



光电子技术

主编程娟李川



 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是职业院校装备制造大类专业课程教材，依据教育部职业院校机电类、自动化类等专业的教学标准，并参照相关国家职业标准及行业、职业技术规范编写而成。

本书系统全面地介绍了光电子系统信息传递与处理各个环节的基本概念、基本原理与应用基础。全书共分五个模块，主要内容包括光电子技术基础、光辐射的传播、光辐射的探测技术、光电转换现象和图像显示器件及光电子技术应用实例。

本书可作为职业院校装备制造大类专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

光电子技术 / 程娟, 李川主编. — 南京: 东南大学出版社, 2024. 11. — ISBN 978-7-5766-1774-0

I. TN2

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 20248E2X22 号

责任编辑: 子雪莲 责任校对: 李成思 封面设计: 易 帅 责任印制: 周荣虎

光电子技术

GUANGDIANZI JISHU

主 编: 程娟 李川

出版发行: 东南大学出版社

出 版 人: 白云飞

社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编 210096

印 刷: 天津市蓟县宏图印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 14.5

字 数: 334 千

版 次: 2024 年 11 月第 1 版

印 次: 2024 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5766-1774-0

定 价: 48.00 元

(凡因印装质量问题, 请直接与营销中心调换, 电话: 025-83791830)

PREFACE 前言

光电子技术是由光子技术和电子技术结合而成的新技术，涉及光显示、光存储、激光等领域，是未来信息产业的核心技术。《中国制造 2025》明确提出要大力发展光电子产业，推动光电子技术的研发和应用。光电子技术作为现代信息通信的核心和基石，在《中国制造 2025》中占据了重要的地位。在新的科技浪潮中，职业院校应瞄准时代最前沿，将教学创新、专业人才培养与企业需求紧密结合起来，使学生了解和掌握光电子技术的基础知识和技能，适应当前发展新需求。

本书编写风格简约，图文并茂，具有以下特点。

1. 贴近专业，使用面广

本书的主要内容是光电子技术基础、光辐射的传播、光辐射的探测技术、光电转换现象和图像显示器件及光电子技术应用实例。本书秉承务实的精神，对各项应用技术的原理、构成、关键技术、相应的理论及主要技术参数都有详尽的描述。本书以实际生产中的典型应用案例为原型，不仅融入光电检测技术竞赛内容，还融入新工艺、新器件、新标准、新方法、新产品的知识。书中论述重点着眼实用知识，面向光电子技术人员、职业院校相关专业师生及对光电子技术感兴趣的读者。

2. 栏目丰富，易学好懂

光电子技术理论性较强，学生学习难度较大。本书依据相关专业教学标准对该课程的要求，结合职业院校学生的认知特点，融入光电子技术的典型案例，按照任务引领的方式，采用“理论、实践一体化”教学模式，着力培养学生自主学习的能力。其中，“知识学习”栏目可以强化学生的基础知识；“任务实施”栏目可以强化学生的技能知识；“任务检测”栏目可以检测学生基础知识的掌握情况；“任务评价”栏目可以考查学生任务完成的情况；“任务总结”栏目可以培养学生对知识的梳理能力；“小知识”栏目可以拓展学生的视野。

3. 案例融入，德技兼修

本书将立德树人作为教育的根本任务，通过“思政主题”“科技前沿”“创新精神”“爱国主义”等栏目的实际案例，将社会主义核心价值观、国家意志、文化自信、工匠精神等内容融入教材中，潜移默化地对学生的思想意识、行为举止产生正向引导。



4. 资源丰富，助力教学

本书的可读性和可操作性强，并配有数字化教学资源，方便教师实现线上线下混合式教学。

本书建议学时为 72 学时，具体学时安排参考如下。

模块	教学内容	建议学时
模块一	光电子技术基础	14
模块二	光辐射的传播	16
模块三	光辐射的探测技术	14
模块四	光电转换现象和图像显示器件	16
模块五	光电子技术应用实例	12

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正。读者意见请发邮件至 195199945@qq.com。

编者



CONTENTS 目录

模块一 光电子技术基础

单元一 光电子技术和器件	2
单元二 光的基本属性——波粒二象性	6
单元三 光传播的基本现象	11
任务一 反射、折射、全反射	11
任务二 偏振	20
任务三 干涉和衍射	26
单元四 辐射度学与光度学基本知识	33
任务一 辐射量	34
任务二 光度量	38
单元五 热辐射基本定律	42

模块二 光辐射的传播

单元一 光波在大气中的传播	48
单元二 光波在固体介质中的传播	57
任务一 光波在电光晶体中的传播	57
任务二 光波在声光晶体中的传播	66
任务三 光波在磁光介质中的传播	70
单元三 光波在光纤波导中的传播	74

模块三 光辐射的探测技术

单元一 光电探测器的物理效应	87
任务一 外光电效应	87
任务二 内光电效应	91



任务三 光热效应	96
单元二 光电探测器的性能参数	101
单元三 光电探测器	106
任务一 光敏电阻	106
任务二 光电二极管	113
任务三 硅光电池	119
任务四 其他光敏管	128

模块四 光电转换现象和图像显示器件

单元一 发光二极管	135
单元二 液晶显示	142
任务一 液晶显示的原理和特性	142
任务二 液晶显示器的组成和工作原理	149
单元三 等离子体显示	163
任务一 单色等离子体显示	163
任务二 彩色等离子体显示	169
单元四 电子书阅读器	173
单元五 其他光电转换器件介绍	178
任务一 CMOS/CCD 图像传感器	178
任务二 触摸屏	184

模块五 光电子技术应用实例

单元一 光纤通信	193
任务一 光纤通信系统的组成	193
任务二 光纤通信新技术	199
单元二 激光先进技术	204
任务一 激光雷达	204
任务二 激光制导	209
单元三 红外遥感技术	213
单元四 光纤传感	218
参考文献	225



