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)〜(7)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)〜(iv)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。重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視する。また，使用するすべての糸の長さは ℓ で，質量は無視でききのびちぢみはしないものとする。すべての運動は紙面内に限られ，糸はたるまないものとする。

Ⅰ．二本の糸の上端を天井の支点Oで固定し，それぞれの下端に質量 m_A の小球A，質量 m_B の小球Bをつける。図１—１のように，小球Aを高さ h から静かにはなすと，最下点で小球Bと衝突し，衝突後に一体となって動き出した。小球Aの衝突する直前の速さは $v_A = \boxed{(1)}$ で，一体となった直後の速さは $v_B = \boxed{(2)}\ v_A$ で，その後，最下点から高さ $\boxed{(3)}$ だけ上がった。

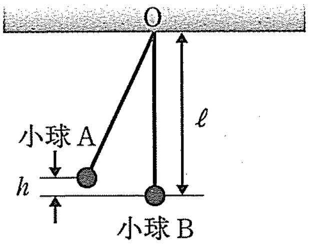

図１—１

次に，小球Bを質量 m_C の小球Cにつけかえて，最下点に置いた。先ほどと同様に，高さ h まで上げた小球Aを静かにはなすと，今度は小球Aは小球Cと衝突した後，その場に静止した。小球Cは，最下点から高さ s（$s < \ell$）だけ上がった。衝突する直前の小球Aの速さ v_A をもちいて，衝突直後の小球Cの速さは $v_C = \boxed{(4)}\ v_A$ であった。このとき h，s をもちいると，小球AとCの間の反発係数は $\boxed{(i)}$，小球Cの質量は $m_C = \boxed{(ii)}\ m_A$ とかける。

(1)の解答群

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

⑤ $\sqrt{gh}$　⑥ $\sqrt{2gh}$　⑦ $\dfrac{\sqrt{gh}}{2}$　⑧ $\sqrt{\dfrac{gh}{3}}$

(2)の解答群

① $\dfrac{m_A}{m_B}$　② $\dfrac{m_B}{m_A}$　③ $\dfrac{m_A}{m_A + m_B}$

④ $\dfrac{m_B}{m_A + m_B}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{m_A}{m_B}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{m_B}{m_A}}$

⑦ $\sqrt{\dfrac{m_A}{m_A + m_B}}$　⑧ $\sqrt{\dfrac{m_B}{m_A + m_B}}$

(3)の解答群

① $\dfrac{{v_B}^2}{2g}$　② $\dfrac{{v_B}^2 m_A}{2gm_B}$　③ $\dfrac{{v_B}^2 m_A}{2g(m_A + m_B)}$

④ $\dfrac{{v_B}^2 m_B}{2g(m_A + m_B)}$　⑤ $\dfrac{2{v_B}^2}{g}$　⑥ $\dfrac{2{v_B}^2 m_A}{gm_B}$

⑦ $\dfrac{2{v_B}^2 m_A}{g(m_A + m_B)}$　⑧ $\dfrac{2{v_B}^2 m_B}{g(m_A + m_B)}$

(4)の解答群

① $\dfrac{m_A}{m_C}$　② $\dfrac{m_C}{m_A}$　③ $\dfrac{m_A}{m_A + m_C}$

④ $\dfrac{m_C}{m_A + m_C}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{m_A}{m_C}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{m_C}{m_A}}$

⑦ $\sqrt{\dfrac{m_A}{m_A + m_C}}$　⑧ $\sqrt{\dfrac{m_C}{m_A + m_C}}$

Ⅱ. 上記と同様の実験を，図１―２のように一定の加速度で加速する電車の中で行う。小球の運動はすべて電車内で観測するものとする。電車は水平なレールの上をすすみ，その加速度の方向は，進行方向と等しく大きさは $\dfrac{g}{\sqrt{3}}$ である。図の点線はレールと垂直である。まず，小球Ａを糸につなぎ，点Ｏで糸の上端を固定し，静かにはなした。すると，糸が図の点線と $\theta =$ (5) の角度をなして静止した。小球Ａをその位置から少しずらしてはなすと単振動をした。その周期は (iii) であった。

