問　題　訂　正

科目名　　　（理科（物理基礎・物理））

【問題冊子】

$\boxed{4}$　　12 ページ

図 8 は，以下の図を用いること。

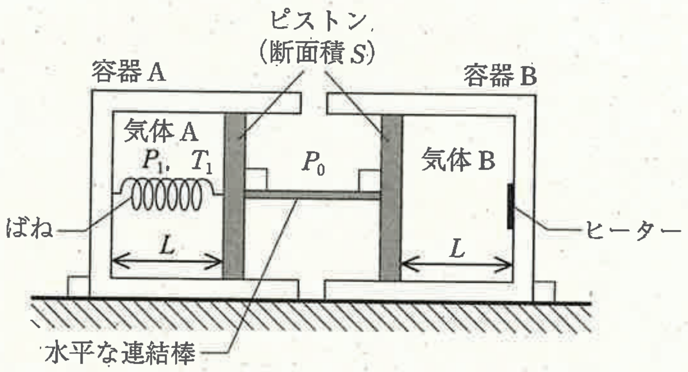

図 8　状態 1（┌ と ┐ は垂直を表す）

令和 6 年度入学者選抜
学力検査問題冊子
（前期日程）

理　科　（物理基礎・物理）　　（ **工学部** ）

注　意　事　項

1．開始の合図があるまで，この問題冊子を開いてはいけない。
2．開始の合図の後，解答にかかる前に，まず，問題の部分が **13** ページからなっていることを確認すること。
3．問題は全部で **4** 問ある。
4．解答は解答冊子のそれぞれの問題に対応する欄の中に記すこと。
5．余白は数値計算などに利用してよい。
6．解答冊子は持ち帰ってはいけない。
7．この問題冊子は持ち帰ること。

1 酒造りなどで，液体の比重を調べるために「浮標式比重計」が使われる。液体の比重は「対象となる液体の密度」と「基準となる液体の密度」の比である。**図 1** は「浮標式比重計」を簡略化した物体を表している。断面積 S〔$\mathrm{m^2}$〕の円柱形の物体(固体)は，ふたつの部分からできており，

・上の部分は長さ L〔m〕で密度が ρ_L〔$\mathrm{kg/m^3}$〕で，

・下の部分は長さ ℓ〔m〕で密度が ρ_ℓ〔$\mathrm{kg/m^3}$〕

である。物体のふたつの部分は，同じ質量で

$$\rho_L LS = \rho_\ell \ell S$$

の条件が成立しているものとする。この物体が鉛直方向に向いて，密度 ρ〔$\mathrm{kg/m^3}$〕の液体に浮いている。物体が静止している場合，液体の外にある物体の長さを d〔m〕とする。

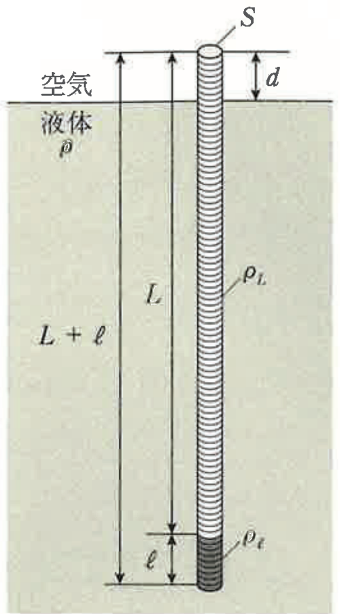

図 1

液体中の物体には浮力が働き，浮力の作用点は「物体が排除している液体の重心」と同じ位置である。また，液体による抵抗力や空気の浮力による影響は考えないものとし，液体や物体の各部分の密度は一様であるとする。なお，重力加速度を g〔$\mathrm{m/s^2}$〕とする。

問 1 物体の下端から物体の重心までの距離が $\dfrac{3\ell + L}{4}$ であることを，重心の求め方を明確にして導出過程を示せ。

問 2 物体が液体に浮いて静止している場合について，物体の下端から浮力の作用点までの距離が $\dfrac{\rho_L}{\rho}L$ であることを，重力と浮力のつり合いの関係を明確にして導出過程を示せ。

問 3 物体に働く「浮力の最大値」は，物体のすべてが液体中にある場合の浮力の大きさである。物体が液体に浮くためには，「浮力の最大値」が「物体に働く重力の大きさ」より大きければよい。物体が液体に浮くために $\dfrac{\rho_L}{\rho}$ が満たす条件を L と ℓ を用いて表せ。

