

# 物理のこれだけはできないと「やばい」問題集

No.21

光編

フツリヨキワメ

1 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

光は電磁波の一種であり、目に見える光以外にも紫外線や赤外線などがある。また、光の色は波長で決まり約 ( 1 ) [nm]の赤色から約 ( 2 ) [nm]の紫色の光を人間の目で観測できる。これら赤から紫までの色の光を含んだ光は色合いを感じず、( 3 ) 光という。これに対し、1つの波長からなる光を( 4 ) 光という。また、光は媒質のない真空中でも伝わる(5:縦,横)波である。

- (1) 空欄1～5に入る数・語句を答えよ。
- (2) 下線部の光を何と言うか、答えよ。

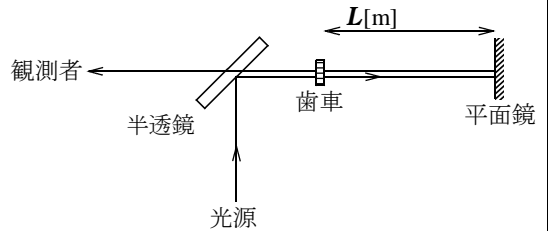
2 次の問いに答えよ。

- (1) 虹が見える原理を説明せよ。
- (2) 夕焼けが見える原理を説明せよ。

3 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

図のような装置を用いて、フィゾーは光速を測定した。最初歯車(N個の歯)が止まっているときは、光が歯の間を通り、遠くにある平面鏡に反射して再び歯の間に戻ってくる。歯車を回転させると、光が反射して戻ってくる間に歯車が回転するので、歯車の回転数を上げていくと反射光が歯にさえぎられてしだいに暗くなる。最も暗くなったときの歯車の回転数を  $n$ [Hz]、歯車から平面鏡までの距離を  $L$ [m]とする。

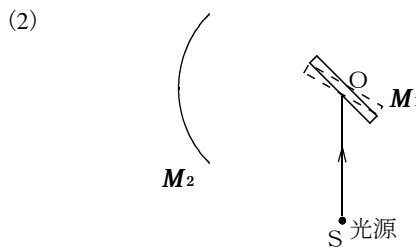
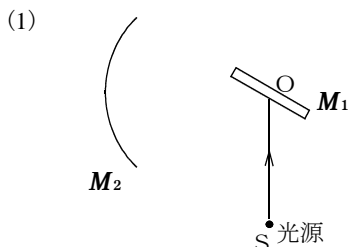
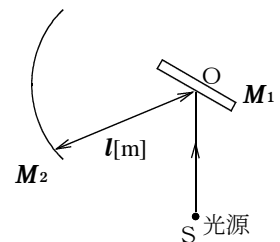
- (1) 光が歯車を通ってから戻ってくるまでにかかる時間を求めよ。
- (2) 光速を求めよ。



4 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

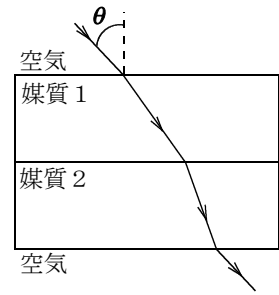
○を中心回転できる平面鏡  $M_1$  と○を中心とした半径  $l$ [m]の球面鏡  $M_2$  と光源  $S$  がある。

- (1)  $M_1$  を固定しているとき、 $S$  からでた光が通る経路を図に書き込め。
- (2)  $S$  から出た光が  $M_1$  に反射されたあと、 $M_1$  が回転して図の実線の位置にきたときに  $M_2$  で反射された光が  $M_1$  に戻ってきた。このとき、 $M_2$  で反射された光が通る経路を図に書き込め。
- (3) (2)のときの  $M_1$  の回転角を  $\theta$ 、に  $M_1$  で反射された光と  $OS$  のなす角を  $\alpha$  とする。 $\alpha$  を  $\theta$  を用いて表せ。
- (4)  $M_1$  の角速度を  $\omega$ [rad/s]として、光の速さを  $\alpha$ 、 $\omega$ 、 $l$  を用いて表せ。



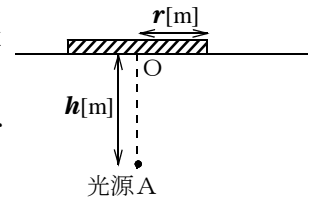
5 次の文章を読み、空欄に適切な式を入れよ。

屈折率  $1$  の空気、屈折率  $n_1$  の媒質 1、屈折率  $n_2$  の媒質 2 が図のように並べて置かれている。空気中から媒質 1 に光を入射角  $\theta$  で入射させた。全反射しないものとする。屈折角  $\theta_1$  は  $\sin\theta_1 = ( 1 )$  となる。その後、媒質 2 へと進んだ光の屈折角  $\theta_2$  は  $\sin\theta_2 = ( 2 )$  で屈折するとなる。さらに、媒質 2 から空気へと光が屈折していくとき、屈折角は  $( 3 )$  となっている。