模块一 光电子技术基础



项目概述

光电子技术是一门综合性技术，它集光学、机械与电子技术于一体。光电子技术与其他学科互相融合渗透，用途广泛。本模块系统梳理了光电子技术的理论框架与实践应用，深入探讨了其核心器件、应用领域、关键光学现象，以及相关辐射度学与光度学原理，有助于读者形成对光电子技术的全面认知。



项目目标

◎ 知识目标

1. 了解光电子技术在光纤通信、光显示、光计算、光医疗、光能源等领域的具体应用及其对社会发展的重要影响；
2. 理解光的波粒二象性，掌握反射、折射、全反射、偏振、干涉和衍射等基本光学现象，掌握光线在不同介质及复杂结构中的传播规律；
3. 熟悉辐射度学基本概念及光度学核心原理；
4. 学习并理解黑体辐射、斯特藩-玻尔兹曼定律、维恩位移定律等热辐射基本规律，掌握物体因温度产生的电磁辐射特性。

◎ 能力目标

1. 能够运用光学原理解决实际问题，如设计简单光学系统、分析光路传播、解释光学现象等；
2. 能够分步骤进行光学实验；
3. 能够通过实验和计算验证相关光学定律。

◎ 素质目标

1. 培养严谨的科学态度与批判性思维；
2. 提升社会责任感与环保意识，理解光电子技术在解决社会问题、推动可持续发展中的重要作用；
3. 增强职业岗位素养，提高品质意识，树立精益求精的工匠精神。

单元一 光电子技术和器件

知识目标：1. 掌握光电子器件的分类；

2. 了解光电子技术的应用领域与发展趋势。

技能目标：能够对不同类型的光电子器件进行对比分析。

素质目标：树立全局观念，理解光电子技术在科技进步、产业升级、社会发展中的长远影响。



知识学习

作为一门融合光学、电子学、材料科学、计算机科学等多个学科知识的交叉学科，光电子技术主要研究光与物质相互作用过程中产生的光电子现象及其应用。它利用光子作为信息载体和能量传递介质，通过先进的光电转换、光调制、光探测、光存储、光显示等手段，实现对光信息的高效获取、传输、处理和显示，极大地推动了信息技术、通信技术、能源技术、生物医学技术等领域的发展。

一、光电子器件

作为光电子技术的核心和基石，光电子器件是一种通过电-光转换效应实现信息处理和传输的关键元器件。光电子技术在现代光电技术和微电子技术的交汇点上展现出巨大的研究潜力，并且已成为信息技术不可或缺的组成部分。通过持续的技术创新和突破，光电子器件已成为推动数字经济向前发展的重要力量。

光电子器件主要分为光有源器件和光无源器件两大类。

光有源器件在光纤通信中扮演着至关重要的角色，主要分为两类：光检测器和光放大器。光检测器是光纤通信系统中的重要组成部分，其主要功能是将光纤中传输的微弱光信号转换为电信号，以便后续的信号处理。光放大器是光纤通信系统中另一种关键的光有源器件。与传统的电放大器不同，光放大器可以直接对光信号进行放大，而无须将其转换为电信号。

光无源器件根据制作工艺分为纤维光学无源器件和集成光学无源器件。纤维光学无源器件主要利用光纤和光学元件制作，如光纤连接器、光纤耦合器等。集成光学无源器件则采用集成光学技术制作，通常将多个光学元件集成在一个基片上，如集成光波导、集成光滤波器等。



常见光电子器件及其基本介绍见表 1-1。

表 1-1 常见光电子器件及其基本介绍

分类	名称	基本介绍
光有源器件	光检测器	目前的光检测器基本能满足光纤传输的要求,在实际的光接收机中,光纤传来的信号极其微弱,有时只有 1 mW 左右
	光放大器	光放大器不仅可直接对光信号进行放大,还具有实时高增益、宽带、在线、低噪声、低损耗的全光放大功能,是新一代光纤通信系统中必不可少的关键器件
光无源器件	光纤(缆)活动连接器	光纤(缆)活动连接器是实现光纤之间活动连接的光无源器件,它还具有将光纤与其他无源器件、光纤与有源器件、光纤与系统和仪表进行活动连接的功能
	固定连接器	固定连接器又称固定接头或接线子,它能够把两个光纤端面结合在一起,以实现光纤与光纤之间的永久性连接
	光衰减器	光衰减器是光通信中发展最早的光无源器件之一,目前已形成固定式、步进可调式、连续可调式及智能型光衰减器 4 个系列
	无源光耦合器	光耦合器的研制、开发及应用已经历了近 40 年,目前基本形成了以熔融拉锥型器件为主、波导器件逐渐发展的局面
	光隔离器	光隔离器是一种光单向传输的非互易器件,它对正向传输光具有较低的插入损耗,而对反向传输光有很大的衰减作用
	光开关	光开关是具有一个或多个可选传输端口,能在控制信号作用下,对光纤或集成光路中的光信号起通断、切换作用的器件。随着密集波分复用系统和全光网的应用,各节点上的信号交换可以通过光开关直接在光域中完成