図 1 のように鉛直方向を向いて物体が浮いていて，**図 2** のように物体が傾いたとき，鉛直方向の状態(**図 1**)に戻るように動くならば「安定」であるという。なお，物体の断面積 S は十分に小さく，物体が傾いても浮力の作用点は変わらないものとする。

問 4 **図 2** のように，空気中にある物体の長さが d のままで，角度 θ〔rad〕傾いた状態を考える。物体の中心線と液面の交点を通り，紙面に垂直な直線を回転軸として，力のモーメントを考え，「安定」であるために $\dfrac{\rho_L}{\rho}$ が満たす条件を，**問 1** と **問 2** の結果を用いて L と ℓ で表せ。

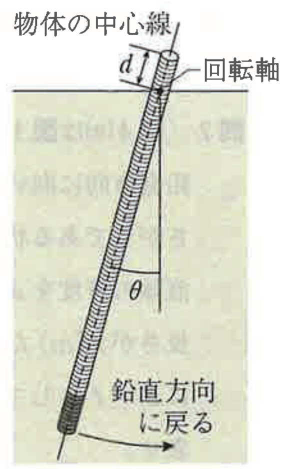

図 2 「安定」である条件

問 5 物体が浮いていて，かつ，安定であるためには，L と ℓ の間および ρ_L と ρ_ℓ の間にはどのような関係が必要か。下の選択肢(a)〜(d)から適切なものを選び記号で答え，理由を説明せよ。

(a) $L < \ell$ および $\rho_L < \rho_\ell$　　(b) $L < \ell$ および $\rho_L > \rho_\ell$

(c) $L > \ell$ および $\rho_L < \rho_\ell$　　(d) $L > \ell$ および $\rho_L > \rho_\ell$

問 6 物体が浮いていて，かつ，安定であるために $\dfrac{\rho_L}{\rho}$ および $\dfrac{\rho_\ell}{\rho}$ それぞれが満たすべき条件は，どのようなグラフで表されるか。それぞれの条件として適切なグラフを，**図 3** の(a)〜(f)から選び記号で答え，理由を説明せよ。なお，境界が条件に含まれるかどうかについては議論しなくてよい。

