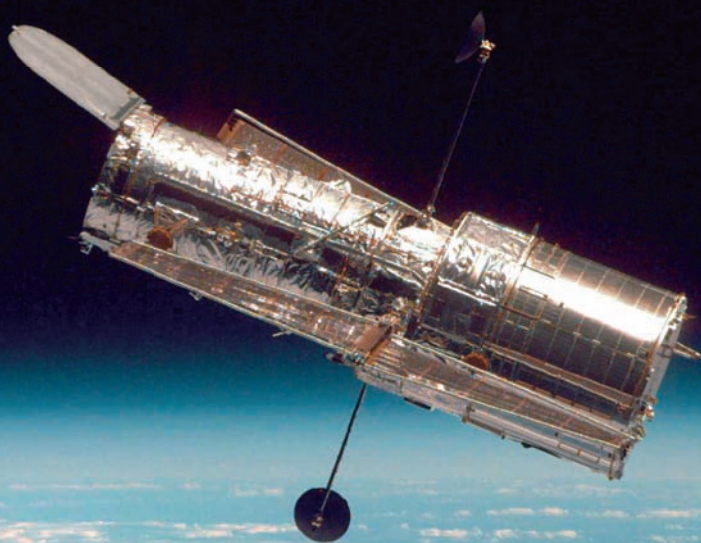


第五章 透镜及其应用

世界有多大？宇宙是什么样的？这些亘古以来就吸引并困惑着人类的问题，也经常萦绕在你的心头。人类怎样才能解开这些疑团呢？科学家们正在使用的一种方法就是，利用巨大的天文望远镜来观察、接收来自宇宙的信息。通过分析这些信息，人们对宇宙了解得越来越多了。然而你知道吗，这项伟大的事业竟然与小小的透镜密切相关。

这一章我们就来学习透镜的知识。



第1节 透镜



生活中人们经常使用眼镜、照相机、投影仪、显微镜等光学仪器。用照相机拍照，可以把瞬间情景留为永恒的记忆；利用投影仪，可以使教室里的同学看到放大的图片；医院化验室的医生，在显微镜下可以看见血液中的各种细胞。这些光学仪器与我们的生活息息相关，它们的主要部件都是**透镜**（lens）。

凸透镜和凹透镜

如果仔细观察眼镜，你会发现不同镜片的中间和边缘的厚薄不一样。远视镜片中间厚、边缘薄，这样的镜片是**凸透镜**（convex lens），如图5.1-1甲；近



图5.1-1 凸透镜和凹透镜

视镜片中间薄、边缘厚，这样的镜片是**凹透镜**（concave lens），如图5.1-1乙。透镜的两个表面中一般至少一个表面是球面的一部分。如果透镜的厚度远小于球面的半径，这种透镜就叫做薄透镜。

如图5.1-2，通过两个球面球心的直线叫做**主光轴**，简称**主轴**。主轴上有个特殊的点，通过这个点的光传播方向不变，这个点叫做透镜的**光心**。可以认为薄透镜的光心就在透镜的中心。

