理系物理編

第３章

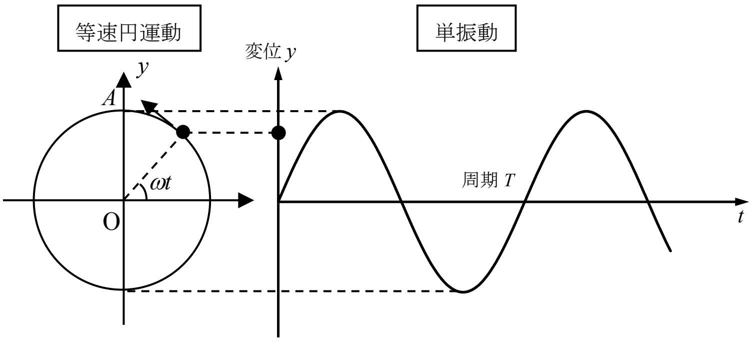
～　波動　～

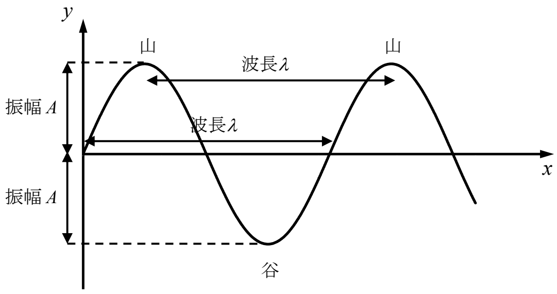
V. 【波の性質】

■波とは■

波の発生している場所を波源という。

- 正弦波　—　単振動している波源から生じる波。
- 媒質　—　波を伝える物質。
- 波形　—　媒質の各点を連ねた形。





波の基本公式　$\boxed{v = \lambda f = \dfrac{\lambda}{T}}$

波の速さ　—　波は 1 周期 T[s]の時間に 1 波長(λ[m])の長さ進む。(v〔m/s〕)

○　正弦波の式（基本）　$y = A\sin\omega t = A\sin\dfrac{2\pi}{T}t = A\sin 2\pi ft$

位相　　　―　媒質がどの振動状態にあるかを表す。

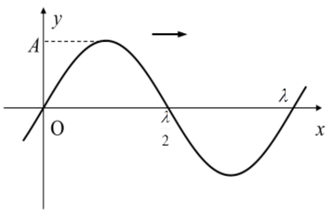
※媒質の単振動を表す等速円運動の回転角のこと。

位置 x における波の式の作り方
①　原点における媒質の単振動を表す式 $y_O(t)$ をつくる。（初期位相により sin，cos など）
②　位置 x まで波（振動状態）が伝わってくる時間を考えて t を $t \pm \dfrac{x}{v}$ に置き換える。

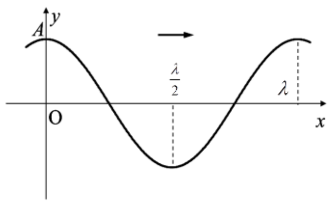
＜例題１＞

波長λ，振動数 f の正弦波があり，$t = 0$ での波形は図のようになっている。矢印は波の進む向きを示している。これらの波の式を求めよ。

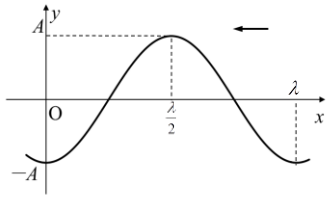
（１）



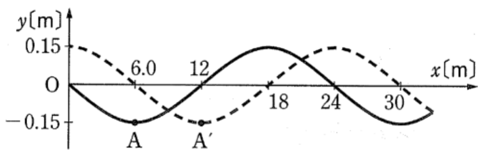
（２）



（３）



【１】x 軸上を正の向きへ正弦波の横波が進んでいる。時刻 0 秒のときは図の実線の波形であったが，A の谷が 0.10 秒後に A’ まで進んで破線の波形になった。



（１）この波の振幅，波長，周期を求めよ。

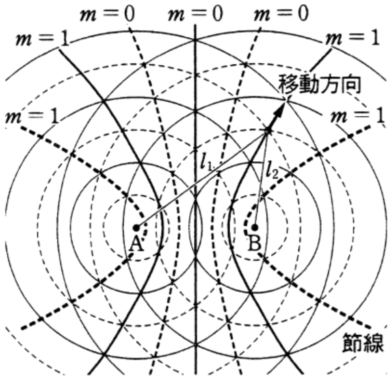
（２）座標 x [m]の点の時刻 t [s]における変位 y [m]を表す式をつくれ。

○　波の干渉

２つの波が重なりあい，振動を強めあったり，打ち消しあったりする現象。

・波源の振動が同位相のとき

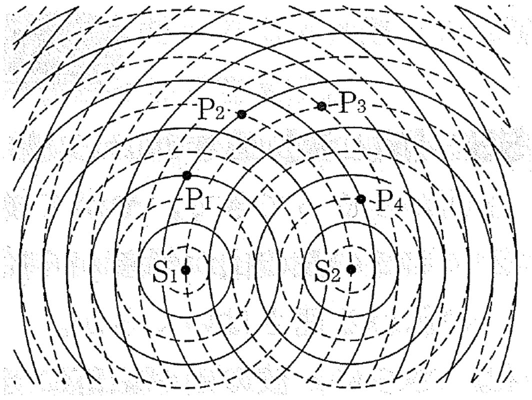
$$\begin{cases} \text{強めあう条件} & |l_1 - l_2| = m\lambda \\ \text{打ち消しあう条件} & |l_1 - l_2| = \left(m + \dfrac{1}{2}\right)\lambda \\ (m = 0,\ 1,\ 2,\ \cdots) & l_1,\ l_2\text{―波源 A，B から P までの距離} \end{cases}$$



・波源の振動が逆位相のときは？

＜例題２＞

水面上で 7.0cm 離れた 2 点 S_1，S_2 から，波長 2.0cm，振幅 0.30cm の等しい波が，同じ位相で出ている。図の実線は，ある瞬間におけるこれらの波の山を表し，点線は谷を表している。波の振幅は，波源から遠ざかっても減衰しないものとして考えよ。



（１）図の点 P_1，P_2，P_3，P_4 のうちで，S_1，S_2 からの波が重なって大きく振動する点はどこか。また，その振幅はいくらか。

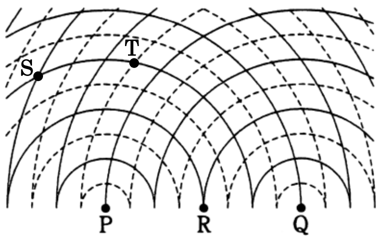
（２）S_1，S_2 からの距離の差が 3.0cm になっている点では，どんな振動をするか。

（３）（２）を満足する点を連ねると，どんな曲線になるか。図示せよ。

（４）線分 S_1S_2 上で全く振動しない点は何個あるか。ただし，S_1 と S_2 を除く。

（５）もし，波源 S_1，S_2 が逆位相で振動している場合，（４）の答えはどうなるか。

【２】水面上に 8.0cm 離れた 2 つの波源 P，Q があり，同位相，同周期で振動して，振幅の等しい波を送り出している。これらの波の波長は 2.0cm で，波の減衰は無視する。ただし，図の実線を山，破線を谷とする。



（１）線分 PQ 上の中点 R では P,Q からの波が重なって，定常波の腹，節のどちらができるか。

（２）図の状態から$\frac{1}{2}$周期後の点 S，T の変位は山，0，谷のうちどれか。

（３）線分 PQ 上にできる定常波の腹の間隔は何 cm か。

（４）線分 PQ と交わる節線は何本あるか。

（５）節線上の任意の点を X とするとき，PX－QX の最大値はいくらか。

（６）線分 PQ の延長線上で，P，Q の外側ではどのような波ができるか。

次に，波源 P，Q の振動が逆位相になるように調節する。

（７）水面上の次の点のうち，P と Q からの波が重なって強めあっているのはどれか。

①　P から 14.0cm，Q から 10.0cm　　②　P から 8.0cm，Q から 5.0cm

③　P から 4.0cm，Q から 4.0cm

■練習問題■

【１】ある媒質中を縦波が x 軸の正の向きに進んでいる。図 1 は，時刻 $t = 0$[s]のときの媒質の変位 y（$+x$ 方向への変位を正とする）を，座標 x に対して図示している。
図 2 は，ある位置での媒質の変位を時刻 t に対して図示している。

（１）この波の波長，振動数，速さはそれぞれいくらか。

（２）$t = 0$[s]のとき，$x = 100$[cm]での変位はいくらか。また，$x = 10$[cm]の位置で，$t = 2.5$[s]のときの変位はいくらか。

（３）図 1 で，媒質の密度が最大になっているのはどこか。図の範囲で該当する位置をすべて答えよ。また，$x = 11$[cm]の位置で密度が最大になるまでにはあと何秒かかるか。

（４）図 1 で，媒質の速度が 0 の位置，および右向きで最大となっている位置を，それぞれ図の範囲ですべて答えよ。

（５）図 2 のようになる位置は図 1 中のどこか。すべて答えよ。また，図 2 で，媒質の密度が最大になるのはいつか。図の範囲ですべて答えよ。

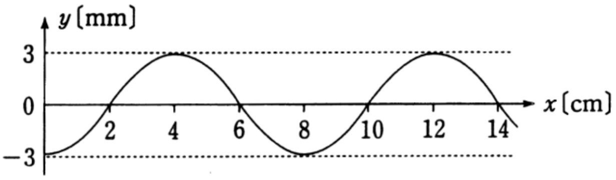


図 1

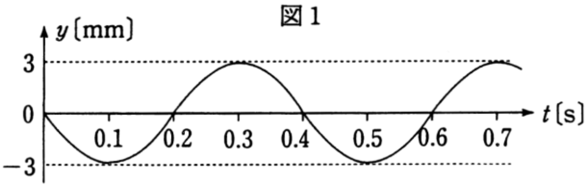
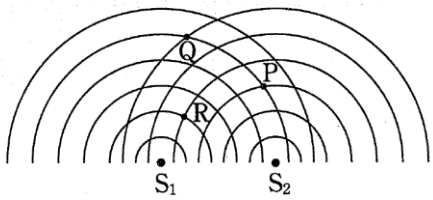


