

经全国中小学教材审定委员会
2005年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 2-3

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 2-3

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心

总 主 编：张大昌
副 总 主 编：彭前程
主 编：宣桂鑫
执 笔 人 员：曹 磊 付荣兴 潘邦楨 莫天敬 宣桂鑫
绘 图：刘 菊
责 任 编 辑：付荣兴
版 式 设 计：刘 昀
审 读：王存志

普通高中课程标准实验教科书

物 理

选修2-3

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心

*

人民教育出版社 出版发行

网址：<http://www.pep.com.cn>

××××印刷厂印装 全国新华书店经销

*

开本：890毫米×1240毫米 1/16 印张：6 字数：120 000

2007年4月第2版 年 月第 次印刷

ISBN 978 - 7 - 107 - 18715 - 5 定价：7.25元
G·11805 (课)

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版科联系调换。
(联系地址：北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081)

目录

致同学们 / 1

第1章 光的折射 / 1

第1节 光的折射 折射率 / 2

第2节 全反射 光导纤维 / 6

第3节 棱镜和透镜 / 10

第4节 透镜成像规律 / 14

第5节 透镜成像公式 / 18



第2章 常用光学仪器 / 22

第1节 眼睛 / 23

第2节 显微镜和望远镜 / 24

第3节 照相机 / 29



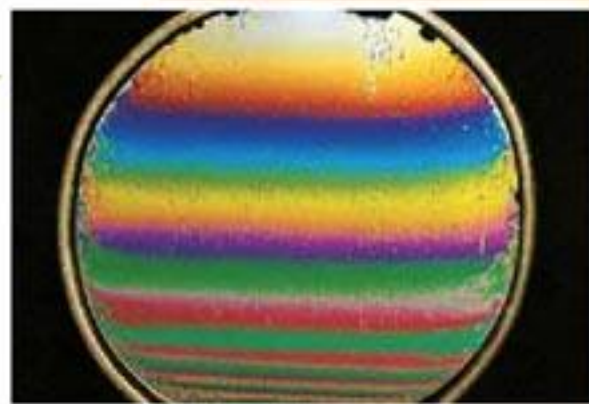
第3章 光的干涉、衍射和偏振 / 33

第1节 机械波的衍射和干涉 / 34

第2节 光的干涉 / 37

第3节 光的衍射 / 41

第4节 光的偏振 / 43





第4章 光源与激光 / 48

- 第1节 光源 / 49
- 第2节 常用照明光源 / 53
- 第3节 激光 / 55
- 第4节 激光的应用 / 58



第5章 放射性与原子核 / 60

- 第1节 天然放射现象 原子结构 / 61
- 第2节 原子核衰变 / 65
- 第3节 放射性同位素的应用 / 69
- 第4节 射线的探测和防护 / 71



第6章 核能与反应堆技术 / 76

- 第1节 核反应和核能 / 77
- 第2节 核裂变和裂变反应堆 / 78
- 第3节 核聚变和受控热核反应 / 83

课题研究 / 87

致 同 学 们

欢迎大家进入《物理》选修2系列的学习。这一系列的选修模块，侧重从技术应用的角度展示物理学，强调物理学与技术的结合，着重体现物理学的应用性、实践性。

包括物理学在内的自然科学以认识自然、探索未知为目的；而技术则是以对自然界的认识为根据，利用得到的认识来为人类服务。

尽管如此，人们还是习惯于把科学和技术联在一起，统称“科技”。这说明二者之间有着密切的联系。历史已经表明，没有科学发现，就没有技术进步；没有技术进步，科学也不能发展。真可谓“你中有我，我中有你”。

17世纪末叶出现的巴本锅和蒸汽泵，主要是一种技术发明。18世纪技术工人瓦特给蒸汽机增添了冷凝器、活塞阀、飞轮、离心节速器等，使蒸汽机真正成为—种广泛应用于纺织、轮船和火车的动力机，更是一种技术的进步。但那时的热机效率只有5%~8%，如何提高热机效率成为技术进步向科学发展提出的问题。它促使卡诺定理的提出和热力学第一、二定律的建立，推动了物理学的发展，并使热机效率得以大幅度提高。这就是近代史上第一次产业革命所反映出的科学与技术的联系。

19世纪70年代，在电磁理论的基础上，具有实用价值的电动机和发电机先后问世，继而又实现了电力的远距离传输。不久，马可尼和波波夫发明了无线电通信技术。这一切开创了第二次产业革命，使人类进入了电气化时代。

20世纪以来，以原子核能、电子计算机和空间技术的发展为标志，开始了第三次产业革命，即现代技术革命。特别是20世纪70年代以来，微电子技术的发展以及材料、激光、遥感、人工智能、多媒体信息技术等的长足进步，极大地拓展了人类利用、控制和保护自然的能力。

科学技术作为生产力的要素，它的发展和进步是同社会生产力的整体水平密切相关的。这也是不同国家和地区在科学技术发展上不平衡的重要原因。正是由于这种不平衡性，导致了科学技术中心在世界范围内的转移。所谓科学技术中心，是指这样的国家和地区，其开创性的科学技术成果超过全世界总量的四分之一。归纳起来，近五百年来科学技术中心转移的顺序和时间大致是：

- (1)意大利 1540~1640
- (2)英 国 1660~1730

(3)法 国 1770~1830

(4)德 国 1870~1920

(5)美 国 1920~

历史上东方文明尤其是中国古代文明曾遥遥领先于西方，在近代科学技术兴起之前，中国的科学发现与技术发明也曾为世界范围产生巨大影响。有人曾经预言：中国再度觉醒之时，世界将会震颤。还有人说，中国近年的发展变化，正预示这一时刻的到来。不管这些说法的本意何在，无可否认的事实是，我国科学技术的发展不仅表明我们继承了中华传统文化的精华，而且在21世纪的初期，我们已经向着先进国家的行列迈出了坚实的步伐。中国科学技术的昔日风采再度展现在世人面前的日子正向我们走来……

“我是昆仑的云，

我是黄河的浪，

……

我是涅槃的凤凰再飞翔。

我是屈原的梦，

我是李白的唱，

……

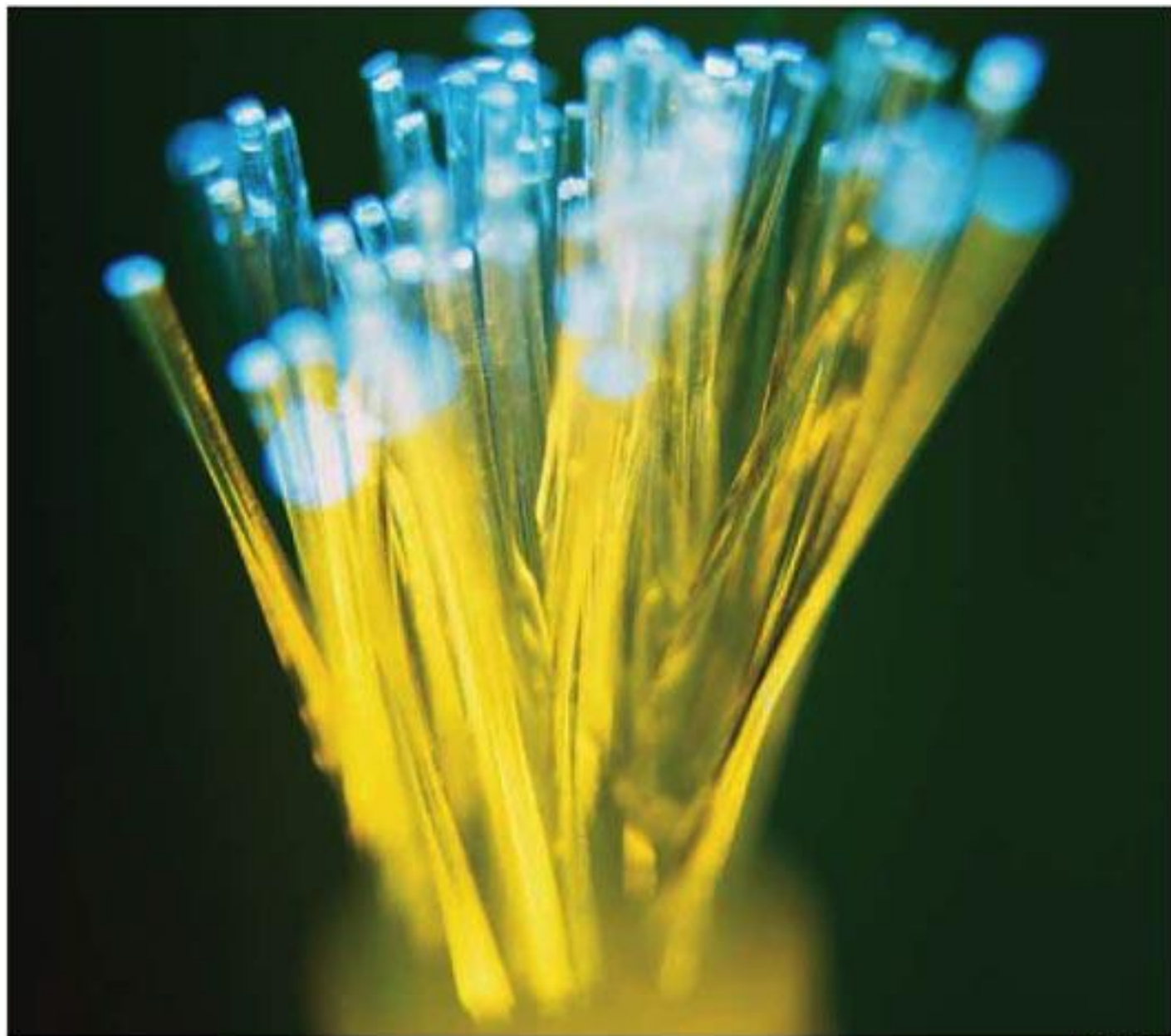
我是涅槃的凤凰再飞翔。”

讴歌中华民族伟大复兴的诗句，正在我们耳边回响、回响……

其实，诗在心中。不是吗？

第 1 章

光的折射



光 纤

现代生活及科技领域中光的折射现象的利用越来越多。照相机、投影机、望远镜和显微镜等都是利用透镜的成像规律制成的。

光的折射遵循什么规律？怎样运用透镜的成像规律？这一章我们就来学习光的折射以及透镜的知识。



第 1 节 光的折射 折射率

在初中我们已经知道，当光从一种介质斜射到另一种介质的分界面时，有一部分光线将返回原来的介质中，而另一部分光线将进入另一种介质，光的传播方向发生了偏折(图 1.1-1)。前一种现象叫做光的反射(reflection)，后一种现象叫做光的折射(refraction)。

光在反射时遵循光的反射定律(reflection law)。反射光线跟入射光线和法线在同一平面内，反射光线和入射光线分居法线的两侧，反射角等于入射角(图 1.1-2)。

根据光的反射定律，如果使光线逆着原来的反射光线射到界面上，反射光线就逆着原来的入射光线射出(图 1.1-3)，也就是说，在反射现象中光路是可逆的。

图 1.1-1 光的反射和折射现象

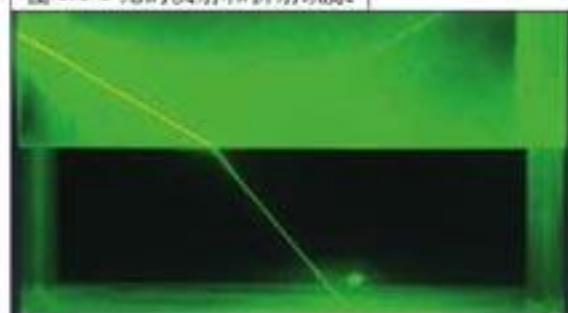


图 1.1-2 反射定律

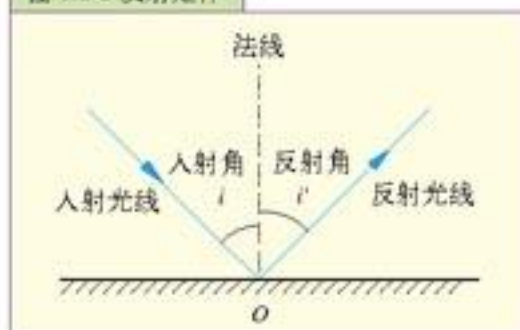
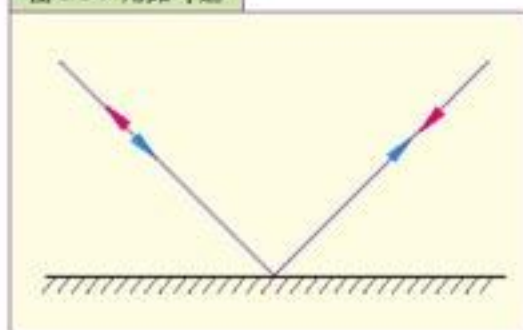


图 1.1-3 光路可逆



光的折射定律 光在折射时又遵循什么规律？

大家做

如图 1.1-4 在方形玻璃缸中注入适量的水，将一张画有相互垂直的十字线段的塑料板竖直插入水中，使水平线与水面重合。

让激光笔发出的光斜射向水面，移动激光笔，直至入射光线掠过塑料板射在水面上，水中的折射光线是否也掠过了塑料板？

移动塑料板，使塑料板上十字线段的交点与入射光线的入射点重合，观察折射光线跟入射光线和法线的关系。

比较入射角 i (入射光线与法线间的夹角) 和折射角 r (折射光线与法线间的夹角) 的大小，固定塑料板，增大入射角，观察折射角的变化。

图 1.1-4 观察光的折射



从观察到的现象可以知道，折射光线跟入射光线和法线在同一平面内，折射光线和入射光线分别位于法线的两侧。入射角越大，折射角也越大。

但是入射角跟折射角之间究竟有什么定量的关系呢？1621年，荷兰数学家斯涅耳找到了入射角与折射角之间的规律：入射角*i*的正弦跟折射角*r*的正弦成正比。结合前面观察中得到的结论，光的折射定律（**refraction law**）可表述为：

折射光线跟入射光线和法线在同一平面内，折射光线和入射光线分居法线的两侧，入射角的正弦跟折射角的正弦成正比。如果用*n*表示这个比例常数，就有

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

例如，在上面的实验中，当光从空气以入射角为53°射入水中时，可以测得折射角为37°，其比值为1.33。

大家做

将激光笔发出的光从水中射入空气，观察入射角与折射角是怎样变化的，入射角比折射角大还是小？入射角*i*增大，折射角*r*怎样变化？

如果让光线逆着原来的折射光线射到界面上，光线就会逆着原来的入射光线发生折射。这就是说，在折射现象里，光路也是可逆的。

折射率 当光从真空进入某种介质时，虽然入射角的正弦跟折射角的正弦之比为一个常数*n*，但对不同的介质来说，这个常数*n*却是不同的。例如，光从真空射入水晶时，这个常数约为1.55；光从真空射入水中时，这个常数约为1.33。可见这个常数*n*跟介质有关，它是一个反映介质光学性质的物理量。物理学中把光从真空射入某种介质发生折射时，入射角*i*的正弦跟折射角*r*的正弦之比*n*，叫做这种介质的**折射率（refractive index）**。

折射率*n*的大小说明了光线从真空射入介质时，介质对光线的偏折程度，其值越大，偏折程度越大；其值越接近于1，偏折程度就越小。

表 1-1 几种介质的折射率

材 料	折 射 率	材 料	折 射 率
金 刚 石	2.42	二 硫 化 碳	1.63
玻 璃	1.5~1.9	甘 油	1.47
树 脂	1.5~1.8	酒 精	1.36
水 晶	1.55	水	1.33
冰	1.31	空 气	1.00028

大家做

设法用激光笔比较水和油的折射率。

研究表明，光在不同介质中的速度不同，这与光的折射现象有密切关系。某种介质的折射率，等于光在真空中的传播速度 c 跟光在介质中的传播速度 v 之比。即

$$n = \frac{c}{v}$$

由于光在真空中的传播速度 c 大于光在任何其他介质中的传播速度 v ，所以任何介质的折射率 n 都大于 1，光从真空射入任何介质时， $\sin i$ 都大于 $\sin r$ ，即入射角大于折射角。

光在真空中的速度跟它在空气中的速度相差很小，通常情况下可以认为光从空气射入某种介质时，入射角的正弦与折射角的正弦之比等于那种介质的折射率。

例题 如图 1.1-5 所示，光线从空气射入某种树脂，当反射光线与入射光线垂直时，反射光线和折射光线正好成 110° ，求这种树脂的折射率。

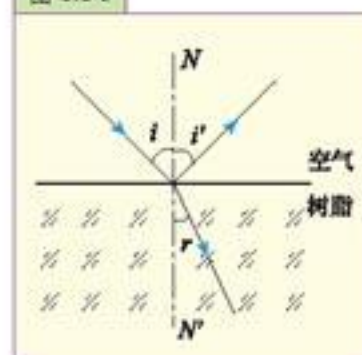
解 由反射定律可知，题中的入射角 $i = 45^\circ$ ，折射角

$$r = 180^\circ - 45^\circ - 110^\circ = 25^\circ$$

由折射率的定义可求得这种树脂的折射率为

$$n_{\text{树脂}} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 25^\circ} = \frac{0.707}{0.423} = 1.67$$

图 1.1-5



测量玻璃的折射率

当光斜射入两面平行的玻璃砖时，从玻璃砖射出的光线与入射光线平行，只是产生一定的侧移（同学们可以自己证明），如图 1.1-6 所示。只要确定入射光线和射出光线的方向，就能测出入射角 i 和折射角 r ，从而求出折射率 n 。

在绘图板上固定一张白纸，在白纸上先画一条直线 aa' 作为界面，过 aa' 上的一点 O 画出界面的法线 NN' ，并画一条线段 AO 代表入射光线的径迹，然后将玻璃砖放在白纸上，使它的长边跟 aa' 对齐，画出玻璃砖的另一边 bb' 。

用激光笔发出的窄光束沿 AO 射向玻璃砖，找出窄光束从玻璃砖射出的位置 O' ，并画在白纸上。

移去玻璃砖，过 OO' 画直线，入射角为 $i = \angle AON$ ，折射角为 $r = \angle O'ON'$ （图 1.1-7）。

图 1.1-6

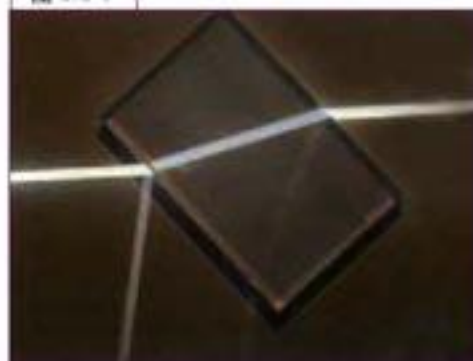
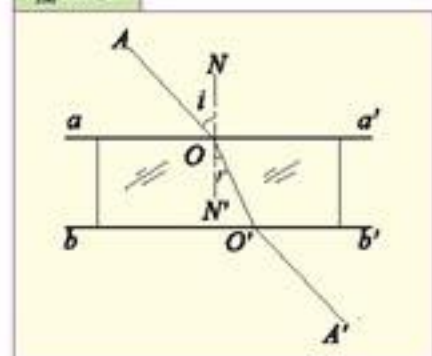


图 1.1-7



用量角器测出入射角 i 和折射角 r ，则玻璃的折射率为

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

改变入射角的大小，看看所测的玻璃的折射率是否大致相同。

问题与练习

- 在折射现象中，下列说法中正确的是：
 - 折射角一定比入射角小；
 - 光从真空射入不同介质，入射角一定时，折射角大，表示该介质的折射率大；
 - 介质的折射率大，光在其中的传播速度小；
 - 入射角扩大多少倍，折射角也同样扩大多少倍。
- 图 1.1-8 是光由空气射入半圆形玻璃砖，再由半圆形玻璃砖射入空气中的光路图。 O 点是半圆形玻璃砖的圆心。指出哪些情况是可能发生的，哪些情况是不可能发生的。
- 光以 60° 的入射角从空气射入折射率为 $n = \sqrt{3}$ 的玻璃中，折射角是多大？画出光路图。
- 一个三棱镜的横截面是等边三角形，其折射率为 $n = \sqrt{3}$ ，一束光线从空气射入，入射角为 60° （图 1.1-9）。画出这条光线的光路。
- 光从空气射入水中，当入射角从 0° 到 90° 间变化时，折射角在什么范围内变化？

图 1.1-8

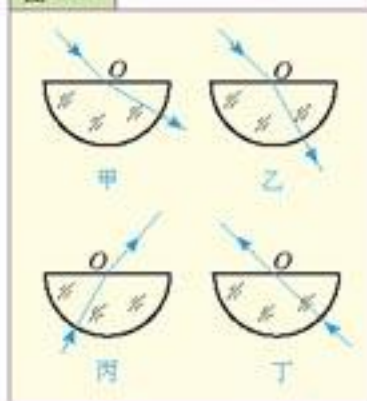
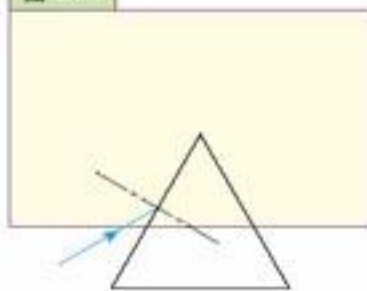


图 1.1-9



第 2 节 全反射 光导纤维

光的全反射现象 不同介质的折射率是不同的,我们把折射率较小的介质叫做光疏介质,折射率较大的介质叫做光密介质。光疏介质和光密介质是相对的,例如水、玻璃和金刚石三种物质相比较,玻璃对水来说是光密介质,对金刚石来说是光疏介质。根据折射定律可知,光由光疏介质射入光密介质时,折射角小于入射角;光由光密介质射入光疏介质时,折射角大于入射角。

既然光由光密介质射入光疏介质时,折射角大于入射角,由此可以预测,当入射角增大到一定程度时,折射角就会增大到 90° , 如果入射角再增大,会出现什么情况呢?

演 示

如图 1.2-1 所示,用平行光源发出的窄光束沿着半圆形玻璃的半径射到平直的边上,会同时看到反射光线和折射光线。逐渐增大入射角,观察反射光线和折射光线有什么变化。

图 1.2-1 全反射现象



由实验可知,当光沿着半圆形的玻璃砖的半径射到平直边上时,一部分光从玻璃砖平直的边上折射到空气中,另一部分光反射回玻璃内。逐渐增大入射角,将会看到折射光离法线越来越远,而且越来越弱,反射光却越来越强。当入射角增大到某一角度,使折射角达到 90° 时,折射光完全消失,只剩下反射光,这种现象叫做全反射 (total reflection)。

我们把折射角等于 90° 时的入射角叫做临界角 (critical angle), 用符号 C 表示。

显然,要发生全反射,光线不仅要从光密介质射向光疏介质,而且入射角要等于或大于临界角。

不同的介质,由于折射率不同,在空气中发生全反射的临界角也就不一样。下面我们计算折射率为 n 的某种介质在空气 (或真空) 中发生全反射时的临界角 C 。

由于临界角 C 是折射角等于 90° 时的入射角,还由于光路是可逆的,因此根据折射定律可得

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin C} = n$$

$$\sin C = \frac{1}{n}$$

从折射率表中查出介质的折射率，就可以用上式求出光从这种介质射到真空或空气时的临界角。金刚石的临界角为 24.4° ，各种玻璃的临界角为 $32^\circ \sim 42^\circ$ ，水的临界角为 48.8° 。

在自然界中，光的全反射现象经常可以看到。例如，金刚石经过一定的方式切割，进入其中的光线在金刚石内部经过多次全反射后可以从某个表面射出。由于几乎在所有方向都能从金刚石上方看到射出的光线，所以金刚石在光照下显得璀璨夺目（图 1.2-2）。

图 1.2-2 金刚石在光照下显得璀璨夺目

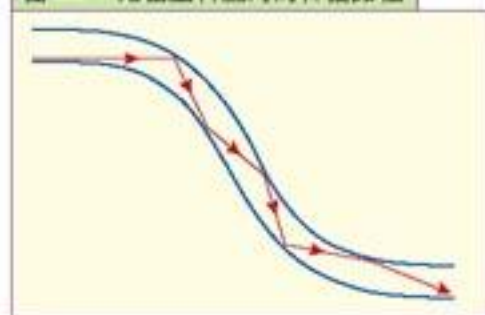


光导纤维 光导纤维简称光纤 (optical fiber)。图 1.2-3 是市面上的玩具光纤“满天星”，它由一个简易手电筒和数百根长短不一的塑料丝组成。晚上启动电筒开关后，它会给人留下数不清的“亮星”飘动的感觉。这是因为从塑料丝的一端射进丝内的光线，在丝的内壁多次发生全反射，沿着锯齿形路线由丝的另一端传了出来。塑料丝就像一个能传光的纤维一样（图 1.2-4）。

图 1.2-3

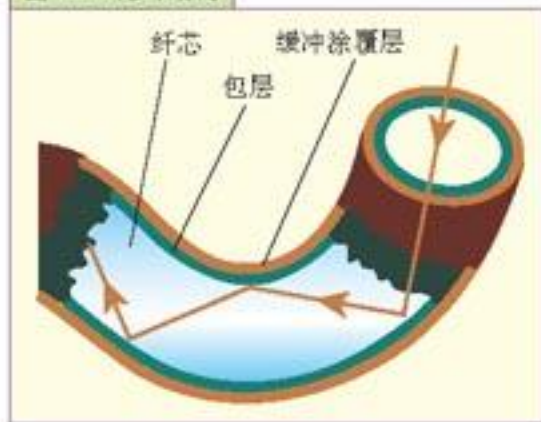


图 1.2-4 光在塑料丝内的传播路径



实用的光导纤维是用纯度极高的玻璃等透明材料拉制成的极细（直径只有几微米到一百微米之间）的纤维。它由纤芯和包层组成（图 1.2-5）。纤芯材料的折射率比包层的大，在纤芯中传播的光会在纤芯和包层的界面上发生全反射，使得光在光纤中沿纤芯传播。实际的光纤在包层外面还有一层缓冲涂覆层，其作用是保护光纤免受环境污染和机械损伤。

图 1.2-5 光纤结构



大家做

用光纤传输图像

从玩具光纤“满天星”头上拆下相同长度、相同颜色的光纤按如图 1.2-6 翻成平行排列的一束，在这捆光纤的一端粘上一个十分简单的字符（例如字母 B）并让其对准明亮的光源，用肉眼观察这捆光纤的另一端，你发现了什么？

图 1.2-6 光纤传像



医学上用光导纤维制成内窥镜（图 1.2-7），用来检查人体胃、肠、气管等内脏的内部。实际的内窥镜装有两组光纤，一组用来把光传送到人体内部用于照明，另一组用来观察。

图 1.2-7



甲 内窥镜示意图



乙 医务人员正在用内窥镜为患者检查身体

我们知道，光也是一种电磁波，它可以像无线电波一样，作为一种载体来传递信息。载有声音、图像以及各种数字信号的激光从光纤的一端输入，就可以沿着光纤传输到千里以外的另一端，实现光纤通信。

下面，我们再利用“满天星”来做一个通信实验研究。

大家做

多向电视遥控器

将电视机的遥控器向上竖直放置，使其不能对电视进行遥控。再将玩具光纤“满天星”的光纤头拆下，临时放置在电视遥控器红外发射管的上方（图 1.2-8），这时再按动电视遥控器的按键，电视机就能被遥控了。想一想，这是为什么？

图 1.2-8 多向电视遥控器



光纤通信的主要优点是容量大、衰减小、抗干扰能力强。例如一对光纤的传输能力理论值为二十亿路电话，一千万路电视；而当今世界最大的“国际通信卫星6号”也只能传输3.3万路电话，4路电视。即便是现在已实际采用的数十万路电话的光纤通信，也较卫星通信容量大。

图 1.2-9 光缆



要使光纤能实际用于通信，必须制成光缆（图 1.2-9），对光纤进行保护：在光缆中心使用钢丝以增强光缆的抗拉强度；在光缆内部装有阻水、抗压的保护层；在光缆的最外部还有保护层。

陆地上的光缆通常埋在地面下 1 m 左右深处。在靠近海岸的地方，光缆被埋在沟里。有些光缆由于需要还被放在深水底部，置于深水中的光缆有时会被鱼类咬坏或被渔船撞坏。光缆在当今通信中发挥着重要作用，但是由于人为的因素，光缆被挖断、被盗割的现象时有发生，导致局部地区通信中断，造成重大的损失。我们要注意保护光缆。

目前我国电信网络的干线光缆已超过 30 万千米，已经基本形成以光缆为主体，以微波接力和通信卫星为辅助手段的大容量数字干线传输网络，其覆盖范围包括全国地级以上城市和 90% 的县级市及大部分乡镇，并与世界主要国际信息网络连通。

在长距离通信中光纤早已唱起了主角。但在短距离如家庭内、交通工具内、办公大楼及办公室内的通信和多媒体传输中光纤的运用目前还很少。

塑料光纤在高速短距离通信传输中具有低成本，易连接，易加工和易弯曲等优势，它在网络全光化的入户接入方面具有广泛的应用前景。近年来，各国对塑料光纤的研制和应用开发已取得了较大的进展。

大家做

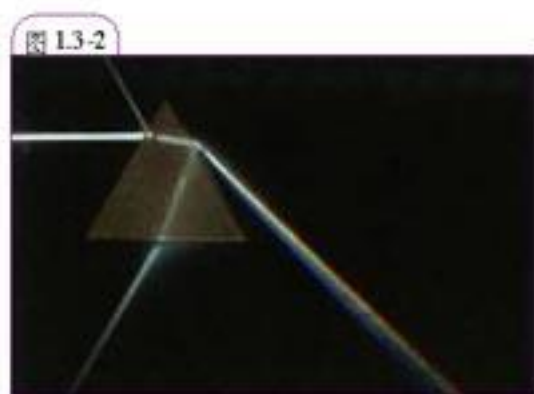
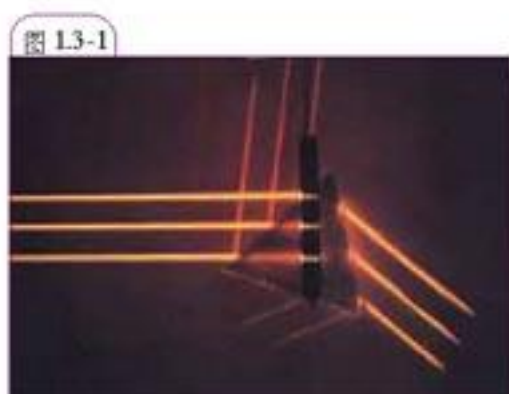
到本地通信部门了解本地光缆铺设和维护的情况，了解本地利用光缆开展电信、有线电视和互联网业务的情况，协助本地通信部门搞一次维护光缆安全的宣传活动。

问题与练习

1. 光从空气射入水中，要想使折射角等于 30° ，入射角应多大？
2. 有一种高折射率的玻璃微珠，所用材料的折射率达到 2，它的临界角是多大？
3. 光从折射率为 $\sqrt{2}$ 的介质以 40° 的入射角射到介质与空气的界面上时，能够发生全反射吗？
4. 通过书刊及因特网查找内窥镜在医疗以及其他技术领域应用的实例。

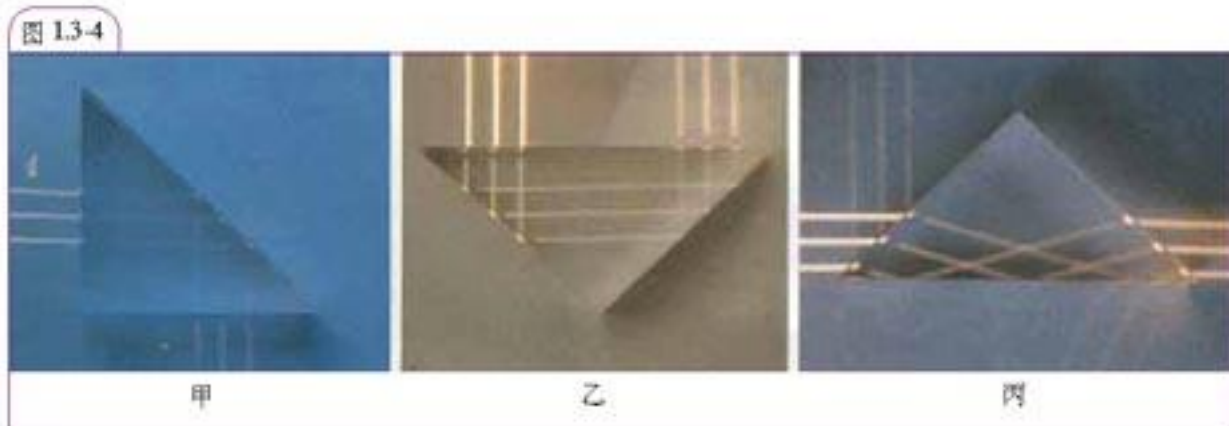
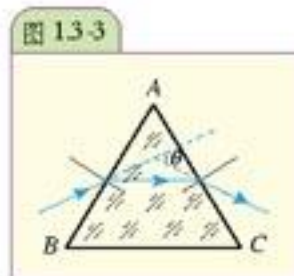
第 3 节 棱镜和透镜

棱镜 常用的棱镜是横截面为三角形或梯形的三棱镜，通常简称为棱镜（**prism**）。棱镜可以改变光的传播方向（图 1.3-1），还可以使白光发生色散（图 1.3-2）。

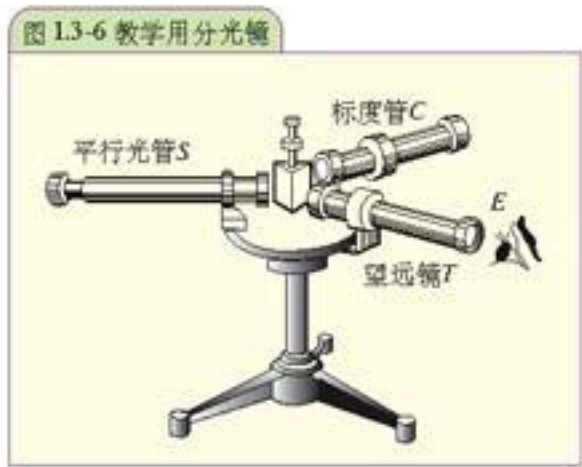
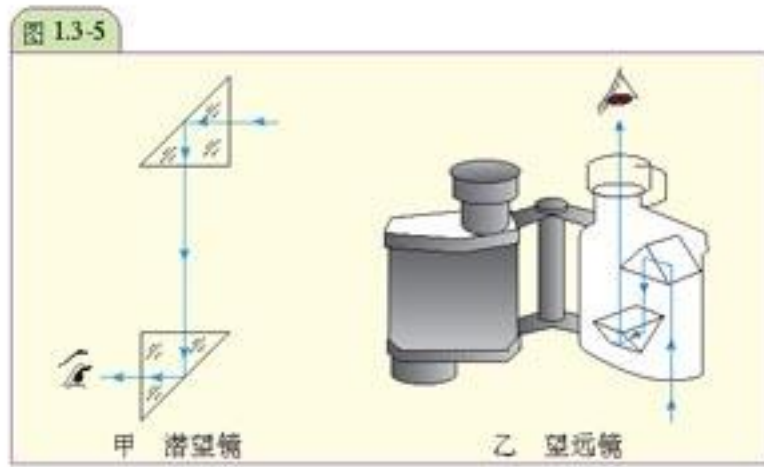


