平成 26 年度
前期日程

物　　理

医学部・工学部・応用生物科学部

問題冊子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで，問題冊子を開かないこと。
2. 問題冊子は 8 ページからなる。解答用紙等については，医学部は解答用紙 3 枚・白紙 1 枚，その他の学部は解答用紙 4 枚である。乱丁，落丁，印刷不鮮明などの箇所があった場合には，ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は，解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに記入すること。
4. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。
5. 問題は，大問で 4 題ある。工学部・応用生物科学部の受験生は 4 題すべてに解答すること。医学部の受験生は，問題 $\boxed{2}$ $\boxed{3}$ $\boxed{4}$ に解答すること。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。
7. 問題冊子および白紙は持ち帰ること。
8. 大問ごとに，満点に対する配点の比率を表示してある。

1　次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　工・応生：$\frac{1}{4}$)

図は，半径 R〔m〕の内面がなめらかな半球の器を上方および側方から見たものである。点 A，点 B はいずれも器の内面上にあり，半球の中心 O を原点とした x，y，z の直交座標の xz 面にある。点 B は器の最も低い場所にあり，直線 OB と直線 OA がなす角を θ〔rad〕とする。重力加速度は z 軸負の向きで，大きさを g〔m/s^2〕とする。

この器に，密度 ρ_0〔kg/m^3〕の流体を満たし，器の内面に沿う物体の運動を考える。なお，物体の位置を考える際には，R は十分に大きく物体の大きさを無視できるが，器内に入れた物体は流体による浮力を受ける。また，その運動において流体の抵抗は無視できるものとする。

点 A に体積 V〔m^3〕，密度 ρ_1〔kg/m^3〕の物体 P を置き，静かにはなしたところ，物体 P は容器の内面に沿って滑り出し，xz 面で往復運動を始めた。

問 1　点 B を基準として，点 A における物体 P にかかる重力と浮力による位置エネルギー U〔J〕を求めよ。

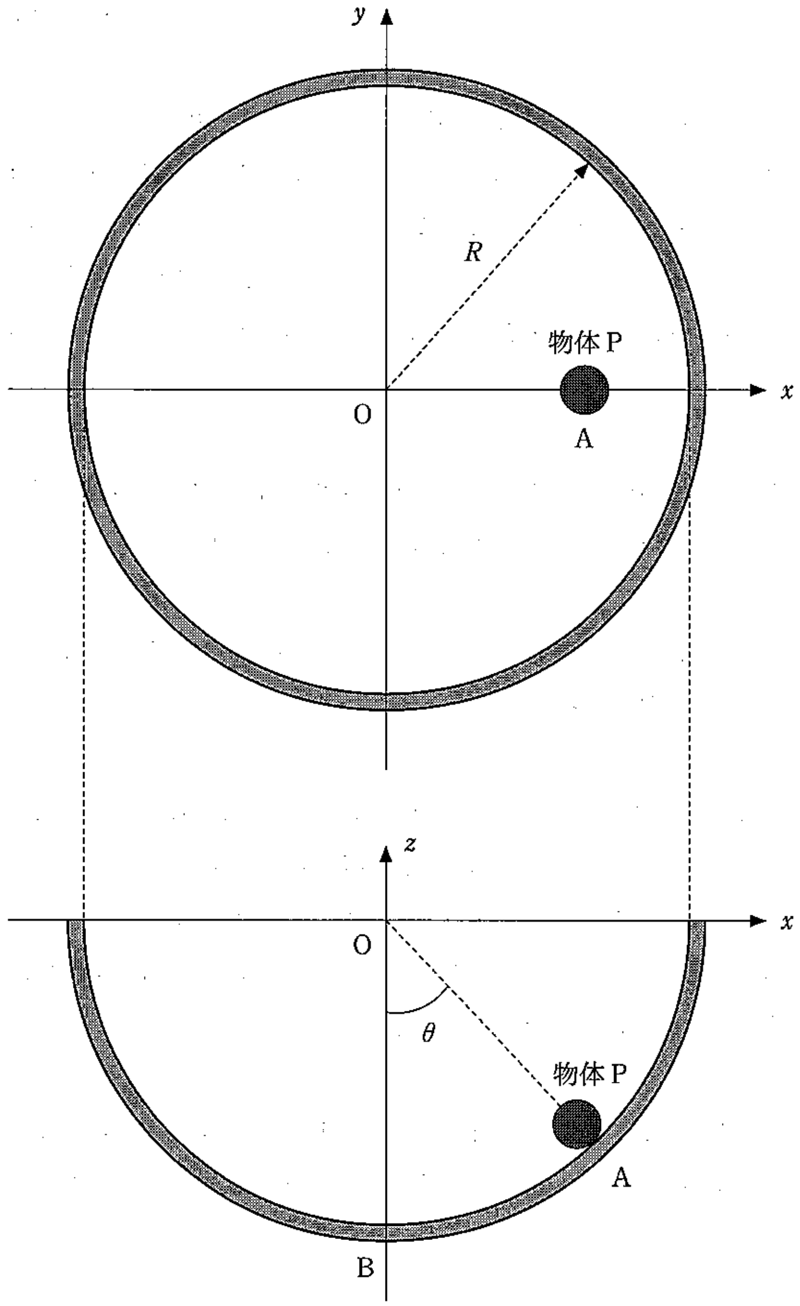
問 2　点 B における物体 P の速さ v_1〔m/s〕を，ρ_1，V，および U を用いて表せ。