図 2

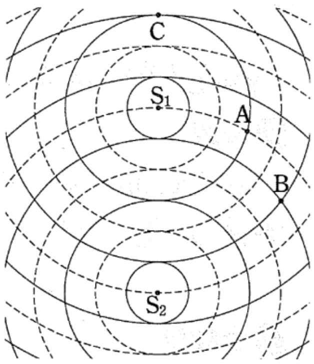
【２】2 個の小球 S_1 と S_2 を水面に置き，周期 T で同位相で振動させると，S_1 と S_2 を波源とする球面波が広がった。両波源からでる波は振幅 a の正弦波で減衰せずに広がっていくものとする，図は時刻 $t=0$ における半波長ずつ異なった山および谷の波面を表し，このとき点 P の変位は $2a$ であった。



（1）点 Q と R について，$t=0$〜T における変位の時間による変化をグラフに示せ。

（2）S_1 と S_2 を逆位相で振動させると，点 P はどのように振動するか。

【３】水面上の S_1 と S_2 にある小球を，下に周期 4.0s で等しく振動させたら，水面に円形波がひろがった。図は，波の山の波面（実線）と谷の波面（破線）で示したものであり，S_1 と S_2 の間の距離は 12cm である。図の状態で，2 つの小球は最下点にある。



（１）図の状態から 3.0s 後の点 A と B の変位は山，0，谷のうちどれか。

（２）波が常に打ち消しあう点を結んだ線（節線）上の任意の点を P とするとき，S_2P-S_1P の最大値はいくらか。

（３）線分 S_1S_2 上と線分 CS_1 上の水面の様子を簡潔に述べよ。

（４）$S_1S_2 = 10$cm にすると，線分 CS_1 上の水面の様子はどうなるか。簡潔に述べよ。

【４】図は右へ進む振幅 A，周期 T の入射波を表し，波の先端は点 E にある。この波は，点 H にある壁で固定端反射される。

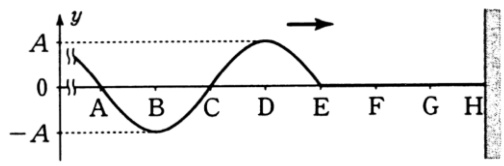
（１）図のとき，媒質の速度が負（$-y$ 方向）で，最大となっている位置はどこか。

（２）波の先端が壁に達するまでにかかる時間はいくらか。

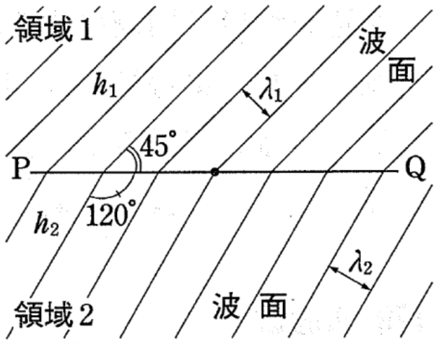
（３）1 周期 T 後の波の反射波と合成波を作図せよ。また，$\frac{5}{4}T$ 後と $\frac{3}{2}T$ 後についても作図せよ。

（４）十分時間がたったとき，最も激しく振動する位置をすべて答えよ。

（５）図の状態から点 G の変位が正で最大となるまでにかかる時間はいくらか。また，点 E についても答えよ。



【５】波長が水深 h よりも十分に長い波の場合，その波の速さ v は $v = \sqrt{kh}$ （k は比例定数）となることが知られている。図のように直線 PQ をはさんで，水深 h_1 と h_2 の領域からなる水槽を考える。図では，領域 1 から領域 2 に進む平面波の山を結んだ波面の進み方を表している。



（１）この波の入射角 i ，屈折角 r を求めよ。

（２）領域 1 から領域 2 に進むときの屈折率 n （媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率）を求めよ。ただし，$\sqrt{6} = 2.4$ とする。

（３）図の λ_1（媒質 1 の中での波面の間隔）は 0.040m であった。λ_2（媒質 2 の中での波面の間隔）はいくらか。

（４）領域 1 の中を進む波の速さ v_1 が，0.80m/s であった。媒質 2 を進む波の速さ v_2 [m/s] を求めよ。

（５）領域 2 を進む波の周期 T [s]を求めよ。

（６）領域 1 と 2 の水深の比 $\dfrac{h_1}{h_2}$ を求めよ。

VI.【音の性質】

■ドップラー効果■

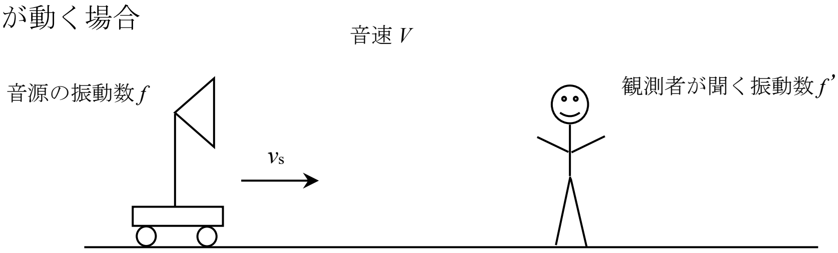
解法のコツ

① 音源が出す波長を考える。

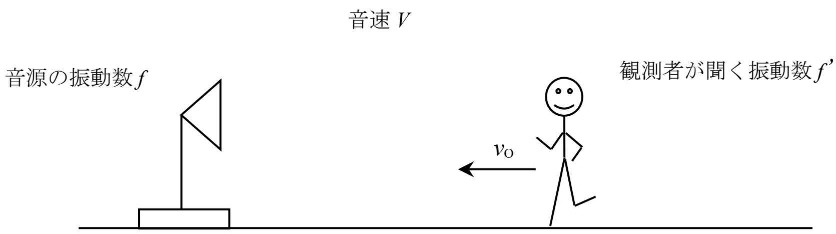
② その波長の音をどういう音速で観測者が聞いたのかを考える。

③ $v = \lambda f$

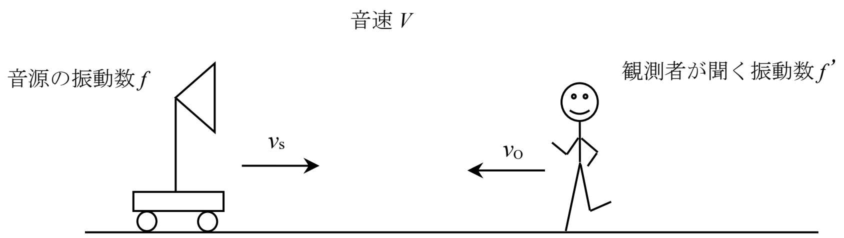
（ⅰ） 音源が動く場合



（ⅱ） 観測者が動く場合



（iii） 音源と観測者が動く場合



（iv） 反射板のはたらき

①観測者⇒②音源として考える。

（v） 風が吹いている場合

音速の変化を考慮する。

（vi） 斜めに動く場合

音源または観測者の速度を成分分解する。

＜例題１＞

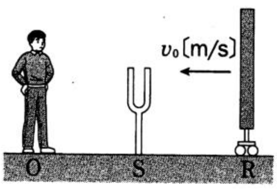
船が振動数f_0 の汽笛を鳴らしながら，岸壁に向かって速さvで近づいている。空気中の音速をVとして，次の問いに答えよ。

（１）岸壁に向かって進んでくる音の波長λ，および岸壁に立っている人が聞く音の振動数f_1はいくらか。

（２）船がt_0秒間汽笛を発したとき，その汽笛を人が聞く時間はいくらか。

＜例題２＞

観測者 O と振動数f_0 [Hz]の音源 S は静止していて，反射板 R が左向きに速さv_0[m/s]で運動する。風はなく，音速をV[m/s]とする。



（１）観測者 O が聞く，反射音の振動数は何 Hz か。

（２）今，音源 S が時間t_0 [s]の間，音を発したとする。観測者 O は反射音を何秒間聞くか。

【１】図 1 のように，静止している観測者と速さ v_s[m/s]で右向きに移動している振動数 f_0 [Hz]の音源がある。音の速さを V [m/s]（$V > v_s$）とする。

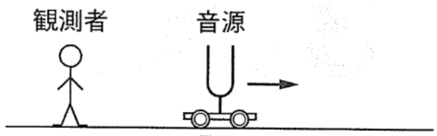


図 1

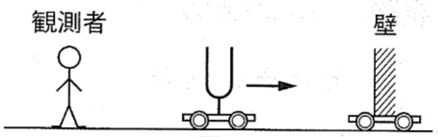


図 2

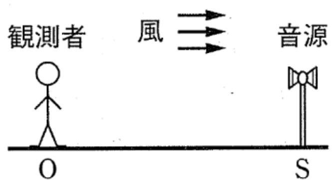
（１）このとき，観測者に聞こえる音の波長λ_1 [m]と振動数f_1 [Hz]を求めよ。

（２）図 2 のように音源の右側に壁を置いた。静止した壁の位置で観測される音の波長λ_2 [m]と振動数f_2 [Hz]を求めよ。

（３）壁があると，観測者には音源から直接届く音と壁で反射して戻ってきた音が同時に聞こえる。壁が静止しているとき，観測者が 1 秒間に聞くうなりの回数 n [回]を求めよ。

（４）壁を左右いずれかに動かして，（３）において聞こえるうなりを消したい。壁を動かす向きと速さを求めよ。

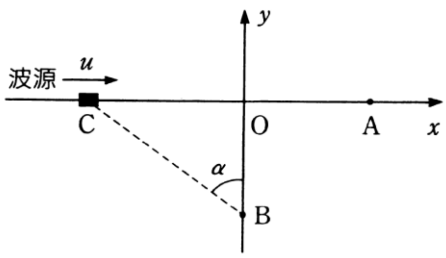
【２】次の文中の$\boxed{}$を適切に埋めよ。ただし，音源 S が出す音の振動数を f とし，無風状態での音波の速さを V とする。



