



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材

Infrared Physics

# 红外物理学

宋贵才 全薇 宦克为 王蓓 高兰兰 编著

Song Guicai

Quan Wei

Huan Kewei

Wang Ji

Gao Lanlan



清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书介绍了红外物理学产生和发展概况,从光的电磁理论出发,系统、深入地阐述了红外辐射传播时产生的基本现象和遵循的基本规律,同时讲述了红外辐射源的原理、结构、制作技术、工艺和光谱特性。全书共分6章,内容包括红外物理学概述,红外辐射的基本规律,红外辐射的基本定理,红外辐射源,红外辐射在大气中的传输,目标和背景的红外辐射特性。

本着厚基础、重应用、使读者学以致用理念,本书在重点讲述红外物理的基本原理、基本概念和基本知识的基础上,全面、系统地讲述了红外物理的基本理论以及红外辐射源的结构、功能、制作方法和相关应用。

本书可作为电子科学与技术、光电子技术科学、安全防范工程以及光学工程等专业本科生的专业基础教材,也可供进行红外及相关领域学习与研究的其他师生和科技人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

红外物理学/宋贵才等编著. —北京:清华大学出版社,2018

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-49809-4

I. ①红… II. ①宋… III. ①红外物理—高等学校—教材 IV. ①TN211

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第037589号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:梁毅

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.75 字 数:359千字

版 次:2018年9月第1版 印 次:2018年9月第1次印刷

定 价:59.00元

产品编号:062353-01

# 高等学校电子信息类专业系列教材

## 一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学	(教指委高级顾问)	郁道银	天津大学	(教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学	(特约高级顾问)	胡广书	清华大学	(特约高级顾问)
华成英	清华大学	(国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学	(国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学	(国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学	(国家级教学名师)
邹逢兴	国防科技大学	(国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学	(国家级教学名师)

## 一 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学	王志军	北京大学
副主任	刘旭	浙江大学	葛宝臻	天津大学
	隆克平	北京科技大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	秦石乔	国防科技大学		
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	火箭军工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中国科学院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团股份有限公司
	蒋晓瑜	陆军装甲兵学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

# 序

## FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

# 前言

PREFACE

《红外物理学》一书重点讲解红外物理学的基本原理,红外辐射的基本定理和定律,红外辐射源,红外辐射在大气中传输的基本规律,目标与背景的辐射规律等内容。

全书共分6章:第1章,全面介绍红外物理学的产生和发展过程,红外物理学所带动的相关技术的发展;第2章,从光的电磁理论出发,着重讨论红外辐射的基本规律;第3章,讲述红外辐射的基本定理;第4章,重点讲述红外辐射源的结构和工作原理;第5章,重点讲述红外辐射在大气中传输的基本规律;第6章,重点讲述目标和背景的红外辐射特性。本书的教学时长为48学时。

本书前后连贯,逻辑性强,便于学习和记忆。书中图表丰富,推演过程详细,便于理解和掌握。书中各节都有要点总结,便于对重点知识的把握。书中各章后面都有小结,并附有与讲述内容联系紧密并且实用性强的习题,利于学以致用。

本书可作为电子科学与技术、光电子技术科学、安全防范工程以及光学工程专业本科生的专业基础教材,也可供进行红外及相关领域学习和研究的师生和科技人员参考。

本书的第1章由宦克为编写,第2章由王蓟编写,第3章由高兰兰编写,第4章由宋贵才编写,第5章和第6章由全薇编写。宋贵才统编全稿。硕士研究生孙德昌、黄羽茜参与了本书课件的制作以及书稿的校对工作。

本书共享课程网址为 [http://www.icourses.cn/sCourse/course\\_6510.html](http://www.icourses.cn/sCourse/course_6510.html),读者可以到此学习。

本书在编写过程中得到了金光勇和李野老师的大力支持。本书的写作参阅了一些编著者的著作,在此一并谨向他们表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些缺点,殷切期望广大读者批评指正。

