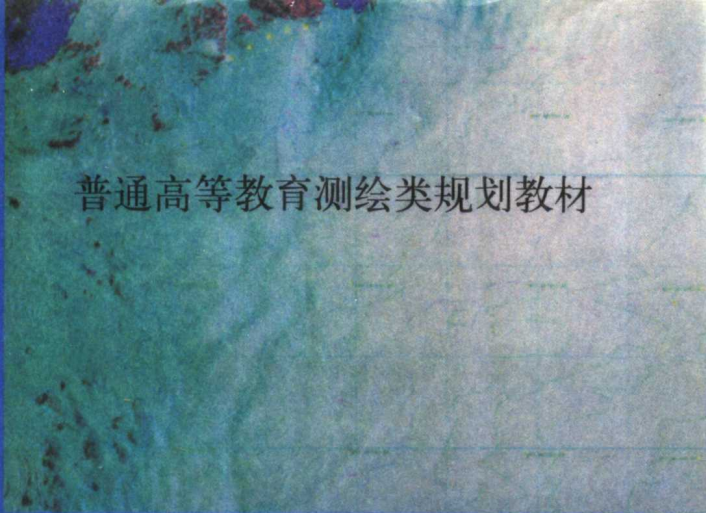
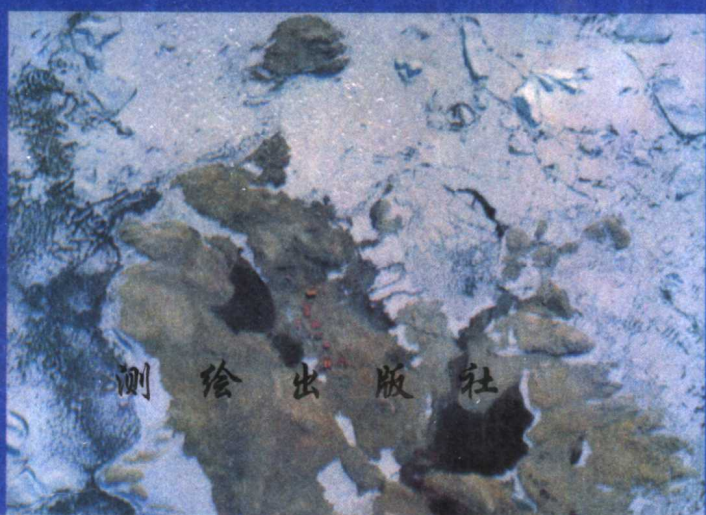




普通高等教育测绘类规划教材

遥感原理、方法 和应用

孙家柄 舒宁 关泽群 编著



测绘出版社

普通高等教育测绘类规划教材

遥感原理、方法和应用

孙家柄 舒 宁 关泽群 编著

测 绘 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书根据十几年来遥感教学经验、科研成果及国内外遥感技术的最新发展编著而成。全书共分三篇十七章,讲述了遥感信息获取、遥感图像各种处理、分类判读及制图的基本原理、具体方法和作业流程。并结合国内外遥感的成就,在多方面列举了典型的应用实例。

本书是摄影测量与遥感专业、信息工程专业本科教材,也可供有关专业大专院校师生和科研技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感原理、方法和应用/孙家柄等编著. -北京:测绘出版社,1997.6
ISBN 7-5030-0895-4

I. 遥… II. 孙… III. 遥感技术-基本知识 IV. TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 19774 号

测绘出版社出版发行

(100054 北京市宣武区白纸坊西街 3 号 010—63529246)

三河市艺苑印刷厂印刷·新华书店经销

1997 年 6 月第 1 版·2002 年 1 月第 3 次印刷

开本:787×1092 1/16·彩插 8 印张:30.25

字数:698 千字·印数:6501—8500 册

定价:32.50 元

前 言

航空摄影测量专业本科自 1979 年开设遥感技术课程以来,已 17 个年头。教材内容随遥感技术的发展而不断更新,尤其是优良的遥感实验设备的建成和大量遥感科研项目的完成,使教材内容更加丰富和实用化。因此除了航空摄影测量专业外,其它许多专业也相继开设遥感课程。根据多年来的教学实践和经验及为了适应教学的需要,我们重编了这本教材,供摄影测量与遥感专业和信息工程专业本科学生使用,也适合于地图制图、大地测量、工程测量、城乡规划、计算机应用和建筑工程等专业的研究生和本科学生使用,同时可供与遥感有关的大专院校师生和工程技术人员作参考。

