

高等学校教学参考书

物理学习题集

第三册

北京大学物理系
中国科学技术大学物理教研室

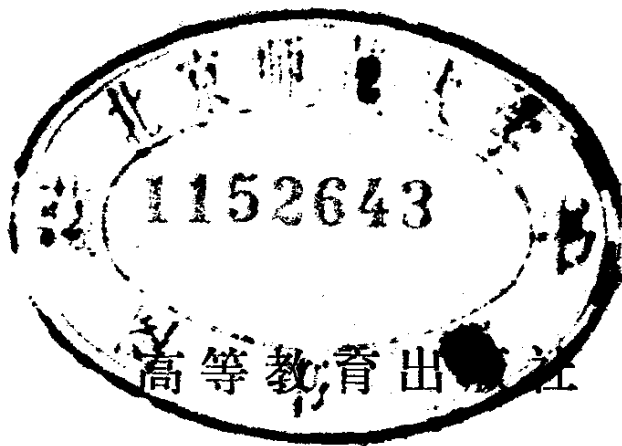
高等教育出版社

高等学校教学参考书

物理学习题集

第三册

北京大学物理系
中国科学技术大学物理教研室



本习题集是在中国科学技术大学钱临照教授和北京大学沈克琦教授主持下,由两校的有关同志执笔编写的。

本习题集内容丰富,涉猎面广,与当前高等学校物理专业的普通物理学课程配合比较紧密。全书共分三册。本书为第三册,内容为光学部分和近代物理学部分。光学部分内容包括:几何光学、光的干涉、光的衍射、光的偏振、光的吸收、发射和色散;近代物理学部分内容包括:波粒二象性、玻尔理论、量子力学初步、多电子原子、固体物理、等离子体物理、激光、原子核物理、放射性、核反应、核裂变、基本粒子。书末还附有本册的习题答案。

本书可作为高等学校物理专业的普通物理学课程的教学参考书,也可供电视大学、业余大学及理工科大学有关专业的教师、学生参考。本书还可供在职职工准备高等教育自学考试的有关课程时参考。

本书由中国科学技术大学白贵儒、金怀成、戚伯云等同志负责编写。

高等学校教学参考书

物理学习题集

第三册

北京大学物理系
中国科学技术大学物理教研室

高等教育出版社出版

四川省新华书店重庆发行所发行

重庆新华印刷厂印装

开本 787×1092 1/32 印张 14.25 字数 340,000

1983年4月第1版 1983年10月第1次印刷

印数 00,001—90,500

书号 13010·0870 定价 1.80 元

JY1/179/25

目 录

光 学

第一章	几何光学	1
§ 1	几何光学的基本定律	1
	一、费马原理与光线方程	1
	二、镜面反射	7
	三、折射	11
	四、全反射	17
§ 2	近轴成象	20
§ 3	光线矩阵	35
§ 4	光学仪器	39
§ 5	实际光学系统的象差与栏光	42
§ 6	光度学	47
第二章	光的干涉	51
§ 1	波的迭加原理	51
§ 2	分波面双光束干涉	54
§ 3	分振幅双光束干涉——等厚及等倾干涉	64
§ 4	多光束干涉	76
§ 5	薄膜干涉	82
§ 6	部分相干性	85
第三章	光的衍射	90
§ 1	菲涅耳衍射	90
	一、圆孔衍射	90
	二、环形波带片	94

三、直边衍射·····	97
§ 2 夫琅和费衍射·····	99
一、单缝衍射·····	99
二、单圆孔衍射·····	101
三、双缝、双圆孔衍射·····	107
四、其它形状孔径的衍射·····	108
§ 3 一维平面光栅·····	111
§ 4 其它光栅·····	117
§ 5 分辨本领·····	123
§ 6 傅里叶光学·····	129
第四章 光的偏振·····	140
§ 1 光的电磁性和矢量性·····	140
§ 2 透明物质界面上的折射与反射·····	145
§ 3 双折射·····	154
一、线双折射·····	154
二、圆双折射(旋光性)·····	160
§ 4 偏振光的干涉——波片 补偿片 色偏振·····	163
§ 5 电光效应和磁光效应·····	175
§ 6 琼斯矩阵·····	179
第五章 光的吸收、散射和色散·····	183