编者

2018年5月

# 目录

## CONTENTS

绪论 .....	1
第 1 章 红外物理学概述 .....	3
1.1 红外物理学基础 .....	3
1.1.1 红外辐射与红外光谱 .....	3
1.1.2 红外物理学研究对象 .....	9
1.2 描述辐射场的基本物理量 .....	11
1.2.1 立体角及其计算 .....	11
1.2.2 辐射能和辐射能密度 .....	13
1.2.3 辐射功率和光谱辐射功率 .....	13
1.2.4 辐射强度和光谱辐射强度 .....	14
1.2.5 辐射出射度和光谱辐射出射度 .....	15
1.2.6 辐射亮度和光谱辐射亮度 .....	15
1.2.7 辐射照度和光谱辐射照度 .....	17
1.2.8 辐射吸收率、辐射反射率和辐射透射率 .....	18
1.2.9 比辐射率和单色比辐射率 .....	18
1.3 描述光度量的基本物理量 .....	19
1.3.1 光谱光视效能和光谱光视效率 .....	19
1.3.2 光通量 .....	21
1.3.3 发光强度 .....	22
1.3.4 光出射度 .....	22
1.3.5 光亮度 .....	22
1.3.6 光照度 .....	23
本章小结 .....	24
应用实例 .....	24
本章习题 .....	25
第 2 章 红外辐射的基本规律 .....	27
2.1 漫辐射源和朗伯余弦定律 .....	27
2.1.1 漫辐射源及朗伯余弦定律 .....	27
2.1.2 漫辐射源的辐射特性 .....	28
2.2 辐射量的基本规律及计算 .....	29
2.2.1 距离平方反比定律 .....	29



2.2.2	立体角投影定律 .....	30
2.2.3	Talbot 定律 .....	31
2.3	辐射量计算举例 .....	31
2.3.1	圆盘的辐射特性及计算 .....	31
2.3.2	球面的辐射特性及计算 .....	32
2.3.3	点源产生的辐射照度 .....	33
2.3.4	小面源产生的辐射照度 .....	33
2.3.5	扩展源产生的辐射照度 .....	33
2.4	朗伯定律和朗伯-比耳定律 .....	36
2.4.1	朗伯定律 .....	37
2.4.2	朗伯-比耳定律 .....	38
	本章小结 .....	40
	应用实例 .....	40
	本章习题 .....	41
<b>第 3 章</b>	<b>红外辐射的基本定理 .....</b>	<b>43</b>
3.1	发光种类简介 .....	44
3.1.1	发光类型 .....	44
3.1.2	普雷夫定则 .....	44
3.2	理想黑体 .....	45
3.2.1	基尔霍夫定律 .....	45
3.2.2	封闭空腔中的辐射为黑体的辐射 .....	47
3.2.3	辐射亮度与能量密度的关系 .....	47
3.2.4	黑体为朗伯辐射体 .....	48
3.3	普朗克公式 .....	48
3.3.1	普朗克公式的推导 .....	49
3.3.2	普朗克公式及其意义 .....	51
3.3.3	普朗克公式的近似 .....	52
3.3.4	用光子数表示的普朗克公式 .....	52
3.3.5	用其他变量表示的普朗克公式 .....	52
3.3.6	广义普朗克函数 .....	53
3.4	维恩位移定律 .....	54
3.4.1	维恩位移定律推导 .....	54
3.4.2	黑体光谱辐射出射度的峰值 .....	55
3.4.3	光子辐射量的维恩位移定律 .....	55
3.4.4	维恩位移定律的广义表达式 .....	56
3.5	斯蒂芬-玻尔兹曼定律 .....	56
3.5.1	斯蒂芬-玻尔兹曼定律推导 .....	57
3.5.2	用光子数表示的斯蒂芬-玻尔兹曼定律 .....	57
3.6	黑体辐射的简易计算 .....	58
3.6.1	黑体辐射函数 .....	58
3.6.2	黑体辐射计算举例 .....	59
3.7	辐射效率和辐射对比度 .....	60
3.7.1	辐射效率 .....	61