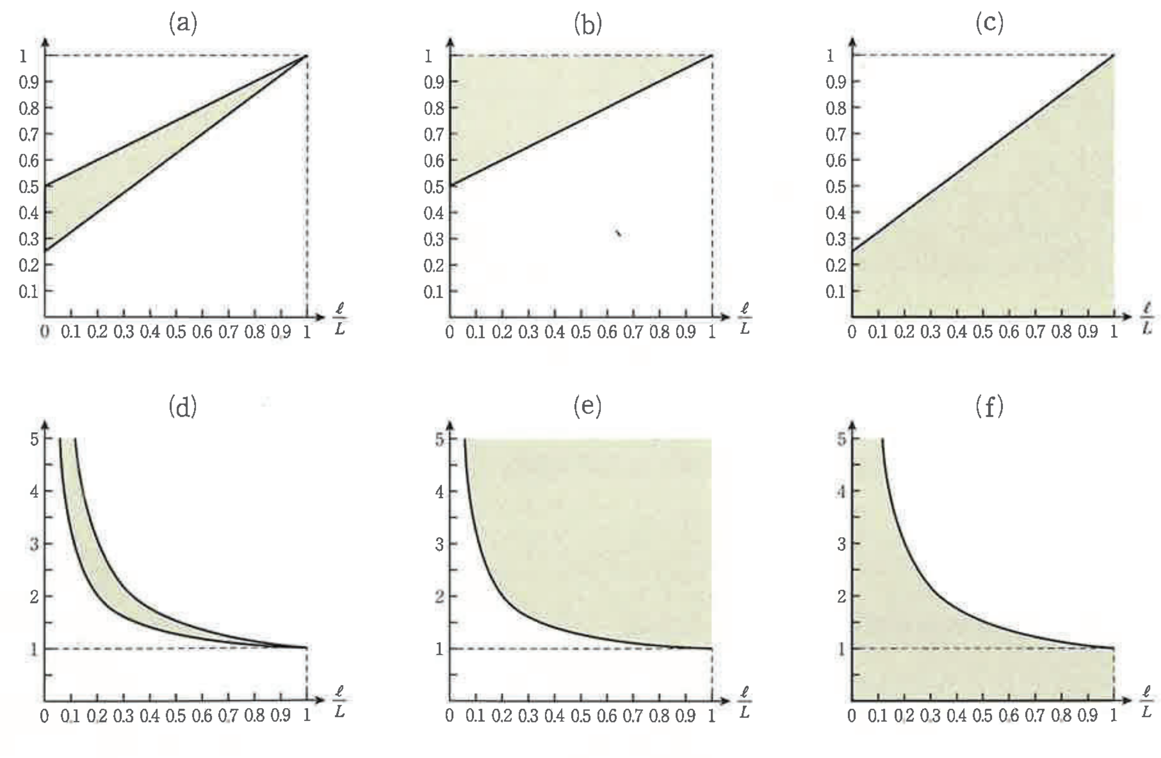

図 3 $\dfrac{\rho_L}{\rho}$ あるいは $\dfrac{\rho_\ell}{\rho}$ が満たす条件を灰色の領域で示したグラフ。
縦軸は密度の比 $\dfrac{\rho_L}{\rho}$ あるいは $\dfrac{\rho_\ell}{\rho}$ である。
図中の太い実線は領域の境界を表しており，
灰色の領域で太い実線がないところはその先に続くことを意味する。

次に，「浮標式比重計」によって液体の比重が測定できる理由を考える。

問 7　**図 4**(a)は**図 1** と同じで，密度 ρ の液体に物体が鉛直方向に向いて浮いていて，液体の外にある長さが d である状態を示している。**図 4**(b)のように，液体の密度を ρ_x〔kg/m^3〕にすると，空気中にある長さが x〔m〕だけ長くなったとする。簡単のために $d = \ell$ として，液体の密度の比 $\frac{\rho_x}{\rho}$ を L と x で表せ。

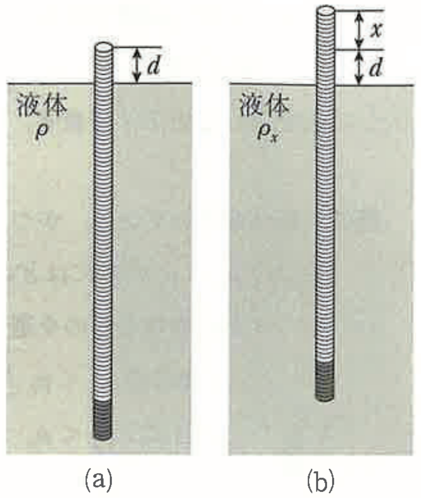

図 4

（このページは空白）

2 図5のような電池，平行板コンデンサー，スイッチ，抵抗からなる回路について考えよう。電池の起電力の大きさは V〔V〕とし，コンデンサーの極板はすべて同じ面積 S〔m^2〕の円板であり，極板間は真空である。コンデンサー1，2，3の極板間距離はそれぞれ d〔m〕，$\dfrac{d}{3}$，d である。また，真空の誘電率は ε_0〔F/m〕とする。

はじめスイッチ1，2，3は開いている。いずれのコンデンサーにも電荷は蓄えられてない状態であった。スイッチ1を閉じて電気容量 C〔F〕のコンデンサー1を充電した。十分に時間がたち，コンデンサー1に蓄えられている電荷が Q〔C〕，静電エネルギーが U〔J〕となった。以下の問いに答えよ。

