

光学

江苏省师专物理教材编写组编

高等师范专科学校试用教材

光 学

江苏省师专物理教材编写组编

南京工学院出版社

编写说明

本书系江苏省教委高教局组织编写的师专《普通物理学》教材之四。本书共分九章：光的传播、平面光学系统、球面光学系统、光学仪器、光的干涉、光的衍射、光的偏振、光的量子性、激光与全息。各章均配有内容提要、思考题和习题。某些公式的数学推导作为附录列在书末。

本书可作为二、三年制师专和教育学院物理专业的教材，也可以作为中学物理教师的教学参考书。

参加本书编写的有郭胜康（绪论、第三、六、八、九章）、崇斯铭（第二、五、七章）、何鉴华（第一、二、四章）。并由郭胜康担任全书统稿，崇斯铭参加部分统稿工作。

本书主审人：李佩赞副教授

责任编辑：周惠

高等师范专科学校试用教材

光 学

江苏省师专物理教材编写组编

南京工学院出版社出版

南京四牌楼2号

南京工学院印刷厂印刷 江苏省新华书店发行

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 12¹/₁₆ 字数 288 千字

1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷

印数 1——5000册

ISBN 7-81023-032-8/O·32

统一书号：13409·009 定价：2.00元

前 言

我省自一九七八年以来，为适应普及九年制义务教育的需要，已先后恢复和新建了七所高等师范专科学校。但由于各种原因，各师专长期使用师范院校本科或综合性大学教材。随着教学改革的深入，越来越感到教材对办出师专自己的特色，构筑初中教师合理的智能结构，提高教学质量关系极大，因此迫切需要建设师专自己的教材体系。为此，江苏省高教局于一九八五年委托镇江师专原校长江静同志负责组织编写师专物理专业主干课系列教材作为试点。

这套《普通物理学》教材共分五册，即力学、热学、电磁学、光学和近代物理学，可作为师专、教育学院物理专业和培训初中物理教师的教材，也可作为师专函授、自学考试的教材。

在编写这套教材过程中，坚持以辩证唯物论和三个面向为指导，以一九八二年“全国师专物理专业教学大纲审定会”通过的师专物理专业教学大纲为依据，结合师专和初中物理教学实践进行修订后的新大纲编写的。教材编写努力遵循“少而精”、“理论联系实际”、“循序渐进”、“因材施教”的原则，因而具有以下特点：

一、教材既力求使内容具有科学性、系统性，又注意师范性和启发性，摒弃陈旧内容，适当反映具有基础知识性质的现代化科学技术成就，同时还注意吸收这几年师专和中学物理教学改革的经验，因而使内容结构体系更能适应培养目标和业务规格的要求。

二、教材着重阐述基本物理现象、基本物理概念、基本物

理规律，注意避免“理论化”的倾向。教材叙述力求深入浅出，简明扼要，通俗易懂，便于教和学。

三、教材注意开发学生智力和培养学生的实践能力，重视联系生产、生活和中学教学实际，注意从实际提出问题、分析问题和解决问题。每章之后有内容提要和一定数量的思考题及习题，有利于学生自学和思考。本书还注意适当介绍物理学史和物理学家生平以及物理规律的发现和发展过程，以启发和培养学生思维能力和科学方法。

四、教材比较注意演示实验，并有较多的插图，比较生动直观，形式也较新颖。

编写领导组以江静同志为组长，成员有孔祥羽，钱如竹，周荣秋，许国柱，郭胜康，仲嘉霖，王中兴。参加教材编写的有南通师专、淮阴师专、盐城师专、镇江师专、苏州师专和徐州师专物理系科部分教师。他们在江苏省高教局领导下，在各师专，特别是镇江师专的大力支持下，同心协力，克服困难，终于在一年半时间内完成了编审任务，为师专教材建设作出了贡献。

教材主审组由苏州大学许国樑教授任组长，镇江师专刘昌年副教授和苏州大学李振亚教授任副组长，负责全书审定工作。另有南京师范大学李增林副教授、沈洪清副教授，苏州大学李佩赞副教授，扬州师院毛明副教授参加。他们在分别负责各册审定工作时还对教材体系、内容的取舍和深广度，以及编写方法、特色等提出了许多具体的宝贵意见，在此表示衷心感谢。

这套教材由于时间短促和编者水平的限制，不妥甚至错误之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见，以便再版时修正。

序

近十年来，全国共编审出版了高等学校各科教材四千七百余种，可是，为高等师范专科这个类型和层次的学校编写出版的教材却很少，这是目前我国高校教材建设工作中的一个不足之处。特别是在我国颁布九年制义务教育法以后，担当培养初中教师任务的二百多所师范专科学校的教材建设就显得更加迫切和重要了。