問 3　物体 P が再び点 A に戻ってくるまでの時間 T〔s〕を求めよ。ただし，ここでは θ は小さく，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$ が成り立つものとする。

問 4　点 B に体積 V，密度 $2\rho_1$ の物体 Q を置き，物体 P を点 A から静かにはなすと，物体 P と物体 Q は点 B で弾性衝突した。衝突後に物体 P が到達する最高点の z 座標 z_0〔m〕を求めよ。ただし，物体 P と物体 Q は xz 面上を運動し，2 回目以降の衝突は考えないものとする。

問 5　点 B に体積 V，密度 ρ_1 の物体 S を置き，物体 P を点 A から静かにはなすと，物体 P と物体 S は点 B で一体となり xz 面上で運動した。衝突により失われた力学的エネルギー ΔE〔J〕を，ρ_1，V，および v_1 を用いて表せ。

問 6　点 A から物体 P を器内面の水平方向の接線に沿って速さ v_2〔m/s〕で打ち出したところ，物体 P は，xy 面と平行な平面上で円運動を続けた。速さ v_2 を求めよ。



図

2 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

電場や磁場中の導体内に電流が流れる現象を，導体内の自由電子の運動を通して理解したいと思った太郎君は，電荷 $-e(e>0)$〔C〕の自由電子が単位体積当たり n 個〔$1/\mathrm{m}^3$〕存在する，断面積 S〔m^2〕の導線内の電子の動きを考えることにした。ここで，導体内では速度 v〔m/s〕で動く自由電子に対して $-kv$〔N〕の抵抗力がはたらくとする。ただし，k は正定数である。

まず，長さ l〔m〕の導線の両端を図1のように電圧 V〔V〕の直流電源につないだ場合を考えた。

問 1　導線内の自由電子は導線に沿った方向に速度 v_1〔m/s〕で等速直線運動をしているとする。v_1 を求めよ。ただし，速度は図1において右向きを正とする。

問 2　時間 Δt〔s〕の間に導線内の全自由電子が抵抗力によってうける仕事を，e，k，l，n，S，Δt，および V を用いて表せ。

次に，この導線で図2のように一辺 l の正方形のコイル PQRS を作り，このコイルを水平でなめらかな台の上に置き，x 軸正の向きに一定の速さ v_0〔m/s〕で引っぱることを考えた。ここで，台には z 軸正の向きに，強さが x に比例する磁場がかけられており，その磁束密度 $B(x)$〔T〕は正の定数 a〔T/m〕を用いて $B(x)=ax$ で与えられる。時刻 $t=0$ に辺 PQ が y 軸に重なったとし，この時のコイル内の自由電子の運動を考えた。

