



红外辐射与红外技术

俞振中

雨过天晴,彩虹飞架,这一奇特的自然现象,曾给人类带来无数美妙的遐想。大约三百多年以前,人们采用三棱镜分光的方法,将太阳光分解成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色,从而解开了这一千古之谜。然而,除这些颜色光外,太阳光是否还包含有其他成分?这一问题引起科学家们的兴趣。1800年英国天文学家威廉·赫歇耳在测量太阳光七种颜色成分中的热量分布时发现,随着温度计从三棱镜后的紫色光向红光移动时,温度指示越升越高。尤其使他感到惊奇的是,当温度计移到红光以外时,温度指示不但没下降,反而升得更高。由此,他断定在太阳光的红光之外,还存在着一种新的不可见的光线,它具有比可见光更强的热效应。后来,人们将这种光线定名为红外光,又称之为红外辐射。

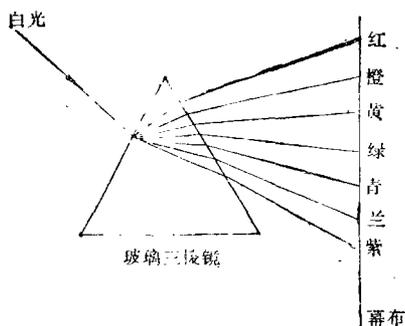


图1 三棱镜分光实验

大家知道,从波长最短的 γ 射线到最长的无线电波之间,存在着一个两头几乎没有尽头的连续电磁波谱,如图2所示。红外辐射不过是在这个电磁波大家

族中的一员,其波长范围为0.75微米至1000微米,处于可见光与微波之间。

通常采用气体放电、电弧放电、辐照以及加热等方法均可使物质内部的原子或分子受到激发,取得合适能量,从而改变物质内部的运动状态,产生红外辐射。日常经验告诉我们,只要将物体加热到一定的温度,我们就会感到灼热,也就是说,它以热的形式向四周辐射出能量。人们将这种能量的辐射形式称之为热辐射,它是红外辐射的主要源泉。不同的温度将使物质内部原子、分子的运动状态被激发到不同的能量位置,相应地产生不同波长的红外辐射。一个物体加热至较低温度时,不存在颜色改变。继续升温,会变成暗红色,进而柑黄色,最后发出灼眼的白光,这正是由于所发出的热辐射波长变得越来越短的缘故。

实际上,红外辐射无处不在,无时不有,充满了整个宇宙。我们周围的所有的一切,大至太阳、地球、整个星空;小至汽车、飞机、走兽飞禽,不管是人工制造,还是天然造就,均是一个个红外辐射源。显然,了解各种物体的热辐射特性,是一件具有重要的科学意义与实用价值的事情。然而,不同物体千差万别的内质与外表特性,使它们的热辐射性质变得极为复杂,给红外辐射的研究与应用带来困难。

为了从热辐射现象中找出规律,简化问题,精确地计算物体红外辐射的绝对量,有人在研究过程中引入了黑体辐射的概念。所谓黑体是指那类吸收系数等于1,反射系数与透射率均为零的物体。也就是说,黑体是一种能吸收辐照到它上面的全部辐射能量的物体。可以证明黑体也将具有最大的辐射能量的本领。如我们将实在物体的辐射本领与黑体的辐射本领之比定义

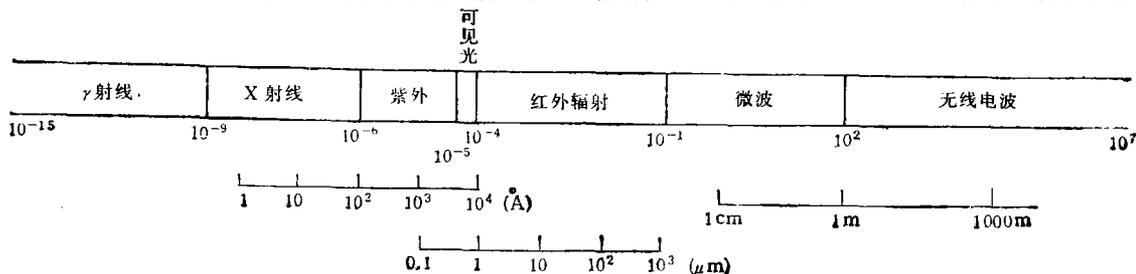


图2 电磁波谱

系比辐射率,那么一切实际物体的比辐射率均小于1。

顾名思义,黑体应是一种黑色的物体。生活中,人们喜欢将冬天取暖用的火炉外壁涂成黑色,采用深色衣料制做冬衣,就是利用它们具有较强的热辐射本领与热吸收能力。然而,实验证实自然界里的一切物体,即使是吸收能力极强的煤灰,其吸收系数也小于1。更有意思的是,肉眼看来洁白无瑕的雪,对于不可见的红外光而言,却是一种相当“黑”的物体。因此,我们不能简单地将一个肉眼看起来黑色的物体与这里所描述的黑体相提并论。