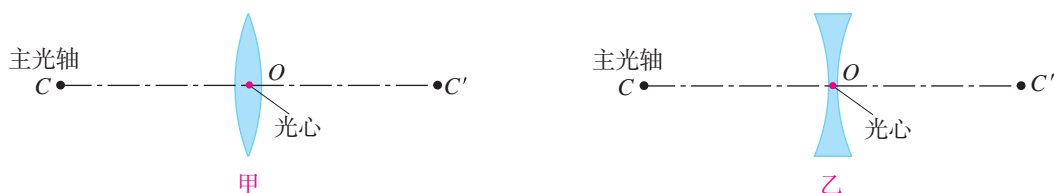


图5.1-2

除了眼镜外，很多光学仪器和日常用品也用到了透镜。例如照相机镜头就是由一组透镜组成的（图5.1-3）。

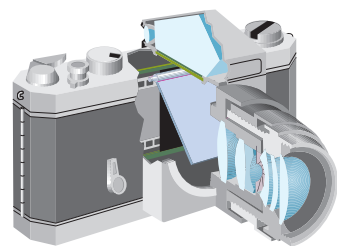


图5.1-3 照相机镜头剖面图

透镜对光的作用

许多同学可能做过这样的游戏：把一只放大镜正对着太阳光，再把一张纸放在它的另一侧，调整放大镜与纸的距离，纸上会出现一个很小、很亮的光斑（图5.1-4）。



图5.1-4 放大镜使光会聚

光斑处的温度很高，如果长时间照射，纸会被烤焦。这个现象提示我们，放大镜能把光线会聚起来。放大镜是凸透镜，看来凸透镜对光有会聚作用。那么凹透镜也能使光会聚吗？

下面我们通过实验来仔细研究这两种透镜对光的作用。

演示

1. 让平行于透镜主轴的几束光射向凸透镜，观察光通过透镜后的偏折方向（图5.1-5）。

2. 让平行于透镜主轴的几束光射向凹透镜，观察光通过透镜后的偏折方向（图5.1-6）。

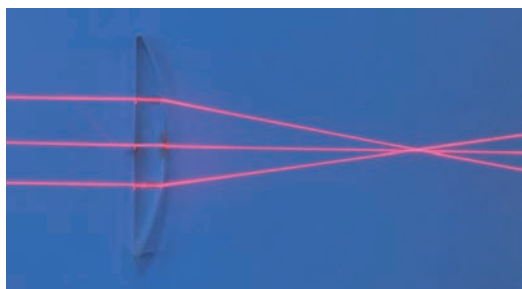


图5.1-5 凸透镜使光会聚

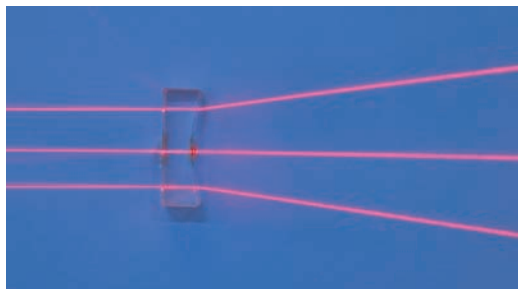


图5.1-6 凹透镜使光发散

实验表明，凸透镜对光有会聚作用，凹透镜对光有发散作用。因此，凸透镜又叫做会聚透镜，凹透镜又叫做发散透镜。

焦点和焦距

通过实验还可以发现，凸透镜能使跟主光轴平行的光会聚在主光轴上的一点，这个点叫做凸透镜的**焦点**（focus）。焦点到凸透镜光心的距离叫做**焦距**（focal length）。凸透镜两侧各有一个焦点，两侧的两个焦距相等。跟主光轴平行的光通过凸透镜的光路如图5.1-7所示。图中 F 表示焦点， f 表示焦距。凸透镜的焦距越小，透镜对光的会聚作用越强。

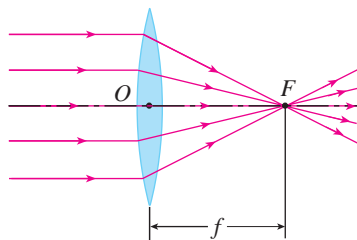


图5.1-7 凸透镜的焦点和焦距

想想做做

太阳离我们非常远，射到地面的阳光可以看做平行光。想一想，怎样利用阳光测量凸透镜的焦距。找几个不同规格的凸透镜，试着测量它们的焦距。



动手动脑学物理

1. 如图 5.1-8, 甲、乙两个凸透镜的焦距分别是 3 cm 和 5 cm。按照 2:1 的比例画出平行光经过它们之后的光线。哪个凸透镜使光偏折得更显著些?

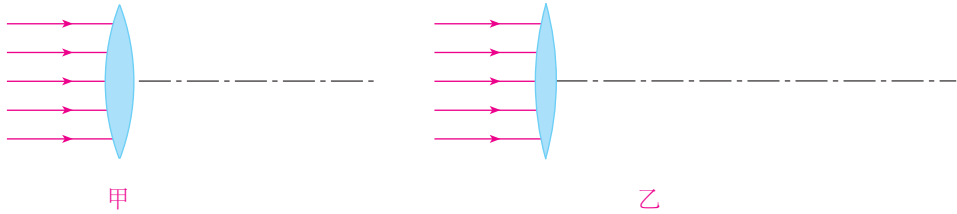


图 5.1-8

2. 要想利用凸透镜使小灯泡发出的光变成平行光, 应该把小灯泡放在凸透镜的什么位置? 试试看。在解决这个问题的时候, 你利用了前面学过的什么知识?

3. 一束光通过透镜的光路如图 5.1-9 所示, 哪幅图是正确的?

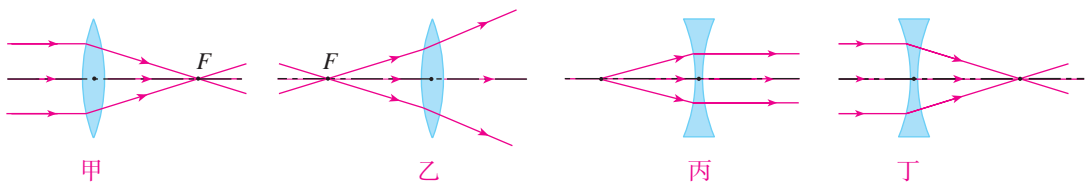


图 5.1-9 哪幅图是正确的?

