《基础物理实验》课程完整报告

学院： 物理学院　专业： 物理学　年级： 2024 级　地址： 陆佑堂

日期： 2025 年 12 月 5 日　　时间： 上午

室温： 20°C　　相对湿度：

实验人姓名（学号）： 周文斌 (　　)

参加人姓名（学号）： 焦润泽 (　　)

实验 D1 透镜和透镜组基本参数的测量

1　实验目的

1. 掌握自准法、二次成像法、物像放大法等测量薄透镜焦距的方法.

2. 学习透镜组基点的概念，理解焦点、主点、节点的物理意义.

3. 掌握透镜组基点的测量方法，探究透镜组焦距随透镜间距的变化规律.

2　仪器用具

器材类别	具体器材
光源	白光光源（溴钨灯）
底座	通用底座、升降底座、二维平移底座、三维平移底座
调节架	二维调节架、三维调节架、测微目镜架、双棱镜架、节点架
光学元件	凸透镜（$f = 150$ mm、190 mm、300 mm）、待测目镜（$f = 29$ mm）、1/10 mm 微尺分划板、平面反射镜
观察和检测设备	白屏、毫米尺、读数显微镜、直尺

表 1: 实验主要仪器用具

3　实验原理

3.1　薄透镜的焦距

薄透镜是指厚度远小于焦距，也远小于球面曲率半径的透镜，是光学仪器中最常用的光学元件之一. 透镜一般采用光学玻璃制作，具有两个折射面. 若折射面是球面的一部分则称为球面透镜，若不是球面则称为非球面透镜. 透镜折射面形状通常有凸球面、凹球面和平面三种，可组成双凸、平凸、正弯月、双凹、平凹、负弯月六种形状的透镜. 前三种透镜使入射的平行光会聚，像方焦距为正值，称为会聚透镜（或正透镜）；后三种透镜使入射的平行光发散，像方焦距为负值，称为发散透镜（或负透镜）.

1) 薄透镜成像公式

如图 D1.1 所示，平行光束通过薄透镜后的会聚点称为焦点，从焦点到透镜光心的距离称为焦距，物方焦距记为 f，像方焦距记为 f'. 本例中，透镜两面对称，物方和像方的介质均为空气，折射率相同，因此有 $f = f'$. 在近轴光条件下，薄透镜成像的位置关系可用高斯公式表示为

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \tag{D1.1}$$

其中，u 为物距；v 为像距. 如果 u 和 v 不从透镜光心 O 算起，而是从焦点 F 和 F' 算起，则将这两个量分别记为焦物距 x 和焦像距 x'. 假设物体在透镜左边，光线由左向右传播，可对 x 和 x' 的正负号作如下约定：

(1) 当物点 A 与透镜光心距离大于焦距 f，即 A 点在 F 点左侧，则 $x > 0$，反之 $x < 0$；

(2) 当像点 A' 与透镜光心距离大于焦距 f'，即 A' 点在 F' 点右侧，则 $x' > 0$，反之 $x' < 0$.

可得

$$u = x + f,\ v = x' + f \tag{D1.2}$$

代入式 (D1.1) 可得薄透镜成像的牛顿公式为

$$xx' = f^2 \tag{D1.3}$$

由图 1可知，薄凸透镜的横向放大率为 $M = -h'/h$，利用牛顿公式可得

$$M = -\frac{h'}{h} = -\frac{v}{u} = \frac{x' + f}{x + f} = -\frac{x'}{f} = -\frac{f}{x} \tag{D1.4}$$

其中，h 为物的高度；h' 为像的高度.

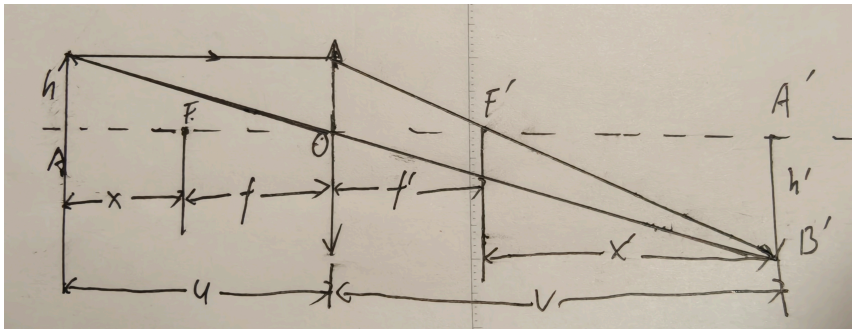


图 1: 薄凸透镜成像原理

2) 平行光法测薄透镜焦距

根据焦距的定义，测量透镜焦距最简单的方法就是采用平行光垂直照射透镜表面，然后改变透镜与观察屏之间的距离，找到光线会聚至光斑直径最小的位置，则该距离就是透镜的焦距. 平行光可直接采用太阳光或与透镜距离大于焦距 100 倍的光源发出的光，或让光通过两个共焦的透镜.

3) 自准法测薄透镜焦距

自准法测薄透镜焦距的光路如图 2所示，在透镜的像方放置平面反射镜且与光轴垂直. 实验中不断改变物 AB 与透镜之间的距离 u，当物 AB 处在透镜的物方焦平面上时，反射光所成的像是与物等大的倒立实像 $A'B'$，且 A A' F 三点重合. 图 2(a) 和 (b) 分别画出了轴线上的物点和非轴线上的物点的成像光路. 成像最清晰时的物距 u 就是物方焦距 f. 像方焦距 f' 的测量方法相同.

