令和 2 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。解答用紙については，医学部は解答用紙 3 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必ず記入すること。
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 題である。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 $\boxed{1}$ ， $\boxed{2}$ ， $\boxed{3}$ 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　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

地球の中心Oからの距離r〔m〕の円軌道を周回していた人工衛星が，図の点Pで物体AとBの二つに分裂した。非常に短時間で分裂したので，物体AとBに関して運動量保存則が適用できるとしてよい。分裂直後，質量m'〔kg〕の物体Bは中心Oに対して静止していた。その後，物体Bは地球に向かって落下し，質量m〔kg〕の物体Aは，直線PO上に長軸PQをもつ楕円軌道を周回する運動となった。この運動が起きるためには，質量m，m'の間に一定の条件が必要である。これを求めてみよう。

ただし，万有引力定数をG〔N・m²/kg²〕，地球の質量をM〔kg〕とする。

問 1　半径rの円軌道を周回していたときの人工衛星の速さv_0〔m/s〕を求めよ。

問 2　運動量保存則が適用できる一般的な条件を述べ，それに基づいて，下線部に記されていることを説明せよ。

問 3　分裂直後の物体Aの速さv〔m/s〕を，m，m'，v_0を用いて表せ。また，そのときの運動方向も答えよ。

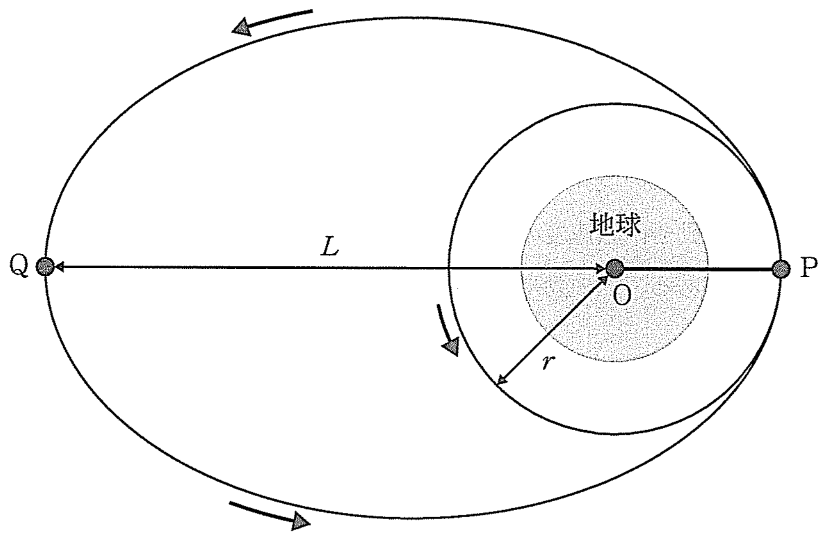
問 4　点Qにおける物体Aの速さv'〔m/s〕を，ケプラーの第2法則(面積速度一定)を用いて求めよ。その答えは，距離OQをL〔m〕として，r，v，Lを用いて表せ。

問 5　これまでの問1，3，4の結果と力学的エネルギー保存則を考慮して，$\frac{r}{L}$をm，m'を用いて表せ。

問 6　問5で求めた結果から，質量比$\frac{m'}{m}$がみたすべき条件式を求めよ。

問 7　物体Aの力学的エネルギーが負であるための条件を用いて，これが問6で求めた条件式と同じであることを示せ。

問 8　問題文に述べたことと同様に分裂が起き，分裂直後の物体Bが地球の中心Oに対して静止していたが，質量m，m'が問6で求めた条件式をみたしていないときには，物体Aはどのような運動をするか。理由も合わせて説明せよ。



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：$\frac{1}{4}$)

私たちの身の回りでは多くのモーターが使用されている。モーターの構造によっては，モーター内部にある磁場領域の境界をコイルが通過する際に，コイルが磁場から受ける力が急激に変化してモーターの振動や回転速度の変動を引き起こすことがある。この対策としてコイル形状を工夫したモーターがある。その効果の原理について，図1に示す1回巻の台形コイルによる簡易モデルで考えてみる。

