物理

●工学部（電子情報工学科／電気工学科）
●情報工学部（情報工学科／情報通信工学科）

（3教科型選抜・2月9日実施分）

（解答：67ページ）

この科目には解説動画があります。

（解答はすべて，別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の**計算**と書かれた枠内には，解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

1　図 1 のように，長さ ℓ の軽い糸の上端を天井に固定し，下端に質量 m の小球を取り付けて静止させた。このとき，小球を通る鉛直線と床との交点を点 O，点 O から小球までの距離を h とする。この状態で小球に水平方向に大きさ v_0 の初速度を与えたところ，小球は天井に衝突することなく振動した。重力加速度の大きさを g として，以下の問いに答えよ。ただし，糸は伸び縮みせず，空気抵抗は無視できるものとする。

(1)　初速を与える直前の，小球の位置エネルギーを求めよ。ただし，床を位置エネルギーの基準水平面とする。

(2)　初速 v_0 を与えた瞬間の小球の運動エネルギーを求めよ。

(3)　小球が達する最高点の，床からの高さを求めよ。

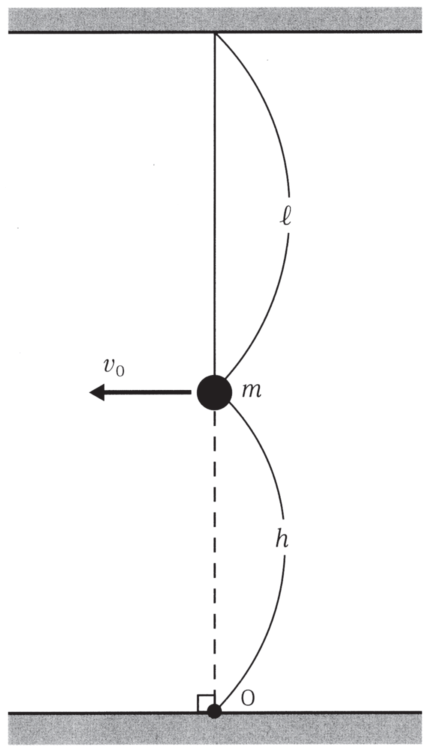


図 1

次に，図１の糸を角度θ傾けた状態で，糸に垂直な水平方向の速度を小球に与えたところ，図２のように小球は水平面内で等速円運動をした。以下の問いに答えよ。

(4)　糸が小球を引く力の大きさを求めよ。

(5)　等速円運動の周期を求めよ。

(6)　小球の速さを求めよ。

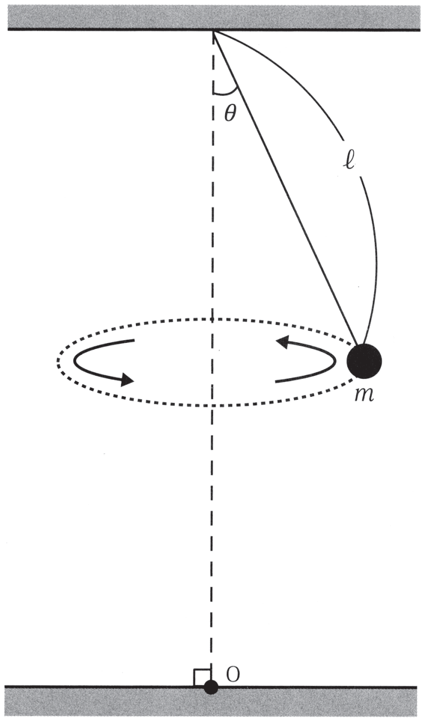


図２

ここで，床と天井の間の距離が2ℓの場合（$h=\ell$の場合）を考える。糸と鉛直方向との角度が$\theta=\dfrac{\pi}{3}$となる水平面内で小球が等速円運動をしているとき，ある瞬間に糸が切れ，小球は床へ落下した。糸が切れたあとの小球の運動について，以下の問いに答えよ。ただし，糸が切れたことによる小球への影響としては，糸からの力が作用しなくなること以外は考慮しなくてよい。