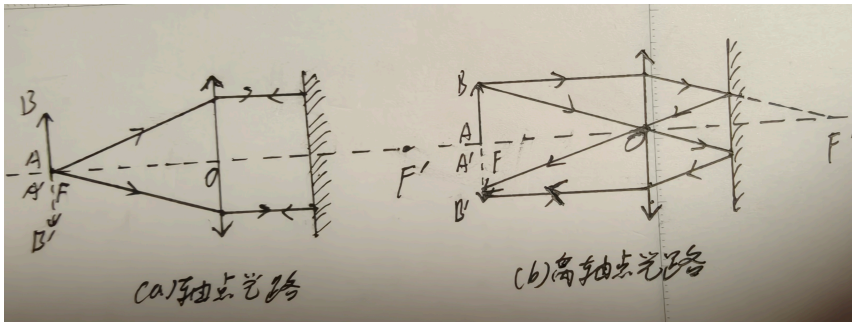


图 2: 自准法测薄透镜焦距光路图

4) 二次成像法测薄透镜焦距

测量薄透镜焦距的二次成像法也称为贝塞尔法，其光路如图 3所示，物 AB 与观察屏之间的距离 l 大于透镜焦距的 4 倍，即 $l > 4f$. 沿光轴移动透镜 L，使得观察屏上出现一个倒立清晰的放大像，设透镜的位置为 a_1；将透镜沿光轴向观察屏方向移动，直至屏上再次出现一个倒立清晰的像，此时的像为一个缩小的像，设透镜的位置为 a_2. 透镜前后两次成像间移动了距离 $d = a_2 - a_1$，根据式 (D1.1) 可得

$$\begin{cases} \frac{1}{a_1} + \frac{1}{l-a_1} = \frac{1}{f} \\ \frac{1}{a_2} + \frac{1}{l-a_2} = \frac{1}{f} \end{cases} \tag{D1.5}$$

可得透镜的焦距为

$$f = \frac{l^2 - d^2}{4l} \tag{D1.6}$$

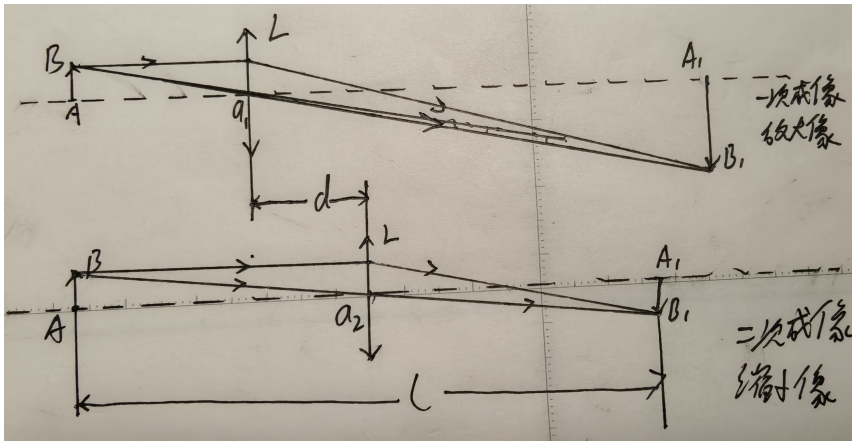


图 3: 二次成像法测薄透镜焦距光路图

5) 物像放大法测薄透镜焦距

按图 4光路，设物 AB 的高度为 h，使其通过透镜 L 成像，像高为 h'. 沿光轴前后移动读数显微镜的位置，直至在目镜中观察到清晰的像，且像与显微镜的分划板没有视差，则可在显微镜中直接读出 h' 的数值，根据式 (D1.4) 可知，此时的横向放大率为

$$M_1 = -h_1'/h = -x_1'/f \tag{D1.7}$$

此时，读数显微镜的位置 b_1 和透镜 L 的位置 a_1 之间的距离为

$$b_1 - a_1 = f + x_1' + \Delta \tag{D1.8}$$

其中，Δ 为读数显微镜的观测距离. 改变透镜 L 与物 AB 之间的距离，采用相同方法再次从读数显微镜中观察到清晰的像，则有

$$M_2 = -h_2'/h = -x_2'/f \tag{D1.9}$$

$$b_2 - a_2 = f + x_2' + \Delta \tag{D1.10}$$

对于给定的读数显微镜，Δ 是不变的，结合式 (D1.7)～式 (D1.10) 可得透镜焦距为

$$|f| = \frac{|(b_2 - b_1) - (a_2 - a_1)|}{|M_2 - M_1|} = \frac{|s|}{|M_2 - M_1|} \tag{D1.11}$$

其中，$s = (b_2 - b_1) - (a_2 - a_1)$ 为前后两次成像的观察镜移动距离与透镜移动距离之差.

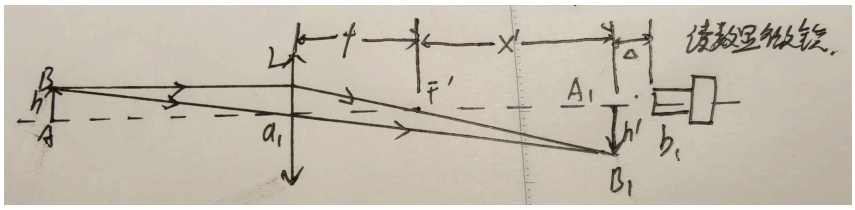


图 4: 物像放大法测薄透镜焦距光路图

3.2 透镜组的基点和基平面

两个以上薄透镜或者厚透镜组成的共轴球面系统称为透镜组，对称轴称为透镜组的光轴. 对透镜组来说，单个薄透镜的成像规律已不能简单地推广应用，透镜组已无法像薄透镜那样定义光心，故不能简单地将物距、像距等参量定义为物、像到光心的距离. 为更方便地描述系统在成像上的规律，对系统定义了几个特殊的位置，只要能确定这些特殊的位置，就不需要追究光线在透镜组内具体的传播过程，便可用公式法（高斯公式或牛顿公式）或作图法求解系统成像的情况. 这些特殊位置就是系统的焦点和焦平面、主点和主平面、节点和节平面，它们统称为系统的基点和基平面.

