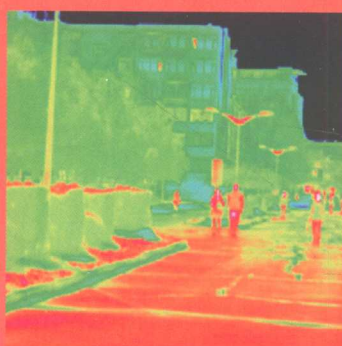
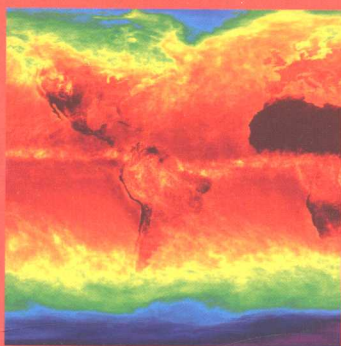


高等院校光电类专业系列规划教材

Infrared Physics

红外物理

石晓光 宦克为 高兰兰 编著



SHANGHAI UNIVERSITY PRESS

上海大学出版社

全国百佳图书出版单位

高等院校光电类专业系列规划教材

红外物理

石晓光 宦克为 高兰兰 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

红外物理/石晓光,宦克为,高兰兰编著. —杭州:
浙江大学出版社,2013.9
ISBN 978-7-308-10616-0

I. ①红… II. ①石… ②宦… ③高… III. ①红外物
理—教材 IV. ①TN211

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 218794 号

红外物理

石晓光 宦克为 高兰兰 编著

责任编辑 李峰伟(lifwxy@zju.edu.cn)
封面设计 续设计
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址:<http://www.zjupress.com>)
排 版 杭州金旭广告有限公司
印 刷 杭州日报报业集团盛元印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 12.25
字 数 298 千
版 次 2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-10616-0
定 价 25.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式 (0571)88925591;<http://zjdxcbbs.tmall.com>

内 容 简 介

红外技术是一门广泛地应用于军事和经济建设领域的现代科学技术,对人类社会产生越来越重要的影响,涉及红外技术的相关内容也逐渐延伸到更多的专业。红外物理是从能量角度研究光学波段电磁波规律的科学知识,主要论述红外辐射的计算、测量及其应用的原理和方法,是红外技术的理论基础。

全书共分为5章,系统地论述了红外辐射的发射、传输及测量等过程中的基本原理和规律。第1章介绍了红外辐射的基本概念以及光度学与辐射度学的基本知识,主要包括红外技术中涉及的辐射量及其计算等。第2章讲述了热辐射的基本定律、红外辐射的简易计算及红外测温的基本理论。第3章介绍了黑体等红外辐射源的基本特性和应用。第4章叙述了红外辐射在大气中传输的规律及大气透过率的简单计算。第5章介绍了红外辐射测量仪器的基本原理及测量方法等。

本教材注重理论知识的应用,列举了一些应用方面的实例计算,可作为红外技术、光电子技术、光学工程等专业的高等学校教材,也可供相关专业的科技工作者参考。

高等院校光电类专业规划教材编委会

顾 问

庄松林 上海理工大学教授,中国工程院院士,国际光学工程学会和美国光学学会资深会员,中国仪器仪表协会理事长,中国光学学会理事,上海理工大学光学与电子信息工程学院院长

主 任

刘 旭 浙江大学教授,国家高等学校教学名师,长江特聘教授,中国光学学会副理事长,韩国光学学会荣誉会员,浙江省特级专家,浙江大学信息学部主任,国家现代光学仪器重点实验室主任

副主任委员

郁道银 天津大学教授,教育部电子信息与电气学科教学指导委员会副主任,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会主任,国家级教学名师

张雨东 中国科学院研究员,中国科学院成都分院院长,中国科学院光电技术研究所所长,中国科学院“百人计划”入选者

宋菲君 中国科学院研究员,总工程师,大恒新纪元科技股份有限公司副总裁,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会委员,中国光学学会常务理事

委 员 (按姓氏笔画排序)

