D－1

令和２年度入学者選抜学力検査問題

理　　科

注　意　事　項

1. この冊子は，監督者から解答を始めるよう合図があるまで開いてはいけません。
2. 監督者から指示があったら，解答用紙の上部の所定欄に受験番号，座席番号を，また，下部の所定欄には座席番号をそれぞれ記入しなさい。その他の欄に記入してはいけません。
3. 選択科目は，届け出た科目について解答しなさい。それ以外の科目について解答すると失格となります。
4. 解答すべき問題の番号は，学部・学科等で異なるので，各科目の最初に書いてある注意事項の表で確認しなさい。
5. この冊子の余白の部分を計算，下書きに使用してもかまいません。
6. 解答用紙は，記入の有無にかかわらず，持ち帰ってはいけません。
7. この冊子は，持ち帰りなさい。
8. 落丁，乱丁または印刷不備があったら申し出なさい。

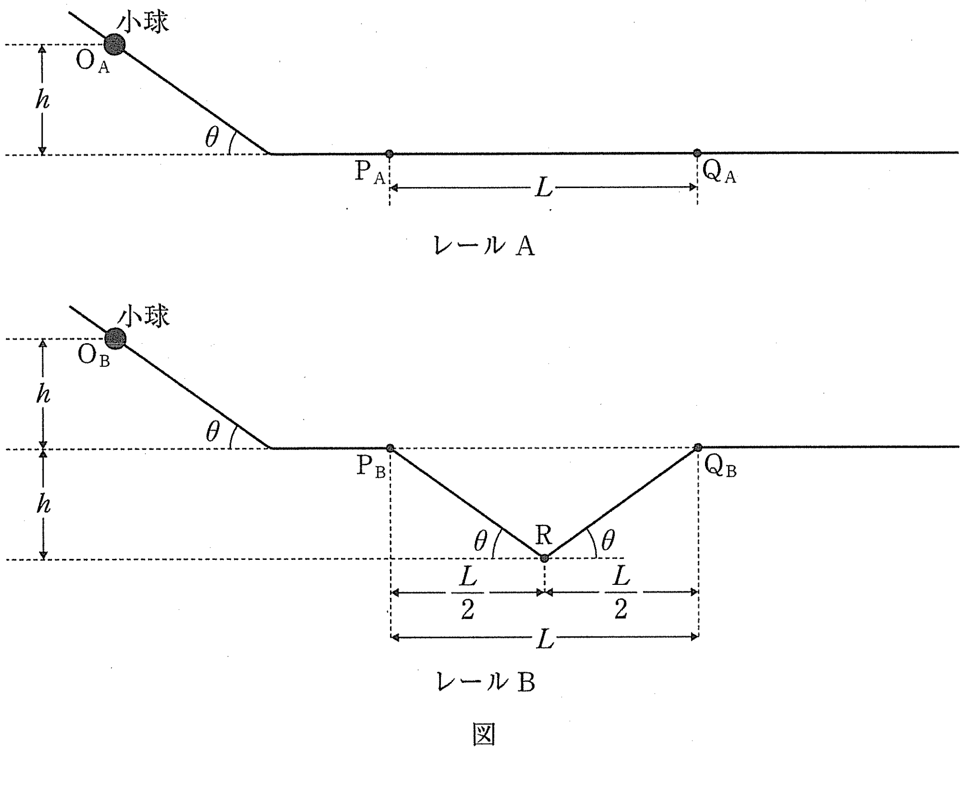
物　　理

注意　1. 志望する学部・学科等により，表に示す番号の問題を解答すること。
　　　2. 解答は，問題文中に特に指示がない限り，**結果のみ**を解答用紙の所定の欄に記入すること。

志望する学部・学科等		解答する問題番号
国際教養学部	志望者のうち物理を選択する者	1　3　5　6
教育学部	志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
理学部	数学・情報数理学科，化学科，生物学科，地球科学科志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
理学部	物理学科	2　4　5　6
工学部	総合工学科(建築学コース，機械工学コース，電気電子工学コース，情報工学コース)	2　4　6
工学部	総合工学科(都市環境システムコース，デザインコース，医工学コース，物質科学コース，共生応用化学コース)	1　3　5
園芸学部	志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
医学部	志望者のうち物理を選択する者	2　4　6
看護学部	志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
先進科学プログラム(方式Ⅱ)	物理学関連分野	2　4　5　6
先進科学プログラム(方式Ⅱ)	工学関連分野(都市環境システムコース，デザインコース，医工学コース，物質科学コース，共生応用化学コース)志望者，および化学関連分野，生物学関連分野志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
先進科学プログラム(方式Ⅱ)	工学関連分野(建築学コース，機械工学コース，電気電子工学コース，情報工学コース)	2　4　6