1) 焦点和焦平面

对一给定的透镜组而言，存在着一对点，一个为轴上无穷远处像点对应的物点，称为物方焦点 F；另一个为轴上无穷远处物点对应的像点，称为透镜组的像方焦点 F'. 通过焦点垂直于光轴的平面称为焦平面，相应的有物方焦平面和像方焦平面，如图 5所示.

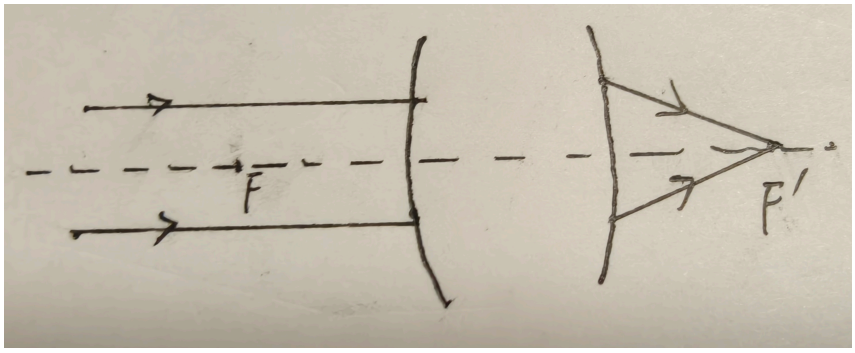


图 5: 透镜组的焦点和焦平面

2) 主点和主平面

在理想共轴透镜组中存在一对特殊的、垂直于光轴的共轭平面，若物体在其中一个平面内，则在另一平面内形成与物大小和取向都相同的像，即像的横向放大率为 $+1$，这一对共轭平面称为主平面（简称主面）. 主面与光轴的交点称为主点，与物方对应的主点称为物方主点，以 H 表示；与像方对应的主点称为像方主点，以 H' 表示. 对于单一薄透镜的情形，两主点 H 和 H' 与镜心重合，而在一般情形下，两主点是分开的.

如图 6所示，由 H 到 F 的距离称为物方焦距 f，由 H' 到 F' 的距离称为像方焦距 f'. 物方焦距 f 以物方焦点为计算起点，顺光路方向为正，逆光路方向为负；而像方焦距 f' 以像方主点 H' 为计算起点，也是顺光路方向为正，逆光路方向为负.

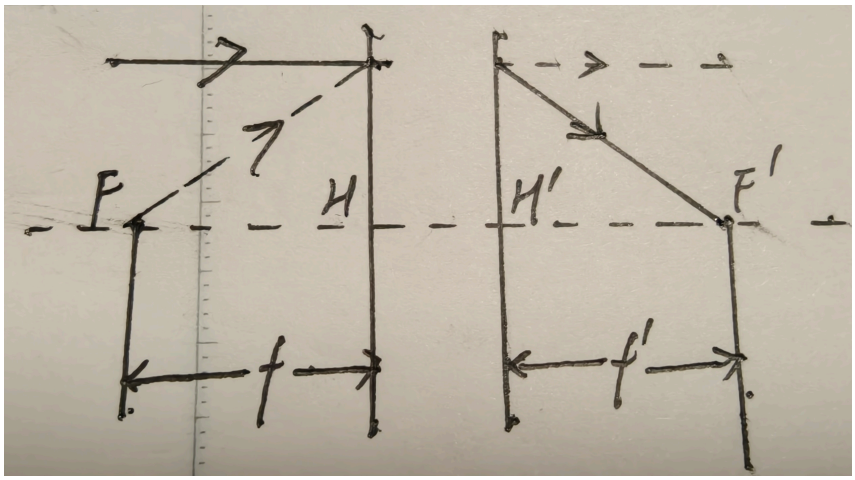


图 6: 主点和主平面

3) 节点和节面

在透镜组中,还存在着一对特殊的物像点,其物像的角放大率为 1,这对共轭点称为节点,以 N 和 N' 表示,如图 7所示. 凡是通过物方节点 N 的光线必通过像方节点 N',并且入射光线和出射光线平行. 若透镜组的物方和像方的介质折射率相同，则节点和主点位置重合.

若已找到透镜组的六个基点，那么高斯公式和牛顿公式也可适用，不必追究光线在透镜组中的实际传播细节,也能用作图法把物像关系表示出来. 图 8所示是一个由两个焦距分别为 f_1 和 f_2 的薄透镜组成的系统，光学间隔（即两透镜焦点间的距离）为 Δ，如虚线框内所示. 透镜组的焦点为 F F'，主点为 H H'，节点为 N N'，各点之间距离的符号顺光路定义为正，逆光路为负.

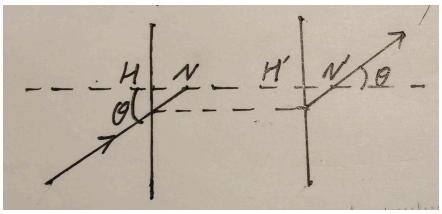


图 7: 节点和界面

使用的透镜组，多数情况下是放在空气中，物方和像方的介质折射率相同，节点与主点重合，如图 8所示. 在这种情况下，透镜组的成像规律只用四个基点就可以完全确定，通过跟踪物点 A 发出的三条光线，即平行于光轴入射过像方焦点出射、过物方焦点入射平行于光轴出射、过物方主点入射并过像方主点平行出射等三条光线，就可以得到所成的像点 A'.