(7)　小球が糸から外れた瞬間から，小球が床に落下するまでに要する時間を求めよ。

(8)　小球が床に落下した地点の，床上の点Oからの距離を求めよ。

2　[Ⅰ]　真空中で磁束密度の大きさがBの一様な磁場（磁界）が，紙面に垂直に裏から表の向きにかけられている。この磁場の中で，図１のように電気量q（$q>0$）のイオンがxy平面内で原点Oを中心とする半径r，速さvの等速円運動をしている。重力およびイオンの大きさの影響は無視できるものとして，以下の問いにB，q，r，vのうち必要なものを用いて答えよ。

(1)　イオンにはたらく力の大きさを答えよ。

(2)　問(1)の力がする単位時間あたりの仕事の大きさを答えよ。

(3)　イオンの円運動の周期を答えよ。

(4)　イオンの質量を答えよ。

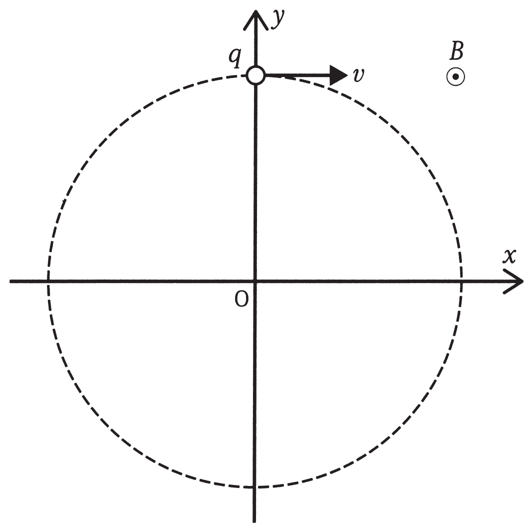


図１

［Ⅱ］　図２のように，真空中で，$x<0$における磁束密度の大きさがB，$x\geqq 0$における磁束密度の大きさが$2B$であるような磁場（磁界）が，紙面に垂直に裏から表の向きにかけられているとする。この磁場の中で［Ⅰ］と同じイオン（電気量q）がxy平面内を運動しており，時刻$t=0$に点P$(0,\ r)$を速さvでx軸方向正の向きに通過した。磁場はそれぞれの領域において一様かつ一定であり，重力およびイオンの大きさの影響は無視できるものとして，以下の問いに答えよ。

⑸　$x\geqq 0$の領域におけるイオンの円運動の半径を，B，q，r，vのうち必要なものを用いて答えよ。

⑹　イオンが点Pを通過した後，再びy軸をx軸方向正の向きに横切る時刻T_0を，B，q，r，vのうち必要なものを用いて答えよ。

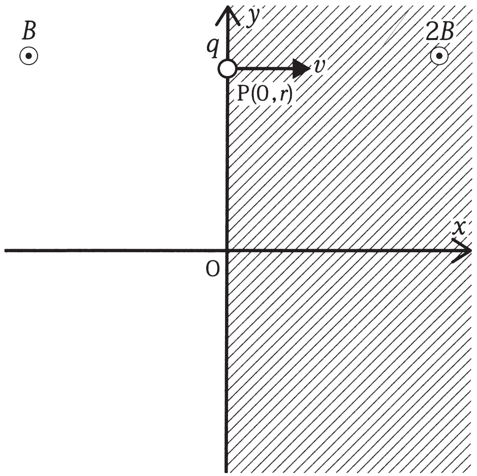


図２

イオンが時刻T_0にy軸をx軸方向正の向きに横切った後，次にy軸をx軸方向負の向きに横切るまでの間に，$x<0$の領域における磁場が変化した。その後，イオンは点P$(0,\ r)$と点Q$(-r,\ 0)$を順に通過した。変化後の磁場はそれぞれの領域において一様かつ一定であるとして，以下の問いに答えよ。

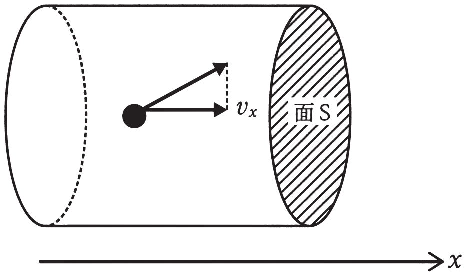
⑺　イオンが点Qを通過するとき，その点の磁束密度の向きと大きさを答えよ。向きは以下の選択肢（ア）〜（カ）の中から最も適切なものを一つ選び記号で，大きさはB，q，r，vのうち必要なものを用いて答えること。なお，図２において紙面に垂直に裏から表に向かう方向をz軸方向正の向きとする。

