· 普通物理学标准化考试丛书 ·

光学

宣桂鑫　张治国　编

上海科学技术文献出版社

普通物理学标准化考试丛书

光　学

宣桂鑫　张治国　编

上海科学技术文献出版社

普通物理学标准化考试丛书
光　学
宣桂鑫　张治国　编
*
上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号)
新华书店经销
上海科技文献出版社昆山联营厂印刷
*
开本 787×1092 1/32　印张 6　字数 145,000
1990年7月第1版　1990年7月第1次印刷
印数：1—2,000
1SBN 7-80513-548-7/G·75
定价：3.10元
《科技新书目》213-296

序　言

考试是检测教学质量的主要手段之一。考试方法的探讨和改革是教学科研的重要内容。传统的命题考试的方法固然有其长处，不应一笔抹煞，但实践中暴露出来的各种弊端也不容忽视。近年来，国内不少同志在科学化、标准化考试方法的研究方面下了不少功夫，取得了可喜的成绩。所谓科学化、标准化的考试方法，大致上指的是以下三个方面：一，按照布卢姆的教育目标分类学，将该学科的各知识点按照“知识、理解、应用、分析、综合和评价”六个层次制定知识-能力双向细目表，依照各知识点在教学中的地位和要求，确定各项权重。这样，也就确定了考试的目标，规定了考试内容的合理分配。二，按照上述考试目标，建立各类标准化试题库。考试时从标准化试题库中按双向细目表的规定随机地提取一套试题，构成一份试卷，对考生进行考试，按照预先制定的标准答案和评分标准进行评分，得出考试成绩。三，不断健全和充实标准化试题库。从效度（表示考试结果符合测定目的的有效程度，用以量度试题的准确性和有效性的参量）；信度（表示考试结果符合被测试者实际水平的可靠程度，用以量度试题的稳定性和可靠性的参量）；区分度（表示考试结果能否区分被测者优劣的鉴别程度，用以量度试题对被测者能力鉴别的参量）；难度（表示试题的难易程度，用以量度试题对被测者知识水平的适合程度的参量）；选择题的迷惑度（错误答案具有一定的迷惑性）等几方面对试题进行分析，剔除或修改劣质试题，调整难易试题的搭配，补充新的试题，逐步健全和充实试题库。

目　　录

一、标准化考试试题示范

§1 几何光学基础 …………………………………… 1

§2 几何光学仪器 …………………………………… 43

§3 光的干涉 ………………………………………… 60

§4 光的衍射 ………………………………………… 90

§5 光的偏振 ………………………………………… 117

§6 光的吸收、散射和色散 ………………………… 139

§7 光的量子性 ……………………………………… 147

§8 现代光学基础 …………………………………… 157

二、标准化考试样卷

§1 教育目标能级表 ………………………………… 171

§2 双向细目表 ……………………………………… 172

§3 标准化考试样卷 ………………………………… 174

§4 标准化考试样卷参考答案 ……………………… 181

一、标准化考试试题示范

§1 几何光学基础

1-1 一层厚2cm的乙醇($n_2=1.36$)浮在4cm深的水($n_1=1.33$)上，沿着正入射方向向下看时，水底距乙醇层表面的像似深度为多少？

解 设水和乙醇的实际厚度分别为h_1和h_2；水、乙醇的折射率分别为n_1、n_2；空气的折射率为n。

从乙醇中看水底的像似深度为

$$h_1'=\frac{n_2}{n_1}h_1$$

从空气中看乙醇和水的总的像似深度为

$$h'=\frac{n}{n_2}(h_1'+h_2)$$

故

$$\begin{aligned}h'&=\frac{n}{n_2}\left(\frac{n_2}{n_1}h_1+h_2\right)=\frac{n_2h_1+n_1h_2}{n_1n_2}n\\&=\frac{1.36\times0.04+1.33\times0.02}{1.33\times1.36}\\&=0.0448\text{m}=4.48\text{cm}\end{aligned}$$

1-2 在充满折射率$n=4/3$的水的容器底，放置一平面镜，人俯视地对着平面镜看自己的像。设眼睛高出水面$h_1=10$cm，而镜子在水面之下深度为$h_2=66.5$cm处，试求眼睛在镜中的像看起来与眼睛的距离是多少？