全书共分三篇十七章。第一篇内容主要包括遥感物理基础和 Information 获取,第二篇以遥感数据处理和制图内容为主,第三篇介绍遥感技术各个领域中的应用。教材内容以基本原理、常用方法和已取得的应用成果为主,也介绍了遥感的最新成就和发展趋势。对于与遥感密切相关的学科,如地理信息系统、全球定位系统、专家系统等,因在遥感系列课程中有专门的详细教材,这里只作简单的原理介绍,重点讲解它们在遥感中如何使用或与遥感的关系。在专业应用的章节中,亦不再对各种专业知识作详细介绍,只叙述应用方法和应用实例。

本书第一、二、三、六、八、九、十二、十五、十七章由孙家柄教授编写,第七、十两章为杨凯教授编写,舒宁教授编写第四、五章并对第七、十两章补编了一些内容,关泽群副教授编写第十一、十三、十四章,刘继琳高级实验师参加了第六、十二、十七章的编写,马吉苹讲师参加了第十四章和第十六章的编写。本书经全国高等学校测绘类专业教学指导委员会审定。在审阅过程中,得到了中国人民解放军测绘学院潘时祥教授、张向前副教授和中国测绘科学研究院邱志成研究员的热忱支持和大力帮助,武汉测绘科技大学潘斌和贾永红等同志也对本书作出过帮助,在此一并表示衷心感谢。

由于受编写时间和作者水平之限,全书难免存在缺点和错误,敬希读者批评指正。

作 者

1996 年 10 月

目 录

绪言	(1)
----	-------

第一篇 遥感信息获取

第一章 电磁波谱与地物的波谱特性	(3)
§ 1-1 电磁波及电磁波谱	(3)
§ 1-2 物体的发射辐射	(10)
§ 1-3 物体的反射辐射	(16)
§ 1-4 地球大气及其传输特性	(23)
第二章 遥感卫星及其运行轨道	(30)
§ 2-1 卫星空间轨道及其运行特征	(30)
§ 2-2 遥感平台及其轨道特征	(40)
第三章 遥感传感器及其成像原理	(54)
§ 3-1 摄影类型传感器	(54)
§ 3-2 扫描成像类型传感器	(62)
§ 3-3 微波成像类型传感器	(93)
第四章 遥感信息的获取和监测系统	(104)
§ 4-1 控制中心和跟踪站	(105)
§ 4-2 地面接收站和数据中继卫星	(106)
§ 4-3 数据处理中心和应用、培训中心	(110)
§ 4-4 遥感基础研究中心、遥感试验场和遥感数据收集站	(111)
第五章 遥感图像的产品种类和格式	(114)
§ 5-1 CCT 磁带数据的种类和格式	(114)
§ 5-2 HAAT 文件	(119)
§ 5-3 BIP ₂ 、BSQ 和 BIL 格式	(121)
§ 5-4 胶片、像片产品种类和像片的符号注记	(125)
§ 5-5 卫星图像各种产品的购置	(126)

第二篇 遥感图像处理、判读和制图

第六章 遥感数字图像处理系统	(133)
§ 6-1 遥感数字图像处理的硬件系统	(133)
§ 6-2 遥感数字图像处理的软件系统	(136)
§ 6-3 微机图像处理系统——ERDAS	(137)
§ 6-4 ARIES Ⅱ / Ⅲ 图像处理系统	(141)

§ 6-5	MERIDIAN 遥感图像处理系统	(148)
§ 6-6	基于 UNIX 工作站的图像处理系统	(154)
第七章	遥感图像的几何校正	(160)
§ 7-1	遥感传感器的构像方程	(160)
§ 7-2	遥感图像的几何变形	(168)
§ 7-3	遥感图像几何校正的光学处理	(181)
§ 7-4	遥感数字图像的几何处理	(187)
第八章	遥感图像增强处理	(217)
§ 8-1	基础知识	(217)
§ 8-2	光学增强处理技术	(226)
§ 8-3	数字增强处理技术	(246)
§ 8-4	频域处理技术	(264)
第九章	遥感图像的目视判读	(273)
§ 9-1	景物特征和判读标志	(273)
§ 9-2	目视判读的一般过程和方法	(286)
§ 9-3	遥感图像目视判读举例	(289)
第十章	遥感图像的计算机分类	(302)
§ 10-1	遥感图像计算机分类的一般原理	(303)
§ 10-2	分类判决函数和判决规则	(308)
§ 10-3	特征选择	(314)
§ 10-4	非监督分类方案和监督分类方案	(324)
§ 10-5	光谱特征分类中的辅助处理技术	(333)
§ 10-6	遥感图像计算机分类新方法	(342)
第十一章	遥感专题制图	(346)
§ 11-1	遥感专题制图概述	(346)
§ 11-2	遥感专题地图的编制	(351)
§ 11-3	专题地图的符号和表示方法	(361)