図1の台形コイルは，辺ABと辺DAの長さがa〔m〕，∠ABCの角度θ〔°〕は$0° < \theta < 90°$で固定してある。辺DAと辺CBは平行で，辺CBと辺DCは垂直である。図2に示すようにx軸およびy軸をとる。$x < 0$では磁束密度はゼロ，$x \geqq 0$では紙面の裏から表に向かう一様な磁束密度B〔T〕の磁場が存在する。$x \geqq 0$の領域を磁場領域と呼ぶことにする。図2のように，図1の台形コイルのすべての頂点が$x < 0$の位置で，コイル面がxy平面に対して平行，かつ辺CBをx軸に対して平行となるように置いた後，磁場領域に向かってx軸正方向に一定の速さv_0〔m/s〕で台形コイルを移動させることを考える。台形コイルの頂点Bがy軸に到達したときの時刻t〔s〕を$t = 0$，頂点Aがy軸に到達したときの時刻を$t = t_1$〔s〕，頂点Dがy軸に到達したときの時刻を$t = t_2$〔s〕とする。台形コイルが移動するとき，コイル面はxy平面に常に平行，かつ辺CBはx軸に常に平行であるとする。台形コイルの全抵抗をR〔Ω〕とし，台形コイルの自己インダクタンス，台形コイルに用いた導線の太さ，台形コイルの質量，および空気抵抗の影響は無視する。

問1　t_1，t_2をv_0，a，θを用いてそれぞれ表せ。

問2　$0 < t < t_1$において，微小時間Δt〔s〕間に台形コイルを貫く磁束の変化量$\Delta\phi$〔Wb〕を以下のようにして求める。$\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{オ}}$ の空欄に当てはまる式をv_0，B，θ，t，Δtのうち適切なものを用いて答えよ。ただし，$t - \frac{\Delta t}{2} > 0$，$t + \frac{\Delta t}{2} < t_1$とする。

$0 < t < t_1$では，図3に示すように台形コイルの辺ABと辺CBがy軸との交点を持つ。時刻tにおいて，頂点Bから辺CBとy軸の交点までの距離L_1〔m〕は $\boxed{\text{ア}}$ ，辺ABとy軸の交点から辺CBとy軸の交点までの距離L_2〔m〕は $\boxed{\text{イ}}$ である。これらより時刻$t - \frac{\Delta t}{2}$〔s〕で台形コイルを貫く磁束ϕ_-〔Wb〕を求めると$\phi_- =$ $\boxed{\text{ウ}}$ である。同様にして，時刻$t + \frac{\Delta t}{2}$〔s〕で台形コイルを貫く磁束ϕ_+〔Wb〕は$\phi_+ =$ $\boxed{\text{エ}}$ である。したがって，Δt間に台形コイルを貫く磁束の変化量$\Delta\phi$は $\boxed{\text{オ}}$ である。

問 3　$0 < t < t_1$，$t_1 < t < t_2$ のそれぞれの期間において，台形コイルに発生する誘導起電力の大きさをそれぞれ V_1〔V〕，V_2〔V〕とする。V_1，V_2 を v_0，B，a，θ，t のうち適切なものを用いてそれぞれ表せ。

問 4　$t \geqq 0$ において，台形コイルに流れる誘導電流を I〔A〕とする。横軸を頂点 B の位置座標 x〔m〕，縦軸を I として，I の変化の様子をグラフで示せ。グラフには $t = t_1$ での頂点 B の位置座標 x_1〔m〕，$t = t_2$ での頂点 B の位置座標 x_2〔m〕，I の大きさの最大値 $I_{\max}$〔A〕を示すこと。x_1 と x_2 は a，θ を用いて，$I_{\max}$ は v_0，B，a，θ，R を用いてそれぞれ解答欄に答えよ。誘導電流は A→B→C→D→A の向きを正とする。