問 3　時刻 $t=0$ に辺 RS 上の一つの自由電子が速さ v_e〔m/s〕で R から S に向けて運動するとする。この自由電子がローレンツ力により受ける力の x 成分 F_x〔N〕を，a，e，l，および v_e を用いて表せ。

問 4　太郎君は，導体内の単位体積あたりの自由電子の数はどこでも一定で，磁場がない場合と変わらないと考えた。このように考えたとき，$t=0$ から Δt の間に外部からの力によってコイルになされる仕事を，F_x，l，n，S，Δt，および v_0 を用いて表せ。ただし，Δt は小さく，コイル上の各点における磁束密度の値は $t=0$ での値で近似してよい。

問 5　上記問4の仮定のもとでは，自由電子の速さはコイル内どこでも一定となる。その理由を説明し，v_e を，a，e，k，l，および v_0 を用いて表せ。

問 6　磁場により電子が受ける力はコイル上の場所により異なるので，ローレンツ力と抵抗力以外存在しないとすると電子の速さは一定とはならない。太郎君は，ほんの少しだけ電荷の分布に偏りがあり，回路内に電場ができているのではないかと考えた。このように考えたとき，自由電子の速さがコイル上どこでも v_e とすると，電荷分布の偏りが生むコイル上の電位はどのような形になるか，グラフに示せ。ここで，点Pの電位を0（ゼロ）とし，電位の最大値，最小値を，e，k，l，および v_e を用いて示すこと。

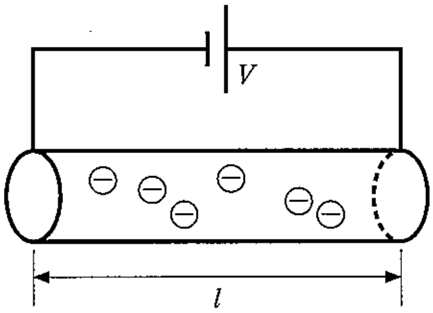


図 1

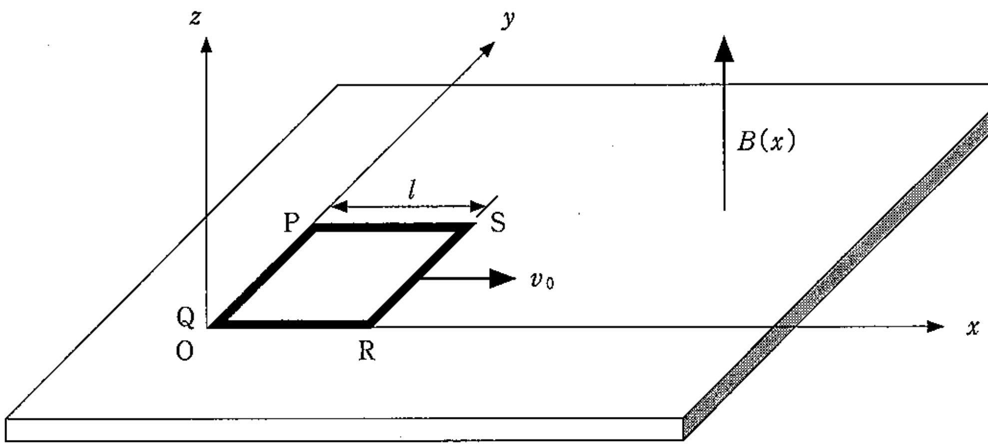


図 2

3 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

なめらかに動くピストンのついた円筒容器に単原子分子理想気体 1 mol を入れ，図のような 4 通りの過程を経て状態 A を状態 B に変化させた。図には経路上の状態を ● で示し，それらを ①，②，③，④，⑤と名付けた。

