

重庆大学“挑战式”研究性实验报告



专题:显微镜、望远镜的设计和组装 (正方)

班 级:

组 长:

小组成员:

2021 年 12 月 20 日

目录

1 引言.....	1
1.1 研究意义.....	1
2 原理和方案.....	1
2.1 实验原理.....	1
2.1.1 光学仪器的视觉放大率.....	1
2.1.2 显微镜.....	2
1. 显微镜的基本光学系统.....	2
2. 显微镜的视放大率.....	2
2.1.3 望远镜.....	3
1. 望远镜的基本光学系统.....	3
2. 望远镜的视觉放大率.....	3
3. 物像共面时的视放大率.....	4
4. 伽利略望远镜.....	5
2.2 实验步骤.....	6
2.2.1 开普勒望远镜.....	6
2.2.2 伽利略望远镜.....	6
2.2.3 显微镜.....	6
3 数据分析和结论.....	7
3.1 实验结果.....	7
3.2 实验测量误差分析.....	8
3.3 实验方案改进创新.....	8
3.4 数据处理分析的总结与思考.....	9
参考文献.....	10

1 引言

1.1 研究意义

显微镜是最常用的助视光学仪器，且常被组合在其他光学仪器中。因此，了解并掌握它的构造原理和调整方法，了解并掌握其放大率的概念和测量方法，不仅有助于加深理解透镜的成像规律，也有助于正确使用其他光学仪器。自从伽利略开始用自己组装的望远镜开始观察宇宙以后，人类的天文学便获得了极大的发展，从此之后各种天文望远镜层出不穷，现在哈勃望远镜在太空中观察着宇宙，试图告诉我们宇宙深层次的秘密。

显微镜和望远镜是最常用的助视仪器常被组合在其他的仪器中使用。毋庸置疑，前人已经对这些仪器研究得十分出色了，他们创造了一系列的测量仪器放大率的方法，并对其不断改进。但是，现在测量望远镜和显微镜的放大率仍然是个十分棘手的问题。于是，我们做了这个实验并做出了一定的改进。

2 原理和方案

2.1 实验原理

显微镜的发明及应用使得生物学、物理学、化学等学科获得了极大的发展，现在扫描隧道显微镜已经可以看到原子的活动。学习组装最简单的望远镜、显微镜对我们了解它们的原理有着极大的作用。

2.1.1 光学仪器的视觉放大率

显微镜被用于观测微小的物体，望远镜被用于观测远处的目标，它们的作用都是将被观测的物体对人眼的张角（视角）加以放大。显然，同一物体对人眼所张的视角与物体离人眼的距离有关。在一般照明条件下，正常人的眼睛能分辨在明视距离处相距为 $0.05\sim 0.07\text{mm}$ 的两点。此时，这两点对人眼所张的视角约为 $1'$ ，称为最小分辨角。当微小物体（或远处物体）对人眼所张视角小于此最小分辨角时，人眼将无法分辨，因而需借助光学仪器（如放大镜、显微镜、望远镜等）

来增大物体对人眼所张的视角。这是助视光学仪器的基本工作原理，它们的放大能力可用视觉放大率 Γ 表示，其定义为

$$\Gamma = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega}$$

式中 ω 为明视距离处物体对眼睛所张的视角， ω' 为通过光学仪器观察时在明视距离处的成像对眼睛所张的视角。

2.1.2 显微镜

1、显微镜的基本光学系统

显微镜的物镜、目镜都是会聚透镜，位于物镜物方焦点外侧附近的微小物体经物镜放大后先成一放大的实像，此实像再经目镜成像于无穷远处，这两次放大都使得视角增大。为了适于观察近处的物体，显微镜的焦距都很短。

