

12-3 図1のように、屈折率  $n_1$  の平面ガラスの上に、一方が平面で他方が半径  $R$  の球面になっている屈折率  $n_2$  の平凸レンズをのせ、レンズの真上から波長  $\lambda$  の単色光を入射させる。ここで  $n_2 \geq n_1 > 1.0$  である。これを真上から見ると、平凸レンズの下面で反射した光と平面ガラスの上面で反射した光が干渉して、接点  $O$  を中心とする明暗の輪(リング)が同心円状に形成される。これをニュートンリングと呼ぶ。この現象について以下の問に答えよ。また、選択肢については正しいものを選択し、その番号を解答欄に記せ。

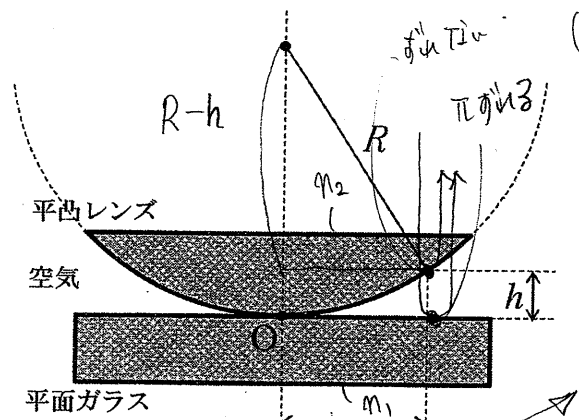
問1

$$r^2 + (R-h)^2 = R^2$$

$$r^2 + R^2 - 2Rh + h^2 = R^2$$

$$2Rh = r^2 + h^2$$

$$h = \frac{r^2}{2R} + \left(\frac{h^2}{2R}\right)$$



$(1+x)^a \approx (1+ax)$  を使うなら

$$R^2 - r^2 - (R-h)^2 = 0$$

$$R^2 - r^2 - R^2 \left(1 - \frac{h}{R}\right)^2 = 0$$

$$R^2 - r^2 - R^2 \left(1 - 2\frac{h}{R}\right) = 0$$

$$R^2 - r^2 - R^2 + 2hR = 0$$

$$h = \frac{r^2}{2R}$$

この  $\frac{h^2}{2R}$  は、小さいので無視可。 図1 題意に沿うとすれば

I. 平面ガラスと平凸レンズの間が空気の場合を考える。ただし、空気の屈折率は1.0である。ここで、光が、屈折率のより大きな媒質で反射するときは、位相が逆になることに注意せよ。

問1 接点  $O$  から平面ガラスに沿って距離  $r$  だけ離れた点における、平面と球面の距離  $h$  を、 $r$  と  $R$  を用いて表せ。ただし、 $h$  は  $R$  に比べて十分に小さいとし、絶対値が1より十分小さい  $x$  に対しては、 $(1+x)^a \approx 1+ax$  の近似式を用いよ。

問2 接点  $O$  付近は、円状に  ①明るく  ②暗く 見える。その理由を解答欄に記せ。

問3 接点  $O$  から  $m$  番目 ( $m=1, 2, 3, \dots$ ) の明輪の半径  $r_m$  を、 $m, R, \lambda$  のうちの必要なものを用いて表せ。

問4 このニュートンリングを真下から観測した場合、明暗の輪は真上から観測したときと比べてどう見えるか。次のうちの正しいものを選択せよ。

- ① 全く同じに見える。      ② 輪の明暗が反転して見える。  
③ ニュートンリングは見えない。

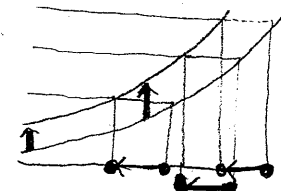
II. 平面ガラスと平凸レンズの間を、屈折率  $n$  の液体で満たす場合を考える。

問5 液体の屈折率  $n$  がある条件を満たす時に、ニュートンリングは観測できなくなる。その条件を表せ。

問6 ニュートンリングが観測される場合、リングの中心  $O$  から  $m$  番目の明輪の半径  $r_m$  を、 $m, R, \lambda, n$  のうちの必要なものを用いて表せ。必要があれば、液体の屈折率  $n$  の値によって場合分けをすること。

III. 液体が残ったまま、図2のように平面ガラスから平凸レンズをゆっくりと持ち上げていく場合を考える。ここで、屈折率は  $n_1 = n_2$  であるとし、平凸レンズの平面ガラスからの高さを  $d$  とする。平凸レンズを持ち上げても平面ガラスとの間は常に液体で満たされており、空気は入らない。また、 $d=0$  でニュートンリングは観測されていた。