図のように，右向きに一定の速さ w の風が吹いている中で，観測者 O と音源 S が一直線上に並んでいる場合を考える。この場合，図の右向きに進む音波の速さは$\boxed{1}$であり，図の左向きに音波の速さは$\boxed{2}$である。音源 S が一定の速さ v_s で，静止している観測者 O から，図の右向きに遠ざかる場合，O が観測する音波の振動数は$\boxed{3}$である。また，観測者 O が一定の速さ v_o で図の左向きに，音源 S が一定の速さ v_s で図の右向きに，お互いに遠ざかる場合，O にとっては音波が速さ$\boxed{4}$で近づいてくることになるので，O が観測する音波の振動数は$\boxed{5}$となる。ただし，w，v_s，v_o，さらに$(w + v_o)$は V に比べて小さいものとする。

【３】次の文中の$\boxed{}$に適当な数式を入れよ。

xy 平面の x 軸上を波源が速さ u で等速直線運動している。波源の振動数を f ，波の速さを v とする。



（１）点 A に静止している観測者が，x 軸上の負の側から波源が近づいてくるときの波の振動数を測定すると f_1 であり，波源が点 A を通り過ぎて正の側に遠ざかっていくときの振動数を測定すると f_2 であった。
f_1 ，f_2 ，v を用いると，$f=$ $\boxed{ア}$，$u=$ $\boxed{イ}$である。

（２）波源が原点 O を通過する瞬間に，点 B に静止している観測者には，y 軸から左側に角度 α だけずれた方向から波が伝わってきて，その振動数は f_3 であった。このとき，$u=$ $\boxed{ウ}$$v$ であり，f_3 ，α を用いて，$f=$ $\boxed{エ}$である。

■練習問題■

【１】音の性質に関する記述として正しいものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 一定の振動数の音を出す音源が近づいているときに音が高く聞こえるのは,音波の速さが速くなったからである。

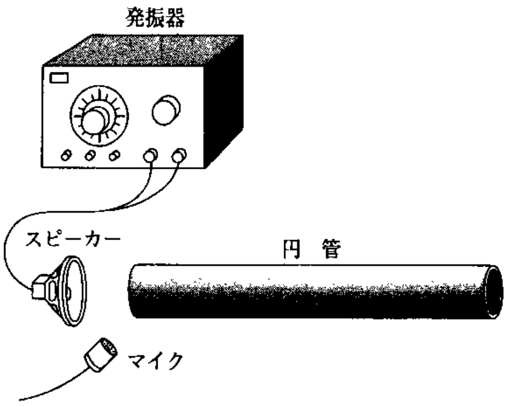
② うなりは，振幅がわずかに異なる二つの音の干渉が原因で生じる。

③ 低い音のほうが高い音よりも回折しやすいので障害物の後ろに届きやすい。

④ 寒い日や夜間など地表付近の空気の温度が低くなるときに遠方の音がよく聞こえるのは，音が共鳴するからである。

（2002 年　センター本試験）

【２】 図のように両端が開いた細長い円管のそばに，マイクと，発振器につないだスピーカーを置く。ただし，スピーカーとマイクは管口をふさがないように離して置き，マイクはスピーカーからの音を直接とらえないようにしてある。また，スピーカーから出る音の振動数は発振器の振動数と同じで，音の大きさは振動数によらずに一定である。



問１ 発振器の振動数をゼロからだんだん大きくしながらマイクに入る音の大きさを測定すると，ある振動数で急に音が大きくなった。その理由として，最も関係が深いことがらを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

① 散 乱　　② うなり　　③ 屈 折

④ 分 散　　⑤ 回 折　　⑥ 共 鳴

問２ さらに振動数を大きくしていくと，一定の振動数間隔で音が大きくなるのが観測された。この間隔は，主に何によって決められるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 円管の長さ　　② 円管の内径

③ 円管の材質　　④ スピーカーから出る音の大きさ

問３　前回より気温の低い別の日に同じ装置を用いて同じ実験を行ったところ，音が急に大きくなる振動数がわずかに低い方へずれていることに気づいた。温度が下がると振動数がずれる原因として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

① 空気中の音波の振幅が大きくなるから。
② 空気中の音波の振幅が小さくなるから。
③ 空気中の音の速さが速くなるから。
④ 空気中の音の速さが遅くなるから。
⑤ 円管の長さが短くなるから。
⑥ 円管の内径が小さくなるから。

（2001 年　センター本試験）

【３】図 1 のように，弦の一端を電磁おんさにつなぎ，他端に質量 M [kg]のおもりをつけて水平に置く。電磁おんさの振動数を 150Hz にして振動させたところ，弦の区間 AB（長さ $L = 0.75$m）に，腹が 3 つの定常波ができた。次に，電磁おんさの向きを図 2 のように変えて，実験したところ，腹を 3 つつくるためには，おもりを$\dfrac{M}{4}$ [kg]にしなければならなかった。

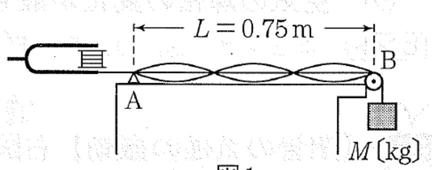


図1

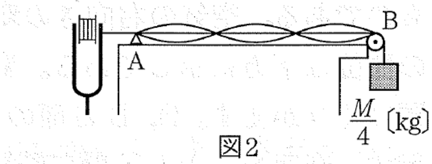
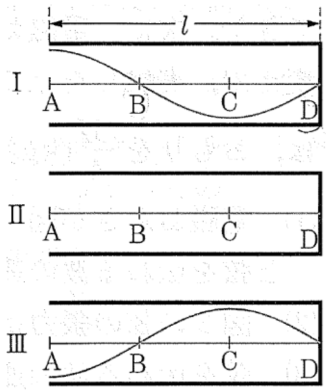


図2

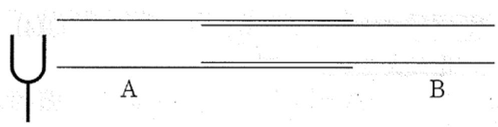
（１）電磁おんさが図 1 のとき，弦の定常波の波長と弦を伝わる波の速さを求めよ。
（２）図 2 の弦の張力は，図 1 の弦の張力の何倍か。
（３）弦を伝わる波の速さは，張力の平方根に比例する。図 2 の弦を伝わる波の速さは図 1 を伝わる波の速さの何倍か。
（４）図 2 のときの弦の振動数を求めよ。

【４】右図は，長さ l のガラス管に音波を送り，閉管内にできた定常波の波形のようすを示したものである。空気の右向きの変位は AD の上方に，左向きの変位は下方に示してある。変位はⅠ→Ⅱ→Ⅲ→Ⅱ→Ⅰの順にくりかえす。B，D は節の位置を，A，C は腹の位置を示す。音速を v とし，開口端補正は考えない。



（１）音波の波長 λ および振動数 f を l ，v を用いて表せ。
（２）この定常波の振動数は基本振動数の何倍か。
（３）圧力変化が最大の位置はどこか。また圧力変化が最小の位置はどこか。
（４）媒質である空気の速さが最大になるのは，A～D のどの場所か。また，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲのどの波形の瞬間か。

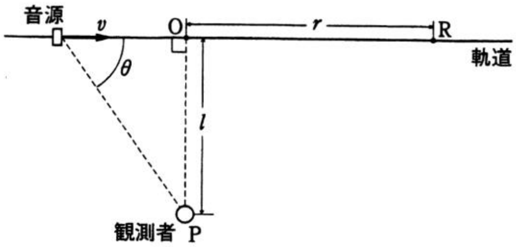
【５】右図のように，長さを変えることができる細い管 AB がある。管の一端の近くで振動数 f [Hz]のおんさを鳴らしながら，管をゆっくり伸ばしていくと，長さが l_1 [m]になったとき，まず音が強く聞こえ，次に長さが l_2 [m]になったとき再び強く聞こえた。このとき，管の長さ l_2 は l_1 の約 1.5 倍であった。開口端補正はあまり大きくないが，無視できないものとする。



（１）管の長さが l_1 のとき，管内に生じる定常波の節の数は何個か。
（２）音の波長 λ [m]と音速 v [m/s]を求めよ。
（３）開口端補正 x [m]を l_1 と l_2 を用いて表せ。

【６】(2003 年　岐阜大)

図のように，点 P の位置に静止している観測者の前を，振動数 f_0 の音波を発する音源を備えた超高速列車が直線軌道を音の速さ V より遅い速さ v で通過していく場合を考える。点 P と軌道までの距離を l として以下の問いに答えよ。



（1）音源と点 P を結ぶ直線と列車の進行方向とのなす角度が θ の地点で音源が発した音波を観測者が観測したところ，その振動数は f であった。f を f_0，V，v，θ を用いて表せ。

（2）音源の速さ v が音の速さ V の 2 分の 1 である場合に，音源が $\theta = 60°$ の地点で発した音波を観測者が観測すると，その振動数は f_1 であった。f_1 を f_0 を用いて表せ。

（3）（2）と同様に $v = \dfrac{1}{2}V$ である場合に，音源が観測者の正面（点 O の位置）で発した音波を観測者が受けた瞬間に，観測者はその受けた音波と同じ振動数 f_2 の音波を送り返した。f_2 を f_0 を用いて表せ。

（4）（3）で観測者が送った音波は，音源が点 O から距離 r だけ離れた点 R の位置に達したときに音源に届いた。距離 r を l を用いて表せ。

（5）（3）で観測者が送った音波を，移動する列車上の音源の位置に置かれた測定器により，点 R の位置を通過するとき観測したところ，その振動数は f_3 であった。f_3 を f_2 を用いて表せ。

【７】(2005 年　富山大)

