

光学习题集

〔苏〕Д. В. Сивухин 主编

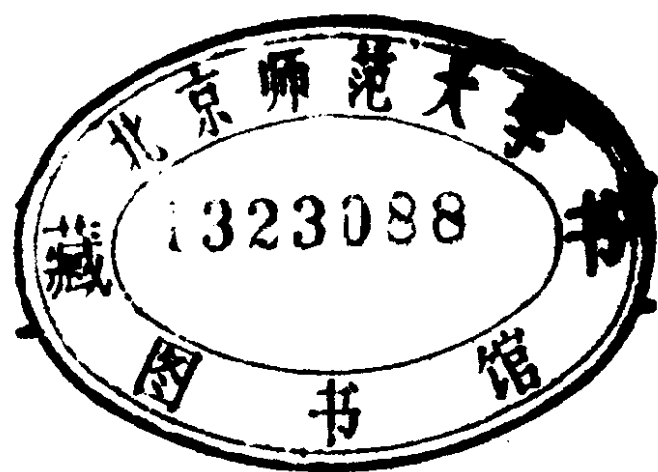
任宝明 刘励和 译

高等教育出版社

光 学 习 题 集

〔苏〕Д. В. Сивухин 主编

任宝明 刘励和 译



高等教育出版社

本书根据苏联科学出版社出版的Д. В. Сивухин主编的“Сборник задач по общему курсу ФИЗИКИ (оптика)”1977年修订第四版译出。原书系配合苏联高等学校物理专业普通物理学(光学部分)课程的教学参考书。

本书取材广泛,内容比较丰富,全书共有829题,大部分给出了详细的题解,其他部分给出了答案。

本书可作为高等学校理科物理专业的教学参考书,也可供其他高等学校及电视大学、职工大学的教师、学生参考。

光 学 习 题 集

[苏] Д. В. Сивухин 主编

任宝刚 刘励和 译

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

通县觅子店印刷厂印装

开本850×1168 1/32 印张10.125 字数241,000

1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷

印数 00,001—14,200

书号 13010·01009 定价2.60元

571 149119

第四版序言

本版将习题集的光学部分作为单行本出版，同时作了重要的修改并补充了新的习题。同前两版一样，这项工作是由 В. Л. Гинзбург 和 Д. В. Сивухин 完成的。此外，И. А. Яковлев 参加了本版的编写，包括§5的10道全息摄影习题以及大约25道有关光的干涉、衍射、偏振和晶体光学习题。莫斯科学技术物理学院普通物理教研室、由 В. Л. Гинзбург 领导的天体物理和天文教研室的教师们以及 И. А. Яковлев 的同事们都提出了一些题目。对 §7 晶体光学作了修改。将单轴晶体光学与双轴晶体光学分开叙述，使大多数恰好属于单轴晶体光学的习题大大简化。对有关相对论和分子光学各节充实了很多新习题。

全体编者对协助改进本书和补充新习题的所有同志表示深切的感谢。

Л. А. Спекторов 副教授十分认真细致地审阅了习题集 IV 章原稿，国立吉尔吉斯大学 Д. И. Ибраимов 副教授在他领导的普通物理教研室中对原稿组织了讨论。编者对此表示深切的谢意。

Д. В. Сивухин

目 录

第四版序言	ii
-------------	----

	习题	答案与题解
§ 1. 几何光学	1	128
§ 2. 光度学	27	163
§ 3. 光的干涉	31	168
§ 4. 光的衍射	41	178
§ 5. 全息摄影术	62	211
§ 6. 光的偏振、菲涅耳公式	67	215
§ 7. 晶体光学	73	227
§ 8. 光速	89	252
§ 9. 相对论和运动物体光学	95	265
§ 10. 光压	100	279
§ 11. 分子光学和物理学中其 他部分的相近问题	103	234
§ 12. 热辐射	123	313

习 题

§ 1 几 何 光 学

1. 当半径为 r 的不透明圆盘被照亮时, 在其后 l 处的屏上, 得到半径为 r_1 的全影和半径为 r_2 的半影。光源也是圆盘形的, 而且由其中心到不透明圆盘中心的连线垂直两圆盘和屏面, 求光源的尺寸和光源距被照亮圆盘的。

2. 太阳光球的直径等于 1390000 千米, 太阳与地球之间的距离变化不大, 平均为 150000000 千米, 月球中心到地球表面的距离, 在 357000 至 390000 千米之间变动。若月球直径为 3480 千米, 那么何时能有日全蚀? 何时能有日环蚀?

