D－1

令和３年度入学者選抜学力検査問題

理　　科

物　理　1 ページ～ 18 ページ

化　学　19 ページ～ 34 ページ

生　物　35 ページ～ 49 ページ

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
薬学部	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1のように，水平な床の上に質量 M の台が置かれ，ばね定数 k の軽いばねと質量 m の小球が取り付けられている。床と台，台と小球の間に摩擦はなく，小球が台から落ちることはないものとして，以下の問いに答えなさい。ただし，台と小球は床面上の x 軸に沿って動くものとし，速度は x 軸の向きを正とする。

まず，図1のようにストッパーA，Bを床に取り付け，台を固定する。ばねが自然長から d だけ縮んだ位置で小球を静かにはなした。その後，ばねの長さが初めて自然長になったときの小球の速度は v_0 であった。M，m，k，d のうち必要な記号を用いて，問1～3に答えなさい。

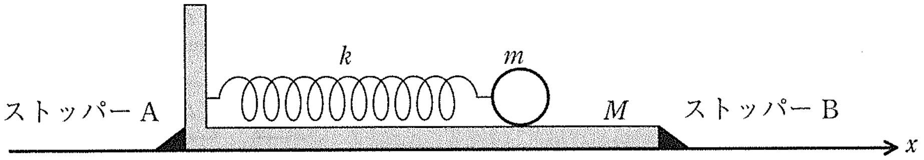


図1

問1　v_0 を求めなさい。

問2　小球をはなしてからばねの長さが初めて自然長になるのに要した時間を求めなさい。

問3　ばねが最も伸びたときの小球の速度を求めなさい。

次に，図２のようにストッパーＡ，Ｂの両方を取りはずし，台が床の上を動けるようにした。ばねが自然長から d だけ縮んだ位置で台と小球を同時に静かにはなした。その後，ばねの長さが初めて自然長になったときの小球の速度は v_1 であった。M，m，k，d のうち必要な記号を用いて，問４～７に答えなさい。

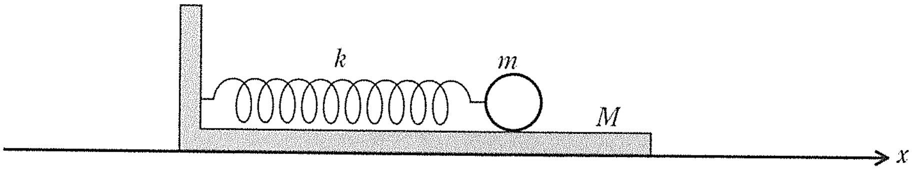


図２

問４　ばねの長さが初めて自然長になったときの台の速度を V_1 とする。このときの $\dfrac{V_1}{v_1}$ を求めなさい。

問５　v_1 を求めなさい。

問６　ばねが最も伸びたときの小球の速度を求めなさい。

問７　ばねの伸びの最大値を求めなさい。

次に，図3のようにストッパーAのみを床に取り付け，台がストッパーAの位置の右側の床の上だけを動けるようにした。ばねが自然長から d だけ縮んだ位置で小球を静かにはなした。その後，ばねの長さが初めて自然長になったときの小球の速度は v_2 であった。M，m，k，d のうち必要な記号を用いて，問8～11に答えなさい。

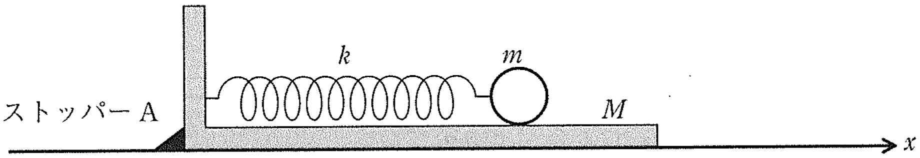


図3

問 8　v_2 を求めなさい。

問 9　小球をはなしてから台が動き始めるまでに要した時間を求めなさい。

問10　ばねが最も伸びたときの小球の速度を v_3 とする。このときの $\frac{v_3}{v_2}$ を求めなさい。

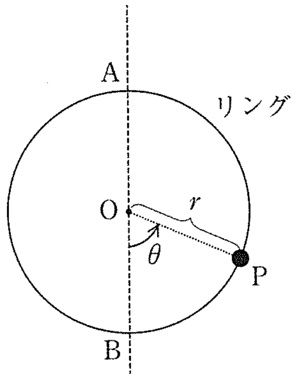
問11　ばねの伸びの最大値を求めなさい。

2 図のように，半径 r の細い円形リングが鉛直面内にある。その頂点をA，最下点をBとする。このリングに，小さな穴の開いた質量 m の小球Pを通し，リングに沿って運動できるようにした。リングの中心をOとし，鉛直下方から測ったPの角度を θ とする。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，小球Pとリングの間の摩擦は無視できるものとする。また，必要があれば三角関数に関する次の公式および近似式を用いてよい。なお，角度はラジアンを単位として表す。

