

能力培养丛书

高中物理学习指南

第三册

秦家达著

An abstract geometric design in white lines on a green background. It features a central perspective of a road or hallway with a checkered floor, leading towards a vanishing point. Two large squares with internal geometric patterns are positioned on either side of the central path. Concentric circular arcs are centered on the vanishing point. Small geometric shapes, like a cube and a sphere, are placed along the path. The overall effect is one of depth and mathematical precision.

北京工业大学出版社

高中物理学习指南

(第三册)

秦家达 著

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书以高中物理教学大纲为基本线索,对物理的基本知识与规律进行了归纳、整理,对不同章节的知识之间的联系作了简明、扼要的分析 and 对比。

本书旨在提高学生分析问题和解决问题的能力。对于物理规律的运用方法、解决典型问题的具体步骤以及解题经验作了详细的总结和阐述。

为便于读者检测运用知识的水平和提高能力的程度,本书各章还配置了自测题,书后列出了自测题答案。

本书共有十三章,分三册出版。本册包括第十章至第十三章:第十章为“光学”;第十一章为“原子、原子核”;第十二章为“运用数学知识,解决物理问题”;第十三章为“中学物理实验”。

本书可作为高中学生学习物理课程的指导用书,也可作为高中毕业班学生系统复习物理知识的参考书。对于自学青年和中学物理教师也是一本有价值的参考书。

高中物理学习指南

(第三册)

秦家达 著

*

北京工业大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印刷

*

1989年7月第1版 第1次印刷

787×1092毫米32开本 4.8125印张 112千字

印数: 00001~15000册

ISBN7-5639-0035-7/G·23

定价: 1.90元

目 录

第十章 光学

- 一、基本概念和规律·····(1)
- 二、辅助作图法·····(9)
- 三、光学仪器·····(12)
- 四、光的本性·····(19)
- 五、自测题·····(22)

第十一章 原子、原子核

- 一、原子概况·····(27)
- 二、原子模型·····(27)
- 三、原子核的变化·····(31)
- 四、原子核变化的规律·····(32)
- 五、自测题·····(37)

第十二章 运用数学知识,解决物理问题

- 一、数值估算方法·····(41)
- 二、比例·····(43)
- 三、平均值·····(46)
- 四、极值·····(54)
- 五、一元二次方程·····(66)
- 六、数列·····(68)
- 七、区间值和不等式·····(69)
- 八、对数和指数·····(74)
- 九、不定方程·····(79)
- 十、直线和曲线·····(85)

第十三章 中学物理实验

一、测量及误差·····	(96)
二、基本实验仪器·····	(99)
三、基本物理实验·····	(119)
四、自测题·····	(141)
附录：自测题答案·····	(148)

第十章 光学

一、基本概念和规律

1. 光的传播

(1) 光速

光在真空中的传播速度 $C=3 \times 10^8$ 米/秒。光由真空进入其它媒质中时, 光的频率不变, 光速变慢, $v=\frac{C}{n}$, n 称为该种媒质对真空的折射率或称绝对折射率, 简称折射率。