3. 由光源发出的光通过孔之后, 在孔后的屏上成象。试解释为什么当孔小时, 成光源的象; 而孔大时却成孔的象。

4. 太阳光照射到不大的正方形平面镜上, 反射后又照射到屏上。屏上照亮的部分是什么形状? 它将如何随着平面镜和屏之间的距离的改变而改变?

5. 在竖直的正方形金属网前放一水平的长狭缝。用强的扩展光源照亮狭缝, 光通过缝和网射到远处屏上, 试描述在屏上得到什么样的图象, 当缝绕网平面的垂线旋转 90° 和 45° 时, 将发生什么现象? 研究如图 1- a 和图 1- b 所示的网。

6. 上题中, 若交换缝和网的位置, 屏上图形将发生什么变

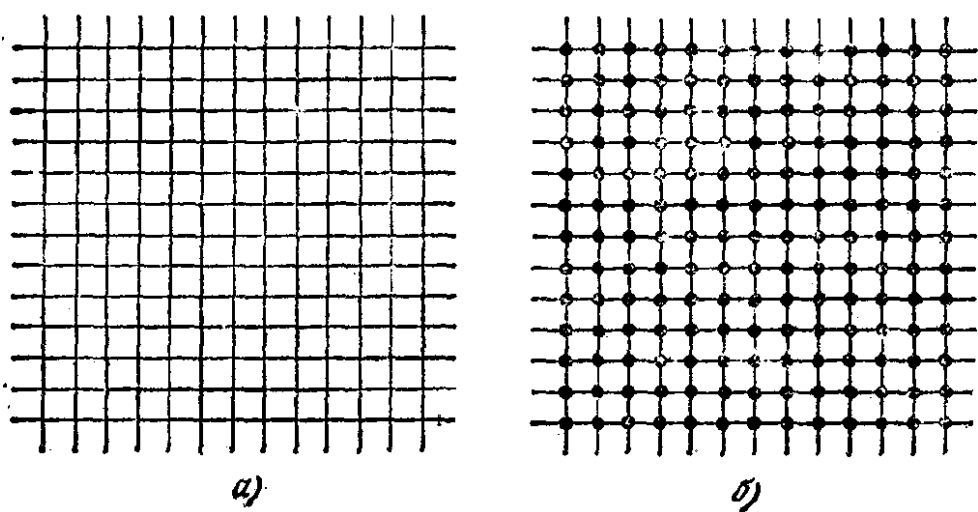


图 1

化?

7. 两平面镜彼此倾斜, 形成二面角 α 。光线在垂直于角棱的平面内射到镜上。证明: 经两平面镜反射后的光线对原来方向的偏角 δ 与入射角无关。并求 δ 。

8. 试以矢量形式写出: 在两种各向同性的透明介质的交界面上光的反射定律和折射定律。光从折射率为 n_1 的介质 1 射向折射率为 n_2 的介质 2; 入射、反射和折射光的方向以单位矢量 r_0 、 r_1 和 r_2 表示; 界面法向单位矢量 N 的方向从介质 2 指向介质 1。

9. 试证明: 经三个相互垂直的平面镜依次反射后的光与原来方向相反。

10. 将表面镀银的玻璃立方体切下一角, 得到三棱锥镜。光线从锥底面射入, 经其余三个互相垂直的平面依次反射。证明: 出射光与入射光方向相反。

11. 两平面镜成 60° 角, 求镜间物体所有的象。作出光的行程图: 使光经两平面镜相继两次反射后, 给出物体的一个象。

12. 两平面镜成 φ 角, 并设 $m = 2\pi/\varphi$ 为整数, 求镜间物体象的数目。

13. 在图 2 所示的折射棱镜中, 光线在垂直于镜棱的平面内,

由 AD 面射入，依次经由 BC 和 BD 面反射，然后从 AC 面射出。角 B 和角 A 分别等于 α 和 2α ，而角 C 和角 D 彼此相等。试证明：出射光对原来方向的偏角 δ 与入射角无关。求 δ 。并说明在如图所示的光的行程下，棱镜能否形成光谱分解？