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

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

$|\alpha| \ll 1$ のとき，$\sin\alpha \fallingdotseq \alpha$，$\cos\alpha \fallingdotseq 1$



図

はじめ，リングは固定されていた。

問 1　リングの接線方向の小球Pの加速度を a とし，θ が増加する向きを加速度の正の向きとする。リングの接線方向の小球Pの運動方程式を，m，g，a，r，θ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 2　小球Pを $\theta = \theta_0$（ただし $|\theta_0| \ll 1$）の位置に移動させた後，初速度0で運動させた。このとき，小球Pの運動は単振動とみなすことができる。この単振動の周期を m，g，r のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 3　前問の後，小球Pを$\theta = \dfrac{\pi}{2}$の位置に移動させ，鉛直下向きに速さv_1の初速度を与えたところ，小球Pは点B，点Aを通過し，リング上を回転し続けた。このためには，v_1はある値v_0より大きくなくてはならない。v_0をm，g，rのうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に，リングを一定の角速度ω_1で軸ABのまわりに回転させた。小球Pの位置を調節したところ，ある角度$\theta = \theta_1 \left(0 < \theta_1 < \dfrac{\pi}{2} \right)$を保った。

問 4　ω_1をm，g，r，θ_1のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 5　小球Pがもつ力学的エネルギーを，m，g，r，θ_1のうち必要な記号を用いて表しなさい。ただし，リングの中心Oを位置エネルギーの基準とする。

問 6　点A，B以外の位置で小球Pが角度を一定に保つためには，θ_1を調節したとしても，ω_1がある値ω_0より大きくなくてはならない。ω_0をm，g，rのうち必要な記号を用いて表しなさい。

その後，リングを角速度ω_1で軸ABのまわりに回転させたまま，小球Pを$\theta = \theta_1$の位置からわずかに離した。このとき，リングとともに回転する観測者から見ると，小球Pのリングに沿った運動は単振動とみなすことができた。

問 7　この単振動の周期をm，g，r，θ_1のうち必要な記号を用いて表しなさい。ただし，リングとともに回転する観測者から見たとき小球Pにはたらく慣性力は，その位置で軸ABのまわりに角速度ω_1で等速円運動を行っている場合の遠心力に等しいとみなしてよい。また，小球にはたらく力を考えるとき，小球の位置を$\theta = \theta_1 + \Delta\theta$として，$(\Delta\theta)^2$に比例する項は無視してよい。

3 誘導起電力に関する以下の問いに答えなさい。ただし，コイルの抵抗は無視できるものとする。

A

図1のように，巻数1，半径rの円形のコイル1が，鉛直上向きで一様な磁束密度Bの磁場中に置かれている。コイルの面は磁場に垂直である。このとき，図2のように，磁束密度Bを時刻$t = 0$からt_0までの間に，$B_0(> 0)$から0まで一定の割合で減少させた。

問 1　時刻$t = 0$のとき，コイルを貫く磁束Φ_0をr，B_0，t_0のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 2　時刻$t = 0$からt_0までの間の短い時間Δtでの磁束の変化量$\Delta\Phi$をr，B_0，t_0，Δtのうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 3　時刻$t = 0$からt_0までの間に，コイル1に発生する誘導起電力Vをr，B_0，t_0，Δtのうち必要な記号を用いて表しなさい。ただし，誘導起電力は図1の端子aを基準とした端子bの電位として答えなさい。