問1 電気容量 C を，S，d，ε_0 を用いて表せ。

問2 電荷 Q と静電エネルギー U を，C，V を用いて表せ。

次にスイッチ2を閉じ，コンデンサー2，3にも充電した。十分に時間がたった時点でスイッチ1を開いた。

問3 コンデンサー1，2，3それぞれに蓄えられている電荷 Q_1〔C〕，Q_2〔C〕，Q_3〔C〕を，Q を用いて表せ。

問4 コンデンサー1，2，3に蓄えられているエネルギーの総和 U_F〔J〕を，Q，V を用いて表せ。

次に，スイッチ3を閉じると，抵抗に電流が流れたが，しばらくすると電流は0になった。

問5 スイッチ3を閉じてから，抵抗を流れる電流が0になるまでに，抵抗を通って流れた電荷の総量 q〔C〕を，Q を用いて表せ。

問6 抵抗を流れる電流が0になった後の，コンデンサー1，2，3それぞれの極板間の電位差の大きさ V_1〔V〕，V_2〔V〕，V_3〔V〕を，V を用いて表せ。

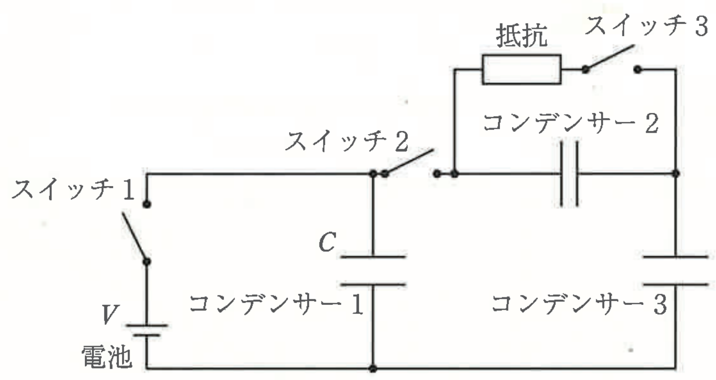

図5

3 音波を利用した海中探査について考える。**図6**と**図7**に示すように，海上で静止した船の底（点S）にある音源から，振動数F〔Hz〕の音波を発した。海流はなく，点Sで生じた音波は，海中をすべての方向へ一定の速さV〔m/s〕で伝わるとする。海中には物体があり，点Sを含む鉛直面内の水平軸x上を，正の方向へ一定の速さu〔m/s〕（$0 < u < V$）で運動しているとする。

図6に示すように，時刻0に点Sで生じた音波の波面は，時刻t〔s〕に点Pで物体へ達した。続いて**図7**に示すように，時刻0から時間ΔT〔s〕経過後に点Sで生じた音波の波面が，時刻$t + \Delta t$〔s〕に点Qで物体へ達した。なお，時刻tから$t + \Delta t$までの間に，物体上では振動数f〔Hz〕の音波が観測された。時間ΔtとΔTは，ともに十分に小さいとする。図中，線分SPの長さをL〔m〕，点Sを通る鉛直線とx軸との交点をO，角SPOの大きさをθ〔rad〕（$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$）とおく（ここでは，物体が点Oに近づく場合のみを考える）。また，音波の1波長分を1つの波と数える。