一定の振動数f_0の音を出しいている音源がある。観測者，音源，反射板がこの順に一直線上に並んでいる。観測者と音源は静止し，反射板は面を進行方向に垂直に保ちながら一定の速さvで音源に向かって動いている。このとき観測者は，音源からの直接音と反射音とによって生じるうなりを聞く。このうなりの回数が風によってどのように影響されるかを考える。無風状態での音の速さをVとして，反射板の速さvと風の速さwはVに比べて十分に小さいとする。次の文中の$\boxed{}$に適切な数式を書き入れよ。

（１）観測者が聞く直接音の振動数をf_d，反射音の振動数をf_rとすると，単位時間に観測者が聞くうなりの回数fは$f=$ $\boxed{ア}$である。

（２）まず，風がない場合（$w=0$）を考える。反射板が受け取る音の振動数f_1はv，V，f_0を用いて$f_1=$ $\boxed{イ}$と表される。観測者に届く反射音の振動数f_rをv，V，f_1を使って表すと$f_r=$ $\boxed{ウ}$となる。したがってf_rはv，V，f_0を用いて$f_r=$ $\boxed{エ}$と表される。一方，観測者に届く直接音の振動数f_dは$f_d=$ $\boxed{オ}$である。これらのことから，単位時間に観測者が聞くうなりの回数fはv，V，f_0をを用いて$f=$ $\boxed{カ}$と求まる。

（３）次に，速さwの一応な風が観測者から反射板に向かって吹いている場合を考える。音は風の吹く向きには$\boxed{キ}$の速さで，風とは逆の向きには$\boxed{ク}$の速さで伝わる。

このことを考慮すると反射板が受け取る音の振動数f_1'はv，w，V，f_0を用いて$f_1'=$$\boxed{ケ}$

と表される。また，観測者の受け取る反射音の振動数f_r'はv，w，V，f_1'を用いて表すと

$f_r'=$ $\boxed{コ}$である。したがってf_r'はv，w，V，f_0を用いて$f_r'=$ $\boxed{サ}$と表される。

一方直接音は，振動数$f_d'=$ $\boxed{シ}$の波として観測者に届く。よって，単位時間に観測者が聞くうなりの回数f'はv，w，V，f_0を用いて$f'=$ $\boxed{ス}$と表される。

VII.【光の性質】

■光の性質と進み方■

○光の種類

<table>
<tr><td colspan="8">波長　770　　　700　　　　　　　600　　　　　　500　　　　　　　380　[nm]</td></tr>
<tr><td></td><td>赤</td><td>橙</td><td>黄</td><td>緑</td><td>青</td><td>紫</td><td></td></tr>
<tr><td>赤外線</td><td colspan="6">可視光線</td><td>紫外線</td></tr>
</table>

単色光：単一波長からなる光

白色光：複数の波長の色を含み，色合いを感じない光。（太陽光線など）

○光の速さ

真空中（空気中）の光の速さ：$c = 3.00 \times 10^8$m/s

その他の媒質中の光の速さは $\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12}$ で考える。

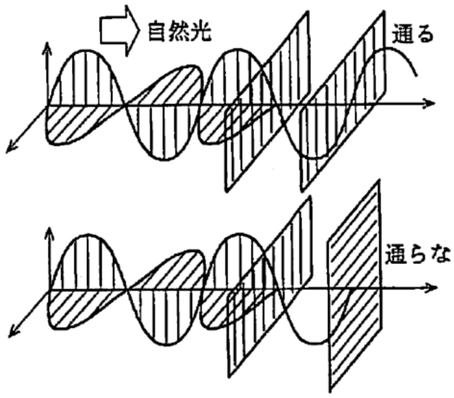
光の速さと波長は比例関係にある。$\frac{c}{\lambda} = \frac{c'}{\lambda'} = f$(一定)

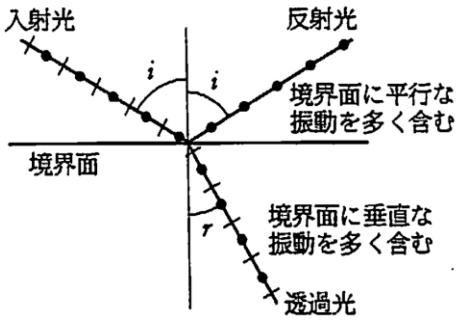
○偏光

自然光：いろいろな方向の振動面をもつ光。（太陽光，電球の光など）

偏光：特定な方向の振動面だけの光。自然光を偏光板に通すとできる。

※光の偏りの現象は，光が横波であることを示している。水面やガラス板での反射光は，特定の方向の偏光を多く含む。





○光と音の違い

	光	音
波の種類	横波であるから，偏り（偏光）の現象がある。	縦波であるから，偏りの現象はない。
媒質中の速さ	波長によって異なるから，プリズムによって分散スペクトルが得られる。（後述）	振動数や波長によって異ならないから，光の分散のような現象は起こらない。
波長の長さ	短いので，回折現象は目立たない。	長いので，音の回折現象は著しい。

○光学的疎密

光学的に疎	⇒	絶対屈折率小	
密	⇒	大	
光学的に疎な媒質での反射		⇒	位相の変化なし
密		⇒	位相がπ 変化

○光路長

$\boxed{\text{光路長 = 屈折率×距離}}$

(説明)光が真空中を距離 l 進むのに要する時間 t は $t=\dfrac{l}{c}$ であるが，屈折率 n の

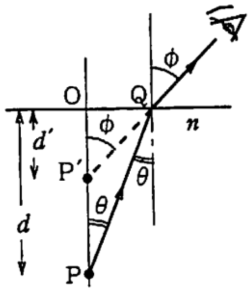
媒質中を同じ距離を進むには $t'=\dfrac{l}{c/n}=\dfrac{nl}{c}\ (>t)$だけの時間がかかる。これから，

屈折率 n の媒質中の距離 l は，光の進行に対しては真空中での距離 nl に相当することになる。この nl を光路長または光学距離という。

○屈折による浮き上がり

屈折率 n の液体中で深さ d にある物体 P を真上の空気中から見ると，物体 P は，深さ $d'=\dfrac{d}{n}$ の位置にあるように見える。（見かけの深さ）

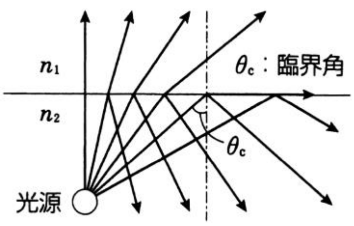
逆に，屈折率 n の液体中から空気中の高さ H の物体を見ると，$H'=nH$ の高さに見える。



＜証明＞

○全反射

屈折率の大きい媒質から小さい媒質に光が進むとき，入射角がある角度（臨界角θ_c）より大きくなると，屈折光線は全くなく，反射光線だけとなる。この現象を全反射という。



臨界角の求め方：屈折の法則で「屈折角 ＝90°」を代入。

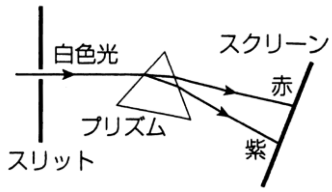
○光の散乱

散乱：光が，空気中の気体分子やちりなどの微粒子に当たると，四方に散っていく現象。

※波長が短いほど散乱されやすい。⇒青は散乱され________，赤は散乱され________。

＜具体例＞

○光の分散・スペクトル



光の分散：スリットを通した自然光（白色光）をプリズムに当てると，光は色によって屈折率が違うため各色の光が分離する現象。

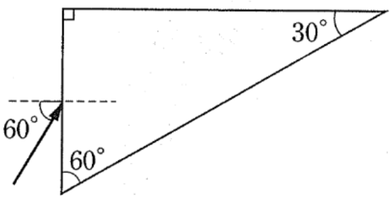
光のスペクトル：光が波長の順に並んだ色帯。

分散スペクトル：プリズムを用いて得られるスペクトル。

回折スペクトル：回折格子によるスペクトル。（赤色の方が大きく曲がる。$d\sin\theta = m\lambda$ ）

＜例題１＞

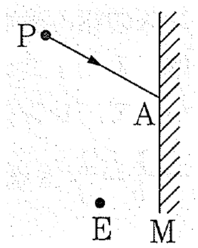
図のような断面をもった屈折率$\sqrt{3}$のプリズムがあるその１つの面に，図のように空気中から60°の入射角で光を入射させた。光の進路を図示せよ。ただし，全反射以外の反射光はかかなくてよい。また，屈折や全反射が起こる点での入射角，屈折角，反射角を図中に記入せよ。



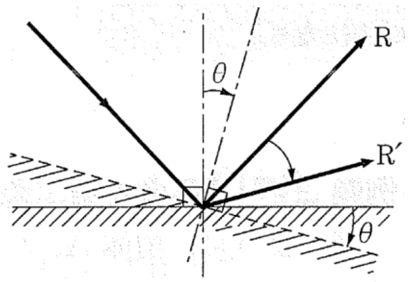
【１】平面鏡 M の前に点光源 P がある。

（１）P から出た光線 PA は，M で反射後どの方向に進むか。

（２）E 点に目を置くとき，P から出て M で反射したのち，目 E に入る光線を描け。



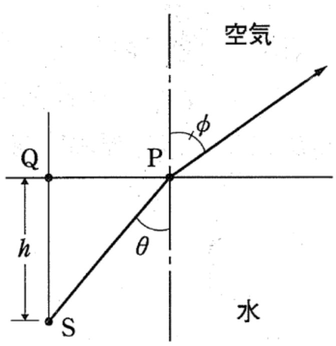
【２】平面鏡を角θ だけ回転させると，反射光はいくら回転するか。



【３】図に示されるように，水深 h のところに点光源をおく。S を出て水中から空気中へ進む光線の P における入射角をθ ，屈折角をϕ とする。また，空気に対する水の屈折率を n とする。

（１）$\sin\phi$ を n とθ で表せ。

（２）光源 S をほぼ真上から見るときの S の見かけの深さ h' を n と h で表せ。ただし，θ が十分に小さいとき $\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta$ である。