远处,一个深邃的洞穴,由于吸收了全部入射光线,看起来总是黑沉沉的。同理,我们可以采用一个带

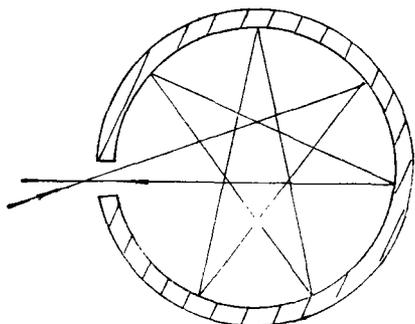


图3 黑体模型示意图

有小孔的空腔,制作吸收系数几乎为1的人工黑体。图3给出了这种黑体模型的示意图。设它的空腔内壁的比辐射率为0.9,从小口入射至腔的辐射经过10次反射后又从小口射出,那么可算得能量损失仅为 10^{-10} ,其比辐射率已十分接近于黑体了。可以认为,当空腔处于热平衡时,从小孔射出的即是与腔体温度对应的黑体辐射。一个实用黑体,腔体有圆形、圆锥、圆柱等多种形状,由不锈钢、陶瓷或石墨等材料制成。腔体外面包有加热、保温、控温等材料或部件。人工黑体的研制成功,使我们能获得可随意选择与控制的标准辐射,为红外辐射研究与红外技术发展创造了良好条件。

随着对各种红外目标辐射特性的深入研究,对黑体辐射基本规律的了解和掌握,几十年来已逐步形成了一门完整的对红外目标的探测与应用技术,简称红外技术。诸如红外成像、红外测温、红外加热、红外气体分析、红外探测、红外遥感等技术已在各国的工业、农业、医学、军事与科学研究中发挥着越来越巨大的作用,产生了深远的影响。

在各种各样的红外装置中,红外探测器是唯一不可缺少的部件。不管是什么红外装置,目标的红外辐射首先被红外探测器所感知,然后才被处理、量度。根据红外辐射与物质的两种不同的作用机理,红外探测器可分为光电探测器与热探测器两种。

红外辐射光子流作用于半导体表面,可导致内部电子数量、运动状态以及分布状况的变化,从而改变物

质的电学性质。测定这种变化量,能获取红外目标的多种信息。光电导、光生伏特、光磁电效应是三种最为重要的光电效应,几乎所有优良的光电型红外探测器均是根据这三种效应研制成功的,它们构成了光电探测器的三种主要工作模式。

热探测器主要基于红外辐射与物质相互作用时的热效应。在红外辐射能的作用下,物体的温度上升会引起某些物理性能的明显变化。其中,利用电阻值随温度变化而制成的热敏电阻红外探测器以及利用晶体的自发极化温度变化研制的热释电红外探测器是两种最重要的热型红外探测器。

由于光电效应是一种进行得很快过程,一般小于 10^{-16} 秒,因此光电探测器具有很快的响应速度与极高的灵敏度。由于光电效应只有当光子能量高于某一阈值,使电子能发生某些能量位置间跃迁时才能进行,故光电探测均有一个响应长波限。在红外辐射波长大于该值时,光电效应不会发生。对于热探测器,信号的

表1 常用红外探测器一览表

探测器类型	探测器材料	工作模式	工作温度(K)	响应波长范围(μm)
光电红外探测器	PbS	光电导	295	1-3
			77	1-4
	PbSe	光电导	295	1-4
			77	1-6
	InAs	光生伏特	77	1-3
	InSb	光电导	295	1-7
			77	1-5.6
		光磁电	295	1-7
			77	1-5.6
	Ge: Au	光电导	77	1-6
38			1-11	
77			1-12	
PbSnTe	光生伏特	77	1-12	
		77	1-14	
HgCdTe	光生伏特	77	1-14	
		77	1-14	
热红外探测器	Fe-Ni-Co 金属化合物配制	热敏电阻	295	全波段
			TGS, 铌酸锂	热释电

产生源于物质温度的变化,故响应时间取决于探测元件的热平衡过程。这个过程可长达毫秒量级,远大于光电探测器的响应时间,此外热探测器的灵敏度较低,且不依赖于红外辐射的波长。

表1列举了一些常用的光电型与热型红外探测器 (下转第5页)