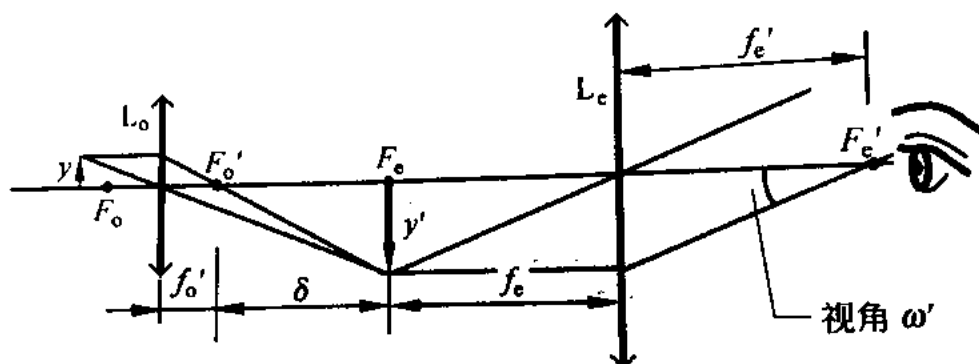


图1 显微镜基本光学系统

2、显微镜的视放大率

显微镜的视放大率定义为像对人眼的张角的正切和物在明视距离 $D=250\text{ mm}$ 处时直接对人眼的张角的正切之比。于是由三角关系得

$$\Gamma_M = \frac{y'/f_e'}{y/D} = \frac{Dy'}{f_e'y} = \frac{D\delta}{f_e'f_o'} = \beta_0\Gamma_e$$

其中， $\beta_0 = y'/y = \delta/f_o'$ 为物镜的线放大率， $\Gamma_e = D/f_e'$ 为目镜的视放大率。从上式可看出，显微镜的物镜、目镜焦距越短，光学间隔越大，显微镜的放大倍数越大。

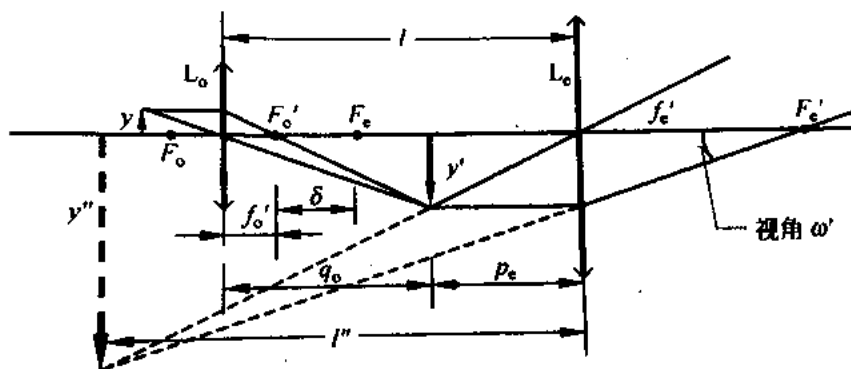


图 2 显微镜成像光路图

由上式可见，显微镜的放大率等于物镜放大率和目镜视觉放大率的乘积。在 f_o 、 f_e 和 D 的值已知的情形下，可利用上式算出显微镜的视觉放大率。显微镜通常配有一套不同放大率的物镜和目镜，可供选用。例如，使用 $20\times$ 物镜和 $5\times$ 目镜的显微镜，它的视觉放大率 $\Gamma = 20 \times 5 = 100$ 。一般显微镜的放大率为几十倍

2.1.3 望远镜

1、望远镜的基本光学系统

无穷远处物体发出的光经物镜后在物镜焦平面上成一倒立缩小的实像，再利用目镜将此实像成像于无穷远处，使视角增大，利于人眼观察。

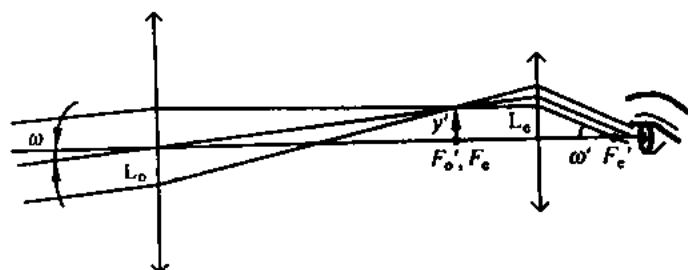


图 3 望远镜的基本光学系统

2、望远镜的视觉放大率

记目视光学仪器所成的像对人眼的张角为 ω' ，物体直接对人眼的张角为 ω ，则视放大率

$$\Gamma = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega}$$

由几何光路可知

$$\tan \omega = \frac{y'}{f_o'}, \quad \tan \omega' = \frac{y'}{f_e} = \frac{y'}{f_e'}$$