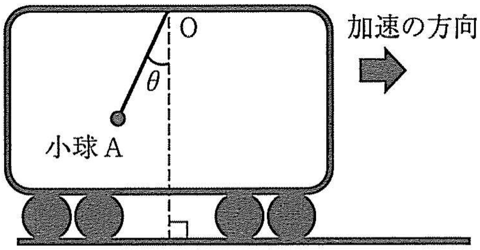

図１―２

(5)の解答群

① 15°	② 20°	③ 25°	④ 30°
⑤ 35°	⑥ 45°	⑦ 60°	⑧ 75°

次に質量 m_D の小球Ｄをつけた糸の上端を点Ｏで固定し静かにはなしたところ，図１―３のように車内からみて静止した。そして，小球Ａをつけた糸の上端を点Ｏで固定し，糸が点線と 2θ の角度を成す位置から静かにはなすと，小球Ｄと衝突した。衝突直後に，小球Ａは車内から見て静止した。小球ＤはＯの真下まで達した後，衝突前の位置に向かって戻った。衝突直前の小球Ａと衝突直後の小球Ｄの速度の大きさは，それぞれ (6) ， (7) であり，小球Ａと小球Ｄとの反発係数は (iv) であった。

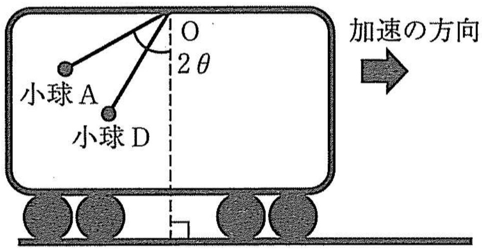

図１―３

(6), (7)の解答群

① $\sqrt{3g\ell}$

② $\dfrac{\sqrt{3g\ell}}{3}$

③ $\sqrt{g\ell\sqrt{3}}$

④ $\sqrt{\dfrac{g\ell\sqrt{3}}{2}}$

⑤ $\sqrt{\dfrac{g\ell\sqrt{3}}{3}}$

⑥ $\sqrt{g\ell\left(\dfrac{4\sqrt{3}}{3}-2\right)}$

⑦ $\sqrt{g\ell\left(1-\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)}$

⑧ $\sqrt{2g\ell\left(1-\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)}$

<余　　白>

<余　　白>

2 以下の文章を読み，空欄(ア)～(シ)に当てはまる最も適切な解答をそれぞれ**解答用紙(その2)**の該当する解答欄に記入せよ。空欄(I)，(II)に当てはまる最も適切な解答は解答群から選択し，該当する記号を**解答用紙(その2)**の解答欄に記入せよ。また，問(A)，(B)については**解答用紙(その3)**の所定の図に解答を記せ。すべての設問は真空中でのこととし，クーロンの法則の比例定数は k_0 で与えられるとする。

(2―1) 図2―1のように，電気量 $+q$ ($q>0$)の点電荷が原点Oにある。この点電荷が原点からの距離 r の位置にある任意の点Aにつくる電場の強さ E は $\boxed{\quad(ア)\quad}$ で表される。このような距離 r の点を結ぶと，原点Oを中心とする半径 r の球面となり，したがって，この球面上の $\boxed{\quad(I)\quad}$ ことがわかる。ただし，電位の基準点は無限遠点にとるものとする。