解 人眼观察水底的平面镜离开自己的距离为

$$h_0 = h_1 + h_2' = h_1 + \frac{h_2}{n}$$

将 $h_1 = 10\text{cm}$, $h_2 = 66.5\text{cm}$, $n = 4/3$ 代入上式，得

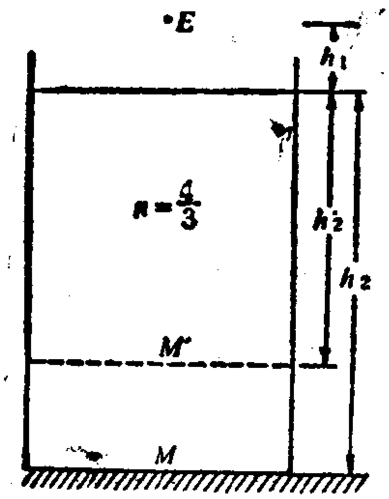


图 1-1

$$h_0 = 10 + \frac{3\times 66.5}{4} = 60\text{cm}$$

故

$$h'_0 = 2h_0 = 120\text{cm}$$

即眼睛在镜中的像看起来与人眼的距离为120cm。这里考虑到近轴条件下的像似深度和平面折射及反射问题，平面反射总能使单心光束保持，然而平面折射将会产生像散现象。在近轴条件下，单心性近似保持。

1-3 盛水银的容器绕铅垂轴以匀角速旋转，其角速度为 $\omega = 1\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$，试问：

(1) 水银面成什么形状？

(2) 用作面镜，其焦距为多少？

解 (1) 如图所示，P 点的斜率为

$$\text{tg}\alpha = \frac{dz}{dr} = \frac{m\omega^2 r}{mg} = \frac{\omega^2}{g}r$$

解微分方程为

$$z = \left(\frac{\omega^2}{2g}\right)r^2$$

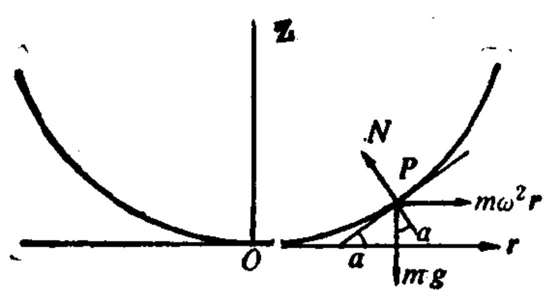


图 1-2

与抛物线的标准形式

$$y^2=2px$$

比较，得焦点坐标

$$z=\frac{p}{2}$$

即

$$2p=\frac{2g}{\omega^2}$$

(2) 焦距为

$$f'=z=\frac{p}{2}=\frac{g}{2\omega^2}=\frac{9.8}{2\times1}=4.9\text{m}$$

1-4 一曲率半径 $R=60\text{cm}$ 的凹球面镜装有水，水的折射率 $n=4/3$，假设水的深度比半径 R 小得多，试求它的焦距。

解 若没有装水时，入射波经镜面反射后通过 F_0'，它离开镜面的距离为

$$f_0'=\frac{R}{2}$$

当装有水时，经折射、反射和折射，其几何关系为

$$\text{tg}\alpha\approx\sin\alpha=\frac{a}{\frac{R}{2}}=\frac{a}{f_0'}$$

$$\text{tg}\beta\approx\sin\beta=\frac{a}{f'}$$

由折射定律，得

$$n=\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}=\frac{f_0'}{f'}$$

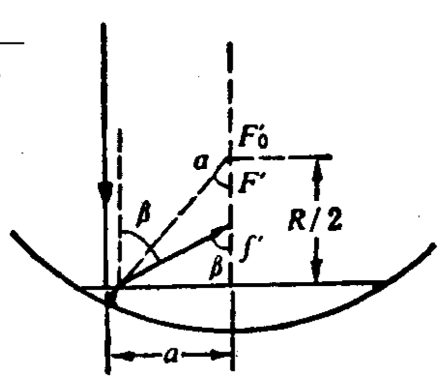


图 1-3

故加水后，透镜的焦距为

$$f'=\frac{f_0'}{n}=\frac{R}{2n}=\frac{60}{2\times\frac{4}{3}}=22.5\text{cm}$$

由此可知，凹面镜上充以稍许水，焦距将会减少 n 倍，这个结论是直接运用最基本的折射定律和近似条件得到的。其次，若凹面镜浸入水中时，则焦距和未充水时相同。

1-5 半径为 $R=10\text{cm}$、厚度为 $b=0.5\text{cm}$ 的圆板，它由折射率沿径向变化的材料构成，中心处的折射率为 $n_0=1.5$，边缘处的折射率为 $n_R=1.0$，试问：