近代物理学

第一章 波粒二象性·····	191
§ 1 光的粒子性·····	191
§ 2 物质的波动性·····	202
第二章 玻尔理论·····	208
第三章 量子力学初步·····	225
§ 1 测不准原理·····	225
§ 2 算符与波函数·····	231
§ 3 薛定谔方程·····	233

第四章	多电子原子	241
§ 1	碱金属.....	241
§ 2	精细结构.....	242
§ 3	多电子原子.....	244
§ 4	全同粒子.....	248
§ 5	周期表.....	250
§ 6	磁场中的原子.....	251
§ 7	X 射线.....	256
第五章	分子与分子光谱	262
§ 1	分子的结合和电子态.....	262
§ 2	振动和转动能级 分子的红外光谱.....	264
§ 3	拉曼光谱.....	268
第六章	固体物理	271
§ 1	晶体结构.....	271
§ 2	晶体结合.....	276
§ 3	晶格振动和固体比热.....	278
§ 4	一般物性.....	281
§ 5	金属电子论.....	282
§ 6	半导体.....	286
§ 7	超导和磁性质.....	288
第七章	等离子体物理和激光	291
§ 1	等离子体物理.....	291
§ 2	激光.....	293
第八章	原子核物理	296
§ 1	核的一般性质.....	296
§ 2	核的结合能.....	296
§ 3	核磁矩.....	299
§ 4	核结构 核模型.....	299
第九章	放射性	301
§ 1	放射的基本规律.....	301
§ 2	天然放射性衰变.....	305

§ 3	放射性衰变中的能量与动量守恒	306
§ 4	衰变	308
第十章	核反应 核裂变	309
§ 1	核反应中的守恒定律	309
§ 2	核的反应能	313
§ 3	中子 势垒 截面	317
§ 4	超铀元素	318
§ 5	加速器	319
第十一章	基本粒子	321
§ 1	对称性和守恒定律	321
§ 2	带电粒子的湮灭	323
§ 3	介子	324
§ 4	基本粒子的理论问题	325
第三册	习题答案	329
光学		329
第一章	几何光学	329
第二章	光的干涉	338
第三章	光的衍射	347
第四章	光的偏振	360
第五章	光的吸收散射和色散	370
近代物理学		372
第一章	波粒二象性	372
第二章	玻尔理论	377
第三章	量子力学初步	381
第四章	多电子原子	388
第五章	分子与分子光谱	398
第六章	固体物理	402
第七章	等离子体物理和激光	429
第八章	原子核物理	432
第九章	放射性	433
第十章	核反应 核裂变	435

第十一章 基本粒子.....	439
附录一.....	443
附录二.....	444
附录三.....	446
附录四.....	447
附录五.....	448