王晓萍 浙江大学教授,光电信息工程学系副主任,全国大学生光学设计竞赛副秘书长

王 健 研究员,浙江大学兼职教授,聚光科技股份有限公司总工程师,董事长

毛 磊 高级工程师,香港永新光电实业有限公司副总经理,宁波永新光学股份有限公司总经理

付跃刚 长春理工大学教授,光电工程学院副院长,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会委员

白廷柱 北京理工大学教授,光电学院光电工程系光电成像与信息工程研究所副所长,光电信息工程专业本科生责任教授

- 刘卫国 西安工业大学教授,副校长,电气工程及其自动化专业教学指导分委员会委员
- 刘向东 浙江大学教授,教务处处长,教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会委员,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会副主任,全国大学生光电设计竞赛秘书长
- 杨坤涛 华中科技大学教授,教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会委员,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会副主任
- 何平安 武汉大学教授,电子信息学院光电信息工程系主任,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会委员
- 陈延如 南京理工大学教授,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会委员
- 陈家璧 上海理工大学教授,国际光学学会(SPIE)会员,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会委员
- 曹益平 四川大学电子信息学院光电科学技术系主任,研究员,光电信息科学与工程专业教学指导分委员会委员
- 谢发利 教授级高级工程师,福建福晶科技有限公司总经理
- 蔡怀宇 天津大学教授,中国光学学会光电技术专业委员会委员,中国光学学会光学教育专业委员会委员
- 谭峭峰 清华大学精仪系光电工程研究所副研究员,中国光学学会光学教育专业委员会常务委员

序

现代社会的科技、经济进步的重要推动力之一是信息科学与技术学科的发展。光学工程学科是依托光与电磁波基本理论和光电技术,面向信息科学基本问题与工程应用的一门学科,是信息科学与技术一个重要的分支学科。自1952年浙江大学建立国内高校第一个光学仪器专业以来,我国光学工程学科的本科人才培养已经历了半个多世纪的发展,本科专业体系逐渐完善。为顺应光学工程学科和光电信息产业的不断发展,国内许多高校设立了光学工程本科相关专业,并在教育部教学指导委员会的重视和指导下,专业人才培养质量稳步提高。

但是目前在本科专业建设方面,还存在着专业特色不突出、学生光学工程能力培养欠缺、优秀教材系列化程度不足等问题。为此浙江大学光电系和浙江大学出版社发起并联合多所高校、企业编著了一套“高等院校光电类专业系列规划教材”,既包括了光学工程教育体系的主要内容,又整合了光电技术领域的专业技能,突出实践环节,充分体现光学工程学科的数理特征、行业特征以及国内外光学工程研究与产业发展的最新成果和动态,增强了学科发展与社会需求的协同性。

“高等院校光电类专业系列规划教材”不仅得到了教育部高等院校光电信息科学与工程专业教学指导分委员会、中国光学学会、浙江大学、长春理工大学、西安工业大学等单位的大力支持,邀请了专业知名学者、优秀工程技术专家参与,教指委专家审定,同时还吸取了多届校友和在校学生的宝贵意见和建议,是结合国际教学前沿、国内精品教学成果、企业实践应用的高水平教材,不仅有助于系统学习与掌握光学工程的理论知识,也与时俱进地顺应了光电信息产业对光学工程学科的人才培养要求,必将对培养适应产业技术进步的高素质人才起到积极的推动作用,为我国高校光学工程教育的发展和学科建设注入新的活力。

中国工程院院士



前 言

红外技术是研究红外波段电磁波的规律并使其应用的现代技术,在军事、工业、航空、医学和科研等诸多领域有着广泛的应用,对人类社会的发展产生了重大的影响。目前已经在越来越多的学科和专业中涉及对红外技术及其理论的研究。

红外技术中需要研究的内容主要包含四个方面:①红外辐射的性质。其中有物体发射的辐射在光谱、强度和方向的分布,辐射在媒介中的传播特性等。②红外元件、部件的研制。包括辐射源、光学系统、探测器、制冷器、红外窗口材料等。③用各种红外元件、部件构成整个应用系统。④红外技术在军事上和国民经济中的应用。

红外技术的应用一般都是通过红外系统来实现的,因此掌握红外系统各个部分的相关知识对于红外技术的研究和应用是非常必要的。红外光学系统是整个红外系统的天线,作用是把需要探测的红外辐射源辐射的能量聚集在探测器上。红外探测器是一种红外辐射传感器,将接收到来自红外辐射源的红外辐射转换成电信号。电子处理系统可以将微弱的电信号处理成能够应用的形式或数值。显示、随动系统是整个系统的执行终端,可以根据需要执行相应的动作,如显示、驱动等。