1 図のような形状の２本の細いレール A，B に，穴をあけた小球を通す。両レールの傾斜部分の傾き角 θ（$0^\circ < \theta < 90^\circ$）は全て等しく，レール B 上の P_BR 間の高低差は h である。また，レール A 上には２点 P_A，Q_A を，その距離がレール B の P_BQ_B 間の距離 L と等しくなるようにとる。小球の質量を m，重力加速度の大きさを g として，以下の問いに答えなさい。ただし，レールと小球との間に摩擦はないものとし，また，レールの水平部分と傾斜部分はなめらかにつながれており，つなぎめの長さは短く，無視できるものとする。なお，必要があれば次の三角関数に関する公式を用いてよい。

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta$$
$$\cos(\alpha + \beta) = \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta$$



図

はじめに，レール A 上で，水平部分からの高さが P_BR 間の高低差 h と同じである点 O_A で小球を静かにはなす。

問 1　P_AQ_A 間を移動する小球の速度 v_A を m, h, θ, g のうち必要な記号を用いて表しなさい。ただし，図の P_A から Q_A に向かう向きを正とする。

問 2　P_AQ_A 間の移動に要する時間 t_A を h, L, g を用いて表しなさい。

次に，レール B 上で，水平部分からの高さが P_BR 間の高低差 h と同じである点 O_B で小球を静かにはなす。

問 3　P_BR 間における小球の，傾斜部分に平行な方向の運動方程式を，小球の加速度 a_B と，m, θ, g を用いて表しなさい。ただし，a_B は図の P_B から R に向かう向きを正とする。

問 4　h を L, θ を用いて表しなさい。

問 5　P_BQ_B 間の移動に要する時間 t_B を L, θ, g を用いて表しなさい。

問 6　L を一定に保ったまま傾き角 θ を変化させる。このとき，θ の変化に応じて高低差 h も変わり，小球をはなす高さもこれに等しくなるように変えるものとする。P_BQ_B 間の移動時間 t_B が最も短くなるときの傾き角 θ_0 を求めなさい。

次に，レール A, B 上における移動時間 t_A, t_B を比較する。

問 7　傾き角 θ が問 6 の角 θ_0 と等しいときの $\dfrac{t_B}{t_A}$ を小数第 2 位まで求めなさい。ただし，$\sqrt{2} \fallingdotseq 1.414$ である。

問 8　$t_B < t_A$ となる $\cos\theta$ の値の範囲を不等式で表しなさい。

2 図1のように，質量 M，長さ L の一様で細くかたい棒ABを，なめらかで鉛直な壁とあらく水平な床との間に立てかけたところ，棒は静止した。棒は壁に垂直な鉛直面内にあるものとし，床と棒のなす角を θ（$0° < \theta < 90°$）とする。棒と床との間の静止摩擦係数を μ，重力加速度の大きさを g として，以下の問いに答えなさい。ただし，解答に用いる物理量を表す記号は，問題文中に与えられているもののみを用いること。