为了贯彻实行九年制义务教育法和培养初中教师，编写和出版适合师专这一类型和层次的教材已刻不容缓。江苏省教育委员会高教局有鉴于此，组织编写一套供二、三年制师专物理科教学用的《普通物理学》教材作为试点。我感到这是十分必要和非常及时的。

《普通物理学》是师专物理科的主要专业基础课程。它是物理专科学业务培养的关键，它决定了物理专科生的业务素质。它不仅是学生毕业后从事初中物理教学的重要内容，而且也是进一步自学物理学的基础。因此，师专物理科的《普通物理学》教材和教学质量必须有效地得到保证。

在编写师专《普通物理学》教材过程中，我们始终要求各编者要注意克服当前普遍存在的“攀高”思想和普通物理教学“理论化”的严重倾向，同时还要着力于师专这一层次普通物理教学的特色，希望这套教材力求做到“准、宽、浅、新”。

“准”是指必须保证教材内容的科学性、系统性。概念的阐明、原理的论证、公式的推导、数据的引用、实验的介绍、现象的叙述等，都要做到严谨可靠。根据普通物理：《力学》、

《热学》、《电磁学》、《光学》和《近代物理学》的内在联系，结合学生的认识结构、知识结构，使各门、各部分之间紧密配合，由浅入深，保持前后贯通的科学体系与教学体系相结合的系统性。“准”还指教材内容要对准师专培养目标的师范性和实用性，不要片面地向高层次教材看齐。

“宽”是教材在保证“三基”内容的基础上，注意反映物理规律的发现和发展过程，前辈物理学家的学术思想、实验和研究方法，从而拓宽学生的知识面，开阔学生的视野，并锻炼学生联系实际和实验动手能力。“宽”并不是离开培养目标的主旨，任意堆砌，而要做到“宽”而不杂。

“浅”是教材内容要从学生、学校和培养目标的实际出发，防止理论化，要考虑其可接受性，有利于培养学生自学能力。物理就是要‘即物说理’，重视联系物理实验、生产和生活实际，联系中学物理教材和教学的实际，加强物理图象和物理模型的教学。“浅”是深入浅出，要做到浅而不低。

“新”是教材内容、体系和风格都要有一定的新意，并要适当反映具有基础性质的现代物理科学新成就和一定的物理学前沿情况，加强教材内容的启发性。教材要做到这一点是不容易的，这套书在这方面做了一点尝试。

这套教材通过各编审者的反复讨论和多次修改，向“准”、“宽”、“浅”、“新”方面做了一点努力，体现了师专教材的特色，符合师专的教学要求，可以作为师专普通物理课试用教材，但由于时间仓促和水平的限制，书中不免还有疏漏、欠妥或错误之处，至希广大读者提出宝贵意见，俾以再版时修改。

许国樑 于苏州大学

1987年2月

目 录

绪论	(1)
----	-------

第一章 光的传播

§ 1-1 光线与波面	(5)
§ 1-2 几何光学的基本定律	(9)
§ 1-3 光的全反射 消逝波	(14)
§ 1-4 光学纤维及其应用	(16)
* § 1-5 大气中的光学现象	(20)
本章提要	(26)
思考题	(27)
习题	(27)

第二章 平面光学系统

§ 2-1 理想成象的几个概念	(30)
§ 2-2 平面反射成象	(32)
§ 2-3 平面折射成象	(35)
§ 2-4 棱镜 色散	(38)
* § 2-5 颜色	(44)
本章提要	(47)
思考题	(49)
习题	(49)

第三章 球面光学系统

§ 3-1 光在球面镜上的反射	(52)
-----------------	------

§ 3-2	非球面镜简介	(61)
§ 3-3	光在单球面上的折射	(64)
§ 3-4	薄透镜	(74)
§ 3-5	光学系统的光心	(83)
§ 3-6	透镜的等光程性	(87)
§ 3-7	共轴球面系统	(90)
* § 3-8	光阑与象差	(95)
本章提要		(101)
思考题		(103)
习题		(104)

第四章 光学仪器

§ 4-1	眼睛与眼镜	(108)
§ 4-2	放大镜 目镜	(113)
§ 4-3	显微镜	(118)
§ 4-4	望远镜	(122)
§ 4-5	照相机 感光底片的特性	(129)
* § 4-6	幻灯机 书写投影仪 电影放映机	(134)
* § 4-7	棱镜光谱仪	(136)
§ 4-8	光度学的几个物理量	(139)
本章提要		(145)
思考题		(147)
习题		(148)

第五章 光的干涉

§ 5-1	光的干涉现象	(151)
§ 5-2	光波的叠加	(154)