（３）水面に円板を浮かべて，その中心を Q に一致させる。光源 S を空気中のどこからも，見えなくするための円板の最小の半径 r を求めよ。

■レンズの性質■

写像公式

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \qquad 倍率\left|\frac{b}{a}\right|$$

a：物体の位置

b：像の位置 $\begin{cases}\text{物体と反対側⇒正}\\ \text{物体と同じ側⇒負}\end{cases}$

f：焦点距離 $\begin{cases}\text{凸レンズ⇒正}\\ \text{凹レンズ⇒負}\end{cases}$

物体の位置関係	$a>f$	$a<f$
凸レンズ ($f>0$)	倒立実像 $b>0$	正立虚像 $b<0$
凹レンズ ($f<0$)	正立虚像 $b<0$	

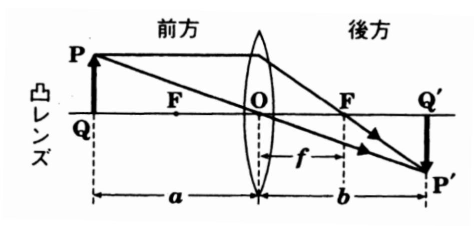
○作図の基本

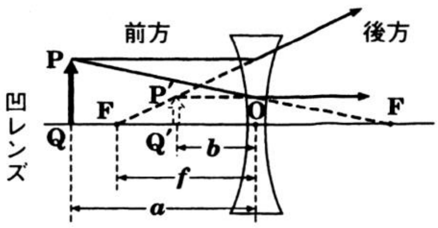
光はレンズの厚い方に屈折する。

①中心を通る光：直進する

②焦点を通る光：光軸に平行に進む

③光軸に平行な光：焦点を通る





○組合せレンズ

複数枚のレンズを用いる場合，はじめのレンズによる像を次のレンズの物体とみなし，順次レンズの公式を適用すればよい。

＜例題１＞

（１）長さ 2.0cm の物体が焦点距離 20cm の凸レンズの前方 25cm のところにある。像のできる位置，大きさを求めよ。また，それは実像か虚像か，正立か倒立か。

（２）長さ 6.0cm の物体が焦点距離 60cm の凹レンズの前方 30cm のところにある。像のできる位置，大きさを求めよ。また，それは実像か虚像か，正立か倒立か。

＜例題２＞

図 1 のように，焦点距離 20cm の凸レンズ L_1 の左側 40cm の位置に物体 AA’ を置いたところ，実像 BB’ ができた。さらに，図 2 のように，L_1 から 30cm の所に焦点距離 30cm の凹レンズ L_2 を置くと，像 CC’ ができた。

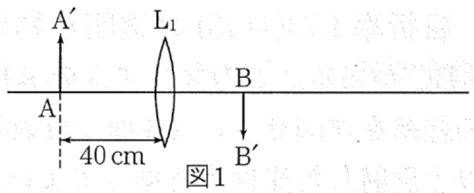


図1

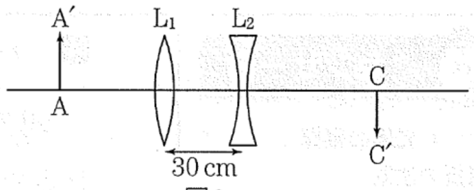


図2

（１）実像 BB’ と L_1 との距離はいくらか。

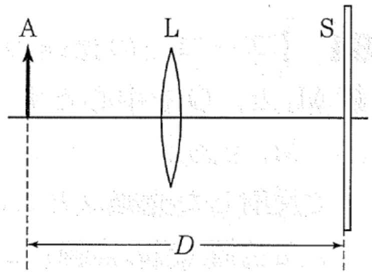
（２）L_1 による像の倍率はいくらか。

（３）L_2 による像の種類と位置を答えよ。

（４）L_1 と L_2 による像の総合倍率はいくらか。

＜例題３＞

図のように，物体 A，ついたて S の間に焦点距離 15cm のレンズ L を置く。初めに物体とついたての距離を 80cm に固定し，レンズの位置を変える。



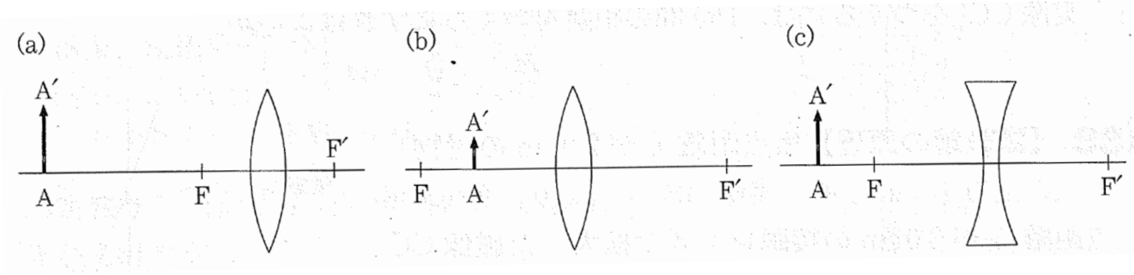
（１）レンズを動かしていくと，2 か所で実像を結んだ。物体とレンズの距離を求めよ。

次に，ついたてと物体の距離を短くしていったところ実像は 1 か所でしか現れなかった。

（２）物体とついたての距離はいくらか。

（３）（２）のときの倍率を求めよ。

【１】下記の場合の物体 AA’の像を作図せよ。F，F’は焦点である。



【２】物体 A から 24cm の位置にスクリーン B を置く。次の条件を満たすレンズの焦点距離とレンズを置いた位置を求めよ。

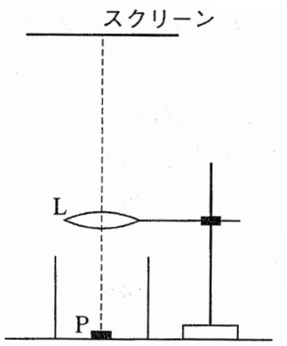
（１）レンズ L_1 を置いたところ，スクリーン B 上に同じ大きさの実像ができた。

（２）レンズ L_2 を置いたところ，スクリーン B 上に 3 倍の大きさの実像ができた。

（３）レンズ L_2 でスクリーン B 上に実像をつくるには，レンズ L_2 を（２）で求めた以外にどの位置に置くとよいか。

【３】床の上に置かれた容器の底面に光源 P があり，その上方 15.0cm のところに凸レンズが水平に支持されている。

このとき，次の各問いに答えよ。



（１）容器に何も入っていないとき，レンズの上方 30.0cm のところにスクリーンを支持すると，光源の鮮明な像が生じた。レンズの焦点距離はいくらか。

（２）容器の中に，ある液体を深さ 10.0cm のところまで入れたとき，レンズから 50.0cm の高さにスクリーンを支持すると，光源の鮮明な像が生じた。

(ア)　光源から出てレンズに進む光は，液体の深さ何 cm のところから出たかのように進むか。

(イ)　液体の屈折率 n はいくらか。

【４】図１に示すように，焦点距離がf_1[m]の薄い凸レンズ１の光軸上で，レンズの中心O_1から左側に距離a[m]（$a > f_1$）離れたところに物体ABを置く。凸レンズ１の左側の焦点の位置をF_1，右側の焦点の位置をF_2とする。凸レンズ１の中心O_1から距離b[m]（$b > a$）離れたところに実像CDができた。

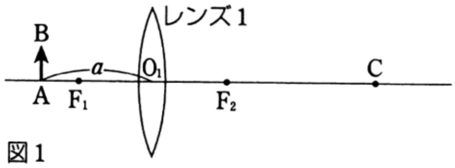


図１

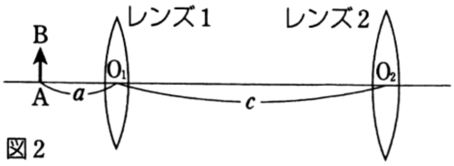


図２

（１）距離$F_1A = x_1$[m]，$F_2C = x_2$[m]のとき，x_1，x_2，f_1の関係を求めよ。

実像CDを焦点距離f_2[m]の別の薄い凸レンズ２を用いて，さらに拡大することを考える。図２に示すように，凸レンズ１の中心O_1と凸レンズ２の中心O_2との距離をc[m]（$c> f_2$，$c > b$）離して同じ光軸上に置く。

（２）凸レンズ２の中心から距離d[m]だけ離れた位置に虚像EFができた。距離dをb，c，f_2を用いて表せ。

（３）虚像EFは，物体ABの何倍か。a，b，c，f_2を用いて表せ。

■光の干渉と回折■

解法

STEP.1　光路差を考える。　STEP.2　位相を考える。　STEP.3　条件式に当てはめる。

・同位相のとき

$$\begin{cases} \text{強めあう条件} & \text{光路差} = m\lambda \\ \text{打ち消しあう条件} & \text{光路差} = (m+\frac{1}{2})\lambda \end{cases}$$

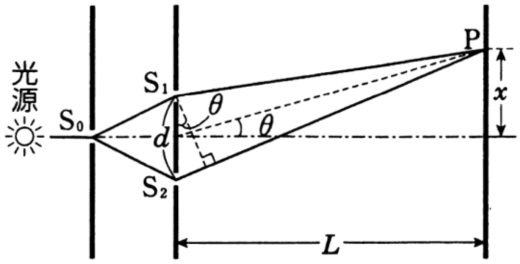
（$m = 0, 1, 2, \cdots$ ）

・逆位相のとき

$$\begin{cases} \text{強めあう条件} & \text{光路差} = (m+\frac{1}{2})\lambda \\ \text{打ち消しあう条件} & \text{光路差} = m\lambda \end{cases}$$