問 1　棒が床から受ける垂直抗力と摩擦力の大きさをそれぞれ求めなさい。

問 2　この角度 θ で棒が静止したことからわかる静止摩擦係数 μ の大きさの範囲を不等式で表しなさい。

次に，図2のように，棒の上端Bから距離 x だけ離れた位置で，細くて軽い糸で質量 m のおもりを棒につるした。このとき棒は静止したままであった。

問 3　棒が床から受ける垂直抗力と摩擦力の大きさをそれぞれ求めなさい。

問 4　この角度 θ で棒が静止したことからわかる静止摩擦係数 μ の大きさの範囲を不等式で表しなさい。

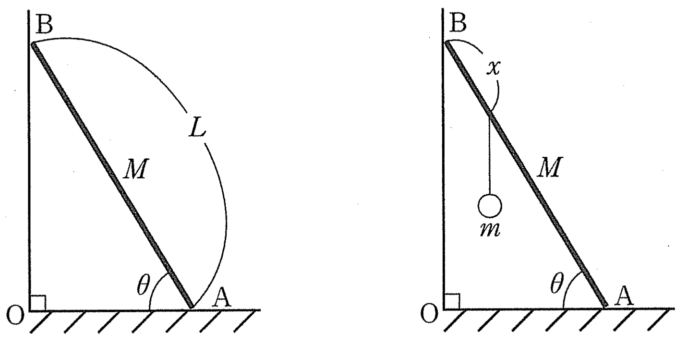


図1　　図2

次に，図1の状態から棒ABの両端を固定し，図3のように，点Eから質量mの小球を棒に向けて斜方投射した。ただし点Eは，棒を含む鉛直面内にあって，棒の下端Aから距離OAの2倍だけ離れた点Dの真上で，棒の中点Cと同じ高さにある点である。その後，小球は中点Cにおいて棒と垂直に非弾性衝突をした後，棒と衝突することなく棒の下端Aの位置に落下した。ここでは空気抵抗は無視できるものとする。

問 5　小球が斜方投射された方向と水平面がなす角度を求めなさい。

問 6　小球が斜方投射されたときの速さを求めなさい。

問 7　小球と棒との間の反発係数を求めなさい。

問 8　棒の中点Cでの衝突によって小球が失った力学的エネルギーを求めなさい。

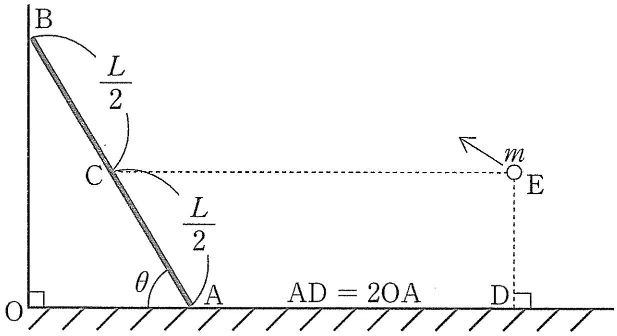


図3

3 細い抵抗線と，電気抵抗が無視できる細い導体棒を用いた回路について，以下の問いに答えなさい。ただし，抵抗線と抵抗線，および抵抗線と導体棒の接触による電気抵抗は無視できるものとする。

A

単位長さあたりの電気抵抗が r で一様な，長さ 2ℓ の2本の抵抗線 AB，CD を考える。図1(a)のように，AB の垂直二等分線上で AB から ℓ だけ離れた点に CD の一端 C を固定し，AB 上の点 P で接触するように CD を置く。AB の垂直二等分線と CD のなす角を θ とし，図1(a)の矢印の向きを正とする。また，AP 間，BP 間および CP 間の電気抵抗を，それぞれ R_1，R_2，R_3 とする。

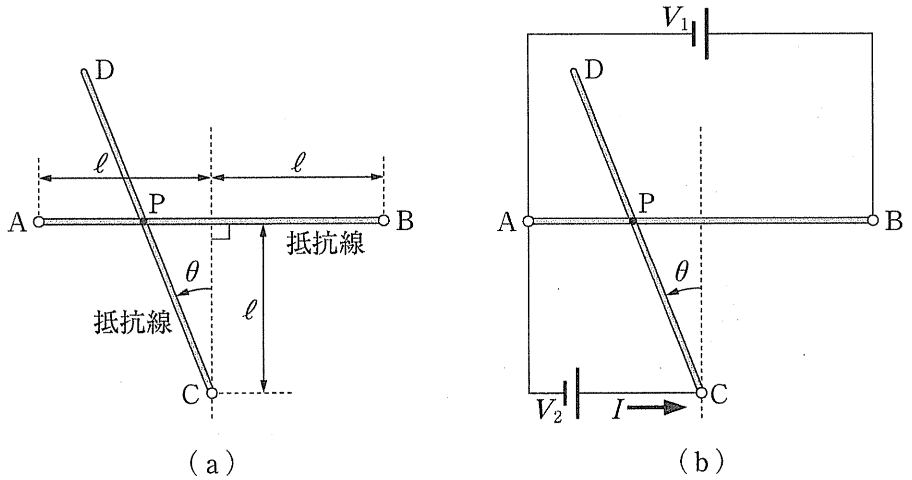


図1

問 1　R_1，R_2，R_3 をそれぞれ，r，ℓ，θ を用いて表しなさい。

次に，図1(b)のように，AB 間に電圧 V_1，AC 間に電圧 V_2 の直流電源を接続した。矢印の向きに端点 C を流れる電流を I とする。

問 2　$\theta = 30°$ として，$I = 0$ となるように V_2 を変えた。このとき，比 $\dfrac{V_2}{V_1}$ を求めなさい。

問 3　V_2 を変えて $V_2 = \dfrac{1}{2}V_1$ としたときの電流 I を V_1，R_1，R_2，R_3 を用いて表しなさい(V_2 は用いないこと)。