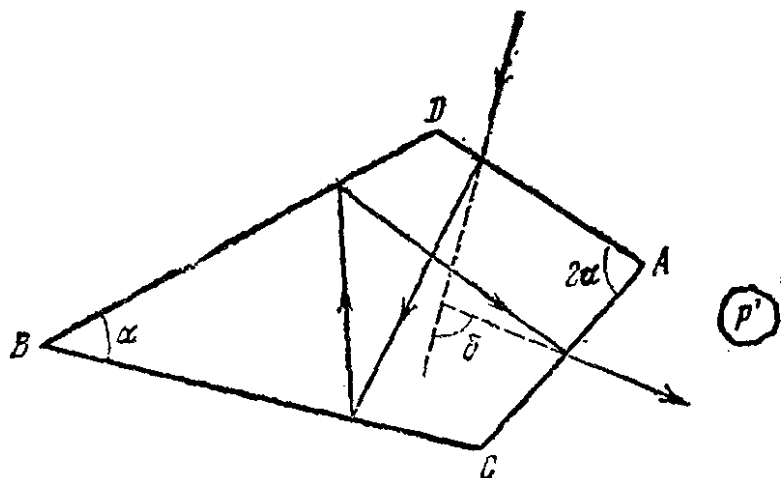


图 2

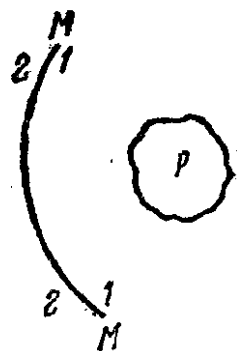


图 3

14. 试解释：为什么在月夜海面上看到的月亮的象不是一个圆盘而是一条带。

15. 求在曲率半径为 16 米的反射望远镜里，太阳成象的大小。太阳的直径为 1.4×10^6 千米，太阳与地球之间的距离为 150×10^6 千米。

16. 凹面镜的曲率半径为 40 厘米。试求把物体放在什么位置能得到放大到两倍的实象？在什么位置能得到放大到两倍的虚象？

17. 为了测量镜的焦距，在距镜 10 厘米处放一燃烧的蜡烛，在距镜 30 厘米的屏上得到蜡烛清晰的象。求镜的焦距 f 。

18. 将图 3 所示的球面镜 MM' 镀银。试用几何方法和解析方法证明：若镀层在 1-1 表面时，物体 P 映射为 P' ，若镀层在 2-2 物体 P' 就映射为 P 。

平行光经某镜面反射后，反射光如同从镜后一点所发出

一样。求此镜面的形状。

20. 盛有水银的容器以角速度 $\omega = 1/\text{秒}$ 绕竖直轴匀速旋转, 水银表面成为凹面镜。求此镜的焦距。

21. 从几何上证明: 若从 A 点发出的光线经平面镜反射后射到 B 点, 则此光线的路程较所有由 A 经该平面镜到 B 的其他光线的路程都要短。

22. 试证明: 可用下面方法作出某点 P 在球面镜里的象。过任一点 A 与曲率中心 C 及顶点 O 连直线 AO 和 AC (图 4), 由点 P 任引一直线交 AO 于 D , 交 AC 于 B ; 对角线 BO 和 CD 的交点为 E , 连接 AE 并延长与光轴交于 P' , 则点 P' 就是点 P 的象。