問 5　$0 < t < t_1$，$t_1 < t < t_2$ のそれぞれの期間において，x 軸正方向に一定の速さ v_0 で台形コイルを移動させるための外力の大きさをそれぞれ F_1〔N〕，F_2〔N〕とする。F_1，F_2 を v_0，B，a，θ，t，R のうち適切なものを用いてそれぞれ表せ。また，F_1，F_2 の向きもそれぞれ示せ。

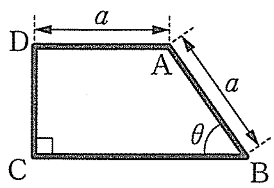


図 1

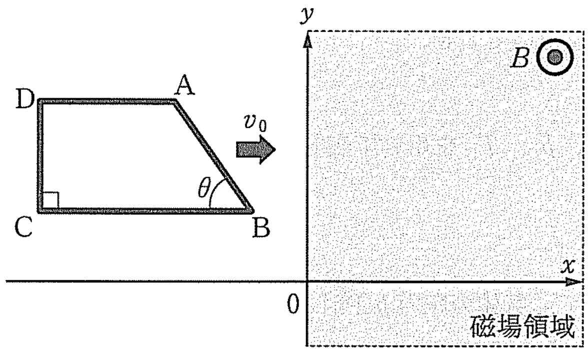


図 2

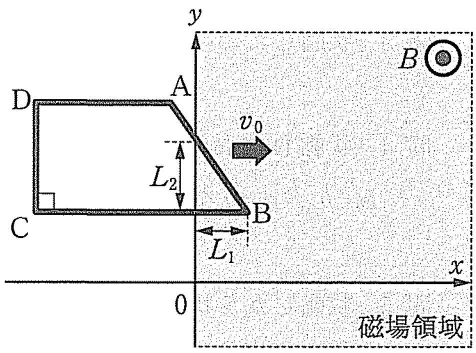


図 3

$\boxed{3}$ 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：$\frac{1}{4}$)

図のように，なめらかに動くピストンのついた容器に理想気体が封入されている。ピストンと容器の断面積は S〔m^2〕であり，容器の長さは L〔m〕である。ピストンと容器側面は断熱材でできていて，容器底面のみ外部と熱のやり取りができる。ピストンおよび容器は外力に対して変形しない材質であり，その厚さと質量は無視できる。

最初，容器が大気中にあるとき気体の圧力は大気圧 p_A〔Pa〕であり，気体の温度は気温 T_A〔K〕と等しく，ピストンは容器底面からの距離が $\frac{4}{5}L$ の位置にあった。この状態を状態Aとする。次に，密度が ρ〔kg/m^3〕で温度が T_B〔K〕の液体の中に容器をゆっくりと沈め，ピストンの上面に液体が流れ込まない位置で固定した。このときピストンは容器底面からの距離が $\frac{3}{4}L$ の位置にあった。この状態を状態Bとする。さらに容器をゆっくりと沈め，液体表面から容器上端までの深さが x〔m〕の位置になったところで固定した。このときの気体の圧力は p_C〔Pa〕であり，ピストンは容器底面からの距離が $\frac{2}{3}L$ の位置にあった。この状態を状態Cとする。そして，液体の温度を T_D〔K〕まで徐々に上昇させると，ピストンは容器底面からの距離が $\frac{3}{4}L$ の位置まで移動して停止した。このときの気体の圧力は p_D〔Pa〕であった。この状態を状態Dとする。ただし，温度変化に伴う液体の密度の変化はないものとする。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