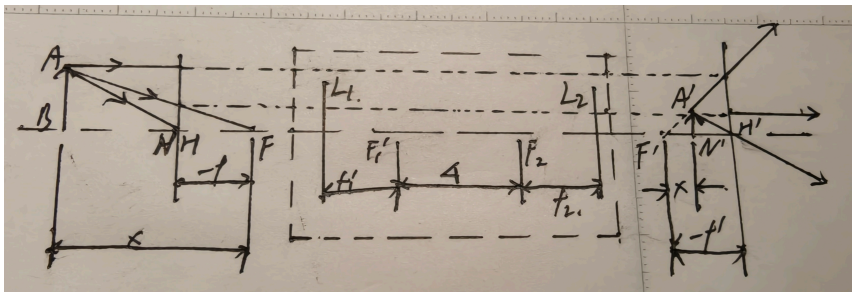


图 8: 作图法描述透镜组的成像

3. 透镜组基点和基平面的测量

确定焦点的位置在实验上是比较容易做到的，只要设法产生平行光（如自准法），并使平行光通过待测透镜组，然后沿光轴移动白屏确定出射光的会聚面，就可以确定透镜组的焦点和焦平面. 主点和节点位置的确定，需要用节点架来辅助完成. 如图 8所示，当透镜组置于空气中，物方和像方的介质折射率相同时，有 $-f = -f'$，则式 (D1.3) 的牛顿公式变为

$$f^2 = f'^2 = xx' \tag{D1.12}$$

其中，物距 x 和像距 x' 分别以物方焦点 F 和像方焦点 F' 为基准点，按薄透镜成像公式的方向来定义.

只要找出透镜组的两个焦点 F 和 F'，并在一定物距 x 下测得像距 x'，便能利用式

(D1.12) 计算出焦距的绝对值. 再由所成像的倒正，应用横向放大率公式

$$M = -f/x = -x'/f' \tag{D1.13}$$

来确定 f 和 f' 的符号. 知道了 f 和 f' 的大小和符号，便可根据透镜组焦距的定义来确定主点的位置.

4 实验内容及步骤

4.1 用自准法测薄凸透镜焦距

(1) 采用平行光法，利用太阳光或屋顶照明灯光，估测并记录被测透镜的焦距 f_0.

(2) 按图 9所示的装置图布置实验光路，并调节各元件等高共轴.

(3) 物屏 P 与透镜 L 之间的初始距离约为估测的透镜焦距，沿光轴移动 L，并调节反射镜 M 的方向，直至在物屏上观察到物屏镂空图案的倒立实像.

(4) 微移 L 位置使成像（边缘）最清晰且与物等大，物、像的对称中心重合.

(5) 测量并记录物屏 P 和透镜 L 中心的位置 a_1 和 b_1，则透镜焦距为 $f_1 = b_1 - a_1$.

(6) 将 L 绕支杆（竖直方向）旋转 180° 而底座位置不动，用相同方法调节出清晰的像.

(7) 测量并记录 P 和 L 的新位置 a_2 和 b_2，则透镜焦距为 $f_2 = b_2 - a_2$.

(8) 计算透镜 L 的焦距 $f = (f_1 + f_2)/2$ 及其不确定度，并与平行光法测量的结果 f_0 对比.

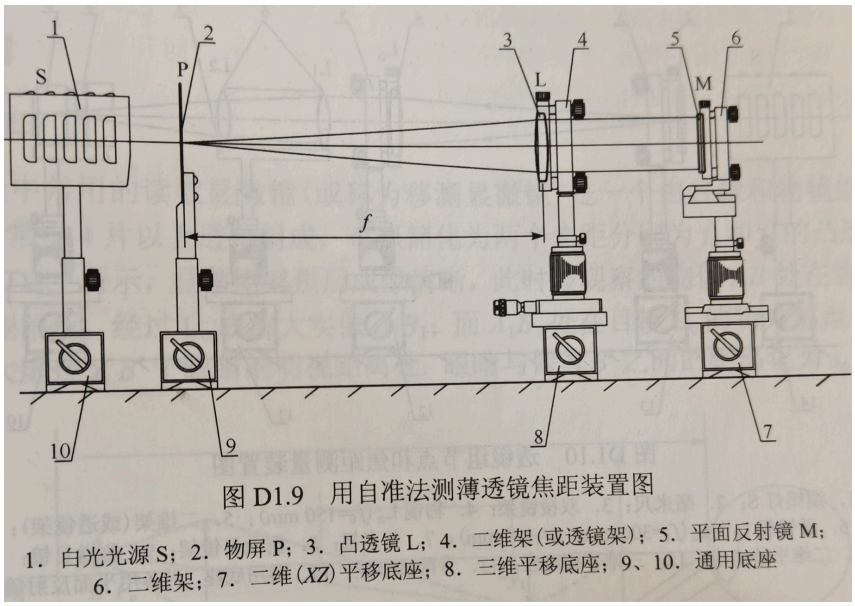


图 D1.9 用自准法测薄透镜焦距装置图

1. 白光光源 S；2. 物屏 P；3. 凸透镜 L；4. 二维架(或透镜架)；5. 平面反射镜 M；6. 二维架；7. 二维(XZ)平移底座；8. 三维平移底座；9、10. 通用底座

图 9: 用自准法测薄透镜焦距装置图

4.2 (选做) 用二次成像法和物像放大率法测透镜的焦距

自拟实验方案，完成测量，分析不确定度，并将测量结果与自准法测量结果进行比较.

4.3 透镜组基点的确定

将透镜组装入节点架，透镜 L_1 的焦距 $f_1 = 300$ mm，L_2 的焦距 $f_2 = 190$ mm，L_1 和 L_2 之间的距离取 60 mm. 如图 10所示，此时 L_1 为物镜，L_2 为目镜. 用自准法测出透镜组的物方焦点 F 与物镜 L_1 之间的距离，以及像方焦点 F' 与目镜 L_2 之间的距离.