二、应用领域

(一)信息与通信

光电子技术在光纤通信、无线光通信、光交换、光网络等领域发挥着核心作用,支撑互联网、云计算、物联网等信息基础设施的建设与运行。

(二)先进制造与材料加工

激光切割、焊接、打标、钻孔、熔覆等光电子技术广泛应用于汽车、航空航天、精密仪器、新能源等行业,实现高效、精准、环保的材料加工。

(三)生物医学与健康

光电子技术在生物成像(如荧光显微、光学相干断层扫描)、疾病诊断(如光学活检、



光谱诊断)、治疗(如激光手术、光动力疗法)等领域有着广泛应用,推动着医疗技术的进步。

(四)能源与环保

光电子技术在太阳能光伏发电、光催化、光热能转换等领域助力清洁能源的开发与利用,对节能减排、环境保护产生了积极影响。

(五)安防与国防

高灵敏度的光电探测器、红外成像系统、激光雷达等在军事侦察、目标识别、精确打击、空间探测等方面发挥着关键作用,提升了国家安全防御能力。

光电子技术的应用领域如图 1-1 所示。



(a) 光纤通信



(b) 激光切割



(c) 光学活检仪



(d) 太阳能光伏发电



(e) 光电探测器

图 1-1 光电子技术的应用领域

三、发展趋势

(一)硅基光电子集成

硅基光电子技术旨在将光电子器件与成熟的硅基微电子工艺相结合,实现大规模、低成本的光电集成,有望革新数据中心、超级计算机等领域的光互连架构。

(二)微纳光子学

通过设计和制造微米甚至纳米尺度的光子结构,使得对光的操控达到新高度,可催生超紧凑、高性能的光电子器件与系统,如超表面、光子晶体、纳米激光器等。

(三)量子光电子学

利用光子的量子性质开发量子光源、量子通信、量子计算等前沿技术,可为信息安



全、计算能力提升带来革命性突破。

(四) 生物启发光电子

借鉴自然界中各种生物的光电子现象(如萤火虫发光、植物光合作用),研发新型光电子材料与器件,可推动绿色、可持续的光电子技术发展。

任务检测

一、填空题

光电子技术在_____、_____、_____、_____、_____等方面均有应用。

二、思考题

比较分析光电子技术与其他电子技术(如微电子技术、纳电子技术等)的异同及互补关系。

小知识

硅基集成光子芯片

硅基集成光子芯片技术充分利用成熟的硅基半导体工艺,将量子光源与复杂的光子电路集成在同一块芯片上。硅材料不仅具有优异的光学性能,还与现有的微电子工业兼容,有利于实现大规模量产和成本控制。

通过先进的光刻、刻蚀等微纳加工技术,研究人员在硅芯片上构建了精密的微环谐振腔、波导、分束器、调制器等光子元件,构建出复杂的光子网络结构。在单个硅光子芯片上,成功集成了数百乃至数千个独立可控的量子光源,如单光子源或纠缠光子对源。这些光源基于量子点、缺陷中心或非线性光学效应产生,每个光源都能在特定波长下发射单个光子或纠缠光子对,且具有高度的光谱纯度、稳定性及同步性。通过优化设计,这些量子光源能在光子芯片上实现密集排列,同时保持良好的隔离度,避免串扰。集成的量子光源阵列与片上光子电路紧密结合,可以实现对量子态的高效制备与精细操控,还能与外部光纤网络无缝对接,实现远程量子通信。

小结

本单元主要介绍了光电子技术的重要性、光电子器件的分类、光电子技术的应用领域及发展趋势。



思政主题

国产芯片助力科技兴国路

在光电子器件这一高科技竞技场，国产力量的崛起无疑是近年来最为瞩目的篇章之一。以中芯国际为代表的本土企业，勇担科技自立自强的重任，深耕光电子芯片领域的自主研发与创新，不仅成功打破了长期以来国外技术的垄断格局，更是在全球光电子产业的版图上镌刻下了“中国创造”的鲜明印记。

中芯国际在 28 nm 及以下先进制程技术上的突破，不仅意味着在移动通信芯片、高性能计算芯片等方面取得了重要进展，还成功将这些技术应用于 5G 基站芯片、人工智能芯片等前沿领域，为国家信息基础设施建设和新兴产业发展提供了强有力的支持。图 1-2 所示为国产芯片。

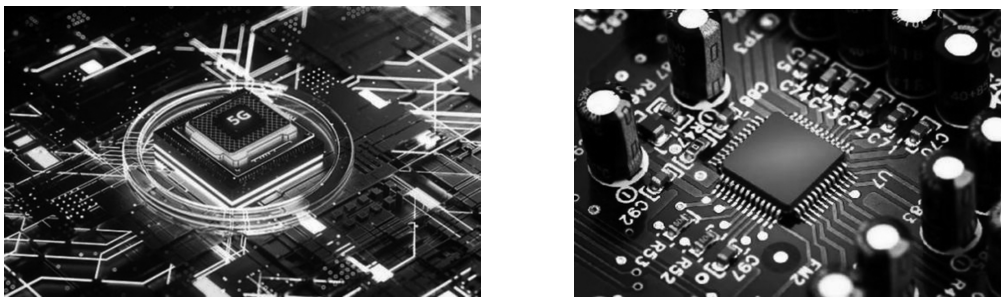


图 1-2 国产芯片

2019 年 1 月 24 日，华为在北京举办 5G 发布会暨 2019 世界移动大会预沟通会，发布了全球首款 5G 基站核心芯片——华为天罡，在集成度、算力、频谱带宽等方面取得了突破性进展。截至 2019 年 1 月 24 日，华为已经获得 30 个 5G 商用合同，25 000 多个 5G 基站已发往世界各地。

单元二 光的基本属性——波粒二象性

知识目标：1. 掌握光的波动性与粒子性相关理论；
2. 理解光的波粒二象性。

技能目标：能够运用光的波粒二象性原理解释日常生活和科技领域中的相关现象。

素质目标：鼓励学生在理解现有理论的基础上，敢于质疑、勇于探索未知，激发对光电子技术领域新理论、新技术的兴趣和研究欲望。



知识学习

光是频率极高的电磁波，同时具备波和粒子的特质，具有波粒二象性。

一、光的微粒说

一般地，人们认为牛顿是光的微粒说的代表。牛顿于 1675 年提出：“光是一群难以想象的细微而迅速运动的大小不同的粒子。”这些粒子被发光体“一个接一个地发射出来”，用这样的观点，解释光的直线性、影的形成等现象是十分方便的；在解释光的反射和折射现象时，同样十分简便。

光的粒子性就是说，光是以光速运动的粒子(光子)流，一束频率为 ν 的光由能量相同的光子所组成，每个光子的能量为

$$E = h\nu$$

式中， h 为普朗克常量， $h \approx 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ； ν 为光的频率。由此可知，光的频率愈高(即波长愈短)，光子的能量愈大。