如图 1.3-3 所示，从玻璃棱镜的一个侧面射入的光，从另一个侧面射出，射出的方向跟射入的方向相比，明显地向着棱镜的底面偏折。这是因为光在棱镜的两个侧面上发生折射，每次折射都使光线向底面偏折的缘故。偏折的程度用偏向角 θ 表示。

在光学仪器中，常常用横截面是等腰直角三角形的棱镜来改变光路。由于玻璃对空气的临界角小于 45° ，所以在图 1.3-5 所示的各种情况中都会发生全反射。因此这种棱镜也叫全反射棱镜。



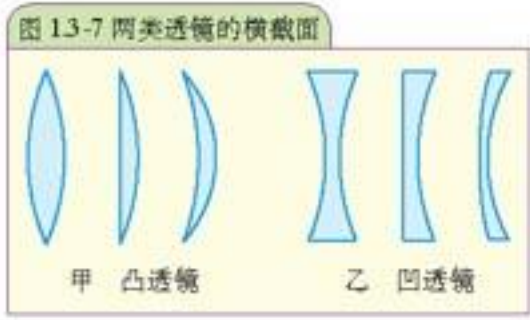
在图 1.3-4 甲中，棱镜使光束方向改变了 90° ，这种棱镜常用在潜望镜里（图 1.3-5 甲）；在图 1.3-4 乙中，棱镜使光束方向改变了 180° ，望远镜为了获得较大的放大倍数，镜筒要很长，使用两块这种棱镜，就能缩短镜筒的长度（图 1.3-5 乙）；在图 1.3-4 丙中，棱镜改变了光束的上下位置，可以使物像倒置。



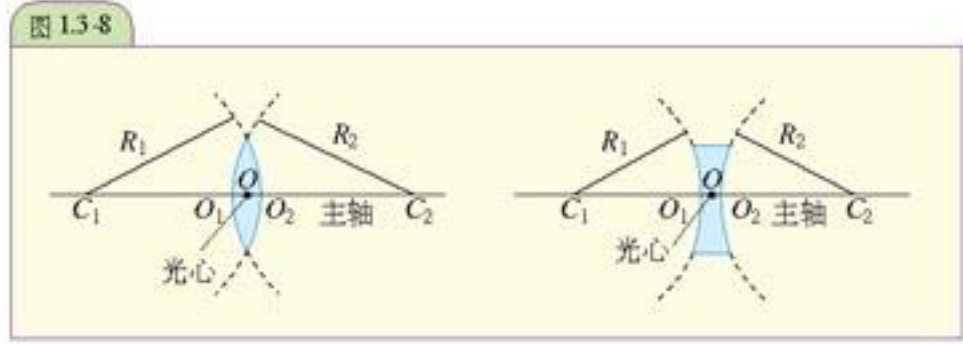
白光通过棱镜会发生色散，表明不同色光通过棱镜后的偏向角不同。偏向角不同，表明棱镜材料对不同色光的折射率不同。实验表明，红光的偏向角最小，紫光的偏向角最大。这一现象表明棱镜材料对红光的折射率比紫光的小。

由于不同色光通过棱镜后的偏向角不同，可以利用棱镜把复色光分解成光谱，制成各种光谱仪，如分光镜（图 1.3-6）、单色仪、摄谱仪等。

透镜 在初中，我们已经知道，近视眼镜和远视眼镜的镜片都是透镜（lens）。透镜由两个折射曲面组成，折射曲面一般是球面或平面。远视镜片边缘薄、中间厚，叫做凸透镜，近视镜片边缘厚、中间薄，叫做凹透镜（图 1.3-7）。

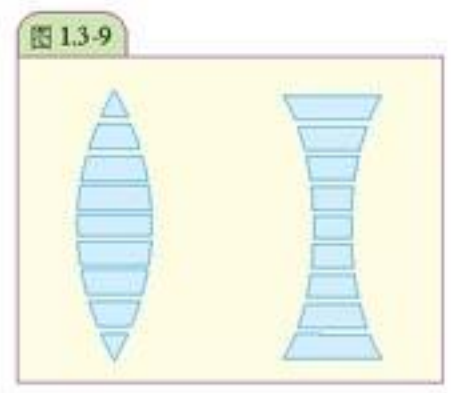


实验表明：在透镜的中部有一个特殊点，当光线透过该点时，传播方向不发生改变。这个点叫做光心，以 O 表示。通过光心 O 的任意直线叫做透镜的光轴。通过透镜两个球面的球心 C_1 和 C_2 的光轴，叫做主光轴，简称主轴（图 1.3-8）。



大家谈

可以把透镜看做是由许多顶角不同的棱镜组成的（图 1.3-9，说说为什么凸透镜对光束有会聚作用，凹透镜对光束有发散作用。

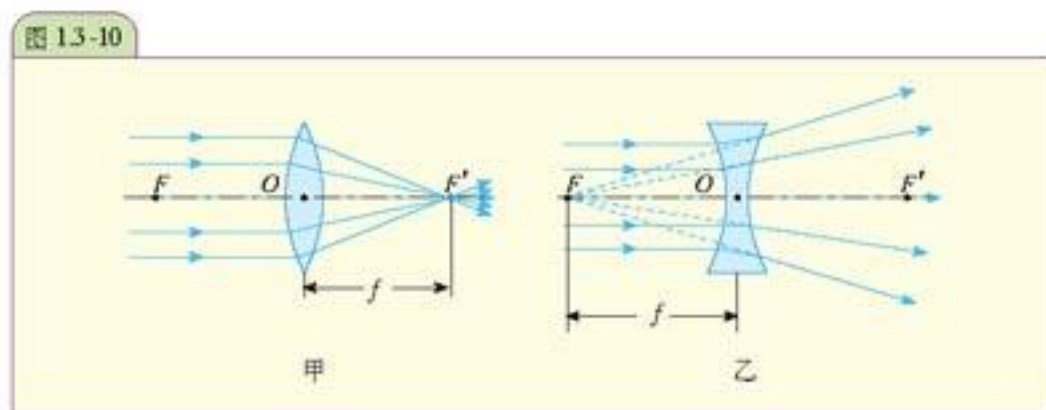


透镜的厚度通常比它的球面半径小得多，这种透镜叫做薄透镜。这里我们只研究薄透镜。

如图 1.3-10 甲所示，平行于主光轴的光通过凸透镜后，会聚于主轴上的一点（图中的 F' 点），这个点叫做凸透镜的焦点（focus）。从焦点 F' 到光心 O 的距离 OF' 叫做凸透镜的焦距（focal length），用符号 f 表示。

根据光路可逆原理，在凸透镜的焦点放一个光源，它就将发散光束变成平行光。实验室中使用的平行光管正是利用凸透镜这一特性制成的。

平行于主光轴的光通过凹透镜后，变得发散，这些发散的光线看起来好像是从它们的反向延长线的交点 F 发出来的，点 F 也在主轴上，叫做凹透镜的焦点。同样，凹透镜也有焦距 f （图 1.3-10 乙）。



由于凹透镜的焦点不是实际光线会聚的，我们把凹透镜的焦点称为“虚”焦点。相应地，凸透镜的焦点称为“实”焦点。

在其他条件相同时，凸透镜球面越凸，焦距就越短，对光线的会聚作用就越明显；凸透镜的折射率越大，焦距也越短，对光线的会聚作用也越明显。透镜焦距的长短反映了透镜对光线偏折本领的大小。通常把透镜焦距的倒数叫做焦度，用符号 Φ 表示，即 $\Phi = \frac{1}{f}$ ，透镜的焦度越大，对光线的偏折本领越大。焦度的单位叫做屈光度。如果透镜的焦距是 1 m，它的焦度就是 1 屈光度。即

$$1 \text{ 屈光度} = \frac{1}{1 \text{ m}} = 1 \text{ m}^{-1}$$

如果透镜的焦距是 0.5 m，那么它的焦度就是 2 屈光度。

通常眼镜片的度数等于屈光度的 100 倍。即 100 度的眼镜片，它的焦度是 1 屈光度，焦距是 1 m。



怎样选择和保养眼镜片？

患近视或远视的同学在配眼镜时，都比较注意验光，以便正确选择镜片的屈光度，另外也很注意选择美观的镜架，却往往忽视镜片的选择。实际上，镜片的选择大有学问。

第一要选材料：镜片的材料一般有玻璃和树脂两种。玻璃镜片表面耐磨，但是重量较大，并且容易破碎，不安全。树脂镜片较轻，重量只有玻璃镜片的一半，抗冲击性是玻璃镜片的数十倍，所以很安全。树脂片还可以染色，进行多种框架的特殊加工，但树脂镜片表面较玻璃镜片易磨损，须细心护理。

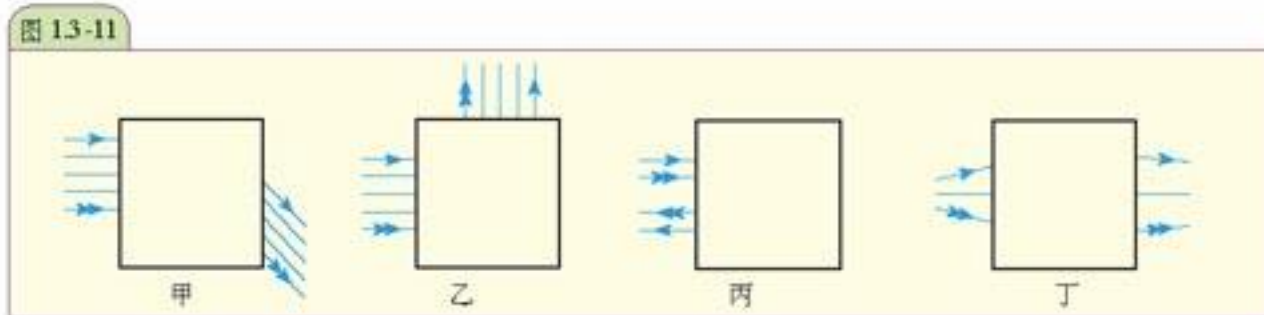
第二要选折射率：镜片的品质有一个很重要的衡量标准就是折射率。一般来说，相同的屈光度，折射率越高，镜片越薄，品质越好。对于度数较深的配镜者，应该使用高折射率的镜片。普通玻璃片折射率为1.52，高折射率镜片为1.70还有1.80超高折射率的玻璃镜片。普通树脂镜片的折射率为1.50高折射率的有1.60和1.6树脂镜片，甚至还有1.74与1.80超薄树脂镜片，适合不同人的需要。当然，镜片的折射率越高，价格也越贵。

第三要选镜片表面处理：对镜片表面的处理方法有多种。最常见的为多层膜处理，这样会消除镜片表面的反射光，不仅更美观，而且镜片透光率更高、更清晰；特殊膜层的处理使得镜片具备硬度强、防水、防雾、防紫外线辐射等性能。

另外，为了延长眼镜的使用寿命，应注意眼镜的保养。戴眼镜时应双手取戴，轻拿轻放。放在桌上时镜片向上，并且随时注意检查螺丝是否松动。不用时最好将眼镜放入硬质镜盒中保存。擦拭树脂镜片或镀膜光学镜片时最好先用清水冲洗一下，或涂上中性洗洁液后冲洗一下，再用干净的软镜布擦拭。谨防砂粒或灰尘擦伤镜片。虽然树脂镜片比玻璃镜片强度大得多，但遇到猛烈冲击时，任何镜片都有破碎的可能，从事剧烈运动时要格外注意。每天用完眼镜后，要及时擦去镜托和镜架上的油污、汗水等脏物。

问题与练习

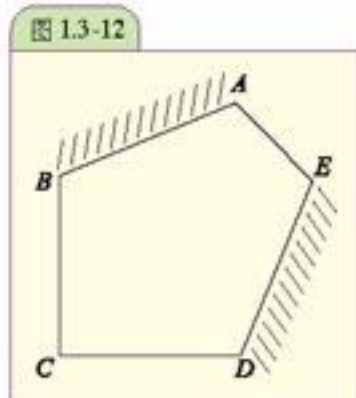
1. 在图13-11中，单色平行光束从左方射入各方框，每个方框内放上一个什么光学元件才会产生图中的结果？出射光束的单箭头和双箭头分别对应于入射光束的单箭头和双箭头。



2. 五角棱镜是光学仪器中常用的一种元件。棱镜用玻璃制成，BC、CD两平面高度抛光，AB、DE两平面高度抛光后镀银。 $\angle A = \angle B = \angle D = \angle E = 112.5^\circ$ (图13-12)。

(1) 试画出光从CD平面垂直射入棱镜后，再从棱镜射出的光路图，并说明画图的依据。

(2) 说说这种棱镜的作用。



4. 当物距等于透镜焦距 ($p = f$) 时, 观察发生的情况。
5. 把物距再缩短 ($p < f$), 进行观察。怎样才能观察到烛焰的像?

按上步骤操作, 把数据记入下表:

物体到透镜的距离 p/cm	像到透镜的距离 p'/cm	像的大小 (放大或缩小)	像的正倒
$p > 2f$			
$p = 2f$			
$2f > p > f$			
$p = f$			
$p < f$			

分析上表中的数据, 你能得出什么规律?

实验证明, 利用凸透镜既可以得到实像 ($p > f$ 时), 也可以得到虚像 ($p < f$ 时)。实像总是倒立的, 与物体分居凸透镜的两侧。实像可能是放大的, 也可能是缩小的; 虚像是正立的, 与物体位于凸透镜的同侧, 虚像总是放大的。

透镜成像作图法 透镜成像的位置、大小、虚实等, 既可以由实验得出, 也可以用作图的方法求出。

为了作图方便, 我们常用一根两端带箭头的, 通过光心 O 并跟主光轴垂直的线段表示薄透镜 (图 1.4.2)。

某一发光点 A 所发出的光束由很多条光线组成, 经凸透镜后又会聚到 A' , A' 就是 A 所成的像 (图 1.4.3)。因此, 只需求出该发光点发出的任意两条光线经凸透镜折射后的交点就可以确定这一点的像了。

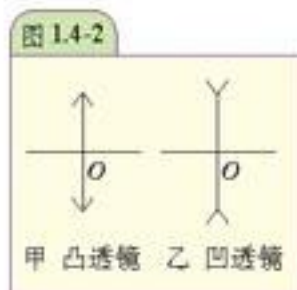
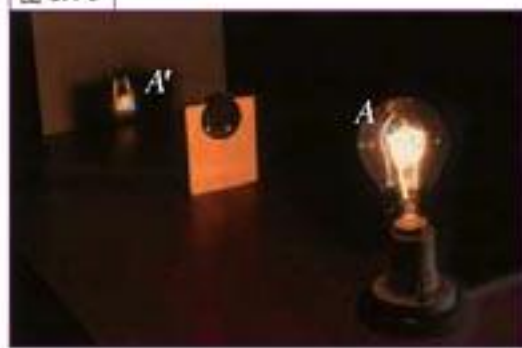


图 1.4-3

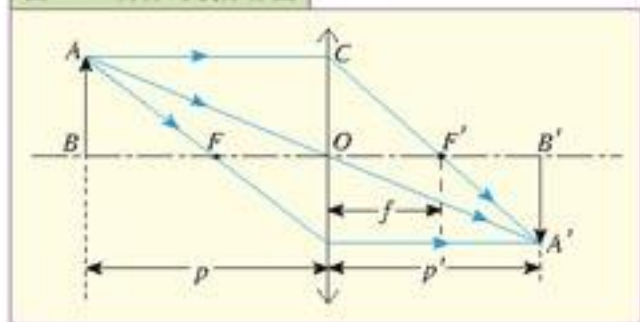


在上节中, 我们已经知道三条特殊光线经凸透镜折射后的传播方向:

1. 通过光心 O 的光线经过透镜后方向不变;
2. 平行于主光轴的光线, 经透镜折射后通过焦点 F' ;
3. 通过焦点 F 的光线, 经透镜折射后跟主光轴平行。

图 1.4-4 是用三条特殊光线作出的发光点 A 的像点 A' 的光路图。实际作图时, 任选其中两条就可以了。

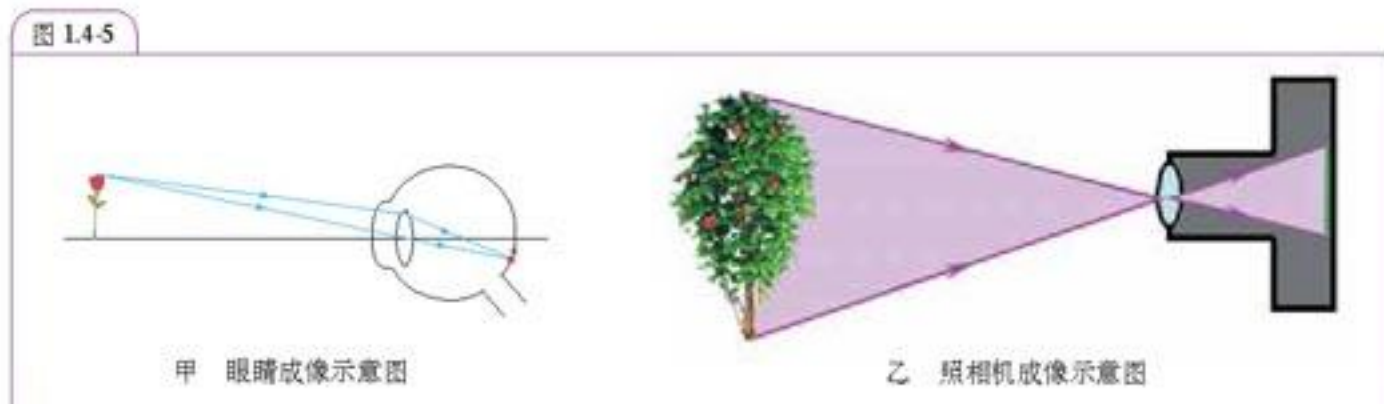
图 1.4-4 物体的成像作图



对于垂直于主光轴的线状物体 AB ，可以选取物体端点 A ，用上述的作图法求出它的像点 A' ，再通过它作一垂直于主光轴的线段 $A'B'$ ， $A'B'$ 就是物体 AB 的像。

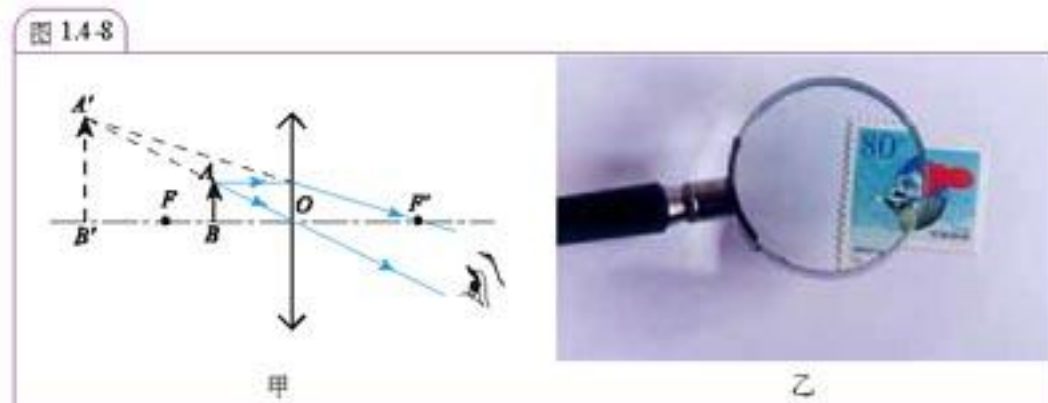
如果物体位于距凸透镜 2 倍焦距以外的地方 ($p > 2f$)，成的像是倒立缩小的实像，像距大于焦距而小于 2 倍焦距 ($2f > p' > f$)。人眼、照相机 (图 1.4-5) 的成像都属于这种情况。

当 $p = 2f$ 时，像距为 $2f$ ，是倒立等大的实像。复印机 (图 1.4-6) 在复印比例为 1:1 时就是属于这种情况。



在图 1.4.4 中，若 $A'B'$ 是物体，根据光的可逆性可以知道， AB 就是物体的像。在这种情况下，物距大于焦距而小于 2 倍焦距 ($2f > p > f$)，像位于距凸透镜 2 倍焦距以外的地方 ($p' > 2f$)，是倒立放大的实像。幻灯机、书写投影器 (图 1.4-7) 的成像都属于这种情况。

物体位于凸透镜焦点和光心之间 ($p < f$)，像的求法如图 1.4-8 甲所示。在这种情况下，从物体一个端点 A 发出的两条光线通过凸透镜以后并不交于一点，而它们的反向延长线相交于 A' ，所以 A' 是 A 点的虚像。同样， B' 是 B 的虚像。 $A'B'$ 就是 AB 的虚像。由图中可知，物距小于焦距 ($p < f$) 时，从凸透镜得到的是正立放大的虚像。放大镜的成像属于这种情况 (1.4-8 乙)。



大家做

手持放大镜，将手臂伸直，透过放大镜观看远处物体，有什么现象？用作图法加以解释。



书写投影器的原理

书写投影器是教学中常用的投影放大设备。它的光路如图 1.4-9 所示。由聚光器发出的平行光均匀地照射在透明投影片上，由于投影片处在凸透镜 L 的 1 倍焦距与 2 倍焦距之间，故在另一侧 2 倍焦距之外成一倒立放大的实像。为了便于观察，常用平面镜 M 把像反射到银幕上。调节投影器的旋钮，通过齿轮齿条装置可以使凸透镜上下移动，从而改变投影片到透镜 L 的距离（即改变物距），在屏幕上可得到清晰的放大实像。

为了能放映大画面的投影片，聚光器需要用大孔径的凸透镜来聚光。大孔径的凸透镜很厚、很重，制作和使用都不方便。为此人们研究出了一种可以做得很薄的大孔径凸透镜，这种透镜用透明有机玻璃制成，表面布满了一圈一圈密密的条纹，因此叫做螺纹透镜（图 1.4-10）。螺纹透镜加工简单，节省材料、重量轻、不易变形，而作用跟凸透镜相同。

投影器不仅能放映大画面的投影片，还能放映写在投影器台面上的文字，所以称为书写投影器。如果学校里有投影器，同学们可以看看使用说明书，并动手实际操作一下。

图 1.4-9

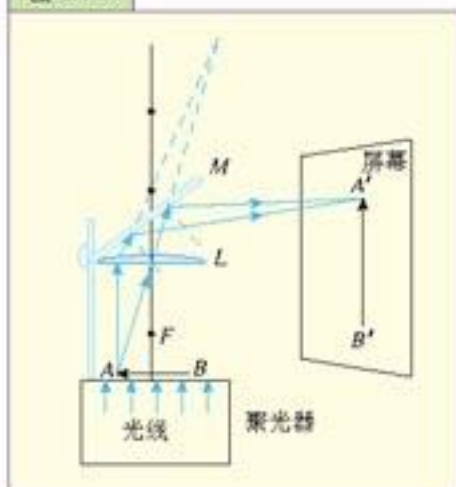


图 1.4-10



问题与练习

1. 一枝高为 12 cm 的蜡烛距凸透镜 30 cm，凸透镜的焦距为 10 cm。用适当的比例画出成像光路图。从图上求出像距和蜡烛的像长。
2. 凹透镜的焦距为 10 cm，物体位于透镜前 15 cm 处。用适当的比例作图，求出像的位置。
3. 给你一个透镜，怎样用简单易行的方法判断它是凸透镜还是凹透镜（不能用手触摸）？
4. 你怎样粗测一个凸透镜（焦距约几厘米）的焦距？
5. 关于凸透镜成像，下列说法正确的是：

A. 物、像在透镜的同侧一定是虚像；	B. 实像总是倒立的，虚像总是正立的；
C. 实像总是缩小的，虚像总是放大的；	D. 实像和虚像都可能是放大或缩小的。

第 5 节 透镜成像公式

透镜成像公式 透镜成像的规律，如像的位置、大小、虚实等，不仅可以用实验、作图法确定，还可以用公式计算出来。即物距 p 、像距 p' 和焦距 f 三者之间的关系可以用公式表示。在图 1.5-1 中， $A'B'$ 是物体 AB 由凸透镜所成的像。

由于 $\triangle COF'$ 与 $\triangle A'B'F'$ 是相似三角形，所以

$$\frac{CO}{A'B'} = \frac{OF'}{B'F'}$$

另外， $\triangle ABO$ 与 $\triangle A'B'O$ 也是相似三角形，所以

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{BO}{B'O}$$

因为 $CO = AB$ ，所以上面两个式子的左边相等，因而这两个式子的右边也相等，即

$$\frac{OF'}{B'F'} = \frac{BO}{B'O}$$

而 $OF' = f$ ， $B'F' = p' - f$ ， $BO = p$ ， $B'O = p'$ ，把这些值代入上式，可得

$$\frac{f}{p' - f} = \frac{p}{p'}$$

将上式化简得

$$fp' + fp = pp'$$

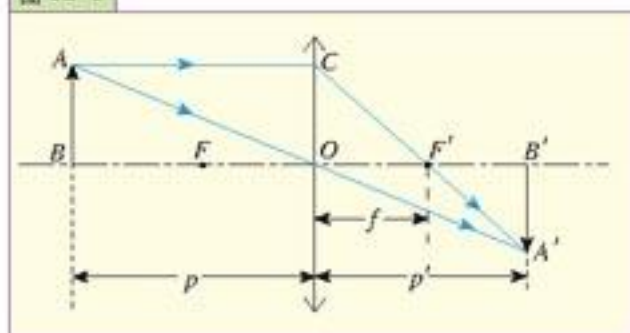
用 pp' 除等式两边，就得到凸透镜成像公式

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

可以证明，上面的公式也适用于凹透镜，因此这个公式叫做透镜成像公式。

在运用透镜成像公式时，需要正确选取物理量的正负值：物体到透镜的距离，即物距 p 始终取正值；凸透镜的焦距 f 取正值，凹透镜的焦距 f 取负值；实像的像距 p' 取正值，虚像的像距 p' 取负值。即所谓“实正虚负”。

图 1.5-1



大家谈

试用透镜成像公式叙述凸透镜的成像规律。

○ 例题1 有一个物体竖直放置在主光轴上距透镜20 cm处，像成在透镜的另一侧，距透镜60 cm。(1) 判断该透镜是哪种透镜；(2) 求透镜的焦距；(3) 如果物体距透镜10 cm，这时像成在什么地方？是实像还是虚像？

解：(1) 像和物分别位于透镜两侧，是实像。由于只有凸透镜才能成实像，所以这个透镜是凸透镜。

(2) 因为是实像，像距要取正值。将 $p = 20$ cm, $p' = 60$ cm 代入透镜成像公式，得

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{20 \text{ cm}} + \frac{1}{60 \text{ cm}}$$

解得

$$f = 15 \text{ cm}$$

即透镜的焦距是15 cm。焦距是正值，也表明这个透镜是凸透镜。

(3) 由题目条件可知， $p_1 = 10$ cm, $f = 15$ cm, 代入透镜成像公式

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_1'}$$

得

$$\frac{1}{15 \text{ cm}} = \frac{1}{10 \text{ cm}} + \frac{1}{p_1'}$$

解得 $p_1' = -30$ cm。

像距 p_1' 是负值，表明像和物位于透镜同侧，距透镜30 cm处，是虚像。

像的放大率 透镜所成的像跟物体相比，可以是放大或缩小的，也可以是跟物体大小相等。为了说明像的放大情况，我们将像的长度 $A'B'$ 与物体长度 AB 的比值，叫做像的放大率，并且用 m 表示，由图 1.5-1 可知

$$m = \frac{AB'}{AB} = \frac{|p'|}{p}$$

即像的放大率等于像距与物距之比。因为放大率 m 总是正值，所以计算放大率时，像距 p' 取绝对值。

○ 例题2 一个透镜，焦距为4 cm，在它前面放一个物体，如果得到放大2倍的像，求物距和像距。

分析：题中只给出放大率，因此存在着实像放大和虚像放大两种情况。但由于只有凸透镜才能形成放大的像，所以该透镜为凸透镜， $f = 4$ cm。

解：因为 $m = \frac{|p'|}{p}$ ，所以 $p' = \pm 2p$ 。

所成的像为实像时， p' 为正值，将 $p' = 2p$ 代入透镜公式，得

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{2p} = \frac{1}{4 \text{ cm}}$$

所以 $p = 6$ cm, $p' = 12$ cm。

所成的像为虚像时， p' 是负值。以 $p' = -2p$ 代入公式，得

$$\frac{1}{p} - \frac{1}{2p} = \frac{1}{4 \text{ cm}}$$

所以 $p = 2 \text{ cm}$ ， $p' = -4 \text{ cm}$ 。



测量凸透镜的焦距

测量凸透镜的焦距，有多种不同的方案，这里列出几种方案供选择。

方案1（平行光聚焦法）

一束平行于凸透镜主轴的光线，经过透镜后会聚于焦点，由此，可粗测凸透镜的焦距。

让凸透镜对着平行光线（如太阳光），或对着足够远的物体（诸如窗框、天花板上的日光灯），在透镜另一侧调整光屏的位置，使屏上出现清晰的像，测出透镜与清晰的像间的距离，这就是透镜的焦距。这个方案简单易做，但是测量结果粗糙。

方案2（公式法）

利用光具座做凸透镜成实像的实验，测量成像时的物距 p 和像距 p' ，根据透镜成像公式 $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$ ，计算出透镜焦距 f 。多次测量后取平均值。

方案3（共轭法）

当小灯泡与光屏间的距离 L 保持不变，且大于4倍焦距时，在灯和屏之间移动透镜，在屏上必能两次成像，如图1.5-所示，第1次成像时，物距为 p_1 ，像距为 p_1' ， $p_1 + p_1' = L$ 。第2次成像时，物距等于第1次成像时的像距，即 $p_2 = p_1'$ ，像距等于第1次成像时的物距，即 $p_2' = p_1$ 。由此可得

$$p_2 + p_2' = 2p_1 + d = L$$

$$p_1 = \frac{L-d}{2}$$

$$p_1' = \frac{L+d}{2}$$

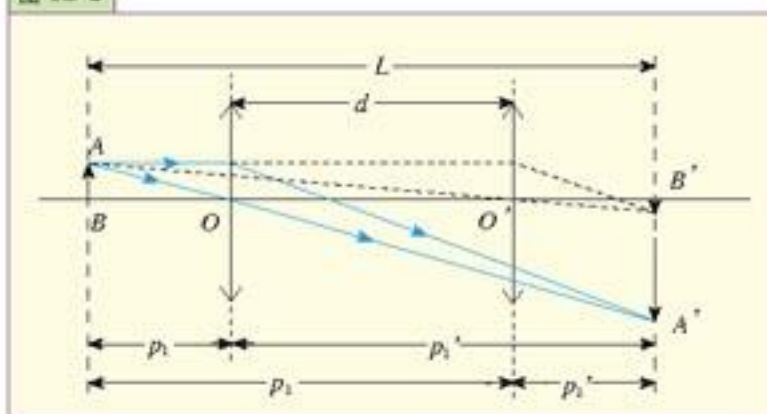
将 p_1' 及 p_1 代入透镜公式，整理后得

$$f = \frac{L^2 - d^2}{4L}$$

测出 L 和 d 便可求得焦距。

利用光具座固定好光源和光屏，测量它们的间距 L 。将待测焦距的凸透镜放在其间，沿主轴移动凸透镜，使光屏上两次呈现光源倒立的像。记录两次成像时透镜的位置，由此求出两次成像过程中透镜移动的距离

图 1.5-2

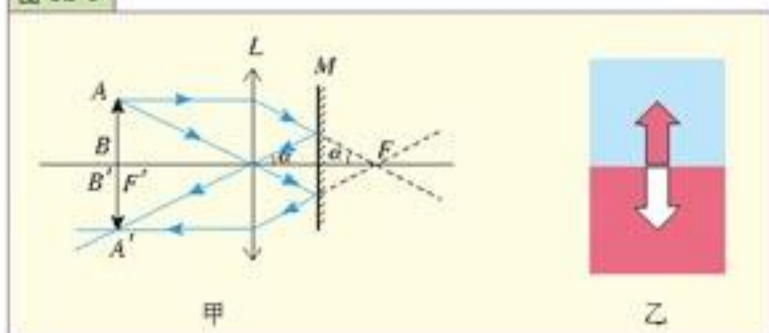


d 根据公式 $f = \frac{L^2 - c^2}{4L}$ ，可以算出凸透镜焦距 f 。多次测量后取平均值。这个方法叫做共轭法。

方案4 (平面镜辅助法)

测量装置仍是利用光具座，只是将共轭法中的光屏换成一面平面镜。其原理如图 1.5-3甲所示，当光源 AB 恰好位于凸透镜 L 的焦点时，光源上任意一点发出的光 (以 A 点为例) 经 L 折射后均为平行光。这束光入射到平面镜 M ，经 M 反射后仍为平行光，而且反射光与主光轴的夹角和入射光与主光轴的夹角是相同的。因此，经平面镜 M 反射的平行光，再次经透镜 L 折射后不仅必定会聚于光源一侧过焦点垂直于主光轴的平面上而成像，而且像点和物点对主光轴必是对称的，如图 1.5-3甲中的 A 与 A' 。

