兵庫医大対策物理1（物理化学合わせて120分）

1

鉛直面内で原点Oから水平方向に x 軸をとり，また鉛直上向きに y 軸をとる。$y=0$ と $y=H$ の位置には，それぞれ床と天井がある。原点Oの位置には弾丸の発射台があり，弾丸が飛び出す仰角（床からの角度）を変えることができる。弾丸は質点として扱うことができ，鉛直面内を運動するものとする。また，弾丸の質量を M，重力加速度の大きさを g とし，弾丸の空気抵抗はないものとする。天井は硬い材質でできており，弾丸は天井には入りこめないものとして，次の問いに答えよ。

〔A〕 図1のように点Pの位置を $x=L$，$y=H$ とし，発射台の仰角を θ とする。弾丸を速さ v_1 で発射したところ，t_1 秒後に弾丸は位置Pに命中した。

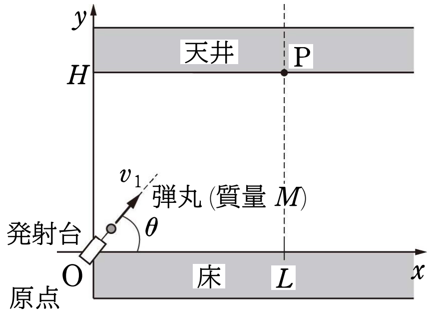


図1

(1) L を v_1，θ，t_1 を用いて表せ。

(2) H を v_1，θ，t_1，g を用いて表せ。

(3) 発射時の仰角 θ は45°，弾丸の速さは $v_1=4\sqrt{\dfrac{gH}{3}}$ であったという。このときの L を H を用いて表せ。また，t_1 を H と g を用いて表せ。

〔B〕 次に図2のように，$x=R$，$y=H$ の天井の位置Qから質量 M の球体を自由落下させた。球体が落下を始めると同時に弾丸を原点Oから速さ v_2，仰角 α で発射した。このとき弾丸はちょうど高度が最高点に達したときに球体に衝突して一体化し（すなわち弾丸と球体の反発係数は0とする），質量 $2M$ の球体として運動を続けた。これらの球体の大きさ，空気抵抗はないものとする。また，弾丸が球体に命中したときの高さを h とする。

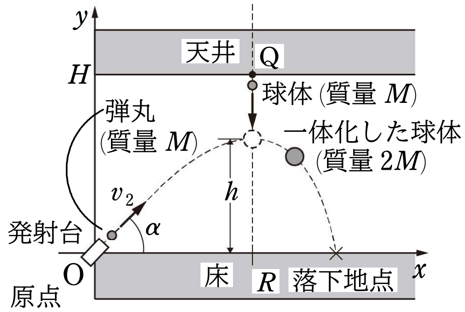


図2

(4) 球体が落下を始めてから，弾丸と衝突するまでの時間を t_2 とする。この球体の運動に着目し，h を H，g，t_2 を用いて表せ。

(5) 弾丸の鉛直成分（y 方向）と水平成分（x 方向）の運動に着目し，h を v_2，α，g，t_2 を用いて表せ。また R を v_2，α，t_2 を用いて表せ。

(6) (4)と(5)の結果を利用して，$\tan\alpha$ を R と H を用いて表せ。

(7) 弾丸が発射されたあと最高点に達するときに成りたつ条件に着目し，t_2 を v_2，α，g を用いて表せ。

(8) 弾丸の発射時の速さ v_2 を H，α，g を用いて表せ。

(9) 運動量保存則を考慮し，弾丸と球体が衝突により一体化した直後の球体の速さの鉛直成分（y 方向）と水平成分（x 方向）を，それぞれ H，α，g のうち必要なものを用いて表せ。

(10)　弾丸と球体が衝突により一体化した直後から地面に到達するまでにかかる時間を，H と g を用いて表せ。

(11)　一体化した球体はどこまで飛んで床に落ちるか。x 座標上の落下地点の位置（原点からの距離）を R を用いて表せ。

2

図１のように，断面積 S〔m²〕，高さ $4L$〔m〕のシリンダーが水平面上に置かれており，鉛直方向になめらかに動く質量 m〔kg〕のピストンが挿入されている。ピストンにより仕切られたシリンダー内の下方の空間（空間 A）に n〔mol〕の理想気体が封入されており，上方の空間（空間 B）は真空である。シリンダー内の空間 A には加熱用のヒーターが備えつけてある。ピストンには質量のない弁が取りつけられているが，最初の状態では弁は閉じられている。ピストン，弁，ヒーターの体積，およびそれらの熱容量はないものとする。また，シリンダー，ピストン，弁はすべて断熱材でつくられている。この理想気体の定積モル比熱を C_V〔J/(mol·K)〕，気体定数を R〔J/(mol·K)〕，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とする。次の問いに答えよ。