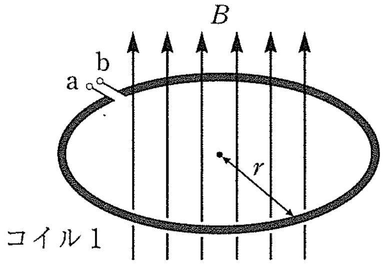


図1

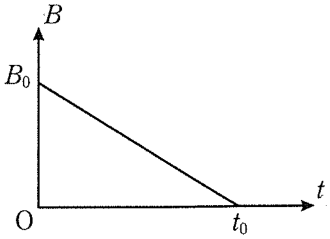


図2

B

図３のように，問題Ａのコイル１の直下に同じ形状のコイル２を置いた。コイル１には，抵抗値 R_1 の抵抗と電源を接続し，電圧を調整してコイル１を流れる電流 I_1 を，時刻 $t=0$ から T の間で変化させた。図４に示すように，I_1 は時刻 t_1 で最大値 $I_0(>0)$ をとり，$t=0$ および T で０となる。これにより，相互誘導による誘導起電力 V_2 がコイル２に生じた。ただし，誘導起電力 V_2 は図３の端子ｃを基準とした端子ｄの電位とし，電流 I_1 は図３の矢印の向きを正とする。また，コイル１，２間の相互インダクタンスを M とする。

問　$t_1=\dfrac{1}{3}T$ としたとき，$t=0$ から T までの誘導起電力 V_2 の時間変化をグラフに示しなさい。また，V_2 の最大値と最小値を T，M，I_0 のうち必要な記号を用いてグラフに記入しなさい。

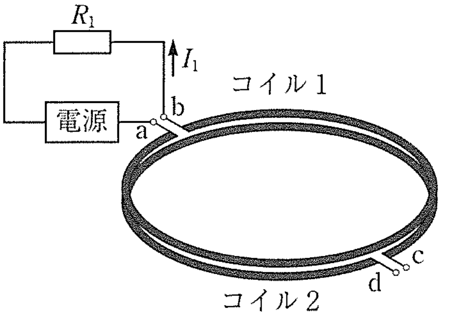


図３

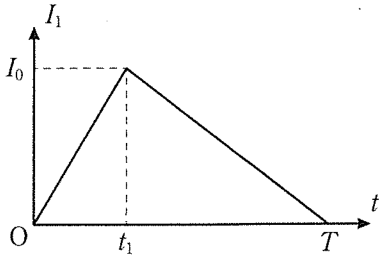


図４

C

図5のように図3のコイル2の端子c，d間に抵抗値R_2の抵抗を接続した。その後，問題Bと同様に，コイル1を流れる電流I_1を図4のように変化させた。ただし，I_1が最大値I_0をとる時刻t_1は$0 < t_1 < T$であり，コイル2を流れる電流による磁場の影響は無視できるものとする。

問1　$t = 0$からt_1までのある時刻で，抵抗値R_2の抵抗が消費する電力をt_1，I_0，M，R_2のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問2　時刻$t = 0$からt_1までの間に，抵抗値R_2の抵抗で発生するジュール熱(電力量)をt_1，I_0，M，R_2のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問3　t_1を0からTまでの範囲で変化させたとき，$t = 0$からTまでの間に抵抗値R_2の抵抗で発生するジュール熱を最小にするt_1と，そのときのジュール熱をT，I_0，M，R_2のうち必要な記号を用いて表しなさい。

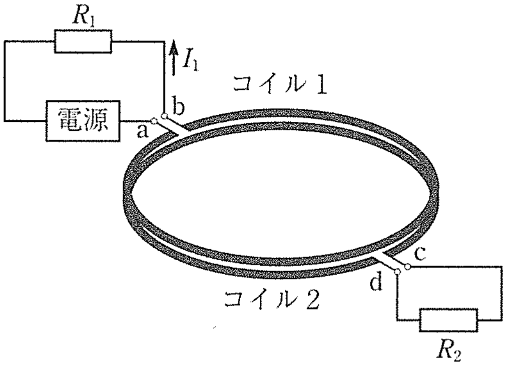


図5

4 ダイオードを含む回路について，以下の問いに答えなさい。

A

内部抵抗を無視できる直流電源，抵抗R，n型半導体とp型半導体を接合した同じ特性をもつダイオードD_1，D_2，スイッチSを図1(a)のように接続した。図1(b)は，ダイオードD_1，D_2の電流－電圧特性曲線である。