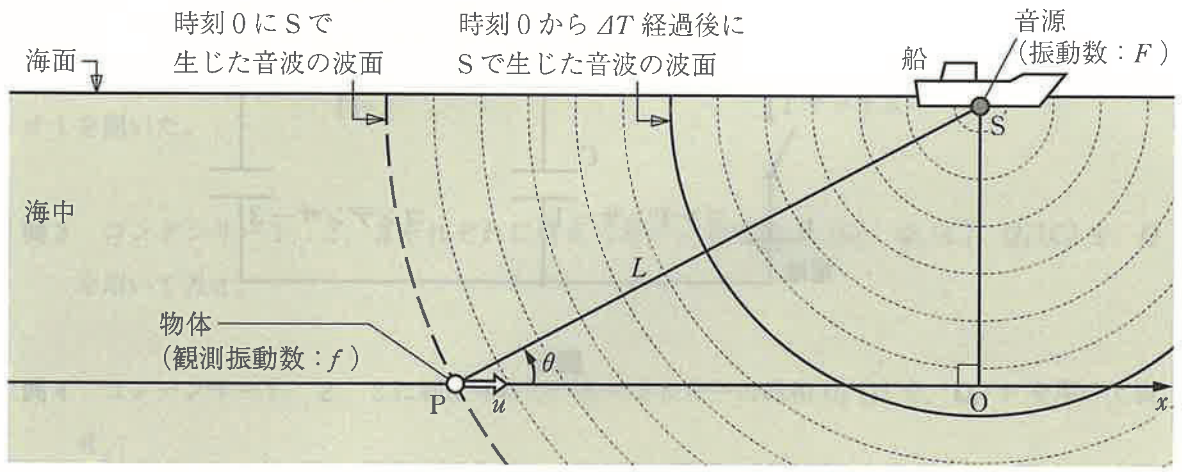

図6　時刻tにおける物体の位置と波面の様子

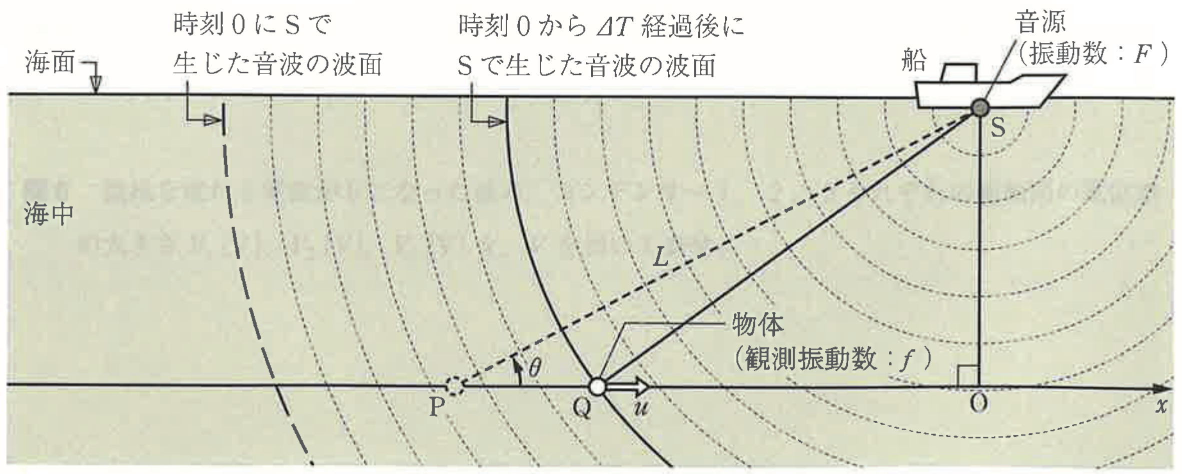

図7　時刻$t + \Delta t$における物体の位置と波面の様子

問1　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{(a)}}$ ～ $\boxed{\text{(g)}}$ に入れる式を，F，f，V，u，ΔT，Δt，L，θの中から必要なものを用いて答えよ。特に $\boxed{\text{(e)}}$ ～ $\boxed{\text{(g)}}$ については，その導出過程も記せ。また，空欄 $\boxed{\text{(イ)}}$ ～ $\boxed{\text{(ハ)}}$ に入れる最も適切な語句を，後の選択肢から選べ。

時刻tから$t + \Delta t$までの間に運動中の物体上で観測された波の数は$\Delta t \times$ $\boxed{\text{(a)}}$ である。これは，時刻0からΔTの間に点Sで生じた波の数$\Delta T \times$ $\boxed{\text{(b)}}$ に等しい。ゆえに次式①が成立する。

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{\boxed{\text{(a)}}}{\boxed{\text{(b)}}} \quad \cdots\cdots（式①）$$

一方，時刻tから$t + \Delta t$までの間に物体上で観測された波の数は，静止点Pで観測された波の数よりも $\boxed{\text{(イ)}}$ 。したがってfはFよりも $\boxed{\text{(ロ)}}$ 。このように，観測者または音源が運動すると，音波の振動数は変化して観測される。これを $\boxed{\text{(ハ)}}$ という。

物体上で観測された振動数fを求める。まずはtは，音波が距離Lを伝わる時間であり，VとLを用いて$t =$ $\boxed{\text{(c)}}$ と表すことができる。つぎに線分SQの長さ$\overline{\text{SQ}}$〔m〕は，音波が$t + \Delta t - \Delta T$の時間に伝わる距離であるから，V，ΔT，Δt，Lを用いて次式②のように表される。

$$\overline{\text{SQ}} = V \times \left(\boxed{\text{(c)}} + \boxed{\text{(d)}} \right) \quad \cdots\cdots（式②）$$

あるいは，三角形SPQに余弦定理を適用するか，三角形SQOに三平方の定理を適用することで，次のように表すこともできる。

$$\overline{\text{SQ}} = L \times \sqrt{1 + \left(\boxed{\text{(e)}} \right)^2 - 2 \times \boxed{\text{(e)}} \times \boxed{\text{(f)}}}$$

ここで $\boxed{\text{(e)}}$ は1よりも極めて小さく，その二乗項 $\left(\boxed{\text{(e)}} \right)^2$ を無視できるとする。加えて，$|r|$が1よりも極めて小さい場合に成立する近似式$\sqrt{1 - r} \fallingdotseq 1 - \frac{1}{2}r$を適用すると，次式③が得られる。

$$\overline{\text{SQ}} \fallingdotseq L \times \left(1 - \boxed{\text{(e)}} \times \boxed{\text{(f)}} \right) \quad \cdots\cdots（式③）$$