6 次の文章を読み、空欄に適切な式を入れよ。

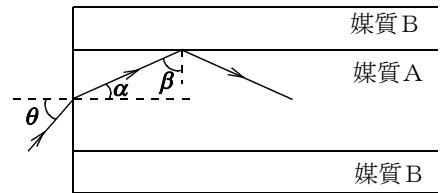
水面（屈折率  $n$ ）から深さ  $h$  [m] の場所に光源 A がある。この光を光源の真上の空気中から観測したところ、水深  $( 1 )$  [m] の場所から光が出ているように見えた。次に、半径  $r$  [m] の円板を中心が光源 A の真上の点 O になるように置き、浮かばせた。このとき、空気中から見て光が見えなくなるためには  $r > ( 2 )$  であればよい。



7 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

屈折率  $n_1$  の媒質 A が屈折率  $n_2$  の媒質 B に囲まれた光ファイバーの断面図がある。ただし、外側の空気の屈折率を  $1$  とし、 $n_1 > n_2 > 1$  とする。

- (1) 図のように外側から入射角  $\theta$  で ( $0 < \theta < 90$ ) 光が媒質 A に入射したとき、屈折角  $\alpha$  と入射角  $\theta$  の関係式を求めよ。
- (2) 媒質 A に入射した光が媒質面との境界面に入射したときの入射角  $\beta$  をとする。  $\sin\beta$  を求めよ。
- (3) 媒質 A に入射した光が媒質 B との境界面で全反射して、媒質 B に入らないための  $\theta$  の条件を求めよ。
- (4) 任意の入射角  $\theta$  で、光ファイバー内での反射を全て全反射にするための  $n_1, n_2$  が満たす条件を求めよ。



8 次の文章を読み、空欄に適切な式・語句を入れよ。

レンズの中心Oからの距離  $a$ [m]だけ離れた位置に物体PQを置くと、像P'Q'がレンズから距離  $b$ [m]だけ離れた位置にできた。また、物体側の焦点をF<sub>1</sub>、反対側の焦点をF<sub>2</sub>、物体の頂点Qから出る平行光線とレンズとの交点をAとする。

用いるレンズを焦点距離  $f$ [m]の凸レンズ、また、 $a > f$ とする。このとき、レンズの反対側のスクリーンを移動させると鮮明な像P'Q'が映し出された。この像を(1)という。△POQ∞△(2)より、 $\frac{P'Q'}{PQ} =$ (3)となる。また、△AOF<sub>2</sub>∞(4)より、 $\frac{P'Q'}{PQ} =$ (5)となる。これか

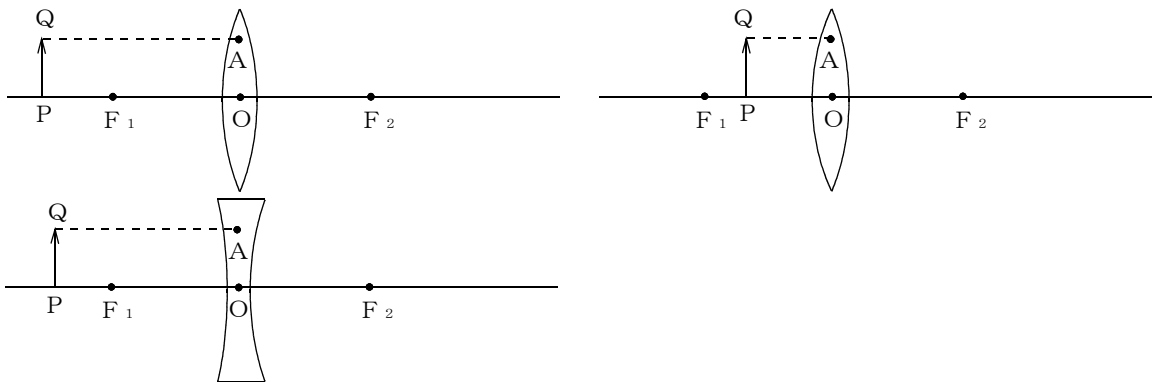
ら、写像公式(6)  $= \frac{1}{f}$ が導かれる。

次に、用いるレンズを焦点距離  $f$ [m]の凸レンズ、また、 $a < f$ とする。このとき、像P'Q'はスクリーン上には映らずレンズを反対側からのぞくと見える。この像を(7)という。△POQ∞△(8)より、 $\frac{P'Q'}{PQ} =$ (9)となる。また、△AOF<sub>2</sub>∞(10)より、 $\frac{P'Q'}{PQ} =$ (11)となる。これ

から、(12)  $= \frac{1}{f}$ が導かれる。

次に、焦点距離  $f$ [m]の凹レンズに換える。このときも像P'Q'はレンズの反対側からのぞくと見える。この像を(13)という。△POQ∞△(14)より、 $\frac{P'Q'}{PQ} =$ (15)となる。また、△AOF<sub>1</sub>∞

(16)より、 $\frac{P'Q'}{PQ} =$ (17)となる。これから、(18)  $= -\frac{1}{f}$ が導かれる。



9 焦点距離 10[cm]の凸レンズの近くに物体を置いた。このときにできる鮮明な像は凸レンズからいくら離れた場所に、倍率何倍の、どんな像ができるか。

- (1) 物体を凸レンズから 30[cm]離して置く。
- (2) 物体を凸レンズから 20[cm]離して置く。
- (3) 物体を凸レンズから 10[cm]離して置く。
- (4) 物体を凸レンズから 5[cm]離して置く。