红外物理是红外技术的理论基础,主要研究红外辐射的性质。根据红外系统的基本构成,红外光学系统、红外探测器、红外电子学、红外系统等分别是对应各组成部分的知识,同时也是专业课程和教材的名称,相关读者可根据需要选择参考。

本书的参考学时为32~48学时,全书共分为5章。第1章介绍了红外辐射的基本概念以及光度学与辐射度学的基本知识,主要包括红外技术中涉及的辐射量及其计算等。第2章讲述了热辐射的基本定律、红外辐射的简易计算及红外测温的基本理论。第3章介绍了黑体等红外辐射源的基本特性和应用。第4章叙述了红外辐射在大气中传输的规律及大气透过率的简单计算,同时介绍了几个常用的大气辐射计算软件。第5章介绍了红外辐射测量仪器的基本原理及测量方法等。

本书第1~2章由石晓光编写,第3、4、5章由石晓光、高兰兰、宦克为共同编写。

在本书的编著过程中曾参阅多种国内外书籍和文章,在此谨向各位作者一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免会有不当或错误之处,希望各位读者批评指正。

石晓光

2012年6月

目 录

第 1 章 辐射度学和光度学基础

1.1	引言	1
1.2	红外辐射的基本概念	3
1.3	描述辐射场的基本物理量	5
1.3.1	立体角及其意义	5
1.3.2	辐射量	7
1.4	光谱辐射量与光子辐射量	10
1.4.1	光谱辐射量	10
1.4.2	光子辐射量	11
1.5	光度量	13
1.5.1	光谱光视效能和光谱光视效率	13
1.5.2	光通量	14
1.5.3	发光强度	15
1.5.4	光出射度	16
1.5.5	光亮度	16
1.5.6	光照度	17
1.6	朗伯余弦定律和漫辐射源的辐射特性	18
1.6.1	漫辐射源及朗伯余弦定律	18
1.6.2	漫辐射源的辐射特性	19
1.7	辐射量的基本规律及计算	20
1.7.1	距离平方反比定律	20
1.7.2	立体角投影定律	21
1.7.3	Talbot 定律	22
1.7.4	Sumpner 定理	22
1.8	辐射量计算举例	23
1.8.1	圆盘的辐射特性及计算	23
1.8.2	球面的辐射特性及计算	24
1.8.3	点源产生的辐射照度	25
1.8.4	小面源产生的辐射照度	25
1.8.5	扩展源产生的辐射照度	25

1.9	辐射的反射、吸收和透射	30
1.9.1	反射、吸收和透射的基本概念	30
1.9.2	朗伯定律和朗伯-比耳定律	31
1.10	本章小结	34
第2章 热辐射的基本规律		
2.1	普雷夫定则	38
2.2	基尔霍夫定律	38
2.3	黑体及其辐射定律	40
2.3.1	黑体	40
2.3.2	普朗克公式	41
2.3.3	维恩位移定律	46
2.3.4	斯蒂芬-玻尔兹曼定律	46
2.4	黑体辐射的计算	47
2.4.1	黑体辐射函数表	47
2.4.2	计算举例	52
2.5	发射率和实际物体的辐射	53
2.5.1	半球发射率	54
2.5.2	方向发射率	54
2.6	辐射效率和辐射对比度	57
2.6.1	辐射效率	57
2.6.2	辐射对比度	58
2.7	本章小结	60
第3章 红外辐射源		
3.1	红外辐射源的作用和分类	62
3.1.1	标准辐射源	64
3.1.2	军事应用辐射源	64
3.1.3	工业应用辐射源	64
3.1.4	激光辐射源	65
3.1.5	同步辐射源	65
3.1.6	红外微辐射源	65
3.2	自然辐射源	65
3.2.1	太阳	65
3.2.2	地面辐射	67
3.2.3	天空辐射	69
3.2.4	人体	71
3.2.5	月球及其他星球	72
3.3	人工辐射源	73
3.3.1	空腔辐射理论	73
3.3.2	黑体辐射源	78

