

初中教师进修用书

光 学

顾恩普 赵华正 史家启 编著

顾恩普 审校

安徽教育出版社

初中教师进修用书

光 学

顾恩普 赵华正 史家启 编著
顾恩普 审校

安徽教育出版社

责任编辑 王宏金

封面设计 王传东

初中教师进修用书

光 学

顾恩普 赵华正 史家启

出版：安徽教育出版社

发行：安徽省新华书店

印刷：六安新华印刷厂

787×1092毫米 1/32 14.75印张 329千字

1985年11月第1版 1985年11月第1次印刷

印数：8,400

书号：7276·198 定价：2.00元

编者前言

本书是供具有高中毕业或相当高中毕业程度的初中物理教师自学进修使用的，是参照教育部颁发的“中学教师进修高等师范专科物理专业教学计划”、结合教师在职进修实际编写的。

全书大致可分几何光学、波动光学、量子光学和现代光学四部分，主体是波动光学和几何光学。考虑到几何光学有一定的独立性，规律比较简单，初学者容易接受，且干涉、衍射等章节中，涉及到几何光学的知识，本着先易后难、循序渐进的精神，仍按传统的顺序，将几何光学放在前面。

书中对光学的一些基本概念、基本原理和规律，均有较详细的阐述，力求深入浅出，便于自学。部分公式推导列入附录，以供参考。

考虑到自学进修，缺少实验环节，故书中凡涉及实验装置和光学现象时，一般都作了较具体的描述和分析。

书中各章均有适当的例题、思考题和习题。部分较难的习题，作了扼要的提示。书末附有全部习题的答案。

由于编者水平有限，缺点错误，在所难免，敬希读者批评指正。

编者

一九八四年六月

出版说明

《初中教师进修用书》是为了适应培训教师的需要，由华东地区上海、山东、江苏、安徽、浙江、江西、福建等六省一市八家出版社协作组织编写出版的。目的是供在职初中教师业余进修。帮助他们系统地学习和掌握有关专业的基础理论、基本知识和基本技能，提高文化水平和教学能力，以便在一定时间内通过考核达到两年制高等师范专科毕业水平。

这套用书，共有语文、数学、政治、历史、地理、物理、化学、生物八个专业，六十五种。其中，《教育学浅说》、《心理学浅说》属于各科教师的公共必修课。编写当中，在坚持四项基本原则，坚持思想性和科学性相统一的前提下，注意了以下几个方面：

一、根据教育部制订的高等师范专科学校教学大纲的要求，确定各册内容的深度和广度，既体现各学科知识的系统性，又力求做到简明、精练，避免繁琐。

二、以提高教师科学文化水平为主，适当联系中学教材和教学实际，把提高知识水平和提高教学能力有机地结合起来，达到学以致用目的。

三、从初中教师的实际水平出发，循序渐进，逐步提高要求；重视讲清学习中的难点和疑点，文字力求浅显易懂；并根据自学或函授的需要，配置必要的提示、注释、思考题和提供参考书目等学习辅助材料。

协作编写教师进修用书，尚属初次尝试。我们将在实践过

目 录

绪 论	1
第一章 几何光学的基本原理	6
§1.1 光的传播	6
1.1光线 1.2反射定律与折射定律 1.3折射率 1.4光路可逆性原理 1.5几何光学基本定律的近似性	
§1.2 成像的基本概念	11
2.1发光体与发光点 2.2单心光束 2.3实像与虚像 实物与虚物 2.4物空间与像空间	
§1.3 平面反射	18
3.1平面镜成像 3.2平面镜控制光路	
§1.4 平面折射	22
4.1平面折射对单心光束的破坏 4.2细光束近似成像 4.3全反射 4.4色散棱镜	
§1.5 球面反射	31
5.1物像关系 5.2符号规则 5.3焦点和焦距 5.4近轴物点反射成像 5.5横向放大率 5.6作图法 5.7凹镜和凸镜的应用	
§1.6 球面折射	41
6.1物像关系 6.2符号规则 6.3近轴物点成像 横向放大率 6.4逐次成像	
§1.7 薄透镜	49
7.1概述 7.2物像关系 7.3焦点、焦距和光焦度 7.4高斯公式及牛顿公式 7.5横向放大率 7.6焦平面 7.7作图法 7.8薄透镜组成像	