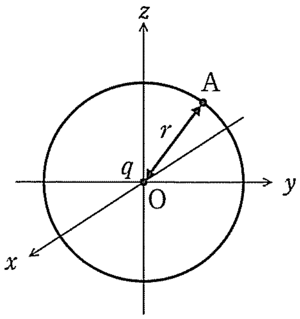

図2―1

(I)の解答群

① どの点においても電場の強さは等しく，また電位も等しい

② どの点においても電場の強さは等しいが，電位は点の位置により異なる

③ どの点においても電位は等しいが，電場の強さは点の位置により異なる

④ 位置により電場の強さおよび電位は異なる

⑤ どの点においても電場の強さは等しいが，電位は決定できない

⑥ どの点においても電位は等しいが，電場は決定できない

⑦ どの点においても電場の強さおよび電位は決定できない

（2―2） 電気力線を用いると電場のようすを表すことができる。ここで，電場の強さがEのところでは，電場に垂直な単位面積の面をE本の電気力線が貫くと定めよう。即ち，電気力線の本数が決まれば電場の強さが決まる。この場合，問（2―1）の半径rの球面の単位面積の面を貫く電気力線の本数は $\boxed{\text{(イ)}}$ 本となる。したがって，原点Oを中心とする任意の半径の球面を貫く電気力線の総数は $\boxed{\text{(ウ)}}$ 本となる。これらより，電気量$+q$の点電荷から生じる電気力線の本数を決定できることがわかり，このことは正電荷および負電荷が一様に分布する面に起因する電気力線の本数を決定することに応用できる。

（2―3） 図2―2のように，じゅうぶんに広い面積Sの薄い導体板P_1，P_2を，じゅうぶんに小さな間隔dで平行に並べた。導体板P_1には総電気量が$+Q$（$Q>0$）の正電荷が，導体板P_2には総電気量が$-Q$の負電荷が一様に分布している。

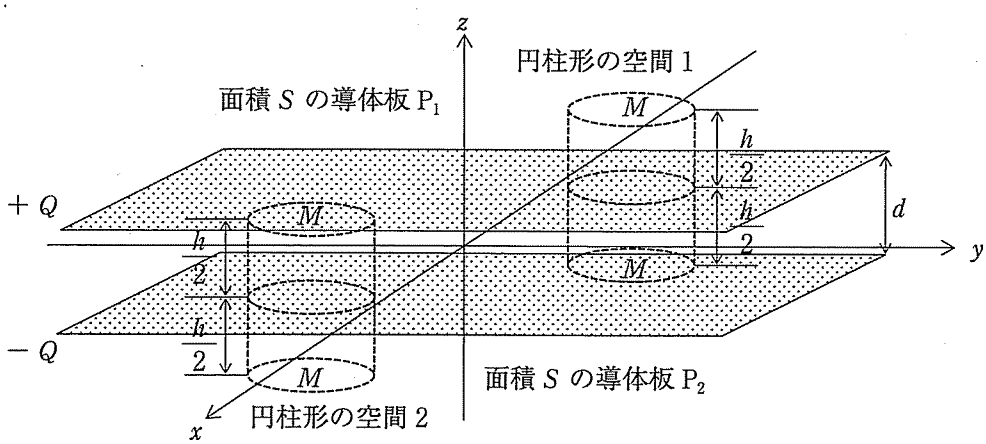

図2―2

(A)　図2―3(a)および(b)には，yz 平面を切断面とした導体板 P_1 および P_2 の中央部が，それぞれ独立に作る電気力線のようすを，ここでは16本の電気力線を用いてそれぞれの図に示してある。これにもとづき，導体板 P_1 と P_2 の間に作られる電場のようすを，最も適切と考えられる本数の電気力線を用いて**解答用紙(その3)**の図2―5中に表せ。