問7



--- というように、  
小さくなる。

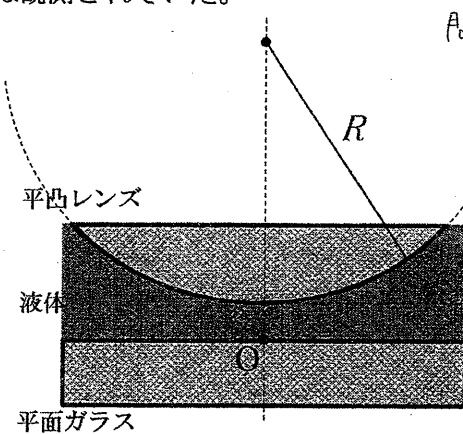


図2

問7 平凸レンズをゆっくりと持ち上げ始めると、明暗の輪の半径は  ①大きく  ②小さく なってゆく。

高さ  $d$  がある条件を満たす時に、ニュートンリングは、平凸レンズを持ち上げる前と同じ形状になる。最初に同じ形状になる高さを  $d_1$ 、2 回目に同じ形状になる高さを  $d_2$  とする。

問8  $d_1$  を  $R, \lambda, n$  のうちの必要なものを用いて表せ。

問9 高さ  $d$  が  $d_1 < d < d_2$  の時、リングの中心  $O$  から  $m$  番目の明輪の半径  $r_m$  を、 $m, R, \lambda, n, d$  のうちの必要なものを用いて表せ。必要があれば、高さ  $d$  の値によって場合分けをすること。

問3.  $m=1$  のとき、 $\frac{1}{2}\lambda$  にあはすように。

$$2 \times \frac{r_m^2}{2R} = \frac{(m-\frac{1}{2})\lambda}{\text{位相の } \pi \text{ が } \pi \text{ の } 2 \text{ 倍}}$$

$$r_m = \sqrt{R(m-\frac{1}{2})\lambda}$$

問8.  $d=0$  のとき、 $2 \times \frac{r_m^2}{2R} \times n = (m-\frac{1}{2})\lambda \Rightarrow r_m = \sqrt{R(m-\frac{1}{2})\frac{\lambda}{n}}$

問9.  $d=2d_1$  のとき、 $2 \times \frac{r_m^2}{2R} \times n = m\lambda \Rightarrow r_m = \sqrt{Rm\frac{\lambda}{n}}$

問7, 8, 9 の解答欄 (2013年 大阪大学)

|                    |            |                      |                      |                      |                      |                      |   |
|--------------------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|
| 内                  | 暗          | 明                    | 暗                    | 明                    | 暗                    | 明                    | 外 |
| $d=0$              | $0\lambda$ | $\frac{1}{2}\lambda$ | $\frac{3}{2}\lambda$ | $\frac{5}{2}\lambda$ | $\frac{7}{2}\lambda$ | $\frac{9}{2}\lambda$ |   |
| $d=d_1$            |            | $\frac{3}{2}\lambda$ | $\frac{5}{2}\lambda$ | $\frac{7}{2}\lambda$ | $\frac{9}{2}\lambda$ |                      |   |
| $d=\frac{3}{2}d_1$ |            |                      | $\frac{5}{2}\lambda$ | $\frac{7}{2}\lambda$ | $\frac{9}{2}\lambda$ |                      |   |
| $d=2d_1$           |            |                      |                      | $\frac{5}{2}\lambda$ | $\frac{7}{2}\lambda$ | $\frac{9}{2}\lambda$ |   |

I.

問1  $h \doteq \frac{r^2}{2R}$

問2 ②

理由…凸レンズ下面では自由端反射して位相の変化はないが、平面ガラス上面では固定端反射して位相が $\pi$ ずれるため、光路差が $\lambda$ の整数倍に等しいとき2つの光波は弱め合って暗くなる。

問3  $r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) R \lambda}$

問4 ②

II.

問5  $n = n_1, n = n_2$

問6  $1.0 < n < n_1, n > n_2$  のとき  $r_m = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right) R \frac{\lambda}{n}}$ ,  $n_1 < n < n_2$  のとき  $r_m = \sqrt{m R \frac{\lambda}{n}}$

III.

問7 ②

問8  $d_1 = \frac{\lambda}{2n}$

問9  $d_1 < d < \frac{3}{2}d_1 = \frac{3\lambda}{4n}$  のとき  $r_m = \sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right) R \frac{\lambda}{n} - 2Rd}$ ,

$\frac{3}{2}d_1 = \frac{3\lambda}{4n} \leq d < d_2$  のとき  $r_m = \sqrt{\left(m + \frac{3}{2}\right) R \frac{\lambda}{n} - 2Rd}$