思考题	69
练习题	72
第二章 光度学基本概念	80
§2.1 辐射通量	80
§2.2 视见函数 光通量	81
2.1视见函数 2.2光通量	
§2.3 发光强度	86
3.1发光强度 3.2发光强度单位 3.3光通量单位 3.4发光强度曲线	
§2.4 面发光度 照度	91
4.1面发光度 4.2照度 4.3点光源所引起的照度	
§2.5 亮度	94
5.1亮度 5.2余弦辐射体 5.3亮度B与面发光度R的关系	
附录 立体角	100
思考题	102
练习题	102
第三章 光学仪器	104
§3.1 照相机	105
1.1原理和结构 1.2相对孔径和f数	
§3.2 幻灯机和教学投影仪	108
§3.3 眼睛	110
3.1眼睛的构造 3.2眼睛的调节 3.3非正常眼及其矫正	
3.4双目视觉	
§3.4 放大镜	117
4.1视角 4.2放大镜 4.3放大镜的放大率	
§3.5 显微镜	120
5.1原理 5.2显微镜的放大率 5.3显微镜的使用	

§3.6 望远镜	123
6.1开普勒望远镜 6.2伽利略望远镜 6.3军用双筒望远镜	
6.4反射望远镜 6.5目镜	
§3.7 透镜的像差(简介)	129
7.1色差 7.2球面像差 7.3彗形像差 7.4像散 7.5像场弯曲	
7.6畸变	
思考题	134
练习题	135
第四章 光的干涉	137
§4.1 波动概述	137
1.1波动 1.2波长、频率与波速 1.3波面与波线 1.4球面波与平面波 1.5波的强度	
§4.2 惠更斯原理	141
§4.3 波的干涉	142
3.1迭加原理 3.2同频率、同振动方向的两简谐波的迭加	
3.3相干条件	
§4.4 普通光源发光的微观机理	148
§4.5 分波阵面法产生光的干涉	149
5.1杨氏实验 5.2劳埃镜	
§4.6 干涉条纹的可见度	160
§4.7 分振幅法产生光的干涉	171
7.1薄膜干涉 7.2干涉条纹的计算 7.3等厚干涉 7.4等倾干涉	
7.5薄膜允许的厚度 7.6迈克尔逊干涉仪	
思考题	195
练习题	196
第五章 光的衍射	199
§5.1 光的衍射现象	199

§5.2 惠更斯——菲涅耳原理	201
§5.3 衍射的分类	204
3.1 菲涅耳衍射 3.2 夫琅和费衍射	
§5.4 夫琅和费单缝衍射	208
4.1 装置及衍射现象 4.2 衍射图样的一些特点 4.3 光强分布的 计算与分析	
§5.5 夫琅和费圆孔衍射	220
§5.6 夫琅和费衍射的另一类装置	224
§5.7 光学仪器的分辨本领 瑞利判据	226
§5.8 望远镜和显微镜的分辨本领	230
8.1 望远镜 8.2 显微镜	
§5.9 双缝与多缝夫琅和费衍射	235
9.1 双缝衍射 9.2 多缝衍射 (衍射光栅)	
§5.10 空间光栅 X射线衍射	261
10.1 空间光栅 10.2 X射线 10.3 布喇格方程	
§5.11 菲涅耳衍射 菲涅耳半波带	265
11.1 半波带法 11.2 圆孔衍射 11.3 圆屏衍射 11.4 菲涅耳波带 片	
附录一、二、三	277
思考题	281
练习题	283
第六章 光的偏振	287
§6.1 偏振现象	287
1.1 偏振波 1.2 自然光和部分偏振光	
§6.2 反射和折射产生偏振光	294
2.1 菲涅耳公式 2.2 反射产生线偏振光 布儒斯特定律 2.3 折射产生线偏振光 2.4 半波损失的粗略解释	