B

単位長さあたりの電気抵抗が r で一様な抵抗線を用いて，一辺の長さ 2ℓ の正方形コイル ABCD を作り，図 2 のように座標平面をとる。次に，長さが $\sqrt{2}\,\ell$ より長い導体棒 L の一端を原点 O に固定し，AB 上の点 P$(x,\ \ell)$で，このコイルに接触させる。また，電圧 V の直流電源を，原点 O において導体棒 L に，点 Q $(0,\ -\ell)$ においてコイルに接続する。ただし，コイルと導体棒 L を流れる電流が作る磁場の影響は無視できるものとする。なお，必要があれば次の三角関数に関する公式を用いてよい。

$$\sin(\alpha+\beta)=\sin\alpha\cos\beta+\cos\alpha\sin\beta$$
$$\cos(\alpha+\beta)=\cos\alpha\cos\beta-\sin\alpha\sin\beta$$

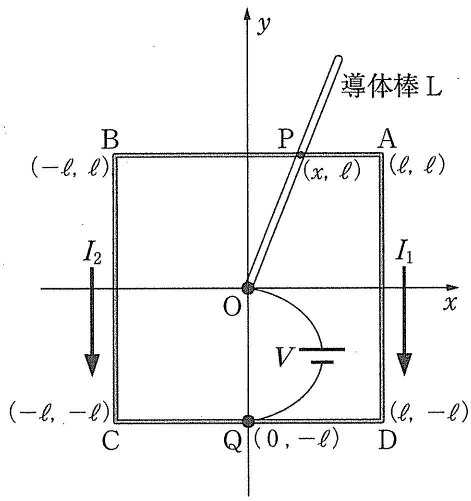


図 2

問 1　コイルの AD 間を矢印の向きに流れる電流 I_1 および BC 間を矢印の向きに流れる電流 I_2 を r, x, ℓ, V のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 2　このとき，コイル全体で消費される電力を r, x, ℓ, V のうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に，図3(a)のように，外部からx軸の正の向きに磁束密度$B_0(>0)$の一様な磁場を加えた。

問 3　この外部磁場から，導体棒LのOP間を流れる電流が受ける力の大きさをr，x，ℓ，V，B_0のうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に，導体棒Lは動かさずに，外部磁場を大きさを変えることなく図3(b)のようにx軸と45°の角度をなすようxy面内で傾けた。

問 4　この外部磁場から，導体棒LのOP間を流れる電流が受ける力の大きさが，磁場を傾ける前(図3(a))と等しくなるような点P$(x,\ \ell)$の位置xをr，ℓ，V，B_0のうち必要な記号を用いて表しなさい。