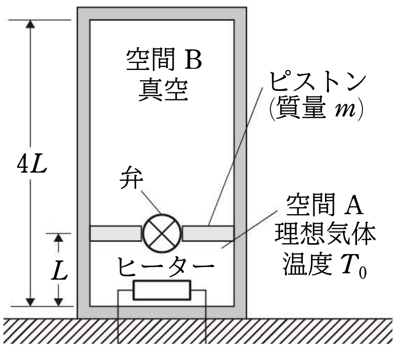


図１

〔A〕　初め，図１に示すように，ピストンはシリンダー底面から高さ L の位置に静止していた。このとき，空間 A にある気体の圧力を p_0〔Pa〕，温度を T_0〔K〕とする。

(1)　圧力 p_0 と温度 T_0 を，m，g，S，L，n，R のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

〔B〕　次に，ヒーターにより気体に熱を与えると，ピストンはゆっくりと上方に動き，図２に示すように，ピストンの高さが $2L$ の位置で静止した。

(2)　このときの気体の温度 T_1〔K〕を，T_0 を用いて表せ。

ここで，図３に示すように，ピストンの高さが $2L$ から動かないように，体積および熱容量のないストッパーで固定してから弁を開いた。十分に時間が経過した後，気体の温度と圧力は空間 A と空間 B とで等しくなった。

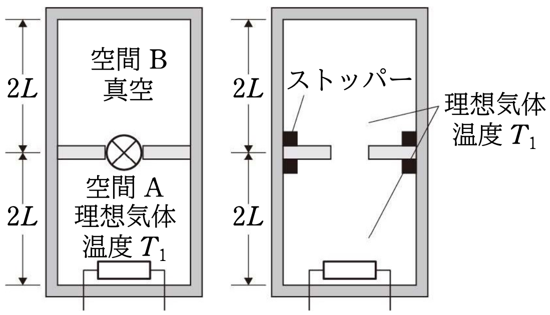


図２　　図３

(3)　気体の温度は，弁を開く前の温度 T_1 と同じであるが，その理由を記述せよ。ただし，次の３つの語すべてを説明文に用いよ。　**熱　　仕事　　内部エネルギー**

(4)　気体の圧力 p_1〔Pa〕を p_0 を用いて表せ。

〔C〕〔B〕に続いて，ピストンに取りつけられている弁を閉じ，ピストンが高さ $2L$ よりも上側に自由に動けるように，上側のストッパーを取り外した。そして，空間Aにある気体にヒーターで熱をゆっくりと与えたところ，図4に示すように，空間Aにある気体の圧力と温度が，それぞれ p_2〔Pa〕，T_2〔K〕になったときに，ピストンがストッパーから離れた。

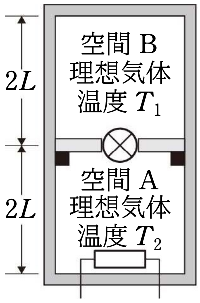


図4

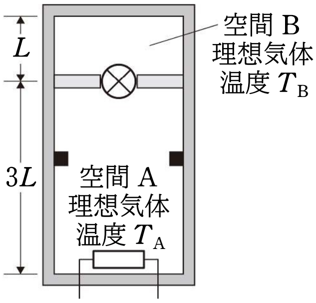


図5

(5)　圧力 p_2 を p_0 を用いて表せ。

(6)　温度 T_2 を T_0 を用いて表せ。

　引き続いて，空間Aにある気体にヒーターでさらに熱をゆっくりと与えると，図5に示すようにピストンの高さが $3L$ の位置で静止した。このとき，空間Bにある気体の圧力は $3p_1$ となり，空間Aと空間Bにある気体の温度はそれぞれ T_A〔K〕，T_B〔K〕となった。

(7)　温度 T_B を T_1 を用いて表せ。

(8)　空間Aにある気体の圧力 p_A〔Pa〕を p_0 を用いて表せ。

(9)　温度 T_A を T_2 を用いて表せ。

(10)　ピストンがストッパーを離れてから高さが $3L$ となるまでの間における，空間Aおよび空間Bにある気体の内部エネルギーの変化はいくらか，n，C_V，T_0 を用いてそれぞれ表せ。