因此，望远镜的视放大率

$$\Gamma_T = \frac{f_0'}{f_e'}$$

实际测量望远镜无焦系统的视放大率时，利用图二所示的光路图。当物 y 较近时，即物距

$$L_1 < f_0'(1 + f_0'/f_e')$$

时，物镜所成的像会位于 O_e 右侧（实像）或左侧（虚像），经目镜后，即成缩小的实像 y'' ，于是视放大率

$$\Gamma_T = \frac{f_0'}{f_e'} = \frac{f_0'}{f_e'} = \frac{y}{y''}$$

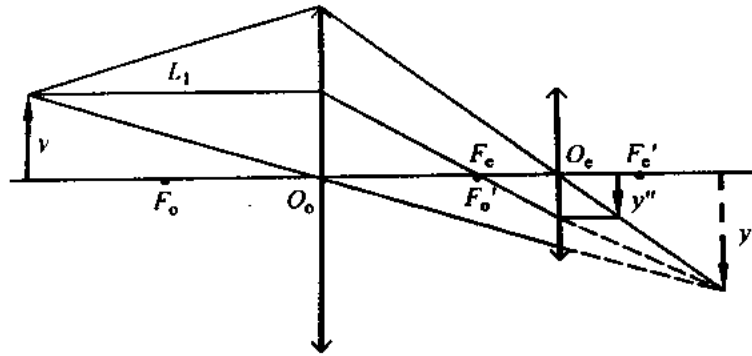


图 4 测望远镜的视放大率图

3、物像共面时的视放大率

当望远镜的被观测物位于有限远时，望远镜的视放大率可以通过移动目镜把像 y'' 推远到与物 y 在一个平面上来测量。如图三。此时

$$\tan \omega' = \frac{y''}{L}, \quad \tan \omega = \frac{y}{L}$$

于是可以得到望远镜物像共面时的视放大率

$$\Gamma_T = \frac{y''}{y} = \frac{f_0'(L + f_e')}{f_e'(L - f_0')}$$

可见，当物距 L_1 大于 20 倍物镜焦距时，它和无穷远时的视放大率差别很小。

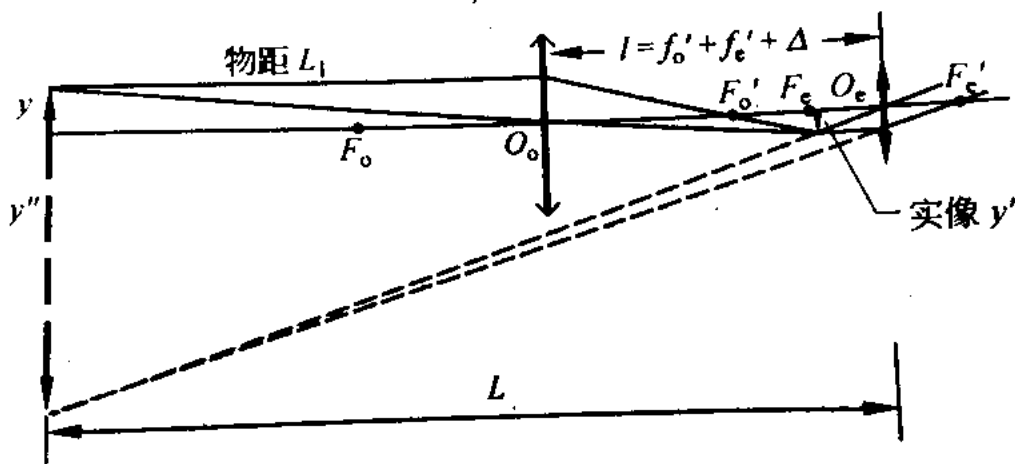


图5 测望远镜物象共面时的视放大率

4、伽利略望远镜

如图所示，伽利略望远镜由正透镜的物镜和负透镜的目镜组成，物镜的像方焦点重合并位于望远镜的外部。当不考虑眼瞳的作用时，物镜框就是系统的入射光瞳，经目镜成的是虚像，位于目镜的前方 O_1 、 O_2 是系统的出瞳，眼睛无法与之重合。当考虑眼睛时，眼睛就是出射光瞳，出瞳经系统成的像就是入瞳。

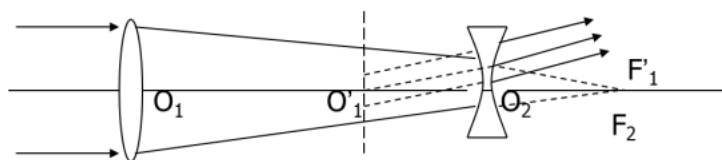


图6 伽利略望远镜光路图

伽利略望远镜的优点是镜筒短，光能损失小，结构简单便于携带。但它没有中间实像不能放置分划板。不能进行计量，另外有渐晕。因此只能作辅助性的观察，应用不及开普勒望远镜广泛。望远镜的放大率

$$\Gamma = \frac{\tan w'}{\tan w} = \frac{f_1}{f_2}$$

2.2 实验步骤

2.2.1 开普勒望远镜

(1) 根据设计要求选择合适的透镜作物镜和目镜，并在光具座上调节两透镜等高共轴。

(2) 计算物镜与目镜的间距 l ， $l=f_o+\Delta+f_e$ ($\Delta=2\text{cm}$)