（$m = 0, 1, 2, \cdots$ ）

○ヤングの実験



光路差 $= d\sin\theta_m \fallingdotseq \dfrac{dx_m}{l}$

隣り合う明線どうしの間隔 $\dfrac{l\lambda}{d}$

〔具体例〕①明線となる条件を求めよ。

②干渉じまの間隔を求めよ。

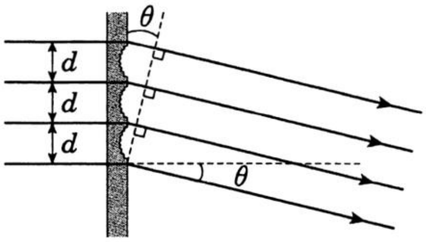
③光源の色を変えたとき，m 番目の明線はどれだけずれるか。

……など

＜証明＞

○回折格子

　ガラス板に 1cm 当たり数 100 本から数 1000 本の細い直線の溝を等間隔につけたもの。



格子定数 d : 各スリットの対応点間の距離

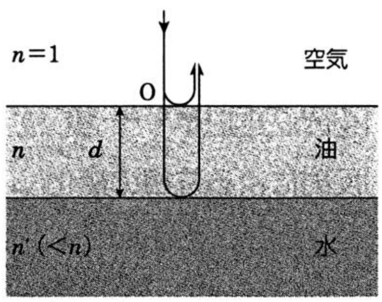
$\boxed{\text{光路差} = d\sin\theta_m}$

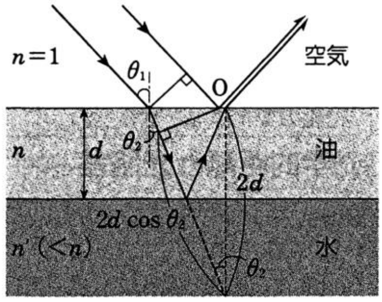
回折スペクトル : 白色光を当てた場合，同じ m についても λ の違いにより回折角 θ が異なるから，しだいに色の変わる光の帯，すなわちスペクトルが得られる。

○薄膜の干渉

$\boxed{\text{光路差} = 2nd\cos\theta_2}$

＜証明＞

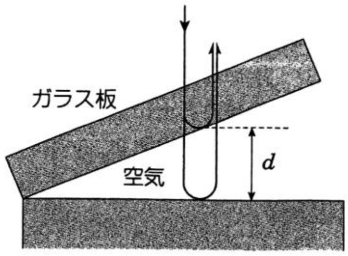




○くさび形空気層の干渉

$\boxed{\text{光路差} = 2d_{\mathrm{m}} = 2x_{\mathrm{m}}\tan\theta}$

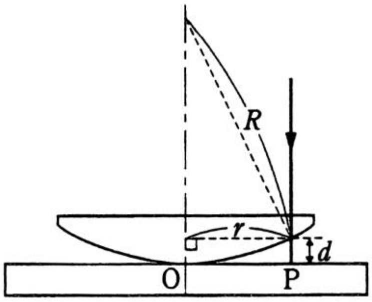
２枚のガラスのなす角をθとし，２枚のガラスの接点からの距離xの点での層の厚みをdとする（dはxに比べきわめて小さいとする）。



○ニュートンリング

$\boxed{\text{光路差} = \dfrac{{r_{\mathrm{m}}}^2}{R}}$

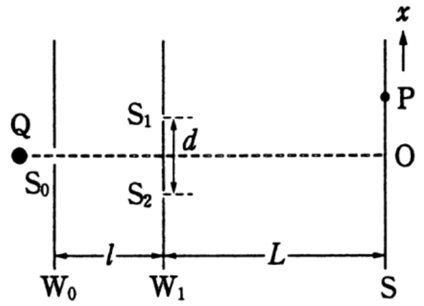
大きな半径の球面をもつ平凸レンズを平面ガラス板にのせて上から見ると，色のついた多くの同心円が見える。この円をニュートンリングという。



＜証明＞

【１】(1999年　福岡大)

Qは波長λの単色光源，W_0はスリットS_0をもつスリット板，W_1は複スリットS_1，S_2をもつスリット板，Sはスクリーンであり，W_0，W_1，Sはたがいに平行である。S_1，S_2はS_0から等距離にあり，その間隔はdである。QとS_0を結ぶ直線はS_1S_2の中点を通ってSと直角に交わる。この交点Oを原点として，図のようにスクリーン上に上向きにx軸をとる。W_0とW_1の間隔lおよびW_1とSの間隔Lは，dに比べて十分大きいものとする。以下，必要ならばyが1より十分小さいときに成り立つ近似式$\sqrt{1+y^2}\fallingdotseq 1+\dfrac{y^2}{2}$を用いよ。



（１）S_1，S_2を通過した光がいろいろな方向に進む現象を何というか。

（２）点Oからxの位置にある点をPとし，xがLより十分小さいとして，距離S_2PとS_1Pの差をd，L，xで表せ。

（３）点Oにできる明線を0番目としたとき，m番目（m =0，1，2，……）の明線が点Pにできた。xをλ，d，L，mで表せ。

（４）$L = 50$cm，$d = 0.53$mmのとき，干渉縞の間隔は0.55mmであった。光源の光の波長は何mか。

（５）W_0とW_1の間隔を広げると，干渉縞の間隔はどうなるか。

（６）W_1とSの間隔を広げると，干渉縞の間隔はどうなるか。

（７）スリット板W_1とスクリーンSの間を屈折率nの透明な物質で満たすと，干渉縞の間隔は何倍になるか。

（８）スリットS_1の部分だけを屈折率n，厚さaの透明な薄膜でおおうと，0番目の明線はどれだけ移動するか。

（９）（８）において移動方向は上方か，下方か。

(10)（３）において1番目の明線を点Oに移動させるには，スリットS_0の位置をxの正の向きにどれだけ移動すればよいか。

(11) スリットS_0のスリット幅を広げていくと，スクリーン上の干渉縞はどのように変化するか。理由をつけて説明せよ。

【２】(2007 年　名古屋大学)

次の文章の空欄を埋めよ。数値については有効数字 2 桁で答えよ。また，空欄(ケ)および(コ)については｛　｝より適当なものを選べ。

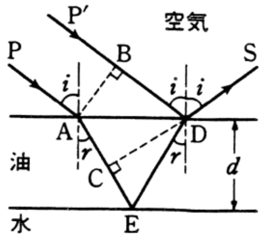
波の速さ v[m/s]は，振動数 f [Hz]と波長 λ [m]とで $\boxed{\text{ア}}$ のように表される。真空中でのレーザー光について考える。真空中における光の速さは 3.0×10^{8}m/s であり，波長 7.0×10^{-7}m の赤いレーザー光の振動数は $\boxed{\text{イ}}$ Hz である。ある点をこのレーザー光の波の 1 つの山が通過してから，新たに 3 つの山が通過するのに必要な時間は $\boxed{\text{ウ}}$ 秒である。

真空中において，このレーザー光を 1cm 当たり $\boxed{\text{エ}}$ 本の溝のついた回折格子に垂直に当てた。回折格子から 2.0m 離れて，回折格子に平行にスクリーンを置いたところ，レーザー光は回折格子を透過して，スクリーン上に干渉縞が現れ，その明線の間隔は 3.5cm であった。次に，この回折格子に波長 5.0×10^{-7}m の緑のレーザー光を当てると，同じスクリーン上の干渉縞の明線の間隔は $\boxed{\text{オ}}$ cm となった。さらに，この回折格子とスクリーンの間を屈折率 $\boxed{\text{カ}}$ の媒質で満たしたところ，波長 7.0×10^{-7}m のレーザー光の場合に明線の間隔は 2.4cm となった。この媒質中での光の速さは $\boxed{\text{キ}}$ m/s である。

次に，真空中においてレーザー光の変わりに細い白色光を上の回折格子に当てると，スクリーン上に虹色の帯が現れた。もっとも明るい中心付近はすべての色の波が強めあうため $\boxed{\text{ク}}$ 色に見えた。緑の帯のうち中心に一番近いものは赤の帯のうち中心に一番近いものより中心から $\boxed{\text{ケ}}$ ｛遠い，近い｝位置に見えた。さらに，回折格子とスクリーンの間を上記の媒質で満たしたところ，虹色の帯は中心から見て $\boxed{\text{コ}}$ ｛遠い，近い｝位置にずれた。

【３】

図のように，静かな水面上に広がっている厚さが一様な薄い油膜に，空気中を進んできた波長λの単色光が i の入射角で入射した。入射光の一部は空気と油膜の境界面で反射し，一部は r の屈折角で屈折して油膜中を進んだ。さらに，その一部が油膜と水との境界面で反射し，空気と油膜の境界面で屈折して空気中に出た。空気の屈折率を n_1，油の屈折率を n_2，水の屈折率を n_3 とすると，$n_1 < n_3 < n_2$ の関係がある。油膜の厚さを d，空気の屈折率 n_1 を 1.0，空気中と油膜中での光の速さをそれぞれ v_1，v_2 とする。



（１）入射角 i，屈折角 r と油の屈折率 n_2 との間にはどのような関係式があるか。

（２）空気中と油膜中での光の速さ v_1，v_2 と入射角 i，屈折角 r との関係式を求めよ。

（３）経路 PAEDS を進む光と経路 P′DS を進む光の光路差を求めよ。

（４）（３）の２つの反射光が強めあえば，S で反射光は明るく見える。その条件を式で表せ。

入射角 i_1 のとき，反射光が明るく見えた。入射角をゆっくり大きくしていくと反射光が見えなくなり，さらに入射角を大きくして i_2 としたときふたたび反射光が明るく見えた。

（５）入射角 i_1，i_2，波長λおよび油の屈折率 n_2 から油膜の厚さ d を求めよ。

【4】空所を埋め，問いに答えよ。$\boxed{\text{ア}}$から$\boxed{\text{エ}}$，$\boxed{\text{カ}}$については語句で埋めよ。

図1は空気中で2枚の平行平面ガラスA，Bを片側で接触させ，Bに対してAを非常に小さな角θだけ傾けて配置した断面図を示す。接触点を原点Oとし，ガラスBの上面にそってx軸をとり，その面に垂直にy軸をとる。いま波長λの光をガラスAに向かってy軸に平行に入射させ，反射光を観測すると，明暗の縞模様が見られた。$x = L$の位置では暗線が観測された。空気の屈折率は1，ガラスの屈折率はn（> 1）とする。