問 1　状態Bにおける液体の温度 T_B を T_A を用いて表せ。

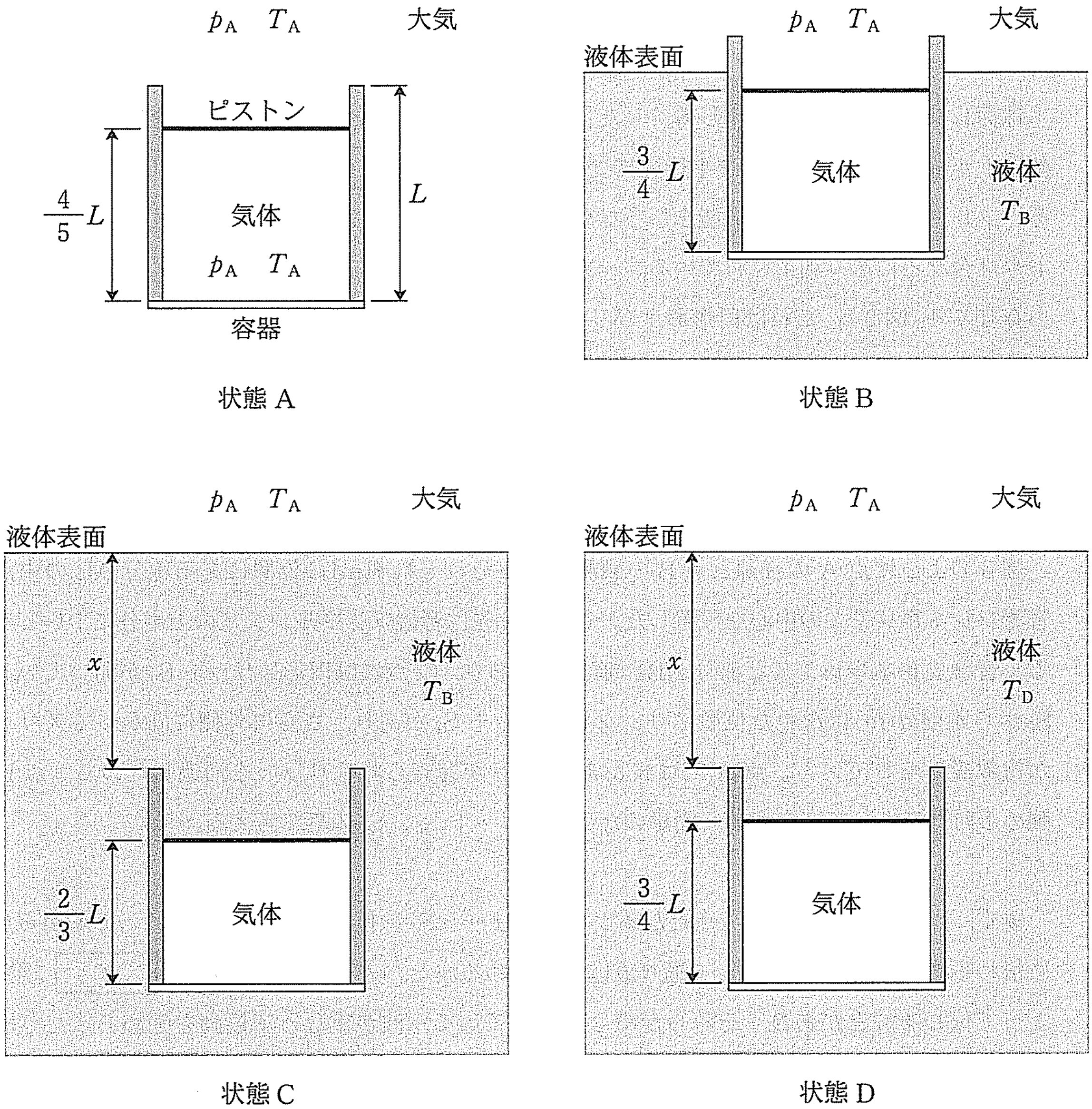
問 2　状態Cにおける深さ x を L，p_A，p_C，ρ，g を用いて表せ。

問 3　状態Cにおける気体の圧力 p_C を p_A を用いて表せ。

問 4　状態Dにおける液体の温度 T_D を p_C，p_D，T_B を用いて表せ。さらに，気体の圧力 p_D を L，p_A，ρ，g を用いて表せ。

問 5　状態Cから状態Dまでの変化について，気体の圧力 p〔Pa〕と体積 V〔m^3〕の変化の様子を解答用紙の p–V グラフ上に表せ。p 軸の $\boxed{}$ 欄には p_C，p_D のうちで適切なものを記入し，状態Cと状態Dを示す点を丸印(○)で示してC，Dを明記せよ。そして，状態の変化の経路を丸印の間を実線で結ぶことによって示せ。