第三篇 遥感技术的应用

第十二章	遥感技术在测绘方面的应用	(375)
§ 12-1	制作卫星影像图和地图修测	(375)
§ 12-2	陆地地形图和地图的测绘	(377)
§ 12-3	特殊条件下的地形测绘	(379)
第十三章	遥感技术在农、林、牧方面的应用	(387)
§ 13-1	遥感信息应用于农作物估产	(387)
§ 13-2	遥感图像多阶抽样估算地物面积	(391)
§ 13-3	遥感技术在森林立地类型调查中的应用	(396)

§ 13-4	草场资源分类和评价	(401)
§ 13-5	土壤侵蚀的遥感定量分析	(404)
§ 13-6	遥感技术用于防汛救灾	(407)
第十四章	遥感技术在环境监测方面的应用	(411)
§ 14-1	环境遥感图像的目视判读特点	(411)
§ 14-2	大气环境监测	(411)
§ 14-3	水环境监测	(414)
§ 14-4	城市污染的遥感监测	(415)
§ 14-5	遥感图像中的水系特征及其相关分析	(418)
第十五章	遥感技术在地质找矿中的应用	(426)
§ 15-1	遥感图像上的地质构造	(426)
§ 15-2	遥感图像的岩性分类	(429)
§ 15-3	遥感技术在找矿方面的应用	(432)
第十六章	遥感技术在考古、旅游资源和军事等方面的应用	(433)
§ 16-1	遥感技术在考古方面的应用	(433)
§ 16-2	遥感技术在旅游资源开发中的应用	(439)
§ 16-3	遥感技术在军事上的应用	(440)
第十七章	遥感与地理信息系统的集成和应用	(444)
§ 17-1	地理信息系统的硬、软件组成	(444)
§ 17-2	地理信息的数据结构和地理数据库	(445)
§ 17-3	地理信息的空间检索和空间分析	(448)
§ 17-4	实用的 GIS 软件系统 ARC/INFO	(450)
§ 17-5	遥感与地理信息系统及其它诸系统的集成和它的应用	(452)
附录 1	MSS 卫星像片的文字字母注记	(456)
附录 2	CCT 磁带中卷目录文件中的卷说明记录	(458)
附录 3	卷目录文件中的文件指针记录	(459)
附录 4	文件描述记录格式与内容	(460)
附录 5	HAAT 记录格式的详细说明	(461)

绪 言

遥感，广义地说，是在不直接接触的情况下，对目标物或自然现象远距离感知的一种探测技术。英文 Remote sensing，法文 Teledetection，德文 Fernerkundung，俄文 Дистанционной Зондирование，及原日文“远隔探测”（现用英文外来语リモートセンシング）都泛指此意。狭义而言，是指在高空和外层空间的各种平台上，运用各种传感器（如摄影仪、扫描仪和雷达等等）获取地表的信息，通过数据的传输和处理，从而实现研究地面物体形状、大小、位置、性质及其环境的相互关系的一门现代化应用技术科学。

遥感技术在 20 世纪 60 年代兴起，它是在航天技术、计算机技术、传感器技术等推动下发展起来的。遥感技术促使摄影测量发生了革命性的变化，它在地学和环境学方面的广泛应用，产生了十分可观的经济效益和显著的社会效益。目前人类面临着人口、环境、资源和灾害四大问题，而遥感技术是调查、监测和分析这四大难题的最好手段之一。