(11)　この間にヒーターで与えた熱量はいくらか，n，C_V，R，T_0 を用いて表せ。

3

　天体観測では，特定の波長の光が回折格子によって回折した分をプリズムによりもどして直進させる光学装置（グリズムとよぶ）が近年多用されている。図1のように，断面が直角三角形のプリズムと，片面が回折格子になっている厚さが一様な透明板を密着させて組み合わせたグリズムを考える。プリズムの頂角と屈折率をそれぞれ A と n_1，透明板の屈折率を n_2，回折格子の格子定数は d とする。また，空気中の屈折率は1.0とし，図中の矢印は光の入射の向きおよび進行の向きを表すとする。

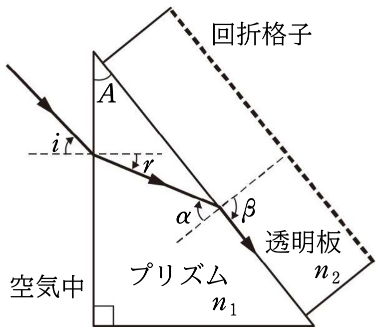


図1

(1)　単色光を空気中から入射角 i でプリズムに入射させたところ，屈折角 r でプリズム中を直進した。n_1 を i と r を用いて表せ。

(2)　図1のようにプリズムから透明板への単色光の入射角が臨界角であったとき，n_2 を n_1，r，A を用いて表せ。

(3)　単色光がプリズムと透明板の境界面で全反射するための条件を，n_1 と n_2 を用いて表せ。

次に，図2のように，単色光が空気中から垂直にプリズムに入射し，プリズムと透明板の境界面で全反射せずに，入射角 α，屈折角 β で屈折した場合を考える。

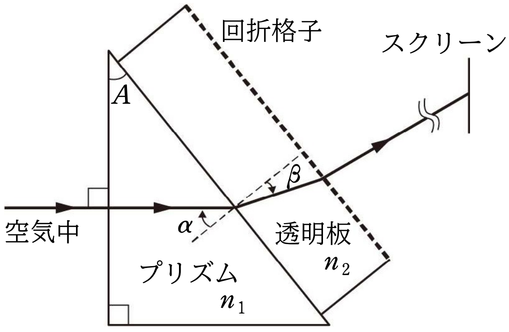


図2

(4)　このとき，$\sin\beta$ を n_1，n_2，A を用いて表せ。

さらに，平行光線の単色光は回折格子で回折したのち，回折格子の法線に対して角度 θ の向きに直進し，十分遠方のスクリーン上に明線ができたとする。図3は，その回折のようすを拡大して表現した図であり，単色光の波長を λ とする。

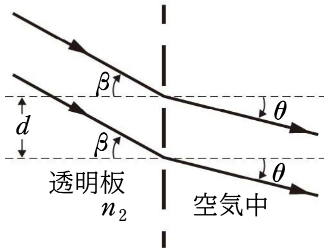


図3

(5)　整数を m で表すとき，明線ができる条件を d，n_2，β，θ，m，λ を用いて表せ。

最後に，プリズムと透明板の屈折率がともに n のとき，$m=1$ の明線をつくる単色光は，図4のように，グリズムの内外を直進したとする。

(6)　d，n，A，λ の関係を表せ。

(7)　$\lambda=5.0\times10^{-7}$ m の単色光が，$A=30°$，$d=5.0\times10^{-6}$ m のグリズム内外を直進したとすると，グリズムの屈折率 n はいくらか。

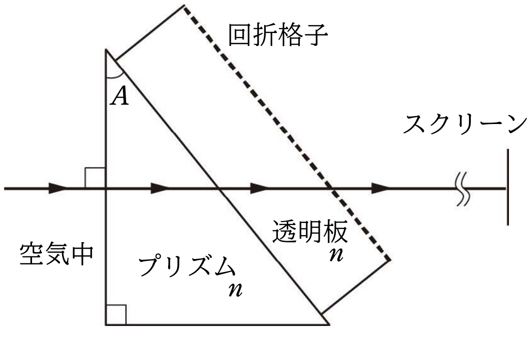
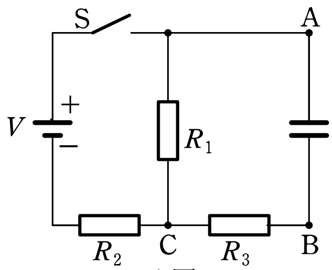