式②と③が等しいとして$\frac{\Delta T}{\Delta t}$を求め，それを式①と比較することで，振動数$f$の式④を得る。

$$f \fallingdotseq F \times \frac{V + \boxed{\text{(g)}}}{V} \quad \cdots\cdots（式④）$$

$\boxed{\text{(イ)}}$ の選択肢：多い，少ない
$\boxed{\text{(ロ)}}$ の選択肢：大きい，小さい
$\boxed{\text{(ハ)}}$ の選択肢：ドップラー効果，うなり，ホイヘンスの原理

次に，時刻 0 に点 S で生じた音波の波面が，物体で反射し，時刻 T〔s〕に線分 SP の方向から点 S へ入射したとする。この反射波の情報から，海中の物体の様子を知ることができる。

問 2　深さ $\overline{\mathrm{SO}}$〔m〕を，T，V，θ を用いて表せ。

問 3　点 S で観測される物体からの反射波の振動数を F_{R}〔Hz〕として，物体の速さ u が次の式で求められることを示せ。

$$u \fallingdotseq \frac{F_{\mathrm{R}} - F}{F_{\mathrm{R}} + F} \times \frac{V}{\cos\theta}$$

なお，物体が速さ u で運動しながら振動数 f'〔Hz〕の音波を発し，静止点 S で振動数 F'〔Hz〕の音波を観測する場合，F' は次式⑤のようになることが知られている。ここで，式⑤の $\boxed{\ \text{(g)}\ }$ は式④のものと同じである。必要に応じ，式⑤を用いてよい。

$$F' \fallingdotseq f' \times \frac{V}{V - \boxed{\ \text{(g)}\ }} \quad \cdots\cdots\ (式⑤)$$

（このページは空白）

4 図8のように，同一の断面積 S〔m^2〕のピストンを有するふたつの容器（AとB）が水平に固定されている。ピストンと容器の外部は，大気圧 P_0〔Pa〕の空気である。ピストンおよび容器は，いずれも断熱材でつくられていて，それらの質量は無視できる。ふたつのピストンは，十分に細くて質量が無視できる変形しない水平方向を向いた連結棒に垂直に接続されており，滑らかに左右に動く。いずれの容器にも，比熱比 γ の単原子分子理想気体が物質量 n〔mol〕封入されており，それぞれを気体A，気体Bとする。なお，気体定数を R〔J/(mol·K)〕とする。

容器Aとピストンの間には，図8のように，ばね定数 k〔N/m〕で自然長 L〔m〕の質量や体積が無視できるばねが取り付けられている。このばねが自然長のとき，容器Bとピストン間の距離も L であるとする。容器Bには，体積が無視できるヒーターが設置されている。このような装置を用いて，以下の**状態1**と**状態2**を考える。**表1**は，それぞれの状態での気体Aと気体Bの圧力および温度を表している。なお，ばね，ピストンおよび容器の熱容量は考えないものとする。

状態1（**図8**）：ばねは自然長 L である。このとき，気体Aの圧力，温度は，それぞれ P_1〔Pa〕，T_1〔K〕であった。

ヒーターで気体Bのみを加熱したところ，ピストンと連結棒は左へ $\frac{L}{2}$ だけ，ゆっくり移動した。なお，気体Aは断熱変化し，移動の間ピストンと連結棒に働く力は常につり合っていたものとする。また，理想気体では，断熱変化するときの圧力 p〔Pa〕と体積 V〔m^3〕には，pV^{γ} ＝一定の関係がある。

状態2（**図9**）：気体Bの圧力は，気体Aの圧力より P_1 大きくなった。

問1 **状態1**の圧力 P_1 を，n，R，L，S，T_1 を用いて表せ。

問2 **状態2**について考えると，ばね定数 k は $\frac{2P_1S}{L}$ となる。大気圧 P_0 が関与しない理由を明確にして，ばね定数 k が $\frac{2P_1S}{L}$ になることを示せ。

問3 表1の $\boxed{\text{(a)}}$ ～ $\boxed{\text{(e)}}$ に入る式を，その導出過程とともに答えよ。なお，$\boxed{\text{(a)}}$ および $\boxed{\text{(c)}}$ は，γ と P_1 から必要なものを用いて表し，$\boxed{\text{(b)}}$，$\boxed{\text{(d)}}$ および $\boxed{\text{(e)}}$ は，γ と T_1 から必要なものを用いて表せ。