（ア）x軸方向正の向き　（イ）x軸方向負の向き　（ウ）y軸方向正の向き

（エ）y軸方向負の向き　（オ）z軸方向正の向き　（カ）z軸方向負の向き

⑻　時刻T_0からイオンが点Qを通過するまでにかかる時間を，B，q，r，vのうち必要なものを用いて答えよ。

3 図のように断面積が S，長さが L の円筒容器中に閉じ込められた質量 m の単原子分子からなる理想気体の運動について考える。円筒の中心軸と平行に x 軸をとり，図中に斜線で示す面を面 S とする。分子はなめらかな容器壁と弾性衝突し，分子間の衝突や重力の影響は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。



［Ⅰ］ まず，円筒容器内の一つの分子を考える。この分子の x 方向の速度成分の大きさを v_x とする。

(1) この分子が面 S と弾性衝突するとき，衝突後の分子の x 方向の速度成分を答えよ。x 軸正方向の速度が正であることに注意すること。

(2) この分子の衝突の前と後の x 方向の運動量をそれぞれ求め，最も適当なものを次の(ア)～(エ)のうちから一つずつ選び，記号で答えよ。

(ア) mv_x　　(イ) $-mv_x$

(ウ) $2mv_x$　　(エ) $-2mv_x$

(3) 衝突の前後におけるこの分子の運動量の変化を求め，最も適当なものを問(2)の(ア)～(エ)のうちから一つ選び，記号で答えよ。

(4) 面 S が受ける力積の大きさを求め，最も適当なものを問(2)の(ア)～(エ)のうちから一つ選び，記号で答えよ。

(5) この分子が面 S に衝突してから再び面 S と衝突するまでの時間を答えよ。

(6) 面 S がこの分子から受ける平均の力の大きさ $\overline{f}$ を答えよ。ただし，平均の力は，この分子が何度も面と衝突するような十分長い時間に面 S が受ける単位時間あたりの力積と定義される。

［Ⅱ］ つぎに，円筒容器中のすべての分子について考える。分子の個数を N，アボガドロ定数を N_A，気体定数を R とする。

(7) このとき，［Ⅰ］で考えた一つの分子の速度成分の二乗 v_x^2 は多数の分子の平均 $\overline{v_x^2}$ で置き換えることができる。面 S にはたらく気体の圧力 p を，$\overline{v_x^2}$ を用いて答えよ。

(8) $\overline{v_x^2}$ は速さの二乗の平均値 $\overline{v^2}$ の何倍か答えよ。ただし，気体分子の速度は特定の方向に偏っていないことに注意せよ。

(9) 気体の温度(絶対温度)を，$\overline{v^2}$ を用いて表せ。

(10) 気体分子のモル質量(1 mol あたりの質量)が30 g/mol のとき，300 K における分子の二乗平均速度 $\sqrt{\overline{v^2}}$ を有効数字 1 桁で答えよ。ただし，$R \fallingdotseq 8$ J/(mol・K)とする。また，必要であれば $\sqrt{6} \fallingdotseq \frac{5}{2}$ を用いてよい。

物理

●工学部（生命環境化学科／知能機械工学科）
●情報工学部（情報システム工学科／情報マネジメント学科）
（3教科型選抜・2月10日実施分）

（解答：69ページ）

（解答はすべて，別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の**計算**と書かれた枠内には，解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

1 質量 m の小物体の運動について以下の問いに答えよ。ただし，重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は考えないものとする。また，高さと位置エネルギーの基準水平面は床の位置とし，鉛直上向きを正とする。