3.3.3	其他类型辐射源	80
3.4	辐射源的应用	90
3.4.1	军事应用的辐射源	90
3.4.2	工业应用的辐射源	96
3.4.3	激光辐射源	98
3.5	本章小结	110
第4章	红外辐射在大气中的传输	
4.1	地球大气的基本组成和气象条件	113
4.1.1	大气的基本组成	113
4.1.2	大气的气象条件	114
4.2	大气中的主要吸收气体和主要散射粒子	115
4.2.1	水蒸气	115
4.2.2	二氧化碳	117
4.2.3	臭氧	117
4.2.4	大气中的主要散射粒子	117
4.3	大气的吸收衰减	119
4.3.1	大气的选择吸收	119
4.3.2	表格法计算大气的吸收	120
4.4	大气的散射衰减	124
4.4.1	气象视程与视距方程式	124
4.4.2	测量 λ_0 处视程的原理	126
4.4.3	利用 λ_0 处的视程求任意波长处的光谱散射系数 $\mu_s(\lambda)$	126
4.5	大气透射率的计算举例	127
4.5.1	大气透射率的计算步骤	127
4.5.2	计算举例	128
4.6	红外大气传输模型	130
4.6.1	雾天气条件下红外传感器所接收的红外辐射能	130
4.6.2	红外辐射大气衰减模型	130
4.6.3	改进的红外辐射大气衰减模型	131
4.6.4	路径辐射模型	133
4.7	大气红外辐射传输计算软件介绍	134
4.7.1	LOWTRAN	134
4.7.2	MODTRAN 功能简介	136
4.7.3	CART 软件功能简介	141
4.8	本章小结	146
第5章	红外辐射测量仪器及基本参数测量	
5.1	红外辐射测温	147
5.1.1	辐射温度	147
5.1.2	亮温度	148

5.1.3	色温度	148
5.2	红外辐射测量仪器	149
5.2.1	单色仪	149
5.2.2	光谱辐射计	151
5.2.3	红外分光光度计	152
5.2.4	傅里叶变换红外光谱仪	154
5.2.5	多通道光谱仪	156
5.3	基本辐射量的测量	157
5.3.1	辐射亮度的测量	157
5.3.2	辐射强度的测量	158
5.3.3	总辐射通量的测量	158
5.4	红外发射率测量	161
5.4.1	量热法	162
5.4.2	反射法	164
5.4.3	能量法	166
5.4.4	多波长法	168
5.4.5	红外热像仪测量	168
5.4.6	法向光谱发射率测量	169
5.5	红外反射比测量	172
5.5.1	反射比的定义	173
5.5.2	积分球反射计	175
5.6	红外吸收比和透射比测量	179
5.7	本章小结	180
参考文献		182

辐射度学和光度学是光学的重要分支,也是红外物理的主要内容。辐射度学是对光学波段电磁辐射进行定量评价的科学,光度学则是根据人类视觉器官的生理特性和某些约定的规范来评价辐射所产生的视觉效应。辐射度学和光度学有着十分重要的应用价值。本章主要介绍辐射度学和光度学的基本概念和定律。

【学习目标】

掌握辐射度学的基本物理量及相互之间的转化;掌握辐射度学与光度学的基本关系;掌握辐射量计算的基本规律;掌握辐射反射、吸收和透射的基本概念及应用。

【本章要点】

1. 辐射量与光度量的基本概念(立体角、强度、亮度、照度等);
2. 辐射计算的基本规律(距离平方反比定律、立体角投影定律等);
3. 简单物理模型的辐射量计算(圆盘、球面、半球面等);
4. 辐射反射、吸收和透射的基本概念及应用。

1.1 引言

在辐射度学和光度学中,虽然测量对象都是光学辐射,但是由于所依据的评价标准不同,常用的辐射度量和光度量也不同。随着光学辐射在各领域的广泛应用,辐射测量的重要性也与日俱增。

光学是研究光的传播以及它与物质相互作用的科学。按照研究手段来划分,光学一般分为几何光学、物理光学和量子光学三大类。几何光学是以光线在均匀介质中的直线传播规律为基础,研究光的反射、折射及成像原理,是为设计各种光学仪器而发展起来的一门专业学科。物理光学是在证明了光是一种电磁波以后,研究光的干涉、衍射和偏振等光的波动性规律的科学。而量子光学通常是在分子或原子的尺度上研究光与物质的相互作用。在量子光学中引入了一个重要概念,即“光子”,这种微粒同时具有波动和粒子两种特性,即:既具有一定的频率,又具有动量和动能,它承载了光的能量,揭示了光的波粒二象性。