光在高频或短波区表现出极强的粒子性，利用它与其他物质的相互作用可以得到粒子的强度，而无须相位关系。光的粒子性主要表现在光与物质的相互作用。

二、光的波动说

关于光的本性，当时还存在另一种观点，即光的波动说。光的波动说认为光是某种振动，以波的形式向四周传播，其代表人物是荷兰物理学家惠更斯。他认为，光是由发光体的微小粒子的振动在弥漫于一切地方的“以太”介质中传播的过程，而不是像光的微粒说所设想的像子弹和箭那样的运动。杨氏和菲涅耳的实验证实了这种解释。1864 年，麦克斯韦建立了电磁波方程。

光在不同介质中传播时，频率不变，传播速度和波长与折射率的关系为

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

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

上述两式中， v 为光在不同介质中的传播速度； c 为光在真空中的传播速度， $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ； λ 为光在不同介质中的波长； λ_0 为光在真空中的波长； n 为光在不同介质中的折射率。

实验证明，无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和 γ 射线等都是电磁波。为了对电磁波有全面了解，将电磁波按波长或频率、波数、能量顺序排列，形成了电磁波谱图，如图 1-3 所示。



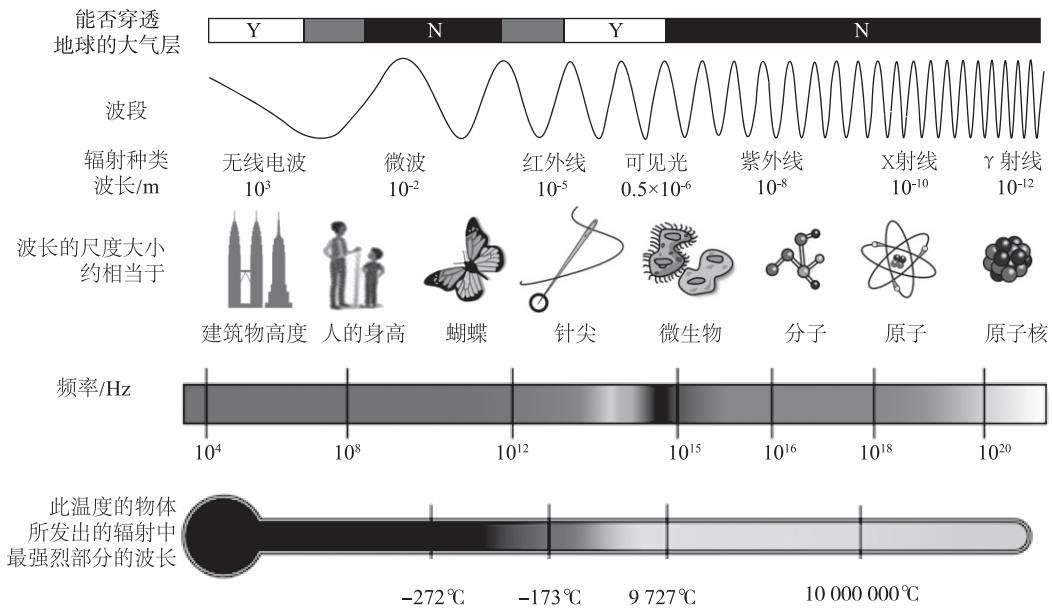


图 1-3 电磁波谱图

可见光是一种能引起视觉的电磁波，其波长范围为 380 ~ 780 nm，频率范围为 $3.9 \times 10^{14} \sim 7.5 \times 10^{14}$ Hz。可见光谱图如图 1-4 所示。

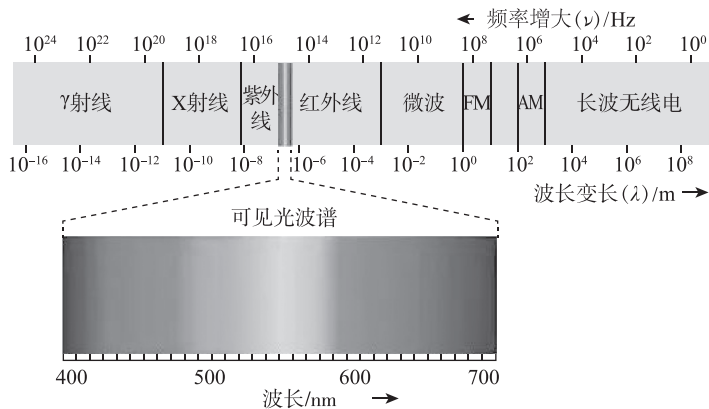


图 1-4 可见光谱图

三、波粒二象性

波粒二象性(Wave-particle Duality)是指所有的粒子或量子不仅可以部分地以粒子的术语来描述，也可以部分地以波的术语来描述，即指某物质同时具备波和粒子的特质。这意味着经典的有关“粒子”与“波”的概念失去了完全描述量子范围内的物理行为的能力。

波粒二象性是微观粒子的基本属性之一。1905年，爱因斯坦提出了光电效应的光量子解释，人们开始意识到光波同时具有波和粒子的双重性质。1924年，德布罗意提出“物质波”假说，认为和光一样，一切物质都具有波粒二象性。根据这一假说，电子也具有干



涉和衍射等波动现象，这被后来的电子衍射实验所证实。

任务检测

一、选择题

- 对光的认识，以下说法不正确的是 ()
 - 个别光子的行为表现为粒子性，大量光子的行为表现为波动性
 - 光的波动性是光子本身的一种属性，不是光子之间的相互作用引起的
 - 光表现出波动性时，就不具有粒子性了，光表现出粒子性时，就不具有波动性了
 - 光的波粒二象性应理解为：在某种场合下光的波动性表现明显，在另外某种场合下，光的粒子性表现明显
- 关于光的波粒二象性，下列说法正确的是 ()
 - 光的频率越高，衍射现象越容易看到
 - 光的频率越高，粒子性越显著
 - 大量光子产生的效果往往显示粒子性
 - 光的波粒二象性否定了光的电磁说

