

· 竞赛园地 ·

浅谈第 33 届全国中学生物理竞赛复赛一道光学题

陆天明¹ 孙韩超²

(1. 南京师范大学附属中学江宁分校, 江苏 南京 211102; 2. 南京大学物理学院, 江苏 南京 210093)

摘 要: 第 33 届全国中学生物理竞赛复赛理论考试中光学题的常规解法较为繁琐, 如果能利用牛顿环的相关结论, 则会显得简洁很多.

关键词: 物理竞赛; 光学; 牛顿环

近年来, 全国中学生物理竞赛对波动光学的考查要求明显提高, 试题有较大的难度. 第 33 届全国中学生物理竞赛复赛理论考试的第 1 题就是一道波动光学问题, 学生反映问题比较复杂, 运算太繁, 很难得到结果.

原题. 如图 1, 上、下两个平凸透光柱面的半径分别为 R_1 、 R_2 , 且两柱面外切; 其剖面(平面)分别平行于各自的轴线, 且相互平行; 各自过切点的母线相互垂直. 取两柱面切点 O 为直角坐标系 $O-XYZ$ 的原点, 下侧柱面过切点 O 的母线为 X 轴, 上侧柱面过切点 O 的母线为 Y 轴. 一束在真空中波长为 λ 的可见光沿 Z 轴负方向傍轴入射, 分别从上、下柱面反射回来的光线会发生干涉; 借助于光学读数显微镜, 逆着 Z 轴方向, 可观测到原点附近上方柱面上的干涉条纹在 $X-Y$ 平面的投影. R_1 和 R_2 远大于傍轴光线干涉区域所对应的两柱面间最大间隙. 空气折射率为 $n_0 = 1.00$. 试推导第 k 级亮纹在 $X-Y$ 平面的投影的曲线方程.

已知: a. 在两种均匀、各向同性的介质的分

界面两侧, 折射率较大(小)的介质为光密(疏)介质; 光线在光密(疏)介质的表面反射时, 反射波存在(不存在)半波损失. 任何情形下, 折射波不存在半波损失. 伴随半波损失将产生大小为 π 的相位突变. b. $\sin x \approx x$, 当 $|x| \ll 1$.

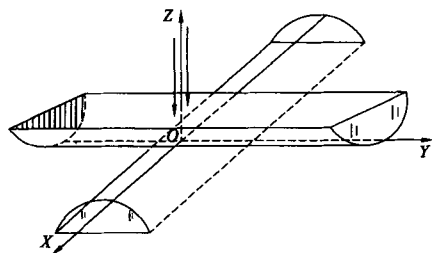


图 1

从命题者所提供的参考答案来看, 计算量确实很大, 显得很繁琐. 其实有比较简洁的解法, 就是直接利用牛顿环的结论.

牛顿环又称“牛顿圈”, 将一块曲率半径较大的平凸透镜放在一块玻璃平板上, 用单色光照射透镜与玻璃板, 就可以观察到一些明暗相间的同心圆环, 这种等厚干涉条纹就是牛顿环.

(2) 在 $R_0 = 0.01 \Omega \sim 3 \Omega$ 范围内, $\kappa = 0.005 \Omega/\text{m}$ 的结果(长划线)和 $\kappa = 0$ 的结果(点线)起初阶段是无差别的, 但随着运动时间的增长(下落高度增大), 两者的差别越来越明显, 切合实际的计算应该从式(13)出发. 但由于本问题中金属棒下落距离不长(仅为 1.2 m , 经历时间为 $0.5 \text{ s} \sim 0.6 \text{ s}$), 本文第 1 节简化方法的计算结果已经很好地符合实际.

参考文献:

- 1 梁灿彬, 秦光戎, 梁竹健. 电磁学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980: 3362-428.
- 2 王孟宁. 电学中的几件“怪事”[J]. 物理通报, 2004(1): 7.
- 3 江俊勤. 基于 Mathematica 的数字化物理学[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 132-136.
- 4 陶科. 电磁感应现象中让人困惑情景的分析讨论[J]. 物理教师, 2012(7): 13-14.