图 1.5-3



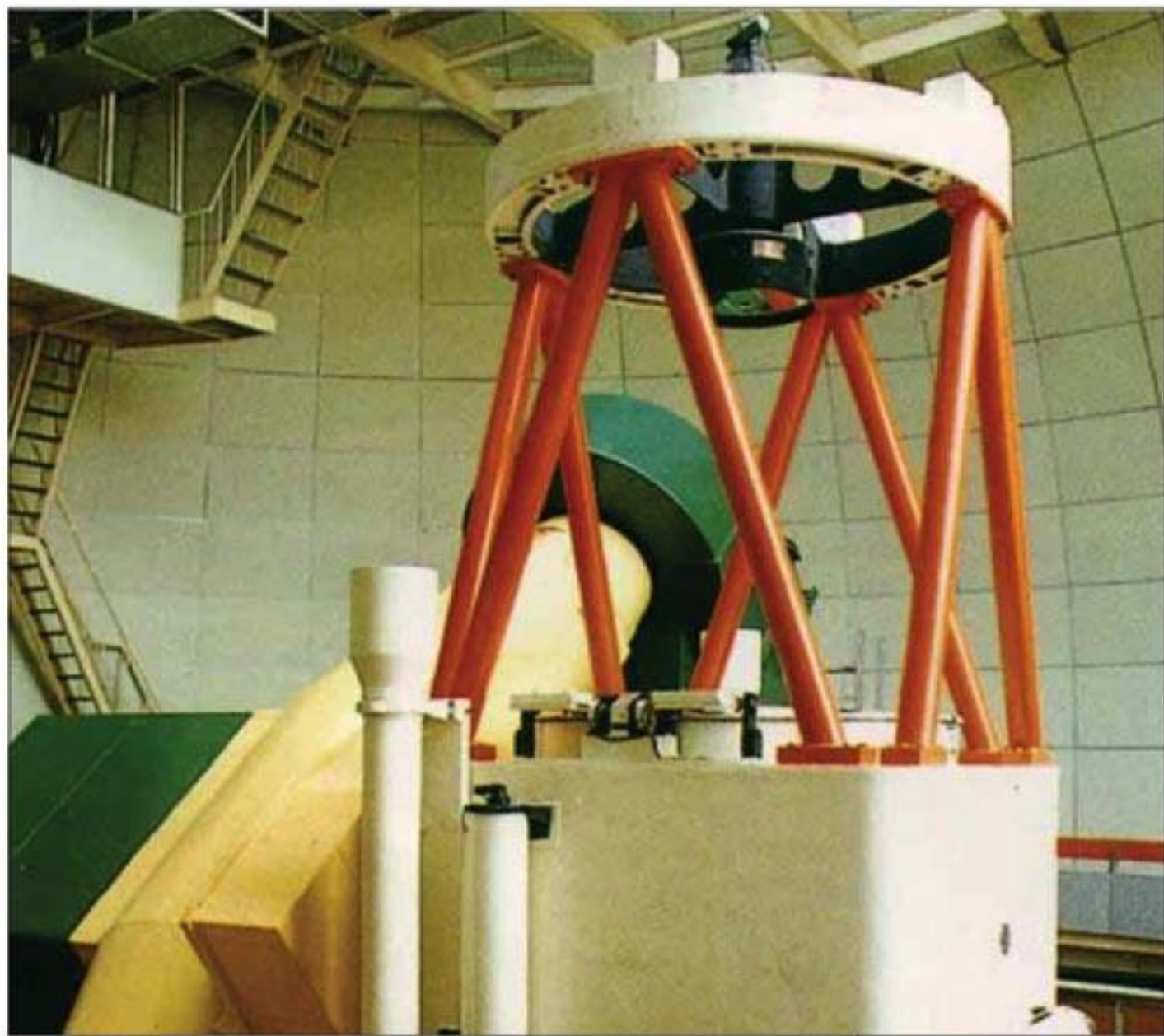
实验时采用上边发光，下边是屏的面光源，使面光源与屏的分界线恰好位于凸透镜主轴上。移动光源，当屏上出现与光源等大、倒立的像时，光源 (即此物屏) 恰好处于凸透镜的焦点位置，由此可测出凸透镜的焦距。图 1.5-乙中表示的就是“物屏”，它是在一个光屏上刻出 \uparrow 形的孔，用平行光从屏后射出，就形成 \uparrow 形的面光源，但其下部仍是一个光屏，所以在这个实验中物屏既是一个面光源，同时又是一个光屏。

问题与练习

1. 一支高为 12 cm 的蜡烛距凸透镜 30 cm，凸透镜的焦距为 10 cm。求：像距为多大？蜡烛的像多高？
2. 一座建筑物在照片上的像高是 2.5 cm。已知照相机的镜头到建筑物的距离是 50 m，照相机的镜头的焦距是 5 cm，这个建筑物实际有多高？
3. 在用照相机照相时，如果换用焦距大一些的镜头在同一地点拍摄同一物体，得到的像的大小有什么变化？
4. 观察体温计玻璃管的形状。为什么要制成这个样子？

第 2 章

常用光学仪器



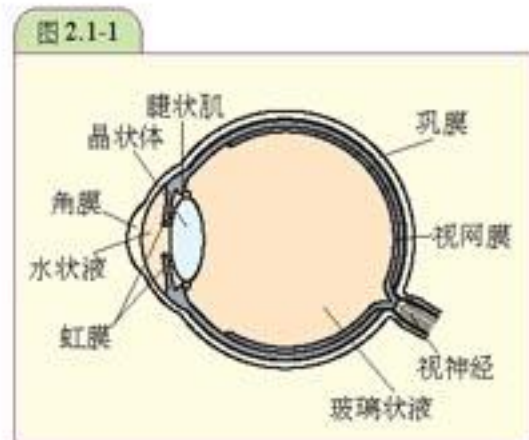
国家天文台 2.16 m 光学望远镜

利用透镜成像的原理,人们根据科学领域及日常生活中的各种需要,制造了各类成像用时光学仪器,称为几何光学仪器,其中主要的有显微镜、望远镜、照相机等。几何光学仪器在天文学、电子学、生物学和医学等领域中发挥了巨大的作用。这一章我们学习显微镜、望远镜和照相机的知识。

第 1 节 眼睛

由于几何光学仪器都是人眼功能的扩展，为了深入了解各类光学仪器，有必要从几何光学的角度了解人眼的构造。

人眼的构造 人的眼球大约呈球状，直径约为 2.5 cm，其断面如图 2.1-1 所示。眼球的前面覆盖着透明的角膜，它是光线进入眼睛的门户，其功能是保护晶状体并使进入眼睛的光线折射。眼球内部的晶状体的形状如双凸透镜，四周是睫状肌，它把眼球分为前后两室。前室充满透明的水状液体称为水状液；后室充满透明的糊状液体称为玻璃状液。



景物的光线射入眼睛，经过角膜、水状液、晶状体及玻璃状液的一连串折射后，到达视网膜，在视网膜上形成的实像，由视觉神经将信息传递到大脑，大脑便产生了视觉效果。

在晶状体的前面还有一层叫做虹膜的薄膜，薄膜并不完全遮盖晶状体，而是四周遮盖，中间部分裸露，形成一个能通过光的小孔——瞳孔。瞳孔的大小可以调节，以使眼睛适应强弱不同的光。在光线较强的环境下，瞳孔收缩，使进入眼内的光线减少；光线弱时，瞳孔扩张，使进入眼内的光线增多。

大家谈

正常的眼睛可以使远近不同的物体都能在视网膜上成像。可是我们知道，物距不同，像距也应不同，为什么远近不同的物体都能在视网膜上成像呢？

眼睛的调节 眼睛使离我们远近不同的物体都可以在视网膜上成像，而眼球的大小是不变的，也就是说，像距是一定的。这是因为眼睛可以通过睫状肌的收缩和舒张来改变晶状体的凸起程度，使得不同距离的物体都能在视网膜上成清晰的实像。眼睛的这种自动调节能力称为视觉调节。看近物时，睫状肌会收缩，使晶状体前端凸出，焦距减小；看远景时，睫状肌放松，使晶状体前端呈扁平状，焦距增加。

眼睛的调节是有限度的。晶状体变得最扁时，眼睛能看清的最远点，叫做眼睛的远点。正常眼睛的远点在无限远处。即从无限远处的物体射入眼睛的光，它们的像恰好能成在视网膜上。晶状体变得最凸时，眼睛能看到的最近点，叫做眼睛的近点。正常眼睛的近点约在离眼睛 10 cm 的地方。所以靠眼睛自身的调节能看清的范围是从离眼睛 10 cm 到无限远处。在合适的照明条件下，正常的眼睛观看距离眼睛 25 cm 远的物体，不容易感到疲劳，因此把距眼

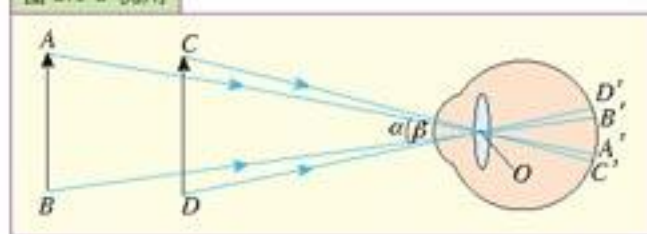
睛 25 cm 的距离叫做明视距离。

视角 在黑板上画一个等号“=”，如果两条线之间的距离很小，那么，教室里后排同学看到的可能是一个减号“-”了。这是为什么？

原来，物体能不能被看清，不仅决定于它的像是否能成在视网膜上，而且决定于像是否有足够的大小。如果像很小，以致物体上两点的像落在眼睛的同一个感光细胞上，那么眼睛就不能分辨它们，而把这两点看成一点。

物体在视网膜上所成的像的大小，取决于物体对眼的光心 O 所张的角，这个角叫做视角。由图 2.1-2 中可以看出，空间两物点对人眼所张的视角越大，则这两物点在视网膜所成的像分开的距离越大，视网膜上受到刺激的感光细胞就越多，眼睛对物体的细微结构就看得越清楚。同一个物体，离眼睛近时视角大，在视网膜上所成的像也

图 2.1-2 视角



大；离眼睛远时视角小，在视网膜上所成的像也小，这就是物体离眼睛近比离眼睛远时看得清楚的原因。人们在观察微小物体时，总是把它放在离眼睛近的地方，以增大视角，使视网膜上成的像大一些。

要使眼睛把物体上的两个点区分开，必须使这两个点在视网膜上的像落在不同的感光细胞上，这样，这两个点的视角就必须大于某一数值才行。实验证明，正常眼睛的这一数值约等于 $1'$ 。大小约为 0.1 mm 的物体，在离眼睛 25 mm 的明视距离处，所成的视角大约就是 $1'$ 。

大家做

在一张白纸上画一个直径为 1 mm 的黑点，将白纸竖直立在光照充足的桌面上。一面向后退一面看这个点，看看到多远的地方就看不清了。测出这个距离，算出这时观察黑点的视角是多大？在光线不足的地方再做一次，看看视角有什么变化？

第 2 节 显微镜和望远镜

把物体移得离眼睛近些可以增大视角，使眼睛能看清物体，但是这种方法是有一定限度的，物体移到近点以内就不能再移近了（请同学们想一想这是什么原因）。况且，有些物体（例如天体）是无法移近眼睛的。在这些情况下，为了看清物体，就要借助于助视仪器——放大镜、显微镜、望远镜等光学仪器。

显微镜 用放大镜观察物体，通常视角只能增大几倍。观察细菌、动植物的细胞等细微物体及金属的结构等物体细节时，需要用到放大倍数更大的仪器——显微镜。

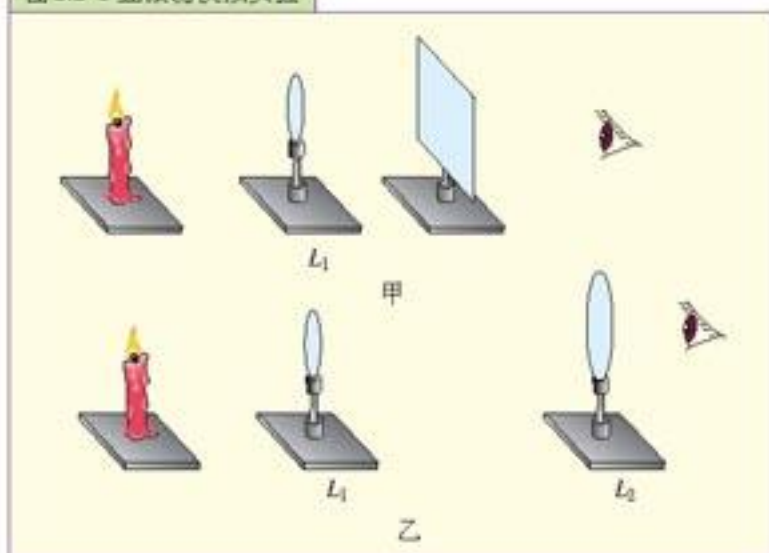
放大镜就是增大视角的助视仪器

大家做

显微镜成像原理的模拟实验

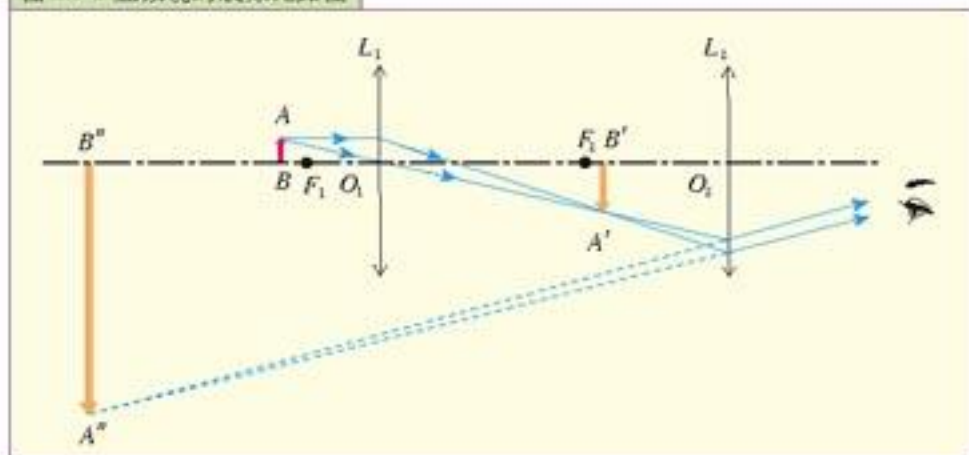
让点燃的蜡烛（或发光的灯泡）经凸透镜 L_1 （可用焦距为几厘米的普通放大镜）在白纸上成一个倒立放大的实像，眼睛从白纸的后面观看（图2.2-甲），在眼睛前面放置凸透镜 L_2 （可用焦距为十几厘米的老花镜），看到白纸上实像的放大虚像，移去白纸，眼睛依然看到跟刚才一样的放大的虚像（图2.2-乙），所以，显微镜是通过二次放大而看清楚细小物体的。

图2.2-1 显微镜模拟实验



显微镜的主要部分由装在镜筒里的两组透镜构成。每组透镜都相当于一个凸透镜。靠近被观察物的一组透镜叫做物镜，靠近眼睛的一组透镜叫做目镜。物镜的焦距很短，目镜的焦距要长一些。图2.2-2是显微镜的成像光路图。物镜 L_1 到被观察物体 AB 的距离稍大于物镜的焦距 F_1 ，通过物镜得到放大的实像 $A'B'$ 。 $A'B'$ 对目镜 L_2 来说相当于物体，由于 $A'B'$ 位于目镜的焦点 F_2 以内，这样通过目镜就看到 $A'B'$ 的放大的虚像 $A''B''$ 。从图上可以看到 $A''B''$ 的视角比用眼睛直接看 AB 时的视角大得多，所以用显微镜可以看清楚非常小的物体。

图2.2-2 显微镜的成像光路图



人眼只能分辨相距0.1 mm左右的两个点，光学显微镜的放大率从几十倍到一千多倍，可使我们看清物体万分之一毫米左右的细微结构，大大提高了我们的观察能力。但是要观察物体

更细微的结构，例如晶体的结构、分子、原子等，光学显微镜就无能为力了，必须要用放大率更高的电子显微镜或扫描隧道显微镜了。

望远镜 观察远处的物体或天体要用望远镜。望远镜的构造有不同的形式，它也是由目镜和物镜构成的。按物镜的结构，望远镜分为折射望远镜，反射望远镜，折反射望远镜。下面我们主要学习折射望远镜。

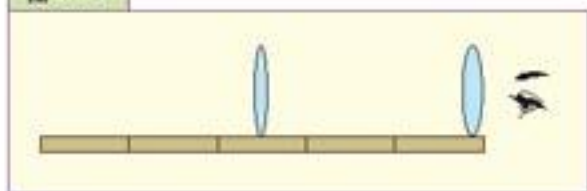
折射望远镜分为伽利略结构和开普勒结构两类。伽利略结构历史最悠久，其目镜为凹透镜，能直接成正立的像，但是视场小，多被玩具级的望远镜采用。绝大多数常见的望远镜都是开普勒结构。

开普勒望远镜是德国天文学家开普勒发明的，主要用来观察天体，它由两组透镜构成，每组透镜相当于一个凸透镜，其中对着远处物体的一组叫做物镜，对着眼睛的一组叫做目镜。但是与显微镜不同，开普勒望远镜的物镜焦距较长，目镜焦距较短。

大家做

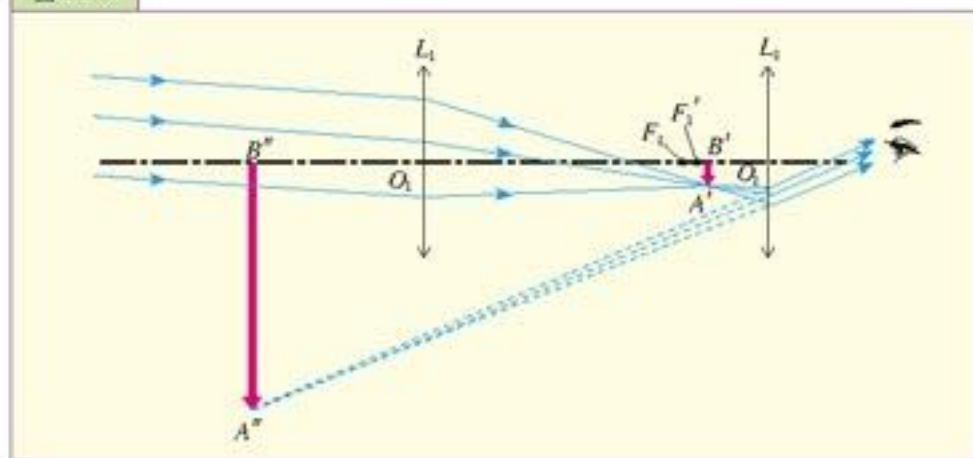
如图2.2-3所示，用焦距分别为20 cm和5 cm左右的凸透镜，通过塑料架置于光具座上。先不用目镜，以毛玻璃接收远处景物（最好是发光的灯泡）所成的实像。随后，移去毛玻璃，通过目镜再观察这个实像。调节透镜间的距离直至观察到远处的物体。

图 2.2-3



开普勒望远镜的原理如图2.2-4所示，从很远处物体上的一点射来的光近似于平行光线，经过物镜 L_1 后在距焦点很近的位置上成一倒立缩小的实像 $A'B'$ 。虽然，像 $A'B'$ 远小于天体，但是它有较大的张角，而且位于目镜 L_2 和它的焦点 F_2 之间距焦点很近的地方。 L_2 以 $A'B'$ 为物体，形成放大的虚像 $A''B''$ 。这样，当我们对着目镜观察的时候，进入眼睛的光线就好像从 $A''B''$ 射来的。 $A''B''$ 的视角大于直接用眼睛观察天体时的视角，因此觉得从望远镜中看到的物体离自己近了，看得更清楚了。

图 2.2-4



开普勒望远镜获得的是倒立的像，对天体的观察无关大局，用来观察风景或演出就必须将倒立的像再颠倒过来。为此，往往采用全反射棱镜来改变光路（第1章图1.3-5乙）。使用两个正交配置的全反射棱镜，不但可以把倒立的像变成正立的像，而且能缩短镜筒的长度（图2.2-5）。

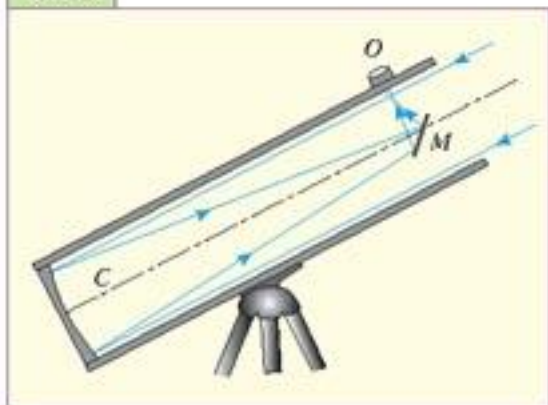
图 2.2-5 双筒望远镜



反射式望远镜

望远镜的物镜越大，进入镜中的光就越多，所成的像就越明亮。这对于观察遥远星体是十分重要的，但是由于制作和安装的困难以及其他原因，透镜的直径很难大于1 m，所以天文台用的大型望远镜大多为反射式望远镜。这种望远镜是牛顿在1668年发明的。反射式望远镜的原理如图2.2-6所示，它以一个很大的凹面镜代替物镜，从遥远的天体射来的光线经凹面镜C反射后会聚，在光线还没有会聚到焦点前，就被平面镜M反射，改变光路后在目镜O的焦点附近形成实像，再经目镜放大成虚像。反射式望远镜的凹面镜可以做得很大，能够看到更远、更暗的星体。国家天文台已安装了远东最大的口径为2.16 m的反射式望远镜（章首图）。

图 2.2-6



哈勃太空望远镜（图2.2-7）也属于反射式望远镜，它的主要光学部分由两个双曲面的主镜和副镜构成，两者相距4.5 m，主镜直径为2.4 m，副镜直径为0.3 m。

哈勃望远镜是有史以来最精确的天文望远镜，它上面的相机的清晰度是地面天文望远镜的10倍以上，其观测能力等于从华盛顿看到1.6万千米外悉尼的一只萤火虫。每天可以获取3到5 GB的数据，向地面发回了大量珍贵的图像。

哈勃望远镜是由美国国家航空航天局和欧洲航天局合作，于1990年发射入轨的。哈勃望远镜是以天文学家爱德文·哈勃的名字命名的，它运行在地球大气层外距离地面约600 km的轨道上，大约每100 mi环绕地球一周。按计划，它将在2009年被詹姆斯·韦伯太空望远镜所取代。

图 2.2-7 哈勃太空望远镜

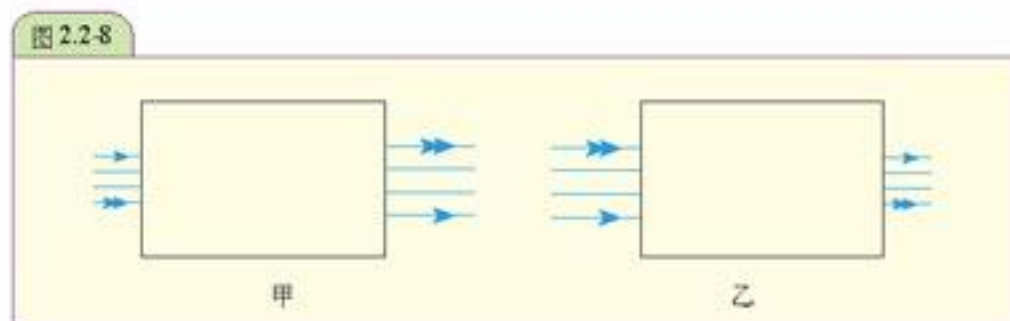


伽利略望远镜与强权

伽利略崇尚科学探究，反对脱离实际的空谈。1608年他制作了一架望远镜，并用这架望远镜观察星宿。伽利略用望远镜观察到月球的环形山、木星的卫星、土星的光环等。这些发现使他坚信日心说。为此，他触犯了只许宣扬地心说的教会。主教团不允许宣扬日心说。但是伽利略毫不退让，1630年他写成了《关于两种世界体系的对话》一书，继续坚持宣传日心说。此书于1632年在佛罗伦萨面世，为此触犯了教会。1635年罗马宗教法庭宣判该书为禁书，并将伽利略无限期监禁在家中。但是强权并没使他真正屈服，风烛残年的伽利略在家中又完成了著名的科学论著《两种新科学的对话》，这本书奠定了现代实验物理学的基础，这本书出版时伽利略已经双目失明，随后于1642年1月8日在阿切特里病逝。1979年11月10日，保罗二世教皇承认，当年伽利略受到的教庭审判是不公正的。1980年10月教皇又在梵蒂冈举行的世界主教会议上提出重新审理这件冤案，并于20世纪80年代为伽利略平反。

问题与练习

1. 利用显微镜能把放大的像成在目镜外面的屏幕上吗？要做到这一点需要怎样调整目镜的位置？简单说明它的原理。这就是显微摄影原理，其中的照相底片相当于上述的屏幕。
2. 查看生物实验室所用的显微镜是如何获得不同倍率的。你是如何理解显微镜的放大率等于物镜的放大率 \times 目镜的放大率的？
3. 帮助生物实验室的老师保养和维护显微镜。
4. 在图2.2-8中，单色平行光束从左方射入每个方框，每个方框内放两个什么光学元件才会产生图中的效果？出射光束的单箭头和双箭头分别对应于入射光束的两个边缘。



5. 自制简易望远镜，用望远镜观察星空，与同学交流观察结果，或以墙报形式展出。

第 3 节 照相机

现在，许多家庭都有照相机，摄影已经成为人们不可或缺的生活内容。在初中，我们已经知道照相机的工作原理，在这一节中，我们要进一步了解照相机。

照相机的组成 照相机由暗箱、镜头、取景器、调焦装置、快门、快门按钮、光圈和输片装置等组成（图 2.3-1）。

图 2.3-1 照相机



(1) 暗箱：是一个不透光的箱子。保证在不拍照的情况下，没有光线进入其中。

(2) 镜头：由一组透镜组成，是成像的核心部件，是照相机优劣的主要标志。每个镜头上都标明了该镜头的焦距，如 50 mm、28 mm 等等。

(3) 取景器：使摄影者能看出他所拍照片包括的景物范围。

(4) 调焦环：调整像距以保证成像清晰（图 2.3-2）。

(5) 快门：控制曝光时间长短。通常情况下快门是关闭的，只有在按下快门按钮后才开启，使胶片按预先设定的时间感光。快门速度按等级 1、2、4、8、15、30、60、125、250、500、1 000 排列，这些数字均为曝光时间的倒数，单位为秒，如数字 125 即曝光

时间为 $\frac{1}{125}$ s。从上面一系列数字可以看出，每级快

“调焦”或称“对焦”是摄影的术语，不是调整镜头的焦距。

图 2.3-2 调焦环和光圈环



门的曝光时间等于（或约等于）前一级快门曝光时间的二分之一。

(6) 快门按钮：用来操纵快门开启的按钮。

(7) 光圈：由许多极薄的金属片搭接而成，在其中心形成一个像眼睛瞳孔一样的光瞳（图 2.3-3）。控制金属片可以调节光孔的直径大小，从而改变进入照相机的光的强弱。

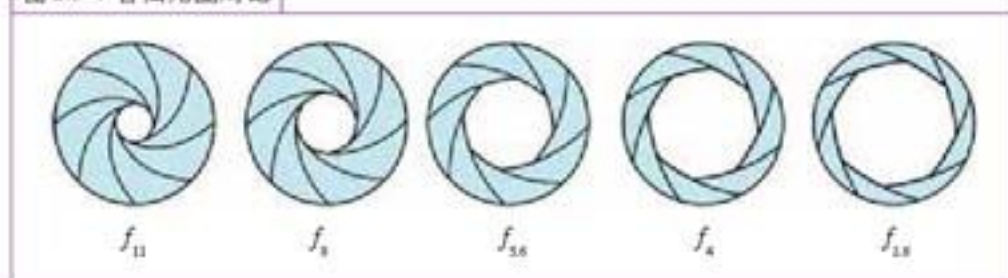
光圈的大小是由光圈数来标志的，光圈数表示光圈的相对孔径，例如 4 表示光圈的直径等于镜头焦距 f 的 $\frac{1}{4}$ 。光圈数越小，光孔的直径越大，即光圈越大（图 2.3-4）。

图 2.3-3



光圈环上，只刻光圈的数字，如 1.8 2.8 4, 5.6 等。

图 2.3-4 各档光圈对比



相机的光圈数按等级 22、16、11、8、5.6、4、2.8、1.8 排列，并刻在光圈环上（见图 2.3-2）。由于圆面积与直径的二次方成正比，所以相邻两级光圈，后一级的进光量为前一级的两倍。

(8) 输片装置：用以拖动胶片，使胶片能一幅幅地顺序曝光。中高档相机多采用电动输片方式。

曝光量的控制 我们知道，拍摄用的胶片要求有一定的曝光量。由于拍摄的景物亮度差异很大，所以，照相时必须根据景物的亮度来控制曝光量，使胶片曝光正常。

快门和光圈都能控制曝光量。拍摄某一景物时，如果快门速度选 60，光圈选 11，能使胶片曝光正常。当景物亮度扩大为原来的二倍时，如果保持快门速度 60 不变，必须将光圈大小调小一级，即改为 16；如果保持光圈 11 不变，则必须将快门速度调快一级，即改为 125 才能使胶片曝光正常。

由此可见，快门 60、光圈 16 组合跟快门 125、光圈 11 组合的曝光量是相等的。

大家谈

拍摄某一景物时，相机光圈用 5.6 快门用 60 能使胶片正常曝光，当景物亮度减弱为原来的一半时，应该采用什么样的光圈快门组合？

仅凭人的眼睛来判断景物的亮度，很难保证曝光正常。现在，很多相机都有自动测光装置，即把光敏元件装在照相机内，通过镜头去测量景物的亮度，得出曝光指数，相机自动选取快门和光圈组合，以保证曝光正常。

照相机镜头 照相机镜头的焦距是照相机镜头的重要参数。按照镜头焦距的长短可以分为三种：

镜头焦距长度等于底片画面对角线长度的，称为标准镜头（图 2.3-5）。它的视角与人眼视角（ $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ）相近，135相机标准镜头焦距为 50 mm。标准镜头的透视效果符合人们观察的习惯，拍出的景物不变形，是最常用的镜头。



镜头焦距长度小于底片画面对角线长度的，称为短焦距镜头。它的视角大于人眼视角，多为 $70^{\circ} \sim 96^{\circ}$ ，所以也叫做广角镜头。主要用于在较近的距离内拍得较宽的场面，但是变形比较大。

镜头焦距长度大于画面对角线、视角在 40° 以下的，称为长焦距镜头，也叫望远镜头。主要用于远距离拍摄，使主体成像大一些。采访足球比赛的记者大多采用望远镜头，以便在场外拍摄足球运动员的特写。

镜头焦距可以变化的称为变焦镜头，一般的变焦倍数为 3，如 28~85 mm，70~210 mm 等等，现在有的变焦镜头的变焦倍数达到 10 以上。新型相机大多配置变焦镜头。变焦镜头兼顾广角、标准、望远镜头的多种功能，站在固定的位置拍摄同一场景可以获得不同的画面（图 2.3-6）。

图 2.3-6 在固定的位置用变焦镜头拍摄获得不同的画面



广角镜

照片的景深

我们在看报和杂志时常会发现：有的照片远近的景物都拍摄得相当清晰（图 2.3-甲），有的照片只有主体景物清晰，而远处、近处的景物都比较模糊（图 2.3-乙）。

我们知道，当针对某主体景物准确对焦后，在胶片上只有主体景物才能成最清晰的像，而位于主体景物前后的其余景物

图 2.3-7



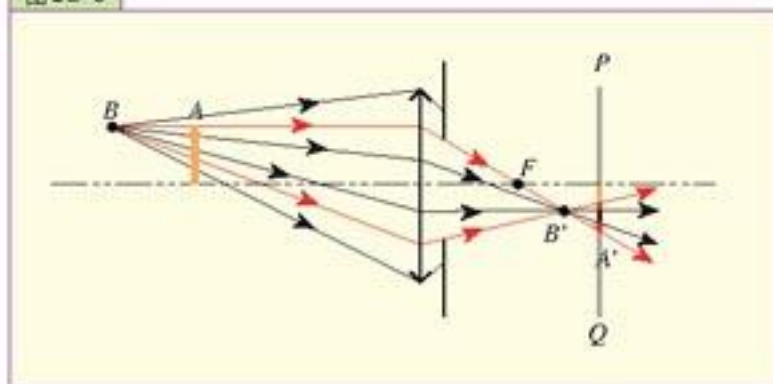
都不是最清晰的，其中离得近的景物的清晰度相对较高，离得远的景物的清晰度相对较低。

景深是指“一段距离”，在这段距离内的景物都应该是相对清晰的。如图 2.3-7甲中，胶棒和远处的绒毛玩具都相对清晰，图 2.3-7乙中，远处的绒毛玩具比较模糊，我们就说前者景深较大，后者景深较小。

那么，影响景深的因素有哪些呢？

我们先研究光圈大小对景深的影响。如图 2.3-8所示，对主体 A 对焦，其像成在胶片 PQ 的 A' 处，A' 是最清晰的。这时，在 A 后面的点状物 B 成像在 B' 处，但是由于光束较宽，在胶片上是一个圆形的光斑（图中红线之间区域）。如果将光圈缩小，光束变窄（图中黑线之间区域）在胶片上圆形的光斑也随之变小，相对清晰度就变大。由此可知，当其他条件不变时，光圈越小（光圈数越大），景深就越大。图 2.3-7甲是用光圈 8 拍摄的，而图 2.3-7乙是用光圈 2.8 拍摄的。

图 2.3-8



应当指出，当光圈变化时，为了保证曝光量正常，快门速度也应随之变化。在中高档相机中，一般都提供“光圈优先”自动测光系统，也就是说，拍摄者可以根据所需景深优先选定光圈的大小，相机根据所测景物的亮度自动确定快门速度，保证正常曝光。