10 次の文章を読み、各問いに答えよ。

物体を焦点距離  $f$ [cm]の凸レンズの近くに置いた。

- (1) 倍率 1 倍の実像ができた。物体を置いた位置を求めよ。
- (2) 倍率 2 倍の実像ができた。物体を置いた位置を求めよ。
- (3) 倍率 2 倍の虚像ができた。物体を置いた位置を求めよ。
- (4) 倍率 3 倍の虚像ができた。物体を置いた位置を求めよ。
- (5) 倍率  $n$  倍の実像ができた。物体を置いた位置を求めよ。

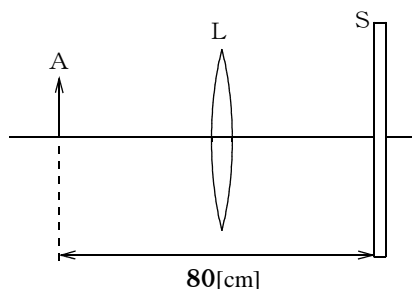
**11** 焦点距離  $10[\text{cm}]$  の凹レンズの近くに物体を置いた。このときにできる鮮明な像は凹レンズからいく  
ら離れた場所に、倍率何倍の、どんな像ができるか。

- (1) 物体を凹レンズから  $30[\text{cm}]$  離して置く。
- (2) 物体を凹レンズから  $10[\text{cm}]$  離して置く。

**12** 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

図のように、物体A、スクリーンSの間に焦点距離  $15[\text{cm}]$  のレンズLを置く。初めに物体とスクリーンの  
距離を  $80[\text{cm}]$  に固定し、レンズLの位置を変える。

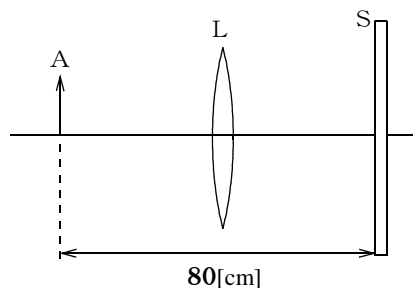
- (1) レンズを動かしていくと、スクリーン上で鮮明な実像が2  
カ所で観測された。このときの物体とレンズの距離を求めよ。  
次に、スクリーンと物体の距離を短くし、レンズを移動させ  
観測したところ、鮮明な像は1カ所でしか現れなかった。
- (2) 物体とスクリーンの距離を求めよ。
- (3) (2)のとき、スクリーンに映る像の倍率を求めよ。
- (4) レンズの上半分を黒い紙で覆った。ついでに写っていた  
像はどうなるか。



**13** 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

図のように、物体A、スクリーンSの間に焦点距離の分からないレンズLを置く。初めに物体とスクリー  
ンSの距離を  $80[\text{cm}]$  に固定しレンズの位置をAからSに移動させたところ、 $AL = 20[\text{cm}]$  のときにスクリー  
ン上に鮮明な像が現れた。

- (1) 焦点距離を求めよ。
- (2) このときの像の倍率を求めよ。  
レンズをさらにSに向かって移動させた。
- (3) スクリーン上に鮮明な像が現れるときのALの長さを求めよ。
- (4) このときの像の倍率を求めよ。



**14** 次の文章を読み、空欄に適切な式・語句を入れよ。

図のように、球面鏡と主軸との交点Mから距離  $a$ [m]だけ離れた位置に物体PQを置くと、像P'Q'が点Mから距離  $b$ [m]だけ離れた位置にできた。また、球面鏡の物体側の焦点をF<sub>1</sub>、反対側の焦点をF<sub>2</sub>、物体の頂点Qから出る平行光線とレンズとの交点を点A、球面鏡の中心を点Oとする。

用いる球面鏡を焦点距離  $f$ [m]の凹面鏡、また、 $a > f$ とする。このとき、物体と鏡の間に鮮明な像P'Q'が映し出された。この像を( 1 )という。△PQM∞△( 2 )より、 $\frac{P'Q'}{PQ} = ( 3 )$ となる。