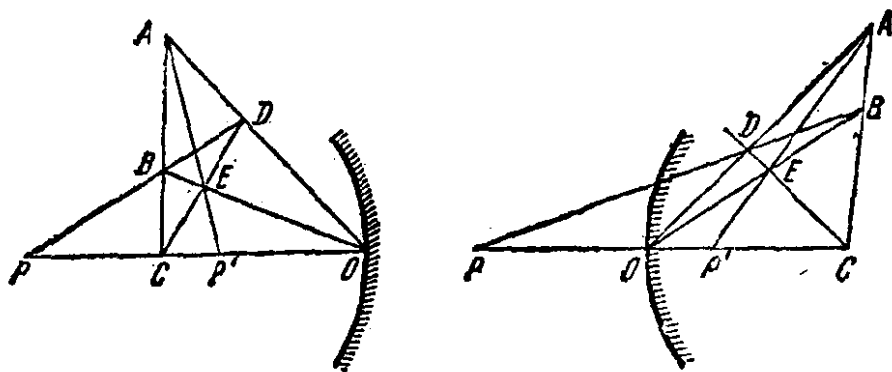


图 4

23. 试证明: 若从 A 点发出的光线经两种介质的界面折射后射到 B 点, 则此光程较连接 A 和 B 的所有其他光程都要短。

24. 由费马原理导出球面镜公式和薄透镜公式①。

25. 光入射到两种介质的界面上, 一部分反射, 一部分折射。入射角 φ 多大时, 反射光与折射光垂直?

26. 试证明: 当光线通过分别由平行的交界平面分开的几种

① 本书采用下列符号规则: 所有的距离都是从镜子或透镜 (或其他作为坐标原点的点) 算起, 其方向与光的传播方向一致为正, 反之为负。若入射光自左向右, 则该符号规则与解析几何中所采用的符号法则一致。

球表面的曲率半径在方向上是从球表面量到曲率中心, 相反, 焦距在方向上是从焦点量到镜子或透镜 (在厚透镜或者透镜组的情况下是从焦点量到相应的主平面)。

介质时, 出射光的方向仅与入射光的方向以及首末两种介质的折射率有关。

27. 试求厚度 $d=10$ 厘米、表面平行的玻璃板使以角 $\varphi=70^\circ$ 入射的光侧移了多少? 玻璃折射率 $n=1.5$ 。

28. 站在岸边的人看池底的石块。若视线与水面法线的夹角为 $\varphi=60^\circ$, 池深 $h=1$ 米, 水的折射率 $n=1.33$ 。那么在深 h' 为多少的地方可得到石块的象?

29. 在厚度 $d=15$ 厘米的玻璃板下边放一小颗粒。若视线垂直板面, 玻璃折射率 $n=1.5$ 。那么在与玻璃板的上表面距离 l 为多大的地方可得到颗粒的象?

30. 用显微镜观察 3 毫米厚的平面玻璃板。首先, 调节显微镜以看清板的上表面, 然后将显微镜筒向下移动, 直到看清下表面为止(为便于观察, 表面做有标记), 镜筒移动了 2 毫米, 求玻璃的折射率 n 。

31. 一物体放在表面平行的玻璃板后 $l_1=15$ 厘米处, 观察者透过玻璃板观察, 且视线垂直于玻璃板面, 求物体的象与玻璃板前表面的距离 l_2 。板厚 $d=4.5$ 厘米, 玻璃折射率 $n=1.5$ 。

32. 若在照象机内的光路上放一个与光轴垂直的玻璃板, 其厚 $d=6$ 毫米, 折射率 $n=1.5$, 照象机的焦点将如何移动? (物镜用很小的光圈。)

33. 物体位于凹面镜轴线上焦点之外, 在焦点与镜面之间放一个与轴线垂直的表面平行的玻璃板, 其厚度为 d , 折射率为 n 。试证明: 放入该玻璃板使象移动的距离, 与把镜子向物体移动 $d(n-1)/n$ 距离的效果一样。

34. 图 5 所示的折射棱镜, 折射棱角为 A 。试证明: 光的偏向角 δ 与入射角 φ 和 ψ' 、折射角 ψ 和 φ' 之间的关系式为

$$\frac{\sin[(A+\delta)/2]}{\sin(A/2)} = \frac{n \cos[(\psi-\psi')/2]}{\cos[(\varphi-\varphi')/2]}$$