第一章 几何光学

§ 1 几何光学的基本定律

一、费马原理与光线方程

1-1 费马原理与最短光程原理或最小光程原理一样吗? 试举例说明它们的差异。

1-2 利用几何光学的基本定律证明光路可逆定律。

1-3 平行光束正入射到透镜 L 上, 会聚于焦点 F 。如图 1-3 所示。 RT 是光线的波面。试证明光线 RF, SF, TF 等的光程是相等的。

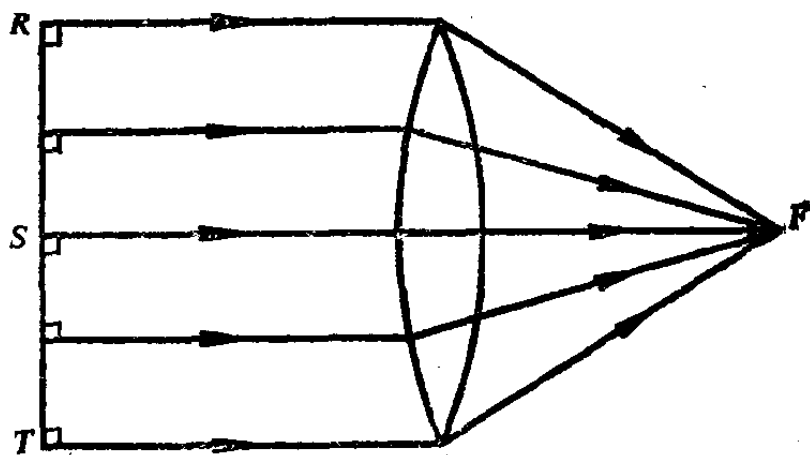


图 1-3

1-4 如图 1-4 所示, L 是透镜, M 是平面镜。试问光线 ACB 与 AOB 二者中, 哪一条光线的光程大些? 为什么?

1-5 如图 1-5, M 是凹面镜, O 是曲率中心, A 和 B 是相对于半径 OP 对称的两点。试用费马原理证明光线 APB 是通过 A, B 两点的的所有反射光线中的光程最长的一条光线。