(1) 圆板的折射率如何变化时，才能使平行于主轴的光线聚焦；

(2) 焦距等于多少？

解 (1) 如图(a)所示，离轴为 r 的光线的光程为

$$n_r b+(f'^2+r^2)^{1/2}=A$$

即

$$n_r b+f'\left(1+\frac{r^2}{f'^2}\right)^{1/2}=A \tag{1}$$

式中 A 为常数，与轴上光线比较，得

$$n_r b+\frac{1}{2}\ \frac{r^2}{f'}=n_R b+\frac{1}{2}\ \frac{R^2}{f'}=n_0 b+0=A \tag{2}$$

这里运用到 $r\ll f'$ 的近轴条件，此时，式(1)按牛顿二项式展开，即

$$f'\left(1+\frac{r^2}{f'^2}\right)^{1/2}=f'\left(1+\frac{r^2}{2f'^2}+\cdots\right)\approx f'+\frac{r^2}{2f'}$$

故折射率满足的条件为

$$n_r=n_0-\frac{r^2}{2f'b}=n_0-\frac{r^2(n_0-n_R)}{R^2}$$

将 $n_0=1.5$、$n_R=1.0$ 和 $b=0.5$，$R=10$ 代入上式，得

$$n_r=1.5-\frac{r^2}{200}$$

如图(b)所示的为折射率沿径向变化的曲线。

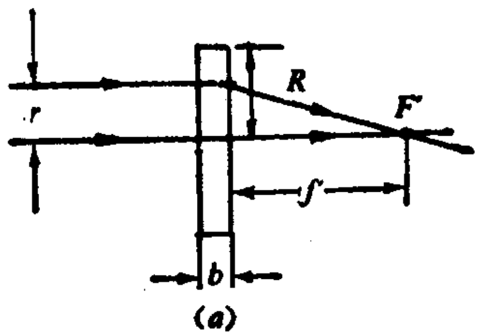
(2) 焦距为

$$f' = \frac{R^2}{2(n_O - n_R)b}$$

将 $R=10$、$n_O=1.5$、$n_R=1.0$ 和 $b=0.5$ 代入上式，得

$$f' = \frac{100}{2\times0.5\times0.5} = 200\text{cm} = 2\text{m}$$

这实质上是等厚变折射率的透镜，即梯度折射率透镜，用掺杂的办法增加玻璃的折射率，因而使原来未掺杂的本底折射率变成径向变化的折射率。



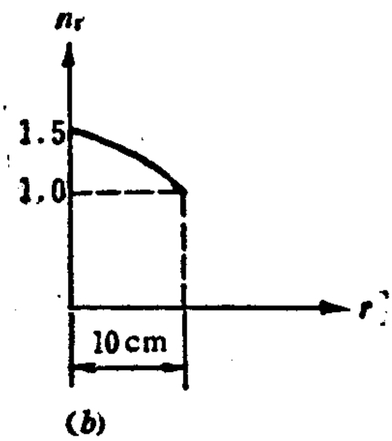


图 1-4

1-6 玻璃棱镜的折射棱角 A 为 60°，对某一波长的光，其折射率为 $n=1.6$，试求：

(1) 最小偏向角 θ_0；

(2) 此时的入射角 i_1；

(3) 能使光线掠过棱镜侧面时的最小入射角 i_{10}。

解 (1) 将 $A=60°$，$n=1.60$ 代入下式

$$n\sin\frac{A}{2} = \sin\frac{\theta_0 + A}{2}$$

得最小偏向角为

$$\theta_0 = 2\arcsin\left(n\sin\frac{A}{2}\right) = 2\arcsin\left(\frac{4}{5}\right) - 60°$$