景深还跟镜头焦距以及被摄主体距离有关：当其他条件不变时，镜头焦距越短，景深就越大；当其他条件不变时，被摄主体距离越远，景深就越大。

问题与练习

1. 通过阅读说明书了解家用照相机的主要技术参数，列成表格逐项写出它们的含义。

2. 在拍摄行驶的汽车时，如果快门速度选 60，光圈选 11，能使胶片曝光正常，但是，照片中的汽车却如图 2.3-9 所示，请说出原因，并提出调整方案。

3. 成立摄影小组，通过摄影比赛，研讨在曝光量一定的条件下，如何通过改变光圈和快门来改变景深。并以墙报形式进行照片展示。

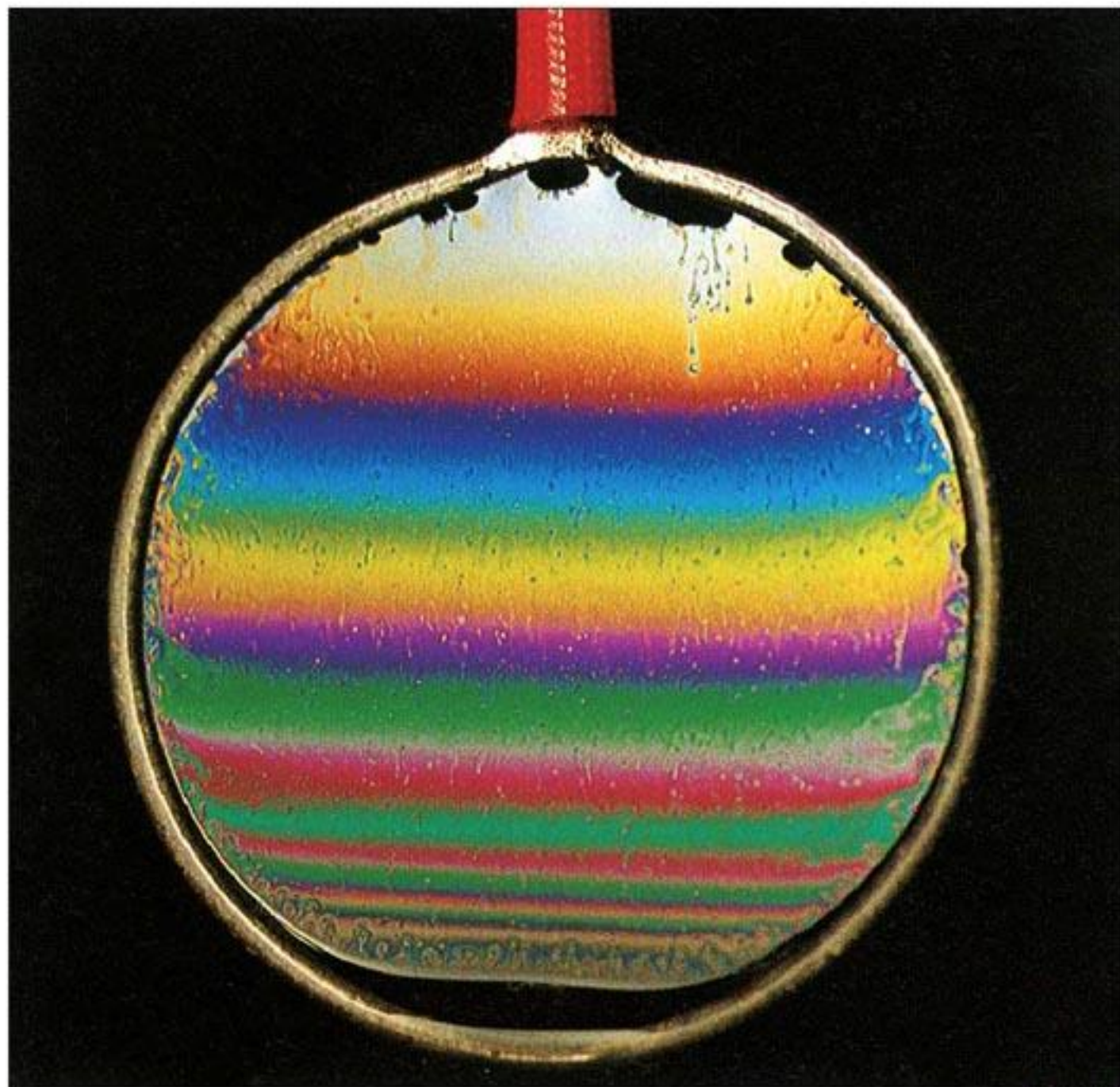
4. 市场上有一种玩具型相机，它的焦距很短，光圈很小，使用这种相机照相，只要拍摄主体离相机在几米以上，不用对焦就能保证拍出的照片清晰。这是为什么？

图 2.3-9 汽车



第 3 章

光的干涉、衍射和偏振



肥皂泡

阳光下，我们常会看到肥皂泡、光盘表面或者蜻蜓的翅膀上呈现美丽的彩色图样；有些眼镜片、照相机镜头等，常在玻璃表面镀上彩色的薄膜。你知道这些都是为什么吗？其实这些现象都与光的波动性有关。在这一章，我们就来学习光波的有关知识。

第 1 节

机械波的衍射和干涉

为了更好地认识光波，这节我们先来学习机械波的基本知识。

机械波的产生 向平静的水面投一粒石子，水面受到石子的打击上下振动。水面的振动向四周传播就形成了水波（图 3.1-1）。在这里水起到了把振动传播出去的媒介物——介质（**medium**）的作用。

上面实例中水面的这种振动属于机械振动。机械振动在介质中传播，就形成了机械波（**mechanical wave**）。

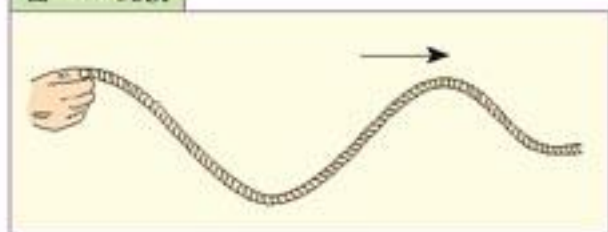
图 3.1-1



大家做

取一根较长的软绳，用手握住绳的一端，拉平后向上抖动一次，可以看到在绳上形成一个凸起状态，并向另一端传去（图 3.1-2）。向下抖动一次，可以看到在绳上形成一个凹下状态，并向另一端传去。持续地上下抖动，可以看到一系列凸凹相间的状态向另一端传去，在绳上形成一系列波。

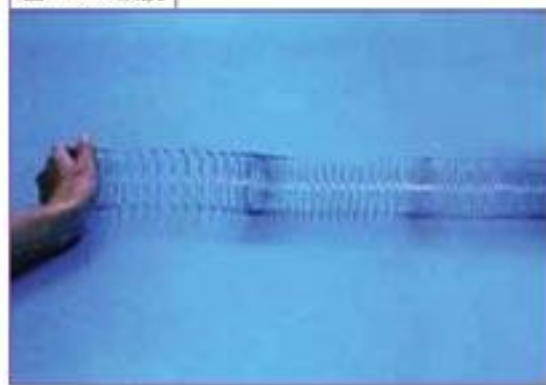
图 3.1-2 绳波



横波和纵波 在图 3.1-2 所示的绳波中，绳上各点上下振动，波向右前进，振动方向与波的前进方向相互垂直，这样的波称为横波（**transverse wave**）。横波的特征是凸凹相间，凸起的最高处叫做波峰，凹下的最低处叫波谷。

将一根很长的螺旋弹簧放在光滑的水平面上，并将一端固定，用手推、拉弹簧，弹簧上便出现疏密相间的状态并不断向另一端传播（如图 3.1-3 所示）。可以看到，弹簧上各点左右振动，波向右前进，振动的方向与波前进的方向在同一直线上，这样的波称为纵波（**longitudinal wave**）。我们已经学过的声波就是纵波。

图 3.1-3 纵波



波长、频率和波速 在波的前进方向上，两个相邻的振动情况完全相同的质点之间的距离叫波长（**wave length**），用希腊字母 λ 表示。

在横波中，两个相邻波峰（或波谷）之间的距离等于一个波长（图3.1-4）；在纵波中，两个相邻密部（或疏部）之间的距离等于一个波长。

波是由振动引起的，波的频率与物体的振动频率相同。波传播时具有一定的速度，波速 v 与波长 λ 和频率 f 的关系为

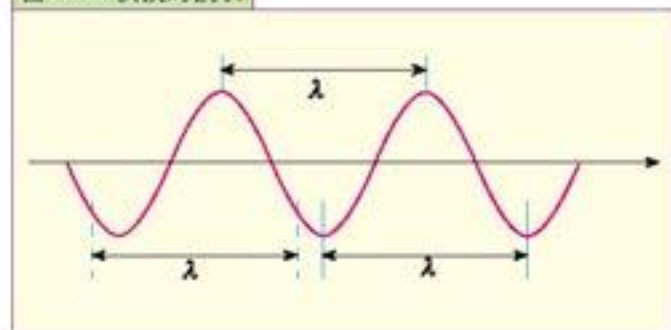
$$v = \lambda f$$

对于电磁波，这个公式也是适用的。如果电磁波在真空中传播，其波速等于真空中的光速 c ，这个公式就应写成 $c = \lambda f$ 。这个公式我们在选修 2-1 中已经学过。

波的衍射 在墙的这边说话，墙那边的人也会听见，这表明声能从墙的上部绕过去。水塘里的水波会绕过水中的石块、芦苇而继续传播，好像这些障碍物并不存在一样。波绕过障碍物传播的现象，叫做波的衍射（diffraction）。

下面我们观察水波的衍射情况。

图 3.1-4 横波的波长

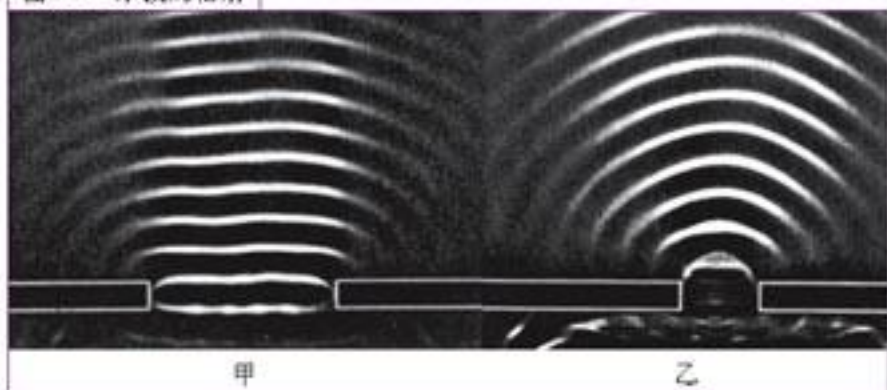


演 示

水波的衍射

在水波槽里放两块挡板，中间留一个窄缝。不断缩小窄缝的宽度，观察水波通过窄缝后的传播情况。

图 3.1-5 水波的衍射



通过演示可以看到，当水波通过较宽的狭缝时，波基本上被限制在波源与狭缝边缘连接的两条直线的范围内，障碍物后面出现波的“阴影”区，如图 3.1-5 甲。这时可以说波沿直线传播。当狭缝宽度跟波长差不多或比波长更小时，在狭缝后面整个区域里传播着以缝为中心的环形波，如图 3.1-5 乙，这表明水波可以绕到挡板后面继续传播。

实验表明，只有缝的宽度或障碍物的尺寸跟波长差不多或比波长更小时，波才能产生明显的衍射现象。

波的干涉 如果两列波相遇，会出现什么现象呢？

演示

水波的干涉

将两根细金属丝固定在薄钢片上，使两根金属丝刚好接触水面。当钢片上下振动时，金属丝周期性接触水面，就产生了频率和振动方向都相同的两列水波。

这两列波相遇后，在它们重叠的区域会出现如图3.1-6所示的图样。在振动着的水面上，出现了一条条相对平静的区域和相对激烈振动的区域，这两种区域在水面上的位置是固定的。

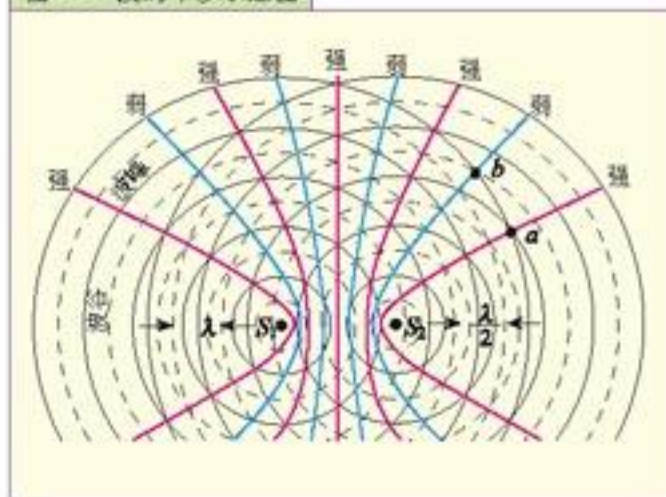
图 3.1-6 水波的干涉图样



怎样解释上面观察到的现象呢？

如图3.1-7所示，用两组同心圆分别表示从波源 S_1 、 S_2 发出的两列波，实线和虚线分别表示两列波的波峰和波谷。实线与虚线间的距离等于半个波长，实线与实线间、虚线与虚线间的距离等于一个波长。某一时刻，在水面上的某一点，如果两列波的波峰与波峰相遇，其振幅等于两列波的振幅之和，经过半个周期，变成波谷与波谷相遇，其振幅也等于两列波的振幅之和，再经过半个周期，又是波峰与波峰相遇……依此类推，这一点的振动始终加强，其振幅为两列波的振幅之和（图中实线上各点都属于这种情况）。同理，某时刻两列波的波峰和波谷相遇的那些点，振动最弱，其振幅等于两列波的振幅之差（图中虚线上各点都属于这种情况）。

图 3.1-7 波的干涉示意图



可见，频率相同的两列波叠加，某些区域的振动加强，另一些区域的振动减弱，这种现象叫做波的干涉（interference），所形成的图样叫做干涉图样。

可见，频率相同的两列波叠加，某些区域的振动加强，另一些区域的振动减弱，这种现象叫做波的干涉（interference），所形成的图样叫做干涉图样。

大家做

按声音排队

在操场前面相隔不远(例如 3 m)的地方，放两个同样的扬声器，通过信号发生器让它们发出某一频率(例如 1 000 Hz)的声音，全班同学(人数多些更好)在两个扬声器之间离扬声器 10 m 以外的地方自由走动，边走边听，在哪里听到的声音最大，就停在那里，同学们排成什么

队形？然后改为在哪里听到的声音最小，就停在那里。同学们又排成什么队形？再将全班同学分成两半（一半同学高举右手，另一半同学不举手），高举右手的同学找声音最大的位置停下，不举手的同学找声音最小的位置停下，同学们又排成什么队形？

问题与练习

1. 一个音叉的振动频率为 440 Hz ，声波在空气中传播的速度为 340 m/s 。求这一声波的波长。
2. 人们可以听到的声音频率从 20 Hz 到 $20\,000\text{ Hz}$ ，求声波的波长范围。
3. 一艘小船停泊在岸边，如果海浪的两个相邻波峰的距离是 6 m ，海浪的速度是 15 m/s ，小船随波晃动的周期为多长？
4. 插在水中的细棒对水波的传播影响甚微，这是波的 _____ 现象；隔着矮墙听到外面人的讲话，这是波的 _____ 现象。

第 2 节 光的干涉

干涉现象是波动独有的特征，如果光真的是一种波，就必然会观察到光的干涉现象。

双缝干涉 英国物理学家托马斯·杨于1801年在实验室里成功地观察到了光的干涉现象。

演示

如图3.2-1所示，让来自激光笔的激光投射到一个刻有两条平行狭缝的挡板上，狭缝相距很近。在挡板后面放一个屏，观察屏上的图样。

图 3.2-1 光的干涉实验装置



实验中可以观察到屏上有明暗相间的条纹（图 3.2-2）。即光通过两个狭缝后，在某些区域加强形成亮条纹，在某些区域减弱形成暗条纹，发生了干涉。这说明光确实是一种波。

在双缝干涉中，被光照射的两条狭缝 S_1 和 S_2 相当于两个振动情况总是相同的波源（图 3.2-3）。 S_1 和 S_2 到屏上 P 点的距离相同。所以这两列波的波峰（或波谷）将同时到达 P 点，这时两列波总是波峰跟波峰叠加，波谷跟波谷叠加， P 点的光波得到加强，这里就出现一个亮条纹。

在 P 点上方取一点 P_1 ，它距 S_2 比距 S_1 远一些，两列波到达 P_1 点的路程不相同，两列波的波峰（或波谷）就不一定再同时到达 P_1 点。如果路程差 d 恰好是半个波长，那么当一列波的波峰到达 P_1 点时，另一列波正好在这里出现波谷，这时两列波叠加的结果是互相削弱，于是在这里出现暗条纹。

对于更远一些的点，例如 P_2 点，来自两个狭缝的光波的路程差 d 更大。如果路程差恰好等于波长 λ ，那么，两列波的波峰（或波谷）将同时到达这点，光波得到加强，这里也出现亮条纹。

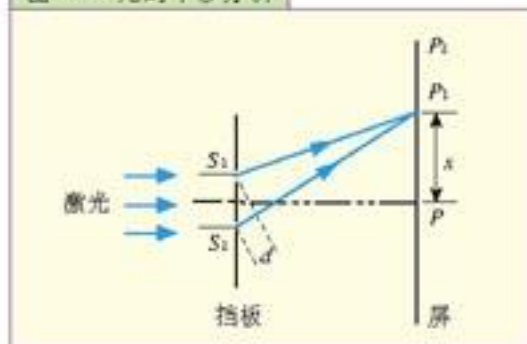
从上面分析可以看出，距离屏的中心越远，路程差越大。每当路程差等于 0 、 λ 、 2λ 、 3λ ……时，即半波长的偶数倍，两列光波就得到加强，屏上出现亮条纹。每当路程差等于 $\frac{1}{2}\lambda$ 、 $\frac{3}{2}\lambda$ 、 $\frac{5}{2}\lambda$ ……时，即半波长的奇数倍，两列光波就相互削弱，屏上出现暗条纹。

在双缝干涉实验中，狭缝 S_1 和 S_2 相当于两个振动情况总是相同的波源，称为相干波源。由相干波源发出的光互相叠加，才能产生干涉现象，在屏上出现稳定的明暗相间的条纹。

图 3.2-2 双缝干涉花样



图 3.2-3 光的干涉分析



大家做

可以用自制的器材来观察双缝干涉现象。取经过曝光和显影的黑色摄影胶片，放在玻璃板上。把两片剃须刀片并拢，以刀刃的前端沿直尺在胶片上一次划出两道细缝，缝间距离要小于 0.1mm 。这样就做成了双缝。也可以取一小块玻璃片，在上面均匀涂一薄层墨汁，干燥后用刀片以同样方法划出两道透光的狭缝。

通过双缝观看相距半米左右的白炽灯的灯丝，可以看到在灯丝两侧细密地分布着彩色的干涉条纹。

薄膜干涉 雨后公路积水上面常常漂着一层薄薄的油膜，看起来是彩色的，肥皂泡常常出现变幻的彩色花纹（章首图），这都是光的干涉现象。不过，这种光的干涉现象出现在薄膜上，叫做薄膜干涉。



在酒精灯的灯焰上撒一些食盐，灯焰就能发出明亮的黄光。将塑料圈在肥皂水中蘸一下，让它附上一层液膜，以灯焰的黄光照射，液膜反射的光使我们看到灯焰的像，液膜上有亮暗相间的条纹（图 3.2-4）。

图 3.2-4 灯焰的像有亮暗相间的条纹

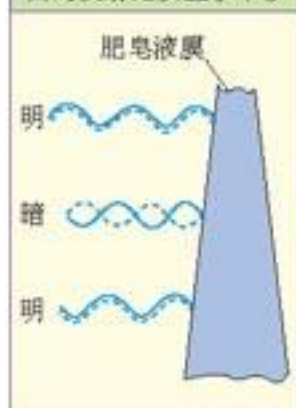


液膜上亮暗相间的条纹是怎样出现的？

黄光射到肥皂膜上时，分别从液膜前后两个表面反射回来，这两列反射光波是同一列入射光波产生的，有相同的频率，是两列相干光波。

竖直放置的肥皂薄膜受到重力作用，下面厚，上面薄。因此，在薄膜上不同厚度的地方，来自前后两个面的反射光所走的路程差不同，如图 3.2-5 所示。在一些地方，这两列波叠加后相互加强，于是出现了亮条纹；在另一些地方，叠加后相互削弱，于是出现了暗条纹。

图 3.2-5 薄膜前后两个面的反射光发生了干涉



大家谈

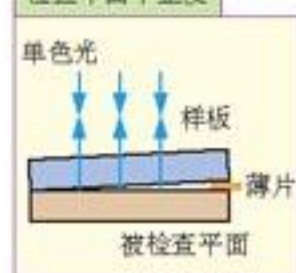
换用蓝光做这个实验，明暗相间的条纹距离会有什么变化？

换用白光做这个实验，干涉条纹会有什么表现？

用不同波长的单色光做这个实验，条纹的间距是不一样的。所以如果用白光照射肥皂液膜，由于各色光干涉后的条纹间距不同，液膜上就会出现彩色条纹。肥皂泡上和水面上的油膜上常常看到的彩色花纹，许多昆虫如蜻蜓、蝉等的翼上看到的彩色花纹，就是光的薄膜干涉造成的。

光的干涉在技术中的应用 光的干涉现象在技术中有重要应用。例如，在磨制各种镜面或其他精密的光学平面时，可以用干涉法检查平面平整程度。如图 3.2-6 所示，在被测平面上放一个透明的样板，在样板的一端垫一个薄片，使样板的标准平面和被测平面之间形成一个楔形空气薄层，用单色光从上面照射，空气层的上下两个表面反射的两列光波发生干涉。空气层厚度相同的地方，两列波叠加时相互加强

图 3.2-6 干涉法检查平面平整度



或削弱的情况也相同。所以，如果被测表面是平的，干涉条纹就是一组平行的直线；如果干涉条纹发生弯曲，这就表明被测表面不平(图3.2-7)，这种测量的精度可达 10^{-6} cm。

如果被检查的表面是球面，如凸透镜，把它的凸面放到标准平面上，其间形成由中心向外逐渐加厚的空气层(图3.2-8)，同样以单色光从上向下照射，如果凸面是规则的球面，条纹的形状就是规则的同心圆

(图3.2-9)。这种环形的干涉条纹是牛顿最早发现的，因此叫做牛顿环。如果条纹不规则，就表明被检查的凸面某些方面有缺陷。磨制眼镜片时，工人常用这种方法检验镜片的加工质量。

图 3.2-7 从干涉条纹可以判断被测表面是否平整

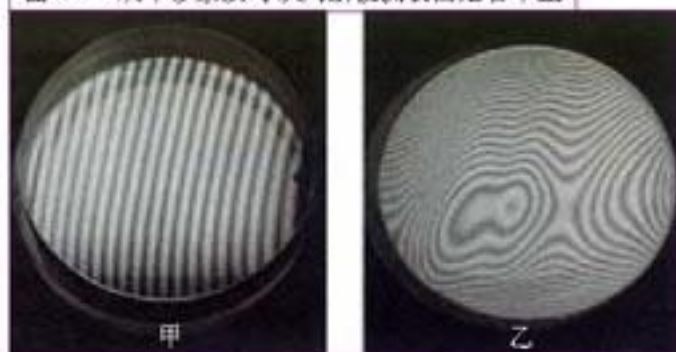


图 3.2-8

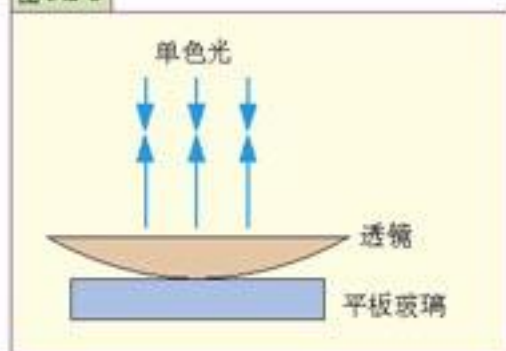


图 3.2-9 牛顿环



大家做

取两片洁净的玻璃片叠放在一起，用手指捏紧，会从玻璃面上看到许多彩色花纹。改变手指用力的大小，花纹的颜色和形状也随着改变。观察现象，并思考产生这一现象的原因。

利用薄膜干涉可以减弱反射光或加强反射光。例如在照相机、望远镜的镜头表面镀上一定厚度的透明薄膜，入射光会从膜的上、下两个表面反射，如果这两列反射光波由于干涉而削弱，就可以减少光的反射损失，从而使透射光增强，这种薄膜叫做增透膜。由于阳光中各种色光的波长不同，不可能使所有的反射光都由于干涉而互相抵消，通常选择一定厚度的膜，使对视觉最敏感的黄绿光(波长 $\lambda = 550$ nm)反射损失最小。因此，镀有这种膜的镜头看起来呈蓝紫色。另外，选择适当厚度的膜，也可以使反射光由于干涉加强，同时使透射光减弱。这种膜叫做高反射膜。登山运动员和滑雪者戴的眼镜片上常镀有这种膜(图3.2-10)，以保护眼睛不受强光的损害。

图 3.2-10

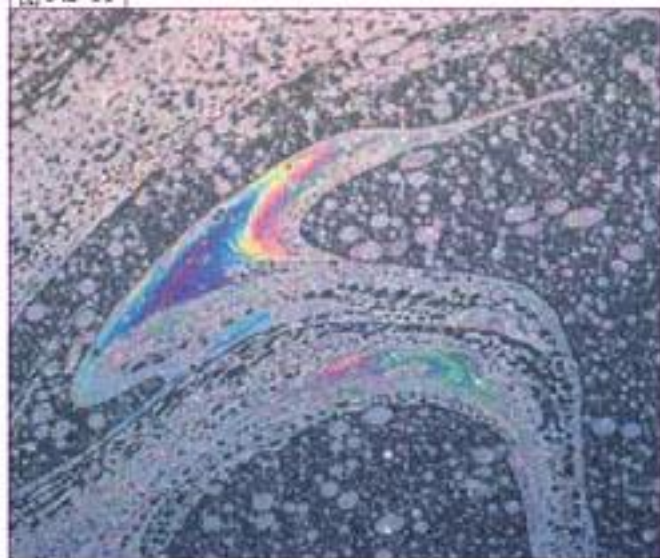


问题与练习

1. 在阳光明亮处吹肥皂泡，肥皂泡上会出现各种彩色花纹；随着肥皂泡变大，上面的花纹形状和颜色会不断地变化。注意观察肥皂泡上的颜色，并说明为什么颜色会发生变化。

2. 汽油是无色透明的，浮在马路积水处水面上的汽油薄层，在阳光照耀下会呈现彩色花纹（图 3.2-11），为什么？某些昆虫诸如蜻蜓、蝉等的很薄透明翅膀上会呈现彩色花纹，为什么？

图 3.2-11



第 3 节 光的衍射

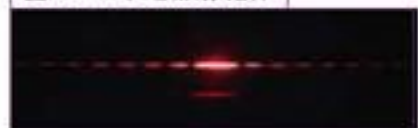
波能够绕过障碍物产生衍射。既然光也是一种波，为什么在日常生活中难以观察到光的衍射现象呢？

我们知道，光的波长很短，只有几百纳米，通常的物体都比它大得多，因此很难看到光的衍射现象，但是当光投射到一条狭缝、一个针孔、一根细丝或一颗小珠时，就可以清楚地看到光的衍射现象。

演示

激光笔发出的激光投射到单缝上，使穿过单缝的光照在墙上或天花板上，可以观察到如图 3.3-1 所示的亮暗相间的衍射花样。

图 3.3-1 单缝衍射花样



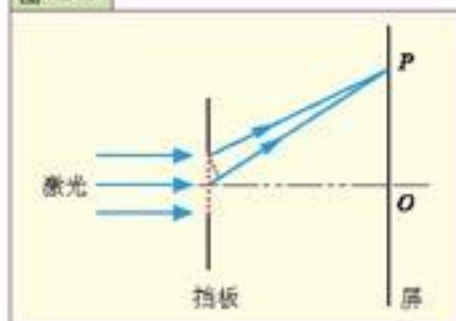
实验表明，光没有沿直线传播，它绕过了缝的边缘，传播到了相当宽的地方，这就是光的衍射现象。

将激光笔发出的激光投射到圆孔上，在孔后的墙面或天花板上可以看到，光所达到的范围会远远超过它沿直线传播所应照明的区域，呈现亮暗相间的衍射花样（图3.3-2）。

图3.3-2 圆孔衍射花样



图3.3-3



在单缝衍射和圆孔衍射的照片中，都有亮纹和暗纹，这是由于来自单缝或圆孔上不同位置的光，在光屏处叠加后光波加强或削弱的结果（图3.3-3），这一道理和两列光波干涉时的道理类似。如果以白光做衍射实验，得到的亮纹是彩色的，这也是由于不同波长的光在不同位置得到了加强。

大家做

取一枚剃须刀的刀片，折成两片，刀口相对且留一些间隙，构成单缝，用胶贴在圆筒的一端。通过这样的单缝观察灯丝，你能看到什么现象？

操作时要特别小心，不要被刀片割破手指。

对衍射现象的实验研究表明，光沿直线传播是一种特殊情况。光在没有障碍物的均匀介质中是沿直线传播的，在障碍物的尺寸比光的波长大的情况下，衍射现象不明显，也可以近似认为光是沿直线传播的，但是，在障碍物的尺寸可以跟光的波长相比拟，甚至比光的波长还小的时候，衍射现象十分明显，这时就不能再说光沿直线传播了。



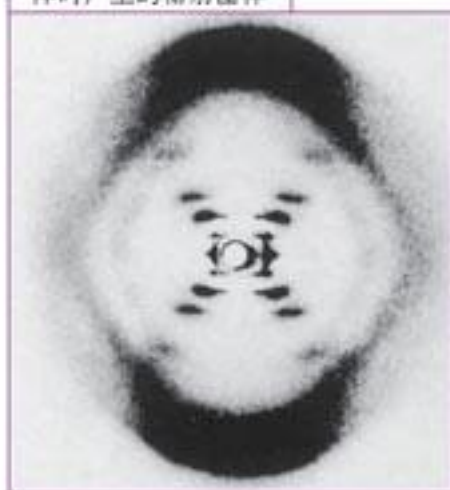
X射线衍射与双螺旋

在20世纪50年代，生物学家已经知道DNA是细胞中携带遗传信息的物质，下一步就是要搞清楚DNA的结构，从而确定它在蛋白质中产生什么样的化学作用。这项研究所需的“工具”，已经在几十年前由物理学家准备好了。

晶体材料是由许多规则排列的原子组成的，它们可以充当X射线的三维衍射光栅。物理学家布拉格父子首先研究了晶体对X射线的衍射。衍射图样中斑点的强度和位置包含着有关晶体的大量信息。他们的工作奠定了X射线晶体结构分析的实验和理论基础，为此，布拉格父子共获1915年诺贝尔物理学奖。

从1953年开始，英国生物学家威尔金斯和弗兰克林研究了DNA的

图3.3-4 X射线通过晶体时产生的衍射图样



晶体结构，获得了一系列DNA纤维的X射线衍射图样，而美国生物学家沃森和英国生物学家克里克则根据这些数据提出了DNA的双螺旋结构模型。这是生物学史上划时代的事件。它宣告了分子生物学的诞生，标志着生物学已经进入了分子水平。沃森、克里克和威尔金斯因此获得了1962年的诺贝尔医学或生理学奖。

问题与练习

1. 列举一两个日常生活中见到的光的衍射现象的实例。
2. 把两枝铅笔并拢成一个狭缝，通过狭缝观看日光灯管或白炽灯的灯丝，可以看到许多平行的彩色条纹。解释这个现象。

第4节 光的偏振

光的干涉和衍射现象说明光具有波动性，但不能由此确定光究竟是横波还是纵波。光的偏振现象可以说明光是横波。

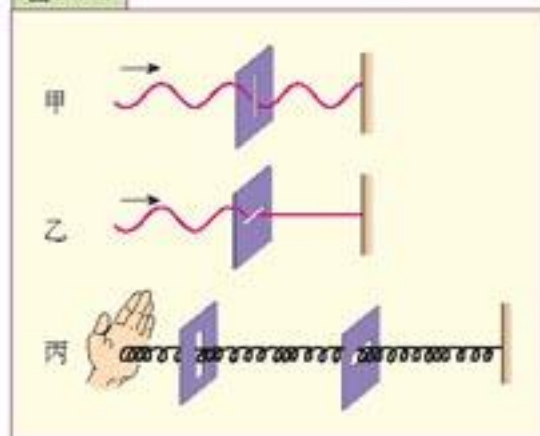
偏振现象 在纵波中，振动方向总是跟波的传播方向在同一直线上。在横波中，振动方向总是垂直于波的传播方向，但不同的横波，振动方向可以不同。例如一列横波沿水平方向传播，质点可能沿着上下方向振动，也可能沿着左右方向振动，也可能沿着任何其他方向振动。当然，对于一列确定的横波，它的振动方向是确定的。这是横波与纵波的区别，我们可以利用这种区别来判断某种波是横波，还是纵波。

演示

取一根软绳，一端固定在墙上，手持另一端且上下抖动，就在软绳上形成一列横波，质点在竖直平面内沿着上下方向振动。如果手持绳的一端左右抖动，会在绳上形成另一列横波，质点在水平面内沿着左右方向振动。

现在将软绳穿过一块带有狭缝的木板，如果狭缝与振动方向平行，则振动可以如图3.4-1甲所示传到木板的另一侧。如果狭缝与振动方

图3.4-1



向垂直，则振动就被狭缝挡住而不能向前传播（图3.4-1乙）。

设想如果将这根绳换成细软的弹簧，用手掌前后推动弹簧形成纵波，则无论狭缝怎样放置，弹簧上的纵波都可以通过狭缝传播到木板的另一侧，如图3.4-1丙所示。

受这个实验的启发，可以用类似的实验来判断光波是横波还是纵波。

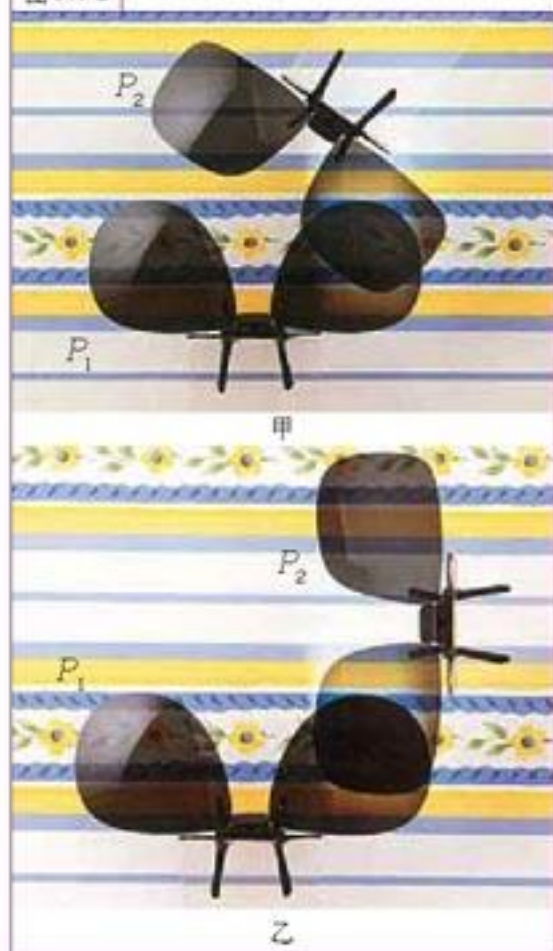
现在利用偏光眼镜片（偏振片）代替上面带有狭缝的木板，来做光学实验。偏振片由特定的材料制成，每个偏振片都有一个特定的方向，只有沿着这个方向振动的光波才能通过偏振片，这个方向叫做“透振方向”。偏振片对光波的作用就如图3.4-1中的狭缝对于机械波的作用一样。