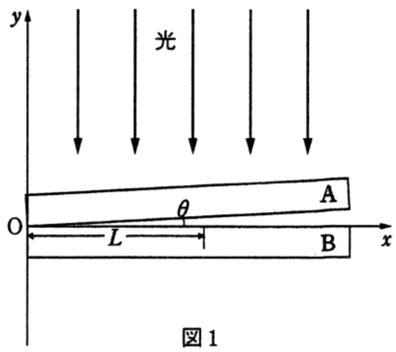


図1

（1）ガラスAに入射した光がAの下面，すなわちAと空気との境界面で反射するようすを図2の実線の矢印（⟶）で示す。この反射は屈折率の大きな媒質から小さな媒質へと変化する境界面での反射であるから，自由端反射とみなすことができる。自由端反射では入射波が山のとき反射波は$\boxed{\text{ア}}$，谷のときは$\boxed{\text{イ}}$となって反射する。一方，Aの下面を通過した光がガラスBの上面すなわち空気とBの境界面で反射するようすを図2の破線の矢印（--➤）で示す。この場合の反射は屈折率の小さな媒質から大きな媒質へと変化する境界面での反射であるから，固定端反射とみなすことができる。固定端反射では入射波が山のとき反射波は$\boxed{\text{ウ}}$，谷のときは$\boxed{\text{エ}}$となって反射する。

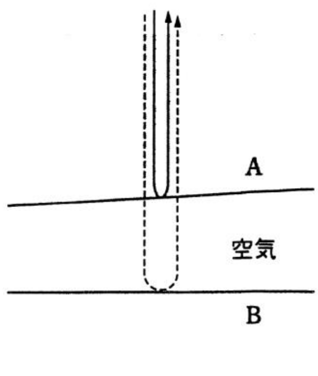


図2

次に，$x = L$の位置に観測された暗線について考える。$x = L$の位置での2つの反射光の光路差は$\boxed{\text{オ}}$となる。この光路差が波長λの整数倍に等しくなれば，2つの反射光で一方が山のとき他方は谷，谷のときは山となり，これらが重なるとたがいに$\boxed{\text{カ}}$して弱めあうことになる。つまり，$x = L$の位置では光路差がλの整数倍に等しいという条件を満たしているため暗くなると考えられる。

（2）隣りあう暗線の間隔ΔLを求めよ。

（3）青の単色光と赤の単色光をそれぞれ入射させた場合，隣りあう暗線の間隔はどのような関係にあるか，以下の①から③の中から正しい答えを選べ。

① どちらも同じ間隔である

② 青の単色光での間隔のほうが赤の単色光の間隔より大きい

③ 赤の単色光での間隔のほうが青の単色光の間隔より大きい

（4）下面から（y 軸の負から正の向きに）明暗の縞模様を観測すると，上面から観測する場合と比べて明暗が逆転して見える。
上面から入射した光が反射しながら下面に進む光路を図 3 に実線の矢印で書き込め。さらに図とあわせて明暗が逆転する理由を示せ。ただし，図において破線の矢印は反射せず上面から下面へ通過する光路を示す。

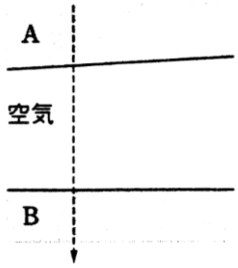


図 3

次に，図 4 に示すようにガラス A を固定し，ガラス B を水平に保ったまま y 軸の負の向きにゆっくり下降させると，上面から観測した明暗の縞模様の位置が移動していくのが見られた。

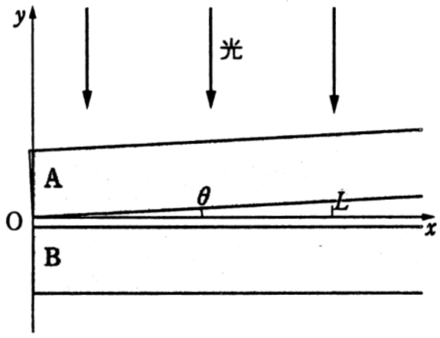


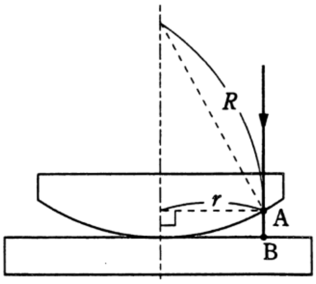
図 4

（5）ガラス B を動かす前，$x = L$ の位置にあった暗線は x 軸方向に関して点 O に近づくのか，遠ざかるのか，いずれか答えよ。

（6）隣りあう暗線の間隔は下降とともに，（2）の ΔL と比べてどうなるのか，以下の①から③の中から正しい答えを選べ。
① 変わらない　② しだいに小さくなる　③ しだいに大きくなる

（7）ガラス B を動かす前，$x = L$ の位置にあった暗線が B を動かした後，l（$< L$）だけ移動するとき，B を y 軸の負の向きにどれだけ移動させたか，移動距離を求めよ。

【５】



平面ガラス板のうえに曲率半径 R の平凸レンズを置き，その上方から波長λの単色光を当てる。このとき反射光を上から観察すると同心円の明暗の縞模様が見える。

（１）レンズの下面の点 A，ガラスの上面の点 B の反射で光の位相はそれぞれどうなるかを説明せよ。そのことと関連づけて，縞模様の現れる理由を説明せよ。

（２）m 番目の明るい縞の半径 r を R とλを用いた式で表せ。ただし，ガラスとレンズの間にはさまれた空気の層の厚さは，R に比べて十分小さいものとする。

（３）ガラスとレンズの間を屈折率 n の液体で満たしたところ，同心円の縞模様の半径が変化した。その理由を説明せよ。このとき，中心から m 番目の明るい縞の半径 r'は，間が空気の場合の m 番目の半径 r の何倍になるか。n はガラスの屈折率より小さいものとし，空気の屈折率は１とする。

（４）下から透過光を観察した場合も，同心円の縞模様が見える。反射光の縞模様とどのようにちがうか。

■練習問題■

【１】晴れた日，池のそばにいたＡさんは，水面が光ってまぶしかったので偏光板のサングラスをかけた。するとまぶしさが消え，池の中の魚が見えるようになった。これは次のような理由による。水面で反射された太陽光は $\boxed{1}$ ので，サングラスの偏光板は $\boxed{2}$ 。したがって，水中から水面を透過してきた弱い光がよく見えるようになったのである。

問１　前の文章中の空欄 $\boxed{1}$ に入れる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　縦波で，偏光している　　　②　横波で，偏光している

③　縦波で，偏光していない　　④　横波で，偏光していない

問２　前の文章中の空欄 $\boxed{2}$ に入れる文として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

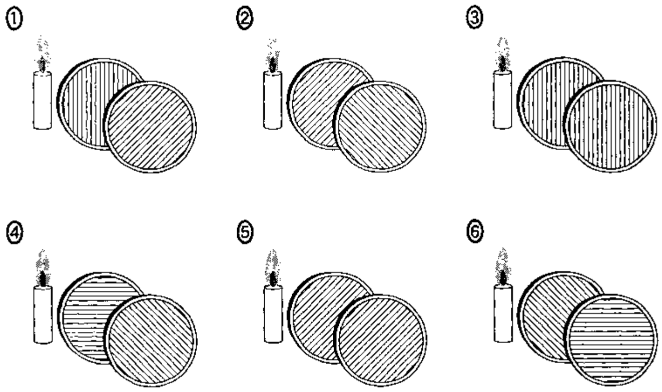
①　太陽から直接きた光だけよく通す

②　太陽から直接きた光だけよくさえぎる

③　反射した光だけよく通す

④　反射した光だけよくさえぎる

問３　２枚の偏光板を通してローソクの光を見たとき，光が最も暗く見える場合を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし，偏光板の平行線の向きは透過する光の振動方向を表す。



（2004 年　センター本試験）

【２】図１のように，直径d_1の平行なレーザー光を，光軸をそろえて置かれた凹レンズと凸レンズに左側から入射する。凹レンズの焦点距離はf_1，凸レンズの焦点距離は f_2 で，いずれも正の値とし，f_1は f_2 よりも小さいとする。凹レンズと凸レンズの間の距離をある値にしたところ，凸レンズを出てきた光は，平行光線になった。

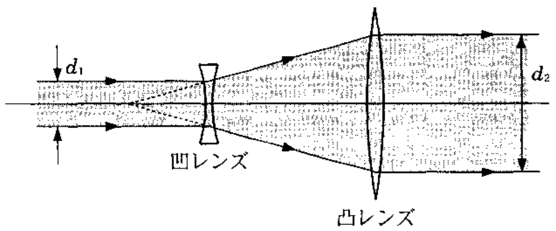


図　1

問１　このとき凹レンズと凸レンズの間の距離はいくらか。正しいものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　f_1　　②　f_2　　③　$f_1 + f_2$　　④　$f_2 - f_1$

問２　凸レンズから出てきた平行光の直径をd_2とすると，$\dfrac{d_2}{d_1}$ はいくらになるか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

①　$\dfrac{f_1}{f_2}$　　②　$\dfrac{f_2}{f_1}$　　③　$\dfrac{f_1 + f_2}{f_2 - f_1}$

④　$\dfrac{f_2 - f_1}{f_1 + f_2}$　　⑤　$\dfrac{f_1 + f_2}{f_2}$　　⑥　$\dfrac{f_2}{f_1 + f_2}$

問３　緑色の単色光を出すレーザー装置を用い，図２のように，装置とスクリーンの間に煙をたてたところ，煙のところでレーザー光の光路が緑色の線として見えた。この理由として最も適当なものを，以下の①～④のうちから一つ選べ。