また、球面鏡の半径が十分大きいとき、△AMF<sub>1</sub>∞( 4 )とみなせるので、 $\frac{P'Q'}{PQ} = ( 5 )$ となる。

これから、球面鏡の式( 6 ) $=\frac{1}{f}$ が導かれる。

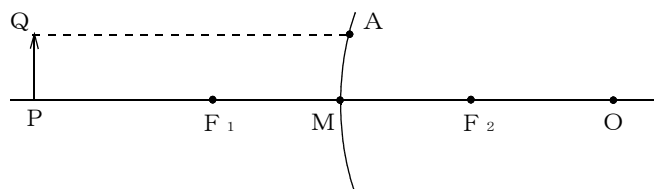
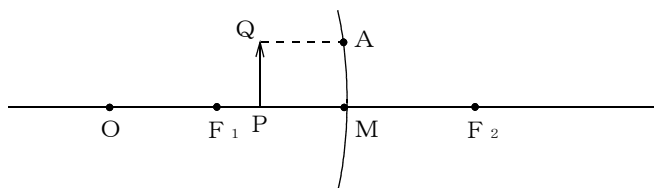
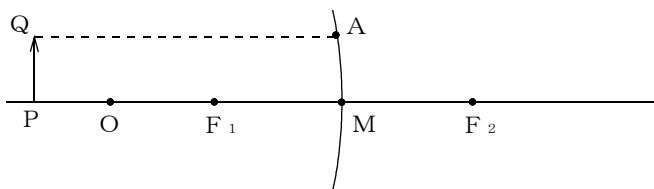
次に、用いる球面鏡を焦点距離  $f$ [m]の凹面鏡、また、 $a < f$ とする。このとき、像P'Q'は映らず、鏡をのぞくと球面鏡の奥に見える。この像を( 7 )という。△PQM∞△( 8 )より、 $\frac{P'Q'}{PQ} = ( 9 )$

となる。また、球面鏡の半径が十分大きいとき、△AMF<sub>1</sub>∞( 10 )とみなせるので、 $\frac{P'Q'}{PQ} = ( 11 )$

となる。これから、( 12 ) $=\frac{1}{f}$ が導かれる。

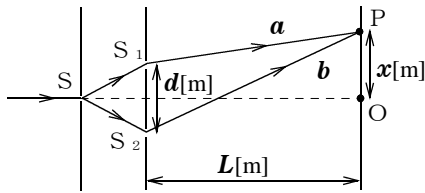
次に、焦点距離  $f$ [m]の凸面鏡に換える。このときも像P'Q'は鏡をのぞくと球面鏡の奥に見える。この像を( 13 )という。△PQM∞△( 14 )より、 $\frac{P'Q'}{PQ} = ( 15 )$ となる。また、球面鏡の半径が十分大きいとき、△AMF<sub>2</sub>∞( 16 )とみなせるので、 $\frac{P'Q'}{PQ} = ( 17 )$ となる。これから、( 18 )

$=-\frac{1}{f}$ が導かれる。

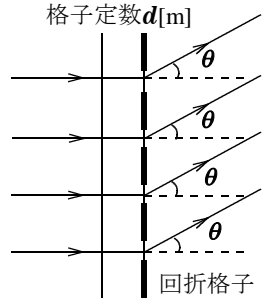


15 図のように、2つの光線  $a$ ,  $b$  が点Pに集まっている。このときの2つの光の経路差を求めよ。

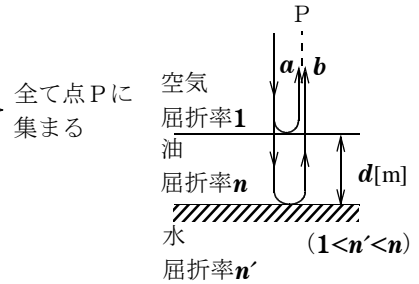
(1) ヤングの実験



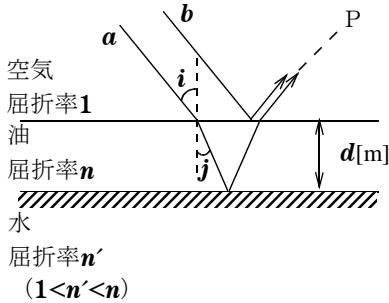
(2) 回折格子



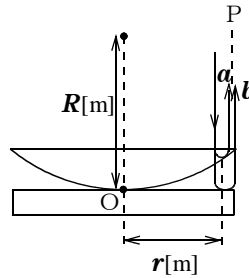
(3) 薄膜 (垂直入射)



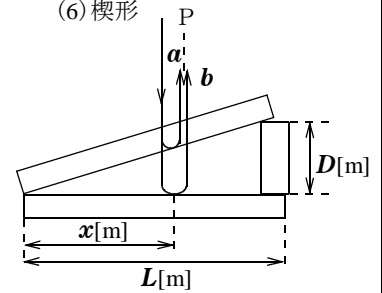
(4) 薄膜 (斜め入射)



(5) ニュートンリング



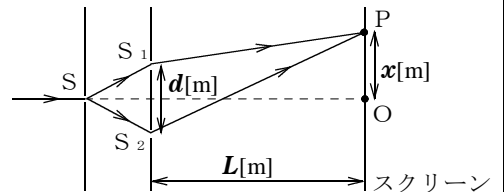
(6) 楔形



16 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

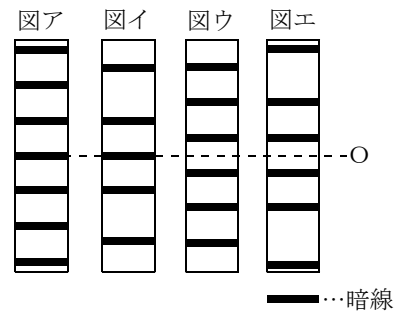
図のようなヤングの実験装置がある。波長  $\lambda$  の単色光が単スリットSを通り ( 1 ) し、その先にある複スリット  $S_1$ ,  $S_2$  を通り ( 2 ) し、前方のスクリーン上に到達し ( 3 ) する。これにより、スクリーン上には明暗の縞模様を観測される。複スリットの間隔  $S_1 S_2$  を  $d$  [m]、複スリットからスクリーンまでを  $L$  [m]、 $S_1 S_2$  の垂直二等分線とスクリーンとの交点をOとし、スクリーン上でOから  $x$  [m] 離れた点をPとする。ただし、 $L$  は  $d$ ,  $x$  に比べて十分大きいものとする。