二、思考题

思考生活中的哪些现象分别体现了光的波动性和粒子性。

小知识

基于光子的量子随机行走模拟与优化算法

量子随机行走是一种量子力学版本的经典随机行走模型，它利用量子叠加态和量子纠缠特性，使得粒子(如光子)在离散空间中的运动展现出不同于经典随机行走的奇特行为。将待优化问题映射为量子随机行走的搜索空间和转移概率，通过调控光量子电路参数，使光子在演化过程中高效地探索最优解或近似最优解。由于光子的波粒二象性，量子随机行走能够同时探索多个解空间路径，利用量子干涉效应加速收敛，显著优于经典随机搜索和部分传统优化算法。

基于光子的量子随机行走模拟与优化算法，是波粒二象性在量子信息处理领域的一次创新应用，它巧妙地利用光子的量子性质，特别是波粒二象性，实现对复杂系统的高效模拟与优化。随着该技术的不断成熟和完善，有望在科学研究、工业设计、金融决策等领域实现重大突破，推动量子计算从理论研究走向实际应用，为解决传统计算手段难以处理的复杂问题提供强大的计算工具。随着光量子计算硬件的发展和大规模集成，这项技术有望在未来实现更大规模、更高效率的量子优化计算，为社会经济各领域的创新发展注入强大动力。



小结

本单元主要介绍了光的波动性、粒子性和波粒二象性。

思政主题

激光雕刻：古艺遇见未来光

在苏州一家古色古香的工作室里，老艺人与年轻的设计师并肩而坐，共同探讨着一幅即将被赋予新生的苏绣图案。他们采用激光雕刻技术，在保留苏绣细腻针法与丰富色彩的基础上，于木质底板上精雕细琢，每一缕光线的轨迹都精确无误地模拟出手工刺绣的纹理与层次，既保留了苏绣的传统韵味，又赋予其新颖的表现形式。这一创新，不仅是对传统手工艺的致敬，也是对现代审美情趣与艺术精神的追求，体现了两代人之间文化与技艺的接力，以及对美的不懈探索。图 1-5 所示为激光雕刻作品。



图 1-5 激光雕刻作品

激光雕刻的创新应用，还体现在个性化定制礼品、艺术品复刻等领域。例如，将古代书法名帖通过高精度激光扫描，再以微米级精度雕刻于宣纸之上，不仅重现了笔墨的韵味与力度，更使得珍贵的文化遗产得以广泛传播，走进千家万户。这一过程，既是对文化自信的彰显，也是对基本品德的实践——在追求商业价值的同时，不忘文化的传承与尊重，保持对艺术的纯粹追求。

激光雕刻技术的进步，还促进了文化产业的绿色发展。相比传统雕刻产生的粉尘与废弃物，激光雕刻几乎无污染。这种技术的应用，鼓励了更多艺术家与工匠在创新中融入环保理念，以科技的力量促进可持续发展。



单元三 光传播的基本现象

- 知识目标：1. 掌握光的反射、折射、全反射、偏振、干涉和衍射的基本概念；
2. 理解反射定律、折射定律、全反射临界角、偏振状态的描述、干涉条纹的形成条件及衍射图样的特点。
- 技能目标：1. 能够运用反射定律、折射定律和全反射临界角公式进行角度计算；
2. 能够根据给定的光波参数计算光程差，预测干涉或衍射现象的出现位置和强度分布；
3. 能够正确使用光学仪器(如偏振片、光栅、干涉仪、显微镜等)进行光现象的观察和数据采集。
- 素质目标：1. 培养严谨的逻辑思维能力和科学探究精神，学会用科学方法分析和解决问题；
2. 增强对自然界光现象的好奇心和探索欲，提升对光电子技术领域最新进展的关注度和理解力。

任务一 反射、折射、全反射

知识学习

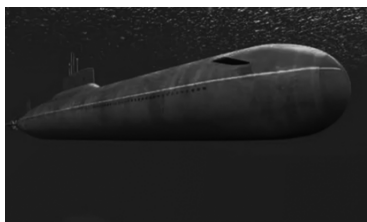
一、光的反射

(一) 反射现象

光在均匀介质中是沿直线传播的。光在传播到不同物质时，在界面上改变传播方向并返回原来物质中的现象，称为光的反射。图 1-6 所示为生活中常见的光的反射现象。



(a) 水中倒影



(b) 潜水艇潜望镜



(c) 照镜子

图 1-6 光的反射现象



(二) 光的反射定律

光的反射定律是描述光线在光滑表面上反射行为的基本物理法则。它规定了入射光线、反射光线与法线之间的几何关系，具体表述如下。

(1) 共面性：入射光线、反射光线与法线均位于同一平面内。法线是垂直于反射面的一条假想直线，用来确定入射角和反射角的参考方向。

(2) 分居性：入射光线与反射光线分别位于法线的两侧。这意味着入射光线不会穿过法线进入反射面内部，反射光线也不会从法线的另一侧穿出反射面。

(3) 等角性：入射角(入射光线与法线之间的夹角，记作 i) 等于反射角(反射光线与法线之间的夹角，记作 r)，即 $i=r$ 。

光的反射定律示意图如图 1-7 所示。

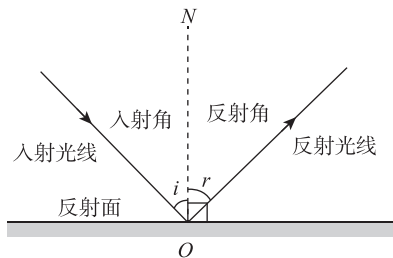


图 1-7 光的反射定律示意图

简而言之，光的反射定律可以用一句话概括为“三线共面，两线分居，两角相等”。

在光线垂直入射的特殊情况下，入射角和反射角都是 0° ，法线、入射光线、反射光线合为一线，可理解为“两角零度，三线合一”。

该定律不仅适用于所有光滑的物理表面(如镜面、水面、抛光金属表面等)，而且对于所有类型的光线(无论波长、频率或颜色)及所有入射角均成立。

(三) 两种反射现象

1. 镜面反射

镜面反射是指当光线照射到非常光滑的表面(近乎理想平面)时发生的反射现象。

在这种情况下，入射光线几乎平行地照射到反射面，反射光线也几乎平行地离开反射面，且反射方向遵循反射定律。由于反射面的光滑性，反射光线集中且方向有序，观察者只有从特定角度才能看到清晰的反射光。