$$=2\times53°8'-60°=46°16'$$

(2) 将最小偏向角 θ_0 及 A 代入前式，得

$$\theta_0=2i_1-A$$

即

$$i_1=\frac{\theta_0+A}{2}=\frac{46°16'+60°}{2}=53°8'$$

(3) 如图所示，令 $i'_{10}=\frac{\pi}{2}$时所对应的入射角为 i_{10}，则

$$\sin i'_{10}=n\sin i'_2\quad \sin i'_2=\frac{\sin i'_{10}}{n}=\frac{1}{1.6}$$

$$i'_2=\arcsin\left(\frac{1}{1.6}\right)=38°41'$$

而

$$i_2=A-i'_2=21°19'$$

由折射定律

$$\sin i_{10}=n\sin i_2$$

得

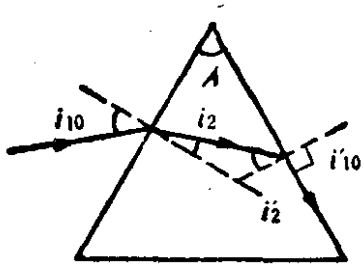


图 1-5

$$i_{10}=\arcsin(1.6\sin 21°19')$$
$$=\arcsin(0.5816)=35°34'$$

1-7 一物体置于曲率半径 R 为 12cm 的凹面镜的顶点左方 4 cm 处，试求像的位置和横向放大率。

解 高斯法：

将 $f=f'=\frac{r}{2}=-6\text{cm}$，$s=-4\text{cm}$ 代入高斯公式，得

$$s'=\frac{rs}{2s-r}=\frac{(-12)(-4)}{-8+12}=12\text{cm}$$

由横向放大率公式，得

$$\beta=\frac{n}{n'}\ \frac{s'}{s}=\left(-\frac{n}{n}\right)\frac{12}{-4}=3$$

牛顿法：

将 $x=2\text{cm}$ 和 $f=f'=-6\text{cm}$ 代入 $xx'=ff'$，得

$$x'=\frac{ff'}{x}=\frac{36}{2}=18\text{cm}$$

这表示像点在像方焦点右方 18cm 处，即在球面镜顶点右方 12cm 处，为一放大正立的虚像。

横向放大率公式

$$\beta=-\frac{x'}{f'}=-\frac{f}{x}=-\frac{18}{-6}=3$$

故横向放大率为 3，与高斯法结论是一致的。

1-8 两个凹面反射镜 M_1 和 M_2 的曲率半径依次为 0.5m 和 2m，两镜中心 O_1 和 O_2 相距 2m，发光点 P 在 O_1O_2 连线上，$O_1P=3/11\text{m}$，试计算下列情况下像的位置：

(1) 经 M_1 反射一次；

(2) M_1 反射后，M_2 再反射一次；

(3) 依次经由 M_1、M_2 反射后，再由 M_1 反射一次。

解 (1) 将 $r_1=0.5\text{m}$ 和 $s_1=3/11\text{m}$ 代入高斯公式，得

$$s'_1=\frac{r_1\ s_1}{2s_1-r_1}=\frac{5\times\frac{3}{11}}{2\cdot\frac{3}{11}-5}=3\text{m}\ (\text{实像})$$

(2) 将 $r_2=-2\text{m}$ 和 $s_2=3-2=1\text{m}$ 代入高斯公式，得

$$s'_2=\frac{r_2\ s_2}{2s_2-r_1}=\frac{(-2)(1)}{2+2}=-0.5\text{m}\ (\text{虚像})$$

(3) 将 $r_1=0.5\text{m}$，$s_3=2-\frac{1}{2}=1.5\text{m}$ 代入高斯公式，得

$$s'_3=\frac{r_1\ s_3}{2s_3-r_1}=\frac{0.5\times1.5}{3-0.5}=0.3\text{m}\ (\text{实像})$$

以上为逐次成像求解法。

1-9 折射率 n' 为 1.5 的长玻璃棒一端成半球形，其曲率半径 R 为 2cm。将它水平地浸入折射率为 $n=1.33$ 的水中，沿着棒的轴线离球面顶点 8cm 处的水中有一物体，试利用计算和作图法求像的位置及横向放大率，并作光路图。

解 将 $n=1.33$, $n'=1.5$ 和 $r=2\text{cm}$ 代入球面折射的焦距公式，得

$$f=-\frac{n}{n'-n}r=-\frac{1.33}{1.5-1.33}\times 2$$

$$=-\frac{2.66}{0.17}=-15.6\text{cm}$$

$$f'=\frac{n'}{n'-n}r=\frac{1.5}{1.5-1.33}\times 2=\frac{3}{0.17}=17.6\text{ cm}$$