3.7.2	辐射对比度 .....	61
3.8	金属的辐射 .....	64
3.8.1	金属的辐射特性 .....	64
3.8.2	金属的辐射方程 .....	64
本章小结	.....	67
应用实例	.....	67
本章习题	.....	68
<b>第4章</b>	<b>红外辐射源 .....</b>	<b>70</b>
4.1	红外辐射的基本定理 .....	71
4.1.1	巴特利特定理 .....	71
4.1.2	萨姆普纳定理 .....	73
4.1.3	沃尔什定理 .....	74
4.1.4	亥姆霍兹互易定理 .....	75
4.2	黑体辐射源 .....	76
4.2.1	黑体炉的用途和分类 .....	77
4.2.2	黑体炉的基本结构 .....	77
4.2.3	腔型的选择和腔芯材料 .....	78
4.2.4	腔体的加热和温度控制 .....	79
4.2.5	黑体视场和技术指标 .....	80
4.3	古费理论 .....	80
4.3.1	古费公式的推导 .....	80
4.3.2	三种腔型的有效发射率 .....	82
4.3.3	相关曲线和使用方法 .....	83
4.3.4	对有限制开孔腔体的修正 .....	85
4.4	电热固体辐射源 .....	86
4.4.1	能斯脱灯 .....	86
4.4.2	硅碳棒 .....	87
4.4.3	钨丝灯、钨带灯和钨管灯 .....	89
4.4.4	乳白石英加热管 .....	91
4.5	气体或蒸汽辐射源 .....	92
4.5.1	放电种类和过程 .....	92
4.5.2	水银灯 .....	93
4.5.3	氙灯 .....	95
4.5.4	碳弧灯 .....	96
4.6	红外激光器 .....	98
4.6.1	激光器的基本结构、能级图和激光的特点 .....	98
4.6.2	Nd:YAG 激光器 .....	101
4.6.3	氦-氖激光器 .....	103
4.6.4	二氧化碳激光器 .....	107
4.6.5	半导体激光器 .....	110
本章小结	.....	113
应用实例	.....	114
本章习题	.....	114

第 5 章 红外辐射在大气中的传输 .....	116
5.1 大气的组成和大气分层 .....	116
5.1.1 大气的组成成分 .....	117
5.1.2 大气分层 .....	118
5.2 大气的气象条件 .....	121
5.2.1 大气压强 .....	121
5.2.2 大气密度 .....	123
5.3 大气对辐射吸收概述 .....	123
5.3.1 大气对辐射吸收的机理 .....	123
5.3.2 主要吸收分子和吸收谱线 .....	124
5.3.3 大气各主要组分的红外吸收谱 .....	125
5.3.4 大气红外窗口 .....	126
5.3.5 吸收带的经验公式 .....	127
5.4 水蒸气对红外辐射的吸收 .....	128
5.4.1 水蒸气的基本性质和相关概念 .....	128
5.4.2 可凝结水量 .....	129
5.4.3 水蒸气的分布 .....	132
5.5 二氧化碳对红外辐射的吸收 .....	133
5.5.1 二氧化碳的吸收和分布特点 .....	133
5.5.2 二氧化碳的大气厘米数 .....	134
5.5.3 高度修正因子 .....	136
5.6 臭氧和其他成分对红外辐射的吸收 .....	137
5.6.1 臭氧的形成和分解 .....	137
5.6.2 臭氧的分布 .....	138
5.6.3 其他成分对红外辐射的吸收 .....	139
5.7 大气中的散射粒子 .....	139
5.7.1 散射粒子的尺寸 .....	139
5.7.2 散射粒子的浓度和分布 .....	140
5.7.3 散射的种类 .....	142
5.8 大气对红外辐射的散射 .....	143
5.8.1 散射的一般方程 .....	143
5.8.2 瑞利散射、米氏散射和分子散射 .....	145
5.9 气象视程和视距 .....	146
5.9.1 视程与视距方程 .....	147
5.9.2 测量 $\lambda_0$ 处视程的原理 .....	148
5.9.3 利用 $\lambda_0$ 处的视程求任意波长的散射系数 .....	149
5.10 大气透射率的计算 .....	150
5.10.1 透射率计算步骤 .....	150
5.10.2 计算透射率实例 .....	150
5.10.3 清洁大气在宽波段内的吸收 .....	152
5.10.4 激光在大气中的透射率 .....	153
5.11 激光在大气中传输的能量衰减 .....	154
5.11.1 衰减系数 .....	155