- (1) 文中の空欄 1, 2に入る語句を入れよ。
- (2) 三平方の定理を用いて経路差  $S_2 P - S_1 P$  を求めよ。
- (3)  $x$  が  $d$  に比べて十分小さいときには  $(1+x)^n = 1+nx$  が成り立つ。これを用いて、経路差  $S_2 P - S_1 P$  を求めよ。



- (3) 次の文中の空欄に適切な式を入れよ。  
図から  $S_2 P^2 - S_1 P^2 = ( \text{ア} )$  と計算でき、また、 $L$  は  $d$ ,  $x$  に比べて十分大きいことから  $S_1 P + S_2 P = 2L$  と近似できる。これより、 $S_2 P - S_1 P = ( \text{イ} )$  と求まる。

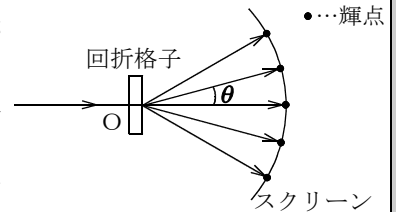
- (4) 点Pで明るい光が観測された。このときの  $x$  を求めよ。ただし、 $m$  を整数とする。
- (5) スクリーン上での隣り合う明線の間隔を求めよ。
- (6) スクリーン上での観測結果として正しいものを図ア～図エより選び、記号で答えよ。
- (7) 複スリットとスクリーンの間を屈折率  $n (>1)$  の媒質で満たした。スクリーン上で観測される縞模様はどうか。
- (8) 複スリットを図の下方にずらした。スクリーン上で観測される縞模様はどうか。



### 17 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

1[cm]あたりに 5000 本のすじが入った回折格子に波長  $6.0 \times 10^{-7}$ [m]の単色光を入射した。十分離れたスクリーン上には輝点が生じた。

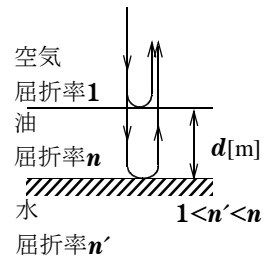
- (1) 格子定数を求めよ。
- (2) 格子定数を  $d$ 、回折角を  $\theta$ 、 $m$  を整数として、スクリーン上に輝点が生じる条件式を求めよ。
- (3) 輝点は何個観測されるか。  
次に、単色光の代わりに白色光を用いて実験をしたところ、スクリーン上に輝点は色づいて見えた。
- (4) 各輝点で赤色、黄色、青色が並ぶ順序を点Oから近い方から順に答えよ。



### 18 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

屈折率  $n'$ の水の上に屈折率  $n$  ( $1 < n' < n$ ) の油が薄くはっている。この真上から波長  $\lambda$  の単色光を垂直に入射させ真上から反射光を観測した。

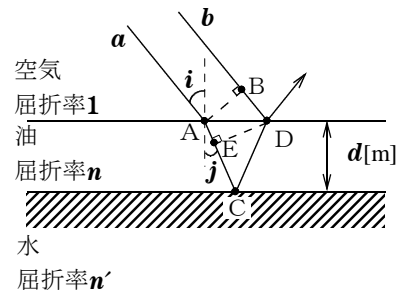
- (1) 油中での波長を求めよ。
- (2) 油膜の厚さを  $d$ [m]、 $m$  を整数として反射光が弱め合う条件式を求めよ。
- (3) 反射光が強め合う最小の膜の厚さを求めよ。



### 19 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

屈折率  $n'$ の水の上に屈折率  $n$  ( $1 < n' < n$ ) の油が薄くはっている。この上から波長  $\lambda$  の単色光を入射角  $i$  で入射させ反射光を観測した。図はその内の2つの光  $a$ 、 $b$  を表している。

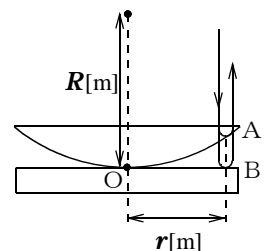
- (1) 光  $a$ 、 $b$  の光路差として正しいものを選び。
  - ①  $AC + CD$     ②  $BD$     ③  $AC + CD - BD$
  - ④  $n(AC + CD) - BD$     ⑤  $AC + CD - nBD$
- (2) 光路差を  $d$ 、 $n$ 、屈折角  $j$  を用いて表せ。
- (3) 光路差を  $d$ 、 $n$ 、 $i$  を用いて表せ。
- (4) 反射光の位相が逆転するのはC、Dのどちらか。
- (5) 反射光が強めあう条件式を  $d$ 、 $n$ 、 $i$ 、 $\lambda$ 、 $m$  を用いて表せ。ただし、 $m$  を整数とする。