4. 根据入射光线和折射光线, 在图 5.1-10 中的虚线框内画出适当类型的透镜。

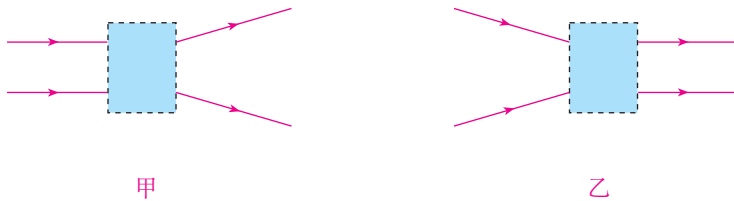
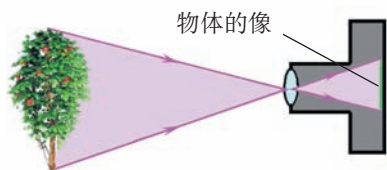


图 5.1-10

第2节 生活中的透镜

照相机

仔细观察照相机，你会发现所有照相机的前面都有一个镜头。镜头是由一组透镜组成的，相当于一个凸透镜。来自物体（人或景物）的光经过照相机镜头后会聚在胶片上，形成被照物体的像（图5.2-1甲）。照相时，物体离照相机镜头比较远，像是缩小、倒立的。早期照相馆里，摄影师取景时看到的像就是缩小、倒立的（图5.2-1乙）。现在的相机利用光学或电子技术，把倒立的像转变成正立的，以便于观察。



甲 照相机原理



乙 照相机成缩小、倒立的实像

图5.2-1



想想做做

自制模型照相机

用硬纸板做两个粗细相差很少的纸筒，使一个纸筒刚好能够套入另一个纸筒内，并能前后滑动（图5.2-2）。在一个纸筒的一端嵌上一个焦距为5~10 cm的凸透镜，另一个纸筒的一端蒙上一层半透明薄膜。这样就做成了模型照相机。

在较暗的室内，把凸透镜对着明亮的室外，拉动纸筒，改变透镜和薄膜间的距离，就可以在薄膜上看到室外景物清晰的像。如果把薄膜换成感光胶片，就可以得到照相底片了。

观察时请注意，薄膜上的景物是不是倒立的？

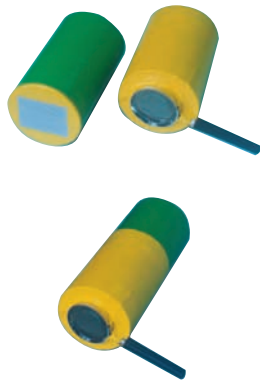


图5.2-2

胶片相机的胶片上涂着一层对光敏感的物质，这种物质在受到光的照射后发生化学变化，物体的像就被记录在胶片上。现在生活中常使用数码相机，数码相机用一种电荷耦合器件代替胶片。这种电荷耦合器件能把光信号转换成电信号，从而很方便地记录下物体的像。

无论是胶片相机还是数码相机，它们的成像都离不开透镜。

投影仪

投影仪也是利用凸透镜来成像的。

演示

把投影仪上的平面镜（反光镜）取下，投影片放到载物台上。调节镜头，在天花板上就能得到投影片上图案清晰的像（图 5.2-3）。观察像的大小、正倒。

投影仪上有一个相当于凸透镜的镜头，来自投影片上图案（物体）的光，通过凸透镜后会聚在天花板上，形成图案的像。物体离投影仪镜头比较近，像是放大、倒立的。

现在会议室、教室用的投影仪（图 5.2-4），通常与电脑相连，电脑上的字或图通过投影仪被放大的原理和上面说的投影仪的类似。

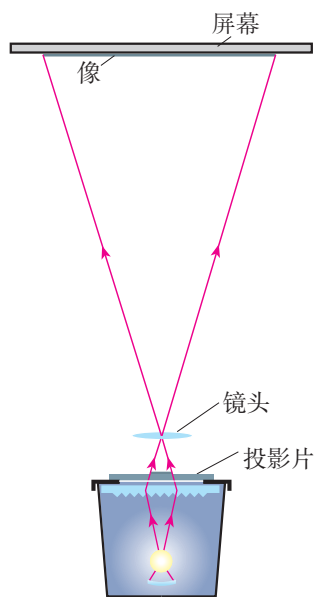


图5.2-3 投影仪成像原理



图5.2-4 便携式投影仪

放大镜

生活中常用的放大镜就是一个凸透镜，它是最常用的光学仪器之一。把放大镜放在物体跟眼睛之间，适当调整距离，我们就能看清物体的细微之处。这时我们看到的像是放大、正立的（图 5.2-5）。



图5.2-5 放大镜

实像和虚像

照相机和投影仪所成的像，是光通过凸透镜射出后会聚而成的。如果把感光胶片放在像的位置，确实能够记录下所成的像。这种像叫做**实像**（real image）。由于实像是来自物体的光通过凸透镜射出后会聚而成的，所以物体和实像分别位于凸透镜的两侧（图 5.2-6）。