§ 5-3	双缝干涉	(161)
§ 5-4	双面镜 双棱镜和洛埃镜	(168)
* § 5-5	干涉条纹的可见度 空间相干性和时间相干性	(172)
§ 5-6	薄膜干涉	(178)
§ 5-7	空气劈和牛顿环	(184)
* § 5-8	增透膜 高反膜	(191)
§ 5-9	迈克耳逊干涉仪	(193)
* § 5-10	傅里叶变换光谱仪	(198)
§ 5-11	多光束干涉	(200)
本章提要		(205)
思考题		(208)
习题		(211)

第六章 光的衍射

§ 6-1	光的衍射现象	(216)
§ 6-2	惠更斯-菲涅耳原理	(219)
§ 6-3	菲涅耳圆孔衍射 波带片	(222)
§ 6-4	夫琅和费单缝衍射	(229)
§ 6-5	夫琅和费圆孔衍射 分辨本领	(239)
§ 6-6	夫琅和费双缝衍射	(245)
§ 6-7	夫琅和费多缝衍射 衍射光栅	(251)
* § 6-8	晶体对伦琴射线的衍射	(262)
本章提要		(265)
思考题		(268)
习题		(270)

第七章 光的偏振

§ 7-1	自然光和偏振光	(275)
§ 7-2	反射和折射引起的偏振	(282)
§ 7-3	偏振片 马吕斯定律	(284)
§ 7-4	双折射现象	(289)
§ 7-5	偏振棱镜	(296)
§ 7-6	椭圆偏振光和圆偏振光	(299)
§ 7-7	偏振光的干涉	(303)
* § 7-8	旋光现象 磁光效应	(308)
* § 7-9	电光效应 弹光效应	(311)
本章提要		(317)
思考题		(319)
习题		(322)

第八章 光的量子性

§ 8-1	黑体辐射 普朗克量子假设	(326)
§ 8-2	光电效应 爱因斯坦方程	(333)
§ 8-3	康普顿效应	(341)
§ 8-4	光的波粒二象性	(348)
本章提要		(354)
思考题		(355)
习题		(356)

第九章 激光与全息

§ 9-1	原子的激发与辐射	(358)
§ 9-2	激光的基本原理	(365)

§ 9-3 典型的激光器	(368)
§ 9-4 激光的特性与应用	(372)
§ 9-5 全息照相	(374)
本章提要	(379)
思考题	(379)
习题	(380)
〔附录一〕 虹霓最小偏向角的计算	(381)
〔附录二〕 棱镜最小偏向角的数学推导	(383)
〔附录三〕 共轴球面系统基点的确定	(384)
〔附录四〕 多缝干涉光强公式的推导	(387)
〔附录五〕 夫琅和费双缝衍射光强公式的推导	(388)
〔附录六〕 由普朗克公式导出斯忒藩-玻耳兹曼定律	(390)
〔附录七〕 由普朗克公式导出维思位移定律	(391)
基本物理常数表	(392)
参考文献	(393)

绪 论

一、光学发展简史

光学是物理学中一门重要的基础学科，也是近代物理和现代科学技术的前沿阵地之一，它有着宽广的发展前途。但是，人们对光的认识，却经历了一个漫长的时期。

光学具有悠久的发展历史。我国是研究光学最早的国家，在光学发展史上记载着光辉的篇章。早在春秋战国时期，墨翟（公元前468—376年）和他的学生所著的《墨经》中就阐述了光的直线传播、光的反射及反射成象，这是光学史上的最早记载。一百多年后，希腊的欧几里德（Euclid）才有平面镜成象和反射定律的论述。后来，我国的《考工记》以及沈括（公元1013—1095年）所著的《梦溪笔谈》中都记载着丰富的光学知识。特别是《梦溪笔谈》中对凹面镜、凸面镜的成象规律，测定凹面镜焦点的原理，月的盈亏及日食、月食、虹的成因等等都作了创造性的描述。

到了十七世纪后半叶，牛顿（I. Newton）在发现了许多光学现象后，根据光的直线传播规律，首次提出了光是一种微粒流的理论，他认为微粒从光源射出，在真空或均匀物质里作匀速直线运动，并以此解释光的反射定律和折射定律。而惠更斯（C. Huggens）反对牛顿的微粒论，在1687年发表的《论光》一书中，认为光是一种在弹性介质（以太）中传播的波，粗略地指出了光具有波动的性质。由此可见，在这里，人们对光的本性有着两种不同的认识。由于惠更斯波动

本身很不完善，他没有指出光现象的周期性，不能解释光的干涉、衍射等有关光的波动性的现象，因此在十七、十八世纪的一百多年中，光的微粒说理论在光学中一直居统治地位。

到了十九世纪初，杨氏 (T. Young) 第一个用双针孔显示了光的干涉现象。它是导致光的波动说被普遍承认的一个决定性实验，具有重要的历史意义。随后，菲涅耳 (A. J. Fresnel) 等人完成了几个新的干涉实验，从而为光的波动说奠定了坚实的实验基础。菲涅耳还引用了子波相干的思想对惠更斯原理作了补充，发展形成了惠更斯-菲涅耳原理。用此原理不仅圆满地解释了光在均匀各向同性介质中的直线传播，而且还可以解释光的衍射现象。