問 6　状態Cから状態Dまで変化したときの気体のした仕事 W〔J〕を S，L，p_A，ρ，g を用いて表せ。



p_A T_A 大気
ピストン
$\frac{4}{5}L$
L
気体
p_A T_A
容器
状態 A
p_A T_A 大気
液体表面
$\frac{3}{4}L$
気体
液体
T_B
状態 B
p_A T_A 大気
液体表面
x
液体
T_B
$\frac{2}{3}L$
気体
状態 C
p_A T_A 大気
液体表面
x
液体
T_D
$\frac{3}{4}L$
気体
状態 D

図

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

球面レンズを同心円で分割し薄くした「フレネルレンズ」というものがある(図1)。レンズの機能は，点光源から発した光を平行光に変換するという光の $\boxed{\text{ア}}$ 現象を利用したものである。フレネルレンズはその機能を保ちながら，形状を工夫して薄い構造にしたもので，車のライトや灯台などに広く利用されている。一方，これに似た名称で「音響フレネルレンズ」というものも存在する(図2)。これは円形およびリング状のスリットを通過する際の音波の性質を利用して，特定の位置で音を大きく聞こえるように設計されたものである。光のレンズと原理は異なるが，本来聞こえる音よりも大きくなる効果や，その外観から音響フレネルレンズと呼ばれている。それでは，波の性質を整理しながら，この音響フレネルレンズについて考えてみよう。

図3のように点Aの音源と点Bの観測者からそれぞれℓ〔m〕の位置にある線分ABの中点に音響フレネルレンズの中心を設置した。これより先は音響フレネルレンズの上半分について考える。音響フレネルレンズと線分ABは直交しており，交点には円形スリットS_0が開いている。S_0から距離d〔m〕はなれた位置にリング状スリットS_1があり，さらに外側に向かってスリットが複数設けられている。点Aでは波長λ〔m〕の音が発せられスリットを通過したのち，点Bで強められた音として聞こえる。簡単のため，スリットS_0，S_1のみで考える。

まず，点Bが音の強めあう点となるようにスリットS_1の位置を求めてみよう。点Aから点Bに伝わる波には，スリットS_0を通り直進して伝わる波と，スリットS_1を通り $\boxed{\text{イ}}$ 現象によって伝わる波とがあり，それらが重なり合っている。波が重なって振動を強めあったり弱めあったりする現象を $\boxed{\text{ウ}}$ という。音の強めあう点では，波の $\boxed{\text{エ}}$ あるいは $\boxed{\text{オ}}$ が重なるために振幅が大きくなるのに対して，音の弱めあう点では波の $\boxed{\text{カ}}$ が重なるため振幅が小さくなる。音の強めあう点の条件は，重なり合う波のそれぞれの経路の差ΔL〔m〕を整数m(＝0，1，2，…)と波長λを用いて $\boxed{\text{a}}$ で表される。すなわち，重なり合う波の $\boxed{\text{キ}}$ が常に同じであることを意味する。一方，音の弱めあう条件は，ΔLをm，λを用いて $\boxed{\text{b}}$ で表される。これは，重なり合う波の $\boxed{\text{キ}}$ が $\boxed{\text{ク}}$ 分ずれていて常に逆であることを意味している。