30 多年来，由于各国对遥感技术进行了广泛的研究、试验和应用，又因其它高新技术的发展和融合到遥感技术中来，使遥感技术出现突飞猛进的发展。如在光谱探测方面，成像光谱仪的出现，使每个波段的波区变得越来越窄，达到 10nm 以下，波段数多达 288 个（机载成像光谱仪），使得获取的光谱信息更加丰富，有效地反映了地物的真实谱貌，未来在卫星平台上也将安装成像光谱仪。而传感器的空间分辨力也在迅速提高，目前民用遥感传感器的空间分辨力已达到 5m 左右，美国 Itek 光学系统公司、轨道科学公司（OSC）和 GDE 系统公司曾打算在 21 世纪初联合发射 Eyeglass™ 立体观测卫星，它的空间分辨力将高达 1m，可全面替代测绘 1：25000 比例尺地形图的航空摄影，又可用于 1：10000 比例尺地形图的修测，在资源和环境探测方面也将提供更清晰的空间特征。原来微波遥感比较落后，而现在微波传感器被大量地安装在遥感卫星上，如日本的 JERS-1，欧空局的 ERS-1 等，加拿大发射的雷达卫星，使微波成像技术获得了进一步的发展。多平台、多种传感器、多时相遥感数据获取和综合应用试验也在大规模地进行，美国和西方一些国家在进入 21 世纪后，将要执行的 EOS 全球观测系统空间站计划，将对全球环境作长期的全面的监测。

在遥感数据处理方面，计算机容量和计算速度以惊人的速度扩大和加快，使海量遥感数据的同时快速处理成为现实。由于大规模集成电路、磁盘介质（如光盘的出现）的改进，对于用户来讲，原来设备庞大的大、中、小型遥感图像处理系统，将可以用轻便的个人计算机来代替。中继通讯卫星的应用，使遥感数据实现实时传输，再加上目前国际计算机网络的开通和信息高速公路技术的成熟，将使遥感图像的索取、显示、处理和分析也能实现实时化。我国研制的航空遥感实时传输系统是用于应急灾害监测和灾情评估的实时系统的一个例子。

地理信息系统（GIS）的发展和应用，使遥感技术的潜力得到进一步的发挥。遥感图像

与 GIS 数据库中的大量背景数据的叠合分析，大大提高了遥感图像的识别能力和可信度，GIS 还是遥感探测成果的评价和空间分析的一种有效工具。而遥感也为地理信息系统数据库更新提供现时信息的最佳手段之一，两者的结合势在必行。全球定位系统 (GPS) 为遥感图像提供精确的实时定位数据，使得遥感图像的实时几何校正处理和遥感图像与 GIS 数据的精确配准成为可能。知识工程技术即所谓专家系统，为遥感图像理解和自动判读提供了一种基于知识的高水平的分析方法。这些技术与遥感技术的集成和融合，必将为遥感技术的发展开辟前所未有的美好前景。

第一篇 遥感信息获取

第一章 电磁波谱与地物的波谱特征

§ 1-1 电磁波及电磁波谱

§ 1-1-1 电磁波

根据麦克斯韦电磁场理论，假定在空间某区域内有变化电场，那么在邻近区域内将引起变化磁场；这一变化的磁场又在较远的区域内引起新的变化电场，并在更远的区域内引起新的变化磁场。这种变化的电场和磁场交替产生，由近及远，以有限的速度在空间内传播的过程称为电磁波。它是一种横波，如图 1-1-1 所示。

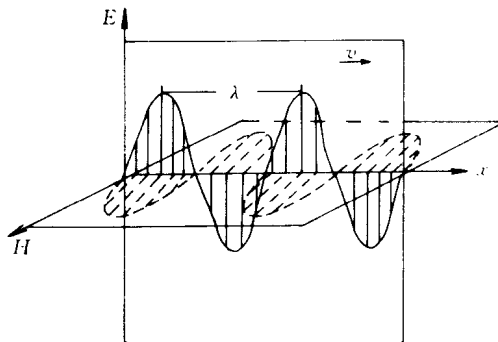


图 1-1-1 电磁波——横波

还可用下列方程组表达：

$$\begin{aligned}\frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial t} &= - \frac{\partial E}{\partial x} \\ \frac{\epsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} &= - \frac{\partial H}{\partial x}\end{aligned}\quad (1-1-1)$$

式中 ϵ 为介质的相对介电常数, μ 为相对导磁率, c 为光速。

将上式中第一式对 x 微分。第二式对 t 微分。消去 H 项得:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} &= \frac{c^2}{\epsilon\mu} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \\ \frac{c^2}{\epsilon\mu} &= v^2\end{aligned}\quad (1-1-2)$$

v 表示电场强度 E 在媒质中沿 x 方向传播的速度。

电磁波既表现出波动性, 又表现出粒子性, 称波粒二象性。连续的波动性和不连续的粒子性是相互排斥, 相互对立的; 但两者又是相互联系并在一定的条件下可以相互转化的。可以说波是粒子流的统计平均, 粒子是波的量子化。