(收稿日期: 2016-10-30)

实际上,牛顿环是空气膜的等厚干涉,只要能计算出各处的空气膜厚度即可.通常采用解析法来计算空气膜的厚度,这里介绍更为方便直观的几何法.如图2所示,作出透镜截面的完整圆,表面上任一点 P , $\angle O'PM=90^\circ$,由射影定理,有

$$\overline{PQ}^2 = \overline{QO'} \times \overline{QM}$$

所以 P 点对应的空气膜厚度为

$$h = \overline{PN} = \overline{QO'} \approx \frac{\overline{PQ}^2}{2R}.$$

上式中, R 为透镜的曲率半径,设 r 为牛顿环半径,则有

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

如果能利用上述结论来处理上述光学问题,则会简明很多.图1所示的模型可以看成是牛顿环的变形,关键是要计算空气膜厚度.

在图1的 $O-XY$ 平面上靠近 X 轴和 Y 轴处任取一点 (x, y) ,由前面对牛顿环的分析不难看到,此点距上、下两侧柱面的距离为

$$h_{\text{上}} = \frac{x^2}{2R_1},$$

$$h_{\text{下}} = \frac{y^2}{2R_2},$$

所以,两柱面间的空气膜厚度为

$$h = \frac{x^2}{2R_1} + \frac{y^2}{2R_2}.$$

考虑到半波损失,光程差 $\delta = 2h + \frac{\lambda}{2}$,所以

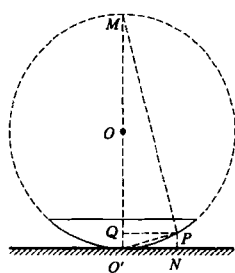


图2

$$\delta = \frac{x^2}{R_1} + \frac{y^2}{R_2} + \frac{\lambda}{2} = k\lambda, k=1,2,\dots, \text{亮环}$$

$$\delta = \frac{x^2}{R_1} + \frac{y^2}{R_2} + \frac{\lambda}{2} = \left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda, k=1,2,\dots, \text{暗环}$$

进一步可得第 k 级亮纹的方程为

$$\frac{x^2}{A_k^2} + \frac{y^2}{B_k^2} = 1, k=1,2,\dots$$

它们是椭圆亮环纹,两半轴长度分别为

$$A_k = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)R_1\lambda}, k=1,2,\dots,$$

$$B_k = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right)R_2\lambda}, k=1,2,\dots$$

其实,这种以牛顿环为基本模型的问题,还可以进行多种拓展,例如,①前述问题中下侧圆柱是下凹的,即 $R_2 < 0$,②前述问题中把上面的圆柱体换为平凸透镜,并拉开一定距离,如图3所示,均可讨论第 k 级亮环的曲线方程,讨论方法完全相同.其中第②种情形曾作为第29届全国大学生物理竞赛的赛题.

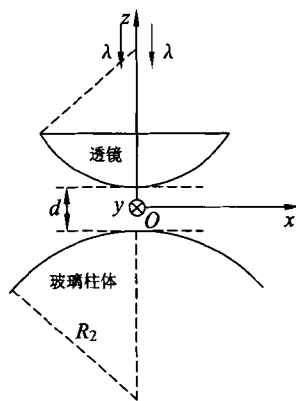


图3

参考文献:

- 1 陆天明. 荣誉物理(热学、光学、近代物理部分)[M]. 南京:东南大学出版社,2013:170-171.
- 2 全国中学生物理竞赛委员会. 第33届全国中学生物理竞赛复赛理论考试试卷,2016.
- 3 北京物理学会. 第29届全国部分地区大学生物理竞赛试卷,2012.

(收稿日期:2016-09-19)

(上接第90页)

变形——伏阻法、安阻法等等.方法复习时的归类总结可以让学生对物理实验的知识与技能有一个系统性的理解,也提高了学生整体的物理学科能力.

参考文献:

- 1 吴政. 电学实验的大思想与小方法[J]. 物理教师,2009(7):20.

(收稿日期:2016-06-19)