§6.3 双折射	303
3.1双折射现象 3.2双折射晶体 3.3光轴、主截面 3.4单轴晶体内的波面	
§6.4 光在单轴晶体中的传播	309
4.1惠更斯作图法 4.2垂直入射于晶体表面 4.3斜入射于晶体表面	
§6.5 起偏振器 马吕定律	314
5.1起偏振器 5.2马吕定律	
§6.6 偏振片的应用	320
§6.7 圆偏振光和椭圆偏振光	323
7.1圆偏振光和椭圆偏振光的意义 7.2频率相同、偏振方向互相垂直的两线偏振光的迭加 7.3波晶片——位相推迟片 7.4圆偏振光和椭圆偏振光的检验	
§6.8 色偏振现象	336
§6.9 人为双折射效应	337
9.1光弹性效应 9.2克尔效应	
思考题	340
练习题	342
第七章 光的吸收 色散和散射	346
§7.1 光的吸收	346
1.1吸收定律(朗伯定律) 1.2吸收光谱 1.3一般吸收和选择吸收 1.4物体的颜色	
§7.2 光的色散	352
2.1玻璃的色散曲线的绘制 2.2色散率 2.3科希方程 2.4反常色散	
§7.3 光的散射	360
3.1光的散射现象 3.2散射的起因 3.3瑞利散射定律 3.4散射	

光的偏振性质	
思考题.....	367
练习题.....	368
第八章 光的量子性	370
§8.1 热辐射 基尔霍夫定律	370
1.1热辐射的意义与特点 1.2物体的发射本领和吸收本领	
1.3基尔霍夫定律	
§8.2 黑体辐射	374
2.1绝对黑体 2.2黑体辐射 2.3绝对黑体的光谱能量分布	
2.4黑体辐射的经典公式	
§8.3 普朗克公式 能量子	380
3.1能量子 3.2普朗克公式	
§8.4 光电效应	382
4.1光电效应的实验装置 4.2光电效应的规律 4.3波动理论解释光电效应的困难	
§8.5 爱因斯坦方程 光子	388
5.1爱因斯坦方程 5.2密立根实验 5.3光子	
§8.6 康普顿效应——伦琴射线的散射	392
§8.7 波粒二象性	396
7.1物质波 7.2波粒二象性	
思考题.....	401
练习题.....	402
第九章 激光 现代光学基础	404
§9.1 红宝石激光器与氦氖激光器	405
1.1红宝石激光器 1.2氦氖激光器	
§9.2 激光的特点及其应用	414
2.1激光的特点 2.2激光的应用	

§9.3 产生激光的原理	418
3.1原子的能级 辐射跃迁和无辐射跃迁 3.2光的自发辐射、受 激吸收和受激辐射 3.3利用受激辐射实现光放大 3.4玻尔兹曼分 布律 3.5怎样实现粒子数反转	
§9.4 全息照相	429
4.1全息照相的基本原理 4.2全息照相的拍摄与观察方法	
4.3全息照相的特点	
§9.5 光学信息处理	439
5.1空间频率 5.2阿贝成像原理 5.3空间滤波	
§9.6 非线性光学	449
思考题.....	452