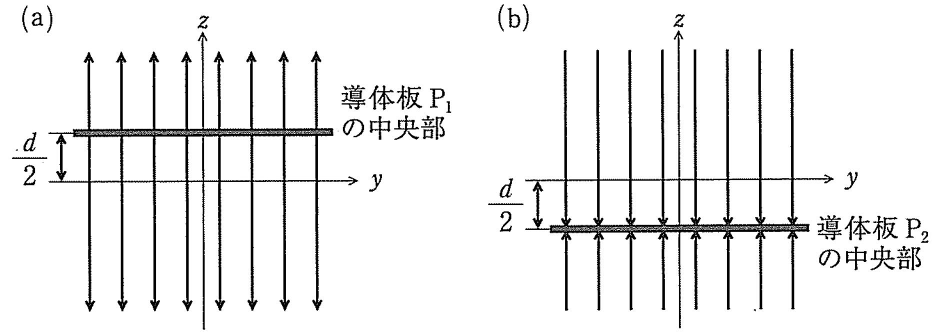

図2―3

ここでまず，導体板 P_1 が周囲に作る電場の強さを導出しよう。図2―2の様に上面と下面の面積が M，高さが h で，その半分の高さ $\frac{h}{2}$ の位置で導体板 P_1 に貫かれている円柱形の空間1を考える。この時，導体板 P_1 が作る電場による電気力線が円柱空間1の上面を貫く本数は $\boxed{\text{(エ)}}$ 本であり，下面を貫く電気力線の本数は $\boxed{\text{(オ)}}$ 本である。従って導体板 P_1 が周囲に作る電場の強さ E_1 は $\boxed{\text{(カ)}}$ で与えられる。同様にすると，導体板 P_2 が周囲に作る電場の強さ E_2 は図中の円柱空間2の上面・下面を貫く電気力線の本数を計算することで導出される。2枚の導体板の間の電場は，導体板 P_1 と導体板 P_2 の作る電場の重ねあわせで与えられ，よってその強さは $\boxed{\text{(キ)}}$ となることがわかる。一方，2枚の導体板の外側の空間では導体板 P_1 と導体板 P_2 それぞれによって作られる電気力線の本数は同じで，向きは互いに逆向きなので，電場の強さは0である。

ここで，導体板間の電位差を V とする。電位差 V をもちいて2つの導体板間の電場の強さ E を表すと $E = \boxed{\text{(ク)}}$ が成り立つ。従って(キ)と(ク)の結果より，$Q = \boxed{\text{(ケ)}}$ という関係が導出される。

図2―2の2つの導体板はこれらを電極板とする平行板コンデンサーと見なす

ことができる。これより，平行板コンデンサーの静電容量 C は $C =$ $\boxed{\text{(コ)}}$ で与えられることがわかる。

（2―4） 図2―4のように，原点Oを中心とする半径 r の導体球の表面に正電荷が一様に分布している。

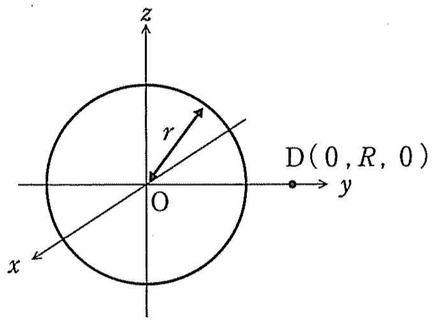

図2―4

(B) 解答用紙の図2―6には yz 平面を切断面とした導体球が示してある。この切断面上に作られる電場のようすを，複数の電気力線を**解答用紙(その3)**の図2―6中に記すことで定性的に表せ。

ここで，導体球に一様に分布する正電荷の総電気量は $+Q\,(Q>0)$ であったとする。原点Oから距離 R の点 $\mathrm{D}(0, R, 0)$ に作られる電場を求めよう。ただし $R>r$ である。この時，原点Oを中心とし半径 R の球面を貫く電気力線の総数は $\boxed{\text{(サ)}}$ 本である。従って点Dに作られる電場の強さは $\boxed{\text{(シ)}}$ であることがわかる。これより，球面上に一様に分布した，総電気量 $+Q$ の電荷を持つ導体球が，その外側に作る電場は，原点Oにおかれた電気量 $\boxed{\text{(II)}}$ の点電荷が作る電場と等しいことがわかる。

(II)の解答群

① $+\dfrac{Q}{2}$　② $-\dfrac{Q}{2}$　③ $+Q$　④ $-Q$　⑤ $+\dfrac{Q}{r}$

⑥ $-\dfrac{Q}{r}$　⑦ $+\dfrac{Q}{R}$　⑧ $-\dfrac{Q}{R}$　⑨ $+\dfrac{RQ}{r}$　⓪ $-\dfrac{RQ}{r}$

<余　　白>

<余　　　白>

3 以下の文章を読み，空欄(1)〜(4)に当てはまる最も適切な式を**解答用紙（その4）**の所定の解答欄に記入せよ。空欄(5)にあてはまるものを解答群より選び，その記号を所定の解答欄に記入せよ。また，問Ⅰ〜Ⅲの指示に従って，解答を所定の解答欄に記入せよ。

