の圧力を$2p_0$，内部エネルギーをU_0とし，気体の内部エネルギーは絶対温度に比例するものとする。また，ピストンの質量は無視できるものとする。

A→Bにおいて気体の圧力は常に一定だった。ピストンの断面積をSとすると，A→Bにおいて気体がピストンを押す力は $\boxed{(24)}$ であり，ピストンの移動距離は $\boxed{(25)}$ であるので，気体が外にする仕事は $\boxed{(26)}$ である。一方，状態Bにおける内部エネルギーは $\boxed{(27)}$ であるので，A→Bにおける内部エネルギーの変化は $\boxed{(28)}$ である。

(1) A→Bにおいて気体が外からもらう熱量を求めよ。

B→Cにおいて，気体が外にする仕事は $\boxed{(29)}$ であり，内部エネルギーの変化は $\boxed{(30)}$ であるので，A→B→Cにおいて，気体が外からもらう熱量は， $\boxed{(31)}$ となる。

C→Aにおいて，気体の圧力p，体積Vおよび絶対温度Tの関係を適切に示したものは， $\boxed{(32)}$ であり，内部エネルギーの変化は $\boxed{(33)}$ である。C→Aでは気体の体積が減少するので， $\boxed{(34)}$ 。

(2) C→Aにおいて気体が外からされる仕事をWとするとき，A→B→C→Aと一周したときに気体が外からもらう熱量を求めよ。

(3) 図３－１を参考にして，A→B→C→Aと一周したときの気体の圧力pと体積Vの関係を示すグラフを解答用紙(その２)の図３－２に示せ。ただし，状態A，B，Cの位置を必ず明示すること。

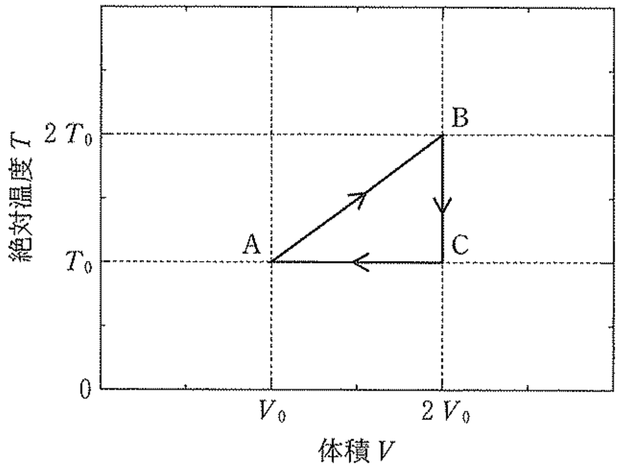

図3－1

解答群(24)

① p_0　② p_0S　③ p_0S^2　④ $\frac{p_0}{S}$　⑤ $2p_0$
⑥ $2p_0S$　⑦ $2p_0S^2$　⑧ $\frac{2p_0}{S}$　⑨ 0

解答群(25)

① V_0　② V_0S　③ V_0S^2　④ $\frac{V_0}{S}$　⑤ $2V_0$
⑥ $2V_0S$　⑦ $2V_0S^2$　⑧ $\frac{2V_0}{S}$　⑨ 0

解答群(26)および(29)

① p_0V_0　② p_0V_0S　③ $p_0V_0S^2$
④ $\frac{p_0V_0}{S}$　⑤ $2p_0V_0$　⑥ $2p_0V_0S$
⑦ $2p_0V_0S^2$　⑧ $\frac{2p_0V_0}{S}$　⑨ 0

解答群(27)，(28)，(30)および(33)

① U_0　② $2U_0$　③ $3U_0$　④ $4U_0$　⑤ $-U_0$
⑥ $-2U_0$　⑦ $-3U_0$　⑧ $-4U_0$　⑨ 0

解答群(31)

① $p_0V_0+U_0$　② $p_0V_0-U_0$　③ $-p_0V_0+U_0$

④ U_0　⑤ $-U_0$　⑥ $2p_0V_0-U_0$

⑦ p_0V_0　⑧ $2p_0V_0$　⑨ 0

解答群(32)

① $pV=$一定　② $VT=$一定　③ $Tp=$一定

④ $\frac{p}{V}=$一定　⑤ $\frac{V}{T}=$一定　⑥ $\frac{T}{p}=$一定

⑦ $\frac{pT}{V}=$一定　⑧ $\frac{TV}{p}=$一定　⑨ $\frac{pV^2}{T}=$一定

解答群(34)

① 気体は外から正の仕事をされて，正の熱をもらう

② 気体は外から負の仕事をされて，正の熱をもらう

③ 気体は外から正の仕事をされて，負の熱をもらう

④ 気体は外から負の仕事をされて，負の熱をもらう

⑤ 気体は外から正の仕事をされて，内部エネルギーが増大する

⑥ 気体は外から負の仕事をされて，内部エネルギーが増大する

⑦ 気体は外から正の仕事をされて，内部エネルギーが減少する

⑧ 気体は外から負の仕事をされて，内部エネルギーが減少する