1. 波动性

单色波的波动性可用波函数来描述, 波函数是一个时空的周期性函数。其解析式如下:

$$\psi = A \sin[(\omega t - kx) + \varphi] \quad (1-1-3)$$

ψ
波
函
数

A
振
幅

$(\omega t - kx)$
角
频
变
量
圆
波
数
变
量

φ
初
相
位

其中:

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu; \\ k &= \frac{2\pi}{\lambda} = 2\pi N; \\ N &= \frac{1}{\lambda}.\end{aligned}$$

波函数是由振幅和位相两部分组成, 一般成像原理只记录振幅, 只有全息成像时, 才既记录振幅又记录位相。

光的波动性形成了光的干涉、衍射、偏振等现象。

(1) 干涉

干涉现象的基本原理是波的叠加原理。一列波在空间传播时, 在空间的每一点都引起振动, 当两列波在同一空间传播时, 空间各点的振动就是各列波单独在该点产生的振动的叠加合成。杨氏实验可观察到光的干涉现象, 相干光在空间一点叠加后的强度为:

$$I = I_1 + I_2 + 2I_1I_2\cos\delta \quad (1-1-4)$$

式中: I_1 和 I_2 为两列频率相同、振动方向相同, 且具有固定位相关系的光波的强度;

δ 为上面所述两列光波的位相差;

I 为叠加后的强度。

(2) 衍射

光线偏离直线路径的现象称为光的衍射。夫朗和费衍射装置的单缝衍射实验，可以观察到衍射现象。在入射光垂直于单缝平面时的单缝衍射图样中，可以看到中央有特别明亮的亮纹，两侧对称地排列着一些强度较小的亮纹，各条亮纹的强度为：

$$I_{\theta} = I_0 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (1-1-5)$$

式中： θ 为衍射角；

I_0 为衍射角等于 0 时的光强度；

I_{θ} 为衍射角等于 θ 时的光强度；

$\alpha = \delta/2$ ，即位相差的一半；

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L = \frac{2\pi a \cdot \sin \theta}{\lambda}。$$

(ΔL 为衍射角 θ 时，单缝两端光线偏离直线后引起的路程差) (a 为单缝的宽度)。

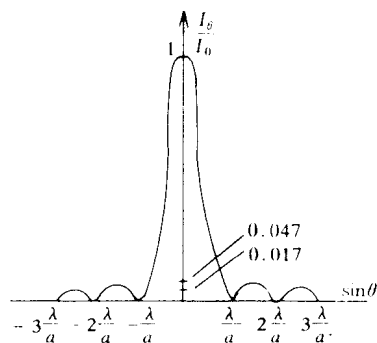


图 1-1-2 衍射光强度分布

如果单缝变成小孔，则单色平行光束照射小孔后，由于小孔衍射，在屏幕上出现的不是一个亮点，而是一个亮斑，亮斑周围还有逐渐减弱的明暗相间的条纹，其强度分布如图 1-1-2 所示。

一个物体通过物镜成像，实际上是物体上各点发出的光线，在屏幕上形成的亮斑组合而成。如距离很近的两个物点发出的光，经透镜在屏幕上形成两个亮斑，其叠加后的亮度分布如图 1-1-3 所示，当两个亮斑靠近到一定距离时，就叠合成一个峰值，也就是说原来两个物点在屏幕上已无法分辨。光学仪器刚刚能分辨两个物点的张角 θ_0 称为光学仪器的最小分辨角，它与物镜的孔径 d 成反比，与入射光的波长 λ 成正比，可由下式表示：

$$\theta_0 = 1.22 \frac{\lambda}{d} \quad (1-1-6)$$

最小分辨角的倒数称光学仪器的分辨本领。

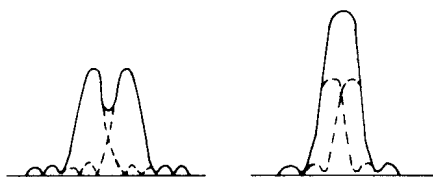


图 1-1-3 衍射引起的亮斑叠合与光学仪器的分辨能力

(3) 偏振

电磁波是横波，由两个相互垂直的振动矢量即电场强度 E 和磁场强度 H 来表征。而 E 和 H 都与电磁波的传播方向相垂直，光是电磁波的特例。在光波中，产生感光作用和生理作用的是电场强度 E ，因此，将 E 称为光矢量， E 的振动称为光振动。