2. 漫反射

漫反射是指光线照射到粗糙不平的表面时发生的反射现象。

这种表面的微观结构包含许多随机分布的凹凸部分，使得入射光线在各个方向上都被不同程度地反射出去，形成向各个方向无规则散射的反射光线。尽管每个微小表面区域仍然遵循反射定律，但由于大量的随机散射，观察者可以从多个角度看到物体被照亮，而不必直接面对反射光线。漫反射现象常出现在纸张、墙壁、衣物、毛皮、未抛光金属等



表面。

图 1-8 所示为两种反射现象的示意图。

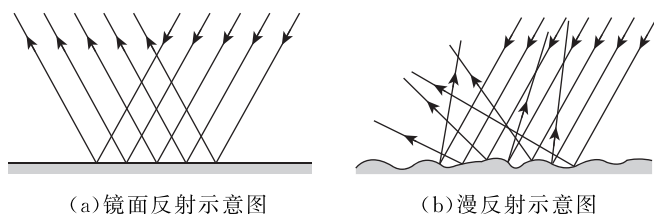


图 1-8 两种反射现象的示意图

注意：无论是镜面反射还是漫反射，都遵循光的反射定律。在光的反射中，光路是可逆的。

二、光的折射

光的折射是自然界中广泛存在的光学现象，当光线从一种透明介质(如空气、水、玻璃等)进入另一种透明介质时，其传播方向会发生显著改变。这种现象不仅形成了人们日常生活中众多的美丽景象(如水中筷子弯曲、雨后天空中的彩虹)，而且是众多光学器件(如透镜、棱镜、光纤)工作的基础，对光电子技术及相关领域(如光通信、激光技术、生物医学成像等)具有至关重要的意义。

(一)光的折射的定义与现象

光线从一种透明介质进入另一种透明介质时，由于介质对光的传播速度产生影响，光的传播方向发生改变的现象，称为光的折射。

现象举例：

(1)水中筷子的弯曲：当光线从空气斜射入水中时，由于水的折射率大于空气，光线在水-空气界面发生折射，使筷子在水中的部分看起来向上弯折，如图 1-9 所示。

(2)放大镜聚光：放大镜实质上是一个凸透镜，利用光的折射原理将平行光线汇聚于一点(焦点)，从而实现放大或聚焦效果，如图 1-10 所示。



图 1-9 筷子放入水中的折射现象



图 1-10 放大镜聚光的折射现象



(二)光的折射定律

法线：垂直于折射界面的直线，用于确定入射角和折射角。

入射角：入射光线与法线之间的夹角，记作 θ_1 。

折射角：折射光线与法线之间的夹角，记作 θ_2 。

折射定律：也称为斯涅尔定律，是描述光的折射现象的基本定律。当光线从一种介质(折射率 n_1)斜射入另一种介质(折射率 n_2)时，入射角 θ_1 与折射角 θ_2 的正弦值之比等于两种介质的折射率之比的倒数，即

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

光的折射定律示意图如图 1-11 所示。

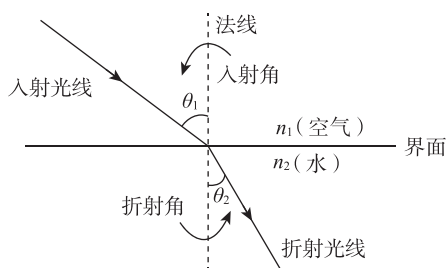


图 1-11 光的折射定律示意图

(三)折射率

折射率是衡量光在某种介质中相对于真空中传播速度的相对慢度的物理量，定义为光在真空中的速度 c 与光在该介质中的速度 v 之比：

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

折射率无量纲，通常取无量纲数值表示。在实际应用中，真空的折射率常视为 1。

光从光速大的介质斜射入光速小的介质中时，折射角小于入射角；从光速小的介质斜射入光速大的介质中时，折射角大于入射角。

(四)光的折射在实际生活与科技中的应用

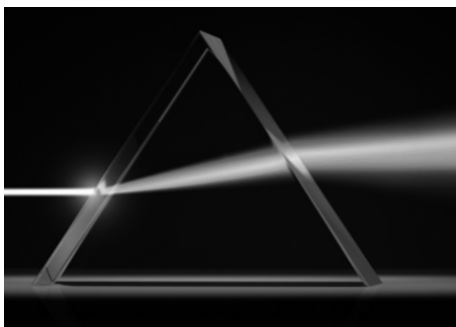
1. 光学器件

透镜[图 1-12(a)]：利用光的折射原理，实现光线的聚焦、发散、成像等功能，广泛应用于眼镜、显微镜、望远镜、投影仪等光学设备。

棱镜[图 1-12(b)]：通过不同角度的折射面，改变光线的传播方向，实现色散、偏转、旋转等功能，常应用于分光镜、光纤连接器中。



(a) 透镜



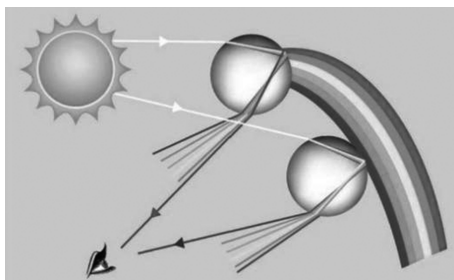
(b) 棱镜

图 1-12 光学器件

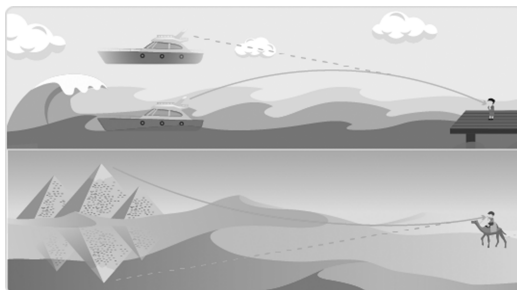
2. 自然现象

(1) 彩虹。太阳光照射到雨滴时，光线在水滴内经过两次折射和一次反射，使不同颜色的光束分散出来，形成由外圈至内圈呈红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七色的美丽弧形——彩虹，如图 1-13(a)所示。