4.4 透镜组节点和焦距的测定

光路采用图 10，测量步骤如下：

(1) 借助平面反射镜，用“自准法”调节毫米尺与准直镜 L_0 的距离，使毫米尺位于 L_0 的物方焦平面上，则通过 L_0 的光束为平行光.

(2) 加入透镜组 $(L_1 + L_2)$ 和测微目镜，调元件共轴，再沿光路前后移动测微目镜的位置，找到毫米尺的清晰像. L_1 和 L_2 之间的距离为 60 mm.

(3) 沿节点架导轨前后移动透镜组并保持 L_1 和 L_2 之间的距离 60 mm 不变，同时沿光路前后微移测微目镜的位置，直至节点架绕 z 轴作角度不大（小于 $\pm 5°$）的转动时，毫米尺像无横向移动，此时像方节点 N' 即在节点架的转轴上，即节点架导轨 0 刻度线对应的位置.

(4) 用白屏代替测微目镜接收毫米尺像，沿光轴前后移动白屏至毫米尺的像最清晰，则白屏与光轴的交点就是透镜组的像方焦点. 测量并记录白屏的位置 a_1、节点架转轴中心（即像方节点 N'）的位置 b_1，并从节点架导轨上读出透镜组中点位置与节点架转轴中心的偏移量 d_1. 由于判断测微目镜中的毫米尺像是否有横向移动以及白屏上的像是否清晰存在较大的人为误差，需进行多次测量.

(5) 将节点架绕 z 轴转动 180°，使透镜 L_2 正对光源，重复步骤 (3)～(5)，测得另一组白屏位置、物方节点 N 位置、透镜组中点对物方节点偏移量的数据 (a_2, b_2, d_2).

(6) 计算透镜组的物方焦距 f 和像方焦距 f' 及 A 类标准不确定度. 本实验中，根据定义可知透镜组的像方焦距 $f' = a_1 - b_1$，物方焦距 $f = a_2 - b_2$.

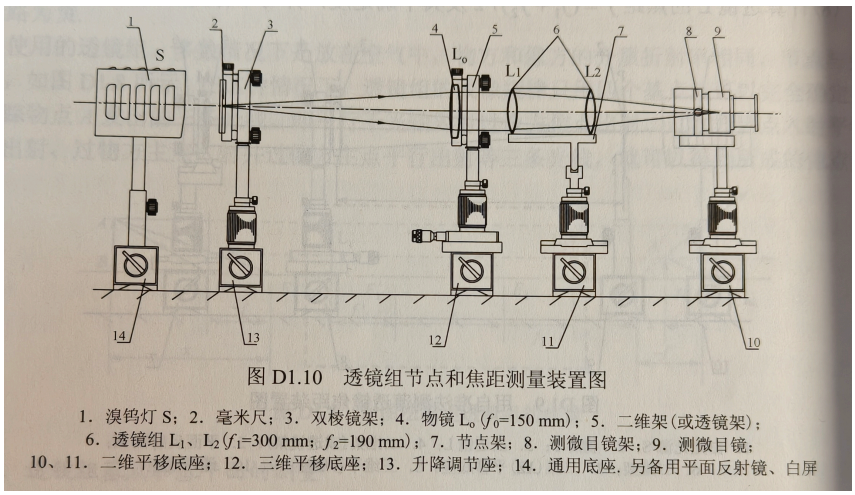


图 D1.10　透镜组节点和焦距测量装置图

1．溴钨灯 S；2．毫米尺；3．双棱镜架；4．物镜 L_o（f_0=150 mm）；5．二维架（或透镜架）；
6．透镜组 L_1、L_2（f_1=300 mm；f_2=190 mm）；7．节点架；8．测微目镜架；9．测微目镜；
10、11．二维平移底座；12．三维平移底座；13．升降调节座；14．通用底座．另备用平面反射镜、白屏

图 10: 透镜组节点和焦距测量装置图

4.5　透镜组焦距随透镜之间距离的变化关系

透镜组两透镜之间的距离分别取 40 mm、50 mm、70 mm、80 mm，采用上述相同的方法测量透镜组的物方焦距 f 和像方焦距 f'，讨论 f 和 f' 随两透镜之间距离的变化关系，并与理论计算值进行对比.

5　数据记录及处理

5.1　用自准法测薄凸透镜焦距

5.1.1　平行光法测量

薄凸透镜的焦距为：

$$f_0 = 15.00\,\text{cm}$$

5.1.2　自准法第一次测量

调节物屏 P 与透镜 L，使物屏上出现清晰的倒立等大实像，记录物屏位置 a_1 和透镜中心位置 b_1：

$$a_1 = 15.70\,\text{cm}, \quad b_1 = 30.85\,\text{cm}$$

计算焦距：

$$f_1 = b_1 - a_1 = 30.85 - 15.70 = 15.15\,\text{cm}$$

5.1.3　透镜旋转 180° 后测量

旋转透镜后重新调节，记录新位置：

$$a_2 = 20.69\,\text{cm}, \quad b_2 = 35.55\,\text{cm}$$

计算焦距：

$$f_2 = b_2 - a_2 = 35.55 - 20.69 = 14.86\,\text{cm}$$

5.1.4 平均焦距计算

两次自准法测量的平均焦距为：

$$\overline{f} = \frac{f_1 + f_2}{2} = \frac{15.15 + 14.86}{2} = 15.005\,\text{cm}$$

取三位有效数字：

$$\overline{f} = 15.01\,\text{cm}$$

5.1.5 不确定度分析

1. **A 类不确定度**：两次测量值分别为 $f_1 = 15.15\,\text{cm}$、$f_2 = 14.86\,\text{cm}$，平均值为 $\overline{f} = 15.005\,\text{cm}$。