光既然是一种传播着的能量,那么如何度量和定量研究这种能量呢?辐射度学和光度学的任务就是对光能进行定量的研究。辐射度学起源于物理学上对物体热辐射特性的研究。有关绝对黑体辐射特性的研究成果奠定了辐射测量的基础。随着光学辐射在工业、农业、军事和科学研究等方面的应用日益广泛,辐射测量的重要性也与日俱增。因而辐射测量技术得到很大发展,并逐渐渗透到光度技术中去,使光度技术从以目视法占统治的状态,逐渐过渡到使用各种光电和热电接收器的物理方法,大大改善了测量精度和提高了工作效率。另一方面,在辐射度技术中,也借用了光度学的表达方法来描述辐射源和辐照场的各种辐射度特性,而建立起与光度学相似的理论体系。光度学和辐射度学的应用主要有以下三个方面:

(1)光源的光度和辐射度特性的测量。用作人工照明的光源,需要测量其各种光度特性,如总光通量、发光强度的空间分布、发光体的亮度等,作为生产厂控制产品质量和照明工程设计的依据。现代光源已远远超出了传统上用作照明的范围,而越来越广泛地用于各种工农业生产过程、医疗保健、科学研究、空间技术等方面;而现代照明也不单纯是提供一定数量的可见光,还要求具有一定的显色特性,并提供或限制某些红外和紫外辐射,因而还要求测量光源的各种辐射度特性,如总的辐射功率、辐射的光谱组成、辐射强度的空间分布、辐射亮度等。根据光谱组成计算其色度特性和显色指数作为评价光源品质、适用范围和实际应用的依据。对光照场和辐照场的光照度、辐射照度和光亮度的分布的测量,也是实际工作中广泛应用的一个方面。

(2)材料和媒质的光度和辐射度特性的测量在光学工业、照明工程、遥感技术、色度学和大气光学等领域有重要的应用。各种材料、样板及若干种工农业产品,需要测定它们在各种几何条件下的积分和光谱的反射比或透射比;在各种条件下大气对光学辐射的传输特性的测量,这些都必须利用光度和辐射度技术。

(3)各种光学辐射探测器如太阳能电池、硅光电二极管、光电管、光电倍增管、热电偶、热电堆以及各种光敏和热敏元件,广泛用于光学辐射的探测、测量仪器、控制系统和换能装置等方面。这些也需要用光度和辐射度技术测定它们的积分灵敏度、光谱灵敏度及响应的线性等特性,为合理的有效的使用提供依据。

需要强调的是,虽然辐射度学和光度学的研究对象都是非相干的光辐射,而且它们的传播都遵循几何光学原理,即:光是沿直线传播的,辐射的波动性不会使辐射能的空间分布偏离几何光线,但是由于光度学中包含了人眼特性,因此研究规律只限于可见光范围,而辐射度学的规律则适用于从紫外到红外波段,有些规律适用于整个电磁波。辐射量是纯物理量,而光度量则是通过对人眼进行测试和统计得出的,所以各种辐射量的计算和测量显然不能用光度量,必须用不受人们主观视觉限制、建立在物理测量基础上的辐射度量。

在实际应用中,辐射量和光度量的名称基本一致,例如强度、亮度、照度等,而且一般都用相同的符号表示,注意不要混淆。通常在同时使用的时候,以符号的下标来区分辐射量和光度量,大部分文献中,以下标 e 或不用下标表示辐射量,以下标 v 表示光度量。

红外物理就是从光是一种能量的角度出发,定量地讨论光辐射的计算和测量问题。

1.2 红外辐射的基本概念

众所周知,从波长很短的宇宙射线到波长很长的无线电波都是不同波长的电磁波,或称为电磁辐射。以前的物理知识说明光也是电磁波,可见光的波长是从 $0.38\sim 0.78\mu\text{m}$,人眼能够看到的颜色依次是紫、蓝、青、绿、黄、橙、红等,位于红色光以外的电磁辐射称为“红外”,波长在 $0.78\sim 1000\mu\text{m}$ 范围,同理,比紫色光波长短的部分称为“紫外”,波长在 $0.01\sim 0.38\mu\text{m}$ 范围,见图 1-1。