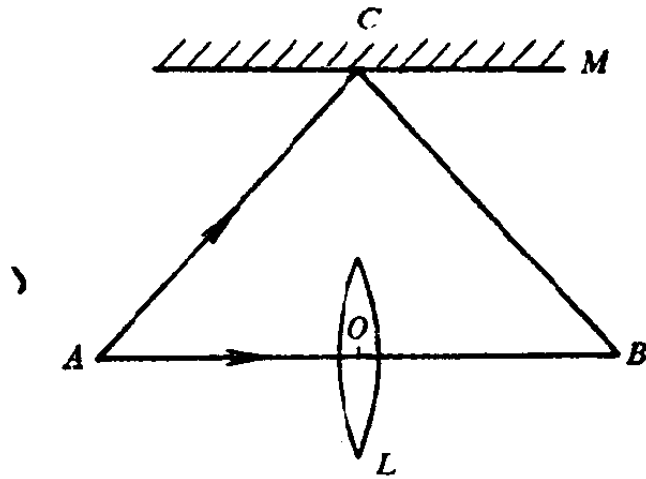


图 1-4

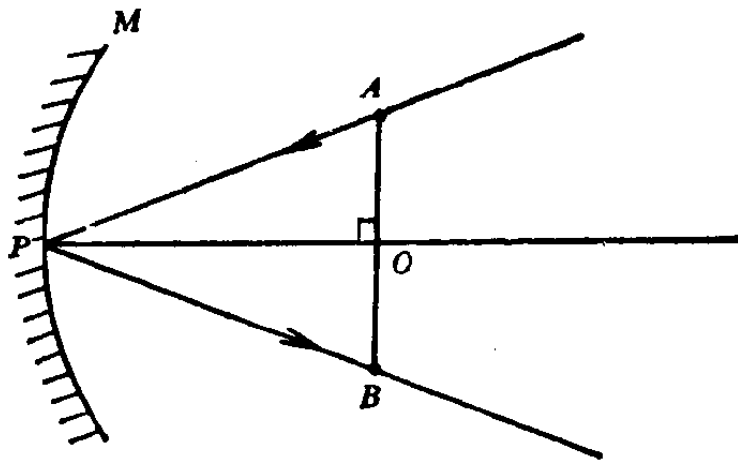


图 1-5

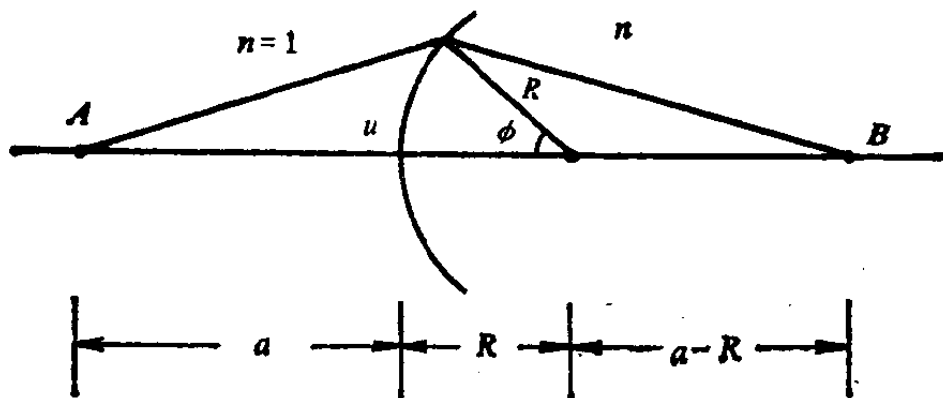


图 1-6

1-6 如图 1-6, R 是球面的曲率半径, n 为这个表面右侧的介质的折射率。求证: AuB 所代表的光线的光程为最小、稳定或最

大的条件取决于 $a < R \frac{n+1}{n-1}$, $a = R \frac{n+1}{n-1}$ 或 $a > R \frac{n+1}{n-1}$ 。

1-7 一半径为 R 的反射球内, P_1, P_2 两点相对于球心 c 对称, 与球心间距为 b 。设光线自 P_1 发出经 O 点反射后过 P_2 点(图 1-7)。

- (1) 试给出光程 $P_1O + OP_2$ 与任意角 θ 的函数关系;
- (2) 利用费马原理计算实际光线的 θ_0 值。

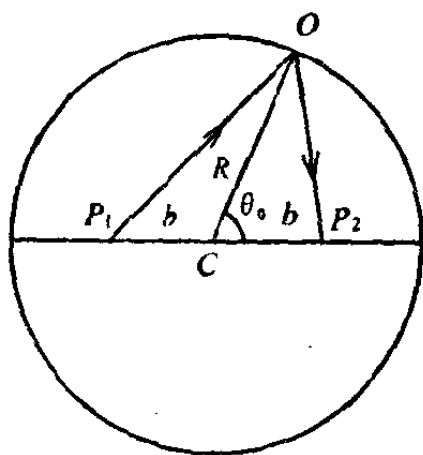


图 1-7

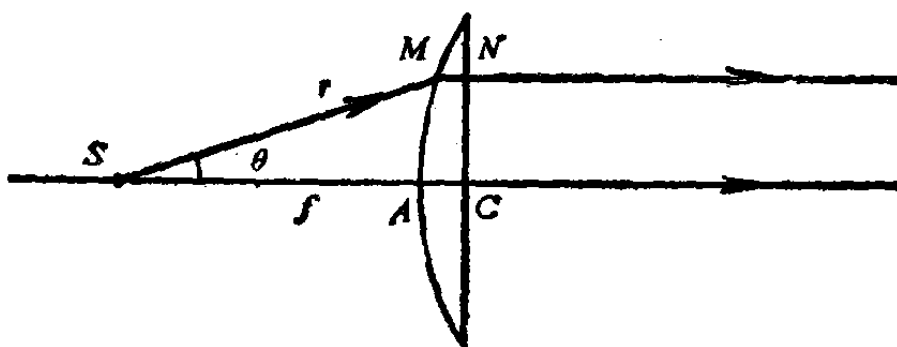


图 1-8

1-8 如图 1-8 所示。如果以 S 为中心的球面波经过折射率为 n 的平凸透镜而变成波面为 CN 的平面波。则透镜凸面的形状必为以 s 为焦点的旋转圆锥曲面(当 $n > 1$ 时为旋转双曲面; $n < 1$ 时为旋转椭球面)。试用等光程原理证明之。即由

$$f + n\overline{AC} = r + n\overline{MN}$$

导出:

$$r = \frac{f(1-n)}{1-n\cos\theta},$$

其中 $f = \overline{AS}$, $\overline{SM} = r$ 。

1-9 利用费马原理证明: 若椭圆的偏心率为 n_1/n_2 , 则平行于椭圆主轴的光线都聚焦到椭圆的一个焦点上。其中 n_1 及 n_2 分别为椭圆表面两侧的折射率。

1-10 利用等光程原理证明薄透镜在近轴近似下的成象公式:

$$\frac{1}{S'} - \frac{1}{S} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