5.11.2	单程水平路径激光大气传输的能量衰减	156
5.11.3	单程垂直路径激光大气传输的能量衰减	156
5.11.4	单程斜路径激光大气传输的能量衰减	158
	本章小结	160
	应用实例	161
	本章习题	162
<b>第6章</b>	<b>目标和背景的辐射特性</b>	<b>164</b>
6.1	太阳、月亮以及恒星(行星)的光辐射特性	165
6.1.1	太阳的基本特性	165
6.1.2	太阳的光辐射特性	170
6.1.3	月亮的基本特性	173
6.1.4	恒星(行星)的光辐射特性	175
6.2	天空背景的光辐射特性	176
6.2.1	大气对太阳辐射的散射	176
6.2.2	大气自身的热辐射	178
6.3	地物的光辐射特性	179
6.3.1	植被的光辐射特性	180
6.3.2	水的光谱特性	180
6.3.3	冰雪的光谱反射特性	180
6.3.4	地物的红外反射特性	181
6.4	海洋的光辐射特性	183
6.4.1	海洋的光谱辐射亮度	183
6.4.2	平静海面的光谱反射率	184
6.4.3	海平面反射率和发射率	184
6.4.4	不同粗糙度下的反射率	184
6.5	火箭的光辐射特性	185
6.5.1	火箭外壳辐射	185
6.5.2	低空火箭喷焰结构及随高度变化	185
6.5.3	火箭光谱辐射图	186
6.6	飞机的光辐射特性	186
6.6.1	涡轮喷气和涡轮风扇发动机	186
6.6.2	飞机后半球的辐射	189
6.6.3	飞机前半球的辐射	191
6.6.4	发动机辐射强度方向图	193
6.6.5	第四代战机简介	193
6.7	其他目标的光辐射特性	196
6.7.1	坦克的红外辐射特性	196
6.7.2	火炮的红外辐射特性	197
6.7.3	红外诱饵的辐射特性	197
6.7.4	人体的红外辐射特性	198
	本章小结	198
	应用实例	199
	本章习题	199

附录 A	$f(\lambda T)$ 函数表和 $F(\lambda T)$ 函数表 .....	201
附录 B	热带、中纬度夏季和冬季大气模型数据 .....	205
附录 C	海平面上水平路程水蒸气的光谱透射率的数值 .....	208
附录 D	海平面上水平路程 $\text{CO}_2$ 的光谱透射率的数值 .....	212
附录 E	距太阳日-地平均距离处的太阳光谱辐射照度 .....	216
附录 F	辐照度与截止波长和背景温度的关系 .....	219
参考文献	.....	222

# 绪 论

为了掌握某种野生动物的种群情况,人们在它们可能出现的地点安装了红外照相机;为了对小区、仓库或其他场所的监控,人们在合适的位置安装了红外探测器;为了在夜间“看清”人、动物和车辆等运动物体,人们使用了红外夜像仪或红外夜视仪;为了对物体温度进行非接触式测量,人们使用了红外测温仪。可见,日常生活中几乎处处都能看到红外的身影。下面,我们来梳理一下红外的发展历程。

1800年,英国天文学家威廉·赫歇尔(S. W. Herschel)为了寻找在观察太阳时保护眼睛的方法,研究了太阳光谱各部分的非热效应。当他把灵敏的水银温度计放在被棱镜色散的太阳光谱的不同部分时发现产生热效应最大的位置是在可见光谱的红外端以外,从而他首先发现了太阳光谱中还包含着看不见的辐射能,当时他称这种辐射能为“看不见的光线”,后来称为红外线,也就是现在所说的红外辐射。由于当时科学技术水平的限制,尤其是缺乏灵敏的探测器,致使在红外辐射被发现之后的30多年间,对红外辐射及其应用的研究进展缓慢。

1830年,出现了温差热电偶,它比以前的水银温度计更灵敏。1833年,出现了用几个热电偶串联而成的热电堆,它比当时做得最好的温度计至少灵敏40倍,而且从9m以外就可以探测到人体的红外辐射。

19世纪80年代,又出现了一些高灵敏度的新型探测器,特别是利用某些金属或半导体的电阻对温度敏感的特性制成的测辐射热计,它的灵敏度比热电堆的灵敏度高出约30倍。同期,人们对太阳的红外辐射进行了定量测量。从1883年到1900年间报道的这类测量已经超出了 $5\mu\text{m}$ ,到1917年测量范围扩展到了 $13\mu\text{m}$ 。

大量的理论和实验研究表明,红外线也是一种电磁波,在电磁波谱中,它是比微波波长还短、比可见光波长还长的电磁波,因此,红外线与其他波长的电磁波具有共同的特性。1879年,斯蒂芬(Stefan)根据他的测量,同时也分析了其他研究者所测得的数据,得出结论:总辐射能量与辐射体的绝对温度的四次方成正比。1884年,玻尔兹曼(Boltzmann)根据热力学的研究,在理论上证明:绝对黑体的总辐射能量应与温度的四次方成比例,即斯蒂芬的结论只对绝对黑体是正确的。