1808年马吕斯 (E. L. Malus) 发现光的偏振现象，说明光是一种横波。1845年法拉第 (M. Faraday) 发现光的振动面在磁场中会发生旋转。这些新的发现进一步说明了光具有波动性。

1865年麦克斯韦 (J. C. Maxwell) 电磁理论的发表，预言了电磁波的存在。1887年赫兹 (H. R. Hertz) 实验产生了电磁波，并从实验证明了电磁波具有和光波一样的性质，能够被反射、折射和产生偏振，且以光速传播等等。从此，光是电磁波的观点代替了光是机械波的看法，使光的波动理论产生了一次飞跃。

十九世纪末，光是电磁波和光的电磁理论已普遍为人们所接受，并乐观地认为对光的本性的认识已基本解决。但是，当时应用光的电磁理论却无法解释关于黑体辐射能量按波长分布和金属表面受光照射放出电子等现象。1900年普朗克 (Max. Planck) 用不连续性的概念提出了辐射的量子理论，他认为振子的能量不能连续变化，振子辐射各种频率的电磁波时，只能

是某个最小能量单位的整数倍，这个最小能量单位称为量子。用普朗克的量子论可以圆满地解释炽热物体辐射能量按波长分布的规律。1905年爱因斯坦（A. Einstein）发展了普朗克的量子假设，他认为光是由光量子即光子组成，光作用于物质时，光子将能量转移给电子，从而圆满地解释了光电效应的实验规律。其后，在其它的一些实验中，也都有力地证明了光具有量子性。于是光的微粒性又提到了重要的地位。

总之，从光的干涉、衍射、偏振等现象和麦克斯韦的光的电磁理论，说明光是电磁波；而从热辐射、光电效应和康普顿效应等现象，说明光具有量子性，这就是常称的光的波粒二象性。必须指出，这种对光的本性的近代认识，已完全不同于牛顿的机械微粒说和惠更斯的机械波动说，它是更加接近客观实际的概括。

关于光的波粒二象性的概念，初看起来似乎是矛盾的，因为从机械观点看，微粒是不连续的，波动是连续的，但这正说明不能用经典微粒和机械波的概念去想象电磁波和光子的图象，不能用经典的概念去说明一切客观实际，客观世界的物质比机械的图象要复杂得多。即使在今天，人们对光的本性的认识也远远没有达到最后的境界，还有待于深入和发展。

二、光学研究的对象与方法

光学是研究光的本性、光的传播以及光与物质相互作用的科学。光学既是物理学中最古老的科学之一，又是目前发展迅速，非常活跃的新的科学领域。

按照光学发展的历史和研究方法的不同，光学可分为几何光学、波动光学、量子光学和近代光学四大部分。

几何光学是以光的直线传播、光的反射和折射定律为基础，借助“光线”的概念，用几何学的方法研究光的传播和成

象问题。所以几何光学又称光线光学。

波动光学是通过对光的干涉、衍射和偏振等现象的研究，揭示光的波动本性，指出光波是特定波段内的电磁波。

量子光学是根据光的量子性，用量子理论研究光与物质的相互作用，如黑体辐射、光电效应和康普顿效应等。这部分内容常涉及到原子范围的微观领域，经典理论不再适用，实际上这类问题已是近代物理的研究对象。

对于近代光学的某些内容本书只在有关章节中扼要介绍。

第一章 光的传播

本章首先说明光波的波谱以及光线和波面的关系，并指出几何光学的近似意义；再在研究几何光学基本定律的基础上讨论光在介质界面产生的全反射现象，光学纤维及其应用；最后介绍大气中的光学现象。

§ 1-1 光线与波面

一、光线与电磁波

按照麦克斯韦电磁场理论，电磁波在真空中的传播速度为

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1-1-1)$$

式中 ϵ_0 为真空中的介电常数， μ_0 为真空中的磁导率。由实验测得 $\epsilon_0 = 8.54198 \times 10^{-2}$ 库仑²/牛顿·米²； $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 韦伯/安培·米。因此 c 的数值是只与电磁学公式中的比例系数有关的一个普适常数， $c = 2.9979246 \times 10^8$ 米/秒。此数值与光在真空中的传播速度正好相等，于是麦克斯韦认为光是某一波段的电磁波，由此产生了光的电磁理论。光的电磁理论的确立，不仅把光学和电磁学这两门学科联系起来，而且推动了光学和整个物理学的发展。

电磁波的频率或波长的范围很宽。习惯上，把能够引起视觉的电磁波称为光波。光波只是在整个电磁波中占一个很窄的