図4

4

次の文中の [　　] を正しくうめよ。(コ) については，60字以内の文章で答えよ。

1図のように，起電力 V〔V〕の内部抵抗を無視できる電池，抵抗値がそれぞれ R_1〔Ω〕，R_2〔Ω〕，R_3〔Ω〕の抵抗，平行板コンデンサーおよびスイッチSからなる回路がある。

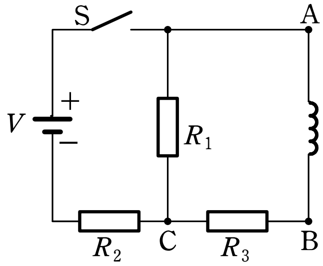


1図

いま，Sを閉じると，コンデンサーの充電がはじまる。このとき，電荷をもたないコンデンサーは，両極板が抵抗0の導線で結ばれているようにふるまうので，R_2〔Ω〕の抵抗を流れる電流の大きさは [ア]〔A〕である。その後，十分時間が経過すると，この電流の大きさは [イ]〔A〕となる。つづいてSを開くと，その直後に R_3〔Ω〕の抵抗を流れる電流の向きは1図の [ウ] で，その大きさは

$\boxed{\text{エ}}$〔A〕である。

次に，Sを開いた状態で，1図のコンデンサーを，2図のように抵抗が無視できる導線で作ったコイルに取り替える。

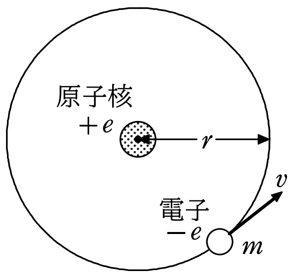


2図

Sを閉じると，その直後にコイルに生じる誘導起電力の向きは2図の $\boxed{\text{オ}}$ で，R_3〔Ω〕の抵抗を流れる電流の大きさは $\boxed{\text{カ}}$〔A〕，R_1〔Ω〕の抵抗の両端の電圧は $\boxed{\text{キ}}$〔V〕である。その後，十分時間が経過すると，コイルに生じる誘導起電力の大きさは $\boxed{\text{ク}}$〔V〕となり，R_3〔Ω〕の抵抗を流れる電流の大きさは $\boxed{\text{ケ}}$〔A〕となる。またこのとき，コイルには2図の上下方向に押し縮めるような力がはたらいている。その理由は，$\boxed{\text{コ}}$ である。

5

ボーアの理論では，水素原子中の電子は原子核との電気的な力により，原子核のまわりを等速円運動する。図のように，電子の質量を m〔kg〕，電気量を $-e$〔C〕，原子核の電気量を $+e$〔C〕，円運動の半径を r〔m〕，電子の速さを v〔m/s〕とする。また，クーロンの法則の比例定数を k〔N·m^2/C^2〕とし，電子の位置エネルギーは原子核から無限遠の点を基準(0 J)とする。



(1) 電子の加速度の大きさと電子が受ける力の大きさの関係を表す式を示せ。

(2) 電子の位置エネルギー U〔J〕を求めよ。

(3) 電子の力学的エネルギー E〔J〕を，v を用いずに表せ。

電子の力学的エネルギーは，ボーアの量子条件により，エネルギー準位とよばれる，とびとびのエネルギー値 E_1，E_2，…，E_n (n は自然数) だけもつことができる。これらのエネルギー値をもつ特別な状態を定常状態という。特に，$n=1$ のときを基底状態という。プランク定数を h〔J·s〕とする。

(4) 自然数 n を用いて，電子の速さ v〔m/s〕と円運動の半径 r〔m〕の間に成りたつ，ボーアの量子条件を示せ。

(5) n 番目の定常状態での電子の軌道半径 r_n〔m〕を，v を用いずに表せ。

(6) n 番目の定常状態での電子の力学的エネルギー E_n〔J〕を，r_n を用いずに表せ。

基底状態の電子の軌道半径を $r_1=5.3\times10^{-11}$ m，エネルギーを $E_1=-2.2\times10^{-18}$ J，真空中の光の速さを $c=3.0\times10^8$ m/s，$h=6.6\times10^{-34}$ J·s として次の問いに答えよ。ただし，解答は有効数字2桁で示せ。

(7) $n=3$ のときの電子の軌道半径 r_3〔m〕を求めよ。

(8) $n=3$ のときの電子の力学的エネルギー E_3〔J〕を求めよ。

(9) $n=3$ から $n=1$ へ状態が移るときに放出される光の波長 λ〔m〕を求めよ。