绪 论

一、光的本性

人是怎样能看见周围物体的？这个问题，很早就引起人们的思索。据说2000多年前，希腊人毕达哥拉斯和德谟克利特等人认为视觉是由所见物体射出的微粒进入人眼引起的；而欧几里德却认为人眼放出光线，类似“触须”，遇到物体而产生视觉。在漫长的古代，科学只是从无到逐渐萌芽状态，对产生视觉的认识，只能是基于感官直觉所作出的简单猜想。认真地对光的本性的探讨，并用所提出的理论，说明一些光的现象和规律，应该说是从十七世纪中叶以后。到十七世纪上半叶，几何光学的基本规律（光的直线传播、反射和折射定律）已经建立，开始了应用光学，同时，机械运动的基本规律，已为人们所掌握。在这样的科学水平上，对光的本性的认识，当时有两派对立的看法。一派是以牛顿为代表的微粒说，另一派是以惠更斯为代表的波动说。微粒说认为：光源发出微粒，微粒以直线飞行，射入人眼，引起视觉；射至物体界面，发生弹性碰撞而反射；由于不同折射率的介质，对光微粒的吸引力不同，因而产生折射。这样，微粒说就说明了几何光学的三条基本规律。不过在说明折射定律时，必须假定光微粒在折射率较大的介质中，有较大的传播速度。

惠更斯反对微粒说，他写道：“假如注意到……光线交错经过时互不妨碍，那就十分明显，我们能看到发光体，不可能是由于物质（指光微粒）的移动，……”。在当时，认为有一种

充满宇宙空间的弹性介质，叫做“以太”。惠更斯认为光就是在“以太”中传播的波。按照波动说，他同样推导出反射和折射定律。不过在推导折射定律时，假定光在折射率较大的介质中，传播的速度较小。这和微粒说正好相反，当时尚未能测出光在不同介质中的传播速度，孰是孰非，也无法判断。惠更斯对光的直线传播规律，也作了解释，但说服力不强。微粒说者正是以此反驳波动说。由于惠更斯的波动说很不完善，他甚至否认光波的周期性。他曾写道：“……不需认为波是以相同距离一个跟着一个的。”另一方面，牛顿力学，影响广泛，牛顿的观点，被看成权威。因此，在十七、十八世纪一百多年，微粒说占统治地位。实际上，牛顿用微粒说在解释光的干涉和衍射现象时，也引进了“以太”的振动，谈到了光的周期性。但从力学观点，坚持了微粒说，反对波动说。

直至十九世纪初，托马斯·杨和菲涅耳等人的干涉实验和理论工作，大大发展了光的波动理论，提出光波干涉和衍射原理；测量出光波波长；为了解释光的偏振现象，提出了光是横波的学说；菲涅耳应用数学分析，说明了光的直线前进；1862年，佛科测量出水中光速小于空气中光速，最后宣告光的机械微粒说的破产。光的波动说已在坚实的实验和理论的基础上建立起来。

按照菲涅耳等人的波动理论，光波被看成是“以太”传播的弹性横波。但是，在一般弹性介质中，横波传播的速度为

$$v = \sqrt{\frac{N}{\rho}}$$

式中 ρ 与 N 分别表示传播横波介质的密度与切变弹性模量。由于光速很大，表征介质弹性的 N 必须极大，而天空星球运转，

不受阻力，则“以太”密度 ρ 必然极小，这是很难想像的弹性介质。一般弹性介质在传播横波的同时，还有纵波存在，而光纵波从未觉察到。并且，在物体运动时，“以太”是静止的？还是随着物体一道运动？宇宙空间只有一种“以太”？还是存在多种“以太”？往往是不同问题，必须赋予“以太”以不同的属性，甚至是互相矛盾的属性。这给光是“以太”传播的弹性波的理论带来了极大的困惑。

十九世纪六十年代，麦克斯韦总结并扩展前人在电磁学方面的知识，建立起他的著名的电磁理论。他预言电磁波的存在，并指出光是电磁波。1887年，赫兹进行实验，产生了电磁波，并实验证明了这些电磁波具有反射、折射、偏振等等性质，和光波类似。从而实现了麦克斯韦的预言，证实了电磁理论的正确性。从此，光是电磁波的观点取代了光是机械的弹性波的观点。

关于“以太”问题，直至二十世纪初，爱因斯坦的狭义相对论出现以后，才获得解决。人们最终抛弃了“以太”概念，认为电磁场本身就是物质存在的一种形式，而场可以波的形式在空间传播。