(2) 海市蜃楼。大气中温度、密度的不均匀分布导致光的折射率发生变化，使远处地面或水面的景象经折射后产生虚像，形成仿佛悬浮在空中的奇异景象，称为海市蜃楼，如图 1-13(b)所示。



(a) 彩虹



(b) 海市蜃楼

图 1-13 自然现象中的折射

3. 现代科技

(1) 光通信。光通信利用光的折射、全反射原理，实现高速、大容量的信息传输，是互联网、电话、电视等现代通信网络的基础。

(2) 激光技术。激光器内部的光学谐振腔通过多次反射和折射，使光能不断放大，形成高度定向、单色、相干的激光束，广泛应用于切割、焊接、医疗手术、遥感测量等领域。

(3) 生物医学成像。光学显微镜、眼科检查设备、光学相干断层扫描等，都是利用光的折射、反射、散射等特性，实现对生物组织的非侵入式高分辨率成像的。

三、光的全反射

(一) 全反射的定义与条件

光的全反射又称全内反射，是指光线从光密介质射向光疏介质时，当入射角大于临界



角时，光线在界面上全部反射回原介质，不再发生折射的现象。

全反射现象遵循光路可逆原理，即如果一条光线在特定条件下发生全反射，那么从反射方向沿相反路径入射的光线也会在相同条件下发生全反射。

全反射的条件如下。

(1)光密到光疏：光线必须从折射率较高的介质(光密介质)射向折射率较低的介质(光疏介质)。

(2)入射角大于临界角：入射角必须大于临界角 C ，其中临界角 C 满足折射定律的特殊情况，即折射角等于 90° 。

(二)临界角

临界角 C 是入射角的临界值，当入射角等于 C 时，折射角恰好为 90° 。若入射角稍大于 C ，则发生全反射。

根据折射定律，入射角与折射角的正弦值之比等于两种介质的折射率之比的倒数。当折射角为 90° 时，有

$$\frac{\sin C}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

由于 $\sin 90^\circ = 1$ ，因此

$$\sin C = \frac{n_2}{n_1}$$

任务实施

一、工具准备

(1)激光笔：作为光源，发射出方向性强、波长单一的光线，便于观察和测量光的传播路径。

(2)平面镜：用于演示和测量光的反射现象。

(3)棱镜：用于演示和测量光的折射现象，可以选择等边三棱镜或直角棱镜。

(4)水槽与水：用于演示光的全反射现象，水作为光密介质。

(5)角度尺：精确测量入射角、反射角、折射角和全反射临界角。

(6)标记笔：在实验台上标示光路或角度。

(7)白纸或投影屏：作为光的反射、折射和全反射后光线的投射面，便于观察和记录。

(8)直尺：辅助测量和标记实验距离。

二、操作准备

(一)场地布置

选择光线较暗的室内环境，确保激光笔光线清晰可见。将白纸或投影屏固定在适当位



置，以便观察和记录光路。

(二) 工具摆放

将平面镜、棱镜放置在实验台上，调整好角度并固定。在水槽中注水，保证水面平静。

(三) 角度预设

使用角度尺预先设定好激光笔与镜面、棱镜面的入射角，以便观察不同角度下的反射、折射现象。

三、实验步骤

(一) 光的反射实验

(1) 打开激光笔，使其射向平面镜。调整激光笔位置和角度，使光线沿某一特定角度入射到镜面上。

(2) 观察并记录激光在镜面上的反射现象，包括入射角和反射角的关系、反射光线的传播方向等。

(3) 改变入射角，重复实验，验证反射定律。

(二) 光的折射实验

(1) 将激光笔对准棱镜的一个侧面，使其沿某一特定角度入射。

(2) 观察并记录激光在棱镜内的折射现象，包括入射角、折射角、光路转向等。

(3) 使用角度尺测量并记录入射角和折射角，验证折射定律。

(4) 改变入射角，重复实验，观察并记录折射现象的变化。

(三) 光的全反射实验

(1) 将激光笔对准水槽水面，使其沿某一特定角度入射。

(2) 观察并记录当入射角逐渐增大时，光线在水-空气界面的传播情况。当入射角达到某一特定值时，光线不再穿透水面而出，而是全部反射回水中，即发生全反射。

(3) 测量并记录发生全反射的临界角，验证全反射条件。

四、任务评价

实操项目评分表			
项目	项目要求	分值	得分
实验准备	<ul style="list-style-type: none"> 工具齐全，准备到位(3分) 场地布置合理，确保光线较暗且激光路径清晰可见，白纸或投影屏位置适中，便于观察记录(3分) 操作准备充分，工具位置调整恰当，角度尺、标记笔等辅助工具准备就绪(4分) 	10	