問4 **状態1**から**状態2**への変化について，気体Aの内部エネルギーの変化量 ΔU_A〔J〕，および気体Bの内部エネルギーの変化量 ΔU_B〔J〕を，それぞれ，T_1，γ，n，R を用いて表せ。

問5 **状態1**から**状態2**への変化について，ヒーターが気体Bに加えた熱量 Q〔J〕を T_1，γ，n，R を用いて表せ。

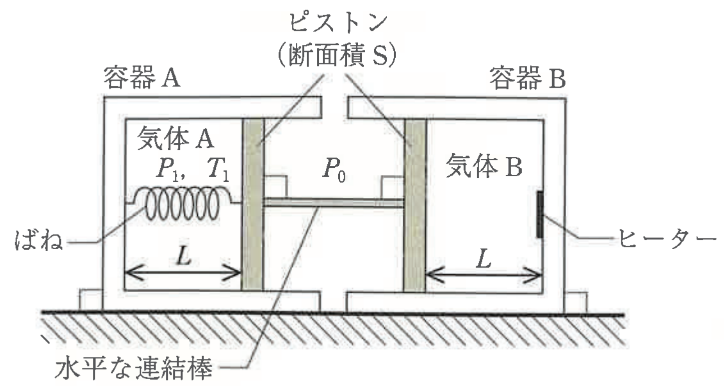

図8　**状態1**（┌ と ┐は垂直を表す）

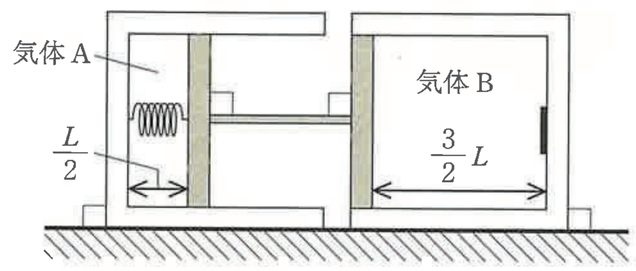

図9　**状態2**（┌ と ┐は垂直を表す）

表1

状態	気体A		気体B	
	圧力〔Pa〕	温度〔K〕	圧力〔Pa〕	温度〔K〕
1	P_1	T_1	$\boxed{\text{(a)}}$	$\boxed{\text{(b)}}$
2	$\boxed{\text{(c)}}$	$\boxed{\text{(d)}}$	$\boxed{\text{(c)}}$ ＋ P_1	$\boxed{\text{(e)}}$

（このページは空白）

[redacted]

令和６年度入学者選抜
学力検査解答冊子
（前期日程）

理　科（物理基礎・物理）
解　答　冊　子

（ 工学部 ）

見本

受験番号

志願学科

注 意 事 項

1. 開始の合図があるまで，この解答冊子を開いてはいけない。
2. 開始の合図の後，解答にかかる前に，まず，解答冊子が 10 ページからなっていることを確認すること。
3. 開始の合図の後，志願学科，受験番号をこの表紙の所定の欄に記入すること。
4. この解答冊子はばらばらにしてはいけない。
5. 解答はそれぞれの問題に対応する欄の中に記すこと。
6. 解答には必要な計算過程も記すこと。
7. この解答冊子は持ち帰ってはいけない。

	1	2	3	4	総 計
得点					

（このページは空白）

1

問1	導出過程
問2	導出過程
問3	
問4	

得点1

問5	L と ℓ および ρ_L と ρ_ℓ の関係	理由の説明	
問6	$\frac{\rho_L}{\rho}$:	$\frac{\rho_\ell}{\rho}$:	理由の説明
問7			

2

問 1	$C =$
問 2	$Q =$, $U =$
問 3	$Q_1 =$ $Q_2 =$ $Q_3 =$
問 4	$U_F =$

得点2

問 5	$q =$
問 6	$V_1 =$ $V_2 =$ $V_3 =$

3

(イ)	(ロ)	(ハ)	
(a)	(b)	(c)	(d)
(e)	(f)		

問1

導出過程

(g)

導出過程

得点3

問2

$\overline{SO} =$

問3

4

問1

$P_1 =$

問2

問3

（a）

（b）

（c）

（d）

得点4

問3

（e）

問4

$\Delta U_A =$

$\Delta U_B =$

問5

$Q =$