問1　文中の $\boxed{\text{ア}}$ から $\boxed{\text{ク}}$ に当てはまる適切な語句を次の語群から選んで番号を答えよ。

1 回　折	2 屈　折	3 位　相	4 干　渉	5 散　乱	6 反　射
7 一波長	8 半波長	9 山と山	10 山と谷	11 谷と谷	

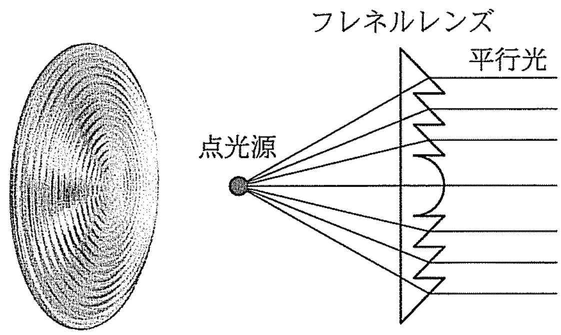
問 2　文中の $\boxed{\quad a \quad}$ ，$\boxed{\quad b \quad}$ に当てはまる式を答えよ。

問 3　点 A で発せられ点 B に到達した音波のうち，スリット S_1 を通過する経路 AS_1B の長さ L_1 を d, ℓ を用いて答えよ。

問 4　d は ℓ に比べて十分小さいため，『$|x|$ が 1 に比べて十分小さいとき，$(1+x)^n \fallingdotseq 1+nx$ が成りたつ』という近似を用いて，経路 AS_0B と AS_1B の経路差 ΔL の近似値を答えよ。

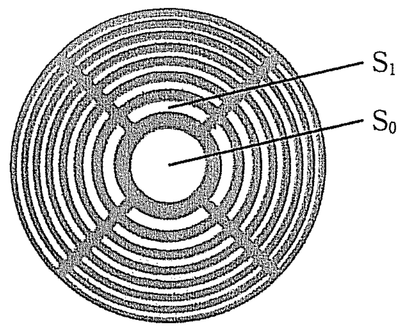
問 5　点 B が $m=1$ の強めあう点となるために必要とされる d の条件を ℓ, λ を用いて答えよ。

問 6　観測者が点 B 以外の音が強まる地点を探すために，点 B を起点として音響フレネルレンズに近づいたり遠ざかったりして直線 AB 上を少しずつ移動したところ，音が強まる新たな点 B′ が見つかった。はじめに見つかった点 B′ の S_0 からの距離 ℓ'[m] を d, λ を用いて答えよ。



フレネルレンズ　　光の経路の概念図

図 1



音響フレネルレンズ

図 2

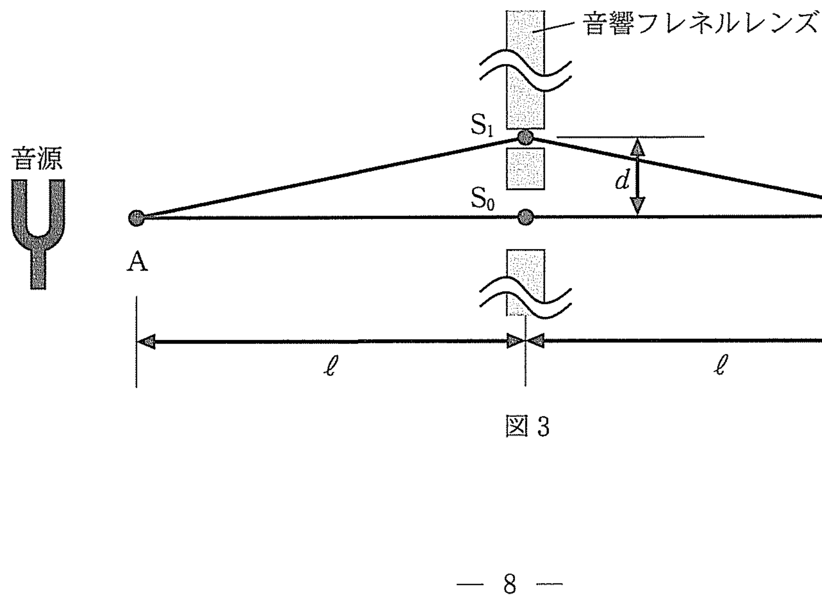


図 3