21世纪初,人类开创了红外光谱学和红外辐射的应用研究,制定并沿用了一套热辐射的国际标准,对恒星和行星的温度进行了测量。1910年到1920年间出现了为探测舰船、飞机、人体、炮兵阵地和冰山的装置,还有防盗预警、光测量和温度遥感等设备。第一次到第二次世界大战期间,出现了光子探测器和变像管。第二次世界大战之后,尤其是20世纪50年代以来,半导体技术和激光技术的发展,为红外技术提供了单色性好、能量集中的相干辐射

源和灵敏度高、响应速度快的光子探测器,使红外技术得到了突飞猛进的发展。直到今天,广泛应用于工业、农业、军事、医疗和空间技术等各个方面的红外技术,已经逐步形成了一个相对独立的红外系统工程领域。

红外系统常分为主动式和被动式两大类。主动式红外系统需要红外辐射照射目标,然后再探测由目标反射回来的辐射,来完成目标探测的目的;被动式红外系统不需要发射红外辐射,它只是接收来自目标的自身辐射。目标是红外系统所探测的对象。目标的辐射经过地球大气,受到大气中某些气体分子的选择性吸收以及大气中悬浮微粒的散射而衰减。透过大气的目标辐射由适当的光学系统接收、调制并会聚到探测器的相应平面上。探测器本质上是一个辐射能转换器,它把辐射能转换成另一种可以测量的能量形式,如电能、热能等。探测器输出的信号一般要经过电子系统的放大处理,然后再以必要的形式在显示系统中显示出来以供判读。

随着红外辐射源、红外辐射探测技术以及红外光谱学的研究进展和应用,红外物理学得到完善和发展。红外物理学最早出现在1959年。当时,美国人首先部分地公开了他们在十多年保密状态下发展起来的红外技术,把红外技术所涉及的物理基础统称为红外物理学。1961年,以国际性学术刊物 *Infrared Physics* 的创刊为标志,红外物理学才作为一门分支学科逐步形成。可以说红外物理学是现代物理学的一个分支,它以电磁波谱中的红外辐射为特定的研究对象,是一门研究红外辐射与物质间相互作用的学科。具体来说,就是运用物理学的理论和方法,研究与分析红外辐射的产生机理、各种物质的红外辐射特性、红外辐射的传输与探测过程中出现的现象和规律,从而为红外辐射的技术应用以及探索新的原理、新的材料、新的器件等提供理论基础和实验依据。

到目前为止,红外物理学在现代军事技术、工农业生产、空间技术、资源勘探、气象预报和环境科学等许多领域中都得到了广泛应用。例如,应用红外技术的夜视、摄影、通信、搜索、跟踪、制导、热成像、目标侦查和伪装等,不仅保密性好,抗电磁干扰性强,而且分辨率高,准确可靠,大大提高了军队装备的现代化水平。利用红外遥感技术进行的地球资源勘测、海洋研究、气象观测、大气研究和污染检测,覆盖面积大,不受地理位置和条件的限制,获得信息迅速、丰富、准确,并可以及时掌握动态变化。在工农业生产中广泛使用的红外辐射测温、无损检测、成分分析与流程控制、辐射加热技术等,也都显示出红外技术的独特优势。

如果说现代光学技术、电子技术和精密机械技术为现代红外技术提供了必要的技术基础,那么,不可否认,红外物理学则为现代红外技术奠定了可靠的理论基础。它不仅能够预言各种技术应用的原则可行性,而且它还通过对各种物质、不同目标和背景红外辐射特性的研究,对地球大气层红外光学特性的研究,对不同材料红外吸收特性以及由此而引起的各种物理效应的研究,为红外系统工程设计和新型元器件的研制提供了丰富的实际资料和必要的理论依据。

红外物理学以红外辐射为特定对象,是研究其产生、传输、探测及其与物质相互作用规律的物理学分支。红外物理学的内容十分广泛,作为一门红外物理课,主要讲述红外辐射的物理基础、红外辐射的基本规律和基本定理、红外辐射源以及目标和背景辐射测量的原理和方法。

随着人们对红外物理学基础理论研究的深入,时不时会出现与红外相关的新发明和新应用,带给我们惊讶与感叹。人类对红外这座宝藏的开发还远远不够,红外技术和产业还有广阔的发展空间!