［Ⅰ］ 小物体の落下運動について考える。

⑴ 高さ h の位置にある小物体の，重力による位置エネルギーを，g，m，h を用いて答えよ。

⑵ 高さ h の位置から，小物体を静かに放す。床との衝突直前の速さを，g，m，h のうち必要なものを用いて答えよ。

⑶ 高さ h の位置から，小物体を速さ v_0 で投げるとき，高さ h の位置での小物体の力学的エネルギーを，g，m，h，v_0 を用いて答えよ。

⑷ 同じ高さから速さ v_0 で，同じ小物体を，図1に示す(a)～(c)の3通りの方向に投げる。床と衝突する直前での，小物体の速さの関係として最も適当なものを後の選択肢(ア)～(キ)から一つ選び，記号で答えよ。ただし，(a)～(c)の場合での，床との衝突直前の小物体の速さをそれぞれ v_a，v_b，v_c とする。

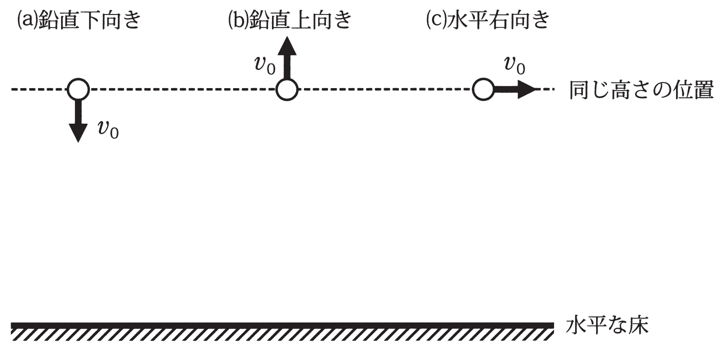


図 1

選択肢：（ア） $v_a = v_b = v_c$ （イ） $v_a > v_b = v_c$ （ウ） $v_a < v_b = v_c$
（エ） $v_a = v_b > v_c$ （オ） $v_a = v_b < v_c$ （カ） $v_a > v_b > v_c$
（キ） $v_a < v_b < v_c$

［Ⅱ］ 図２のように，小物体を，高さ h の位置から速さ v_0で，水平右向きに投げる。小物体と床との衝突の反発係数を e（$0 < e < 1$）とする。床はなめらかで十分広く平らであるため，小物体は床と繰り返し衝突できるものとする。

図２

⑸ 小物体と床との１回目の衝突直前の，小物体の速さを，g，v_0，h を用いて答えよ。

⑹ 小物体と床との１回目の衝突直後の，小物体の床に平行な速度成分の大きさを，g，e，m，h，v_0のうち必要なものを用いて答えよ。床は平らでなめらかであるので，床に平行な方向には，小物体は力を受けないことに注意せよ。

⑺ 小物体と床との１回目の衝突直後の，小物体の床に垂直な速度成分の大きさを，g，e，m，h，v_0のうち必要なものを用いて答えよ。

⑻ 小物体と床との１回目と２回目の衝突の間で，小物体の達する最高点の高さを，e，h を用いて答えよ。

⑼ 小物体と床との５回目の衝突で，小物体は床と45°をなす向きにはねた。この条件になるときの速さ v_0を，g，e，h を用いて答えよ。

2 ［Ⅰ］ 直流回路についての以下の問いに答えよ。解答欄の［ ］には単位を記入せよ。

⑴ 図１の ab，bc，cd 間の合成抵抗をそれぞれ求めよ。

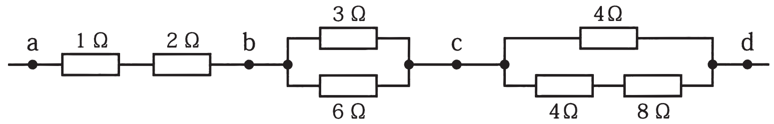


図１

⑵ 図２の点 a，b，c，d について，ある共通の点を基準とした電位をそれぞれ 4 V，1 V，1 V，4 V とする。点 b を基準とした点 a の電位，および点 d を基準とした点 c の電位を求めよ。さらに，ab，cd 間の3 Ωの抵抗に流れる電流 I_{ab}，I_{cd} を求めよ。ただし，電流の流れる向きは図中の矢印の方向を正と仮定し，矢印の方向と逆向きの場合は負の値として答えよ。