两种媒质相比较: 光速较大、绝对折射率较小的媒质称为光疏媒质; 光速较小、绝对折射率较大的媒质称为光密媒质。

(2) 光的直线传播

光在同一种均匀媒质中, 直线传播。小孔成像、本影以及半影都是光在真空或均匀媒质中直线传播的直接证据。

图 10-1 表明日蚀是由太阳光的直线传播形成的。图中月亮后面的阴影区是日全食区域; 在阴影区的后方则是日环食

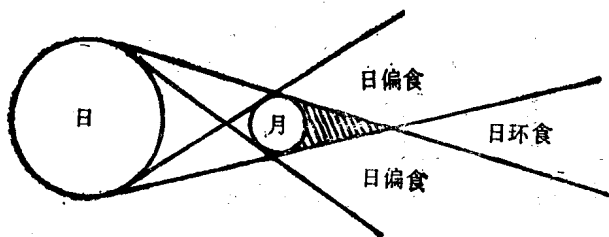


图 10-1

区域;在全食和环食区的两侧则是日偏食区域。再外面就是全部太阳光都能照到的光亮区域了。

(3) 反射和折射

光线射到两种媒质的分界面上时,光的能量分成两部分,一部分继续在原来的媒质中传播,称为反射光,反射光线的方向符合反射定律,即反射线在入射线和法线所决定的平面内,反射线与入射线分居法线两侧,反射角等于入射角;另一部分光的能量进入另一种媒质传播,这一部分光称为折射光,折射光线的方向符合折射定律,即折射线在入射线和法线所决定的平面内,折射线与入射线分居法线两侧,折射角 α_2 的正弦与入射角 α_1 的正弦之比与两种媒质的光速成正比,即

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

当光线由光密媒质射入光疏媒质时,随着入射角的逐渐增大,反射光的能量逐渐增大,折射光的能量逐渐减小;当入射角大于等于临界角时,入射光能量全部反射,此时不再有折射光线。这种现象称为光的全反射现象。全反射的临界角大小可由下式算出

$$\sin \alpha_c = \frac{n_{\text{疏}}}{n_{\text{密}}}$$

例题 1 光线在平面镜上反射,入射光线与反射光线之间的夹角为 θ 。当平面镜绕入射点转动 α 角时,入射光线与反射光线之间的夹角多大?

解: 由题设条件可知,光线原来的入射角是 $\theta/2$ 。当平面镜绕入射点转动 α 角时,法线也随之转动 α 角,此时入射角就变成 $(\theta/2 \pm \alpha)$ 。根据反射定律可知,反射角等于 $(\theta/2 \pm \alpha)$,

因此入射光线与反射光线之间的夹角为 $2(\frac{\theta}{2} \pm \alpha) = (\theta \pm 2\alpha)$ 。
 即当平面镜转动 α 角时, 反射光线转动 2α 角。

例题 2 如图 10-2 所示, 光线由媒质 I 射入媒质 II。入射角 α 为 30° 时, 反射线与折射线恰好互相垂直。求媒质 II 相对于媒质 I 的相对折射率 n_{21} 。

解: 由反射定律可知, 反射角等于入射角

$$\alpha' = \alpha$$

由图可知, 折射角 $\gamma = 180^\circ - 90^\circ - \alpha' = 60^\circ$

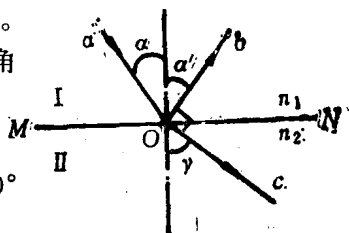


图 10-2

由折射定律, 可知

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \sin \gamma$$

$$n_1 \cdot \sin 30^\circ = n_2 \cdot \sin 60^\circ$$

媒质 II 相对于媒质 I 的相对折射率应是:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

例题 3 如图 10-3 所示, 在折射率为 n , 高为 h 的透明、均匀媒质下底面有一个直径为 d 的圆形发光面 ab 。为了使在媒质上方任何地方都看不到 ab 所发的光, 可在媒质上表面贴一圆形黑纸片。问此纸片应有多大?

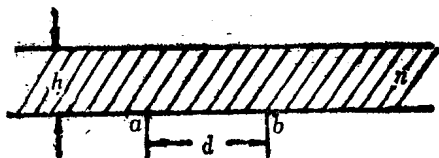


图 10-3

解: 此圆形黑纸片的半径为 R , 圆心恰在 ab 圆心的正上

方，使 ab 边缘发光点所发出的光或者被纸片挡住或者在媒质上表面发生全反射。因此在纸片边缘发生全反射的临界角应符合

$$\sin \alpha_c = \frac{1}{n}$$

纸片半径 R 为

$$\begin{aligned} R &= \frac{d}{2} + r = \frac{d}{2} + h \cdot \operatorname{tg} \alpha_c \\ &= \frac{d}{2} + h \cdot \frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}} \end{aligned}$$