1-11 利用等光程原理证明: 若要利用反射镜将平行光无象差地聚焦于一点, 则该反射镜的表面必为抛物面。

1-12 设透镜的第一折射面是椭球面, 第二折射面是球面, 球面中心与椭球面的焦点重合。试证明, 这样的透镜能使平行光理想聚焦。

1-13 设透镜孔径 10 厘米, 中心厚 2.5 厘米, 物与象都与光心相距 1 米。利用费马原理确定透镜材料的折射率。

1-14 经过等腰棱镜的光线平行于底面时的偏向角叫最小偏向角 δ_{\min} 。设棱镜顶角为 α , 折射率为 n 。试用等光程原理证明

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

1-15 试用费马原理直接说明光的互易原理。即光自某一点 P_1 出发, 沿某一定路程射至 P_2 点; 则自 P_2 点发出的光, 必沿同一路程射至 P_1 点。

1-16 从费马原理的变分形式

$$\delta \int_P^Q n(x, y, z) ds = 0,$$

导出光线方程

$$\frac{d}{ds}\left(n\frac{dr}{ds}\right)=\nabla n$$

其中 r 是光线上任一点的矢径即位置矢量，并作为光线弧长 s 的函数，有 $\frac{dr}{ds}=s$ (在近轴条件即 $ds\approx dz$ 下得近轴光线方程 $\frac{d}{dz}\left(n\frac{dr}{dz}\right)=\nabla n$)。

1-17 试用费马原理证明：在以 O 点为中心的各向同性的非均匀介质中 (即折射率 n 仅为 r 的函数, r 为任意点到中心 O 的距离), 经过 O 点和任意一点 A 的光线一定是直线。

1-18 在 300K 和 1 个大气压下, 空气对于可见光谱的中心波段的折射率 n 是 1.0003。假定大气层的温度为 300K。试计算: 为使光线以地球在海平面的曲率绕地球弯曲, 大气的密度须增加多少倍? (在这种情况下, 原则上我们可以在无云的天空整夜看日落。但是, 太阳将在垂直方向有很强的压缩。假定 $n-1$ 与密度成正比, 并设等温大气层的高度的 $1/e$ 是 8700 米。)

1-19 利用矢量形式的光线微分方程 $\frac{d}{ds}\left(n\frac{dr}{ds}\right)=\text{grad}n$, 证明:

- (1) 在一切均匀媒质中, $n=\text{常数}$, 光线的轨迹是一条直线;
- (2) 对于球面对称媒质, $n=n(r)$ (实际上地球大气就近似这种情况) 恒有关系

$$r \times ns = \text{常数},$$

此式常称为布给(Bouguer)公式, 它和动力学中著名的角动量守恒公式形式类似。

1-20 假设介质折射率沿 x 方向的变化为 $n^2=h+kx$ 。其中 h, k 是常数。试求 xy 面内光线的轨迹。

1-21 麦克斯韦的“鱼眼”是折射率连续变化、并且有球形对

称的介质。折射率函数为

$$n(r) = \frac{n_0}{1 + (r/a_0)^2},$$

其中 a_0 为常数。证明在这介质中，光线不论自何点向何方向发出，都将沿圆周传播。

1-22 已知光线在非均匀介质中的轨迹为 $x = A \sin(y/B)$ ，试求平面 $x = -A$ 与平面 $x = A$ 之间折射率的变化规律 $n = n(y)$ 。假定 n 仅依赖于 x ，并且在 $x = 0$ 处 $n = n_0$ 。

1-23 假定折射率 $n = n_0 e^{\alpha x}$ ，求解光线方程。并证明方程

$$x(z) = x_1 - \frac{1}{2} \ln \left[\frac{\sin \{ \alpha(z - z_1) + \theta_1 \}}{\sin \theta_1} \right],$$

其中，当 $z = z_1$ 时， $x = x_1$ ， $\tan \theta_1 = \left. \frac{dz}{dx} \right|_{x_1}$ 。

1-24 假定一介质的折射率变化规律为

$$n^2(x, y) = n_0^2 [1 - \alpha^2(x^2 + y^2)],$$

其中 $\alpha^2(x^2 + y^2) \ll 1$ 。

(1) 证明：在近轴下，光线方程可表述成

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dz^2} &\approx \frac{1}{2n_0^2} \frac{\partial(n^2)}{\partial x}, \\ \frac{d^2 y}{dz^2} &\approx \frac{1}{2n_0^2} \frac{\partial(n^2)}{\partial y}, \end{aligned}$$