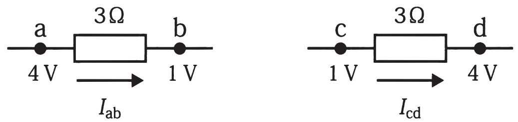


図２

［Ⅱ］ 図３と図４に示す4 Ω，4 Ω，8 Ωあるいは1 Ω，2 Ω，2 Ωの３つの抵抗からなる回路について考える。図３の点 a，b，c について，ある共通の点を基準とした電位をそれぞれ V_a，V_b，V_c [V]，流れる電流を I_a，I_b，I_c [A] とし，図４の点 A，B，C についても同様に，電位をそれぞれ V_A，V_B，V_C [V]，流れる電流を I_A，I_B，I_C [A] とする。電流の流れる向きは図中の矢印の方向を正と仮定した。以下の問題では，$V_a=V_A$，$V_b=V_B$，$V_c=V_C$ としたとき，$I_a=I_A$，$I_b=I_B$，$I_c=I_C$ となることを示す。

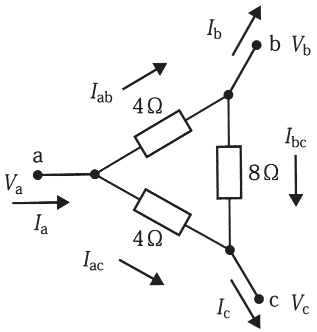


図３

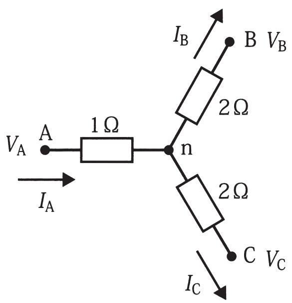


図４

⑶ 図３の回路について，３つの抵抗に流れる電流 I_{ab}，I_{ac}，I_{bc} [A] を V_a，V_b，V_c の中から必要なものを使って答えよ。ただし，問⑵と同様に，電流の流れる向きは図中の矢印の方向を正と仮定し，矢印の方向と逆向きの場合は負の値として答えよ。

⑷ 問⑶の結果に注意して，I_a，I_b，I_c を V_a，V_b，V_c の中から必要なものを使って答えよ。

⑸ I_A，I_B，I_C はどのような関係にあるか。適切な式を次の選択肢（ア）～（カ）のうちから一つ選び，記号で答えよ。

（ア）$2I_A+I_B+I_C=0$　　（イ）$2I_A-I_B-I_C=0$

（ウ）$I_A+I_B+I_C=0$　　（エ）$I_A-I_B-I_C=0$

（オ）$I_A+2I_B+2I_C=0$　　（カ）$I_A-2I_B-2I_C=0$

⑹ 図４の回路の３つの抵抗と接続されている点 n の電位を V_n[V] とする。I_A，I_B，I_C を V_A，V_B，V_C，V_n の中から必要なものを使って答えよ。

⑺ 問⑸と問⑹の結果から，V_nをV_A，V_B，V_Cの中から必要なものを使って答えよ。

［Ⅲ］ 問⑹と問⑺の結果から I_A，I_B，I_C を計算すると，$V_a=V_A$，$V_b=V_B$，$V_c=V_C$ としたとき，$I_a=I_A$，$I_b=I_B$，$I_c=I_C$ となる。よって，図３と図４の回路の末端（点 a，b，c および点 A，B，C）について，対応する３つの末端の電位をそれぞれ同じにすると，各末端を流れる電流もそれぞれ同じになることを示すことができた。この結果から，回路の末端に着目すると，図３の回路を図４の回路に置き換えても良いことが分かる。