### 20 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

図のような半径  $R$ [m]の球状ガラスを切断した一部と平面ガラスを組み合わせた装置の真上から波長  $\lambda$  の単色光を入射した。これを上から観測すると環状で明暗の縞模様(ニュートンリング)が見えた。二つのガラスの接点をOとし、点BはOから平面ガラス上を  $r$ [m]離れた位置である。

- (1) 点Aでの反射光(球状ガラスの下面)と点Bでの反射光(平面ガラスの上面)の光路差を求めよ。
- (2) 点Aと点Bでの反射光が強め合う条件式を求めよ。ただし、 $m$  を整数とする。
- (3) (2)で求めた  $m$  番目の強め合うときの半径  $r$  を  $r_m$  として、 $r_{m+1}^2 - r_m^2$  を求めよ。
- (4) 中心Oは暗いか明いか。
- (5) 装置の下側から観測した場合、中心Oは明いか暗いか。



## 21 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

図のように、絶対屈折率  $1$  の空气中に半透明鏡H、鏡A、B、検出器Dを置いた。光源Pから単色光を半透明鏡Hの中心Oに入射させると、 $O \rightarrow A \rightarrow O \rightarrow D$ と $O \rightarrow B \rightarrow O \rightarrow D$ と二つの方向に分かれて進んでいき、検出器Dで干渉が観測された。

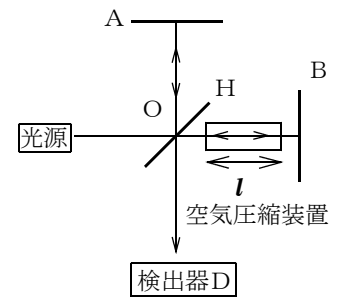
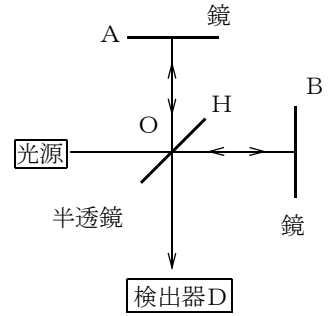
- (1)  $OA = OB$  のとき、検出器Dで観測する光は強め合っているか、それとも弱めあっているか、答えよ。

$OA = OB$  の状態から、鏡Aを点Oから遠ざけていくと、 $a$  [m]だけ遠ざけたときに、検出器で観測する光が初めて最も明るくなった。

- (2) このときの検出器Dで観測する2つの光の経路差を求めよ。  
 (3) 単色光の波長を求めよ。

半透明鏡Hと鏡Bの間に長さ  $l$  [m]の空気圧縮装置を置いた。この装置の中の空気の圧力は自由に変えることができ、空気の圧力を大きくすることで空気の屈折率を大きくすることができる。圧力を調整することで、この装置内の空気の屈折率が  $n$  となった。ここでは簡単のため、屈折率  $1$  の媒質中での単色光の波長を  $\lambda$  [m]、 $OA = OB$  とする。

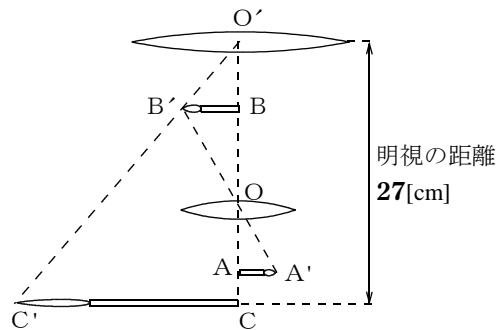
- (4) 空気圧縮装置の長さ  $a$  の部分に含まれる波の個数を求めよ。  
 (5) 検出器Dで観測される光が暗くなる条件を求めよ。  
 (6) 圧力を大きくしていくと屈折率が  $n_1$  と  $n_2$  ( $n_1 < n_2$ ) の時に、検出器Dで観測される光が続けて暗くなった。波長を  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $l$  を用いて表せ。



## 【チャレンジ問題】

### 22 次の文章を読み、空欄1～6に適切な数・語句を入れよ。

焦点距離  $3.0$  [cm]の接眼レンズ (**Eye Glass**) と焦点距離  $2.0$  [cm]の対物レンズ (**Objective Glass**) を用いた顕微鏡で像が見える原理を調べた。対物レンズの下方  $2.25$  [cm]に物体  $AA'$  を置くと、対物レンズの上方 ( 1 ) [cm]の場所に実像  $BB'$  ができる。明視の距離 (接眼レンズから接眼レンズが作る虚像までの距離) が  $27$  [cm]のとき、接眼レンズから実像  $BB'$  までの距離は ( 2 ) [cm]と求まる。これより、対物レンズが作る像の倍率は ( 3 ) 倍で、接眼レンズが作る像の倍率は ( 4 ) 倍となるので、物体  $AA'$  の ( 5 ) 倍の像が ( 6 : 上下左右が逆, 上下左右が同じ ) の像が見える。