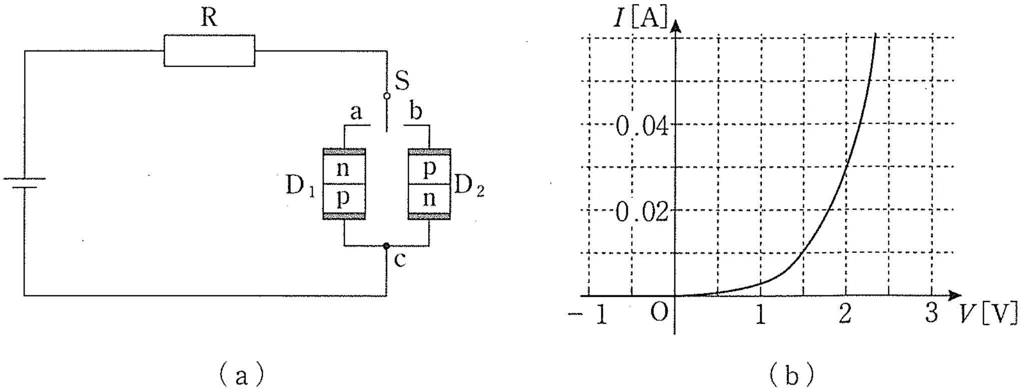


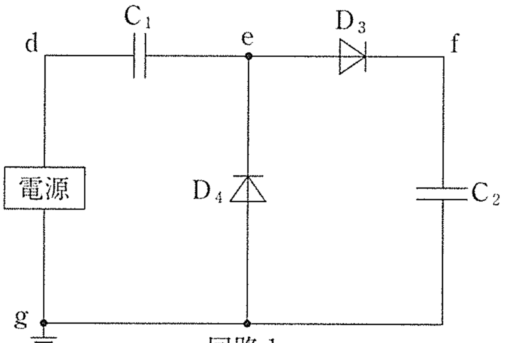
図1

問1　スイッチSをa側またはb側に接続し，電源電圧をV = 6.5Vとしたところ，回路に0.030Aの電流が流れた。抵抗Rの抵抗値はいくらか，単位を含めて答えなさい。また，スイッチSをどちら側に接続したか，答えなさい。

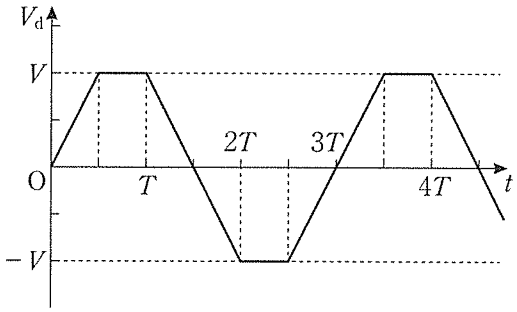
問2　次に，電源電圧をV = 3.0Vとした。このとき，回路を流れる電流値はいくらか，単位を含めて答えなさい。

B

図2(a)のような，電源，コンデンサーC_1，C_2，ダイオードD_3，D_4からなる回路を考える(回路1とする)。コンデンサーC_1，C_2の電気容量は，ともにCである。以下では，ダイオードD_3，D_4は順方向には電圧降下が無視でき，逆方向には全く電流が流れない理想化されたものとする。図2(b)のように，点gを基準とした点dでの電位V_dが振幅Vとなるような，周期$3T$の電位差を電源で発生させた。また，点gを基準とした点e，点fでの電位をそれぞれV_e，V_fとする。時刻$t = 0$において，コンデンサーC_1，C_2には電荷は蓄えられていなかったものとする。



(a)



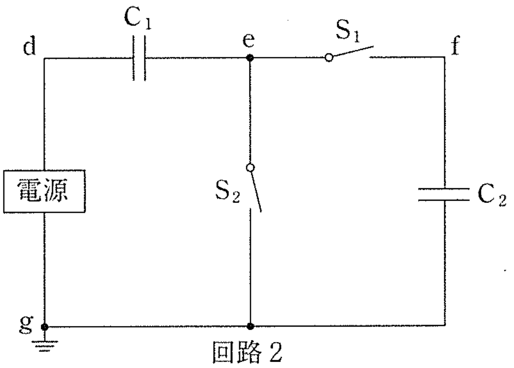
(b)

図2

問 1　時刻$t = T$におけるV_fの値をV_1とする。V_1をVを用いて表しなさい。

問 2　時刻$t = 0$より後に，初めて$V_e = 0$となる時刻$t = t_A$をTを用いて表しなさい。

問 3　図3は，回路1のダイオードD_3，D_4をスイッチS_1，S_2にそれぞれ置きかえた回路である(回路2とする)。表は，このスイッチの開閉の組み合わせを示している。表の(ア)〜(エ)の中から，$0 < t < T$ と $T < t < t_A$ における回路1と等価とみなすことができる，回路2におけるスイッチの組み合わせを，それぞれ一つ選び，記号で答えなさい。