因而黑圆纸片的面积应为

$$S = \pi R^2 = \pi \left(\frac{d}{2} + h \cdot \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}} \right)^2$$

2. 光具成像

(1) 成像公式及放大率

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

称为成像公式，式中 u 是发光物体到光具的距离——称为物距， v 是像到光具的距离——称为像距， f 是光具（指面镜或透镜）的焦距。此成像公式适用于各种面镜或透镜的各种成像情况。当 $u > 0$ 时，表示实发光物； $u < 0$ 时，为“虚”发光物。当 $f > 0$ 时，表示凹面镜或凸透镜； $f < 0$ 时，称为虚焦距，表示凸面镜或凹透镜。当 $v > 0$ 时，表示实像； $v < 0$ 时，表示虚像。

像高与物高之比称为横向放大率或线放大率，简称放大率。

$$m = \frac{\text{像高}}{\text{物高}} = \frac{h'}{h} = \frac{|v|}{|u|}$$

(2) 作图求像的三条特殊光线

对于球面镜作图求像,常用以下三条特殊光线:①通过球面镜曲率中心方向入射的光线,经球面镜反射后,循原入射光线方向反射。②通过球面镜焦点方向入射的光线,经球面镜反射后,反射光线平行于球面镜主光轴。③平行于球面镜主光轴的入射光线,经反射后,反射光线(或其延长线)通过球面镜的焦点。

对于凸透镜作图求像,常用以下三条特殊光线:①平行于凸透镜主光轴的入射光线,经凸透镜折射后,出射光线通过凸透镜主焦点。②通过凸透镜光心的光线不改变方向,沿原方向前进。③通过凸透镜焦点的入射光线,经凸透镜折射后,出射光线平行于凸透镜主光轴。

对于凹透镜作图求像,常用以下三条特殊光线:①平行于主光轴的入射光线,经凹透镜折射后偏离主光轴,出射光线的反向延长线经过凹透镜的虚焦点。②向凹透镜后面虚焦点方向入射的光线,经凹透镜折射后,出射光线平行于凹透镜的主光轴。③通过凹透镜光心的光线不改变方向,沿原方向前进。

例题 4 一个焦距大小为 40 厘米的凸面镜,前方 8 米处有一个高为 1.6 米的人。问人在凸面镜里所成的像多高?

解:凸面镜是一个发散光线的反射镜,因而它的焦距是负焦距, $f = -0.4$ 米。根据成像公式,有

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad \frac{1}{8} + \frac{1}{v} = \frac{1}{-0.4}$$

$$v = -\frac{8}{21} \text{ 米}$$

根据放大率的定义,有

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{|v|}{u}$$

可求出人像的高为

$$h' = h \frac{|v|}{u} = 1.6 \times \frac{\left| -\frac{8}{21} \right|}{8} \text{ 米} = 0.0762 \text{ 米}$$