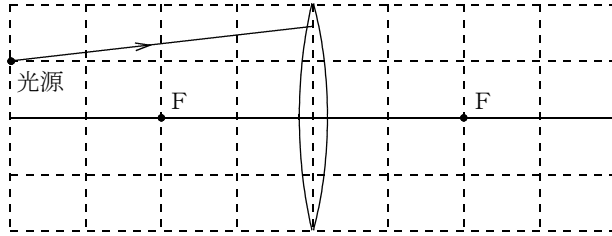




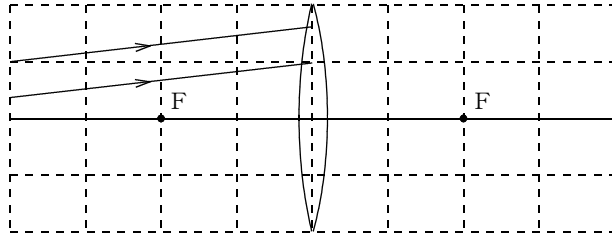
**23** 次の文章を読み、後の問いに答えよ。

各図において、凸レンズを通過した後に光が進む道のりを作図せよ。ただし、図の点Fは焦点を表す。

- (1) 光源から光が入射した場合



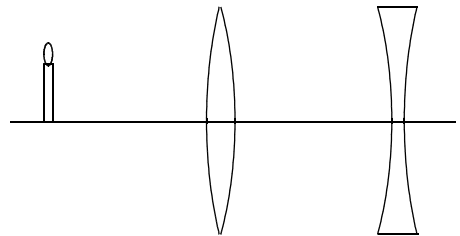
- (2) 図のような平行光線が入射した場合



**24** 次の文章を読み、各問いに答えよ。

焦点距離  $10[\text{cm}]$  の凸レンズ  $L_1$  の右方  $30[\text{cm}]$  のところに、焦点距離  $10[\text{cm}]$  の凹レンズ  $L_2$  を光軸を一致させて置く。  $L_1$  の左方  $30[\text{cm}]$  のところに軸に垂直に小物体を置いた。

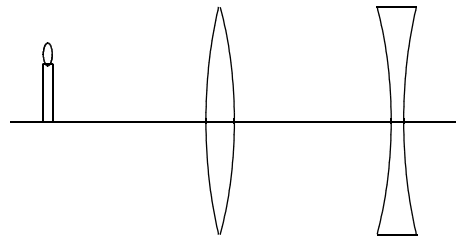
- (1)  $L_1$  による小物体の実像はどこにできるか。また、その倍率も求めよ。  
 (2)  $L_1$  と  $L_2$  による小物体の虚像はどこにできるか。また、その倍率も求めよ。



**25** 次の文章を読み、各問いに答えよ。

焦点距離  $10[\text{cm}]$  の凸レンズ  $L_1$  の右方  $20[\text{cm}]$  のところに、焦点距離  $15[\text{cm}]$  の凹レンズ  $L_2$  を光軸を一致させて置く。  $L_1$  の左方  $15[\text{cm}]$  のところに軸に垂直に小物体を置いた。

- (1)  $L_1$  による小物体の実像はどこにできるか。また、その倍率も求めよ。  
 (2)  $L_1$  と  $L_2$  による小物体の虚像はどこにできるか。また、その倍率も求めよ。



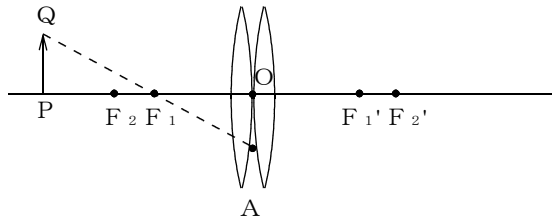
**26** 次の文章を読み、空欄に適切な式・語句を入れよ。

図のように、2枚の薄い凸レンズを重ねたレンズを考える。このレンズの中心Oからの距離  $a$ [m]だけ離れた位置に物体PQを置くと、像P'Q'がレンズから距離  $b$ [m]だけ離れた位置にできた。また、物体側のレンズの焦点距離を  $f_1$ [m]、物体と反対側のレンズの焦点距離を  $f_2$ [m]とし、物体側の焦点をそれぞれ  $F_1$ と  $F_2$ 、反対側の焦点を  $F_1'$ と  $F_2'$ 、物体の頂点Qから出て焦点  $F_1$ を通る光がレンズと交わる点をAとする。

物体の頂点Qから出て  $F_1$ を通る光は物体側のレンズを通った後に光軸に平行になるので、反対側のレンズを通った後は点 ( 1 ) へと向かう。また、物体側のレンズと反対側のレンズの中心はほぼ同じ位置にあるとすると、レンズの中心を通る光は直進する。これより、レンズの反対側のスクリーンを移動させると鮮明な像P'Q'が映し出される場所があることが分かる。 $\triangle POQ \sim \triangle$  ( 2 ) より、 $\frac{P'Q'}{PQ} =$  ( 3 )

となる。また、 $\triangle PQF_1 \sim$  ( 4 ) より、 $\frac{OA}{PQ} =$  ( 5 ) となる。そして、 $\triangle AOF_2' \sim$  ( 6 )