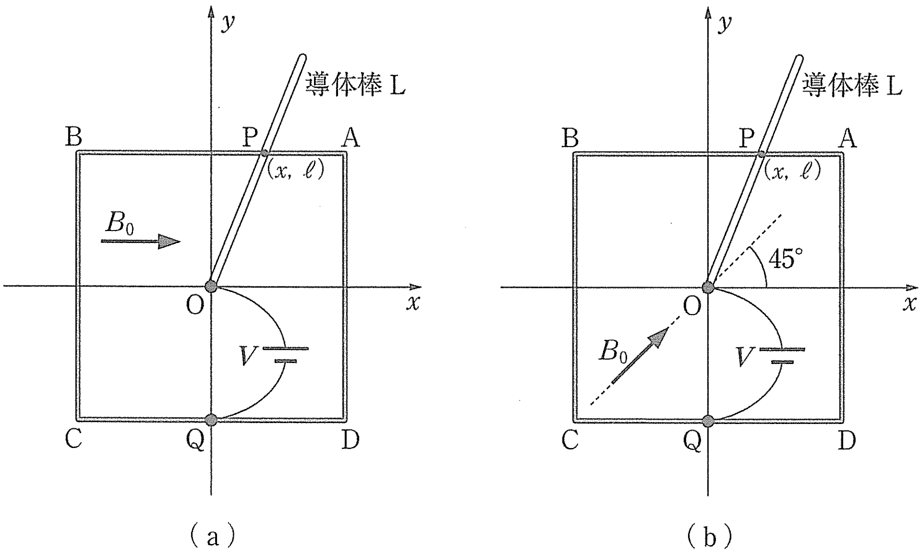


図3

4 極板面積 S, 極板間隔 d の平行板コンデンサーを真空中に置いた。極板間の電場は一様で，極板の周辺部の影響は無視できるものとし，また，重力は無視できるものとして，以下の問いに答えなさい。ただし，真空の誘電率を ε_0 とする。

A

図1のように，平行板コンデンサーの極板 P_1 に電荷 $+Q\ (Q>0)$，極板 P_2 に電荷 $-Q$ が蓄えられているものとする。

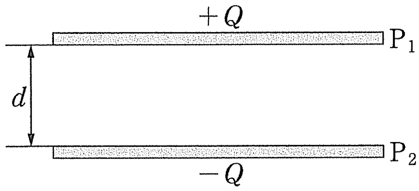


図1

問 1　極板 P_1 と P_2 の間の電場の大きさ E_0 を Q, S, d, ε_0 のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 2　極板間の電位差を V とするとき，極板間に蓄えられている静電エネルギー U_Q を Q, V, E_0, ε_0 のうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に，図2のように極板P_2を固定し，極板上の電荷が逃げないようにして，極板P_1に一定の力を加えて極板間隔をΔdだけゆっくりと広げた。

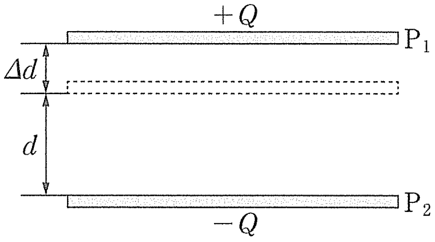


図2

問 3　極板間隔をdから$d+\Delta d$まで広げた後の極板間の電位差V'をQ，E_0，d，Δd，ε_0のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 4　極板間隔をΔd広げたことによるコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの増加量ΔU_QをQ，E_0，d，Δd，ε_0のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 5　極板間隔を広げるために加えた力と極板間にはたらく静電気力の大きさが等しいとして，この静電気力の大きさF_QをQ，E_0，d，Δd，ε_0のうち必要な記号を用いて表しなさい。

B

図3(a)のように，前問Aと同じ平行板コンデンサーの極板P_1を自然長ℓ，ばね定数kの絶縁体の軽いばねに接続し，ばねの他端を壁に固定した。また，極板P_2を壁から距離$\ell + d$の位置に固定した(極板の厚さは無視できる)。極板P_1，P_2には，それぞれ電荷$+Q$ $(Q > 0)$，$-Q$が蓄えられている。また，壁とばねの静電誘導による電荷は無視できるものとする。質量mの極板P_1は極板P_2と平行な位置関係を保って左右になめらかに動くことができるものとする。

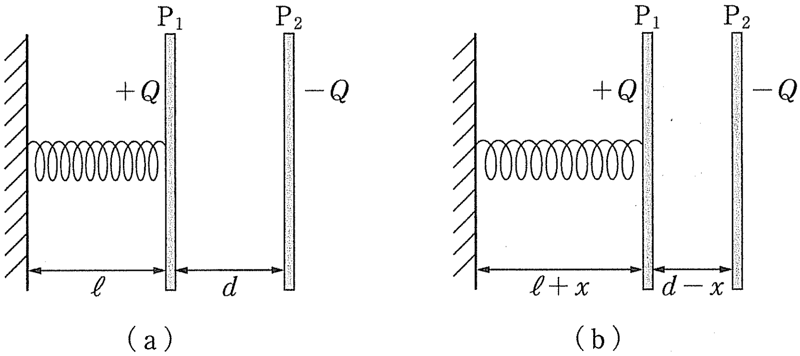


図3

極板P_1に力を加えて壁から距離ℓの位置に保持した。この状態における極板P_1と極板P_2の間の電場の大きさをE_0とする。

問1　図3(b)のように極板P_1を壁から距離$\ell + x$の位置にゆっくりと移動した。極板P_1にばねからはたらく力と極板間の静電気力がつりあうときの位置xをQ，E_0，k，m，ε_0のうち必要な記号を用いて表しなさい。ただし，$0 < x < d$とする。