单次测量的实验标准差为：

$$s(f) = \sqrt{\frac{(f_1 - \overline{f})^2 + (f_2 - \overline{f})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(0.145)^2 + (-0.145)^2}{1}} = 0.205\,\text{cm}$$

平均值的 A 类标准不确定度为：

$$u_A(\overline{f}) = \frac{s(f)}{\sqrt{n}} = \frac{0.205}{\sqrt{2}} = 0.145\,\text{cm}$$

2. **B 类不确定度**：使用毫米刻度尺测量位置，其最小分度为 $1\,\text{mm}$，取仪器误差限为 $\Delta_{\text{ins}} = 0.05\,\text{cm}$（估读到最小分度的一半）。

由于焦距 $f = b - a$ 涉及两次独立的位置测量，且每次测量的 B 类不确定度分量相同，按均匀分布处理（$k = \sqrt{3}$），则焦距的 B 类标准不确定度为：

$$u_B(f) = \frac{\Delta_{\text{ins}}}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2} = 0.041\,\text{cm}$$

3. **合成标准不确定度**：A 类和 B 类不确定度相互独立，合成标准不确定度为：

$$u_c(\overline{f}) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{(0.145)^2 + (0.041)^2} = 0.150\,\text{cm}$$

4. **扩展不确定度**：取包含因子 $k = 2$（置信概率约 95%），则扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\overline{f}) = 2 \times 0.150 = 0.30\,\text{cm}$$

5.1.6 最终结果表达

自准法测得的薄凸透镜焦距为：

$$f = (15.01 \pm 0.30)\,\text{cm}, \quad k = 2$$

平行光法估测值为 $f_0 = 15.00\,\text{cm}$，两者在不确定度范围内一致，说明两种方法具有较好的一致性。

5.1.7 相对不确定度

焦距测量的相对扩展不确定度为：

$$\frac{U}{f} \times 100\% = \frac{0.30}{15.01} \times 100\% \approx 2.0\%$$

测量精度较高，满足实验要求。

5.2 透镜组基点的确定

5.2.1 平行光法测量

薄凸透镜的焦距为：

$$f_1 = 30.00\,\text{cm} \quad f_2 = 19.00\,\text{cm}$$

间距：60 mm

5.2.2 自准法第一次测量

调节物屏 P 与透镜 L，使物屏上出现清晰的倒立等大实像，记录物屏位置 a_1 和透镜中心位置 b_1：

$$a_1 = 15.11\,\text{cm}, \quad b_1 = 24.45\,\text{cm}$$

计算焦距：

$$l_F = b_1 - a_1 = 9.34\,\text{cm}$$

5.2.3 透镜旋转 180° 后测量

旋转透镜后重新调节，记录新位置：

$$a_2 = 15.11\,\text{cm}, \quad b_2 = 25.78\,\text{cm}$$

计算焦距：

$$l'_F = b_2 - a_2 = 10.67\,\text{cm}$$

5.3 透镜组节点和焦距的测定

5.3.1 平行光法测量单个透镜焦距

已知薄凸透镜的焦距为：

$$f_1 = 30.00\,\text{cm}, \quad f_2 = 19.00\,\text{cm}, \quad \text{间距：}\ d = 6.00\,\text{cm}$$

5.3.2 自准法测量透镜组基点

根据自准法测量透镜组的物方焦点和像方焦点位置，分别计算焦距。

第一次测量（像方焦距） 调节物屏 P 与透镜 L，使物屏上出现清晰的倒立等大实像，记录物屏位置 a_1 和透镜中心位置 b_1：

$$a_1 = 15.11\,\text{cm}, \quad b_1 = 24.45\,\text{cm}$$

计算焦距：

$$f_1' = b_1 - a_1 = 24.45 - 15.11 = 9.34\,\text{cm}$$

第二次测量（透镜旋转 180° 后） 旋转透镜后重新调节，记录新位置：

$$a_2 = 15.11\,\text{cm}, \quad b_2 = 25.78\,\text{cm}$$

计算焦距：

$$f_2 = b_2 - a_2 = 25.78 - 15.11 = 10.67\,\text{cm}$$

5.3.3 透镜组节点和焦距的测定

测微目镜中毫米尺棱方节点位置 记录节点位置：

$$N' = 40.95\,\text{cm}$$

多次测量像方焦距数据 根据表格数据计算每次测量的像方焦距 $f_i' = a_{1i} - b_{1i}$：

表 2: 透镜组像方焦距测量数据

实验序号	a_1/cm	b_1/cm	d_1/cm	$f_i' = a_1 - b_1$/cm
1	54.20	41.01	1.00	13.19
2	55.21	42.00	1.00	13.21
3	52.41	39.00	1.00	13.41
4	51.19	38.00	1.00	13.19
5	50.13	37.00	1.00	13.13

计算像方焦距平均值：

$$\overline{f'} = \frac{13.19 + 13.21 + 13.41 + 13.19 + 13.13}{5} = 13.226\,\text{cm}$$

多次测量物方焦距数据 根据表格数据计算每次测量的物方焦距 $f_i = a_{2i} - b_{2i}$：

计算物方焦距平均值：

$$\overline{f} = \frac{13.38 + 13.44 + 13.41 + 13.61 + 13.69}{5} = 13.506\,\text{cm}$$

表 3: 透镜组物方焦距测量数据

实验序号	a_2/cm	b_2/cm	d_2/cm	$f_i = a_2 - b_2$/cm
1	51.38	38.00	1.00	13.38
2	52.44	39.00	1.00	13.44
3	53.41	40.00	1.00	13.41
4	54.61	41.00	1.00	13.61
5	55.69	42.00	1.00	13.69