设光线沿 z 轴传播；

(2) 证明：在近轴情况下的光线轨迹为

$$\begin{cases} x(z) = A \cos(\alpha z) + B \sin(\alpha z), \\ y(z) = C \cos(\alpha z) + D \sin(\alpha z), \end{cases}$$

其中， A, B, C 和 D 决定于初始条件；

(3) 证明此种光学纤维有自聚焦特性，即从一点发出的近轴光束周期性地重新聚焦于光轴上，并求出其周期；

(4) 说明离轴振荡光线与沿轴光线之间无时间延迟。

1-25 若地球大气层中各点的折射率 n 仅依赖于各点到地面的高度。

(1) 试证当光线传播方向与地平面成 θ 角时, 光线的轨迹满足方程

$$n \cos \theta = \text{常数};$$

(2) 假设折射率 n 随高度增加而减小。在折射率为 n_0 的地平面上有一个物体放在远处, 一个人站在折射率为 n 的高处观看这个物体。试证明这个人看到该物体升高了一个角度

$$\theta_0 = \left[\frac{2}{n} (n_0 - n) \right].$$

1-26 从波动理论的观点看来, 因为光线是波阵面的法线, 所以“由一点发出的光线永远与波阵面垂直”这一论断是不证自明的。试用费马原理, 从几何光学观点证明如下定理: 一正交系的光线经过任意数目反射和折射后仍然保持为正交系(常称为马吕士定理)。

二、镜面反射

1-27 试用作图法证明: 人欲在平面镜中看到自己的全身, 平面镜的长度至少有人身高的一半。

1-28 在月光下的湖面上, 经常见到一道银光, 一直伸向月亮方向。试用几何光学原理解释它的成因。

1-29 设两平面镜相交成直角,

(1) 证明存在一个与物完全一致的象;

(2) 当转动这两平面镜时, 上述性质的象在空间的位置是否变化?

1-30 如图 1-30 是一个菲涅耳双面镜。试证明光源 S 和它的两个虚象 S_1 和 S_2 位于一个以 O 为圆心的圆上, 且角 $S_1OS_2 = 2\alpha$ 。式中 α 是两面镜子的夹角。

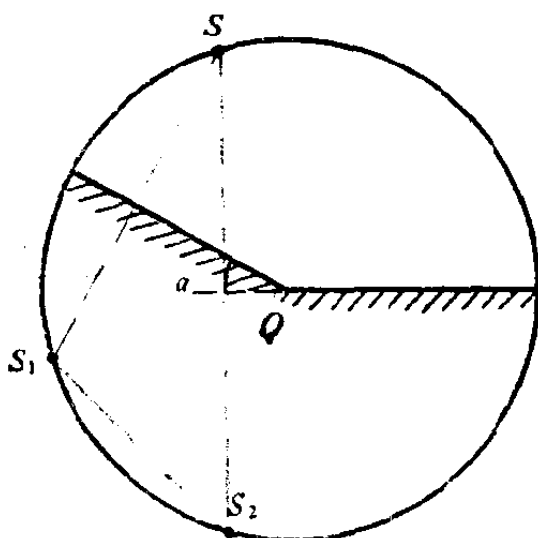


图 1-30

1-31 两平面镜以其边缘相接构成一个双面镜。一个人在离镜 7.2 米处向镜观察, 看到自己脸有两个象, 并且紧密相接。若人脸宽 20 厘米, 试求两平面镜的夹角 α 。

1-32 两平面镜交角为 α 。试证任何光线经两次反射后, 被转向 $(360^\circ - 2\alpha)$ 角。若 α 为 30° , 入射光平行于一镜面, 试证明经 $(180/\alpha - 1)$ 次反射后, 光线将循入射方向反射; 而经 $90/\alpha$ 次反射后, 则与入射方向垂直。

1-33 设有彼此相交(交角为固定值)的两个反射镜, 可绕其交线转动。在垂直于此交线的平面内, 有一光线连续为此两反射镜反射。试证: 不论反射镜转速如何, 反射光线方向保持不变。

1-34 两平面反射镜 M_1, M_2 夹角为 α , 反射面相对。今有一条光线以 50° 角入射到 M_1 反射镜上, 经在两反射镜之间四次反射后, 最后的反射线与 M_1 平行。求 α 角。

1-35 若两平面反射镜夹角为 α , 试求:

(1) 若入射光线经多次反射后沿原路返回, α 的可能

值及连续反射的次数；

(2) 若两光线夹一小角 θ , 同时入射, 经 n 次反射后两光线夹角变为多少?