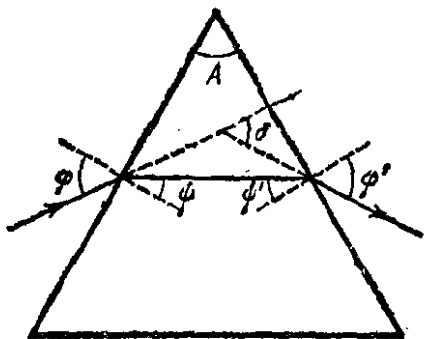


图 5

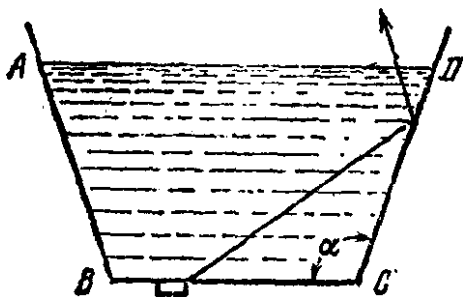


图 6

35. 试证明：在棱镜中光路对称时，平行光束通过棱镜的偏向角最小。求最小偏向角 δ 与棱镜物质的折射率 n 以及折射棱角 A 的关系。

36. 棱镜的折射棱角为 60° ，棱镜玻璃对 D 谱线的折射率 $n = 1.62$ 。问在棱镜中对钠 D 谱线的最小偏向角等于多少？

37. 光线通过棱镜后又经平面镜反射。试证明：若通过棱镜的光路对称时，则反射光对原来方向的偏向角与棱镜的折射率无关。

38. 盛有液体的圆筒状玻璃杯放在硬币上，透过杯的侧壁观察硬币。试求当看不到硬币时，液体的折射率 n 可能有的最小值。

39. 盛有水的梯形容器 $ABCD$ (图 6)，器底下面放一物体，为了使透过器壁看不到物体， α 角应取何值？水的折射率 $n = 1.33$ ，容器的底面为矩形。

40. 处于与棱镜的折射棱垂直的平面内的光线在棱镜中折射。试证明：若棱镜的相对折射率 $n > 1$ ，入射角保持不变，则光线的偏转随着折射棱角的增加而增大。同时证明：在同样条件下，当光线还能够从棱镜射出时，棱镜的折射棱角的最大值为

$$A = \arcsin \frac{\sin \varphi}{n} + \arcsin \frac{1}{n}$$

41. 棱镜折射棱角 A 很小。试计算最小偏向角 δ ，只计算到

二级小量（相对于 A ）。

42. 写出棱镜在最小偏转范围的角色散表达式。两条平行光线入射到棱镜上出来时，求两条光线将分开多大角度？棱镜对于经受最小偏转的第一条光线的折射率等于 1.500，而对另一条等于 1.501。棱镜的折射棱角为 60° 。

43. 利用下列石英色散数据，求六十度石英棱镜在各光谱段的角色散（单位：角秒/埃）：

区 间	$\lambda(\text{\AA})$	n
1	7685	1.5391
2	5893	1.5442
3	4861	1.5497
4	4100	1.5565
5	3034	1.5770
6	2537	1.5963
	1988	1.6509

44. 在装有六十度石英棱镜的光谱仪中，使用物镜焦距 $f = 50$ 厘米的暗箱。求线色散，单位为毫米/埃（对于上题所指出的区间）。

45. 由平面平行的壁组成的长方容器中充满液体，并将玻璃棱镜平放在容器底面上，如图 7 所示。液体和玻璃折射率与波长的关系曲线如图 8 所示。试说明白光束进入容器，并与底面平行地入射到棱镜上，将发生什么现象？白光分解为光谱吗？黄光、蓝光和红光将怎样行进？