(A) 図3—1のように，シリンダーとピストンからなる装置に気体が閉じ込められている。ピストンの面積はSで，なめらかに動くものとする。気体は圧力がP，体積がVの状態で平衡を保っている。まず，圧力を一定に保ったまま気体の体積をゆっくりと$\varDelta V(>0)$だけ増加させる。気体がピストンを押す力は$F=$ $\boxed{\quad(1)\quad}$ ，ピストンの移動した距離は$\varDelta x=$ $\boxed{\quad(2)\quad}$ であるため，気体が外部にした仕事$\varDelta W$を$\varDelta V$を用いて表すと，$\varDelta W=$ $\boxed{\quad(3)\quad}$ である。一方で，体積Vを一定に保ったまま圧力をゆっくりと$\varDelta P$だけ増加させた場合には，気体が外部にした仕事は$\varDelta W=$ $\boxed{\quad(4)\quad}$ である。

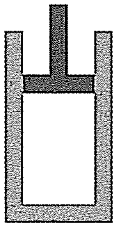

図3—1

(B) 図3—2で示されているP-V図のように，気体の体積をV_1からV_2に変化させる過程を考える。過程の途中の，体積V'，圧力P'の状態から体積を微小量$\varDelta V$だけ増加させたときに気体が外部にした仕事$\varDelta W$は，(A)での議論より図3—2の斜線部分の面積で表される。このことから，一般にP-V図における図形の面積はエネルギーの単位であらわされる何らかの量を示すこともわかる。

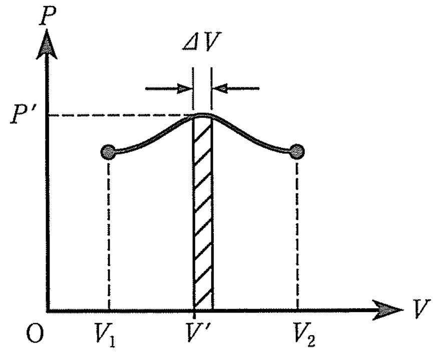

図3—2

問Ⅰ　ここでの V_1 から V_2 への体積の変化を，微小体積 ΔV の増加の繰り返しと考える。この過程全体で気体が外部にした仕事 W は，(B)の議論よりどのような図形の面積で表されるか。**解答用紙(その4)**の図3—4に示された P-V 図を用いながら簡潔な理由と共に説明せよ。

(C)　気体の状態を，図3—3に示される P-V 図の点Aから点Bへ直線上をたどりながらゆっくりと変化させる過程を考える。点Aと点Bにおいては，気体の温度はいずれも T_0 であり，体積は V_A，V_B であった。このとき，気体が外部から受け取った熱量を Q とすると，Q の大きさは図3—3における図形 $\boxed{\quad(5)\quad}$ が囲む面積で表される。

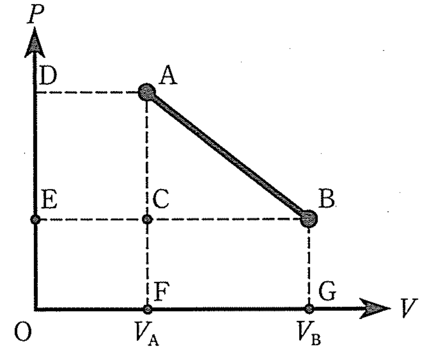

図3—3

(5)の解答群

(ア) ABC	(イ) ABED	(ウ) ABGF	(エ) ABGOD	(オ) ABFE
(カ) ACED	(キ) AFOD	(ク) BGFC	(ケ) BGOE	(コ) CFOE

問Ⅱ　この過程におけるAからBへの気体の状態変化について，T-V 図を解答用紙（その4）の図3―5に概略図（定性的な振る舞いが十分理解できる図）として描け。

こんどは，図3―3に示される P-V 図の点Aから点Bへ，気体の温度を T_0 に保ちながら状態をゆっくりと変化させる過程を考える。このときに，気体が外部から受け取った熱量を Q' とする。

問Ⅲ　Q と Q' の大小関係を示せ。そのようになる理由を，解答用紙（その4）の図3―6に P-V 図の概略図を書きながら簡潔に説明せよ。

＜余　　白＞

<余　　　白>

<余　　　白>

<余　　白>

<余　　　白>

<余　白>

<余　　白>