例题 5 如图 10-4 所示, $O_1 O_2$ 为透镜主光轴, S' 为发光点 S 经透镜折射后所成的像。问此透镜是什么透镜? 并作出此透镜的光心和焦点。

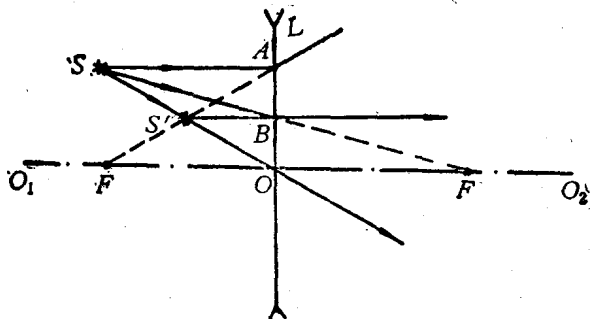


图 10-4

解: 由图 10-4 可见, S 与 S' 在透镜主光轴的同一侧, 而且 S' 离光轴近, S 离光轴远, 所以是正立缩小的虚像。由此可知透镜是凹透镜。连 SS' 交 $O_1 O_2$ 于 O , O 即是凹透镜的光心。过 S 作 $SA \parallel O_1 O_2$, 连 AS' 并延长, 交 $O_1 O_2$ 于 F , F 即为凹透镜的一个虚焦点。作 $S'B \parallel O_1 O_2$, 连接 SB 并延长, 交 $O_1 O_2$ 于 F , 这个交点 F 就是凹透镜的另一个虚焦点。

上述作图法, 实际上就是运用凹透镜成像的三条特殊光线来达到求 O 和 F 的目的。

例题 6 发光物体 AB , 直立在凸透镜 L 的主光轴 $O_1 O_2$ 上, BO 为 L 焦距的两倍, 现将透镜逆时针转动一个不大的角度, 到达 L' 的位置, 如图 10-5 所示。试求 AB 经透镜 L' 所

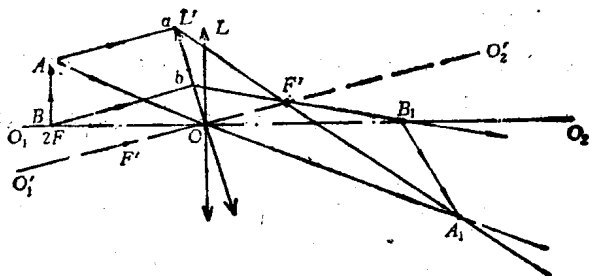


图 10-5

成的像。

解：由于透镜绕光心 O 转动，所以其主光轴也由 O_1O_2 位置相应地旋转到 $O'_1O'_2$ 位置。从 AB 发光体的两个端点，各作通过光心 O 的光线 AO 和 BO ，它们应沿原方向前进。再作 $Aa \parallel Bb \parallel O'_1O'_2$ ，并连接 aF' 且延长，连接 bF' 且延长。这样，利用过光心和平行于主光轴 $O'_1O'_2$ 的两条特殊光线，就可以作出 A 的像点 A_1 ， B 的像点 B_1 ，连接 A_1B_1 ，即为 AB 经 L' 折射后的像。

例题 7 图 10-6 中，凸透镜 L 的两个主焦点的坐标分别为 $(-2, 4)$ 和 $(-2, -8)$ ，平面镜 M 的镜面位于 $y = -3$ 处。有一个点光源 S 。眼睛 E 在图示位置，它通过透镜 L 向 y 正向

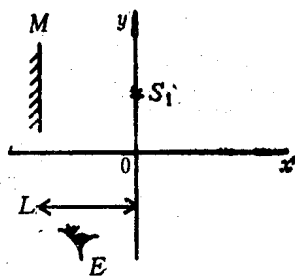


图 10-6

观看时，可看到 S 的两个像点，其中一个像点 S' 的位置在 $(0, 4)$ 。求发光点 S 的位置的及另一个像点 S_2 的位置。

解：平面镜具有对称成像的特点，因此 S_1 作为平面镜 M 的物点，它的像点 S_2 应在平面镜后同样远的地方，即 S_2

的坐标在 $(-6, 4)$ 。

由题设条件可知,透镜 L 位于两个主焦点的正中间,即 L 的镜面位于 $y = \frac{1}{2}[4 + (-8)] = -2$ 处,光心坐标为 $(-2, -2)$ 。

由像点 S_1 的纵坐标和 F 的纵坐标都是4可知像点 S_1 位于焦平面 $y=4$ 上,因此发光点 S 应位于无限远处,其方向可由像点 S_1 与光心连线的延长线确定下来,即 S 的方向在 $(0, 4)$ 与 $(-2, -2)$ 两点连线的无限延长方向。

