強者の戦略

物理講師の内多です。

今回は 2003 年度の京都大学，現在では廃止されている物理の後期試験からの出題です。テーマは「レンズを用いた干渉」。いわゆる「幾何光学」と「干渉」が主要なテーマです。幾何光学の解法や干渉問題の思考力問題にチャレンジしてもらいましょう。では，どうぞ。

（問題は次ページから）

強者の戦略

【問題】

次の文を読んで，［　　］に適した式または数値を記せ。なお，［　　］はすでに［　　］で与えられたものと同じものを表す。必要であれば，θ が十分小さい場合の近似式 $\tan\theta \fallingdotseq \theta$，$\cos\theta \fallingdotseq 1$，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$ を用いてよい。ただし，角度の単位はすべてラジアンとする。

(1) 図１のように微小な頂角 α を持った屈折率 n の薄いプリズムに平行光線が入射する場合を考える。光線の入射方向は頂点からプリズムの底におろした垂線に対して垂直であるとする。真空中の光の速さを c とすると，プリズムを通過するときの光の速さは［　い　］である。したがって，ある波面がプリズムの底で距離 l だけ進むとき，頂点においてはプリズムの厚みがゼロであるから，同じ波面は距離［　ろ　］だけよけいに進むことになる。微小角 α を使うと頂点からプリズムの底までの距離は $\dfrac{l}{\alpha}$ と表される。よって，偏角（プリズムに入射する光線と出射する光線の間の角）は［　は　］となることがわかる。このようにプリズムへの光線の入射角が十分小さい場合には，偏角は入射角によらず一定で［　は　］となる。

焦点距離 f の薄い凸レンズは台形状の薄いプリズムを組み合わせたものとみなすことができる。ゆえに，入射角が微小であればレンズ上のある点での偏角は入射角によらない。したがって，図２のように微小角 θ だけ傾けて入射した平行光線は，焦点面上で焦点 O から $f\theta$ 離れた位置に像を結ぶ。

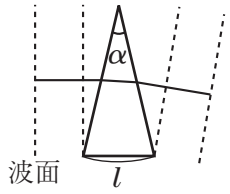

図1

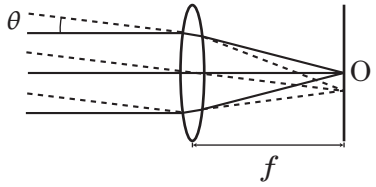

図2

(2) 光の干渉を利用して，近接した２つの星 S_1 と S_2 からの光線のなす微小角 δ を測定する方法を考える。測定装置は図３a のように配置してある。図３b は装置の部分を拡大したものである。M_1，M_1'，M_2，M_2' は平面鏡であり，平面鏡は焦点距離 f の薄い凸レンズの光軸に対して対称に配置してある。凸レンズの焦点を原点 O とし，上向きに y 軸をとる。凸レンズの前には２つのスリットがあり，星からの光は M_1 と M_1' で反射されて一方のスリットへ入り，また M_2 と M_2' で反射されて他方のスリットへ入る。２つのスリットから入射した光の干渉を凸レンズの焦点面で観測する。２つのスリットの間隔を h，M_1 と M_2 の距離を D とする。星からの光は波長 λ の単色光とみなせるものとし，また，波長 λ は h に比べて十分小さく，星は D に比べて十分遠くにあるものとする。

(a) ２つの星からの光は互いに干渉することはなく，それぞれの星を独立に考えてよい。まず，光軸上の星 S_1 だけを考える。星は十分遠くにあるので装置に入射する光線は平行光線と考えてよい。凸レンズによる屈折の過程では光路差は生じないことを考慮すると，スリットで回折してレンズへ入射する光が光軸となす微小角 θ を用いて光路差は［　に　］と表すことができる。これが波長 λ の整数倍になるとき光は強めあい，レンズの焦点面上に干渉縞をつくる。このとき，明線の間隔は［　ほ　］となる。

(b)　次に，星 S_2 だけを考える。この場合も焦点面上に生じる干渉縞の明線の間隔は［ほ］となる。ただし，スリットに達するまでに［へ］だけの光路差があるため，明線の位置は (a) の場合に比べて y 軸の負の方向に［と］だけ移動している。

(c)　実際には星 S_1 と S_2 が同時に存在し，それぞれの星が凸レンズの焦点面上に独立に干渉縞を生じさせている。2 つの星の明るさは同じで，波長 λ は $6.0\times10^{-7}\,\mathrm{m}$ とする。最初，2 つの星のつくる干渉縞のずれは，各々の干渉縞の間隔の半分より小さくなるように M_1 と M_2 の距離 D が調節してある。D をゆっくりと増加させていくと，干渉縞は段々ぼやけはじめ，やがて $D=2.0\,\mathrm{m}$ で一様な明るさになった。このことから，微小角 δ は［ち］であることがわかる。さらに D を増加させていくとき，干渉縞が次に最もするどく現れるときの D は［り］m である。このように星からの光の干渉縞の鮮明度を D の関数として求めることで，微小角 δ を測定することができる。

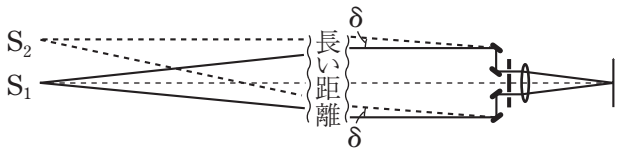

図 3a

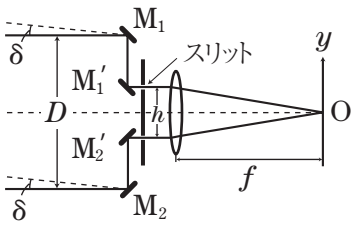

図3b