⑻ 図５の ab 間の合成抵抗を求めよ。ただし，図５の回路は，上記のように置き換えた抵抗を図６のように接続した回路とみなすことができる。

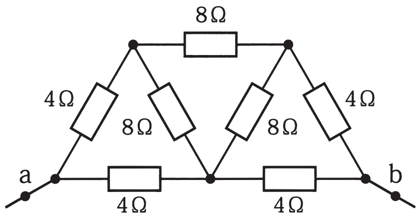


図５

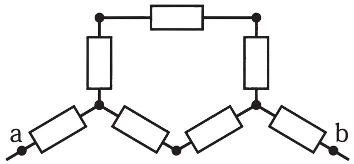


図６

3 ［Ⅰ］

⑴　図１に示すように真空から単色光を屈折率 n（$n>1$）の物質に向けて紙面左側から入射した。

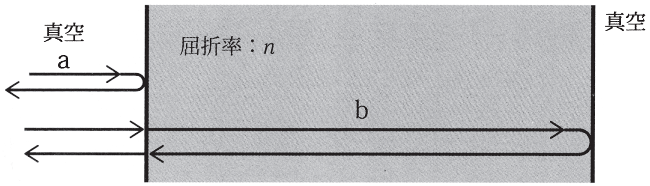


図１

このとき，物質の左面で反射する光ａと，右面で反射する光ｂが存在する。真空と物質の屈折率が異なるため，光ａの場合は固定端での反射に相当し，光ｂの場合は自由端での反射に相当する。それぞれ反射によって光の位相はどうなるか。最も適当なものを（あ）～（え）から一つずつ選び記号で答えよ。

（あ）変化しない　（い）$\dfrac{\pi}{4}$ ずれる　（う）$\dfrac{\pi}{2}$ ずれる　（え）π ずれる

⑵　真空中で波長 λ の単色光を屈折率 n（$n>1$）の物質に入射すると，物質中の波長と光速は変化する。図２に示すように厚さ d の物質中でそれぞれ λ' と v となったとき，次の文章の空欄を埋める最も適当なものを次の（お）～（つ）から一つずつ選び記号で答えよ。ただし，真空中での光の速さを c とする。

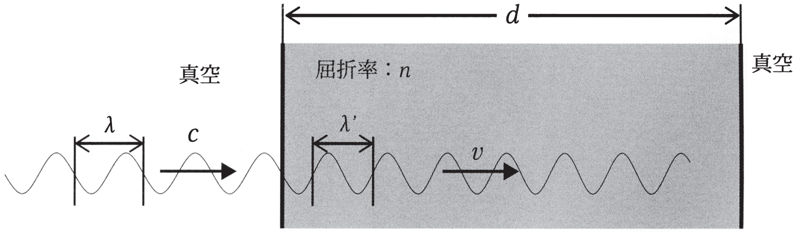


図２

屈折の法則より c と v の間には，$n=$（ ① ）の関係があり，λ と λ' の間には $n=$（ ② ）の関係がある。そのため，距離 d だけ進むのにかかる時間は真空中では（ ③ ）であり，物質中では c を用いると（ ④ ）となる。このため，屈折率 n の物質中で距離 d だけ進む時間に，真空中では距離（ ⑤ ）だけ進む。このように光が物質中で進む距離を同じ時間で真空中で進んだとして換算した距離を（ ⑥ ）と呼ぶ。

（お）$\dfrac{v}{c}$　（か）$\dfrac{c-v}{v}$　（き）$\dfrac{c}{v}$　（く）$\dfrac{\lambda'}{\lambda}$　（け）$\dfrac{\lambda'-\lambda}{\lambda'}$　（こ）$\dfrac{\lambda}{\lambda'}$　（さ）$\dfrac{d}{c}$　（し）$\dfrac{nd}{c}$
（す）$\dfrac{d}{nc}$　（せ）$\dfrac{d}{n}$　（そ）nd　（た）経路差　（ち）光路長　（つ）侵入長

［Ⅱ］　空気中で屈折率 n_1（$n_1>1$）の平行平面ガラス板Ａ，Ｂを合わせ，その一端に薄い金属箔をはさむことで，Ａ，Ｂの間に十分小さい角度 θ の傾きをもつくさび形の空気層を作った。このとき，ガラス板Ａの平面に垂直な方向に沿った平行光線である波長 λ の単色光を真上から照射すると，図３に示すように，上から観察した場合(c)と光が入射する向かい側から観察した場合(d)で，前者ではガラス板Ｂ下面とガラス板Ａ上面で反射した光が干渉し，後者では透過光とガラス板Ａ上面とガラス板Ｂ下面で反射した光が干渉し，等間隔の平行な縞模様が見える。次の問いに答えよ。