46. 从一个波阵面到另一个波阵面所有光线的光程都相同，据此并注意到光线垂直于波阵面，试证明：“对无限远调焦”的望远镜角放大率等于进、出光束的宽度之比。

47. 通过棱镜观察远方物体，一般来说，它们的样子会失真，

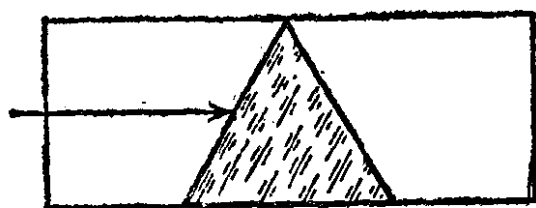


图 7

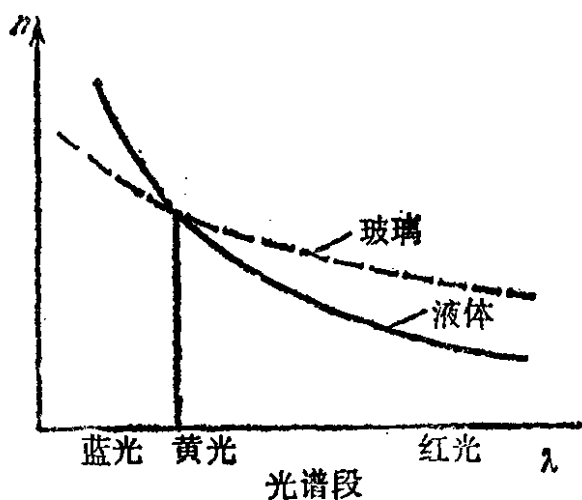


图 8

其中之一是象在垂直于棱镜的方向上展宽或压扁。为了不发生上述失真,应当使棱镜处于什么样的状态?

48. 怎样用两个棱镜来构成“望远镜”,使其在观察远方物体时,产生和物体相似而又任意放大的象。

49. 利用 46 题的结果证明:望远镜的放大率等于物镜焦距与目镜焦距之比。

50. 薄壁玻璃球充满水($n=4/3$)。观察者沿着该球的直径观察,见一小颗粒在沿同一直径由远端向近端移动。求小颗粒象的位置如何改变。球直径 $D=10$ 厘米。

51. 若戴上前凸后凹的玻璃眼镜,观察远方明亮物体,通常除看到一般的象外还看到缩小甚多的正象。试解释这个现象。

52. 折射率 $n>1$ 的双凸透镜,能与观察远方物体用的望远镜作用一样吗? 它将给出怎样的象——正的还是倒的? 若前、后球表面的曲率半径分别等于 R_1 、 R_2 ,厚度 d 应是多少? 角放大率 N 等于多少?

53. 使玻璃厚透镜(折射率 $n>1$)与望远镜一样,也给出远方物体角放大率为 N 的正象,该透镜应当是什么样的? 若前、后球表面的曲率半径分别为 R_1 、 R_2 ,该透镜的厚度 d 应等于多少? 角

放大率 N 与曲率半径 R_1, R_2 有什么关系?

54. 在物镜焦距为 20 厘米的照相机里安装毛玻璃,使距其 5 米处的物体现出清晰的象。应如何调整光圈的直径 D ,使得比被摄对象近 0.5 米的另外物体,不致产生明显模糊的象(若细节的模糊宽度不超过 0.1 毫米,就认为模糊不明显)。

55. 双凸透镜的表面是两个球面,其半径分别为 $R_1=25$ 毫米, $R_2=40$ 毫米。求透镜焦距 f 。透镜玻璃的折射率 $n=1.5$ 。

56. 用折射率 $n=1.5$ 的玻璃做成的透镜,其焦距 $f=10$ 厘米。现将透镜放入水中($n'=4/3$),求焦距 f' ?

57. 折射率 $n=1.53$ 的透镜放入二硫化碳($n'=1.63$)中,透镜焦距较之在空气中如何改变?

58. 折射率 $n=3/2$ 的薄会聚透镜使物体在其后 10 厘米处成实象。将物体和透镜沉没在水中之后,若不改变它们之间的距离,则物体在镜后 60 厘米处成象。水的折射率 $n'=4/3$,求透镜的焦距 f 。

59. 望远镜物镜的焦距 $f_1=60$ 厘米,目镜 $f_2=4$ 厘米,物镜和目镜玻璃的折射率 $n=3/2$ 。将望远镜沉没在水中,内部也充满水。为使其能观察到水中远方物体,应当用什么样的物镜(同种类玻璃)来代替望远镜原来的物镜?若水的折射率 $n'=4/3$,此时望远镜的放大率将等于多少?