如果光矢量 E 在一个固定平面内只沿一个固定方向作振动，则这种光称为偏振光，和

振动方向相垂直且包含传播方向的面称偏振面。分子、原子在某一瞬间所发出的光本是偏振的，光矢量具有一定的方向，但光源中由大量的分子或原子所发出的光，一个接一个以极快的不规则的次序取所有可能的方向，不可能保持一定的优势方向，所以自然光，如太阳光是非偏振的，在所有可能的方向上， E 的振幅都可以看作完全相等的。介于自然光和偏振光之间的称为部分偏振光，其偏振程度可以用偏振度 P' 来衡量：

$$P' = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1-1-7)$$

自然光的 $I_{\max} = I_{\min} = I_0$ ， $P' = 0$ 叫做非偏振光；偏振光的 $I_{\min} = 0$ 时， $P' = 1$ 叫全偏振光。

许多散射光、反射光和透射光都是部分偏振光，且其偏振度与有关物质的性质有关。偏振在微波技术中称为“极化”。

2. 粒子性

粒子性的基本特点是能量分布的量子化。一个原子不能连续地吸收或发射辐射能，只能不连续地一份一份地吸收或发射能量，即光能有一最小单位，叫做光量子或光子，这种情况叫做能量的量子化。光子不仅具有一定的能量，而且还有一定的动量，能量与动量都是粒子的属性，因此，光子也是一种基本粒子。

实验证明，光子的能量 E 与其频率 ν 成正比，即

$$E = h\nu \quad (1-1-8)$$

光子的动量与其波长 λ 成反比，即

$$P = \frac{h}{\lambda} \quad (1-1-9)$$

上面二式中， E 、 P 分别为光子的能量和动量；

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{S} \text{ 称普朗克常数。}$$

3. 波动性和粒子性的关系

电磁波的波动性与粒子性是对立统一的。从 $E = h\nu$ 和 $P = h/\lambda$ 两式中可以看出，能量 E 、动量 P 是粒子性的属性，可表征粒子性；而频率 ν ，波长 λ 是波动性的属性，可表征波动性，两者通过普朗克常数 h 联系了起来，将此二式代入 1-1-3 的单色波函数式则得

$$\psi = A \sin \frac{2\pi}{h} [(E_t - P_x) + \varphi_0] \quad (1-1-13)$$

式中：

$$\varphi_0 = \varphi \frac{h}{2\pi}$$

上式说明一束沿 x 轴方向运动的能量为 E 、动量为 P 的光子流，随着时间有周期性变化。

从波动性来看，光的强度 I 与波函数的绝对值的平方成正比，比例常数为 1 时

$$I = |\psi|^2 \quad (1-1-14)$$

从粒子性来看，光强度 I 决定于单位时间内通过截面的光子数目的多少，称为光子流密度 ρ ，即

$$I = \rho \quad (1-1-15)$$

合并(1-1-14)和(1-1-15)，取比例常数为 1 时，则

$$\rho = |\psi|^2 \tag{1-1-16}$$

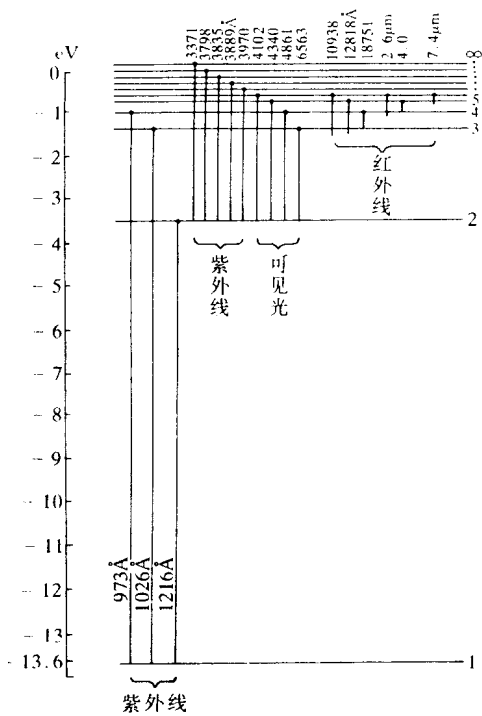
上式直接把光子密度与波函数的关系统一了起来，这就是粒子流与波函数的关系。

§ 1-1-2 电磁波谱

电磁辐射的产生与物质结构有密切关系，尤其是与原子能级、分子能级和固体能带直接有关。

1. 原子光谱

原子中核外电子的排布遵循最低能量原理，一般电子处于最低能级，称为基态，当外界供应能量，使电子跃迁到高能级位置，即处于激发态，但激发态极不稳定，大约只有 10^{-8} s就要跳回基态，从激发态跃迁至基态就会放出光子而发光。