大家做

让太阳光或灯光通过偏光眼镜片 P_1 ，在 P_1 的另一侧进行观察，可以看到偏光眼镜片是透明的。以光的传播方向为轴旋转偏光眼镜片 P_1 ，透射光的强度不变。

偏光眼镜片 P_1 的后面再放置另一块偏光眼镜片 P_2 ，观察通过两块偏光眼镜片的透射光。当 P_2 与 P_1 的透振方向平行时，透射光的强度最大。转动 P_2 ，逐渐增大 P_2 与 P_1 的透振方向的角度时，透射光的强度变弱，如图3.4-甲所示。当 P_2 与 P_1 的透振方向垂直时，透射光的强度最弱，几乎为零，如图3.4-乙所示。

图3.4-2



怎样解释上述的实验呢？如果光波是纵波，是不会发生上面的现象的。太阳、电灯等普通光源发出的光，包含着垂直于传播方向上沿一切方向振动的光，而且沿着各个方向振动的光波的强度都相同，这种光叫做自然光。自然光通过偏振片 P_1 （叫做起偏器）之后，只有振动方向跟偏振片的透振方向一致的光波才能通过。换句话说，通过偏振片 P_1 的光波，在垂直于传播

方向的平面上，只沿着一个特定的方向振动。这种光叫做偏振光（polarized light）。横波只沿着某一特定的方向振动，称为波的偏振。只有横波才有偏振现象。

通过偏振片 P_1 的偏振光再通过偏振片 P_2 （叫做检偏器）时，如果两块偏振片的透振方向平行，那么通过 P_1 的偏振光的振动方向跟偏振片 P_2 的透振方向平行，透射光的强度最大；如果两块偏振片的透振方向垂直，那么，偏振光的振动方向跟偏振片 P_2 的透振方向垂直，偏振光不能通过 P_2 ，透射光的强度为零。这跟图 3.4-1 所示的机械波的情况相类似。实验表明，光是一种横波。

光的偏振现象并不罕见，除了诸如太阳、电灯等直接发出的光以外，我们通常看到的许多光，都是经反射、折射后的偏振光，自然光射到两种介质的界面上，如果入射的方向合适，使反射光与折射光之间的夹角恰好是 90° （图 3.4-3），这时，反射光和折射光的偏振程度最高。

光的偏振现象有很多应用。如在拍摄日落时的水面、池中的鱼、玻璃橱窗里的陈列物等景物时，由于反射光的干扰，常使影像不清楚。如果在照相机镜头前装一块偏振片，让它的透振方向与反射光的振动方向垂直，就可以减弱反射光而使图像清晰（图 3.4-4）。



光偏振的实验研究

实验前的准备：在身边寻找带有液晶显示器的废旧电子器件，例如液晶电子钟、液晶计算器、数字多用表、液晶显示玩具等，小心取下液晶显示器最外面的一块塑料片，它就是一个很好的偏振片。有些太阳镜的镜片也是偏振的。用这样的偏振片研究光的偏振不仅装置简单，而且效果令人满意，特别是用来判别入射光是不是偏振光十分方便。

1. 将偏振片放于眼睛的前方，观察通过窗户进入室内的自然光，不断改变偏振片角

度，感觉光线的亮暗程度。实验结果是_____，这是因为_____。

2. 如图3.4-所示，将一个手电筒发出的光束以一定角度射向玻璃板，眼睛通过偏振片观察反射光（同时不断改变偏振片角度）。实验结果是_____，这是因为_____。

3. 在上述实验装置中，不断改变入射光束的入射角，再观察反射光的偏振情况。实验结果是_____，这是因为_____。

4. 如图3.4-所示，将偏振片叠放在数字电表的液晶显示器上，观察显示器的明暗变化。为什么不同方向的放置会有不同的结果？

图3.4-5 用偏振片观察反射光



图3.4-6



立体电影和偏振光

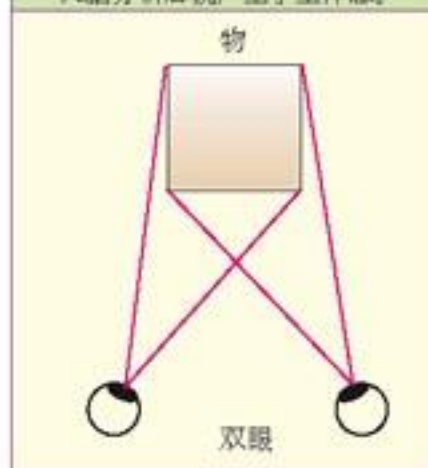
你看过立体电影吗？你知道它的道理吗？它就是应用光的偏振现象的一个例子。在观看立体电影时，观众要戴上特制的眼镜，这副眼镜就是一对透振方向互相垂直的偏振片。如果不戴这副眼镜，银幕上的图像就模糊不清了。这是为什么？

这要从人眼看物的立体感说起。人的两只眼睛同时观察物体，不但能扩大视野，而且能判断物体的远近，产生立体感。这是由于人的两只眼睛同时观察物体时，在两眼的视网膜上形成的两个像并不完全相同，左眼看到物体的左侧面较多，右眼看到物体的右侧面较多，这两个像经过大脑综合以后就能区分物体的前后、远近，从而产生立体感。

拍摄立体电影时，用两个镜头如人眼那样从两个不同方向同步拍摄景物的像，制成电影胶片。放映时可以通过两台放映机，同步放映两组胶片，使略有差别的两幅图像重叠在银幕上。这时如果用眼睛直接观看，看到的画面好像是电视天线不好时出现的“重影”。

如果在每架放映机前安装一块偏振片，两架放映机射出的光，通过偏振片后成了偏振光，使左右两

图3.4-7 两眼看到的情景稍有差别，大脑分析后就产生了立体感。



架放映机前的偏振片的透振方向互相垂直，因而产生的两束偏振光的偏振方向也互相垂直。这两束偏振光投射到银幕上再反射到观众那里，偏振方向不变。观众用上述的偏振眼镜观看，每只眼睛只看到相应的偏振光图像，即左眼只看到左机映出的画面，右眼只看到右机映出的画面，这样就会像直接观看物体那样产生立体感。

实际放映立体电影时只用一个镜头，两套图像交替地印在同一条电影胶片上，为了实现上述功能还需要一套复杂的装置，但原理就是上面所说的那些。

问题与练习

1. 通过两块透振方向正交的偏振片观察日光灯，能看到很亮的灯光吗？为什么？在这一对偏振片之间分别插入普通玻璃、天然水晶、有机玻璃或其他透明物质，观察透射光的变化。对于观察到的现象，你有什么猜想？怎样验证你的猜想？
2. 用什么简便的方法可以确定电视机的显示屏是不是液晶屏？
3. 在图3.4-8（图中红色直线表示透振方向）所示的偏振眼镜片中，哪一种适合汽车驾驶员使用？为什么？

图 3.4-8



第 4 章

光源与激光



绚丽多彩的电光源装点着我们的城市

人工光源的出现，特别是电光源的广泛应用，为人类打破了昼夜的界限。新型光源的不断出现，为人类生活增添了无尽的色彩。打长途电话、看 DVD、超市中数码条形码的判读、医院里做手术、煤矿里挖掘坑道……都用到激光。那么，光源是怎样发光的？激光是什么样的光，它为什么有这么大的用途呢？其特征又是什么？学习了这一章后，我们对这些问题会有初步的了解。

第 1 节 光源

光源 能够发光的物体叫做光源 (light source)。太阳、恒星、萤火虫等是天然光源，而蜡烛、日光灯、发光二极管等则属于人造光源。光源是把其他形式的能量转化为光能的物体或装置。

许多光源是在高温下把一些内能转化为光能而发光的，这种光源叫做热辐射光源，简称热光源。太阳、白炽灯、火炬是热光源。而像日光灯、霓虹灯、萤火虫等光源在较低温度下把电能转化为光能，不经过电能转化为内能的过程。这种不是由于发热而发光的光源，叫做冷光源。

一只 40 W 的日光灯，看起来要比一只 40 W 的白炽灯明亮得多。可见，不同的电光源消耗相同的电能，发出的光能不同。这种情况下，我们说，日光灯的发光效率比白炽灯高。

色温 白光可以看成是由红、绿、蓝三基色按一定比例组成的。随着三基色比例的不同，“白”的程度也发生相应的变化。实际上，白炽灯发的光不是真正的白色，光的颜色会随着灯丝温度的不同而发生变化：温度低时呈红色，温度升高时，灯色变橙再变黄，当灯丝的温度达到 3000 K 时，发白光，但是这种白光仍比日光偏黄。如果灯丝的温度达到 5500 K 而不烧毁，它所发出的光就相当于日光。可见，热光源发光的颜色跟它的温度有关，我们就用“色温”来表示光源发出的光的颜色。色温仅用于描述光源的光辐射特性。对于冷光源来说，如果光色与某一温度下的热辐射光色最为接近，这一温度就称为该光源的“色温”。

显然，在白炽灯下跟在日光下观看到物体的颜色是不同的，所以有“灯下不观色”之说。尤其在彩色摄影和摄像时，光源的色温显得十分重要。

发光机理 19 世纪末以前，人们用光的波动说能很好地解释当时知道的光现象，但是 19 世纪末，人们发现了在光的照射下物体发射电子的现象——光电效应。光电效应的规律用光的波动性无法解释。为此爱因斯坦提出了光子的概念，从而解释了光电效应。

爱因斯坦提出，在空间传播的光的能量不是连续的，而是一份一份的，每一份叫做一个光子，简称光子 (photon)。光子的能量 E 跟光的频率 ν 成正比，即

$$E = h\nu$$

式中的 h 是一个常量，叫做普朗克常量。实验测得

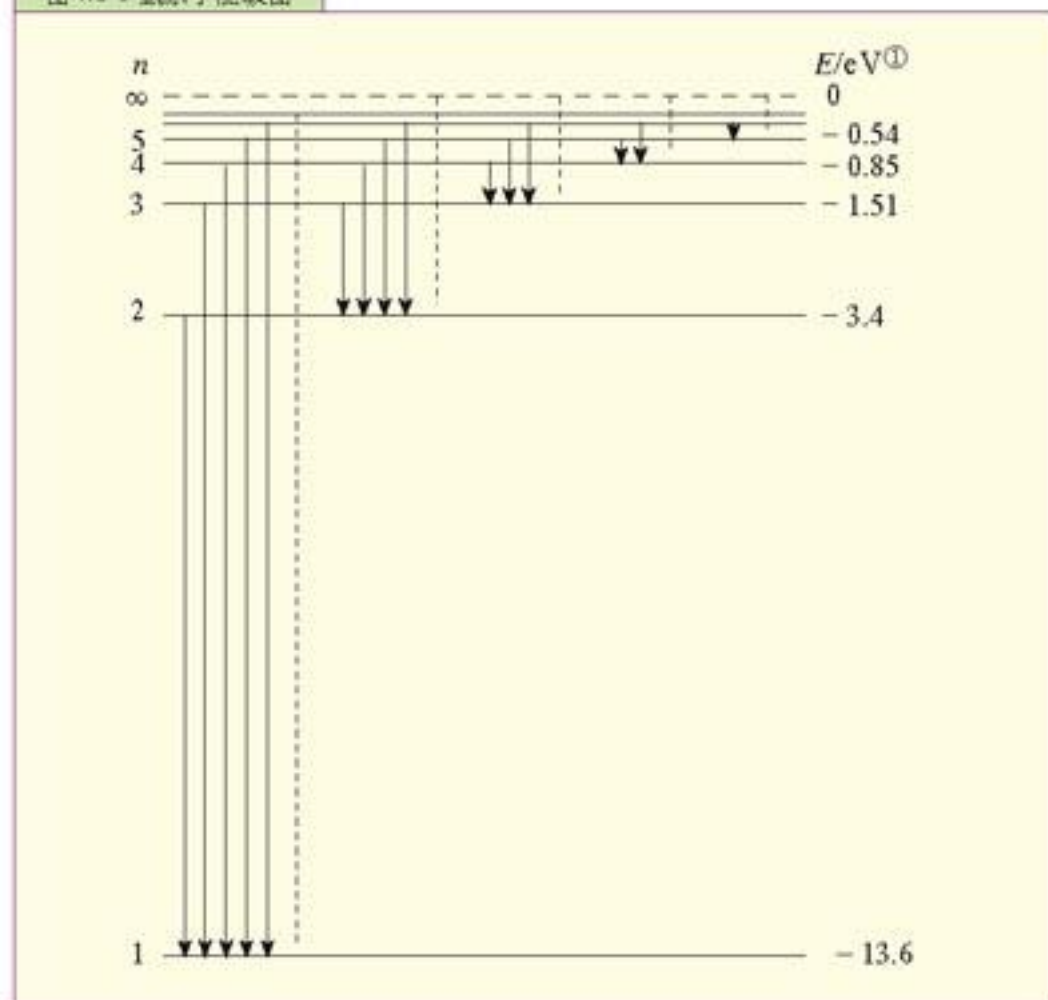
$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

我们知道，原子是由原子核和绕核高速运动的电子组成的，核外电子所处的状态不同，导致整个原子的状态也不同。现代物理学认为，原子可能处于若干不同的状态，这些状态之间是不连续的，因此各状态对应的能量也是不连续的，这些能量值叫做能级 (图 4.1-1)。如

表 4-1 普通光源的近似色温

类型	色温 / K
蜡烛	1825
煤油灯	2000
100 W 白炽灯	2600
冷白色荧光灯	4500
中午的日光	5500
闪光灯	5600

图 4.1-1 氢原子能级图



果取电子处于无限远处原子的能量为0,则其他状态下原子的能量为负值。

原子各状态的标号1、2、3…叫做量子数,通常用 n 表示。能量最低的状态叫做基态,其他状态叫做激发态。基态和各激发态的能量分别用 E_1 、 E_2 、 E_3 …表示。

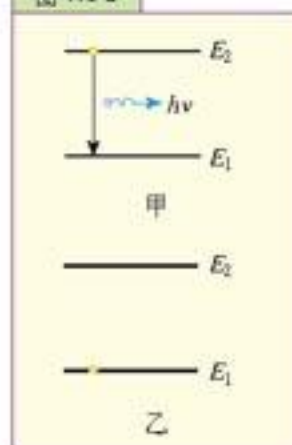
原子处于基态时最稳定,处于较高能级时会自发地向较低能级跃迁,经过一次或几次跃迁到达基态。跃迁时以光子的形式放出能量(图4.1-2)。原子在始、末两个能级 E_m 和 E_n ($m > n$)间跃迁时发射光子的频率 ν 可由下式决定

$$h\nu = E_m - E_n$$

这样我们就知道,物体发光是由于大量处于高能态的原子向低能态跃迁,释放出大量光子的过程。

不同元素的原子能级结构不同,能发射光子的波长也不同。这表明,不同元素发光的颜色也有所不同。例如,钠原子能发射光子的波长在可见光区域最亮的是黄色。

图 4.1-2



^① eV 是能量单位,它与焦耳的关系为: $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。

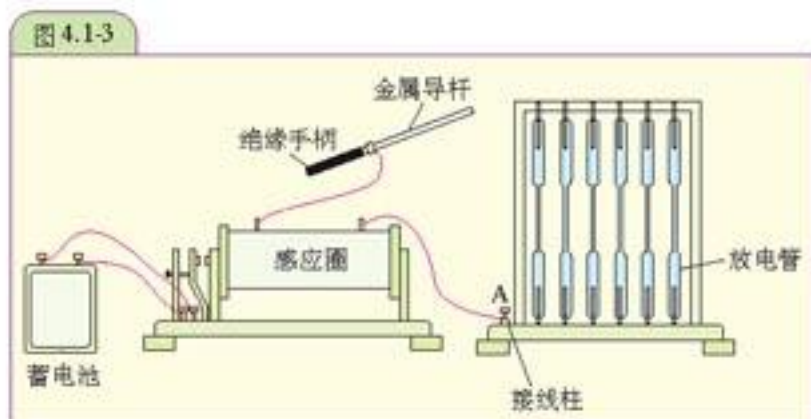
演 示

稀薄气体发光

将分别充有氢、氮、氧、二氧化碳、氮和氩等稀薄气体的放电管（气压在 $3.0 \times 10^3 \text{ Pa}$ 以下），装在一个带金属夹片的框架上（图 4.1-3）。放电管两端装有电极，它们下端的电极与底座上的接线柱 A 相连。

用一根导线将接线柱 A 与感应圈（一种能产生高电压的仪器）的一个极相接，用另一根导线将金属导杆与感应圈的另一个极相接。

手持金属导杆的绝缘手柄，把导杆分别与各放电管顶端的电极接触，给放电管两极间加上电压，观察管的发光情况。



由实验可以看出，不同管中的气体放电时发出不同颜色的光。

现在我们在大街小巷看到的五颜六色的霓虹灯（章首图），就是将不同的低压气体充入弯曲成文字或图形的玻璃放电管中制成的。

以上叙述的是原子中的电子从高能级向低能级跃迁时发光的情形。气体放电时的发光就属于这种情形。

除此之外，带电物质微粒的热运动也会产生电磁辐射，也就是说也会发光，电子电离后又被原子核俘获，这时也会向外辐射能量。高温物体发光属于这种情况。



白平衡

在摄像机和数码相机中，大多设有白平衡（White Balance）控制键，合理使用白平衡可以使不同光源下拍摄的影像色彩正常还原。

人的神经系统能够自动调节和适应不同的色温，无论是在钨丝灯下还是日光灯下，我们感觉到的颜色都很接近原来的颜色。而相机的感光-还原系统无法像人眼一样进行自动调节来适应这种色温的变化，只能客观地记录从景物射来的光的颜色。因此，在色温低的钨丝灯下相机拍摄物体图像的颜色偏红，而在色温高的日光灯下拍摄物体图像的颜色偏紫，从而出现偏色现象。

数码相机大多设有不同的白平衡模式键：自动（AWB）、日光、阴天、白炽灯、荧光灯、闪光灯、自定义等。因此，在进行拍摄时可以根据现场的色温情况选择不同的白平衡模式来达到平衡色温和正确还原色彩的目的。

如果对拍摄要求不高，使用自动白平衡模式就可以大体还原色彩。但是，在白炽灯下拍摄，景物就有

严重的偏色(图 4.1-4甲), 如果用闪光灯做光源(图 4.1-4乙), 或者将“自动白平衡”模式改为“白炽灯”模式(图 4.1-4丙), 颜色就基本正常了。

图 4.1-4 同一景物用不同光源照明, 在不同白平衡模式下拍摄的效果



甲 白炽灯下用“AWB”模式拍摄 乙 闪光灯下用“AWB”模式拍摄 丙 白炽灯下用“白炽灯”模式

图 4.1-5 物体在相同光源不同白平衡模式下的照片



白天用“AWB”模式拍摄

白天用“白炽灯”模式拍摄

有时有意造成偏色, 使照片具有特殊的效果。例如, 在日光下采用“白炽灯”模式, 景物就会偏蓝, 有夜间月下的效果(图 4.1-5)。

问题与练习

1. 何为热光源、冷光源? 举出几个生活中常见的热光源和冷光源的实例。
2. 在电磁波谱中, 按光子能量从大到小排列顺序正确的是
 A. X射线、 γ 射线、紫外线; B. γ 射线、紫外线、X射线;
 C. 紫外线、X射线、 γ 射线; D. γ 射线、X射线、紫外线。
3. 一群处于第3能级的氢原子, 向低能级跃迁时, 可能发射的光子频率为
 A. 1种; B. 2种; C. 3种; D. 4种。

第 2 节 常用照明光源

自爱迪生发明白炽灯以来，新型电光源层出不穷。下面介绍几种常见的照明光源。

白炽灯 固体被加热到很高的温度时，就会发出耀眼的白光，这种状态称为白炽。利用这一原理制成的光源称为白炽灯(图4.2-1)。普通的白炽灯靠电流通过灯丝，使灯丝温度达到白炽状态而发光。白炽灯在辐射可见光的同时，辐射大量的红外线，所以白炽灯泡发光时都很热，发光效率很低。为了提高发光效率，应尽量减少红外线的辐射，灯丝应尽可能维持较高的工作温度。钨的熔点很高，为3410K，一般用它来作灯丝。但是由于高温下灯丝容易升华而变成气体，这就使灯丝工作温度的提高受到限制，对于真空白炽灯，灯丝的工作温度一般为2400~2600K，使用寿命约1000h。灯泡内充入氩、氮等气体可以抑制钨的升华，从而使钨丝的工作温度提高到2700~3000K。但由于所充气体的热传导损失，灯的发光效率同样较低。后来研究发现，将灯丝由直丝改成螺旋形可以减少热传导损失。

图 4.2-1



在钨丝白炽灯泡内加入微量的卤素(如碘、溴)，可有效地抑制钨的升华，这种灯叫做卤钨灯。卤钨灯工作时，灯丝升华而产生的气态钨扩散到泡壁温度较低区域，与卤素反应生成挥发性的卤钨化合物，当卤钨化合物扩散到较热的灯丝上时，生成钨和卤素，卤素再扩散到泡壁区域与气态钨化合，这一过程叫做卤钨循环。卤钨循环有效地控制了钨的升华，因此卤钨灯的灯丝寿命长，而且由于卤钨循环，泡壁上钨的沉积量减少，泡壳也不易变黑，泡壳尺寸也可以做得比较小。卤钨灯常用做强光源，广泛用于广场、工地、摄影、录像照明。微型卤钨灯可用做投影仪、医疗手术(图4.2-2)的强光源。

图 4.2-2



气体放电灯 除白炽灯外，作为照明用的主要光源还有低压汞荧光灯、高压汞灯、高压钠灯等。这些光源都是通过气体放电而发光。

1. 日光灯

日光灯是低压汞荧光灯的俗称，其发光原理完全不同于普通的白炽灯。日光灯工作时通过灯管中的汞蒸气放电，辐射出肉眼看不到的波长为253.7nm为主的紫外线，然后照射到灯管内壁的荧光物质上，荧光物质发出可见光(图4.2-3)。目前可以生产很多种荧光粉，分别发出各种颜色的可见光。因此可根据不同的使用目的生产各种不同光色、形状各异的荧光灯。

2. 节能灯

日光灯能量的利用率较高，用日光灯代替白炽灯可以节约很多电能。但是日光灯体积大，集光性差，镇流器也会损耗一部分电能。于是人们开发了另一种荧光灯，它发光效率高、体积小、集光性好、安装方便。这就是电子荧光灯，俗称节能灯（图 4.2-4）。节能灯的管子很细，呈“U”形、“H”形或者环形，灯内以

晶体管取代镇流器，采用稀土三基色荧光粉分别发射蓝、绿和红色的光，光谱成分丰富，发光效率比白炽灯高得多。特别是无电极高频荧光灯（又称微波灯），它不仅使荧光灯的寿命大大延长，而且非常节能。

3. 高压汞灯

日光灯中的汞蒸气压强很低，一般约为 0.8Pa 。气压低，粒子碰撞的概率小，发光的粒子数就少。增加灯内的汞蒸气压，就可以使光辐射的总能量增加。根据这个设想，人们制成了如图 4.2-5 所示的高压汞灯。高压汞灯内汞蒸气压强高达 $10^5 \sim 10^6\text{Pa}$ 。由于蒸气压强增加，汞蒸气放电的光谱与低压时有显著的不同。高压汞灯的光偏蓝白色，不能直接用于照明，必须在玻璃壳的内壁涂荧光粉，以改善光色。高压汞灯常用于街道、广场的照明。

4. 高压钠灯

高压钠灯是一种高压钠蒸气放电灯，靠电极放电使钠原子激发而发光，它的发光效率是所有高强度气体放电灯中最高的。高压钠灯发出黄白色光，由于黄色的光容易穿透雾气，有助于提高能见度。它具有发光效率高、寿命长、透雾能力强等优点，广泛应用于道路、机场、码头、车站等场所的照明（图 4.2-6）。

图 4.2-7 发光二极管作为交通信号灯



图 4.2-3 日光灯原理

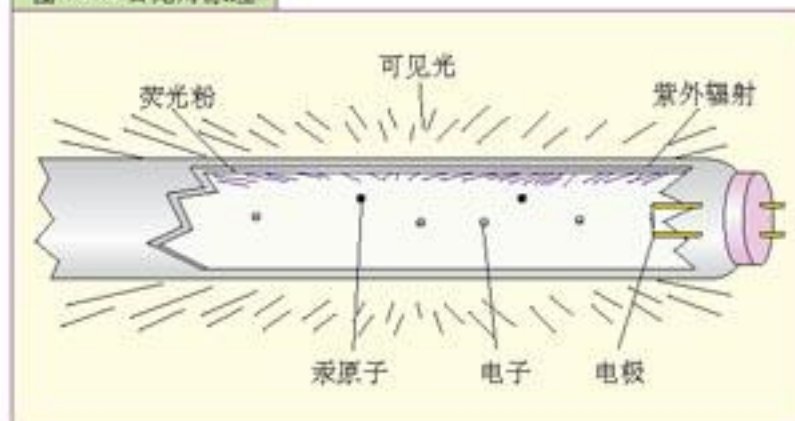


图 4.2-4 节能灯



图 4.2-5 高压汞灯



图 4.2-6 高压钠灯用于街道照明



发光二极管 发光二极管是一种新型的光源，在字符显示方面有相当广泛的应用。它的特点是体积小、能耗低。

许多家用电器采用发光二极管作为指示器。它颜色鲜艳、小巧玲珑，又有高效、节能、环保、冷光、长寿等特点，将成为普通照明领域一种新颖绿色光源。图 4.2-7 所示为路口的发光二极管阵列信号灯。

STS

避免光伤害

近视眼的发生与照明相关，光线既不能太强，又不能太暗。天然采光时，窗户玻璃面积与屋内地面面积之比约为1:4~1:6，墙壁反光系数不低于0.5。人工照明可采用日光灯或白炽灯，桌面照度不低于100 lx^①。一般光源应位于阅读者的左前方，灯离桌面距离约33 cm左右，加灯罩遮光，避免灯光直接照射眼睛。

光源的不断发展、光的合理利用，给人类的生活带来了极大的便利，同时也提高了生产效率。但是不合理用光也会给人类和自然界带来破坏，光也有污染的问题。光污染是继水污染、大气污染、电磁污染、噪声污染之后危害人类的第五大污染。一般将光污染分为白亮光污染、人工白昼和彩光污染三种。后两种常指过分夺目的广告灯箱、霓虹灯、黑光灯和旋转闪烁彩灯造成的污染。光污染有些会对人的视力造成损伤，有些会扰乱人体的正常生物钟，有些则可能对植物和动物造成伤害。

问题与练习

1. 去灯具店，通过阅读说明书或向营业员了解各种灯的性能，同时了解灯具的价格和耗电、使用寿命等。你如何利用这些信息为家庭挑选既经济又实用的灯具？
2. 查询有关投影仪中所用的照明光源的名称和参数。

第 3 节 激 光

激光笔、激光灯、激光唱盘(CD)、激光刀、激光打印机……“激光”一词在生活中随处可见。那么，激光到底是什么样的光？它是怎样产生的？为什么有这么大的用途？

激光的产生 了解激光的产生必须从受激辐射和光放大谈起。

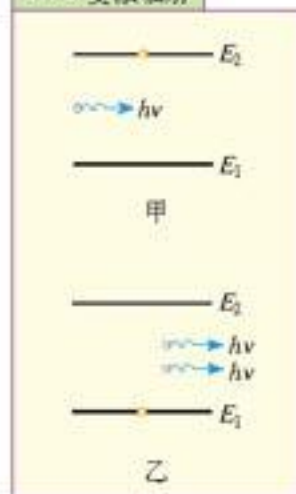
我们知道，没有外界影响，处于高能级的原子会自发地向低能级跃迁而发光，这种发光过程叫做自发辐射。白炽灯、日光灯等光源所发的光都是自发辐射产生的。

除自发辐射外，还有一种特别有用的发光过程，即受激辐射。受激辐射就是当原子

^① 勒克斯(lx)是照度单位，照度是表征受照面被照明程度的物理量。

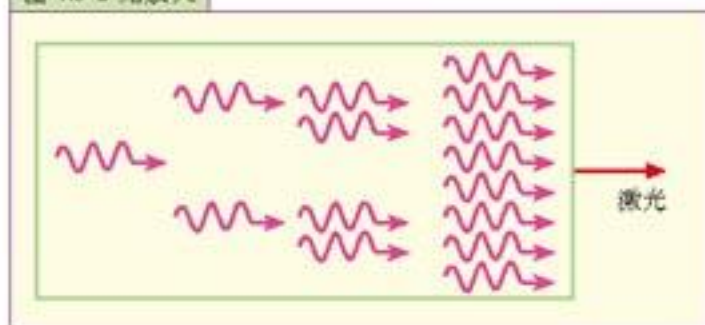
处在某一激发态，例如 E_2 时，如果有频率 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 的光子从附近通过，原子就会放出一个同样的光子而跃迁到低能级 E_1 ，如图 4.3-1 所示。如果受激辐射产生的光子在介质中传播又引起其他原子发生受激辐射，就会产生越来越多的相同的光子。它们的频率、偏振状态和传播方向都相同，如图 4.3-2 所示，这个现象叫做光放大。上述由于受激辐射而得到加强的光就叫做激光 (laser)。

4.3-1 受激辐射



激光器 目前激光器的种类很多，如果按激光器工作物质分类，可分为气体激光器、液体激光器、固体激光器和半导体激光器。一般来说，气体激光的单色性及相干性比较好；半导体激光的平行性不是很好，但是它的体积很小，价格便宜，因此得到了广泛的应用。

图 4.3-2 光放大



1. 气体激光器

最常见的 He-Ne 激光器是第一个研制成功的气体激光器。激光由氖受激辐射产生，氦是辅助物质。He-Ne 激光器由放电管、电极、反射镜和氦氖混合气体组成(图 4.3-3)。

图 4.3-3 He-Ne 激光器的结构



当放电管加上直流高压后，从阴极发出的电子向阳极加速过程中撞击氖原子使之激发，由于氖原子在这一激发态能级上所拥有的能量与氦原子的激发态能量相当，所以受激励的氦原子与基态的氖原子相碰撞并交换能量使氖原子被激励，再经过反射镜来回反射，从而发出相当强的激光。

He-Ne 激光器的输出波长为 632.8nm (红光)，其输出功率约 1mW，使用方便。

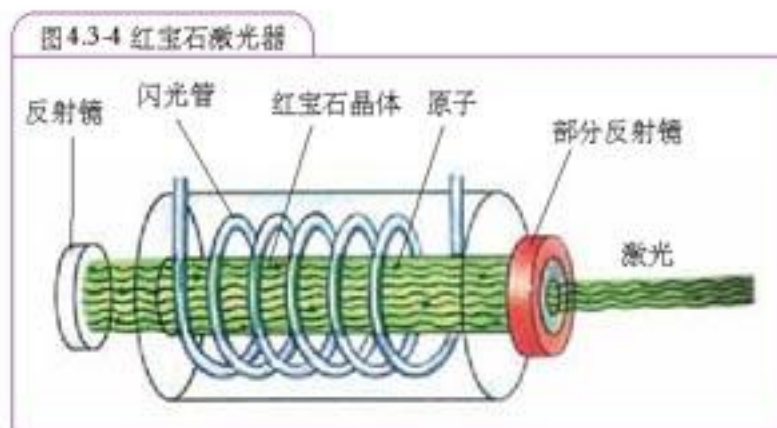
在可见光波段内输出功率最大的气体激光器是 Ar 离子激光器，激光器输出功率可达 20W 以上，波长有 514.5nm、488nm 等。CO₂ 激光器的输出波长在中红外区 10.6μm 处，其输出功率可从数十瓦到数千瓦，用于焊接、切割等工业加工。

2. 固体激光器

最早研究成功的固体激光器是红宝石激光器。红宝石的化学成分是 Al₂O₃，晶体中掺有 Cr 离子而呈现红色。红宝石的端面被抛光并镀以反射膜，一端是全反射镜，另一端是只有百分之几透光率的部分反射镜，以氙闪光灯作为激励能源，所发射的激光波长为 694.3nm (红光)。图 4.3-4 为红宝石激光器的基本结构图，其输出功率可达 10⁵W 的数量级。固体激光器器件小、坚固耐用、脉冲功率大、使用简便。

3. 半导体激光器

半导体激光器又称激光二极管(图 4.3-5)，记作 LD。半导体激光器体积小、重量轻、可



靠性高、转换效率高、功耗低、驱动电源简单、能直接调制、结构简单、价格低廉、使用安全，其应用领域非常广泛。如光盘读写、激光打印、激光测距、条码扫描、激光显示、实验室及教学演示、舞台灯光及激光表演等。

目前已开发出并投放市场的半导体激光器所发射的激光波长有十多种，从红外、可见光到紫外各波段都有。

激光的特性 激光应用之所以广泛，是因为它具有以下特性。

1. 相干性好

激光是一种人工产生的相干光。普通的光源，例如白炽灯，灯丝中每个原子在什么时刻发光，朝哪个方向发光，都是不确定的，发光的频率、偏振方向也不一样。这样的光在叠加时，一会儿在空间的某点相互加强，一会儿又在这点相互削弱，所以不能发生干涉，这样的光是非相干光。激光是人工产生的具有频率、偏振状态和传播方向都相同的光，因此，它的相干性好。

2. 平行度高

普通光源发出的光是发散的，所以一般射程较近。例如，好的手电筒在夜间只能照到几十米远的地方，大功率的探照灯也只能照到几千米或十几千米远的地方。而激光的平行度要比普通光的平行度好得多，由于激光平行度好，所以在传播很远的距离（例如月球）后，激光仍能保持一定的强度。

3. 能量集中

激光可以在很小的空间和很短的时间里集中很大的能量。如果将强大的激光束聚焦起来照射到物体上，可以使物体的被照部分在约千分之一秒时间内产生几千度的高温，最难熔化的物质在这一瞬间也要汽化了。

4. 单色性好

激光的颜色很纯，即单色性好。如 He-Ne 激光器发出波长 632.8 nm 的红光，对应的频率为 4.74×10^{14} Hz，它的谱线宽度只有 9×10^2 Hz。而普通的 He-Ne 混合气体放电管所发出的同样频率的光，其谱线宽度达 1.52×10^9 Hz，比激光的谱线宽度大 10^{10} 倍以上。

图4.3-5 激光二极管





问题与练习

1. 简述激光产生的机理。
2. 激光有哪些特点？试例举生活和生产中激光的一些应用实例。

第 4 节 激光的应用

由于激光具有相干性好、平行度高、能量集中、单色性好的优点，它在各个方面有广泛的应用。

1. 激光测距、激光雷达和激光准直

这三种用途都是利用了激光的能量集中和平行度高的特性。激光测距的原理与声波测距相似，只是更精确，工作距离更远。图4.4-1为激光精确测距示意图。将功率为几百瓦的激光从地球射到月球，到达月球的激光反射回来，被地面上的接收器接收。测量 3.84×10^5 km 远的距离只需几秒钟，误差仅为几厘米。