①　レーザー光の一部が，煙の粒子によって散乱されたから。

②　レーザー光の一部が，煙のある領域の境界で屈折したから。

③　レーザー光の一部が，煙の粒子に吸収されたから。

④　レーザー光が，煙のある領域の境界で全反射したから。

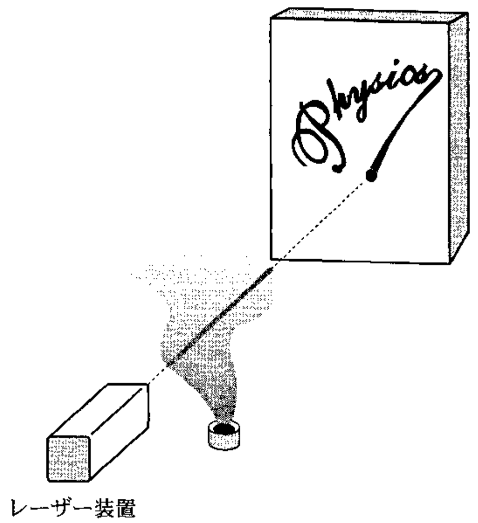


図　2

（2003 年　センター本試験）

【３】次の問いに答えよ。

問１　光と音との違いを述べた文として**誤っているもの**を，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　光は真空中を伝わるが，音は真空中を伝わらない。

②　空気中では，音は縦波であるが光は横波である。

③　媒質によって，音の速さは変わるが光の速さは変わらない。

④　空気中では光の速さは音の速さより大きい。

問２　白く濁ったせっけん水を 2ℓ のペットボトルに入れ，図１のように底から懐中電灯で光を当てて観察した。ペットボトルを横から見ると，下の方は青白く見え，上の方はオレンジ色に見えた。また，ペットボトルを真上から見ると，オレンジ色に見えた。これと同じ原理で起こる現象はどれか。正しいものを，以下の①～④のうちから一つ選べ。

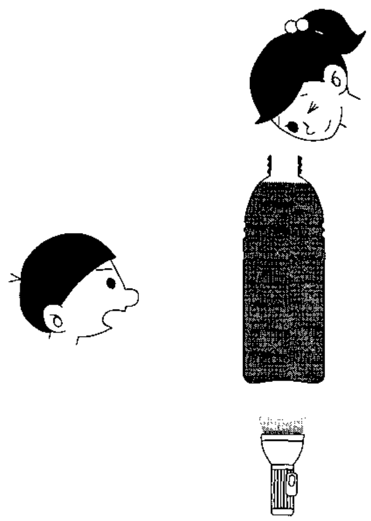


図　1

①　晴れた日の昼間の空は青く，夕日は赤い。

②　虹は上の方が赤く，下の方ほど青っぽくなる。

③　CD(コンパクトディスク)の表面が色づいて見える。

④　シャボン玉の表面に赤や青の色が見える。

（2003 年　センター追試験）

【４】次の問いに答えよ。

問１　図１のように，風呂(ふろ)場でＡさんがある位置に立つと，お湯の入っていないときには，浴槽の底の栓が浴槽のふちに隠れて見えなかった。ところが，お湯が入っているときには，同じ位置から栓が見えた。

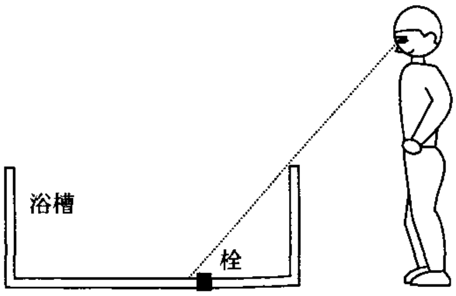


図　1

浴槽にお湯が入ると栓が見えるようになった事実に関係のある現象として最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

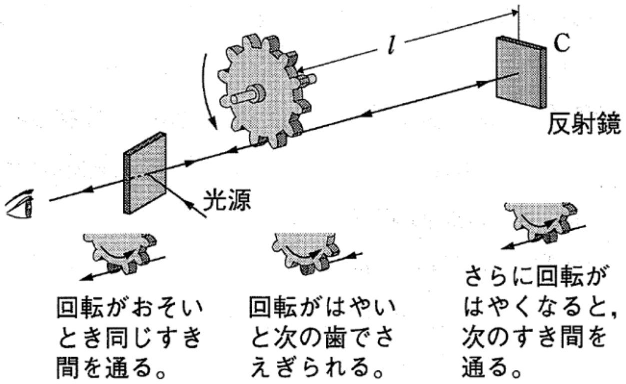
①　全反射　　②　干　渉　　③　回　折
④　散　乱　　⑤　屈　折

問２　Ａさんは，プラスチック製の透明なボトルを持ってお風呂に入って遊んでいた。水がいっぱい入ったボトルをお湯に沈めた場合にはボトルは透明のままだったが，空にしたボトルをお湯に沈めるとボトルの表面が鏡のように銀色になった。このことに関係のある現象として最も適当なものを，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　全反射　　②　干　渉　　③　回　折
④　散　乱　　⑤　屈　折

（2005 年　センター追試験）

【５】フィゾーは次のような方法で光の速さの測定をした。光源をでた光は歯車のすき間を通過し，歯車から l [m]遠方の反射鏡 C に達する。光は C で反射されて同じ道をもどり，再び歯車に達する。歯車の回転が遅いと光は同じすき間を通るので明るく見える。しかし，歯車の回転数を徐々に増していくと，反射光は隣の歯にさえぎられて見えなくなる。歯数 m 個の歯車を使って，1 秒間に n 回転させたときにはじめて反射光が見えなくなったとする。



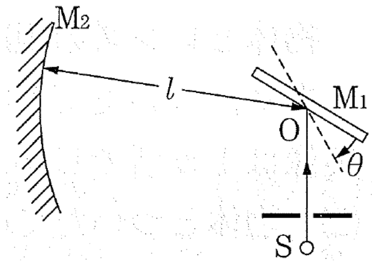
（１）歯車が 1 回転するのにかかる時間 T [s]を，n を用いて表せ。

（２）光が距離 $2l$ [m]進む間に歯車は何回転するか。m を用いて表せ。

（３）光が距離 $2l$ [m]進むのに要する時間 t [s]を，n，m を用いて表せ。

（４）光の速さ c [m/s]を，n，m，l を用いて表せ。

【６】O を中心に回転できる平面鏡 M_1 と，O を中心とする半径 l の球面鏡 M_2 がある。



（１）M_1 を固定して S から光線を O に入射させると，M_1，M_2 で反射した光線はどこにもどるか。また，M_1 を θ だけ回転した位置（図の点線）に固定したときはどうか。

（２）S を出た光が，M_1 で反射してから M_2 に達し再び M_1 に帰ってくるまでに M_1 が θ だけ回転したとき，M_1 に帰ってきた光線は M_1 で反射後どの方向に進むか。

（３）M_1 の回転の角速度を ω [rad/s]，$OM_2 = l$ [m]，光速を c [m/s]とし，S から出て OM_2 を往復して M_1 で反射された光線が OS となす角を α [rad]とすると，光速 c はどのような式で表されるか。

【７】（2010 年センター本試験）

図 1 は，ある光ファイバーの概念図である。屈折率の異なる 2 種類の透明な媒質からなる二重構造をしており，媒質 1 でできた中心部分の円柱の屈折率 n_1 は，媒質 2 でできた周囲の円筒の屈折率 n_2 よりも大きい。このファイバーを空気中におき，円柱の端面の中心 O から単色光の光線を入射角 i で入射させる。端面で光は屈折してファイバー中を進み，媒質 1 と媒質 2 の境界面で反射される。この境界面への入射角を r とする。

以下では，図のように円柱の中心軸を含む平面内を進む光についてのみ考える。また空気の屈折率は 1 とする。

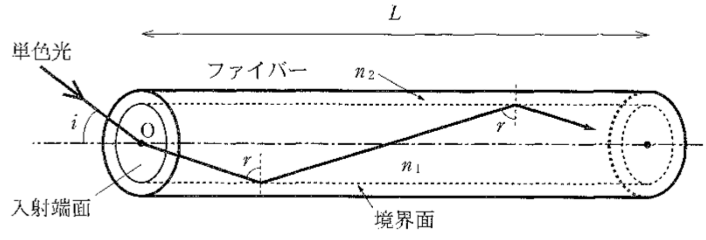


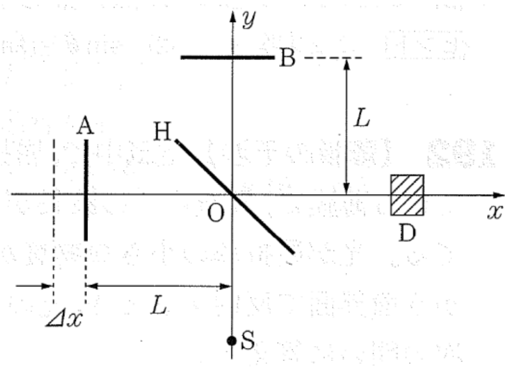
図　1

（1）端面への入射角 i を小さくしていくと，境界面への入射角 r は大きくなる。r がある角度 r_0 より大きくなると，境界面で全反射が起こり，光は媒質 1 の円柱の中だけを通って，円柱の外に失われることなく反対側の端面にまで到達する。

$r > r_0$ のとき，光が円柱に入射してから，反対側の端面に到達するまでにかかる時間はいくらか。空気中での光速 c，ファイバーの長さ L を用いて表せ。

（2）媒質 1 と媒質 2 の境界面で全反射が起こる場合の，端面への入射角 i の最大値を i_0 とするとき，$\sin i_0$ を n_1，n_2 を用いて表せ。

【８】図のように，真空中に半透明鏡 H，鏡 A，B，検出器 D を置く。光源 S から波長λ の光を半透明鏡 H に入射させると，その光は 2 つに分かれ，O→A→O→D，および O→B→O→D と進んで検出器 D で干渉する。ただし，OA = OB とする。



（１）鏡 A を x 軸の負の向きにΔx だけ移動させた。検出器 D に入る光の光路差を求めよ。

（２）鏡 A をゆっくり移動していくと，最初は明るかったが，40 回暗くなり，最後に再び明るくなった。鏡 A の移動距離は，1.0×10^{-5}m であった。波長λ を求めよ。

（３）次に，この装置を屈折率 1.4 の液体中に入れ，鏡 A を同じ距離だけ移動させると，明暗の回数は，増加するか，減少するか。理由も述べよ。