5.3.4 A 类不确定度计算

1. 像方焦距 f' 的 A 类不确定度：

$$s(f') = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(f_i' - \overline{f'})^2}{5-1}} = 0.107\,\text{cm}$$

$$u_A(f') = \frac{s(f')}{\sqrt{5}} = 0.048\,\text{cm}$$

2. 物方焦距 f 的 A 类不确定度：

$$s(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5}(f_i - \overline{f})^2}{5-1}} = 0.136\,\text{cm}$$

$$u_A(f) = \frac{s(f)}{\sqrt{5}} = 0.061\,\text{cm}$$

5.3.5 结果分析

透镜组的像方焦距和物方焦距在误差范围内较为接近，但存在微小差异，这可能是由于透镜组的非对称性造成的。理论计算透镜组焦距公式为：

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$$

代入已知值 $f_1 = 30.00\,\text{cm}$，$f_2 = 19.00\,\text{cm}$，$d = 6.00\,\text{cm}$，得理论焦距：

$$\frac{1}{f_{\text{theo}}} = \frac{1}{30} + \frac{1}{19} - \frac{6}{30 \times 19} = 0.03333 + 0.05263 - 0.01053 = 0.07543$$

$$f_{\text{theo}} = 13.26\,\text{cm}$$

实验测量值 $f' = 13.23\,\text{cm}$ 与理论值 $13.26\,\text{cm}$ 的相对偏差为 0.23%，两者符合较好，验证了透镜组焦距公式的正确性。