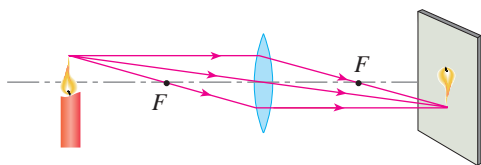


图5.2-6 凸透镜成实像情景：光屏能承接到所成的像，物和实像在凸透镜两侧。

平面镜所成的像是虚像，放大镜所成的像也是虚像。凸透镜成虚像时，通过凸透镜出射的光没有会聚，只是人眼逆着出射光的方向看去，感到光是从放置物体那一侧成虚像处发出的，物体和虚像位于凸透镜的同侧（图 5.2-7）。

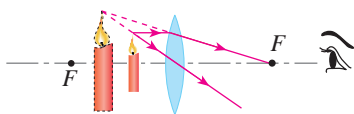


图5.2-7 凸透镜成虚像情景：光屏不能承接到所成的像，物和虚像在凸透镜同侧。

动手动脑学物理

1. 照相机的镜头相当于一个凸透镜，照片底片是照相时形成的像。判断图 5.2-1 中的树所成像的正倒。

2. 凸透镜是许多光学仪器的重要元件，可以呈现不同的像。应用凸透镜，在照相机中成_____、_____立的_____像；在投影仪中成_____、_____立的_____像；直接用凸透镜做放大镜时，成_____、_____立的_____像。

3. 手持一个凸透镜，在室内的白墙和窗户之间移动（离墙近些），在墙上能看到什么？这个现象启发我们，阴天怎样估测凸透镜的焦距？为使估测结果更准确，操作时应注意什么？

4. 请你根据本节课的“想想做做”，试着总结照相机、投影仪或幻灯机工作时是通过怎样的操作改变像的大小的。

第3节 凸透镜成像的规律

照相机和投影仪都成倒立的实像，所不同的是：物体离照相机的镜头比较远，成缩小的像；物体离投影仪的镜头比较近，成放大的像。放大镜成放大、正立的虚像，物体离放大镜比较近。可见，像的虚实、大小、正倒跟物体离凸透镜的距离（物距）有关系。

像的虚实、大小、正倒跟物距有什么关系呢？



实验

探究凸透镜成像的规律

设计实验

我们可以把物体放在距凸透镜较远的地方，然后逐渐移近，观察成像的情况。由于凸透镜对光的偏折程度跟透镜的焦距 f 有直接关系，所以研究物距 u 的变化时，焦距可能是个应该注意的参照距离。比如，我们可以注意观察物距等于、大于或小于一倍焦距、二倍焦距……时，物体成像的情况（图5.3-1）。

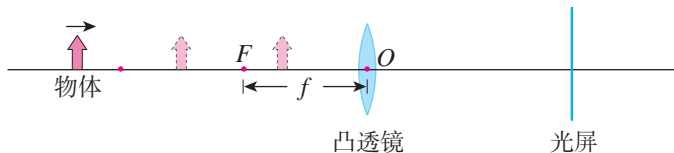


图5.3-1

进行实验与收集证据

用一支蜡烛作为发光物体，一块白色的硬纸板作为承接烛焰像的屏，研究蜡烛的成像情况（图5.3-2）。

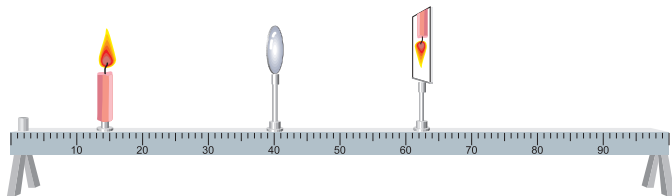


图5.3-2 探究凸透镜成像规律的装置

把蜡烛放在较远处，调整光屏到凸透镜的距离，使烛焰在屏上成清晰的实像。观察实像的大小和正倒，测出物距 u 和像距 v （像到凸透镜的距离）。

把蜡烛向凸透镜移近几厘米，放好后重复以上操作。

继续向凸透镜移动蜡烛并调整光屏的位置，你总能在屏上得到蜡烛的像吗？撤去光屏，变换观察的角度，看看能否观察到蜡烛的像？像在什么位置？

把实验中得到的数据和观察结果填入下表中。每个小组可以自己选择适当的物距，并与各小组共享测量的数据。

像与物距的关系

凸透镜的焦距 $f = \underline{\hspace{2cm}}$ cm

物距与焦距的关系	物距 u /cm	像的性质			像距 v /cm
		虚实	大小	正倒	
.....					