(3) 测量望远镜的视放大率 $M_{\text{实测}}$ 时，可参考书本图 5.11.5 进行组装。

(4) 移动目镜，使得从目镜中能看到清晰的彩条屏的放大像。

(5) 使用平面镜成像原理，使彩条屏通过两次平面镜成像于原位. 然后用眼睛同时观察彩条屏的放大像和平面镜像，测出放大像中一个彩条宽度 y'' 和平面镜像中的彩条宽度 y ，则望远镜的视放大率 $M_{\text{实测}}=y''/y$ 。

2.2.2 伽利略望远镜

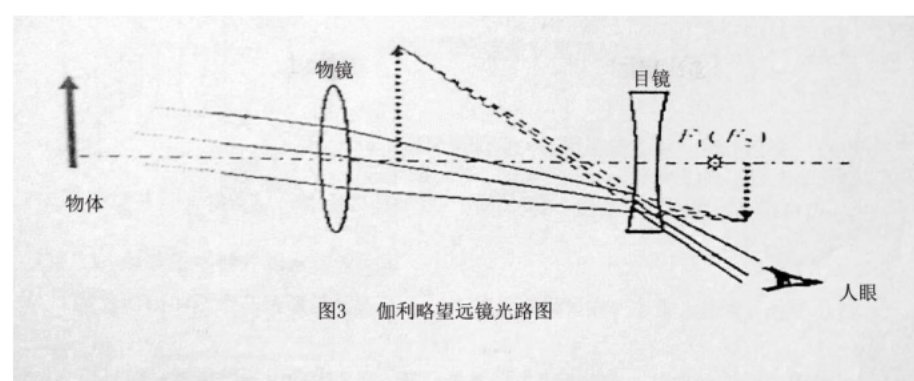


图 5 伽利略望远镜成像图

(1) 根据已知透镜的焦距确定一个为物镜（凸透镜）、另一个为目镜（凹透镜）

(2) 其余内容与开普勒望远镜类似。

2.2.3 显微镜

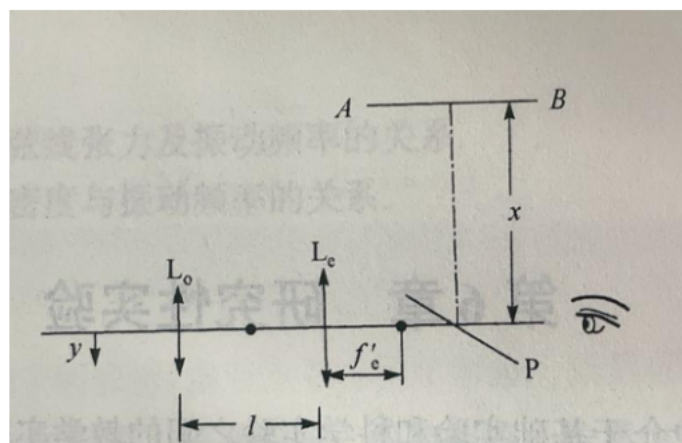


图6 组装显微镜光路图

(1) 根据设计要求选择合适的透镜作物镜和目镜，并在光具座上调节两透镜等高共轴。

(2) 计算物镜与目镜的间距 l ， $l = f_o + \Delta + f_e$ ($\Delta = 18 \text{ cm}$)。

(3) 测量显微镜的视放大率 $M_{\text{实测}}$ 时，可参考图 5.11.5 进行组装。

(4) 调节物距，反复加以比较，直至调整到光栅的像放大到最粗、最清晰且无变形。转动反射镜 P，使得通过 P 同时看到毫米标尺的像和玻璃标尺的像。此时显微镜的视放大率 $M_{\text{实测}} = y''/y$ 。

3 数据分析和结论

3.1 实验结果

1. 成功的根据实验内容组装了开普勒望远镜及伽利略望远镜，并测量出其放大倍数。

	f_o (mm)	f_e (mm)	M_o	像宽(像素)	物宽(像素)	M	成像	相对误差
1	200	30	11	11	1	10.2	倒立、放大	8.0%
2	200	-30	6	6	1		正立、放大	

2. 成功的根据方法一组装了显微镜并测量其放大倍数。

	f_o (mm)	f_e (mm)	Δ (mm)	y	y 上	y 下	y''	M 测	M 理	相对误差
1	25	30	160	0.2	89.5	99.5	10.0	50.0	53.3	6.2%
2	30	25	160	0.2	78.5	88.0	9.5	47.5	53.3	10%