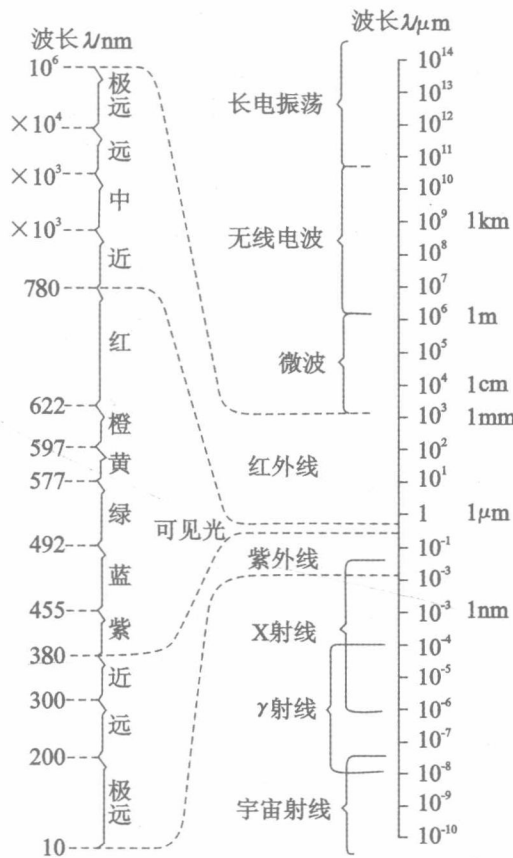


图 1-1 电磁波谱

红外辐射是人眼看不见的光线,通常人们又把红外辐射称为红外光、红外线,是指波长在 $0.78\sim 1000\mu\text{m}$ 的电磁波,是英国科学家赫歇尔(Herschel)在 1800 年发现的。绝对零度以上的物体都在不停地向外辐射一定波长的电磁波,由热力学第三定律可知:绝对零度不能达到,所以自然界中所有物体的绝对温度 T 都不等于零,都存在辐射且其峰值波长为 λ 。温度从零下几十度的物体直到约 6000K 的太阳,辐射的波长在可见光到远红外之间,而大部分物体的辐射都在红外波段。维恩(Wien)位移定律 $\lambda T=b$ 能够很好地说明这一问题,式中 T 是绝对温度, b 是常数($2989\mu\text{m} \cdot \text{K}$)。

在物质内部,电子、原子、分子都在不断地运动,有很多可能的运动状态。这些状态都是稳定的,各具有一定的能量,通常用“能级”来表示这些状态。在正常情况下,物质总是处在能量最低的基态能级上。如果有外界的刺激或干扰,把适当的能量传递给电子、原子或分子,后者就可以改变运动状态,进入能量较高的激发态能级。但电子、原子或分子在激发态停留的时间很短,很快就回复到能量较低的能级中去,把多余的能量释放出来。这个时候就会发射电磁波,发射出来的电磁波的频率为

$$\nu = (E_1 - E_2) / h \quad (1-1)$$

式中: h 为普朗克常数, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, E_1 和 E_2 表示能级 1 和能级 2 的能量, $h\nu$ 是发射出来的能量单元,通常被认为是一个光子具有的能量。

辐射是来自于物质的,而任何物质都包含着极大数目的原子或分子,每个原子或分子都有很多能级,从高能级跃迁到低能级都会发射光子,实际发射出来的电磁波就是这些大量光子的总和。各个原子或分子发射光子的过程基本上是互相独立的,但发射的时间有先有后。光子发射时,原子或分子在空间的取向有各种可能,因而光子可向各个方向发射,其电磁场振动也可有各种方向,再加上物体内部各能级之间的相互影响,两能级之间的能量差会有极小的变动。所有这些因素的作用,使所发射出来的辐射包含着各种频率。

采用适当办法,可促使某两个能级之间的光子发射过程都发生在同一时间且向同一方向,这就得到频带非常狭窄、方向性极好、强度很高的光,即激光。在无线电波和微波范围内,利用电子在真空中的运动产生电磁波,迫使所有电子作相同的运动态的改变,就可以发射出单一频率的、偏振的相干辐射。辐射是从物体内部发射出来的,但在辐射的过程中会消耗能量,故必须从外界给以扰动,给以能量,这个过程称为激励,激光器中又称为泵浦源。激励的方法有多种,其中与红外辐射关系最为密切的是加热。

电磁波谱划分为许多不同名称的波段,主要是根据它们的产生方法、传播方式、测量技术和应用范围的不同而自然划分的,但划分的方法则因学科或技术领域不同而异。红外辐射波段的划分方法则根据红外辐射的产生机理、应用范围和不同的研究方向而不同,但各有各的道理。