1-36 物点 P 位于交角为 ϕ 的两面镜之间, 如图 1-36 所示。试证明, 物在两面镜中所成象的个数 N 由下式决定,

$$\frac{2\pi}{\phi} + 1 \geq N \geq \frac{2\pi}{\phi} - 1.$$

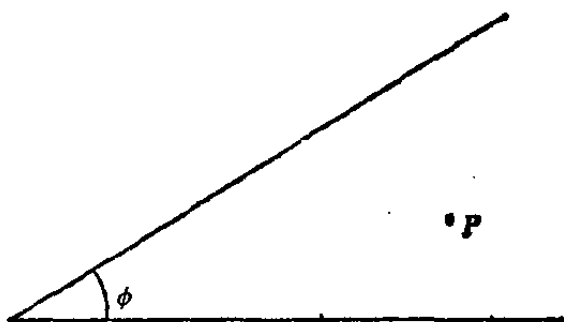


图 1-36

1-37 有一测量微小角度的仪器, 如图 1-37 所示。平面镜

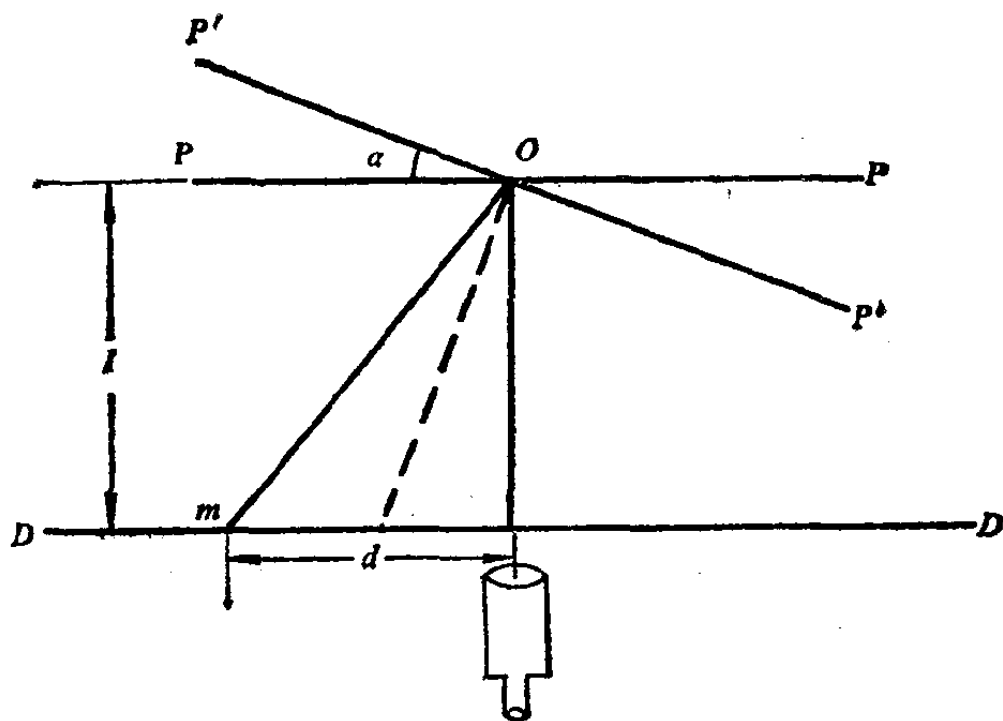


图 1-37

PP 与标尺 DD 平行, 望远镜的光轴过 O 点并垂直标尺 DD 。当待测