(i) 過程 A－①は定圧変化であり，過程①－B は定積変化である。

(ii) 過程 A－②は直線的変化であり，過程②－B は定積変化である。

(iii) 過程 A－③－B と過程 A－④－⑤は一方が等温変化であり，他方が断熱変化である。

(iv) 過程⑤－B は定積変化である。

状態 A の圧力と体積は p_A〔Pa〕，V_A〔m^3〕であり，状態 B については p_B〔Pa〕，V_B〔m^3〕である。また，状態②については $\frac{p_A + p_B}{2}$，V_B である。

問 1　過程 A－③－B と過程 A－④－⑤のどちらが等温変化であるか，理由とともに答えよ。

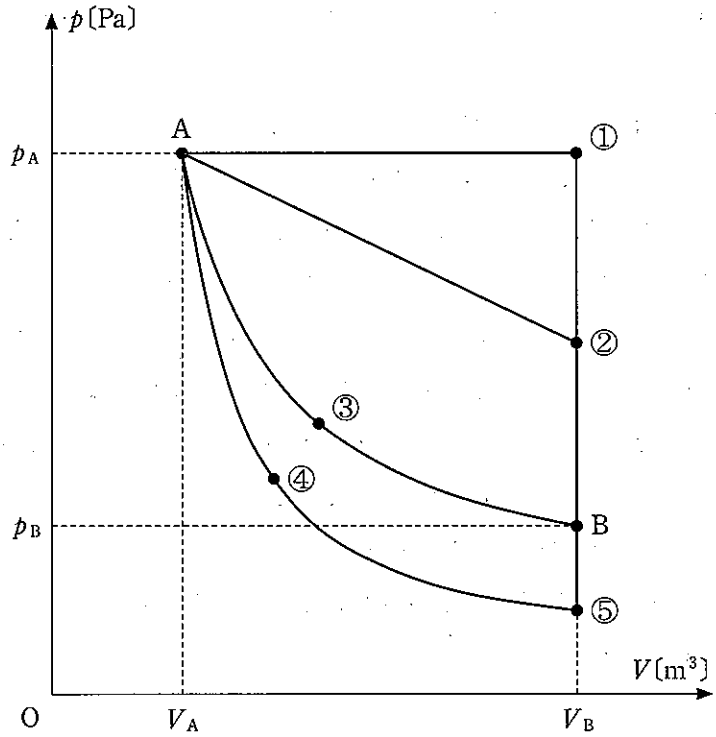
問 2　状態①，②，③，④，⑤の中で，温度が最も高いのはどれか。また，最も低いのはどれか。

問 3　過程 A－①－B で，気体がする仕事 W〔J〕を求めよ。その過程で気体が吸収する熱量 Q〔J〕を W を用いて表せ。なお，その際用いた物理法則を解答用紙の導出過程欄に明記すること。

問 4　状態②の温度 $T_②$〔K〕と状態 A の温度 T_A〔K〕との比 $\frac{T_②}{T_A}$ を，体積の比 $r = \frac{V_B}{V_A}$ を用いて表せ。

問 5　過程 A－②で気体が吸収する熱量 Q_1〔J〕と過程②－B で放出する熱量 Q_2〔J〕との比 $\frac{Q_1}{Q_2}$ を，体積の比 $r = \frac{V_B}{V_A}$ を用いて表せ。

問 6　状態 A から B への 4 通りの過程(A－①－B，A－②－B，A－③－B，A－④－⑤－B)の中で，気体が吸収する熱量が最も少ないのはどれか，理由とともに答えよ。



図

4 次の文を読み，以下の問いに答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

ホイヘンスは，波面上の各点を波源として円形波が生じていると考え，これを素元波と名付けた。この素元波すべてに接する直線または曲線(包絡線)がすぐ次の時刻の波面になると考えた。これをホイヘンスの原理という。ホイヘンスの原理を使って，波の屈折を考える。