次に，極板 P_1 を図 3 (a)の位置に戻し，図 4 (a)のようにスイッチと電圧 V_0 (>0)の直流電源に接続した。その後，スイッチを閉じ，極板 P_1 に力を加えて図 4 (b)のように壁から距離 $\ell + x$ の位置にゆっくりと移動した(ただし $0 < x < d$ とする)。その後，極板 P_1 を移動するために加えていた力をなくした。

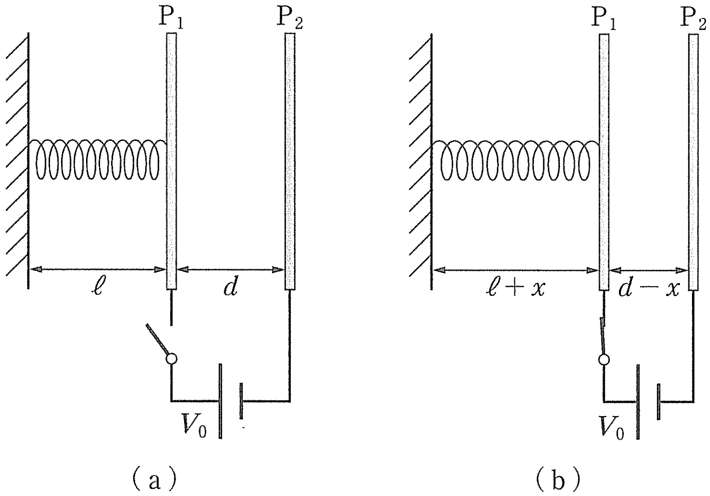
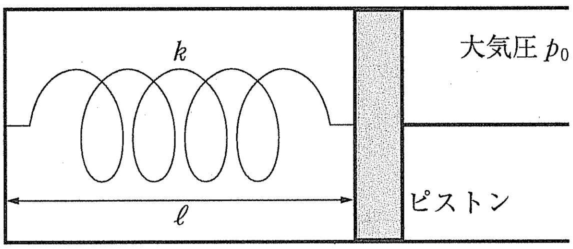


図 4

問 2　極板 P_1 が壁から距離 $\ell + x$ の位置にあるときに極板 P_1 にはたらく力 $F(x)$ を V_0, S, d, x, k, m, ε_0 のうち必要な記号を用いて表しなさい。ただし，極板 P_1 から P_2 に向かう向きを正とする。

問 3　極板 P_1 にはたらくばねからの力と極板間の静電気力がつりあう位置が存在するためには V_0 はある上限値 V_m 以下でなければならない。この V_m を S, d, k, m, ε_0 のうち必要な記号を用いて表しなさい。ただし，$0 < x < d$ のとき，関数 $f(x) = x(d - x)^2$ は $x = \dfrac{d}{3}$ で最大になることを用いてよい。

5 ピストンがついた断面積 S の円筒状の容器に，物質量 n の単原子分子理想気体が封入され，大気中に置かれている。ピストンはなめらかに動くことができ，自然長 ℓ，ばね定数 k のばねで容器の内壁とつながれている。また，容器やピストンは大気とは断熱されているが，熱源を取り付けて容器内の気体の温度を制御することができる。大気圧を p_0，気体定数を R として以下の問いに答えなさい。ただし，容器，ピストン，ばねの熱容量，およびばねの体積は無視してよい。



図

図のように，初期状態では，ピストンは静止しており，ばねは自然長 ℓ であった。

問 1　初期状態の気体の温度 T_0，および内部エネルギー U_0 を n，S，k，ℓ，p_0，R のうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に，容器内の気体の温度を T_0 に保ったまま，ピストンに力を加えてゆっくりと引き，ばねの長さが $\ell + x_1$ $(x_1 > 0)$ となったところで静止させた。

問 2　このときの気体の圧力 p_1 を n，S，k，ℓ，p_0，R，x_1 のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 3　ピストンを静止させたときにピストンを引いている力の大きさ F_1 を n，S，k，ℓ，p_0，R，x_1 のうち必要な記号を用いて表しなさい。