测距仪测定的是固定目标，而激光雷达测量的是运动目标。在激光雷达的基础上，人们又发明了远距离导弹跟踪和激光制导技术。

激光准直仪在生产和科学实验中非常有用。如在隧道的掘进过程中，激光准直仪可以给挖掘机导向。

2. 激光通信和激光存贮

这方面的用途主要利用的是激光的单色性好、平行度高和相干性优良的特性。由于激光有较好的相干性，所以它能像无线电波那样进行调制，用来传递信息。把声音、图像等信号调制到激光载波上，然后将激光通过光纤发送出去，在接收端通过解调和输出设备，将所传送的声音、图像信号再现出来。这样就实现了激光光纤通信。

激光存贮器是一种新型的信息存贮工具，又称光盘。

通常的只读光盘（CD-ROM）是一个直径为120mm，厚1.2mm的聚碳酸酯塑料圆盘，盘中心有一个与驱动器相配的15mm的孔（图4.4-2）。数据在生产光盘时即被写入，用户只能读取盘上的数据，故称之为只读光盘。

光盘记录的信息是数字化的，即由“0”和“1”组成，在盘上分别以“凹坑”和“平台”代表，这些凹坑都是由激光刻制出来的。只读光盘上的数据道呈螺旋形，记录着激光刻录的信息，在上面再涂一层铝反射膜和树脂保护膜。播放时，由播放机上的

图 4.4-1 激光测距



图 4.4-2 光盘



激光器将激光束射到盘片的数据道上，光束射到“凹坑”和“平台”后，反射光强弱不同，由传感器接收，再经解码等处理后由显示器显现出文字、图像和声音(图 4.4-3)。

3. 激光用于加工和医疗

激光能量高度集中，可以在很小的空间和很短的时间内集中很大的能量。利用这一特性，激光用于打孔时可以进行微加工；用于切割(图 4.4-4)时，具有速度快，切面光洁，不发生形变的优点；用于焊接时，能焊接难熔金属。

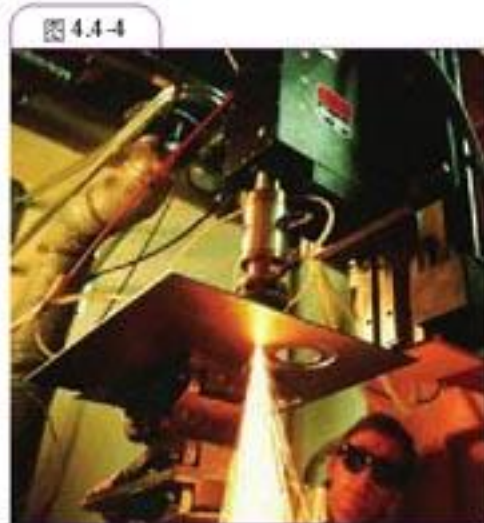
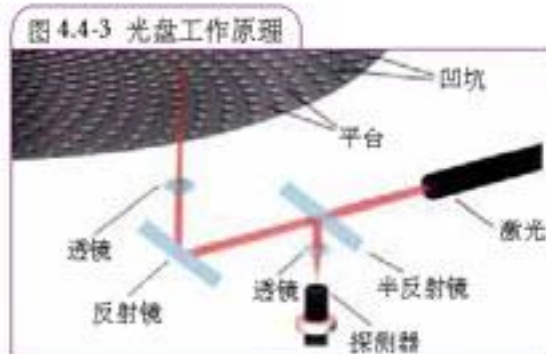
激光在医疗中用途也很广。外科医生可以用激光做精细的手术，激光能通过皮肤组织，聚焦到身体中需要手术的部位。在眼外科，视网膜从眼底分离或脱落，可以用激光束“焊接”需要联接的部位。

4. 激光核聚变

原子核聚变时释放的核能是一种很有希望的新能源。怎样使原子核在人工控制下进行核聚变反应？一个可能的实现途径是把核燃料制成小颗粒，用激光从四面八方对它进行照射，利用多路强激光产生高温和高压，引起核聚变(图 4.4-5)。

5. 激光生物效应

激光与生物体相互作用能引起多种物理化学效应，诸如热效应、电磁效应和光化学效应等。它的综合作用，使受照射部位的生物组织结构或机能发生变化。激光生物效应具有广泛的应用价值，例如利用激光照射种子，可培育出水稻、小麦、大豆、油菜、蕃茄等作物的优良品种；激光还可以改造果树性能，培育出品质优良的水果。

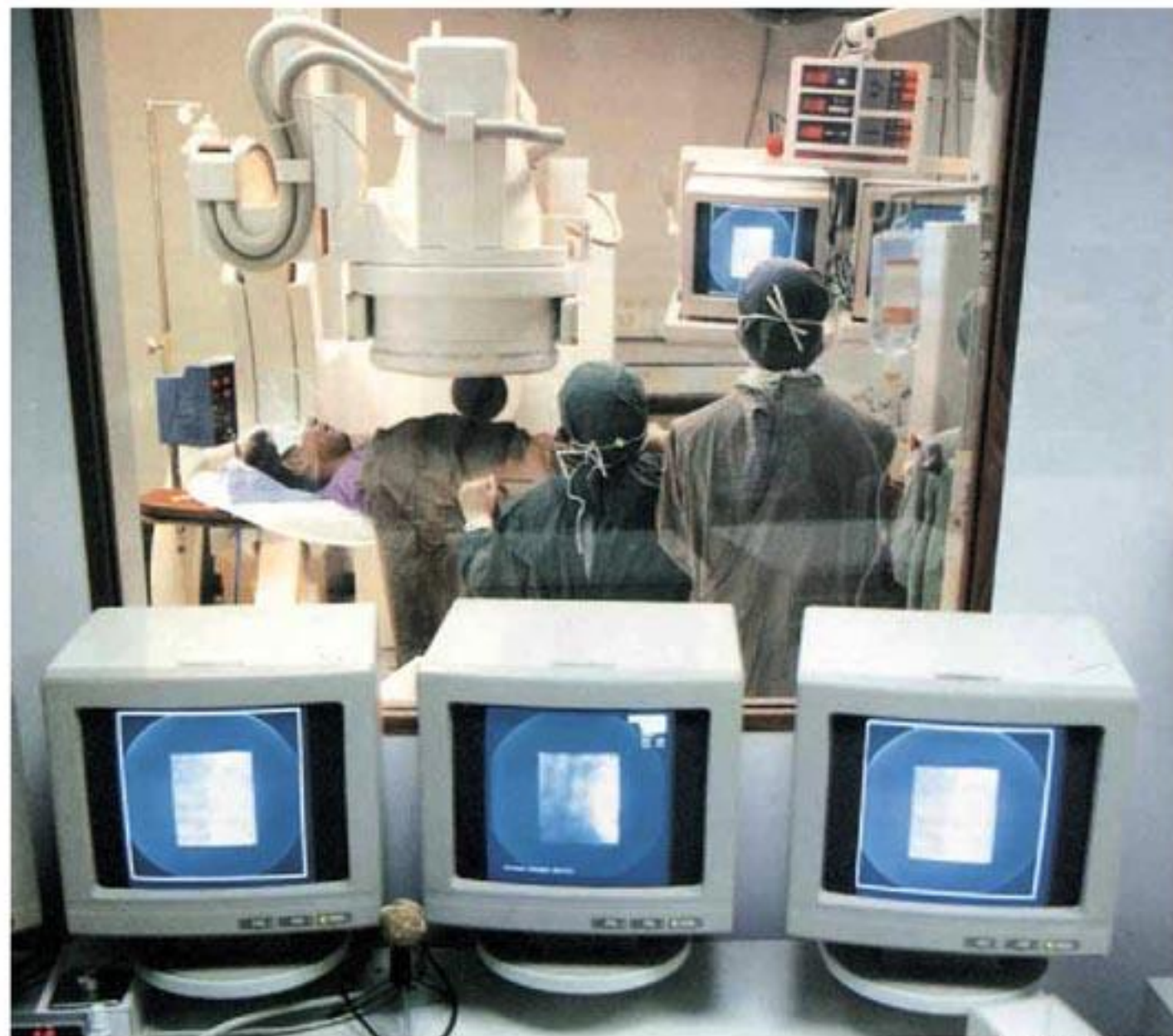


问题与练习

1. 通过报刊、电视、互联网等了解激光的重要应用。这些应用利用了激光的哪些特点？
2. 结合我们接触的家用电器，诸如 VCD、CD-ROM、DVD、售货计费的条形码，了解激光是如何被利用的。
3. 试结合电脑的光驱分析激光的应用。

第 5 章

放射性与原子核



用射线治疗肿瘤

通过初中物理的学习我们已经知道，原子是由原子核和绕核运动的电子组成的。那么人们是如何发现原子的核式结构的？原子核又是由什么组成的？它有哪些变化规律呢？这一章我们就来学习这方面的知识。

第 1 节 天然放射现象 原子结构

X射线的发现 1895年11月8日，德国科学家伦琴在研究阴极射线的实验中发现了一种意想不到的现象。当时，为了防止可见光的影响，他用厚厚的黑纸把放电管包裹起来。在暗室中实验时伦琴发现放电管放电时，距它1 m外的涂有亚铂氰化钡的荧光屏发出了微弱的荧光。这使他十分惊奇，因为没有办法解释亚铂氰化钡发出可见光的原因。他推断，看到的荧光可能是一种未知的射线引起的。

伦琴在进一步研究中发现，这种射线能够穿透上千页书、2~3 cm厚的木板、几厘米厚的橡胶板……只有1.5 cm以上厚度的铅板才能把它挡住，可见，这种射线具有很强的穿透力。

1895年12月28日，伦琴发表了论文，初步总结出新射线的一些性质：直线传播，不被玻璃棱镜反射和折射，也不被电场或磁场偏转；所有物体对新射线几乎都是透明的，能显示放在盒子里的砝码，能显示人手骨骼的轮廓（图5.1-1）；可使荧光物质发光，可使照相底片感光。

伦琴无法确定新射线的本质，就把它称为X射线(X-ray)。直到1912年，才由德国物理学家劳厄判定，X射线是频率极高的电磁波。

X射线的发现及随后的天然放射性的发现，为微观物质结构的研究开辟了一个新的时代。

天然放射现象 X射线的发现打开了一个全新的研究领域，引起许多科学家的兴趣与关注。

1896年，法国物理学家贝可勒尔在研究X射线时，意外地发现铀和含铀矿物能够发出看不见的射线，这种射线可以穿透黑纸使照相底片感光。接着居里夫妇在1898年发现了比铀放射性更强的元素镭和钋。这表明放射性并不是少数几种元素才有的。研究发现，原子序数大于82的所有元素都能自发地放出射线。元素这种自发地放出射线的现象称为天然放射现象。

对放射现象进行深入的研究，人们发现，如果一种元素具有放射性，那么不论它是以单质的形式存在，还是以某种化合物的形式存在，放射性都不受影响。这说明放射性元素放出的射线来自原子内部。

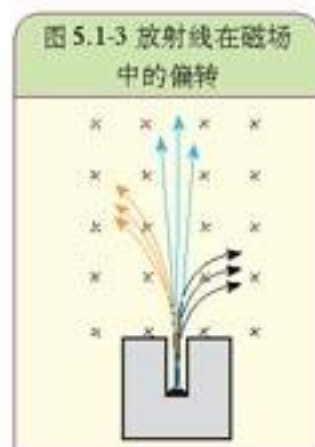
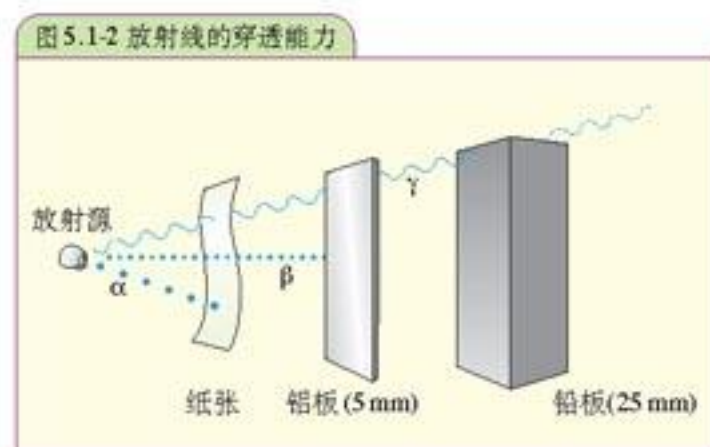
人类探究物质结构的另一个突破是电子的发现。1897年，汤姆孙通过阴极射线的研究发现了电子。不久，人们又发现在气体电离和光电效应等现象中，都可以从物质中轰击出电子。电子的质量比最轻的氢原子的质量小得多，可见电子是原子的组成部分。

放射性物质放出的射线共有三种： α 射线、 β 射线和 γ 射线。1902年英国物理学家卢瑟福通过实验发现， α 射线是带有两个单位正电荷的氦原子，它的电离能力强，但贯穿能力弱，普通纸张就能把它挡住； β 射线是高速电子流，它的电离能力弱，贯穿能力强，用几毫米厚的铝板才能把它挡住； γ 射线不带电，是能量很高的电磁波，它的波长很短，在 10^{-10} m以下，电离能力最弱，贯穿能力最强，用几厘米厚的铅板才能挡住大部分射线（图5.1-2）。如果将三种射

图5.1-1 伦琴夫人手指的X光照片。



线射入磁场，运动电荷在洛伦兹力的作用下，会发生如图 5.1-3 所示的偏转。



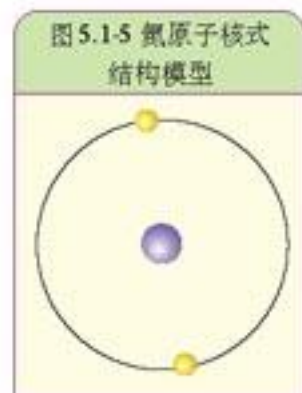
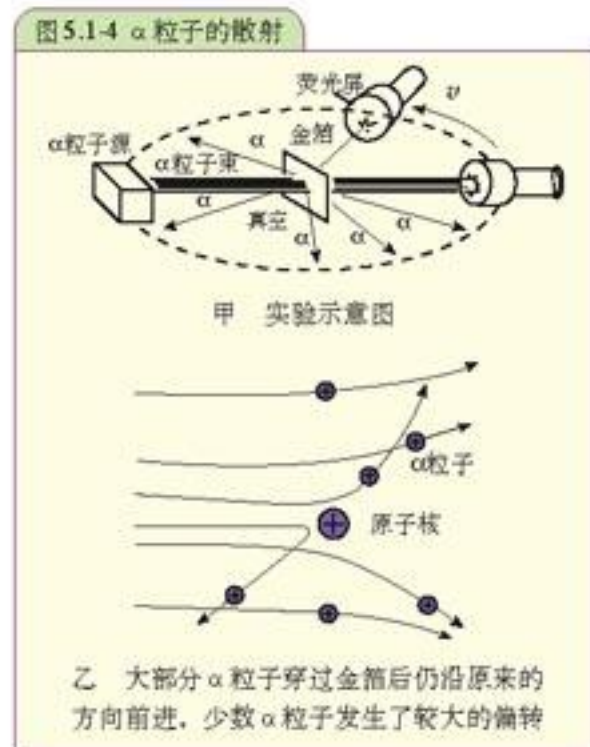
原子的核式结构 天然放射现象及电子的发现说明原子还有进一步的结构。那么原子到底有怎样的结构，人们是如何发现的呢？

1909~1911年，卢瑟福和他的助手们进行了α粒子散射的实验。图 5.1-4 甲是实验装置的示意图。用α粒子照射金箔，由于金原子中的带电微粒对α粒子有库仑力的作用，一些α粒子穿过金箔后会改变原来的运动方向，这个现象叫做α粒子的散射。

卢瑟福通过α粒子散射实验发现，绝大多数α粒子穿过金箔后，仍沿原来的方向前进，但是少数α粒子发生了大角度的偏转（图 5.1-4 乙）。

电子质量很小，不会影响α粒子的运动，就像一粒尘埃不能影响子弹的飞行一样。少数α粒子发生大角度的偏转，说明原子中的正电荷与原子的绝大部分质量集中在一个很小的部分。据此，卢瑟福提出了原子的核式结构模型：在原子的中心有一个很小的核，叫做原子核，原子的全部正电荷与几乎全部质量都集中在原子核，带负电的电子在核外空间运动（图 5.1-5）。

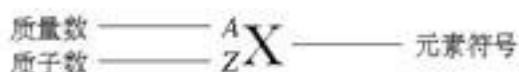
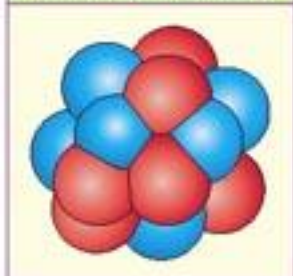
原子核的组成 在发现原子的核式结构后，卢瑟福进一步用α粒子轰击原子核来研究原子核内部结构。他发现原子核内带正电荷的粒子就是氢原子核，并称它为质子（**proton**）。实验还表明原子核的质量通常比其中所有质子的总质量大，卢瑟福就猜想原子核内可能还存在着另外一种粒子，它的质量跟质子相等，但不带电，他把这种粒子称为中子（**neutron**）。他的猜想被他的学生查德威克用实验证实，实验还测出中子的质量与质子的质量非常接近，只比后者大千分之一左右。原子核是由质子和中子组成的（图 5.1-6），



质子和中子通称为核子 (nucleon)。

原子核所带的电荷等于核内质子所带电荷的总和,所以原子核所带电荷是质子电荷的整数倍,通常用这个整数代表原子核的电荷数,用 Z 表示,称为原子核的质子数。原子核的质量等于核内质子和中子的质量之和,而质子和中子的质量几乎相等,所以原子核的质量近似等于核子质量的整数倍。通常用这个整数代表原子核的质量,用 A 表示,称为原子核的质量数。所以,某种元素 X 的原子核常用下面的符号来表示

图 5.1-6 原子核的组成



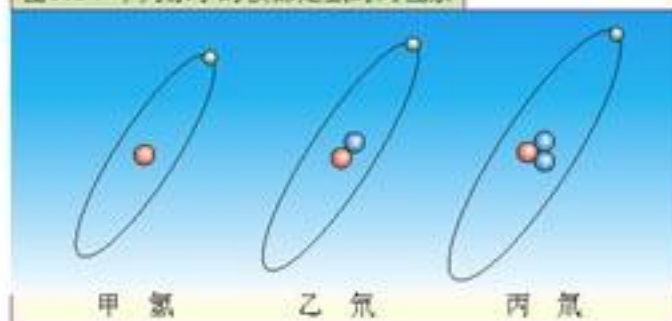
例如 ${}^4_2\text{He}$ 代表质子数为 2, 质量数为 4 的氦核, α 射线就是高速运动的氦原子核。 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 代表质子数为 92, 质量数为 235 的铀核。表 5-1 给出了质子、中子、电子的质量和电荷量。

表 5-1 质子、中子、电子的电荷量和质量比较

	电荷量(设元电荷电荷量为 e) ^①	相对质量(设质子质量为 1) ^②	符号
质子	$+e$	1	${}^1_1\text{H}$ (或 p)
中子	0	1	${}^1_0\text{n}$ (或 n)
电子	$-e$	约 0.0005	${}^0_{-1}\text{e}$ (或 e^-)

同种元素原子的质子数和核外电子数均相同, 所以有相同的化学性质。但是, 它们的中子数可以不同。具有相同质子数而中子数不同的原子核, 在元素周期表中处于同一位置, 称为同位素 (isotope)。例如, 氢有三种同位素, 分别称为氢、氘 (重氢)、氚, 符号是 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ (图 5.1-7)。

图 5.1-7 下列原子的核都是氢的同位素



① 元电荷电荷量为电子所带的电荷量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$, 它是自然界最小的电荷单位。
② 质子的质量为 $1.6726231 \times 10^{-27} \text{kg}$, 中子的质量为 $1.6749286 \times 10^{-27} \text{kg}$ 。



新元素的发现

1896年，贝可勒尔发现铀和含铀矿物能够发出看不见的射线，这一发现引起了居里夫人极大的关注。铀放出的射线是什么？她决定进一步研究它。

居里夫人首先研究的是铀射线的来源问题。她对铀加热、用X光和紫外光照射，发现同一块铀盐无论进行怎样的处理，其放射性强度是不变的。它只跟物质中的含铀量有关，跟与之结合的其他元素无关。这就证明了这种射线的确是原子内部的产物，是铀元素本身的特性。

接着，居里夫人又提出第二个问题：除铀之外，其他元素有没有这种特性？她开始着手在收集到的矿物中寻找新的放射性元素，结果发现钍的化合物也会发出射线。还有一种叫沥青铀矿的铀盐的放射性比纯铀和纯钍的放射性还要强。她无法解释她的发现，因为沥青铀矿中的含铀量远比其他铀盐少，可是为什么前者的射线强度反而比后者的强得多？经反复验证证明事实无误后，她推测：一定是沥青铀矿中含有放射性更强的新元素，只不过它的含量很少，以致在化学分析中被人忽略了。她相信自己的判断并决定提取这种新元素。

居里夫妇在十分简陋的条件下，经过艰苦的努力，终于在1898年7月提取出一种放射性比铀强几百倍的新元素“钋”。继“钋”之后，他们又发现了一种化学性质与钡类似、放射性更强的元素——镭。

居里夫人从1898年开始直到1935年逝世的38年中，以缺身的精神、坚韧不拔的毅力和刻苦顽强的意志全身心地投入到放射性的研究工作中。由于她的杰出贡献，成为唯一一位两次获得诺贝尔奖的女科学家。

居里夫妇淡泊名利，在发现镭射线的治癌功能后，他们认为这种济世救人之物应该属于全世界。当镭以昂贵的价格出现在市场上时，他们自己却甘愿过着清贫的生活。在第一次世界大战中，居里夫人带着自己的女儿亲赴战场前线，积极参加用射线救治伤员的工作。可能是由于长期受到放射性辐射的照射，居里夫人死于白血病。

图 5.1-8



问题与练习

1. γ 射线和X射线都可以穿透黑纸使照相底片感光，也能穿透多种物质，请你说一说这两种射线还有哪些共同点。这两种射线又有什么不同？

2. 在天然放射现象中，射线是从原子中哪个部分放出的？为什么？

3. 某放射源会同时放出 β 射线和 γ 射线。说明怎样利用磁场或利用不同的吸收板，来演示 β 粒子和 γ 射线同时存在。

4. 周期表中元素钍可以用符号Th表示。

(1) 这个原子包含多少质子、中子和电子？

(2) 另一个钍的同位素原子核多了4个中子，写出它的符号。

5. 试完成下表

	电子数	质子数	中子数	核子数
钴 60	27			
铯 90		38		
氡 222			136	
镭 226		88		

6. 以下是四个原子的资料。

原子A：6个电子，核子数12；

原子B：138个中子，核子数226；

原子C：6个质子，8个中子；

原子D：8个电子，核子数16。

查找元素周期表，找出原子A、B、C、D各是什么元素。其中哪两个是同位素？

第2节 原子核衰变

原子核衰变 原子核放出 α 粒子或 β 粒子后，变成新的原子核，我们把这种变化称为原子核的衰变。放出 α 粒子，称为 α 衰变。放出 β 粒子，称为 β 衰变。大量的实验表明，原子核衰变前后的电荷数和质量数都守恒。例如铀238核在放出一个 α 粒子后，铀核的质量数减少4，电荷数减少2，铀核转化为新核钍234（图5.2-1），以上 α 衰变可以用下面的衰变方程来表示：

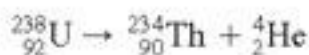
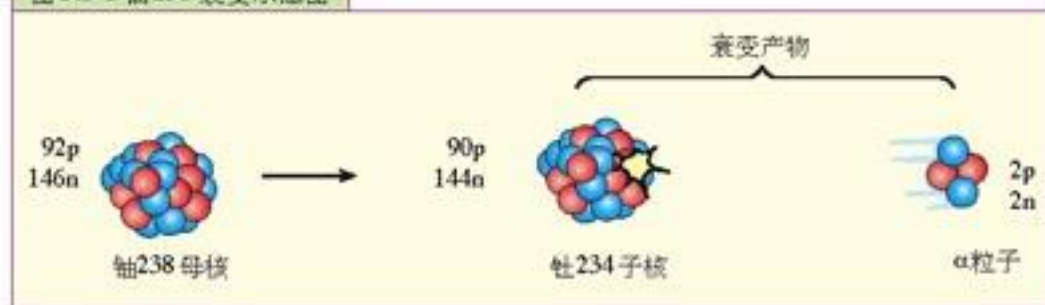
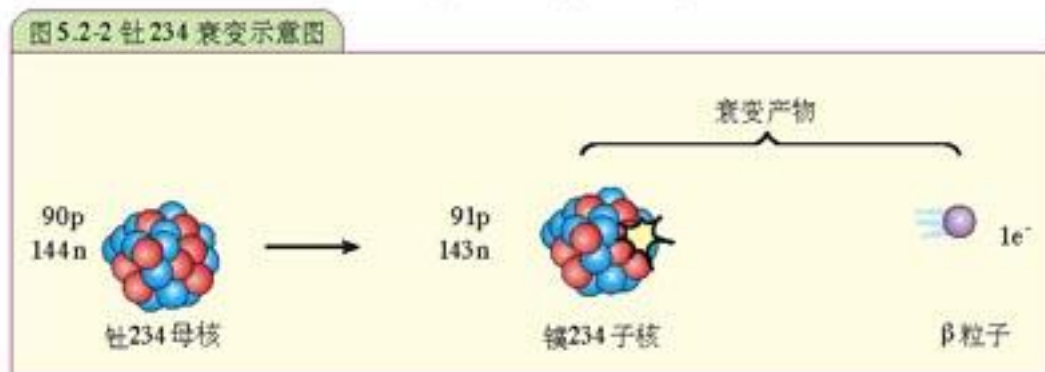
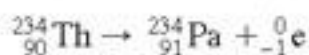


图5.2-1 铀238衰变示意图



钍234也具有放射性，它能放出一个 β 粒子而变为镤(${}_{91}^{234}\text{Pa}$)核（图5.2-2）。电子的质量比核子质量小得多，可以认为它的质量数为零，电荷数为-1。钍核放出粒子后质量数不变，电

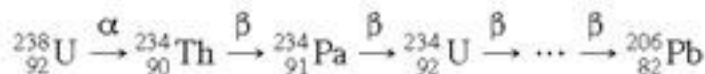
荷数增加1，转变为镤核。以上 β 衰变可以用下面的衰变方程来表示^①：



放射性元素的原子核中，两个中子和两个质子结合得比较紧密，有时它们会作为一个整体从较大的原子核中抛射出来，这就是 α 衰变。有时原子核内的一个中子可以转化成一个质子和一个电子，产生的电子从核内发射出来，这就是 β 衰变。

原子核的能量也只能取一系列不连续的数值，因此也存在着能级，而且能级越低越稳定。放射性原子核在发生 α 衰变、 β 衰变时产生的新核往往处于较高的能量状态，这时它要向较低的能量状态跃迁，从而辐射出 γ 射线。因此， γ 射线是伴随 α 射线和 β 射线产生的。

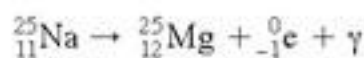
放射性元素往往会连续发生衰变，例如铀 238 要经过一系列衰变，直至变为稳定的铅 206 的核，才停止衰变。



通常放射性元素样本中，有的原子核发生 α 衰变，有的原子核发生 β 衰变，同时伴随 γ 辐射。这时射线中会同时具有 α 、 β 和 γ 三种射线。

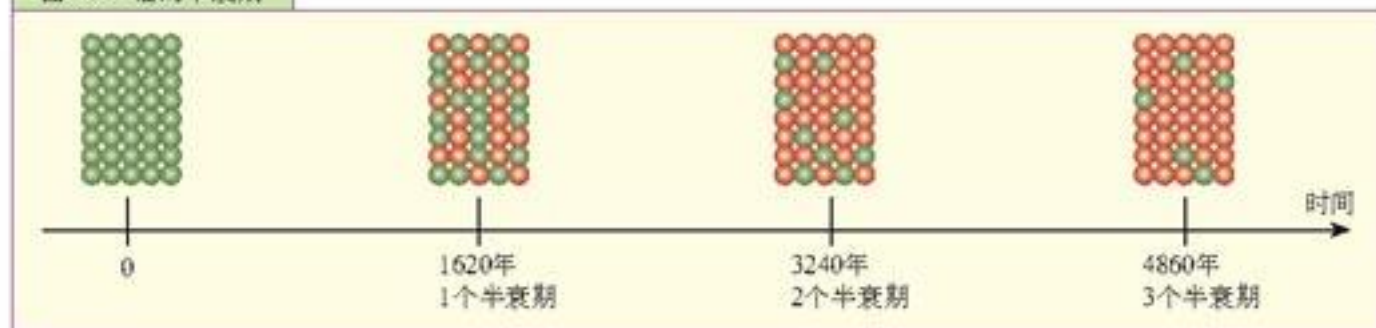
○ 例题 写出放射性同位素 ${}_{11}^{25}\text{Na}$ 经过 β 衰变和 γ 辐射，衰变成镁同位素 Mg 的衰变方程。

解：根据衰变前后质量数和电荷数守恒，可写出如下衰变方程



半衰期 由于衰变发生在原子核内部，而任何物理和化学条件的变化都不会影响原子核的结构，所以放射性元素衰变的快慢是由核内部的因素决定的。

图 5.2-3 镭的半衰期



^① 发生 β 衰变时，除了产生电子 ${}_{-1}^0\text{e}$ 外，还产生反电子中微子 $\bar{\nu}_e$ 。由于 $\bar{\nu}_e$ 的质量数和电荷数都是0，所以在中学教科书中一般都不写出。

研究表明，放射性同位素衰变的快慢有一定规律，而且非常稳定。例如镭226衰变成氡222时，每过1620年就有一半的镭发生了衰变。也就是说，经过第一个1620年，剩下一半的镭未发生衰变；经过第二个1620年，剩下 $\frac{1}{4}$ 的镭未发生衰变；经过第三个1620年，只剩下 $\frac{1}{8}$ 的镭未发生衰变（图5.2-3）。放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间，称为这种元素的半衰期（half life）。因此，1620年称为镭226的半衰期。

镭原子核的数目与时间的关系可以用图5.2-4所示的衰变曲线来表示。不同放射性元素的半衰期不同，差别可能非常大。例如氡222的半衰期为3.8d，而铀238的半衰期竟长达45亿年。人造放射性同位素的半衰期比天然放射性物质短得多，而且它的放射强度容易控制。各种放射性同位素的应用技术都使用人造放射性同位素，这样可消除放射性同位素长期滞留所引起的危害。例如在放射性示踪技术和医疗技术中，所使用的人造放射性同位素的半衰期通常以分钟或小时为单位，最大的以天为单位。

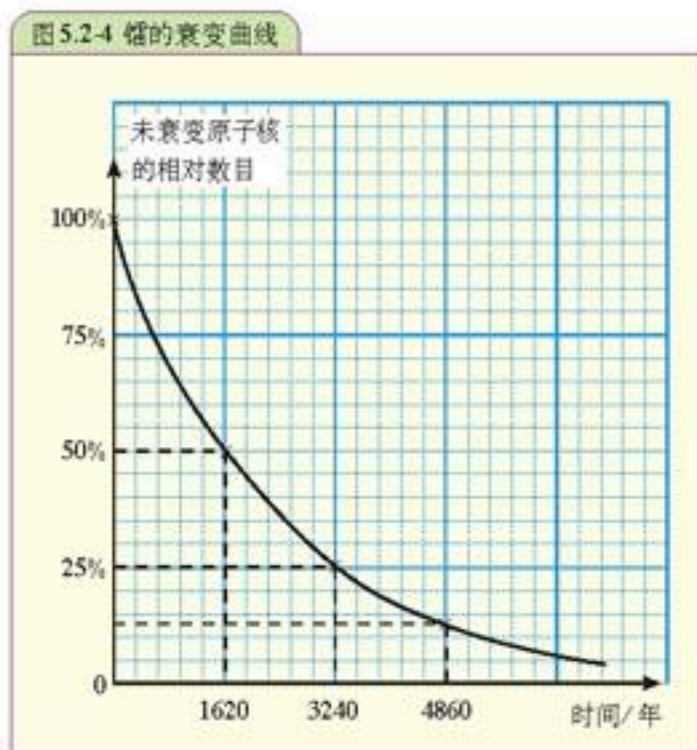


表5-2 一些医疗造影用放射性同位素的半衰期及造影部位

放射性同位素	半衰期	造影部位
金 198	2.7 d	肝
铯 67	72 h	软组织肿瘤
铟 85	64 d	骨
钐 201	74 h	冠状动脉疾病
碘 131	8.04 d	甲状腺
铊 99	6 h	脑、甲状腺、肺、肝、脾、肾、胆囊

碳14鉴年技术 考古学家用半衰期很长的放射性同位素碳14作为时钟，来测量考古发掘物所经历的漫长时间。这种技术称为碳14鉴年法。

自然界中的碳元素主要是碳12，同时也有少量放射性同位素碳14，它是太阳射来的高能粒子流与高层大气的原子核相作用而产生的。碳14原子核能自发进行 β 衰变，变成氮。它的半衰期长达5730年。碳14不断产生又不断衰变，在自然界达到动态平衡，因此它在大气中的含量是稳定的，大约 10^{12} 个碳原子中有一个碳14。活的生物通过光合作用、呼吸作用和摄入食物与环境交换碳元素，因而所有含有碳12的生物体内同样含有少量碳14，其比例与大气中的相同。

生物死亡后，停止与环境交换碳元素，遗体内的碳 14 仍在衰变而得不到补充，碳 14 就会不断减少。于是，根据碳 14 放射性强度减少的程度就可以推算出生物死亡的时间。

例如，要判断一段考古挖掘出来的古木或古代骨骼的年代，可以用质谱仪测量碳 14 与碳 12 两种原子核的比例，如果测得的考古发掘物样品的碳 14 的比例刚好是现存样品的一半，这就表明古木或古代骨骼经过了碳 14 一个半衰期，即它们已经死亡了 5730 年。假如测得的两种原子核的比例是其他值，也可以根据碳 14 的衰变曲线找出考古发掘物的年代。

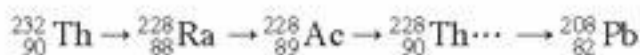
图 5.2-5 用质谱仪测量样本中微量的碳 14



用碳 14 鉴年技术可以比较准确地测量古木、古尸等考古发掘物的年代。例如我国考古工作者用此法对马王堆一号汉墓外椁盖板杉木进行测量，结果表明这座古墓距今 2130 ± 95 年。历史文献的考证表明它的年代为西汉早期，约在 2100 年前，与同位素碳 14 鉴年获得的结果一致。