式中 E 的单位为电子伏特 (eV)，由上式可算出各能级间的电子跃迁放出光子的波长，由于能量级差比较大，所以原子光谱为线光谱。

一般说来，电子绕核运动处于一个确定的能量运动状态之中时原子不发光；当原子中的电子能级发生改变时，就可能发光。当它从较高能级跃迁到较低能级时，形成发射光谱；反之，形成吸收光谱。

原子光谱主要是指由于外层电子的跃迁而产生紫外线、可见光和近红外线，如果用电子轰击金属（钨、钼、铜、铬等）打出内层电子，则外层电子将跃迁到内层去补充被打掉电子的空位，由于能量较大，将产生 X 射线。

原子核内部也有能级，原子核能级间跃迁产生的光子为 γ 射线。

2. 分子光谱

分子是由一个以上的原子结合成稳定的最小实体，在分子中原子与原子之间靠化学键结合，因此分子内部的电子运动比原子内部的电子运动复杂得多，除了电子跃迁外，还有分子内原子的振动与整个分子的转动。例如水蒸气分子键长变化产生的部分振动光谱如图 1-1-5 所示。

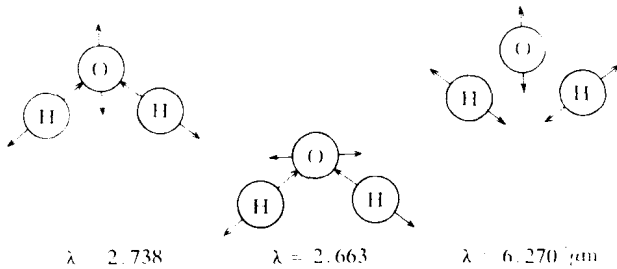


图 1-1-5 水蒸气分子的某些振动光谱

可见，不同的振动方式，产生不同波长的光子。分子与原子一样也有它的特征的分子能级图，因而可以产生特征分子光谱。分子的能量 E 为：

$$E = E_e + E_v + E_r \quad (1-1-19)$$

式中： E_e 为电子能级的能量，其数量级在 $1 \sim 20\text{eV}$ 间；

E_v 为振动能级的能量，其数量级在 $0.05 \sim 1\text{eV}$ 间；

E_r 为转动能级的能量，其数量级在 $10^{-4} \sim 0.05\text{eV}$ 间。

分子光谱包括了电子光谱、振动光谱和转动光谱。振、转光谱除了纯转动光谱外，常不易分开。由于转动能级比较小，许多条线光谱很接近，所以分子光谱为带光谱。

分子光谱	{	电子光谱 $E = E_e + E_v + E_r$	$\lambda = 0.062 \sim 1.24\mu\text{m}$
		振动光谱 $E = E_v + E_r$	$\lambda = 1.24 \sim 24.8\mu\text{m}$
		转动光谱 $E = E_r$	$\lambda = 24.8\mu\text{m} \sim 1.24\text{cm}$