分析与论证

分析上表的记录，找出凸透镜成像的规律。

1. 像的虚实：凸透镜在什么条件下成实像？在什么条件下成虚像？

2. 像的大小：凸透镜在什么条件下成缩小的实像？在什么条件下成放大的实像？有没有缩小的虚像？

3. 像的正倒：凸透镜在什么条件下成正立的像？在什么条件下成倒立的像？

 根据实验数据，仔细分析，得出结论，是非常重要的能力。探究中要注意发现规律，得出正确的结论。



想想议议

查看上表的数据，凸透镜成放大的实像时，物距跟像距相比，哪个比较大？成缩小的实像时，物距跟像距相比，哪个比较大？由此你可以得出什么结论？凸透镜所成的像有没有正立的实像？有没有倒立的虚像？

动手动脑学物理

1. 照相机、投影仪、放大镜的成像都遵循凸透镜成像的规律，说一说它们分别应用了凸透镜成像的哪个规律。

2. 找一个圆柱形的玻璃瓶，里面装满水。把一支铅笔水平地放在玻璃瓶的一侧，透过玻璃瓶，可以看到那支笔

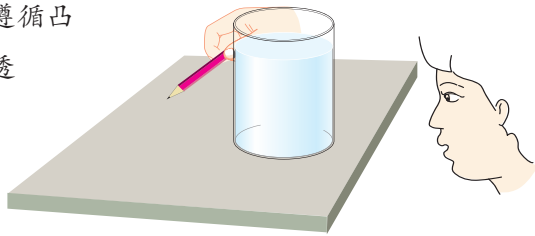


图5.3-3

(图5.3-3)。如果把笔由靠近玻璃瓶的位置向远处慢慢地移动，你会看到什么现象？实际做一做，验证你的猜想。

与前面用凸透镜所做的实验相比，这两个实验有什么共同之处？有什么不同？

3. 学习使用照相机，向有经验的人了解光圈、快门和调焦环的作用。“傻瓜相机”有没有光圈和快门？是不是需要“调焦”？

4. 一位同学在利用图5.3-2所示的装置做实验，先用焦距为20 cm的透镜甲进行实验，在屏上得到了清晰的缩小实像。接下来他想改用焦距为10 cm的透镜乙继续进行实验。如果不改变发光体和屏的位置，透镜乙应该放在透镜甲的左侧还是右侧？

5. 小明同学在做探究凸透镜成像规律的实验中，光屏上得到发光体清晰的实像，但他不小心用手指指尖触摸到了凸透镜中，这时光屏上会出现怎样的情况？小勇说，光屏上会有指尖的像；小强说，光屏上会出现指尖的影子。你说呢？

6. 在天安门广场某处，小丽想拍摄天安门城楼的全景，但发现在该位置无论如何调节调焦环都不能实现。请你利用本节课学到的凸透镜成像的规律，帮小丽想想办法。应如何做，才能拍摄到天安门城楼的全景？

第4节 眼睛和眼镜

眼睛

你知道眼睛是如何看到物体的吗？

眼球好像一架照相机，它的结构如图 5.4-1 所示。晶状体和角膜的共同作用相当于一个凸透镜，把来自物体的光会聚在视网膜上，形成物体的像。视网膜上的感光细胞受到光的刺激产生信号，视神经把这个信号传输

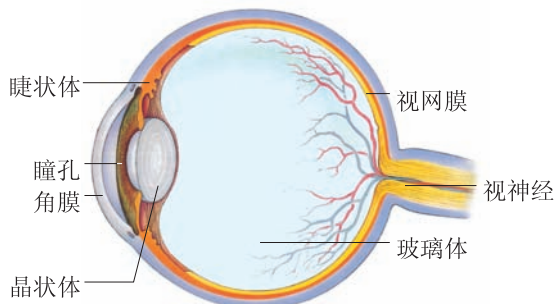
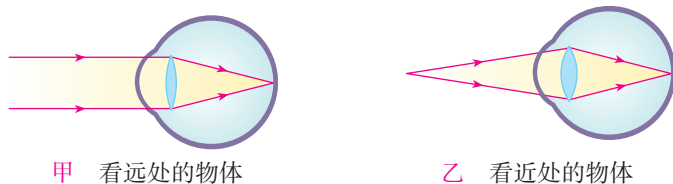


图5.4-1 眼球的结构

给大脑，我们就看到了物体。眼睛通过睫状体来改变晶状体的形状：当睫状体放松时，晶状体比较薄，远处物体射来的光刚好会聚在视网膜上，眼睛可以看清远处的物体（图 5.4-2 甲）；当睫状体收缩时，晶状体变厚，对光的偏折能力变大，近处物体射来的光会聚在视网膜上，眼睛就可以看清近处的物体（图 5.4-2 乙）。



甲 看远处的物体

乙 看近处的物体

图5.4-2 正常的眼睛调节

依靠眼睛调节所能看清的最远和最近的两个极限点分别叫做远点和近点。正常眼睛的远点在无限远，近点在大约 10 cm 处。正常眼睛观察近处物体最清晰而又不疲劳的距离大约是 25 cm，这个距离叫做明视距离。预防近视眼的措施之一，就是读写时眼睛与书本的距离应保持在 25 cm 左右。

近视眼及其矫正

近视眼只能看清近处的物体，看不清远处的物体。形成近视眼的原因是

晶状体太厚，折光能力太强，或者眼球在前后方向上太长，因此来自远处某点的光会聚在视网膜前，到达视网膜时已经不是一点而是一个模糊的光斑了（图 5.4-3 甲）。利用凹透镜能使光发散的特点，在眼睛前面放一个合适的凹透镜，就能使来自远处物体的光会聚在视网膜上（图 5.4-3 乙）。