## 本章教学目的和要求

- (1) 使学生了解红外物理学的基本知识、发展概况及应用；
- (2) 使学生掌握各种辐射量的基本概念；
- (3) 使学生掌握各种光度量的基本概念；
- (4) 使学生掌握辐射量和光度量的计算方法。

## 本章引言

红外物理学以红外辐射为特定对象,是研究其产生、传输、探测及其与物质相互作用规律的物理学分支。红外物理学是红外技术的理论基础,是从能量角度研究光学波段电磁波规律的科学知识。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。

红外物理学包括辐射度学和光度学。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。

本章主要讲解红外物理学基础、红外技术的发展概况及应用、辐射度学和光度学的基本概念及相关计算方法等。

## 1.1 红外物理学基础

自从 1800 年英国天文学家威廉·赫歇尔(W. herchel)发现红外线以来,红外辐射在军事技术、空间技术、环境科学、能源科学、激光技术、天文学、工农业生产、生理医学和基础科学研究等许多领域中都得到了日益广泛的应用。本节将讲述红外辐射与红外光谱以及红外物理学研究的对象。

### 1.1.1 红外辐射与红外光谱

#### 1. 红外辐射

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,可见光是人眼可以看到的光,它的波长为



0.38~0.76 $\mu\text{m}$ ,其颜色依次是紫、蓝、青、绿、黄、橙、红等。位于红色光以外,波长在0.76~1000 $\mu\text{m}$ 范围的电磁辐射称为“红外辐射”,简称“红外线”或“红外”。而位于紫色光以外,波长在0.01~0.38 $\mu\text{m}$ 范围的电磁辐射称为“紫外辐射”,简称“紫外线”或“紫外”,电磁波分布如图1.1.1所示。

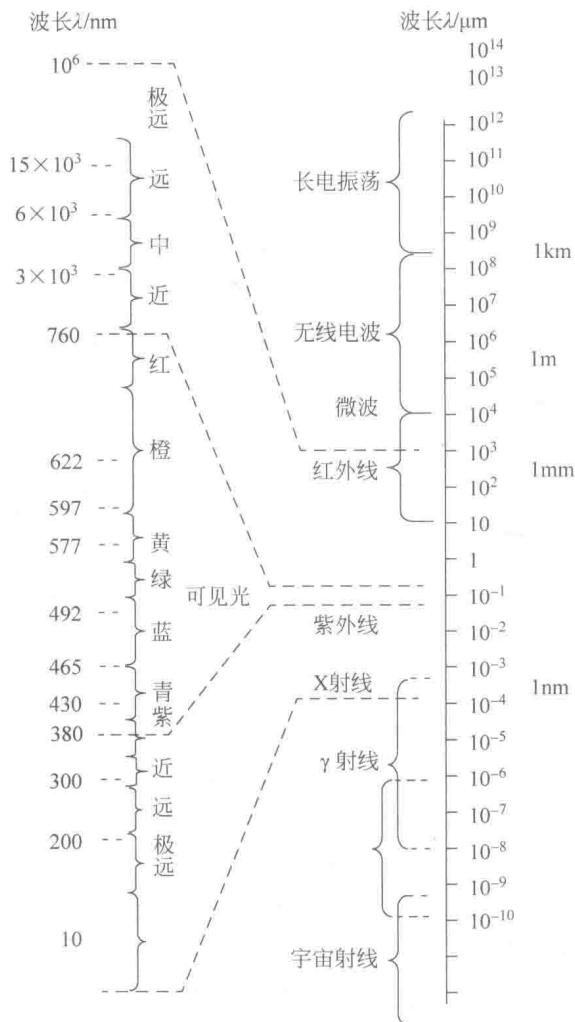


图 1.1.1 电磁波谱

宇宙中存在着温度的下限为 $-273.15^\circ\text{C}$ ,以这个下限为起点的温度叫做热力学温度,用 $T$ 表示,单位是开尔文,符号是K。热力学温度 $T$ 同摄氏温度 $t$ 的换算关系是

$$T = t + 273.15\text{K} \quad (1.1.1)$$

对大量事实的分析表明:热力学零度(又称绝对零度)不可达到,这个结论称作是热力学第三定律。尽管热力学零度不可能达到,但是只要温度不是绝对零度就总有可能降低,因此,热力学第三定律不阻止人们想办法尽可能地接近绝对零度。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 $\lambda_m$ 。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 $\lambda_m T = b$ 能够很好地说明这一问题,式中 $T$ 是绝对温度, $b$ 是常数