

波動⑧ 発展演習

() 組 () 番 氏名 ()

光の干渉の要点**光の干渉** → 位相がずれるのは「距離の差」と「反射端」だ。

① 距離の差が半波長の偶数倍(=波長の整数倍)のとき位相がずれない。

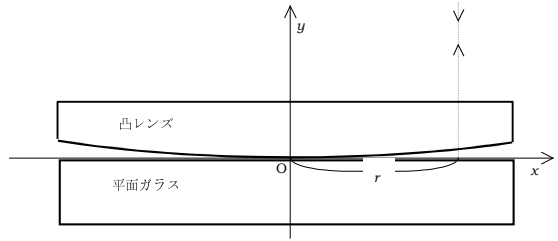
距離の差が半波長の奇数倍(=波長の整数+0.5倍)のとき位相が逆になる。

② 固定端反射では反射波の位相が逆転する。

自由端反射では反射波の位相はずれない。

ニュートンリング

曲率半径が $0.80[\text{m}]$ の薄い平凸レンズ(片面が平面の凸レンズ)がある。その凸レンズを凸側を下にして平面ガラスの上に置き、レンズの上部から波長 $5.0 \times 10^{-7} [\text{m}]$ の光を当ててレンズの上部から反射光を眺めたところ、レンズと平面ガラスの接点を中心とする同心円状の明るいリング(明環)が多数観察された。



レンズと平面ガラスの接点を原点とし、平面ガラスに垂直上向きに y 軸、平面ガラスの上に x 軸をとり、凸レンズの曲率半径を $R [\text{m}]$ として次の各問いに答えなさい。ただし、レンズの曲率半径はレンズの口径より十分に大きいものとする。(いわゆる $R \gg r$ である)

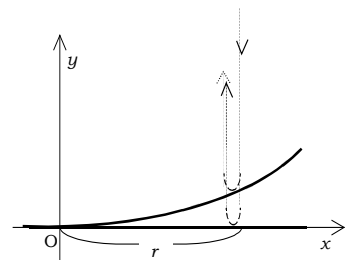
- (1) レンズと平面ガラスの接点からの距離 $r [\text{m}]$ の位置で、平面ガラスと凸レンズの空気層の厚さをレンズの曲率半径 R 、接点からの距離 r を使って求めなさい。
- (2) 凸レンズの下面での反射は自由端反射になるか、固定端反射になるか。また、その理由もいいなさい。
- (3) 平面ガラスの上面での反射は自由端反射になるか、固定端反射になるか。また、その理由もいいなさい。
- (4) レンズと平面ガラスの接点では反射光が強くなる(明るくなる)か、弱く(暗く)なるかを理由もつけて説明しなさい。
- (5) 中心から n 番目の明環の半径を数式で示しなさい。
- (6) 板ガラスの下から覗いたときにはどのように見えるか。上からのぞいたときとの違いをいいなさい。また、そのようになる理由を説明しなさい。

光の干渉 → 位相がずれるのは「距離の差」と「反射端」だ。

- ① 距離の差が **半波長の偶数倍 (=波長の整数倍)** のとき位相がずれない。
距離の差が **半波長の奇数倍 (=波長の整数+0.5 倍)** のとき位相が逆になる。
- ② **固定端反射** では **反射波の位相が逆転する**。
自由端反射 では **反射波の位相はずれない**。

光の干渉の要点

中堅 曲率半径が 0.80[m]、レンズの上部から波長 5.0×10^{-7} [m]の光の場合について考える。レンズと平面ガラスの接点を原点、平面ガラスに垂直上向きに y 軸、平面ガラスの上に x 軸をとり、凸レンズの曲率半径を R [m]とする。



- (1) **ヒント** 円の方程式から y を求めて、 $R \gg r$ の条件より、近似式を作る。

レンズ下面の方程式は $(x-0)^2 + (y-R)^2 = R^2$ より、 $y = R - \sqrt{R^2 - x^2}$ 。

$R \gg r$ であるので $d = R - \sqrt{R^2 - r^2} = \frac{R^2 - (R^2 - r^2)}{R + \sqrt{R^2 - r^2}} \cong \frac{r^2}{2R}$ だから、空気層の厚さ d [m]は $d = \frac{5}{8} r^2$ 。

- (2) **ヒント** 媒質の絶対屈折率の大小関係から、境界面での反射端の種類が判別できる。
凸レンズの下面での反射はガラス ($n > 1$) から空気 ($n = 1$) での反射だから、屈折率大 → 小への反射は自由端反射だから、凸レンズの下面での反射は「自由端反射」になる。
- (3) **ヒント** 媒質の絶対屈折率の大小関係から、境界面での反射端の種類が判別できる。
平面ガラスの上面での反射は空気 ($n = 1$) からガラス ($n > 1$) での反射だから、屈折率小 → 大への反射は固定端反射になる。したがって、平面ガラス上面での反射は「固定端反射」になる。
- (4) **ヒント** 距離の差と反射端の種類を両方を考慮して干渉の結果強め合う条件か、弱め合う条件かを判別する
レンズと平面ガラスの接点では距離の差はゼロだから、距離の差では位相がずれない。しかし、反射端は固定端反射を 1 回含むので位相は逆転する。この効果で明暗条件は反転する。

結論 レンズと平面ガラスの接点 (原点) では、「中央は暗くなる」が正解だ。

- (5) **ヒント** 具体的に数値を入れて干渉の条件を数式化する。

明るくなる条件は「距離の差が波長の(整数+0.5)倍」 だから

$$\frac{5}{8} r^2 \times 2 = 5.0 \times 10^{-7} \times \left(m + \frac{1}{2} \right) \text{ (ただし、} m \text{ は整数) である。}$$

したがって、 n 番目の明環の半径 r_n [m]とすると、 $r_n = \sqrt{2 \times 10^{-7} \times (2n - 1)}$ である。

- (6) **ヒント** 円の方程式から y を求めて、 $R \gg r$ の条件より、近似式を作る。
板ガラスの下から覗いたとき、反射端の種類が固定端が 2 回になり、反転の反転で元に戻る。距離の差は同じになるので、同心円が明暗のが逆転する。