図1のように，直線波(平面波)が媒質1から媒質2との境界に，入射角iで入射しており，入射波の進行方向が矢印のついた破線で示されている。時刻t_0で入射波は波面Aをつくり，一方の端は境界上の点P_0に達している。点Nにあったもう一方の端は，時刻$t_1(> t_0)$で境界上の点P_1に達した。このとき点P_0から出た素元波はS_0である。素元波S_0に点P_1から接線を引き，その接点をB_0とする。線分P_0B_0と境界の法線とのなす角はrである。時刻$t_n(t_0 < t_n < t_1)$で，波面は境界上の点P_nに達し，線分P_nMで示されている。時刻t_1では点P_nからの素元波はS_nとなっている。S_nに点P_1から接線を引いたときの接点をB_nとする。媒質1，媒質2での波の速さはそれぞれv_1，$v_2(v_2 < v_1)$であるとする。

問1　素元波S_nの半径を，t_0，t_1，t_n，v_1，およびv_2の中から適当な記号を用いて表せ。

問2　任意の点P_nから生じた素元波の包絡線が線分P_1B_0と一致すれば，この線分が$t = t_1$における屈折波の波面となる。線分P_1B_0上に点B_nがあることを示すために，図1中の$\triangle P_1P_0B_0$と$\triangle P_1P_nB_n$が相似であることを証明せよ。

問3　媒質1，媒質2での波の速さの比$\frac{v_1}{v_2}$を，i，r，t_0，t_1，およびt_nの中から適当な記号を用いて表せ。

次に円形波の境界への入射を考える。図2のように，波源Oが媒質3の中にあり，円形の波面が速さv_3で広がっている。波源の近くには，媒質4との境界が存在している。円形波は時刻$t = 0$で波面Aをつくった。それ以降の媒質3における速さv_3で広がる波面をΔtごとに円弧で描いた。また，これらの円弧と境界の交点と波源Oとを結ぶ直線が破線で描かれている。媒質4での波の速さv_4は$\frac{1}{2}v_3$であるとする。

問4　時刻$t = \Delta t$での波面と境界の交点の一つをCとするとき，$t = 4\Delta t$でのCから発生した媒質4における素元波の半径を，Δtおよびv_3を用いて表せ。