甲 近视眼成像于视网膜前

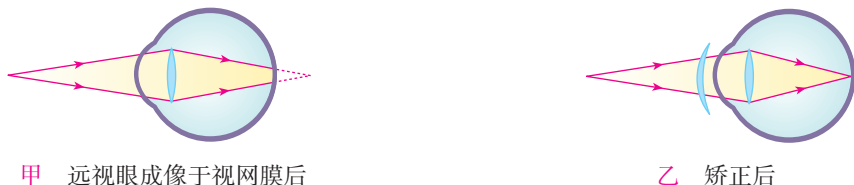
乙 矫正后

图 5.4-3 近视眼及其矫正

远视眼及其矫正

远视眼只能看清远处的物体，看不清近处的物体。形成远视眼的原因是晶状体太薄，折光能力太弱，或者眼球在前后方向上太短，因此来自近处某点的光还没有会聚成一点就到达视网膜了，在视网膜上形成一个模糊的光斑（图 5.4-4 甲）。凸透镜能使光会聚，在眼睛前面放一个合适的凸透镜，就能使来自近处物体的光会聚在视网膜上（图 5.4-4 乙）。

人们上了年纪以后，眼睛睫状体对晶状体的调节能力减弱，太近、太远的物体都看不清楚。



甲 远视眼成像于视网膜后

乙 矫正后

图 5.4-4 远视眼及其矫正



眼镜的度数

透镜焦距 f 的长短标志着折光本领的大小。焦距越短，折光本领越大。通常把透镜焦距的倒数叫做透镜焦度，用 Φ 表示，即

$$\Phi = \frac{1}{f}$$

如果某透镜的焦距是 0.5 m，它的焦度就是

$$\Phi = \frac{1}{0.5 \text{ m}} = 2 \text{ m}^{-1}$$

如果远视很严重，眼镜上凸透镜的折光本领应该大一些，透镜焦距就要大一些。平时说的眼镜片的度数，就是镜片的透镜焦距乘100的值。例如，100度远视镜片的透镜焦距是 1 m^{-1} ，它的焦距是1 m。

凸透镜（远视镜片）的度数是正数，凹透镜（近视镜片）的度数是负数。

请回答以下问题：

1. 看书上的字，测出你的近点，和其他同学的近点比较一下。正常眼、近视眼、远视眼的近点相同吗？有什么规律？
2. +300度和-200度的眼镜片，哪个是远视镜片？它的焦距是多少，焦距是多少？
3. 取一副老花眼镜，测定它的两个镜片的度数。



动手动脑学物理

1. 根据眼睛的构造和成像原理，和同学讨论：为了保护我们的视力，应该注意哪些用眼卫生，为什么？

2. 如果一束来自远处某点的光经角膜和晶状体折射后所成的像落在视网膜____（填“前”或“后”），这就是近视眼。矫正的方法是戴一副由____（填“凸”或“凹”）透镜片做的眼镜。矫正前像离视网膜越远，所配眼镜的“度数”越_____。

3. 仔细观察近视眼镜和远视眼镜，它们有什么不同？度数深的和度数浅的有什么不同？

你能鉴别一副老花眼镜的两个镜片的度数是否相同吗？说明方法和理由。

4. 某同学为进一步了解“视力矫正”的原理，用了探究凸透镜成像规律的装置做实验，他在发光体和凸透镜之间放置不同类型的眼镜片，观察到了如下现象。

（1）将近视眼镜片放在发光体与凸透镜之间，光屏上原来清晰的像变模糊了；使光屏远离透镜，又能在光屏上看到发光体清晰的像。这说明近视眼镜对光线有_____作用，它应该是_____透镜。由此可知，在近视眼得到矫正之前，物体的像成在视网膜的_____（填“前方”或“后方”）。

（2）取下近视眼镜片，重新调整光屏的位置，使它上面的像再次变得清晰，然后将另一个镜片放在发光体和光屏之间，光屏上原来清晰的像又变模糊了，再使光屏靠近透镜，又可以在光屏上看到发光体清晰的像。这说明戴上这个眼镜可以矫正_____眼。