在光谱学中,根据红外辐射产生的机理不同把红外辐射划分成三个区域,它们各对应着分子跃迁的不同状态。目前,在光谱学中,划分波段的方法尚不统一。一般分别以 $0.78 \sim 3 \mu\text{m}$ 、 $3 \sim 40 \mu\text{m}$ 和 $40 \sim 1000 \mu\text{m}$ 作为近红外、中红外和远红外波段。近红外区对应原子能级之间的跃迁和分子振动泛频区的振动光谱带;中红外区对应分子转动能级和振动能级之间的跃迁;远红外区对应分子转动能级之间的跃迁。近红外是可以用玻璃作为透射材料和用硫化铅探测器进行检测的波段。中红外原来是以棱镜作为色散元件的波段,但后来都采用光栅作为色散元件, $40 \mu\text{m}$ 这个界限不再有意义。但是, $40 \mu\text{m}$ 又是石英能让红外辐射透过的起始波长,故仍可作为中红外波段与远红外波段的界限。在远红外波段的长波端,传统的几何光学和微波传输技术都不适用,需要发展新的技术。新技术适用的波段也可能是一个新名称的波段。此外,远红外波段内出现激光,以辐射源是否具有相干性作为远红外与微波划界的标准已不适用。因而暂以 $1000 \mu\text{m}$ 作为远红外波段的界限,把波长为 $1 \sim 3 \text{ mm}$ 的电磁波称为短毫米波。

在红外技术领域,红外辐射波段的划分如表 1-1 所示。

表 1-1 红外辐射波段的划分

波段	近红外	中红外	远红外	极远红外
波长/ μm	0.78~3	3~6	6~15	15~1000

上述划分方法是在前三个波段中,每一个波段都至少包含一个大气窗口。所谓大气窗口,是指大气中能够透过红外辐射的波段,除这些窗口之外,红外辐射在大气中基本上不能传播或传播距离很近。由于大气对红外辐射的吸收,只留下三个“窗口”,即 $1\sim 3\mu\text{m}$ 、 $3\sim 5\mu\text{m}$ 、 $8\sim 13\mu\text{m}$,可以通过红外辐射。因而在军事应用上,分别称这三个波段为近红外、中红外、远红外波段。

1.3 描述辐射场的基本物理量

1.3.1 立体角及其意义

立体角是一个物体对特定点的三维空间的角度,它是一个几何量。在光辐射测量中,很多描述辐射场特性的基本物理量都要用到立体角。例如,在描述一个辐射源在空间的辐射特性时,常用亮度这个物理量,它是指单位面积的发光面在其法线方向上单位立体角范围内辐射的辐射功率,一般的激光器发射的激光束在空间所占的立体角的数量级只有约 10^{-6} 球面度。而普通光源发光(如电灯光)是朝向空间各个可能的方向,它的发光立体角为整个空间。相比之下,普通光源的发光立体角是激光器的 $4\pi/(10^{-3})^2=1.26\times 10^7$ 倍,达到百万倍量级。因此,激光束可以把很高的能量集中在非常小的立体角空间内发射出去,这也是激光光源与普通光源相比为何具有高亮度特性的原因。对于天然辐射源——太阳,常用太阳常数来描述太阳的亮度,指平均日地距离时,在地球大气层上界垂直于太阳辐射的单位表面积上所接受的太阳辐射能。近年来通过各种先进手段测得的太阳常数的标准值为 $1353\text{W}/\text{m}^2$ 。地球的截面积是 127400000km^2 里,因此整个地球接收到的能量约是 $1.740\times 10^{17}\text{W}$ 。从太阳看地球的立体角只有 $1/140000000$ 球面度,因此,太阳辐射出的能量是地球获得的 20 亿倍,也就是大约 $3.826\times 10^{26}\text{W}$ 。大体上讲,激光可以达到比太阳光的亮度还高 100 万亿倍的亮度,而普通光源的亮度则比太阳光还低。

既然任一光源发射的光能量都是辐射在它周围的一定空间内,因此,在进行有关光辐射的讨论和计算时,也将是一个立体空间问题。与平面角度相似,我们可把整个空间以某一点为中心划分成若干立体角。

1. 立体角的定义

立体角的定义:一个任意形状锥面所包含的空间称为立体角,用符号 Ω 表示,单位是球面度,用符号 sr 表示。

如图 1-2 所示, ΔA 是半径为 R 的球面的一部分, ΔA 的边缘各点对球心 O 连线所包围的那部分空间叫立体角。立体角的数值为部分球面面积 ΔA 与球半径平方之比,即

$$\Omega = \frac{\Delta A}{R^2} \quad (1-2)$$