将 f, f', s 代入高斯公式，得

$$s'=\frac{f's}{s-f}=\frac{17.6\times(-8)}{(-8)-(-15.6)}=-\frac{17.6\times 8}{7.6}$$

$$=-18.5\text{cm}$$

横向放大率公式

$$\beta=\frac{n}{n'}\ \frac{s'}{s}=\frac{1.33}{1.50}\times\frac{(-18)}{(-8)}=2$$

其光路图如图所示。

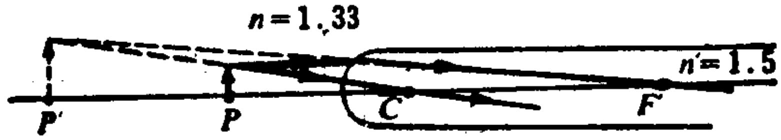


图 1-6

1-10 体温表的断面如图所示，已知水银柱 A 离顶点 O 距离为 2.5mm。设玻璃的折射率 $n=1.50$，若欲看到水银柱放大 6 倍的虚像，求顶点 O 处曲率半径 R 应为多大？

解 球面折射的焦距为

$$f=-\frac{n}{n'-n}r=-\frac{(3/2)(-R)}{1-\frac{3}{2}}$$

$$=-3R\ (R>0)$$

$$x=s-f=-2.5+3R$$

横向放大率为

$$\beta=-\frac{f}{x}=-\frac{(-3R)}{2.5+3R}=6$$

$$3R=-15+18R$$

故

$$R=1\text{mm}$$

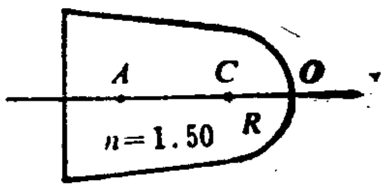


图 1-7

1-11 某人以折射率 $n=1.50$、半径为 10cm 的玻璃球放在书上看字，试求：

(1) 看到的字在什么地方?横向放大率为多少?

(2) 若将玻璃球切成两半并取半球，令其平面向上，而让球面和书面相接触，这时看到的字在何处?横向放大率等于多少?