在十九世纪末，光的电磁理论，已普遍为科学界所接受，并且认为关于光的本性，已基本了解，即使将来还有补充，那也是很少的。然而，事实并非如此。十九世纪末，关于黑体辐射的能量按波长的分布问题，是当时物理学界普遍感兴趣的问题。1900年普朗克提出了辐射量子论，完满地给予解决。辐射量子论认为：振子辐射电磁波，其能量只能是一份一份不连续地辐射。每一份能量，称能量子。能量子的大小只能是电磁波

频率和一个常数（后称普朗克常数）乘积的整数倍。普朗克提出的能量子，冲破了传统的概念，在物理学中具有革命意义，被看成是近代物理学的起点。它给光的本性带来了新的认识。爱因斯坦发展了普朗克能量子的假说，把量子论扩展到辐射、吸收的全过程。他认为光就是由一个一个光量子（以后称光子）组成的，物质不仅在辐射过程是一个一个光量子向外辐射，在吸收过程也同样是一个一个光量子的吸收。爱因斯坦用他的光量子理论，圆满地解释了光电效应的规律；这些规律，例如光电子能量大小只与入射光频率有关而与光强无关等，用光的波动理论是无法解释的。以后康普顿又以光子理论，成功地解释了伦琴射线散射中散射光的波长与散射角的关系（称康普顿效应）。由此看来，从黑体辐射、光电效应和康普顿效应等问题中，迫使我们承认光又具有“粒子”性。

按照干涉、衍射等现象和麦克斯韦的光的电磁理论，我们说光的电磁波；而按照光电效应等问题和爱因斯坦光量子理论，表明光具有粒子性，这就是所谓光的波粒二象性。

从机械观点，粒子是不连续的，而波是连续的；粒子飞行，是本身在运动，而波的传播，介质並不随波一道运动。所以粒子性和波性是互不相容的。但是，光波是电磁波，它的传播可以不凭借任何介质而是电磁场本身在传播。所谓光子，它的能量 $\epsilon = h\nu$ 是和频率成比例，也是与波有连系的。所以光的波动性和粒子性並不是互不相容的。我们不可能以机械波和机械微粒的概念，去想像电磁波或光子的图景。我们只能根据光所表现的性质和规律，去认识光的本性。

以上简短的叙述，可以看出，人类对光的本性的认识，从

机械的微粒说开始，经历了弹性“以太”的波动说、光的电磁理论直至现在的波粒二象性，认识是逐渐发展、逐渐深入的。在认识的过程中，充满着斗争。在新认识、新理论战胜或代替了旧认识、旧理论的时候，都会给光学的发展带来新的生机。人们对事物的认识是无穷的，我们对光的本性的认识，还有待于深入和发展。

二、光学的研究内容

光学是研究光的本性、光的传播和光与物质相互作用的学科。它是物理学的基础学科，也是应用性很强的学科。

光学通常分为几何光学、波动光学和量子光学三部分。几何光学是根据光的直线传播、反射和折射定律，研究光的传播和成像问题。它是设计一般光学仪器的主要依据。波动光学主要研究光的干涉、衍射和偏振等光的波动性质和规律及其应用。量子光学是从光的能量不连续的概念，去研究光和物质相互作用的某些现象。

五十年代起发展的傅里叶光学，把数学中的傅里叶变换理论、通讯中的线性系统理论和光学中的衍射理论结合起来，成为现代的光学信息处理、像质评价、成像理论和相干光学计算机的基础。1960年激光问世后，给光学带来了新面貌。新的理论、新的技术不断涌现：激光物理、激光技术、激光光谱学、激光应用、纤维光学、集成光学、非线性光学等光学分支得到迅速发展，成为当今科学技术的前沿阵地的一部分。

本书主要内容是讨论光学中的一些基本原理和规律，对现代光学只作简略的介绍。