問5　媒質4における時刻$t = 4\Delta t$での波面をホイヘンスの原理を用いて，境界から生じた素元波とともに図示せよ。

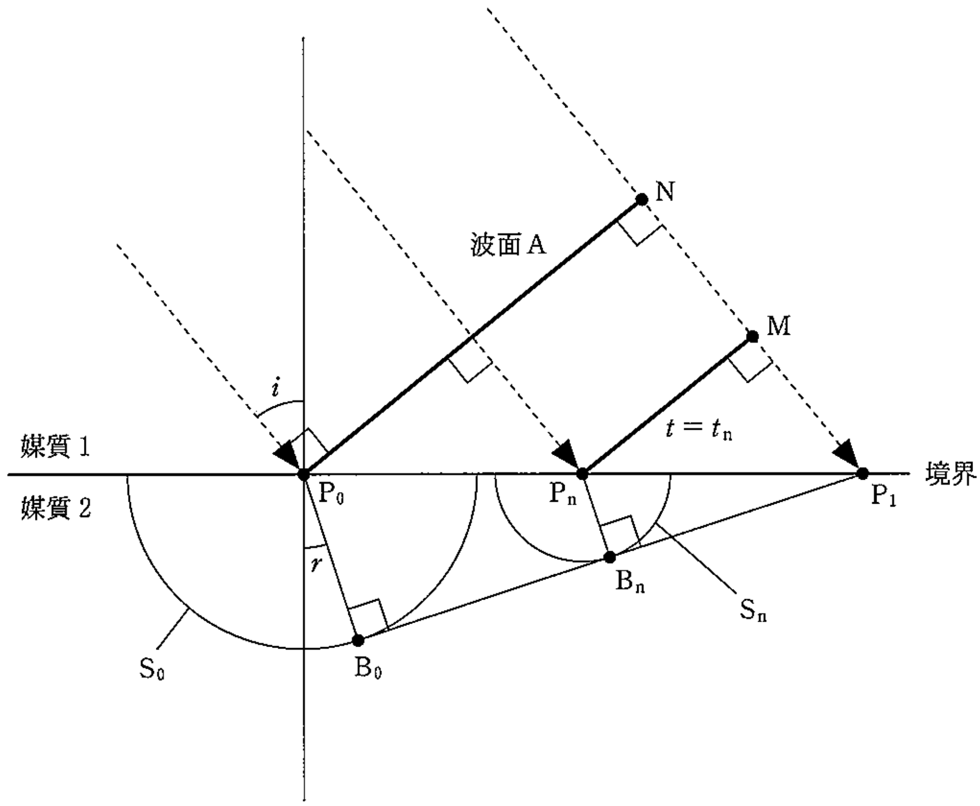

N
波面 A
M
i
$t = t_n$
媒質 1
媒質 2
P_0
P_n
P_1
境界
r
B_n
S_n
S_0
B_0

図 1

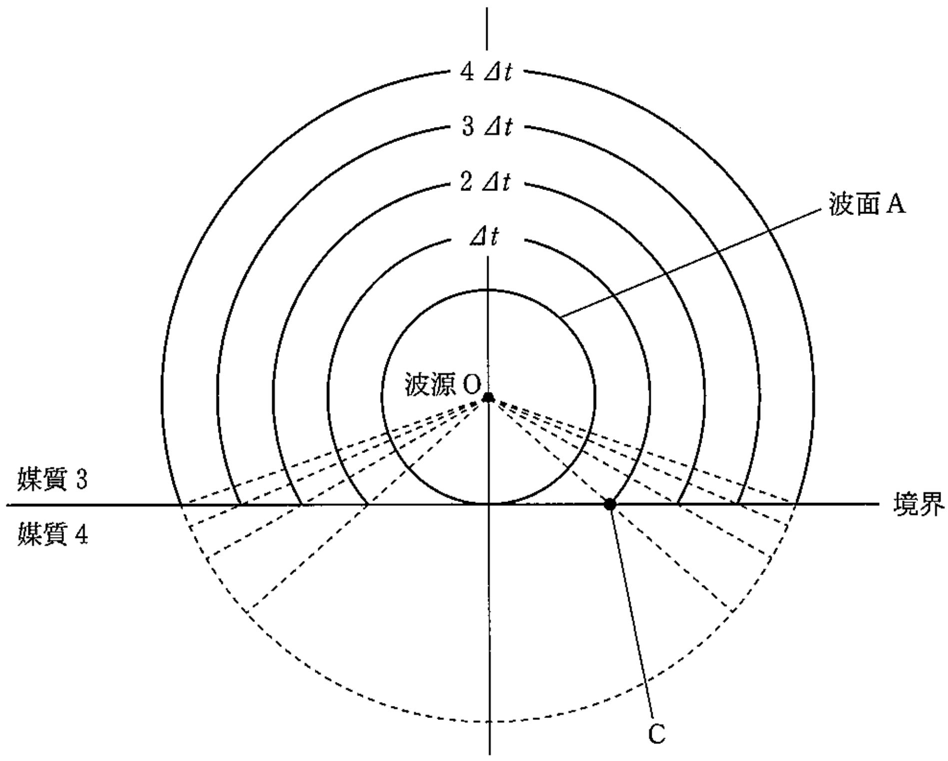

4 Δt
3 Δt
2 Δt
Δt
波面 A
波源 O
媒質 3
媒質 4
境界
C

図 2