解 (1) 由于 P 点位于右侧球面的顶点，故横向放大率 $\beta=1$，故仅需计及左侧球面的折射成像即可。折射成像的物像公式为

$$\frac{n'}{s_1'}-\frac{n}{s}=\frac{n'-n}{r}$$

将 $r=-R=-10$, $n=3/2$, $n'=1.0$ 和 $s=-20$ 代入上式，得

$$s_1'=-40\text{cm}$$

$$\beta_1=\frac{ns'}{n's}=3$$

成一虚像。

(2) 如图(b)所示

$$OP\approx PC=R$$

根据折射定律

$$n\sin i_1 = n'\sin i_2 = \sin i_2$$

按几何关系，得

$$\sin i_1 = \frac{x}{OP} = \frac{x}{R}$$

$$\sin i_2 = \frac{x}{OP'} \approx \frac{x}{CP'}$$

故

$$n\frac{x}{R} = n'\frac{x}{CP'}$$

即

$$CP' = \frac{n'}{n}R = \frac{1}{1.5}\cdot 10 = 6.7\text{cm}$$

$$\beta_2 = \frac{y_2'}{y_2} = \frac{ns'}{n's} = \frac{1.5}{1}\frac{CP'}{CP}$$

$$= \frac{1.5}{1}\frac{\frac{10}{1.5}}{10} = 1$$

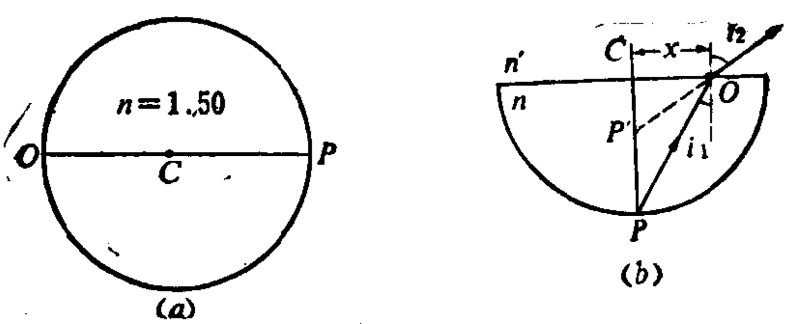


图 1-8

1-12 已知置于空气中的玻璃半球，其曲率半径为 r，折射率为 1.5，平面一边涂以银。若一物体 PQ，置于曲面顶点的前面 $3r$ 处，试求：

(1) 由球面 O 所形成的第一个像的位置；

(2) 经反射镜 O' 所形成的像的位置；

(3) 经整个光学系统所形成的像的位置。

解 (1) 就球面 O 折射而言，将 $n=1$，$n'=1.5$ 代入球面折射焦距公式，得

$$f=-\frac{n}{n'-n}r=-2r,$$

$$f'=\frac{n'}{n'-n}r=3r$$

式中 $r>0$。

由球面折射的物像公式，得

$$s_1'=\frac{s_1}{s_1-f}f'=\frac{(-3r)}{-3r-(-2r)}3r=9r$$

故经球面 O 折射后成一实像 $P'Q'$ 于球面顶点右方 $9r$ 处。注意 $r>0$。

(2) 就平面镜 O' 而言，

$$s_2=9r-r=8r$$

实像 $P'Q'$ 是对球面折射而言的，这像对平面镜 O 来讲是会聚光束的顶点，因此它是虚物，而且虚物处于平面镜的右方，故物距为正。

由平面镜的物像公式，得

$$s_2'=-s_2=-8r$$

由于 s_2' 是负的，故经平面镜 O' 成一实像 $P''Q''$ 于 O' 左方 $8r$ 处。

(3) $P''Q''$ 又成为球面 O 的物，因为 $P''Q''$ 是会聚光束的顶点，所以对 O 讲是虚物，且位于球面 O 的左方，所以物距 s_3 是负的，即

$$s_3=-(8r-r)=-7r$$

物方和像方焦距分别为

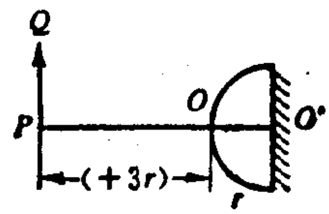
$$f=3r \qquad\qquad f'=-2r$$

此时，入射光束所在的折射率为1.5，折射光束所在的折射率为1，将n和n'分别用1.5和1代入焦距公式可得物方和像方焦距的数值。

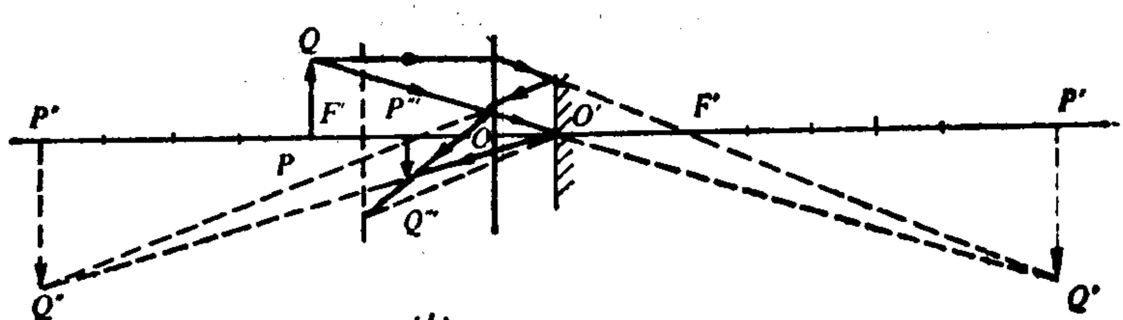
根据球面折射的物像公式，得

$$s_3' = \frac{f's_3}{s_3 - f} = \frac{(-2r)(-7r)}{(-7r)-3r} = -1.4r$$

由于s_3'是负的，所以经光具组最后成一实像$P'''Q'''$于球面顶点左方1.4r处。其光路图如图所示。图中经O点垂直于主轴的直线代表折射球面的主平面，这样便于作图。



(a)



(b)

图 1-9

1-13 将焦距为10cm的中央部分C切去，C的宽度为1cm，把余下的两部分A、B胶合起来，并在其对称轴上距透镜5cm处的P点置一点光源，试求成像位置，并作光路图。

解 如图所示的透镜是由A、B两部分胶合而成的，这两部分的主轴都不在该光学系统的中心轴线上。A部分的主轴