6 思考题

(1) 采用三条基本光线绘图的方法画出自准法测量薄透镜焦距的实验原理光路图。

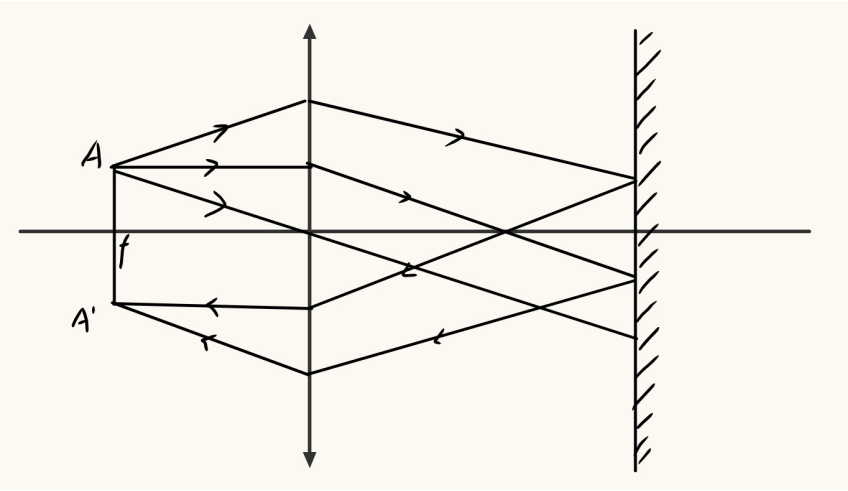


图 11

(2) 作光路图，画出被测透镜组及其各种基点的相对位置，并说明本实验中物方和像方节点与主点位置的特殊性。

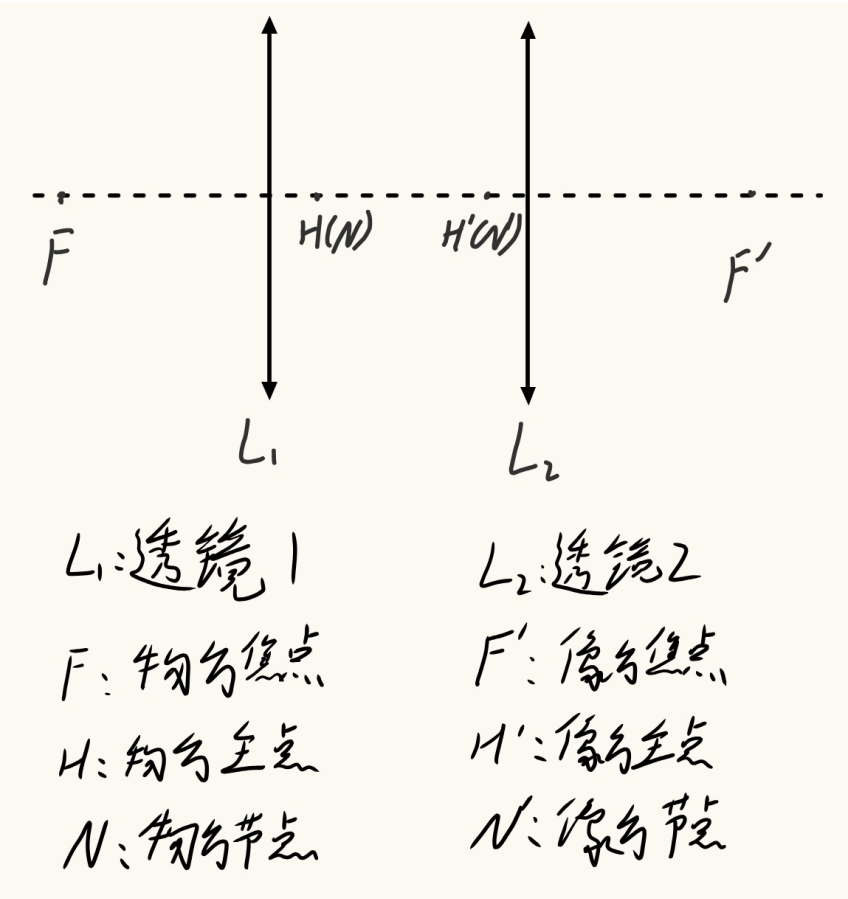


图 12

特殊性：物方节点 N 与物方主点 H 重合，像方节点 N' 与像方主点 H' 重合

节点的定义是“角放大率为 1”，主点的定义是“横向放大率为 1”；当物方、像方折射率相同时，透镜组节点与主点重合

(3) 用自准法测量薄透镜焦距时，为什么需要将 L 镜饶垂直方向旋转 180° 再测量？

答：核心目的是消除系统误差：

(a) 抵消透镜机械中心与光心不重合的偏差；

(b) 修正透镜两表面曲率不对称的加工误差；

(c) 削弱光路共轴调节的残余误差，提高测量精度。

(4) 薄透镜和厚透镜有什么区别？进行成像分析时两者的物理模型有什么区别？

答：

1. 薄透镜与厚透镜的区别：

(a) 薄透镜：厚度远小于焦距 (曲率半径)，可忽略；

(b) 厚透镜：厚度不可忽略，与焦距 (曲率半径) 可比。

2. 成像物理模型区别：

(a) 薄透镜：简化为“光心单点模型”，物距、像距以光心为基准，直接用高斯公式，基点 (主点、节点等) 重合；

(b) 厚透镜：需用“基点 - 基平面模型”，需标定焦点、主点等独立基点，物距 / 像距以主点为基准，无法简化为单点折射。

参考文献

[1] 沈韩. 大学物理实验[M]. 北京: 科学出版社, 2024.

附录：原始数据

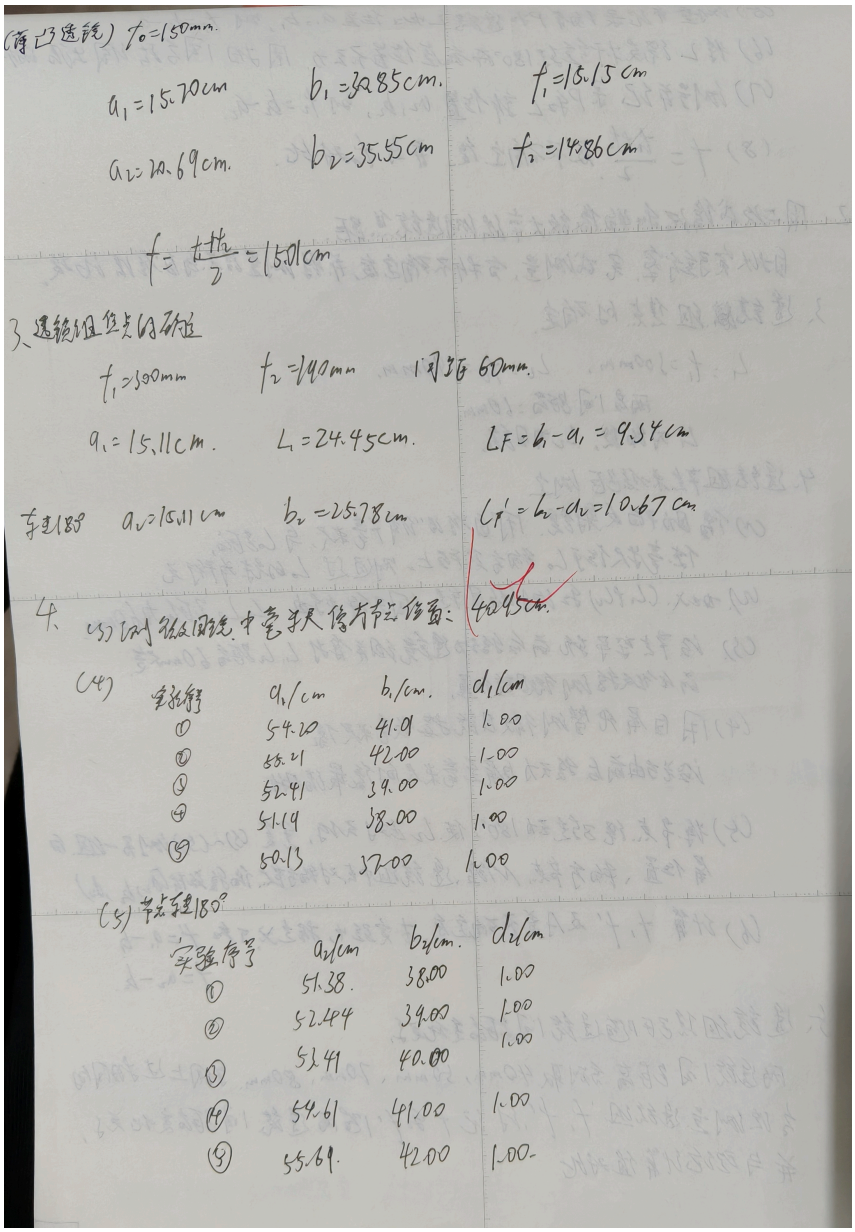

(凸透镜) f0=150mm.
a1=15.70cm
b1=30.85cm.
f1=15.15cm
a2=20.69cm.
b2=35.55cm
f2=14.86cm
f=(f1+f2)/2=15.01cm
3、透镜组焦点的确定
f1=300mm
f2=140mm
间距 60mm.
a1=15.11cm.
L1=24.45cm.
LF=b1-a1=9.34cm
李里189
a2=15.11cm
b2=25.78cm
LF'=b2-d2=10.67cm
4、
(4)
实验序
a1/cm
b1/cm.
d1/cm
①
54.20
41.01
1.00
②
55.21
42.00
1.00
③
52.41
39.00
1.00
④
51.19
38.00
1.00
⑤
50.13
37.00
1.00
(5)
实验序号
a2/cm
b2/cm.
d2/cm
①
51.38.
38.00
1.00
②
52.44
39.00
1.00
③
52.41
40.00
④
54.61
41.00
1.00
⑤
55.69.
42.00
1.00

图 13