60. 具有 9 倍放大率的伽利略望远镜长 40 厘米。今用会聚透镜来代替望远镜的物镜和目镜之后,仍具有同样大的放大率。试求此会聚透镜的焦距 f'_1, f'_2 以及伽利略望远镜物镜的焦距 f_1 和目镜的焦距 f_2 。

61. 物镜焦距 $f=50$ 厘米的望远镜,对无限远调焦。为了清楚地看到 50 米处的物体,目镜移动的距离 Δl 为多少?

62. 动物的眼睛应当有怎样的结构才能使动物在空气中和在水中,不用调节就能同样清楚地看见远方物体?

63. 距薄透镜 10 厘米的物体,成放大到两倍的正象。求透镜的焦距 f 。

64. 平行光束从左边射入图 9 所示的透镜系。求光束通过系统后会聚点的位置。

65. 透镜系如图 10 所示。求位于系统左端透镜的左边 10 厘米处一点的象。

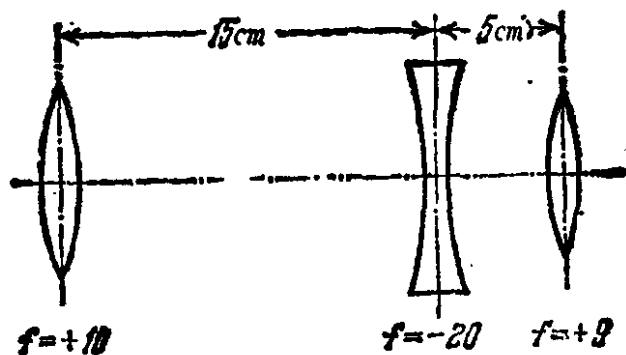


图 9

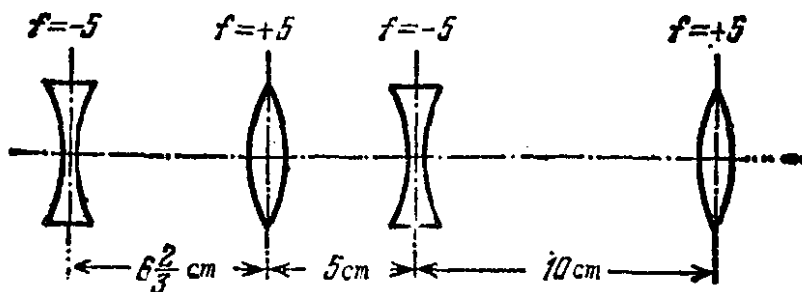


图 10

66. 显微镜的物镜焦距 $f_1 = 1$ 厘米,目镜焦距 $f_2 = 3$ 厘米,物镜和目镜之间的距离 $d = 20$ 厘米。物体应放在何处 (l_1),才能使最终的象成在眼睛前 $l_2 = 25$ 厘米(最小明视距离)处。此时,线性放大率 α 等于多少?

67. 在眼前移动透镜。试证明:若透镜为发散的,则观察者觉得通过透镜观察的物体和透镜朝同一方向移动;若透镜为聚光的,则觉得它们朝相反方向移动。

[说明] 此时,会聚透镜是作为放大镜使用的,物体在焦点和

透镜之间,得到正象。但当移动会聚透镜足够远离眼睛时,通过透镜观察远方物体,则得到物体的倒象。在这种情况下,透镜向某个方向移动,物体的象也就向同一方向移动。

68. 试证明:对于会聚透镜,两个光学共轭点间的最小距离等于 $4f$ 。 f 为透镜焦距。

69. 会聚透镜使物体在屏上成象,象的高度等于 a 。屏和物体不动,将透镜向屏移动,当第二次成象时,象的高度等于 b 。求物体的实际高度 h 。

70. 灯泡到屏的距离 $L=50$ 厘米。透镜在两者之间的两个位置上,可使灯泡在屏上清晰成象,两位置之间的距离 $l=10$ 厘米。求透镜的焦距 f 。

71. 把透镜焦距 f 看成极远处灯的象到透镜的距离。计算焦距时,为使其误差不超过 $p\%$,灯到透镜的距离 l 应为多少?