3.2 实验测量误差分析

本次实验过程中，有很多的因素会引起实验产生误差。

1. 可能因透镜中所成的像并未达到最佳状态，就开始拍照，从而造成实验误差；

2. 实验也可能因透镜的磨损等原因造成透镜的实际焦距与实验室所给的焦距有所偏差，在计算中造成实验理论数据错误；

3. 计算放大率时，以其像的像素宽度与物的像素宽度之比作为实验测量的放大率，但因照片放大后图像变得模糊而使得读取的数据不够精确，造成实验误差；

4. 显微镜经两块凸透镜放大后图像凸起明显，造成像由平面变成曲面，是想的宽度测量时存在误差，可在物镜前加一块凹透镜改变其曲率，减小误差；

5. 微尺的刻度太过密集（最小分度为 $1/10\text{mm}$ ），难以读数；

6. 微尺与毫米尺上刻度太浅，照在平面镜上的印记太浅，且实验室里的平面镜经长久使用有划痕，使得平面镜模糊不清；

7. 实验时微米尺和毫米尺距离平面镜的距离较远，刻线在平面镜上的反射就很浅，看不清刻度线。

3.3 实验方案改进创新

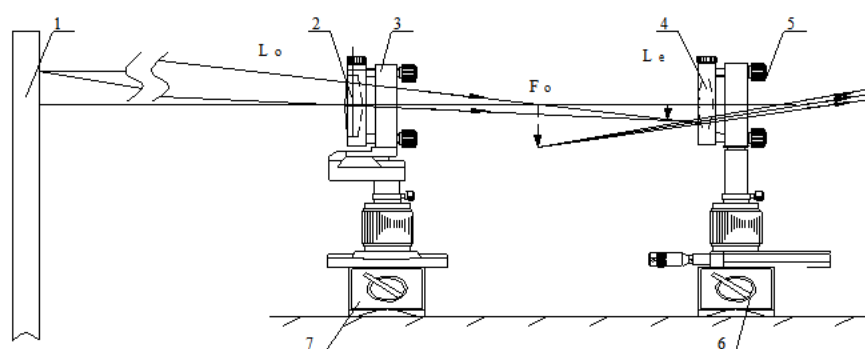


图 4

1、根据已知透镜的焦距确定一个为物镜、另一个为目镜，并将标尺直接置于观察者的明视距离处（约 3 米）。

2、将物镜、目镜放在一起，调节高低、左右方位，使其中心大致在一条与

光学平台平行的直线上，同时，各光学元件互相平行，垂直于光学平台。

3、按照图 3 的光路组成开普勒望远镜，向约 3 米远处的标尺调焦，使标尺刻度成清晰的像。

4、用数码照相机拍摄目镜中的像；保持相机位置及镜头焦距不变，直接对着标尺拍照。

5、将两张照片导入计算机，测量标尺上相同刻度对应的像素宽度，它们之比即为望远镜放大倍数。

3.4 数据处理分析的总结与思考

1. 在实验误差范围内，组装的望远镜与显微镜的放大率与理论值相同

2. 在实验过程中，不仅需要考虑实验原理，还要考虑实验的可行性，在测量显微镜放大率的方法二中，虽原理没有错误，但在实际操作过程中难以实施。

3. 本实验中，望远镜的分辨率与物镜的通光孔径有关，与目镜无关。目镜只能把像放大，不能增加系统的分辨率。

4. 本实验误差主要来自读书引起的偶然误差和光具组共轴等高的调节以及刻度尺周围亮度的不同都会给堵住带来很大误差。因此，这次实验仪器调节极其需要耐心，读数极其需要细心。

5. 由于人眼的缺陷（正常眼，近视眼，老花眼），我们在设计望远镜时必须考虑这个问题。因此目镜机构在望远镜轴线方向上一定留有一个调节自由度，才能使望远镜能适合不同的使用者。

参考文献

- 【1】李平, 大学物理实验. [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 1 (2005 重印) 137-142.
- 【2】李平, 大学物理实验教程(第 2 版). [M]. 北京: 机械工业出版社. 2006. 6 (2008. 3 重印) 176-179.
- 【3】吴泳华, 霍剑青, 然泳红. 大学物理实验. [M]. 北京: 机械工业出版社. 2006. 6 (2005 重印) 216-222.
- 【4】李学慧, 大学物理实验. [M]. 北京: 高等教育出版社. 2005. 6. 310-317