3. 晶体光谱

在晶体中原子按着一定的规则集聚在一起，在三维空间中形成各种晶格，晶格在三维

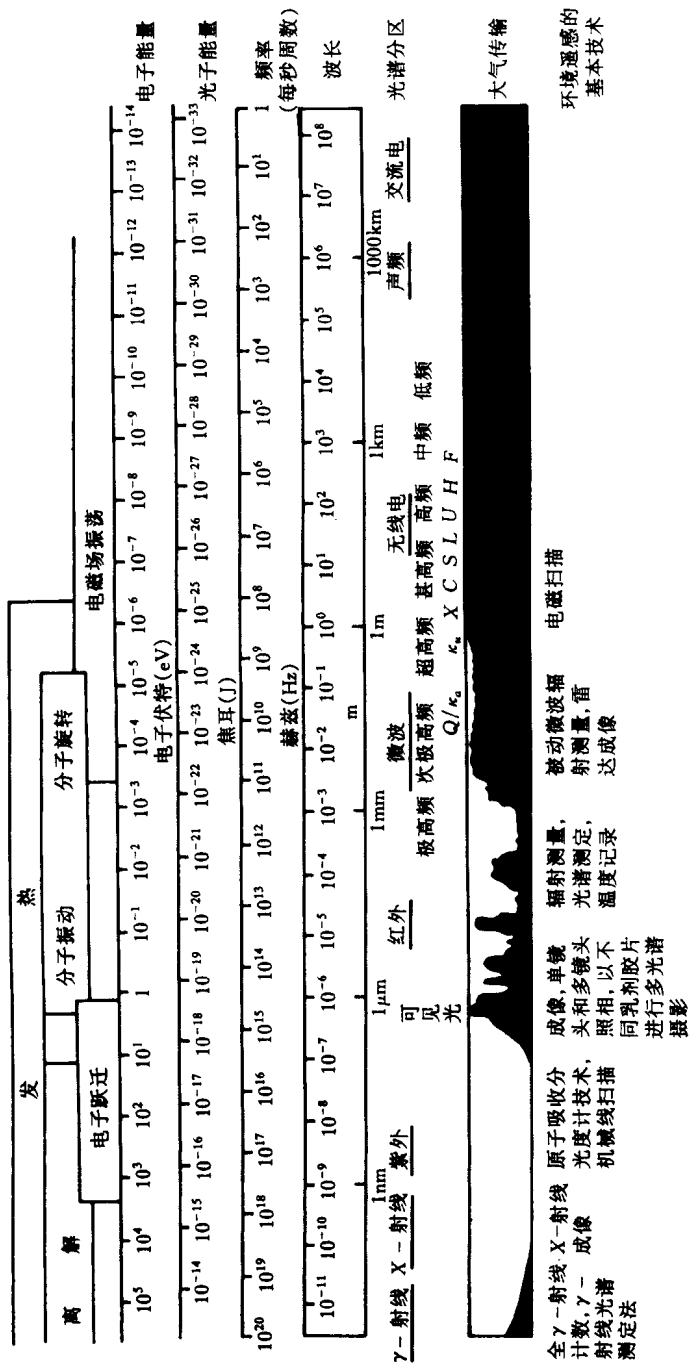


图 1-1-6 电磁波谱

空间中周期性地重复排列，形成晶体，晶体种类达 14 种。

晶体中的吸收与发射光谱远比原子和分子复杂，产生的是连续光谱，其光谱范围大约在红外区 $3\sim 30\mu\text{m}$ 。

由于以上所述产生电磁波的波源不同，因此电磁波的波长变化的范围很大，但波长不同的各种电磁波，它们在真空中的传播速度 C 都是相等的，根据 $C=\lambda\nu$ 式可知波长与频率成反比关系，波长长的频率低；波长短的频率高。根据 $E=h\nu$ 式可知频率与光子能量成正比关系，则频率低的光子能量小；频率高的光子能量大。

实验证明，无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、 γ 射线等都是电磁波，只是波源不同，因而产生的波长或频率不同而已。可以把各种电磁波按波长（或频率）的大小，依次排列成电磁波谱。如图 1-1-6。

§ 1-2 物体的发射辐射

§ 1-2-1 黑体辐射

1860 年，基尔霍夫得出好的吸收体也是好的辐射体的定律。它说明了凡是吸收热辐射能力强的物体，它们的热发射能力也强；凡是吸收热辐射能力弱的物体，它们的热发射能力也就弱。

我们把能够吸收全部入射辐射能量的物体叫做绝对黑体。按照基尔霍夫定律，绝对黑体必然也是一个最有效的辐射体。

1900 年普朗克用量子论概念推导黑体辐射通量密度和其温度的关系以及按波长分布的辐射定律：

$$W_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1} \quad (1-2-1)$$

式中： W_{λ} —— 分谱辐射通量密度，单位 $\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \mu\text{m})$ ；

λ —— 波长，单位 μm ；

h —— 普朗克常数 $= 6.6256 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ ；

c —— 光速 $= 3 \times 10^{10} \text{cm/s}$ ；

k —— 玻耳兹曼常数 $= 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ ；

T —— 绝对温度 K 。

图 1-2-1 为在几种温度下用普朗克公式 (1-2-1) 绘制的黑体辐射波谱曲线，从图中可直观地看出黑体辐射的三个特性：

(1) 与曲线下的面积成正比的总辐射通量密度 W 是随温度 T 的增加而迅速增加。总辐射通量密度 W 可在从零到无穷大的波长范围内。对普朗克公式进行积分，即

$$W = \int_0^{\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1} d\lambda \quad (1-2-2)$$

可得到从 1cm^2 面积的黑体辐射到半球空间里的总辐射通量密度的表达式（称斯忒藩—玻耳兹曼定律）为：