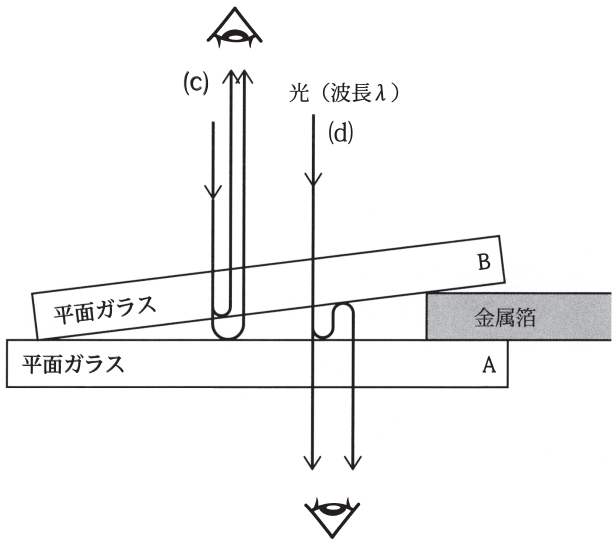


図３

(3)　(c)と(d)の場合でそれぞれの経路の光の経路差が波長の m 倍（$m=0$，1，2，3，……）となる位置では，明線または暗線のどちらかが観察できる。観察できる線の組み合わせについて次の（て）～（に）から一つ選び記号で答えよ。

（て）(c)明線と(d)明線　（と）(c)明線と(d)暗線

（な）(c)暗線と(d)明線　（に）(c)暗線と(d)暗線

以下では，図３の(c)の場合で等間隔の平行な縞模様のうち明線が見える位置について考える。図４に示すように，２つの平面ガラスの接点を原点Oとしてガラス板Aに沿って x 軸をとる。このとき，金属箔の端が $x=L$ にあり，その厚さが D であるとして，以下の問いに答えよ。ただし，空気の屈折率を1とし，θ は十分小さいので $\tan\theta \fallingdotseq \theta$ の近似を用いよ。

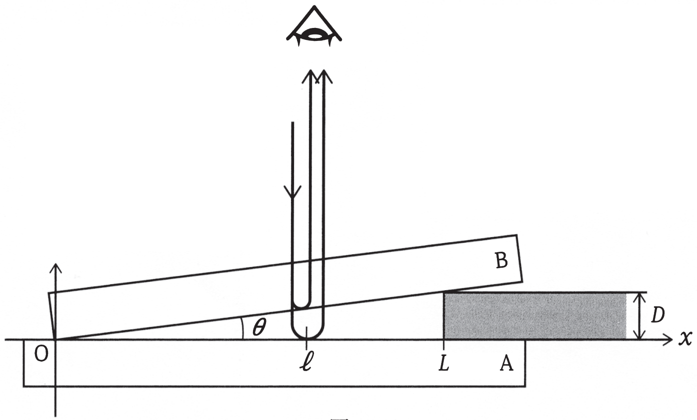


図４

(4)　ガラス板Ｂ下面とガラス板Ａ上面で反射する2つの反射光について，位置 $x=\ell$ での光線に沿った方向の経路差を ℓ，θ を用いて答えよ。

(5)　明線が現れる位置 x は m（$m=0$，1，2，3，……）を用いて表すことができる。この位置 x を，m，λ，θ を用いて答えよ。

次に，２つの平面ガラス板Ａ，Ｂの間のくさび形の空間をガラス板とは異なる屈折率 n_2 の液体で満たしたところ，干渉縞の間隔が変化した。以下の問いに答えよ。

(6)　位置 $x=\ell$ での２つの反射光の光路差を n_2，ℓ，θ を用いて答えよ。

(7)　明線が現れる位置 x は m（$m=0$，1，2，3，……）を用いて表すことができる。この位置 x を，n_2，m，λ，θ を用いて答えよ。

(8)　干渉縞の間隔は1.00 mm（1.00×10^{-3} m）となった。いま，$L=10.0$ cm（1.00×10^{-1} m），$D=20.0$ μm（2.00×10^{-5} m）で，$\lambda=532$ nm（5.32×10^{-7} m）の単色光を用いたとして，n_2 の値を答えよ。