例题 8 物体放在凸透镜前某处,得一缩小为 $1/3$ 的像。将物体向镜子移近12厘米,可得一个放大为2倍的像。求透镜的焦距。

解: 根据凸透镜成像的特点,第一次所得缩小的像必是实像,因此有

$$v_1 = \frac{1}{3}u_1$$

第二次得放大的像,既可能是放大倒立的实像,又可能是放大正立的虚像,因此有

$$v_2 = +2u_2$$

或

$$v'_2 = -2u'_2$$

先按照第一种可能,有

$$u_2 = u_1 - 12$$

代入透镜成像公式

$$\frac{1}{v_1} + \frac{1}{u_1} = \frac{1}{v_2} + \frac{1}{u_2}$$

$$\frac{1}{\frac{u_1}{3}} + \frac{1}{u_1} = \frac{1}{u_1 - 12} + \frac{1}{2(u_1 - 12)}$$

解得

$$u_1 = 19.2 \text{ 厘米}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{19.2} + \frac{1}{6.4}$$

$$f = 4.8 \text{ 厘米}$$

再按照第二种可能,有

$$u'_2 = u_1 - 12$$

$$\frac{1}{v_1} + \frac{1}{u_1} = \frac{1}{v'_2} + \frac{1}{u'_2}$$

$$\frac{1}{\frac{u_1}{3}} + \frac{1}{u_1} = \frac{1}{-2(u_1 - 12)} + \frac{1}{u_1 - 12}$$

解得

$$u_1 = \frac{96}{7} \text{ 厘米}$$

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{4}{u_1}$$

$$f' = \frac{u_1}{4} = \frac{1}{4} \times \frac{96}{7} \text{ 厘米} = \frac{24}{7} \text{ 厘米} = 3.43 \text{ 厘米}$$

二、辅助作图法

1. “设想发光体”作图法

在几何光学作图求像问题中,有时给出的问题无法直接用三条特殊光线作图,那么就可以用辅助作图的方法,把非特殊光线的作图问题转化为特殊光线作图问题。例如图 10-7 中,给出了凹透镜 L 及其焦点 F 的位置,有一条非特殊光线 SA 照射到透镜上,求作 SA 经过透镜折射后的出射光线。现在我们把入射光线 SA 上任取的一点 S 当作发光点,利用通过光心 O 的入射光线 SO 和平行于主光轴的入射光线 SP 这两条特殊光线,求出“设想发光点 S ”的像点 S' 。由于“设想发

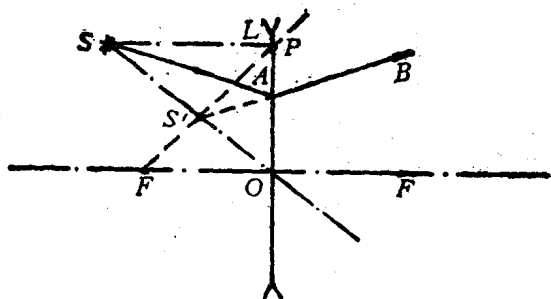


图 10-7

光点 S'' 发出的所有光线经凹透镜折射后都好像是由 S' 发出来的, 因此只要连 $S'A$ 并延长向 B , 则 AB 就是 SA 经 L 折射后的出射光线。

2. “光路可逆原理”作图法

如图 10-8 中, 已知凸透镜 L 的光心 O 和焦点 F 的位置, 且有一条出射光线 AB , 求作 AB 的入射光线。根据光路可逆原理, 如果把光线 AB 的方向反过来, 当作是 BA 入射到透镜上, 那么 BA 经透镜折射后的出射光线就是原来 AB 的入射光线的路径。