ばねが自然長ℓである初期状態に戻したのち，熱源から容器内の気体にゆっくりと熱を加えたところ，ばねの長さが$\ell + x_2$となり，ピストンは静止した。

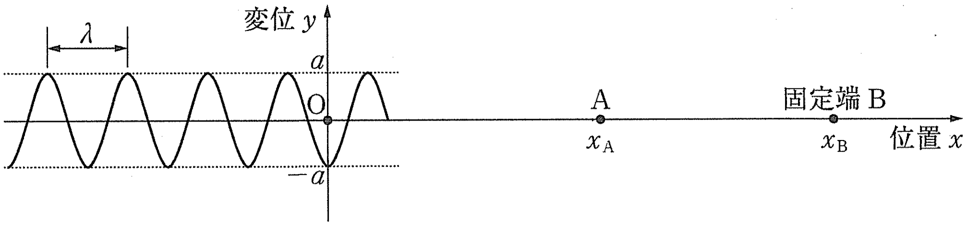
問 4　このときの気体の圧力p_2をS，k，p_0，x_2のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 5　このとき，気体の温度は初期状態の温度T_0のa倍であった。aをS，k，ℓ，p_0，x_2のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 6　ばねの長さがℓから$\ell + x_2$になるまでの間に，熱源が気体に加えた熱量Q_2をS，k，ℓ，p_0，x_2のうち必要な記号を用いて表しなさい。

6 媒質中を正弦波が x 軸の正の向きに進んでいる。時刻 $t=0$ で正弦波の先端が点Oを通過した。図は時刻 $t=t_1$ における媒質の変位の様子を表す。正弦波の振幅を a, 波長を λ, 点Aの x 座標を x_A, 固定端Bの x 座標を $x_B(0<x_A<x_B)$ とし，OA間およびAB間の距離は λ より長いものとする。以下の問いに答えなさい。ただし，解答に用いる物理量を表す記号は，問題文中に与えられているもののみを用いること。なお，必要があれば次の三角関数に関する公式を用いてよい。

$$\sin\alpha+\sin\beta=2\sin\frac{\alpha+\beta}{2}\cos\frac{\alpha-\beta}{2}$$



図

問 1　正弦波の速さと振動数を求めなさい。

その後，正弦波の先端は点Aを通過して，固定端Bに到達し折り返した。

問 2　以下の文章の空欄 $\boxed{\quad ア \quad}$ ～ $\boxed{\quad オ \quad}$ に適した式を答えなさい。

正弦波の先端が点Oを通過して点Aに向かって進んでいるとき，点Oにおける時刻 t の変位 y は，

$$y=a\sin\left\{2\pi\left(\boxed{\quad ア \quad}\right)\right\}$$

と表され，正弦波の先端が点Aに到達した時刻のOA間における位置 x での変位 y は，

$$y = a\sin\left\{2\pi\left(\boxed{\quad イ \quad}\right)\right\}$$

と表される。

正弦波の先端が固定端Bで折り返した後，反射波(正弦波)の先端が点Aに到達した時刻では，AB間における位置xでの反射波の変位yは，

$$y = a\sin\left\{2\pi\left(\boxed{\quad ウ \quad}\right)\right\}$$

と表され，これとx軸の正の向きに進んできた入射波との重ね合わせで得られる合成波の位置xでの変位yは，

$$y = 2a\sin\left\{2\pi\left(\boxed{\quad エ \quad}\right)\right\}\cos\left\{2\pi\left(\boxed{\quad オ \quad}\right)\right\}$$

と表される。

さらに，反射波の先端が点Aを通過し，点Oに到達するまでを考える。このとき，AB間において合成波の節となる点がm個($m \geqq 3$)あった。ただし，節を数えるときは，両端の点A，Bを含むものとする。

問 3　点Aは節ではなかった。このとき，AB間にあってx_Aに最も近い節のx座標を求めなさい。

問 4　点Aが腹であった場合を考える。波長λをx_A，x_B，mを用いて表しなさい。

固定端Bが点Aに向かって，正弦波の$\frac{1}{3}$の速さで移動していた場合を考える。

問 5　反射波の振動数は固定端Bが止まっていた場合に比べて何倍になるか答えなさい。$x_B > x_A$ であることに注意すること。