第5节 显微镜和望远镜

显微镜

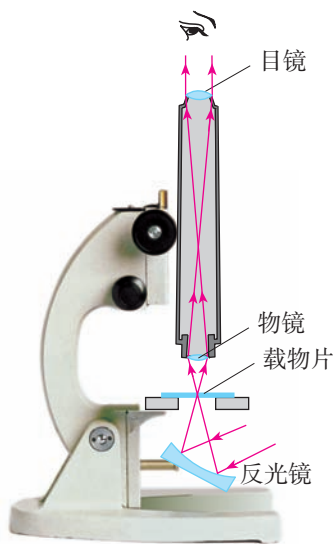


图5.5-1 显微镜的结构

像再放大一次。经过这两次放大作用，我们就可以看到肉眼看不见的小物体，例如细胞（图5.5-2）。

望远镜

有一种望远镜是由两组凸透镜组成的。靠近眼睛的叫做目镜，靠近被观测物体的叫做物镜（图5.5-3）。

物镜的作用是使远处的物体在焦点附近成实像，目镜的作用相当于一个放大镜，用来把这个像放大。

有的同学可能会有疑问：物体距离物镜很远，它的像却离物镜很近，根据前面探究的结果，这样

一般的放大镜，放大的倍数有限，要想看清楚动植物的细胞等非常小的物体，就要使用显微镜。

显微镜镜筒的两端各有一组透镜，每组透镜的作用都相当于一个凸透镜。靠近眼睛的凸透镜叫做目镜，靠近被观察物体的凸透镜叫做物镜（图5.5-1）。

来自被观察物体的光经过物镜后成一个放大的实像，道理就像投影仪的镜头成像一样；目镜的作用则像一个普通的放大镜，把这个

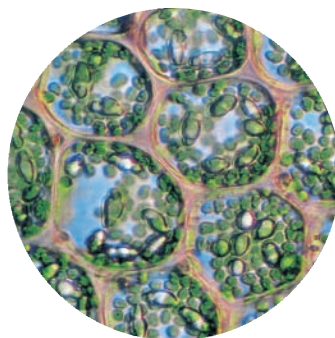


图5.5-2 显微镜下的植物细胞

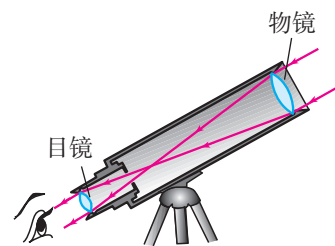


图5.5-3 天文爱好者用的望远镜

所成的像是缩小的，为什么使用望远镜观察物体时会感到物体被放大了？

原来，我们能不能看清一个物体，它对我们的眼睛所成“视角”（图5.5-4）的大小十分重要。望远镜的物镜所成的像虽然比原来的物体小，但它离我们的眼睛很近，再加上目镜的放大作用，视角就可以变得很大。

望远镜物镜的直径比我们眼睛的瞳孔大得多，这样它可以会聚更多的光，使得所成的像更加明亮。这一点在观测天空中的暗星时非常重要。现代天文望远镜都力求把物镜的口径加大，以便观测到更暗的星。

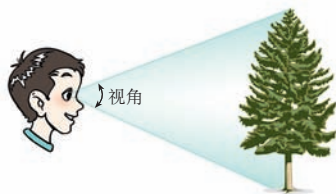


图5.5-4 物体对眼睛所成视角的大小不仅和物体本身的大小有关，还和物体到眼睛的距离有关。



想想做做

取两个焦距不同的放大镜，一只手握住一个，通过两个透镜看前面的物体（图5.5-5）。调整两个放大镜间的距离，直到看得最清楚为止。物体是变大了还是变小了？把两个放大镜的位置前后对调，你有什么新的发现？



图5.5-5 模拟望远镜

探索宇宙

第一位把望远镜指向天空的是意大利物理学家伽利略。1609年，伽利略用自制的望远镜（图5.5-6）观察天体，以确凿的证据支持了哥白尼的“日心说”。他还第一个观察到了木星的卫星、太阳黑子和月球上的环形山。

1846年，科学家根据牛顿发现的万有引力定律，预测天王星外还存在一颗未知的行星，并计算出了这颗行星的运动轨道。不久，人们用望远镜在预测的轨道上发现了这颗行星，它被命名为“海王星”。这一发现为万有引力定律提供了有力的支持。



图5.5-6 伽利略望远镜

1990年，科学家把“哈勃”太空望远镜送入太空，使人类观测宇宙的能力空前提高。除光学望远镜外，人们还发明了其他观测太空的仪器，如射电望远镜，这使得人类对宇宙的了解越来越深入。

目前，人类观测到的最远的天体距离我们约130亿光年。也就是说，如果有一束光以 3×10^8 m/s的速度从这个天体发出，那么要经过约130亿年才能到达地球。

我们的宇宙 (universe) 中拥有上千亿个星系，银河系 (Galaxy) 只是这上千亿个星系中的一个。银河系异常巨大，一束光穿越银河系需要10万年的时间。太阳 (sun) 不过是银河系中几千亿颗恒星中的一员 (图5.5-7)。太阳周围有水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星等行星绕它运行，地球 (earth) 在离太阳比较近的第三条轨道上。此外，还有若干其他天体绕太阳转动。