72. 电流计凹面小镜的焦距为 1 米。为了观察其偏转,最好利用望远镜(主观读数)。为此需要紧靠在小镜前放一透镜,使整个系统相当于一个平面镜。求此透镜的焦距。

73. 观察电流计平面镜 M 的旋转,使用如图11所示的系统(称为客观读数)。在平面镜 M 前放一透镜 L ,使照明器 S 射出的光通过透镜 L 后,经平面镜 M 反射,再次通过透镜 L 在标尺 N 上成实

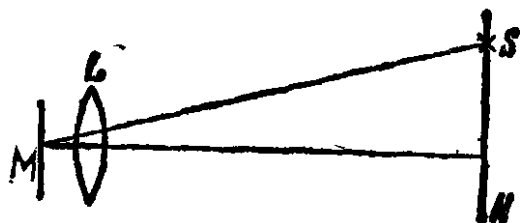


图 11

象,为使彼此相距很近的照明器 S 和标尺 N 位于距电流计 1.5 米处,应取焦距 f 为多大的透镜 L ? 可以认为透镜 L 与平面镜 M 靠得非常近。

74. 水平放置的凹面镜内盛有一些水,使物体在距镜 54 厘米的屏上成实象。将屏向镜靠近到 36 厘米时,再次成象。若水的折射率 $n=4/3$,求凹面镜的曲率半径 R 和物体到镜的距离 l 。

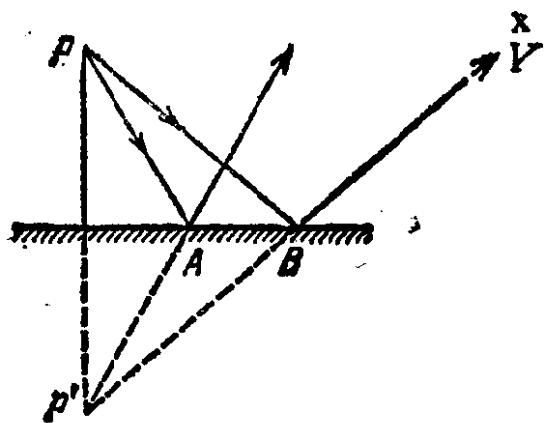


图 12

75. 照相机物镜的焦距为 12 厘米,暗箱可拉长 20 厘米。今要拍摄距物镜 15 厘米的物体,为使暗箱完全拉开时,能够呈现清晰的象,应在照相机的物镜上再附加一个什么样的透镜?

76. 众所周知,若 P' 点是 P 点的象,则连接这两点之间所有光线的光程都一样。现假设由平面镜反射得到象 P' ,如图 12 所示;折线 PBP' 比 PAP' 长。如何使这两种说法一致起来。

77. 两种均匀介质的折射率分别为 n 和 n' , 其分界表面对位于旋转轴上的共轭点 P 和 P' (其中 P 在无限远) 为消象差的旋转表面^①。求该表面方程。研究下列情况, 1) $n'^2 > n^2$; 2) $n'^2 < n^2$; 3) $n'^2 = n^2$ 。

78. 根据斯涅耳折射定律, 并利用椭圆和双曲线的几何性质, 证明: 1) 若旋转椭圆体相对其周围介质的折射率 $n = 1/e$ (其中 e 为椭圆体的偏心率), 则与轴线平行地射到旋转椭圆体上的光束会聚到椭圆体的后焦点上; 2) 若旋转双曲面体相对周围介质的折射率 $n = 1/e$ (其中 e 为双曲面体的偏心率), 则与轴线平行的光束射到双腔旋转双曲面体的一个腔上, 折射后成为发散光束, 其延长线准确地相交于双曲面体的前焦点(见上题)。

79. 如图 13 所示, 以 F_1, F_2 为焦点的旋转椭圆体 $BLAL$ 和以 F_1 为中心的球体形成透镜。试证明: 若透镜的折射率 $n = AB/$

^① 若从 P 点发出的所有光线, 在某个表面 S 上反射或折射后, 会聚到 P' , 则我们称 P 和 P' 是消象差的, 该表面 S 对于这两个点称之为消象差表面。关于这个概念, 往往使用术语“消球差”, 我们不用这个术语, 仅对那些满足正弦条件的消象差点, 才称为消球差点(见 159 题)。