回路2

図3

表

	S_1	S_2
(ア)	閉	閉
(イ)	閉	開
(ウ)	開	閉
(エ)	開	開

以下では，図2の回路1での電気量や電位などについて答えなさい。

問 4　時刻 $t = \dfrac{5T}{2}$ において，コンデンサーC_1の点e側の極板に蓄えられた電気量 Q を C，V を用いて表しなさい。

問 5　時刻 $t = \dfrac{5T}{2}$ 以降初めて $V_e = V_1$ となる時刻 $t = t_B$ を T を用いて表しなさい。

問 6　時刻 $t = 4T$ における V_f の値を V_2 とする。V_2 を V を用いて表しなさい。

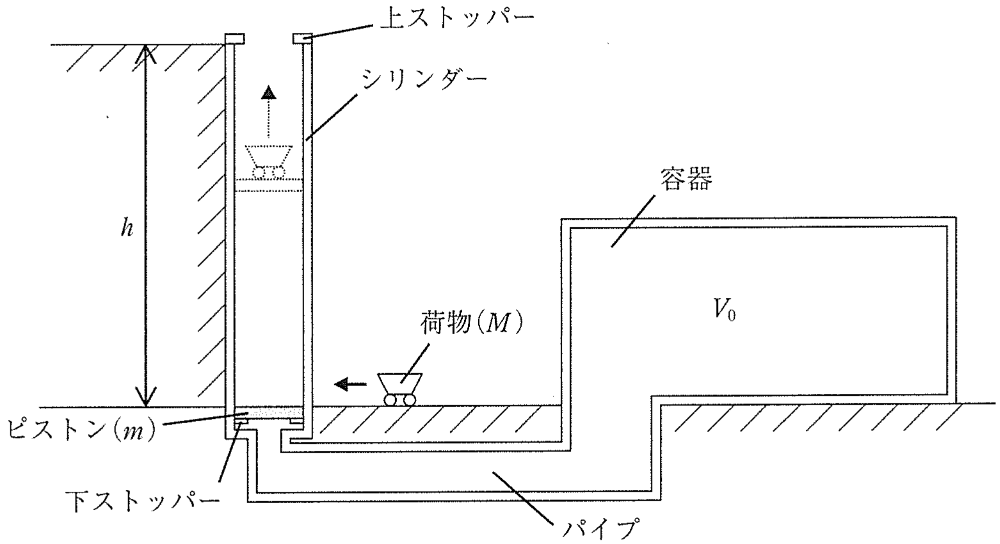
問 7　n を2以上の整数として，$t_n = T + 3(n-1)T$ とする。時刻 $t = t_n$ における V_f の値を V_n とするとき，V_n を V と V_{n-1} を用いて表しなさい。

問 8　十分な時間が経過した後，V_n はある一定値 V_∞ に近づく。この V_∞ を V を用いて表しなさい。

5 図のように，鉛直方向になめらかに動くことのできる質量 m のピストンがついた断面積 S のシリンダーが，大気圧 p_0 の大気中に置かれている。このピストンを荷物を持ち上げる昇降機として作動させたい。シリンダーの最下部はパイプを経て容器とつながっており，この中に単原子分子理想気体が封入されている。この気体と大気とは熱のやりとりはなく，容器には熱源が取り付けてあり，気体の温度を制御することができる。

シリンダーの下部には下ストッパーが取り付けてあり，ピストンはその位置よりも下に行かない。その高さを0とする。また，シリンダー最上部にはピストンが高さ h の位置よりも上に行かないように上ストッパーが取り付けてある。ピストンが下ストッパーの位置にあるとき，ピストンに質量 M の荷物を載せることができる。

ピストンが下ストッパーの位置にあるとき，封入された気体の体積は V_0 である。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，ピストンとストッパーの体積は無視してよい。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。



図

はじめ，ピストンは下ストッパーの位置にあり荷物は載せられていなかった。そのときの気体の圧力は p_0，温度は T_0 であった。気体の温度をゆっくり上げたところ，下ストッパーに下向きの力がかからなくなった(状態Ⅰ)。