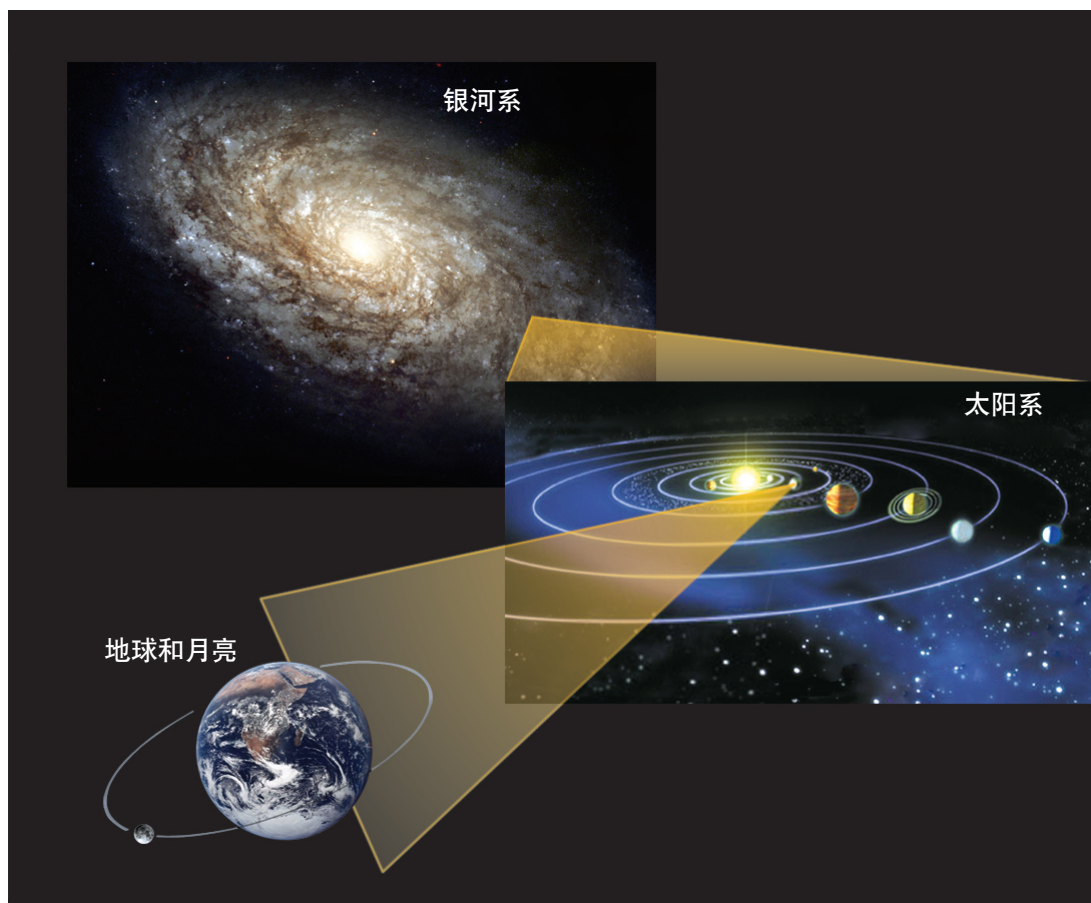
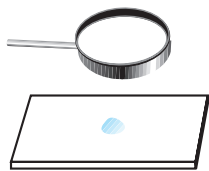


图5.5-7 太阳只是银河系中几千亿颗恒星中的一员，地球是太阳系中的一颗普通行星。



动手动脑学物理



1. 如图 5.5-8 所示, 把一滴水滴在玻璃板上, 在玻璃板下面放置一个用眼睛看不清楚的小物体。可以看到水滴就是一个放大镜。如果还看不清小物体, 再拿一个放大镜位于水滴的上方。慢慢调节放大镜与水滴之间的距离, 你就可以看清玻璃板下的微小物体!

2. 收集人类探索宇宙历程的资料, 自拟题目就你喜欢的相关问题写一篇科学小短文。

图 5.5-8 自制显微镜



学到了什么

1. 凸透镜与凹透镜

中间厚、边缘薄的透镜叫做凸透镜, 中间薄、边缘厚的透镜叫做凹透镜。

凸透镜对光有会聚作用, 凹透镜对光有发散作用。凸透镜能使跟主光轴平行的光会聚在主光轴上的一点, 这个点叫做凸透镜的焦点。焦点到凸透镜光心的距离叫做焦距。

2. 凸透镜的成像规律及其应用

当物距大于 2 倍焦距时, 成倒立、缩小的实像。照相机就利用了这条规律。

当物距等于 2 倍焦距时, 成倒立、等大的实像。

当物距小于 2 倍焦距、大于焦距时, 成倒立、放大的实像。投影仪就利用了这条规律。

当物距小于焦距时, 成正立、放大的虚像。放大镜就利用了这条规律。

显微镜和望远镜中, 物镜的作用是成实像, 目镜的作用是把这个实像放大。

3. 眼睛和眼镜

眼睛可以调节晶状体的焦距, 从而看清楚远近不同的物体。正常眼睛的明视距离大约是 25 cm。

通过近视眼镜(凹透镜)的发散作用和远视眼镜(凸透镜)的会聚作用, 可以在视网膜上得到物体的清晰的像, 从而达到矫正视力的目的。