问题与练习

1. 在以下连续衰变过程中



- (1) 前三次衰变时，每次放出什么粒子？
 - (2) 当稳定的铅 208 出现时，衰变便会停止。整个过程中，有多少粒子放出？
2. 碘 131 的半衰期是 8 d。现有 16 g 的碘样品，在 24 d 内有多少克会衰变掉？
3. 放射性同位素 ${}_{6}^{14}\text{C}$ 被考古学家称为“碳钟”。它可以用来断定古生物体死亡至今的年代。此项成果曾获得 1960 年诺贝尔奖。请回答以下问题：
- (1) ${}_{6}^{14}\text{C}$ 很不稳定，容易发生 β 衰变，其半衰期为 5 730 年。写出它的衰变方程式。
 - (2) ${}_{6}^{14}\text{C}$ 的生成和衰变通常是平衡的，即空气中和生物活体中 ${}_{6}^{14}\text{C}$ 的含量是不变的。当生物死亡后，机体内的 ${}_{6}^{14}\text{C}$ 含量会不断减少。若测得一具古生物遗骸中 ${}_{6}^{14}\text{C}$ 含量只有活体中的 $\frac{1}{8}$ ，这具遗骸死亡至今有多少年了？

第 3 节

放射性同位素的应用

天然存在的放射性同位素不过几十种。现在，用人工方法得到的放射性同位素已达 1 000 多种，在工农业，医疗卫生和科学研究等许多方面得到了广泛的应用。

人工放射性同位素发出的较弱的放射线主要应用在以下几个方面。

1. 放射线示踪

由于放射性同位素的核外电子数与非放射性的同位素相同，它们有相同的化学性质，因此，人们可以用放射性同位素代替非放射性同位素来制成各种化合物，它们的原子跟通常的化合物一样参与所有的化学反应和物理过程。由于原子的放射性不受任何化学和物理变化的影响，所以它们是带有“放射性标记”的示踪原子，可以用放射性探测仪检测它们所在的位置、强度和停留时间。

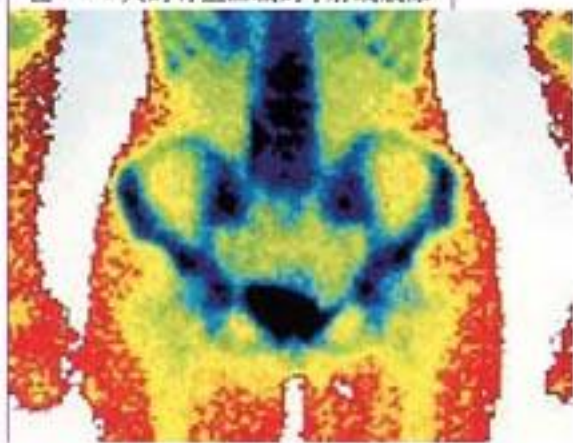
放射性示踪技术在农业技术、医疗技术和工业技术中有广泛应用。用放射性同位素制成肥料和农药，利用探测器可以了解农作物对肥料和农药的吸收部位、吸收过程、吸收效率以及在作物体内的分布。例如用放射性同位素磷 30 制成肥料，喷洒在棉花叶面上，然后每隔一定时间测量棉枝各部位的放射强度，就能研究棉花对肥料的吸收情况。

在医疗技术上，由于人体不同组织对不同元素的吸收率不同，可将用放射性同位素制成的药物注入人体，用探测器探测示踪原子在人体组织中的放射强度，这些数据经过电脑分析后，病人体内的情况就转化成影像显现出来（图 5.3-1），从而可以诊断它们的病变。例如检查甲状腺时，可注入碘 131，然后观察它被甲状腺吸收的情况。肿瘤细胞比正常细胞能吸收更多的放射性元素，由此可诊断肿瘤形成的部位。钆 99 可用来做脑部扫描，帮助医生诊断脑部疾病。

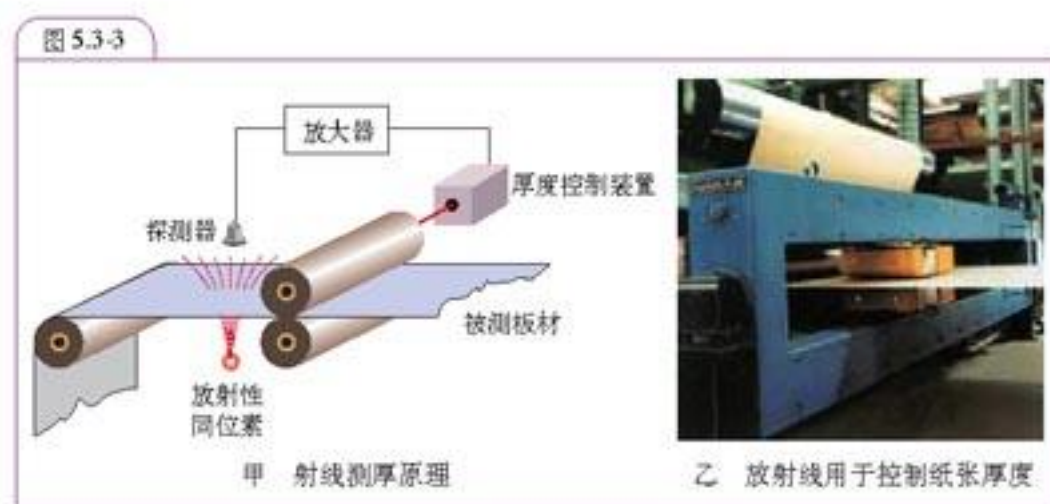
放射性示踪在工业技术中同样有广泛应用。例如将放射性同位素注入输油和输气管中，用探测器可以检查管道破裂和泄漏的位置，从而避免大规模的挖掘。如果在制造内燃机汽缸活塞的材料中掺入放射性同位素，然后用探测器检测润滑油中的放射性强度，就可以了解活塞在汽缸中的磨损情况。

2. 射线探伤和测厚

γ 射线贯穿本领强的特点可以用于探伤和测厚，射线探伤和测厚技术不仅是“非破坏”的，而且是“无接触”的。图 5.3-2 是 γ 射线探伤仪的外

图 5.3-1 人的骨盆区域的 γ 射线成像图 5.3-2 γ 射线探伤仪

观， γ 射线穿过零部件中有缺陷的部位时，其强度就减弱得少些，即透过的强度就大些，用照相底片或用仪器来接收射线信号，就可以探测到零部件内部的气孔、杂质等缺陷。 γ 射线探伤仪体积小、重量轻、穿透力和耐用性强，尤其适合厚壁管焊口和狭窄空间处的探伤及野外作业。



在制造纸张、金属箔及轮胎等产品时，可用射线测厚仪来控制产品的厚度。在产品的一侧放置放射源，另一侧用探测器计数，并将信号反馈给压辊，从而控制它的压力大小（图5.3-3）。

3. 射线治疗

由于肿瘤细胞比正常细胞对射线更敏感，因此可用一定剂量射线集中照射病灶部位来杀灭和遏止癌细胞的生长，这就是我们通常所说的“放疗”。放疗治癌常采用以下三种方式：体内放疗、体外放疗和近距离导入放疗。体内放疗是利用病灶部位对某些元素吸收较多的特点，将放射性同位素注入体内，射线将近距离杀灭癌细胞而不会过多损伤周边组织。用于这类放疗的同位素有碘122、碘131等。体外放疗通常用钴60做 γ 射线源，在体外对肿瘤部位集中照射（图5.3-4）。近距离导入放疗是将放射性同位素通过导管直接导入肿瘤部位，使它们在十分靠近的位置保持一定的浓度和时间。这种方式对全身的幅射影响最小，例如，铯192能放出 β 射线和低剂量 γ 辐射，它常用于乳腺和口腔肿瘤的近距离导入治疗。



4. 射线育种和消毒

生物体内的DNA(脱氧核糖核酸)承载着遗传密码。DNA在射线作用下可能发生突变，所以通过射线照射可以使种子的遗传特性发生变异，从而培养出新的优良品种。射线还可以抑制农作物中害虫和微生物的生长。被剂量适中的射线照射过的食物可以保存更长的时间（图5.3-5）。利用射线还可以对食品和医疗器械消毒。



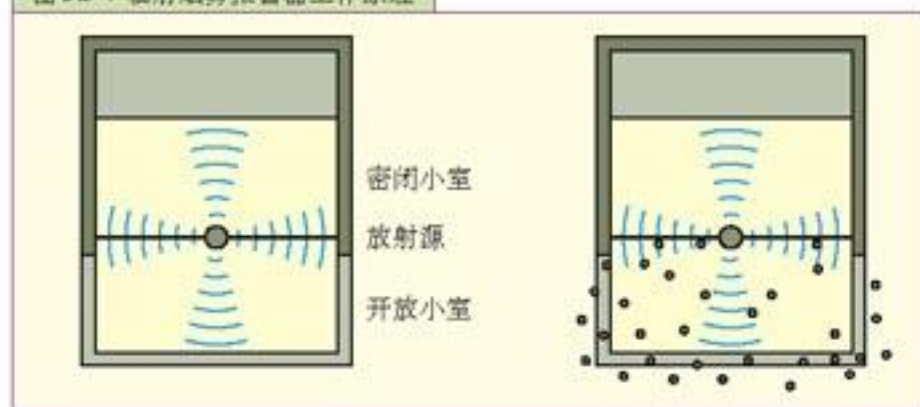
5. 射线电离技术

射线的电离作用除了用于射线探测技术外，还用于其他方面。例如，利用 α 射线电离作用强的特点，可以用来消除机器在运转中因摩擦而产生的有害静电。辐射式避雷针用放射源在避雷针的尖端附近产生大量离子，有雷电时可加快放电过程。辐射式烟雾报警器(图 5.3-6)安装在办公室、酒店和工厂的天花板上，用来报告火警。它的结构如图 5.3-7 所示，探测器的盒子分两个小室，一个密闭的，另一个是开放的。放射源置于盒的中央，它会使两室中的空气电离。相同的电压加在两个小室上，两室中的电流相等。发生火警时，烟雾进入开放小室，放射源使其中的离子浓度增加。两个小室中的电流失去平衡，电路中的警铃被触发报警。

图 5.3-6 烟雾报警器



图 5.3-7 辐射烟雾报警器工作原理



问题与练习

1. 查阅资料或走访建材市场，了解建筑材料的放射性。
2. 访问医院放射科，参观放射诊断和放射治疗设备。了解放射诊断和治疗的发展及放射源使用后的处理，写一篇调查报告。

第 4 节

射线的探测和防护

射线探测 射线与其他物质作用时，会产生各种现象。例如，射线能使气体电离、使照相底片感光、使荧光物质发出荧光等。我们可根据这些现象来探测射线的存在。以下是几种常用的射线探测技术。

1. 底片曝光

射线能使照相底片曝光，在底片上留下它们的径迹。此外，根据曝光程度还可判断射线的

强度。例如，在较强辐射环境工作的人员都会戴上封有照相底片的胸章。每个月，把胸章中的底片取出来冲洗，从中可了解他们所受到的辐射程度（图 5.4-1）。

图 5.4-1 核技术工作者佩戴封有感光底片的胸章



2. 威尔逊云室

图 5.4-2 为威尔逊云室结构示意图，其主要部分是一个圆筒状容器，下部是一个可以上下移动的活塞，上盖是透明玻璃，可观察通过云室射线的径迹。实验时，先往云室里加少量酒精，使室内充满饱和酒精蒸气，然后迅速向下拉动活塞，酒精蒸气达到过饱和状态。当射线粒子穿过酒精蒸汽时，射线会使沿途的气体分子电离，过饱和蒸气就会以离子为凝结核凝结成雾滴，于是就显示出射线的径迹（图 5.4-3）。根据它们的长短和粗细，可以判断粒子的性质。如果把云室放在磁场中，根据粒子运动轨迹的偏转方向还可判断粒子所带电荷的正负。

图 5.4-2 威尔逊云室结构示意图

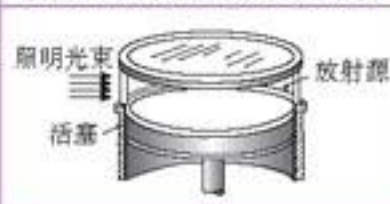
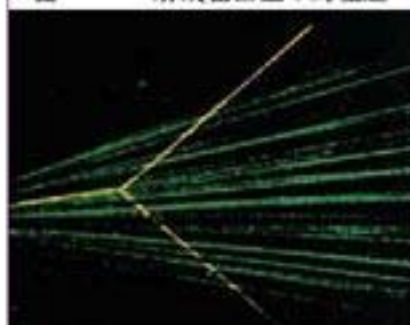


图 5.4-3 α 射线在云室中的径迹



3. 气泡室

气泡室的原理同云室类似，所不同的是气泡室里装的是液体（如液态氢），当室内压强突然降低时，液体的沸点变低，在射线经过处就有气泡形成，于是就可显示粒子运动径迹（图 5.4-4），并由此分析粒子的电量、动量、能量等。

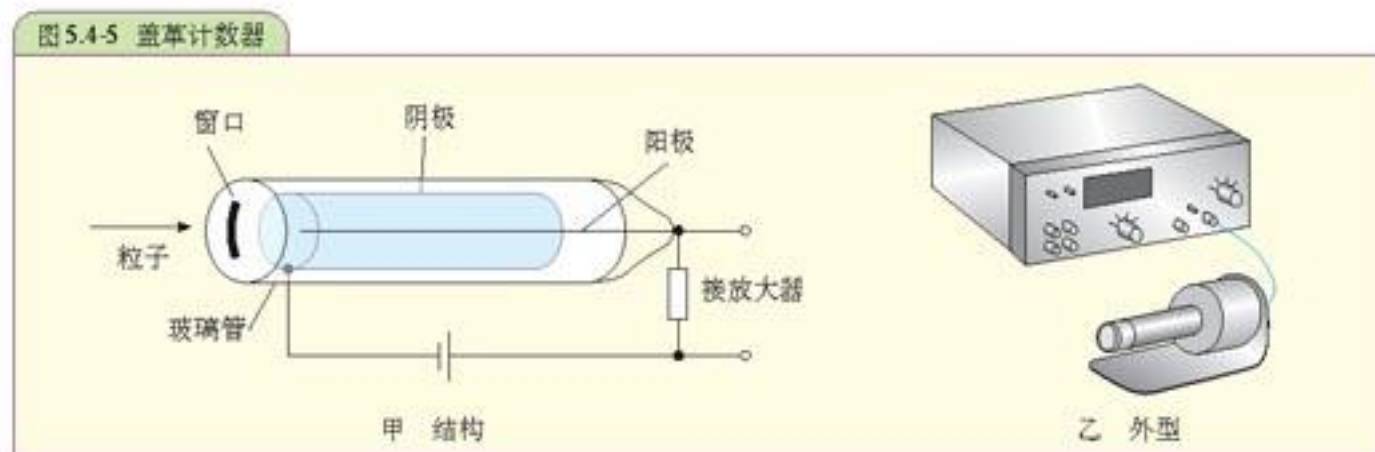
4. 盖革计数器

盖革计数器是一种常用的放射性探测器，它的主要部分是一根玻璃管，里面有一个与电源负极相连的导电圆筒，筒中央是一根与电源正极相接的金属丝（图 5.4-5 甲），管中封有低压惰性气体氩，在金属丝和圆筒两极间加有几百伏直流电压。当射线粒子进入管内时，它使管内的气体电离，电离产生的电子在电场中被加速并与更多的气体分子相碰撞，使更多的气体分子电离……这样，一个进入管中的射线粒子可以产生大量电子，这些电子到达阳极，在外电路中产生一次脉冲放电，它可使扬声器发出“卡嚓”声，如利用电子脉冲记录器就可

图 5.4-4 射线通过气泡室径迹



显示脉冲放电的次数，从而记录进入管内的粒子数。



演 示

如图 5.4-6，把计数器与计数管相连，开启计数器电源。

- (1) 根据扬声器是否发声，探测周围环境中是否存在仪器可探测到的放射性。
- (2) 将实验室用的放射源放在计数管附近，根据扬声器发出“卡嚓”声的频率来判断放射性的强弱。



(3) 使计数管逐渐离开放射源，射线的强度有没有变化？怎样变化？

(4) 保持放射源与计数管之间距离约 1 cm，在它们之间分别插入纸张，塑料片，金属薄片，比较射线强弱的变化。根据前面学过的知识，判断放射源放出的是什么射线。

○ 例题 在放射源和计数器之间放置不同的吸收物，来研究放射源放出的射线。下面是对应不同吸收物，计数器每分钟的读数。根据数据判断：放射源放出的是哪一种射线？为什么？为什么用铅做吸收物时，计数器还有读数？

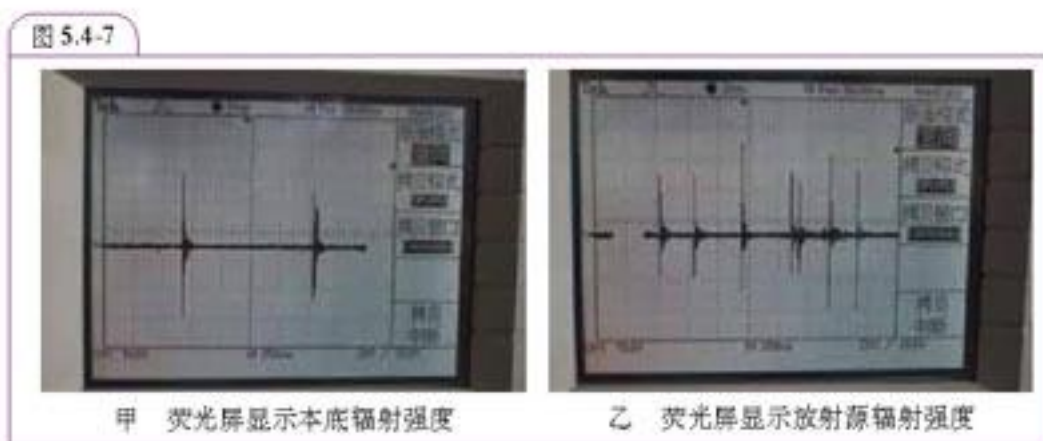
吸收物	计数器读数(次/min)
空气	460
纸张	450
铝 (厚 5mm)	80
铅 (厚 25mm)	75

解：放射源放射出 β 射线。

用空气和纸张做吸收物时，测得的读数大致相同，由于纸张几乎可以完全吸收 α 粒子，因此放射源没有放出 α 粒子。用 5 mm 铝箔做吸收物时，计数器的读数明显下降，所以放射源放出 β 粒子。改用铅做吸收物，计数器读数与用铝做吸收物时没有明显区别，可见计数器的读数

并非来自放射源，而是来自周围的环境（称为本底辐射，详见“放射线的防护”）。

射线的防护 地球上的生物都暴露在轻度的天然辐射之中。把计数器放在四周没有辐射源的地方，它所记录到的射线称为本底辐射（图 5.4-7 甲）。本底辐射强度很低，对人体健康不会产生影响。



由于射线具有电离特性，长时间或高强度的射线能伤害生物的细胞和组织，称为“看不见的杀手”。射线主要以下两种方式对细胞造成伤害。

第一，高强度的射线能杀灭细胞。这种情况称为放射性灼伤，例如核武器爆炸时的光辐射会严重灼伤生物组织。

第二，电离作用会损害细胞中的 DNA，使它们停止发挥作用或发生变异。变异的 DNA 可能会引起细胞失控分裂，从而导致恶性肿瘤的生长。这就是放射性致癌的原因。如果生殖细胞中的 DNA 受到损害，可能会造成物种变异。千百万年前地球上所受的宇宙辐射程度比今日高，因而具有较高的物种变异率。 α 射线具有很强的电离作用，因此最容易造成细胞的损伤。人类的皮肤表面能防止 α 粒子进入人体，然而一旦 α 粒子进入人体，我们便无法防护。假如将含有放射性元素氡的气体吸入肺中，它放射出的 α 粒子会对人体组织造成损害。所以，大气和水源一旦受到放射性污染是很危险的。

在生活和生产中，我们应尽可能加强防护，减少放射性辐射对生物的危害。例如由于某些岩石中放射性物质衰变时会产生放射性元素氡，我们应避免采用这种石材作为装饰材料。实验室的放射性材料应存放在铅制容器中，核电站必须有可靠的防护体系，必须保证放射性材料的安全贮存和运输。核废料必须存放在能吸收射线的容器中深埋。

放射性实验安全规则

学校实验室使用的放射源都是弱放射源，但要储存在铅容器中，要用镊子或专用工具去拿取，不可直接用手去取。放射源与人要保持一定距离，不要把它对着人体，特别是眼睛。只有教师才可使用这些放射源。

图 5.4-8 国际通用的放射性警示标记





辐射剂量

放射性辐射传递给吸收辐射物体的能量称为辐射量，辐射量常用有效辐射剂量来表示，它的单位是希沃特(Sv)， $1\text{ Sv}=1\text{ J/kg}$ 表示每千克物体吸收1 J的辐射能，辐射剂量为1 Sv的辐射非常强，通常使用的单位是毫希沃特(mSv)或微希沃特(μSv)，突然吸收10 Sv和更大剂量的辐射会致命；1~10 Sv剂量的辐射会造成严重的辐射病，症状是呕吐、极度疲倦和脱发等；0.1 Sv以上的辐射剂量可以致癌；低于0.1 Sv剂量的辐射对人体健康不会构成影响，通常环境中，本底辐射年平均辐射剂量为1.3~2.4mSv/年。

在日常生活中当我们做X光检查、看电视、使用夜光表时，也受到人为的放射性物质所发出的辐射照射，人体在接受微量的辐射时不会遭到损伤，但瞬间接受2Sv以上的全身辐射，会有50%的死亡概率。

我们目前接受的辐射剂量中有82%来自自然界，18%来自人类的活动，一个人一年受到天然和人为放射性辐射的总剂量约为2 mSv，因利用核能发电而使公众受到的辐射剂量在总剂量中只占1%。我国在放射性管理方面有很多严格的规定，目前运行中的核电站对周围居民的照射均远远低于规定标准，在核电站正常运行的情况下，核电站的工作人员一年受到的照射剂量仅相当于我们通常做的一次X光检查。

问题与练习

1. 用计数器可以探测三类射线。把一个放射源放在盖革管前方，中间分别插入一张纸片、5 mm厚的铝板和25 mm厚的铅板，得到如下测量数据

吸收物	每分钟计数率
空气	800
纸张	720
铝片	720
铅板	310

放射源放出哪类辐射？为什么？

2. 在轧钢厂用射线测量钢板厚度时。

(1) 应采用哪一种放射源？如何才能察觉厚度有所改变？

(2) 为何不用直尺来量度钢板的厚度？试举出两个原因。

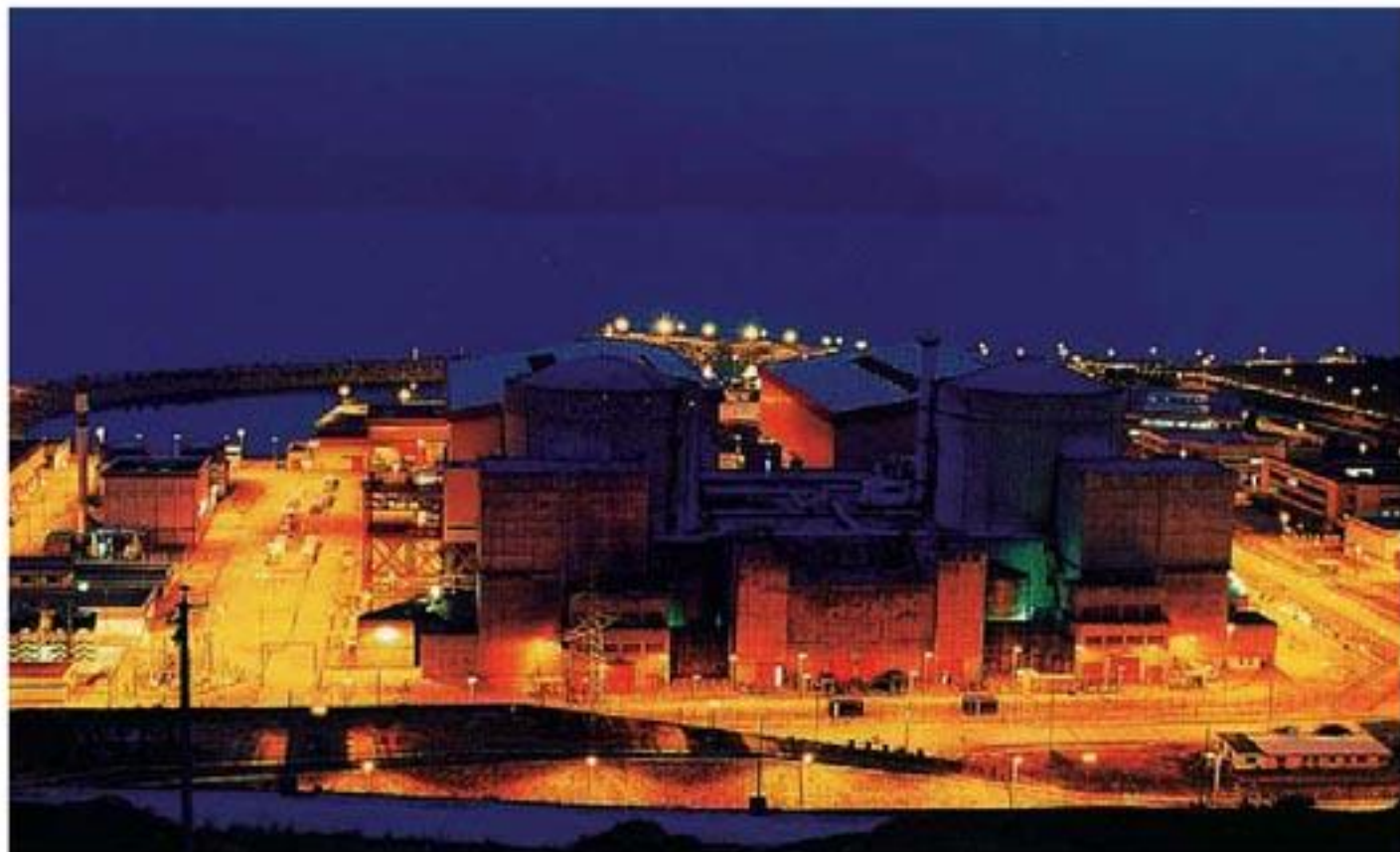
3. 某同学用计数管和计数器测量家中新装修房间内的放射性，发现在浴室内辐射明显高于其他居室。

(1) 这间浴室中的辐射可能来自什么材料？

(2) 怎样判断浴室的辐射中有没有 α 粒子？

第 6 章

核能与反应堆技术



大亚湾核电站

人类的生产和生活离不开能源，随着人类活动的不断扩展，人们所消耗的能源越来越多，而地球上像煤炭、石油、天然气等能源储量正在逐年减少，人类为了生存、发展，必须寻找、开发新能源。20世纪中叶核能的发现与利用，为人类解决能源危机开辟了一条新路。

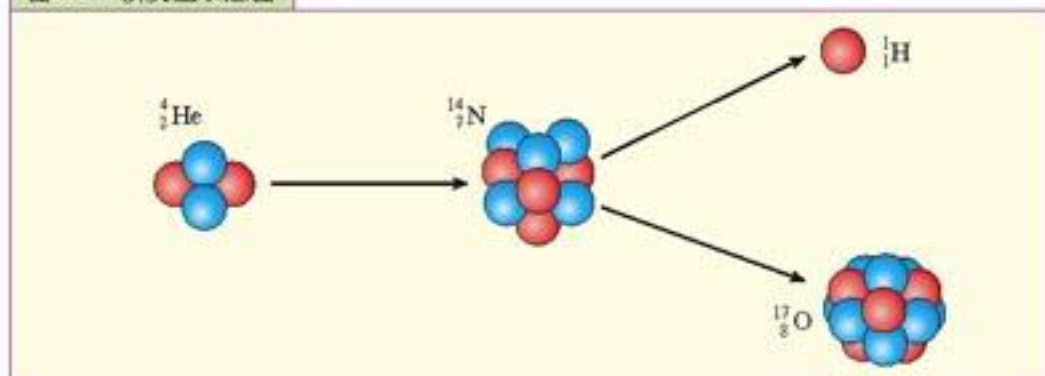
其实，可以说人类所利用的能源绝大多数是由核能转化而来的，因为从太阳射向地球的光就是由太阳内部进行着的核聚变反应产生的。

那么核能是怎么产生的？如何有效地控制和利用核能呢？这一章我们就来学习有关的内容。

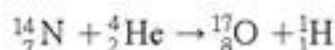
第 1 节 核反应和核能

核反应 衰变是原子核的自发变化，物理学家进一步尝试用人工方法使原子核发生变化。1919年，卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核，产生了氧17和一个质子，第一次实现了原子核的人工转变并发现了质子（图 6.1-1）。

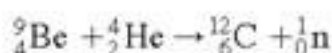
图 6.1-1 核反应示意图



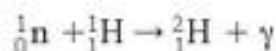
原子核在粒子的轰击下实现转变的过程叫做核反应 (**nuclear reaction**)。和衰变过程一样，核反应可以用核反应方程来表示，反应前后的质量数和电荷数守恒。例如首次实现原子核人工转变的核反应方程可表示为



利用 α 粒子轰击铍原子核，人们发现了中子，这一反应方程为



核能 类似化学反应，核反应也伴随着能量的变化。例如一个中子和一个质子结合成氘核时，以 γ 辐射的方式放出 2.2 Mev 的能量，即核反应中放出的能量称为核能 (**nuclear energy**)。



核能是从哪里来的呢？

物理学家经过研究发现，任何原子核的质量小于组成它的单个核子的质量总和，例如碳核 ${}^{12}_6\text{C}$ 的质量比 6 个中子和 6 个质子的质量之和要小一些(图 6.1-2)，这种现象称为质量亏损 (**mass defect**)。

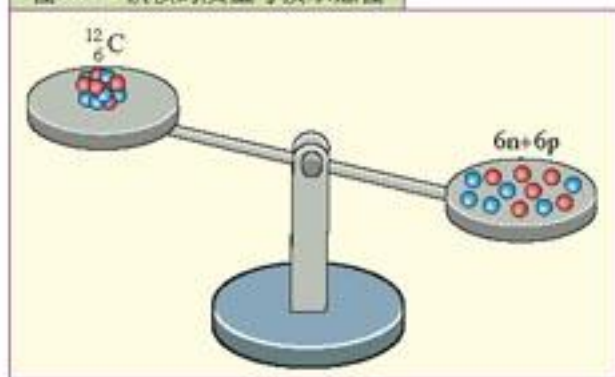
那么亏损的质量到哪儿去了呢？

狭义相对论告诉我们，物体的能量 E 与质量 m 之间存在着密切的联系，它们之间的关系是

$$E = mc^2$$

这就是著名的爱因斯坦质能方程。式中 c 是真空中光速。这个方程告诉我们，物体具有

图 6.1-2 碳核的质量亏损示意图



的能量与它的质量之间存在着简单的正比关系。物体的质量增大了，能量也增大；质量减小了，能量也减小。

核子在结合成原子核时出现质量亏损，要放出能量，大小为

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

精确计算表明，中子和质子结合成氘核时，质量亏损

$$\Delta m = 0.0040 \times 10^{-27} \text{ kg}.$$

由上面的公式可算出这一反应放出的核能为

$$\begin{aligned} \Delta E &= \Delta mc^2 \\ &= \frac{0.0040 \times 10^{-27} \times (2.9979 \times 10^8)^2}{1.6022 \times 10^{-19}} \text{ eV} \\ &= 2.2 \text{ MeV} \end{aligned}$$

1 mol 的碳完全燃烧放出的能量为 393.5 kJ，由此可以算出，一个碳原子在燃烧过程中释放的化学能只有 4 eV。而上述核反应中，每个核子释放的核能就有 1.1 MeV，两者相差数十万倍。1 g 铀中核子所释放的核能总和相当于燃烧 2.5 t 优质煤所释放的化学能。由此可见，核反应中释放的核能是十分巨大的。

问题与练习

1. 用 α 粒子轰击氦 40 核，产生一个中子和一个新核。这个新核是什么？写出核反应方程。
2. 原子物理中常用一个特殊的质量单位，即“原子质量单位”，符号为 u， $1 \text{ u} = 1.6606 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。试证明，1 u 相当于 931.5 MeV 的能量。已知光速 $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，元电荷 $e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。
3. 碳 12 原子的质量是 12.000 000 u，可以看做是由 6 个氢原子（每个氢原子质量是 1.007 825 u）和 6 个中子（每个中子质量是 1.008 665 u）组成的。求核子结合成碳原子核时释放的能量。计算中可以用原子的质量代替原子核的质量，因为电子的质量可以在相减过程中消去。

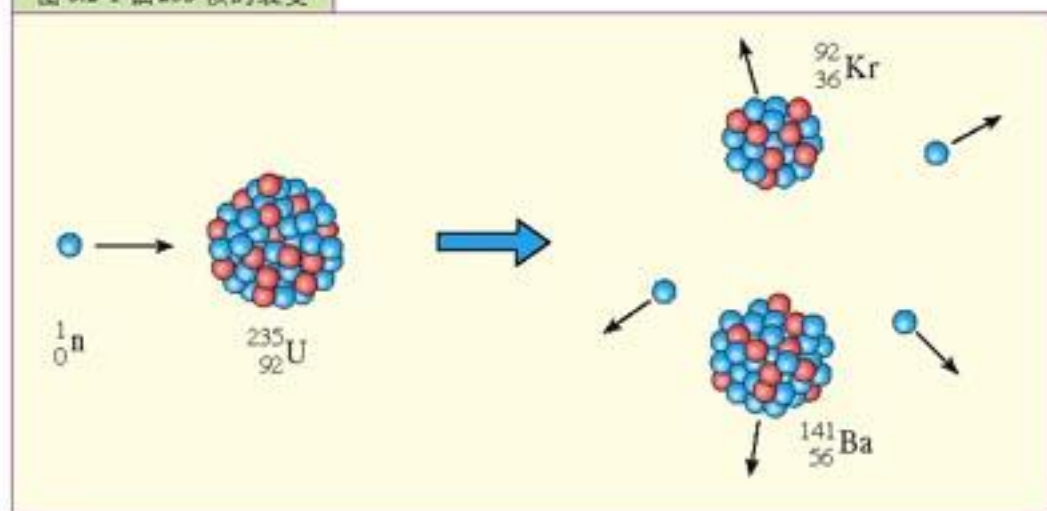
第 2 节 核裂变和裂变反应堆

裂变和链式反应 物理学家发现，不仅核子结合成原子核时有质量亏损，会放出核能，有些重核分裂成中等质量的核也会发生质量亏损，同时放出巨大的核能。重核分裂成中等质量的核，释放出核能的核反应称为核裂变（nuclear fission）。