より、 $\frac{P'Q'}{OA} =$  ( 7 ) となる。これから、写像公式  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} =$  ( 8 ) が導かれる。

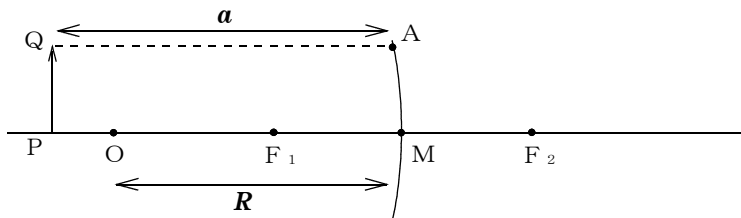


**27** 次の文章を読み、空欄に適切な式・語句を入れよ。

図のように、球面鏡と主軸との交点Mから距離  $a$ [m]だけ離れた位置に物体PQを置くと、像P'Q'が点Mから距離  $b$ [m]だけ離れた位置にできた。また、球面鏡の物体側の焦点を  $F_1$ 、反対側の焦点を  $F_2$ 、物体の頂点Qから出る平行光線とレンズとの交点を点A、曲率半径  $R$ [m]の球面鏡の中心を点Oとする。

$a > f$  を満たす位置に物体を置くと、物体と鏡の間に鮮明な像P'Q'が映し出された。 $\triangle POQ \sim \triangle$  ( 1 ) より、 $\frac{P'Q'}{PQ} =$  ( 2 ) となる。また、 $\triangle PQM \sim$  ( 3 ) より  $\frac{P'Q'}{PQ} =$  (

4 ) となる。これから、 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} =$  ( 5 ) となることが分かる。



28 次の文章を読み、空欄に適切な式・語句を入れよ。また、後の問いにも答えよ。

下図のように、曲率半径  $R$  の球状レンズの点Mから  $a$  離れた位置に点光源Pがあり、屈折率  $1$  の空気中にある点光源から出た光が屈折率  $n$  のレンズ上の点Aで屈折して点Mから  $b$  離れた点Qに到達し、結像した。下図のように角度  $\alpha, \beta, \gamma, i, r$  を定め、屈折の法則を立てると、

$$( 1 ) \dots \textcircled{1}$$

となる。また、点Qから出ている光が光軸にほぼ平行（近軸光線）だとすると、図のそれぞれの角度は非常に小さくなる。非常に小さい角度  $x$  に対して、 $\sin x = x = \tan x$  と近似できることを用いると、 $\textcircled{1}$ 式は、

$$( 2 ) \dots \textcircled{2}$$

と変形できる。 $\triangle APO$ に注目すると、

$$( 3 ) = i \dots \textcircled{3}$$

となる。また、 $\triangle AOQ$ に注目すると、

$$( 4 ) = \gamma \dots \textcircled{4}$$

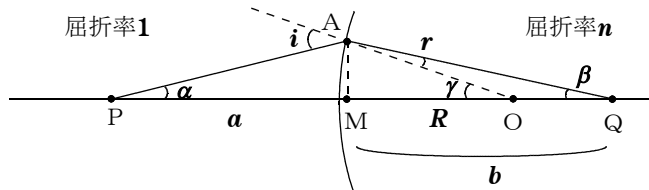
となる。次に、 $AM = h$ とおくと、近似を用いて、

$$\alpha = ( 5 ), \beta = ( 6 ), \gamma = ( 7 ) \dots \textcircled{5}$$

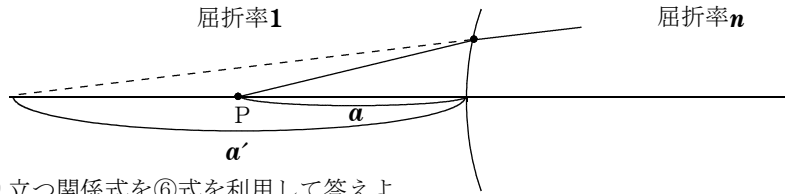
となる。 $\textcircled{2}$ 式～ $\textcircled{5}$ 式を用いて変形すると、

$$\frac{1}{a} + \frac{n}{b} = ( 8 ) \dots \textcircled{6}$$

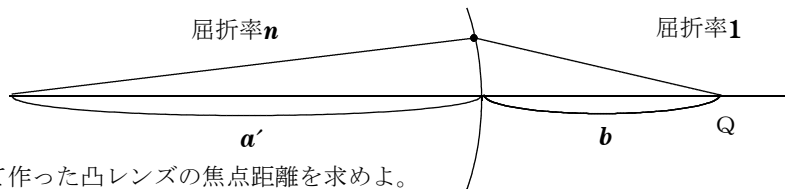
が導ける。



(A) 下図の場合、 $a$  と  $a'$  の間に成り立つ関係式を $\textcircled{6}$ 式を利用して答えよ。



(B) 下図の場合、 $a'$  と  $b$  の間に成り立つ関係式を $\textcircled{6}$ 式を利用して答えよ。



(C) (A)と(B)のレンズを合わせて作った凸レンズの焦点距離を求めよ。