問 1　このときの気体の圧力と温度を求めなさい。

質量 M の荷物を，ピストンに載せ，さらに気体の温度をゆっくり上げたところ，ピストンが上昇し始めた(状態Ⅱ)。

問 2　ピストンが上昇し始めたときの気体の圧力と温度を求めなさい。

ピストンが上ストッパーに達したとき，気体への熱の供給を止めた(状態Ⅲ)。

問 3　ピストンが上ストッパーに達したときの気体の圧力と温度を求めなさい。

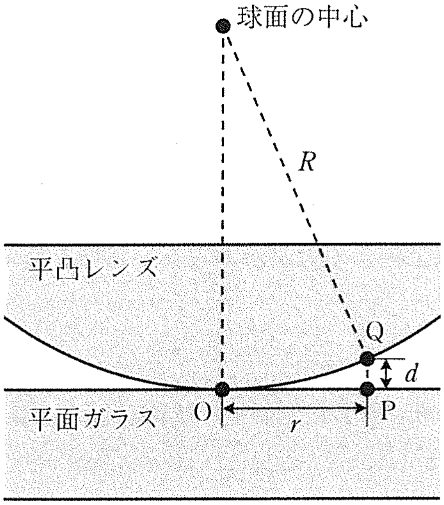
質量 M の荷物を下ろし，ゆっくりと気体の温度を下げたところ，ピストンは，上ストッパーに上向きの力がかからない状態を経て下ストッパーの位置に戻った(状態Ⅳ)。

問 4　状態Ⅰ～Ⅳのサイクルにおいて，気体がした仕事を求めなさい。

問 5　状態Ⅰ～Ⅱにおける気体の内部エネルギーの増加量を求めなさい。

問 6　状態Ⅱ～Ⅲにおける気体の内部エネルギーの増加量を求めなさい。

6 図のように半径 R の球面と平面からなる平凸レンズを平面ガラスの上に乗せ，上から平面に垂直に波長 λ の単色光を照射した。平凸レンズの真上から観察すると，平凸レンズと平面ガラスの接点 O を中心とする同心円状の明暗の縞模様が見られた。この明るい円を明環，暗い円を暗環と呼ぶ。点 O からの距離が r の平面ガラス上の点を点 P とする。また，点 P を通り，平面ガラスに垂直な直線と平凸レンズの球面との交点を点 Q とし，線分 PQ の長さを d とする。平面ガラス，および平凸レンズの屈折率は $n_0(n_0 > 1)$ であり，平面ガラスと平凸レンズの平面は平行である。また，平凸レンズと平面ガラスの間は空気で満たされており，空気の屈折率は 1 としてよい。平凸レンズの球面の半径 R が r に比べて十分に大きく，反射光は真上に，透過光は真下に進むとして，以下の問いに答えなさい。



図

問 1　線分 PQ の長さ d を求めなさい。近似を用いずに求めること。

問 2　r が R に比べて十分に小さいとき，$d = Ar^2$ と表すことができる。A に入る適切な式を答えなさい。x の絶対値が十分小さいときに成り立つ近似式 $\sqrt{1+x} \fallingdotseq 1 + \dfrac{x}{2}$ を用いること。

これ以降は，問2の近似で得られた d の式を用いて解答しなさい。

問 3　上から観察したときに，点Pの位置が中心から数えて m 番目の明環となるための d に関する条件は，$d = Bm + C\,(m = 1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$ と表すことができる。B と C に入る適切な式を答えなさい。

問 4　中心から数えて m 番目の明環の半径を求めなさい。解答には A を用いて答えてもよい。

平凸レンズを平面ガラスからゆっくりと真上に離していったところ，明環および暗環の半径が徐々に小さくなった。

問 5　点Oに最も近い明環の半径が，はじめて平凸レンズを離す前の半分になったとき，平凸レンズの最下点と平面ガラスとの距離を求めなさい。

問 6　平凸レンズを離す前と同じ明環と暗環の縞模様がはじめて現れたとき，平凸レンズの最下点と平面ガラスとの距離を求めなさい。

平凸レンズをもとの位置に戻し，平凸レンズと平面ガラスの間を屈折率 n の液体で満たした。

問 7　液体注入後の点Oに最も近い明環の半径を求めなさい。ただし，$1 < n < n_0$ とする。解答には A を用いてもよい。

問 8　$n > n_0$，または $1 < n < n_0$ のとき，それぞれどのような模様が観察されるか，次の(ア)～(ウ)から一つずつ選び，記号で答えなさい。

(ア)　中心が暗い同心円状の明暗の縞模様が見られる。

(イ)　中心が明るい同心円状の明暗の縞模様が見られる。

(ウ)　縞模様は見えない。

問 9　問8と同様の状況で平面ガラスの真下から観察した。$n > n_0$，または $1 < n < n_0$ のとき，それぞれどのような模様が観察されるか，次の(ア)〜(ウ)から一つずつ選び，記号で答えなさい。

(ア)　中心が暗い同心円状の明暗の縞模様が見られる。

(イ)　中心が明るい同心円状の明暗の縞模様が見られる。

(ウ)　縞模様は見えない。