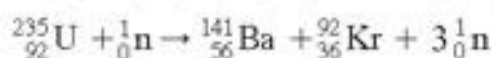
由于重核的不稳定性，有的重核会发生自发裂变，但这种裂变中核能释放的过程进行得极其缓慢，功率很小。例如，在自发裂变情况下，1 g 铀 238 要经过 45 亿年才剩下 0.5 g，再

经过 45 亿年，剩下 0.25 g……如此缓慢地释放核能是毫无实用价值的。

图 6.2-1 铀 235 核的裂变



用中子轰击重核可使重核发生裂变，并释放出新的中子。一种典型的裂变反应是铀 235 核受到中子轰击，裂变为钡和氪，同时放出 3 个中子（图 6.2-1），这个裂变的核反应方程是



裂变时会释放巨大的核能。在上述裂变前后的质量亏损为

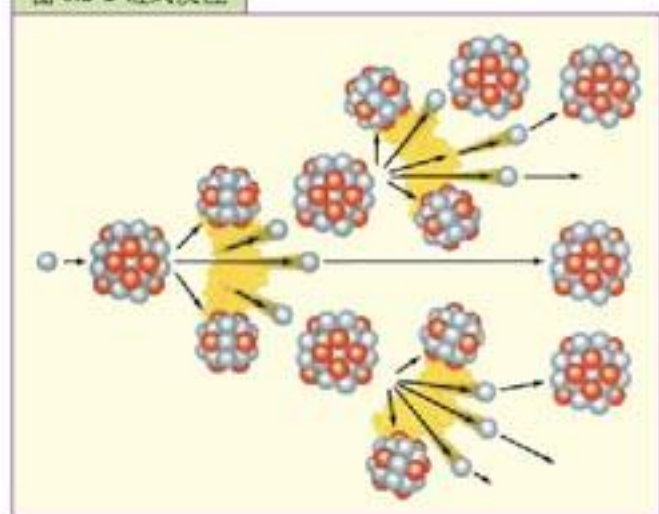
$$\Delta m = 0.358 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

释放的核能 $\Delta E = mc^2 = 201 \text{ MeV}$ 。

铀核裂变的产物不同，释放能量也不同。通常铀核裂变时平均每个核子释放的能量约为 1 Mev。

一般来说铀核裂变总要释放 2~3 个中子，这些中子能引起其他铀核的裂变并释放更多中子，这样，裂变就会不断地自动进行下去（图 6.2-2），这一过程称为链式反应（**chain reaction**）。如果不对链式反应进行控制，雪崩式的裂变反应就会在瞬间发生，数量巨大的铀核在不到百万分之一秒内全部裂变会放出惊人的核能，并形成剧烈爆炸。这就是原子弹的原理。

图 6.2-2 链式反应



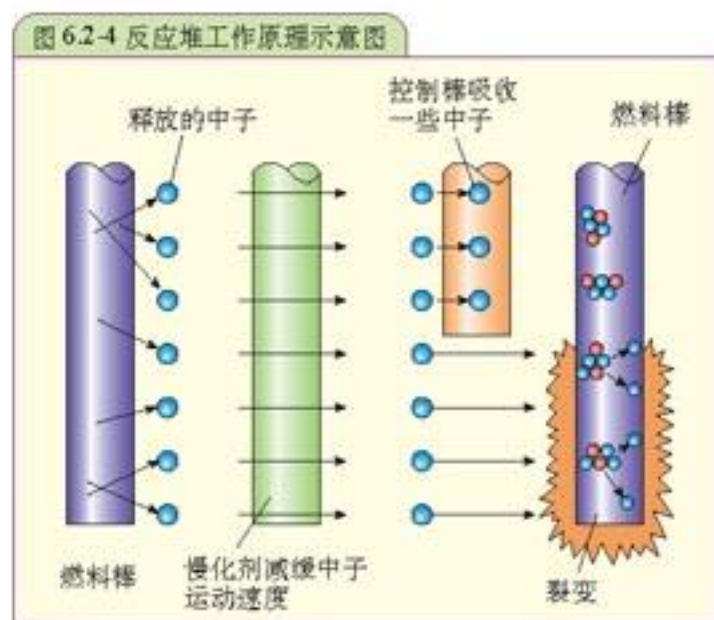
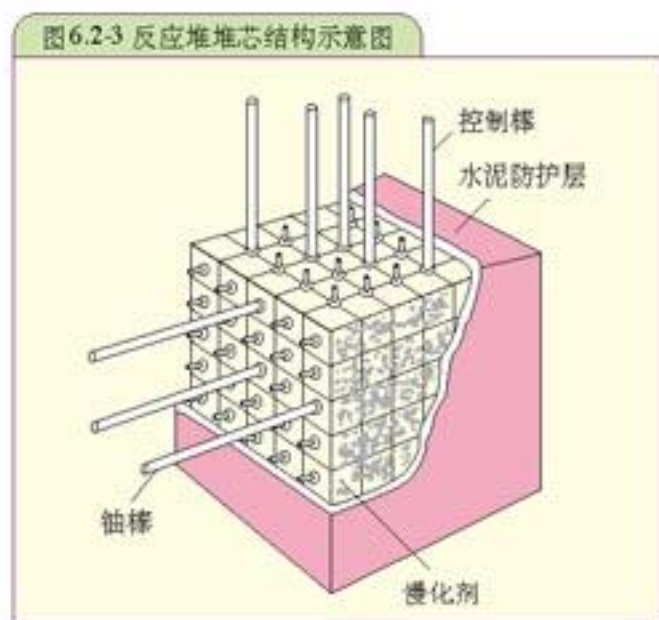
核反应堆 为了不引发爆炸，实现核能的和平利用，应该让链式反应中产生的核能稳定释放，为此必须控制链式反应进行的速度。核反应堆（**nuclear reactor**）是一种实现可控链式反应的装置，它可使堆内的链式反应以一定强度进行下去，从而稳定地释放核能。1945 年，世界上第一个实验核反应堆建成，它的功率只能使一只 40 W 的灯泡发光，然而，它却照亮了人类和平利用原子能的道路。

目前世界上有大大小小上千座反应堆，形式多样，以适应不同的用途。根据反应堆的工作

原理，主要分为以下两类：一类是慢中子反应堆，它是目前广泛应用的实用核反应堆；另一类是快中子增殖反应堆，它属于目前正在研究和试验的核反应堆。

1. 慢中子反应堆

图6.2-3是慢中子反应堆的结构示意图，堆中的核反应主要是铀235吸收慢中子后发生的裂变。反应堆要通过以下两个方面（图6.2-4）来控制链式反应。

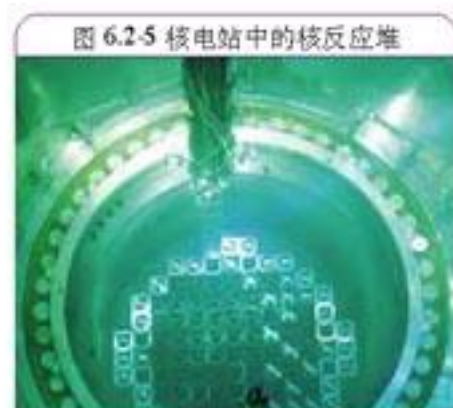


第一，铀裂变时产生的中子大都为快中子，而铀235易俘获慢中子而不易俘获快中子。因此，需用慢化剂使裂变中放出的快中子减速，成为可以诱发铀235裂变的慢中子（又称热中子），从而维持链式反应。常用的减速剂有轻水（即普通水）、重水或石墨。根据所用慢化剂的不同，反应堆可分为轻水堆、重水堆、石墨堆等。

第二，用吸收中子能力很强的镉做成控制棒，将它们插入铀棒之间。用控制棒调节反应堆中的中子数目，从而控制链式反应的速度，使反应既不会过分剧烈，又能以一定强度进行下去。当链式反应过于剧烈时，使控制棒插入深一些，让它多吸收一些中子，链式反应的速度就会慢下来。如果把控制棒向外拔出，链式反应速度就会加快。计算机自动调节控制棒的升降，使反应堆保持一定的输出功率，安全地工作。

在反应堆内外循环流动的冷却剂将裂变产生的热传输出去。常用的冷却剂有轻水、重水和液态金属钠。用普通水做慢化剂和冷却剂的轻水堆又分为沸水堆和压水堆。沸水堆通过水的汽化将热量从堆芯导出，而压水堆中水被加压到 1.55×10^7 Pa，使水在高温下保持液态而不出现气泡，从而提高热传导效率。

核反应堆由燃料棒、控制棒和慢化剂组成堆芯，在堆芯四周设有反射层，把外逸的中子反射回堆芯。反射层外是堆的壳体。反应堆的最外面是很厚的水泥防护层，用来屏蔽堆中放出的各种射线。建造核反应堆时需要特别注意的问题是防止放射线和放射性物质的泄漏，以免造成对人



体的伤害和对环境的污染。另外，核反应堆中使用过的核废料仍然具有很强的放射性，必须装入特制的容器，深埋地下。反应堆的安全运行和核废料的处理已成为当前全球环境保护的重大课题。

2. 快中子增殖反应堆

慢中子反应堆的裂变燃料主要是铀 235，它在天然铀中只占 0.7%，而 99% 以上的铀 238 则被浪费掉。

快中子增殖反应堆就是为了更充分地利用天然铀资源而发展起来的。这种堆的最大特点是，每“烧”掉一个裂变核可以产生一个以上的新的燃料核。利用这种堆来发电，还能增殖核燃料。它为什么能增殖呢？在裂变反应中产生的快中子，除维持链式反应外，还有一部分被铀 238 吸收，变成铀 239，铀 239 的核是不稳定的，经过两次 β 衰变，变成钚 239，钚 239 也是一种可裂变的核燃料。在快中子增殖反应堆中，钚 239 产生的速度大于铀 235 消耗的速度，结果核燃料中可裂变产物会越来越多，由此将天然铀资源的利用率提高到 60%~70%，相当于使可利用的天然铀资源增加了 60~70 倍。

大家谈

在上面的反应中增殖的是什么？消耗的又是什么？

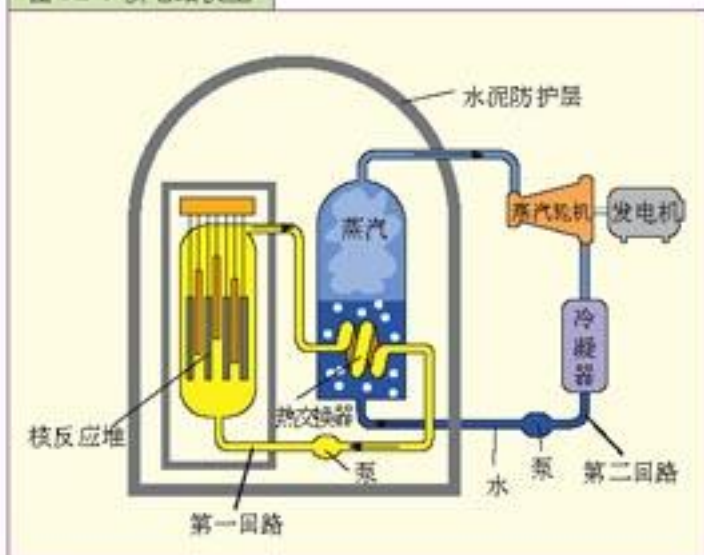
在快中子增殖反应堆中还可加入金属钍，钍 232 俘获快中子转变成钍 233，它的核是不稳定的，经过两次 β 衰变，变成铀 233。铀 233 也是一种可裂变的核燃料。钍有丰富的天然储量，用快中子增殖反应堆可将它转变成大量的核燃料。因此，快中子增殖反应堆可以利用除铀以外的钍燃料和其他反应堆中用过的核废料。

快中子增殖堆技术复杂，它的研究至今已有 40 多年历史，还没有达到商业化推广的程度。我国的铀资源并不丰富，加快增殖反应堆的研究，充分利用天然核资源显得更为重要。目前我国已将快中子增殖反应堆作为第二代核电的主体堆型，并已着手建设实验增殖堆。

核电站 核电站是怎样工作的呢？

如图 6.2-6 所示，在第一循环回路中，高压和高温的水把堆芯的热量传到蒸汽发生器中，使第二循环回路中的水汽化。高压水蒸气再推动汽轮发电机组发电，这部分与火力发电厂基本相同。核电站消耗的核燃料很少，一座百万千瓦级的核电站，每年只消耗约 30t 浓缩铀，而同样功率的火电站，每年要消耗约 2.5×10^6 t 煤。在经济效益方面，核电站已经与火电站不相上下，但对环境的污染比火电小。在地球上，可开采的核燃料所提供的能量比化石燃料

图 6.2-6 核电站模型



所提供的能量大15倍左右。本世纪初，核能发电已占世界发电总量的近六分之一。我国的核能发电处于发展阶段，在能源消费结构中所占比例还很小，今后将要适度发展。



原子弹

原子弹是利用不加控制的核裂变反应来实现的，实现这种链式反应对于核燃料的体积有一定的要求，核裂变的铀 235 或钚 239 燃料块不能过小，否则裂变中产生的中子来不及碰上其他铀核就已逸出燃料块，裂变便不能自动持续下去。物理学中把能够发生链式反应的燃料块的最小体积称为临界体积。原子弹中有两个高浓缩铀 235 或钚 239 燃料块，它们的体积都小于临界体积，用炸药引爆，把两块核燃料合并成一块后，总体积超过临界体积，链式反应便剧烈进行，瞬间放出巨大能量，这就是原子弹爆炸。

制造原子弹的核裂变材料主要是含量高达93%以上的高浓缩铀 235 或者钚 239 。1945年美国在广岛使用的第一颗原子弹是铀弹，而在长崎使用的则是钚弹。铀 235 和铀 238 的化学性质完全相同，无法进行化学分离，武器级高浓缩铀 235 燃料必须采用气体离心技术才能获取。目前，世界上只有少数国家拥有这种技术。钚 239 这种元素在自然界中并不存在，它是由铀 238 吸收中子后转换而成的，要用化学方法对核反应堆废料进行处理才能分离出钚 239 。用钚 239 制造的原子弹无论是爆炸当量还是辐射强度都要大于相同质量的铀 235 原子弹。

为了打破核大国的核垄断，最终消灭核武器，1964年10月16日我国第一颗原子弹爆炸成功（图6.2-7）。同时，我国政府郑重宣布：中国在任何时候、任何情况下，都不会首先使用核武器。

图 6.2-7



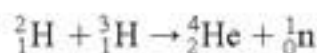
问题与练习

1. 说明反应堆中慢化剂、控制棒的作用。核电站与火电站主要不同处是什么？
2. 一座核电站设有三台核反应堆，其中两台功率均为500 MW，另外一台的功率为800 MW，核电站每天运行20 h。
 - (1) 计算核电站每天提供的能量。
 - (2) 如果核电站效率是30%，反应堆中核燃料每天释放多少能量？
3. 通过书籍、报刊、互联网等，收集全球及我国核电发展的资料，写一份调查报告。

第 3 节 核聚变和受控热核反应

聚变 研究表明,有些轻核结合成中等质量的核时,会发生比裂变更大的质量亏损,从而释放出更为巨大的核能。轻核结合成质量较大的核,释放出核能的核反应称为核聚变(nuclear fusion)。

两个氘核结合为一个氦核就是聚变(图 6.3-1)。通常,聚变反应不只合成一个核,它还会生成其他粒子。例如,一个氘核和一个氚核聚合成一个氦核,并放出一个中子(图 6.3-2),这个聚变核反应方程为



这个聚变反应释放 17.6 MeV 的能量,平均每个核子释放的能量在 3 MeV 以上,比裂变反应中每个核子放出的能量大 3~4 倍。因此,在消耗相同质量的核燃料时,聚变比裂变释放更多的核能。

要使轻核发生聚变,必须使它们达到 10^{-15}m 的近距离。由于原子核都带正电,要使它们接近到这种程度,必须克服它们之间巨大的静电斥力,为此,轻核必须获得足够的动能并处于很高密度下才能引起聚变。

怎样使轻核获得足够的动能呢?当物质达到几百万摄氏度以上的超高温时,聚变物质完全电离成等离子体。在高温、高密度等离子体中,剧烈的热运动使一部分轻核获得足够的动能而在碰撞中达到十分接近的距离,从而发生聚变。所以,聚变反应又称为热核反应。热核反应一旦发生,就不再需要外界继续提供能量,靠自身产生的热就可以进行下去。

图 6.3-1 两个氘核的聚变示意图

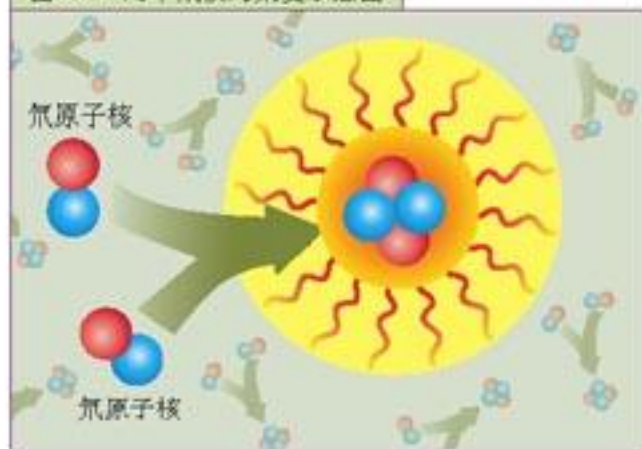
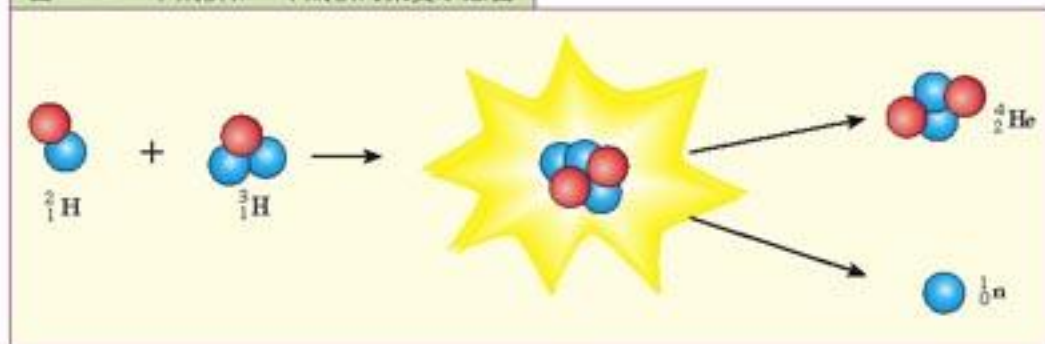


图 6.3-2 一个氘核和一个氚核的聚变示意图



氢具有最简单的原子核结构,是宇宙中含量最丰富的元素。氢核的聚变给宇宙带来了光和热,为宇宙提供了能源之本。在太阳和许多恒星内部,强大的引力使聚变物质处于高密度状态,温度高达 10^7K 以上。热核反应在那里稳定地进行着,其中主要是氢核聚变成氦核。可以

讲，恒星是产生稳定热核聚变的“天然聚变反应堆”，它能持续地“光芒四射”。例如太阳中的热核反应使它每秒钟辐射约 3.8×10^{26} J 的能量，地球只接受了其中二十亿分之一左右，而这正是地球最基本的能量来源。

在地球上，尽管核聚变的原料氢比核裂变的原料铀要丰富得多，但通常难以获得引发核聚变的超高温和超高压。唯一已实现并能释放大量核能的人为核聚变是氢弹爆炸。氢弹是通过原子弹爆炸所产生的高温、高压来引发氢核聚变的。但是目前除了氢弹以

外，人类还无法像控制链式反应那样控制聚变反应，也就没有办法和平利用聚变释放的巨大能量。

可控热核反应 与核裂变反应相比，热核反应具有以下优点。第一，用相同质量的核燃料，热核反应释放的核能比裂变反应大得多。第二，热核反应不存在核废料处理问题，而裂变时产生的放射性物质，处理比较困难。第三，热核反应的原料——氘，在地球上储量十分丰富。1L 海水中大约有 0.03g 氘，它在聚变中释放的能量与燃烧 300L 汽油相当。由于以上优越性，目前许多国家都在积极研究可控热核反应的理论和技术，为人类寻求新的能源。

由于静电斥力，高温等离子体物质会极快扩散开，而无法发生聚变。在技术上，建造可控核聚变反应堆最大的困难在于：如何在足够长的时间内维持高温、高密度的等离子体，以促成聚变，也就是说必须把聚变物质约束起来。现在可控核聚变中将聚变物质约束起来主要有两种途径：一种是惯性约束，第四章第四节中讲到的“激光核聚变”就属于惯性约束的一种。另一条途径就是磁约束。

我们知道，带电粒子在磁场中运动时要受到垂直于粒子运动方向的洛伦兹力的作用，这种作用可以用来约束参加反应的核物质，使其不致扩散开来。在磁约束核聚变装置中洛伦兹力将高温等离子体约束在一定空间范围内，使这种高密状态能保持一段时间，从而引发聚变。目前，各国普遍采用的磁约束装置是环形电流器，简称环流器，又称托卡马克，其结构如图 6.3-4 所示。

图 6.3-3 太阳内部时时刻刻都在发生核聚变反应

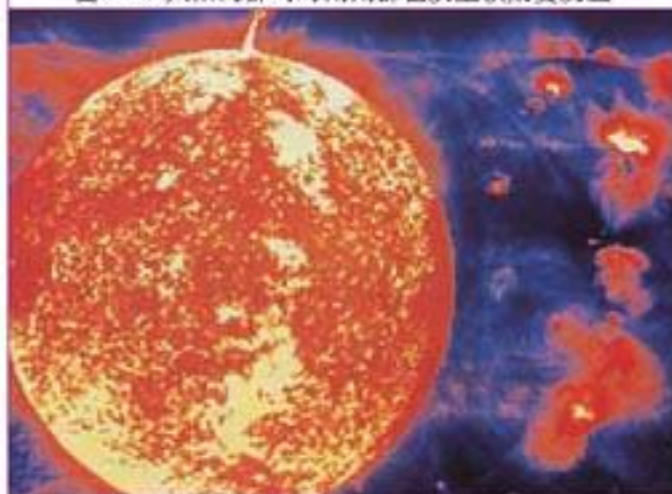
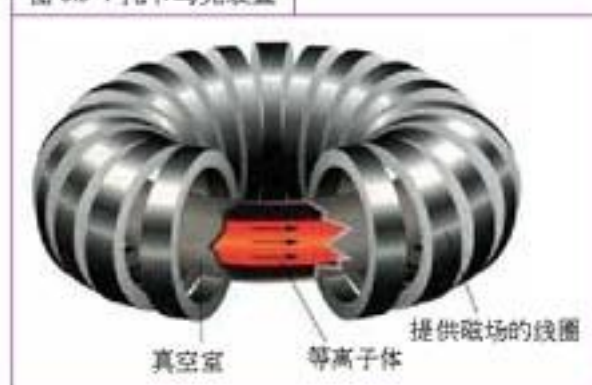


图 6.3-4 托卡马克装置



核武器的防护

核武器是指那些利用原子核反应瞬间放出巨大能量，起杀伤破坏作用的武器，如原子弹、氢弹、中子弹等。核武器可用导弹、火箭、大口径火炮、飞机等发射或投掷，也可制成鱼雷、核地雷使用，故其爆炸方式分为空中、地（水）面、地（水）下三种。核武器的杀伤破坏因素有：

光辐射——又称热辐射，是核爆炸高温火球中辐射出的强光和强热；

冲击波——是指核爆炸时，从爆心向四周传播的高速、高压气浪；

早期核辐射——爆炸最初十几秒内从火球和烟云中放射出的 γ 射线和中子流，是核武器特有的杀伤破坏因素；

放射性沾染——核爆炸产生的放射性物质，对空气、地面、水源、人员等造成污染，是核武器特有的破坏方式。

核电磁脉冲——指核爆炸产生的电磁脉冲，主要对电机、电子设备等有干扰破坏作用。

对于核武器的防护，家庭和个人平时应有所准备，要了解核武器基本知识，学会防核武器袭击的方法。还要准备好简易的防护用品（如口罩、雨衣、被单等），掌握防护器材的使用方法，熟悉附近的人防隐蔽工事的位置、入口标志和紧急疏散路线。

听到核武器袭击的警报，应迅速拉断电闸、关闭煤气或熄灭炉火、关闭门窗，带好个人防护用品和生活用品，按预定方案，迅速有秩序地进入指定的人防隐蔽工程，并按指定位置坐好。若隐蔽工事有滤毒通风设备的，应先关好防护门和密闭门，将工事与外界隔绝后再进行滤毒通风。隐蔽在没有密闭设备工事内的人员，应尽量避开工事的门和其他孔口部位，并用棉球或手指堵住耳孔，防止鼓膜损伤。头和身体尽量不要贴靠在工事的墙壁上。不要随意走动、吸烟、大声喧哗。

来不及进入人防工事的人员应利用地形、地物就近隐蔽防护。遇到较高大的地形、地物时横向卧倒，地形地物较小时，面向爆心卧倒；无地形地物可利用时，背向爆心卧倒。核爆炸时，如果身边有江河、湖泊或池塘，应立即潜入水中防护；若在室内，应利用墙角、墙边防护或桌子底下卧倒或坐着进行防护。

核爆炸后，遭袭击的范围很大，出现的情况很复杂，应及时、迅速地消除核袭击的后果。为防止放射性灰尘被吸入体内和沾上皮肤，沾染区内人员应及时戴好防毒面具或口罩，扎好裤口、袖口、领口，用雨衣、塑料布、床单等把暴露皮肤遮盖住。不在露天处吃东西，不在地上坐卧，不接触受染物体，尽量避免扬起灰尘。室内人员要关闭门窗，减少室外活动。人员或物体受到放射性沾染后，必须采取适当的方法及时消除。



月球：一个核聚变原料宝库

据测算，现在即使在发达国家，每人一生所消耗的能量，也只相当于10g氘聚变时释放的能量，而每500L海水中便含有10g氘。海洋是一个饱含能源的宝库。

但是，氘与氘发生核聚变反应时，要放出大量中子，中子会穿透容器壁，这是受控聚变反应工程中必须解决的一个难题。若利用氘3同位素进行受控聚变反应，不会产生大量中子，所以氘3同位素是更理想的热核动力原料。但地球上氘3同位素的储量不大，而月球的表面尘埃中，却存在着多达百万吨以上的氘3同位素。100t氘3就能满足全球一年的电力需求。以目前的能源消耗水平计算，月球上的氘3足够人类使用一万年！月球很有可能与海洋一起成为人类未来的能源宝库。

问题与练习

1. 发生核聚变条件是什么？最有希望实现受控核聚变的装置是什么？这一技术的关键是什么？
2. 请查阅书籍、报刊、互联网等，进一步了解有关核聚变的新进展。

课题研究

数码相机的使用

传统照相机是运用化学方法将影像记录在卤化银胶片上,这是一种化学影像。经过暗室冲洗和印、扩等复杂的操作,才能得到照片。

数码相机用CCD(电荷耦合器件)图像传感器替代胶片,能把光信号变成电信号,通过模数转换器转变成数字信号。因此,这是一种数字影像。数字信号经压缩后由相机内部存储器来保存。这样,数码相机可以轻而易举地把图像数据传输给计算机,借助于计算机的处理手段,还原成图像,并根据需要修改图像。

用数码相机摄影,将以磁盘取代传统的胶片,以计算机取代传统的暗室,以磁盘和光盘存储取代传统的相册……这可以说是摄影术上的一次革命性的变化。

目前,数码冲印店可以把存储在磁盘上的照片冲印成普通相片,其价格与传统的相片大致相当。

数码相机除了保留传统相机的取景装置、曝光装置、镜头、快门、自拍定时器之外,还增加了液晶显示器。数码相机的功能选择大多可以在液晶显示器上通过菜单来实现。

摄影者利用液晶显示器,使取景更方便。不仅如此,它可以随时将拍摄的影像重现在显示器上,看到拍摄的效果,对不满意的可以立即删除重拍。拍摄者可以对某一场景重复拍摄,直到满意为止,不必像传统摄影那样担心浪费胶卷。

数码相机的重要指标是CCD的像素。一般而言,传统35 mm胶片解析度相当于1 800万像素甚至更高,而目前数码相机使用的最好的CCD所能达到的像素还不足1 000万。在现阶段,数码相机拍摄的照片,在影像的清晰度、质感、层次、色彩的饱和度等方面,还不如传统相机。不过,作为家庭(非专业)用,拍摄出的照片已足够好了。

数码相机的性能指标还有光学变焦倍数和数码变焦倍数。光学变焦倍数是依靠光学镜头结构来实现变焦的倍数,变焦方式与传统相机相同。数码变焦倍数实际上是画面的电子放大倍数,通过数码变焦,拍摄的景物放大了,但它的清晰度会有一定程度的下降。

目前,许多新型手机都带有数码摄影功能,有的像素已达300万。通过彩信方式随时发给亲友,十分方便。

近年来,数码相机开始普及,不少人钟情于“全自动”功能,认为只要对着所选取的景物按一下快门,就能拍出可用的照片。人们手中的相机成了“傻瓜相机”,实际上,要拍出好的照片,学问大着呢!

数码相机



课题研究

你可以从以下课题中选择你所感兴趣的进行研究。在研究之前，应阅读相机说明书，初步了解各个按钮的用途。

1. “自动测光”的研究：当光圈变化时，为了保证曝光量正常，快门速度也应随之变化。

有的相机提供“光圈优先”自动测光系统，也就是说，拍摄者可以优先选定光圈的大小，相机根据所测景物的亮度自动确定快门速度，保证正常曝光。

有的相机提供“快门优先”自动测光系统，也就是说，拍摄者可以优先选定快门速度的大小，相机根据所测景物的亮度自动确定光圈值，保证正常曝光。

2. “数码变焦”的研究：一般相机除了提供光学变焦外，还提供数码变焦。于是，相机的变焦倍数=光学变焦倍数×数码变焦倍数。

变焦比不同，拍摄的效果也不同



甲 变焦比 3.0

乙 变焦比 5.3

丙 变焦比 8.2

3. “景深”的研究：理论和实践表明，当其他条件不变时，光圈越小，景深就越大；当其他条件不变时，镜头焦距越短，景深就越大；当其他条件不变时，被摄主体距离越远，景深就越大。

可以在室外选定相距几米的远、近两种景物为拍摄对象。

想一想：什么情况下需要用大景深拍摄？什么情况下需要用小景深拍摄？

4. “慢”快门拍摄研究：数码相机的快门速度可以从15~ $\frac{1}{1500}$ s之间选取。我们可以利用高速快门来“定格”快速运动的物体，另一方面，我们还可以利用低速快门不能“定格”高速运动物体这个特性来获得动感。

5. “B门”拍摄研究：有的相机提供“B门”的快门速度，即按下快门，快门打开，只要不松手，快门持续开启，直至松手为止。也就是说，快门开启时间由按下快门

移动的车灯拉出了长长的拖影



课题研究

的时间决定。

利用“B门”可以拍摄夜景（必须用三角架），这时，喷水池的水柱也组成美丽的图案，而城市楼房等景物却因为固定而很清晰，从而形成了一幅极富美感的城市夜景图。

6. “感光度”的研究：“感光度”表示感光材料感光的快慢程度。感光度的单位用“度”来表示，如“ISO100”表示感光度为100度的胶片。感光度越高，胶片越灵敏（就是在同样的拍摄环境下正常拍摄同一张照片所需要的光线越少，其表现为能用更高的快门或更小的光圈）。200度的胶卷感光的灵敏度是100度胶卷的2倍，400度的胶卷的灵敏度是200度胶卷的2倍，其余依此类推。

有的数码相机提供从“50”到“400”四种感光度，开机时默认“ISO100”。

后 记

根据《基础教育课程改革纲要（试行）》的精神，我们按照《普通高中物理课程标准（实验）》的要求编写了共同必修及其他三个系列的全套教科书，本册经全国中小学教材审定委员会2004年初审通过，供普通高中试用。

这套教科书在编写中，得到了诸多教育界前辈和各学科专家学者的热情帮助和大力支持。在本套教科书同课程改革实验区的师生见面时，我们特别感谢担任教科书总顾问的丁石孙、许嘉璐、叶至善、顾明远、吕型伟、王梓坤、梁衡、金冲及、白春礼、陶西平同志，感谢担任教科书编写指导委员会主任委员的柳斌同志和编写指导委员会委员的江蓝生、李吉林、杨焕明、顾泠沅、袁行霁等同志。

这套书的编写者以教育部物理课标组的核心成员为基础，由高校教师、中学教师和出版社的编辑人员三结合组成。共同必修部分和三个选修系列的编写小组分别起草，然后全体编写人员反复讨论、相互修改，因此，本书是编写组集体创作的成果。

在本书的编写过程中，由奚天敬、刘彬生、汪维澄、廖洋组成的实验研究小组做过了全书所有的实验，检验和改进了书稿中的实验部分；由黄恕伯、李友安、陈伟平组成的习题研究小组筛选和设计了全书的“问题与练习”。

张同恂、董振邦、窦国兴、扈剑华在编写的不同阶段审阅了书稿，提出了重要修改意见。

我们还要感谢使用本套教材的实验区的师生们。希望你们在使用本套教材的过程中，能够及时把意见和建议反馈给我们，对此，我们深表谢意。让我们携起手来，共同完成教材建设工作。

我们的联系方式如下：

电 话：010-58758389

E-mail: jcfk@pep.com.cn

网 址: <http://www.pep.com.cn>

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心
2004年12月

谨向为本书提供照片的人士和机构致谢

第2章章首图，国家天文台 / 图4.4-1，《Holt Physics》Holt,Rinehart and Winston / 第5章章首图，《今日物理》郎文出版亚洲有限公司1995年初版 / 图5.3-1，《Bath Physics》Macmillan Education Ltd / 图5.4-1，《Physics at Work 3》Oxford University press / 图5.4-4，《Advanced Physics for You》Stanley Thornes(Publishers) Ltd / 图5.3-5，《Physics 2000》Macmillan Publishers(China) Limited / 图5.3-4，《Physics at Work 2》Oxford University press / 图4.4-4，图5.3-3乙，《GCSE Physics》John Murray(Publishers) Ltd / 图1.2-3，图1.2-6，图1.2-8，图3.4-6，图5.4-6，图5.4-7，奚天敬 / 图1.4-6，图1.4-8，图4.2-1，张颖 / 图2.3-1，图2.3-2，图2.3-3，图2.3-5，图2.3-6，图2.3-7，图2.3-9，图3.4-4，图4.1-4，图4.1-5，潘邦楨 / 第3章章首图，图3.1-3，图3.2-4，彭征 / 图3.2-1，图3.2-2，图3.3-1，第4章章首图，朱京 / 图5.2-5，曹磊。