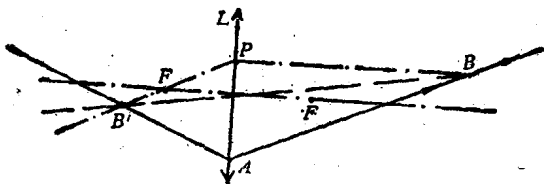


图 10-8

现在用“设想发光点 B ”的两条特殊光线 BO 和 BP , 作出 B 的像点 B' 。由 B 所“发出”的光线 BA , 经透镜 L 折射后的

“出射光线”也必然经过像点 B' ，所以连接 AB' 并延长，就可得到 BA 的出射光线 AB' 。

根据光路可逆原理可知，若光线沿 $B'A$ 入射，则 AB 就是它的出射光线。

3. “焦平面、副光轴”作图法

通过透镜光心的所有直线都是光轴，其中通过透镜两表面曲率中心的光轴称为主光轴，其它的光轴称为副光轴。平行于主光轴的入射光线经凸透镜折射后，会聚于主焦点；平行于副光轴的入射光线经凸透镜折射后，会聚于该副光轴上的副焦点。所有的副焦点与主焦点在同一平面上，这个平面称为焦平面，透镜的焦平面与其主光轴垂直。

例题 1 如图 10-9 所示，有一条非特殊光线 SA 射到凸透镜 L 上，求作其出射光线。

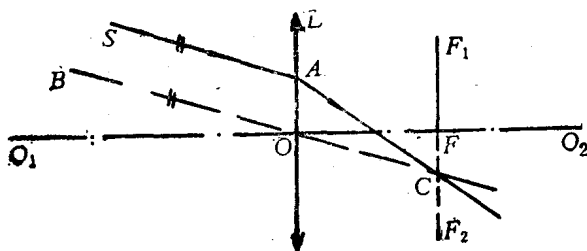


图 10-9

解：过凸透镜的焦点 F 作 F_1F_2 垂直于主光轴 O_1O_2 ，则 F_1FF_2 即为凸透镜的焦平面。过光心 O 作 BO 平行于 SA ， BO 就是副光轴， BO 延长交 F_1F_2 于 C ， C 点就是副焦点。 SA 可看作是平行于副光轴 BOC 的一条光线，因此 SA 经透镜折射后也应会聚于副焦点 C 。由此可知，连线 AC 就是 SA 经凸透镜 L 折射后的出射光线。

例题 2 F 为凹透镜 L 的虚焦点, O_1O_2 为其主光轴。现有一条出射光线 AB , 求其入射光线(装置见图 10-10)。

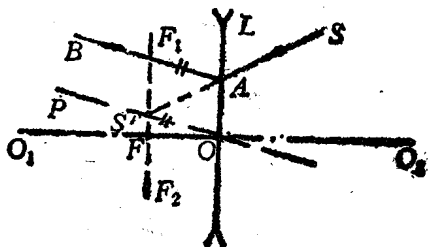


图 10-10

解: 过光心 O 作 $PO \parallel AB$, PO 就是副光轴。过焦点 F 作 F_1F_2 垂直于主光轴 O_1O_2 , F_1F_2 就是凹透镜 L 的虚焦平面。 PO 与 F_1F_2 交于 S' , S' 就是虚副焦点。连结 $S'A$ 并向 S 延长, 则 SA 就是 AB 的入射光线。

要理解上述作图方法, 只要利用光路可逆原理, 把上述 SA 和 AB 的光线前进方向反过来, 就可看到平行于副光轴 PO 的“入射光线” BA 经 L 折射后, 向 AS 方向“发散”, “出射光线” AS 反向延长, “会聚”于虚焦点 S' 。

三、光学仪器

1. 眼睛

人眼是一个可以自动调节焦距的凸透镜, 它将发光物体的实像成在视网膜上, 由视神经传到大脑, 形成视觉形象。

正常人眼的明视距离为 25 厘米。如果人眼晶状体过于突出, 则其焦距缩小, 放在 25 厘米处的发光物体成像在视网膜前, 这种患者称为近视患者。近视眼的矫正办法是佩戴一副由凹透镜组成的近视眼镜。如果人眼晶状体过于扁平, 则其