续表

实操项目评分表					
项目	项目要求			分值	得分
反射实验	<ul style="list-style-type: none"> 正确完成反射实验，激光入射角度调整准确，反射现象观察清晰(8分) 记录数据准确，入射角、反射角测量无误，数据记录格式规范(6分) 验证反射定律，分析入射角与反射角的关系，结论科学合理(6分) 			20	
折射实验	<ul style="list-style-type: none"> 正确完成折射实验，激光入射角度调整准确，折射现象观察清晰，光路转向明确(8分) 记录数据准确，入射角、折射角测量无误，数据记录格式规范(6分) 验证折射定律，计算并分析入射角与折射角的正弦值之比，与理论折射率对比，结论科学合理(6分) 			20	
全反射实验	<ul style="list-style-type: none"> 正确完成全反射实验，激光入射角度调整准确，全反射现象观察清晰(8分) 记录数据准确，入射角、临界角测量无误，数据记录格式规范(6分) 验证全反射条件，计算并分析临界角，与理论值对比，结论科学合理(6分) 			20	
实验报告	<ul style="list-style-type: none"> 实验记录详细清晰，包括实验目的、设备清单、实验步骤、实验现象、数据记录、数据分析、结论等内容完整(5分) 数据分析准确，对反射、折射、全反射现象进行科学解释，相关光学定律应用得当(5分) 结论科学合理，基于实验数据和分析，对光的反射、折射、全反射现象有深入理解，表述清晰(5分) 			15	
操作规范	<ul style="list-style-type: none"> 操作过程中遵守实验室规则，如正确使用激光笔、注意激光安全、保持实验台整洁等(5分) 工具使用得当，如正确调整激光笔角度、合理使用角度尺、标记笔等辅助工具(5分) 安全意识强，如防止激光直射眼睛、避免水溅出等潜在风险(5分) 			15	
考核记录					
自评分		互评分		教师评分	
综合评价					

五、任务总结

- (1) _____
- (2) _____
- (3) _____



🏠 小知识

超表面全息成像技术

超表面全息成像技术通过设计和制备具有亚波长结构的超表面，精确调控光的反射、折射或全反射特性，实现对光场的动态、精细化操控，进而应用于高分辨率全息成像。

超表面的结构使其在特定波长下可以产生与物体复振幅分布相对应的全息图。当入射光照射超表面时，超表面可以将入射光调制成携带物体信息的全息光场，然后通过后续光学系统(如透镜、CCD相机等)记录并重建全息图像。与传统全息技术相比，超表面全息成像具有体积小、结构紧凑、易于集成的优点，且能实现彩色、宽视场、多视角全息显示，甚至能实现动态全息视频。

📺 小结

本任务主要介绍了光的反射、折射、全反射现象及它们的应用。

🎯 思政主题

科技暖流：移动医疗打通健康最后一千米

移动激光医疗车作为一项将高科技医疗技术带入偏远地区的创新实践，它的身影穿梭在中国广袤的乡村与边远山区，成为科技惠农、健康扶贫的生动注脚。

在西南的偏远村落，由于地理位置偏远，交通不便，当地居民长期面临医疗资源匮乏的问题，尤其是眼科疾病得不到及时治疗，白内障、青光眼等眼疾高发，严重影响了村民的日常生活和劳动能力。为解决这一难题，当地政府与医疗机构合作，引入了配备先进激光治疗设备的移动激光医疗车，如图 1-14 所示。



图 1-14 移动激光医疗车

这些医疗车内部布局紧凑而高效，集检查、诊断与治疗功能于一体。车内搭载了精密的激光眼科治疗仪器，能够实施白内障激光乳化术、青光眼激光周边虹膜切开术等微创手术。相较于传统手术，激光治疗创伤小、恢复快，大大降低了感染风险，特别适合不具备复杂手术条件的基层地区。该移动激光医疗车还配备了 5G 远程医疗系统，能够实时与城市大医院的眼科专家连线，进行远程会诊。遇到复杂病例时，现场医生可以即时获得专家



指导，确保了治疗方案的科学性和有效性，真正实现了优质医疗资源的下沉与共享。

移动激光医疗车的出现，不仅有效缓解了偏远地区群众“看病难”的问题，更成为连接城乡医疗资源的桥梁。

任务二 偏振

知识学习

光的偏振是光的波动性的重要体现，指光波的振动方向相对于传播方向具有特定的排列。自然光通常是非偏振的，其振动方向在垂直于传播方向的平面上随机分布。然而，通过特定的物理过程，如反射、折射、双折射、吸收与再发射等，光可以转换为偏振光。偏振光在科学研究、工程技术、日常生活等领域具有广泛的应用，如减少眩光、提高显示质量、增强信号传输效率、实现立体视觉等。

一、光的偏振现象

光是一种电磁波，是由与传播方向垂直的电场和磁场交替转换的振动形成的，光波中的电矢量 E 、磁矢量 H 与光的传播速度 v 三者方向互相垂直。这种振动方向与传播方向垂直的波称为横波，只有横波才能产生偏振现象。

横波有一个特性，就是它的振动是有极性的。在与传播方向垂直的平面上，它可以向任意方向振动。由于光波对物质的磁场作用远比电场作用弱，因此讨论光波振动性质时通常只考虑电场，将电矢量称为光矢量。一般把光波电场的振动方向作为光的振动方向。如果一束光线都在同一方向上振动，就称为偏振光，或称为完全偏振光。图 1-15 所示为偏振光原理图。

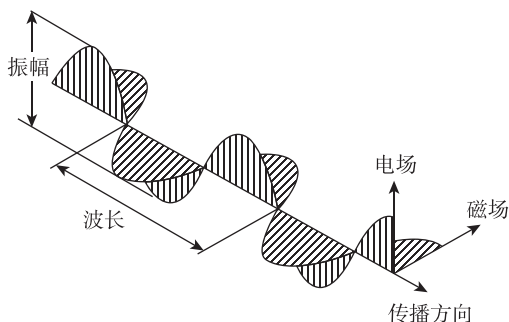


图 1-15 偏振光原理图

光的偏振是指光波在垂直于传播方向的平面上，其振动方向被限制在一个或几个特定方向上，而非在所有可能方向上均匀分布。

偏振光有时会给照相带来不利影响，如玻璃表面的反射光，使人们从某些角度无法拍