E_T 触发相应于中心碰撞,有较多的核子参与相互作用,因而提供较高的能量密度。这一结果似乎表明,高 E_T 触发的中心碰撞事例中可能产生了 QGP。

但是,在下结论之前还需要仔细地进一步分析。即使没有 QGP 形成,在高密度的强子物质中,已产生的 J/ψ 粒子也可能与其他介子发生末态相互作用而被吸收。在高 E_T 触发的中心碰撞中,这类末态相互作用的影响更强,因此 J/ψ 的产额被压低。

就在这两种解释争执不下的时候,实验结果又向理论家提出了新的挑战:对不同横向动量 P_T 的 J/ψ 的测量表明, J/ψ 产额的压低随 P_T 的增大而明显减弱。QGP 存在的支持者们立即对此找到了合理的解释: $c\bar{c}$ 对形成 J/ψ 粒子需要一定的形成时间。大 P_T 的 $c\bar{c}$ 对在这段时间内较易于穿过 QGP 区域,达到没有 QGP 存在的空间。在那里没有其他夸克造成的屏蔽效应,因此 J/ψ 产额的压低在高 P_T 时就有所减弱。另一方面,在密集**的强子物质中**, $c\bar{c}$ 对在形成 J/ψ 之前还可能经历与其他强子的动态相互作用,这也会增大 J/ψ 粒子的横向动量。这种动态相互作用造成高 P_T 的 J/ψ 产额增加,而减弱了由于末态相互作用形成的压低效应。

由于相对论重离子碰撞现象的复杂性,要找到清晰可信的 QGP 存在的信息的确不是一件容易的事,关于 J/ψ 产额压低如何解释的争论还在继续,实验的精确度也还有待提高。我们只能等待进一步的工作来最终作出判决。

另一种有趣的现象是由 BNL 的 E802 组发现

的。通过谱仪与飞行时间的测量,他们能把动量小于 $2\text{GeV}/c$ 的各种带电粒子清晰地区分开来。由此测得的 K^+/π^+ 产额比值在高能重离子中心碰撞中达到 $24 \pm 5\%$ 。这个数值比相应能量 $p-p$ 碰撞时的比值 (25%) 大得多。相比之下 K^-/π^- 产额比值则没有什么增加。这一实验事实也被认为是对 QGP 存在的支持:如果 QGP 在核-核碰撞中形成,除了大量原来构成质子和中子的 d, u 价夸克之外,还将产生一些海夸克对,当一对 $s\bar{s}$ 夸克产生后, \bar{s} 很容易找到一个 u 夸克而形成 $K^+(=u\bar{s})$, 但 s 却不容易找到一个 \bar{u} 夸克而形成 $K^-(=u\bar{s})$, 因此 K^+ 将会增多, K^- 却增加很少。

但是,在密集**的强子物质中**,许多其他末态相互作用过程也可能造成 K^+/π^+ 比的上升。比如: π^+ 很容易与其他核子作用形成共振态而被吸收 ($\pi NN \rightarrow \Delta N \rightarrow NN$) K^+ 却很不容易被吸收。另外, π^+ 还能通过与其他强子的末态作用再产生 K^+ (如 $\pi^+ n \rightarrow K^+ \Lambda$)。究竟实验观测的 K^+/π^+ 比值增加是由什么引起的,仍是一个值得进一步探讨的问题。为此,有必要对奇异粒子的绝对产额,特别是 Λ 粒子的产额进行测量。另外,由于 $p-A$ 过程不会形成 QGP,却包含有各种末态相互作用,因此在同样条件下,对 $p-A$ 过程中 K^+/π^+ 比值的测量也可能对两种机制有所区分。

自 1987 年两台相对论重离子加速器运行以来,首批结果已经向我们展示了这一领域而激动人心的结果。但是,上面的分析也表明,要对 QGP 存在的信息得出确定的结论,理论和实验两方面都还有许多工作要做。

(上接第 15 页)

的类别、制备材料、工作温度、响应波段等有关参数。当前的红外探测器品种繁多,性能各异。显然,针对不同的红外目标,综合各种因素,为红外装置选配合适的探测器件,可取得事半功倍的功效。

当前,科学技术的进步,工业、农业以及军事方面的更大的需求,极大地刺激与扶持着红外技术的发展。新工艺、新材料与新的工作模式不断出现。红外探测器的市场价值已以亿为计算单位,其社会效益更是无可估算。在红外探测器的发展进程中,如果说单元探测器是七十年代以前红外器件的发展主流,那么八十年代以后,数百、数万乃至上百万元以上的多元线阵与面阵红外探测器越来越成为红外探测器发展和应用的主体与方向,以适应红外目标大面积实时成像的需要。伴随微电子学发展而出现的各种具有自扫描功能的固体集成化的红外 CCD 器件,彻底摒弃了红外装置的任何机械扫描机构,从而为红外技术走向智能化的高级阶段奠定了良好基础。

红外发展的历史证明,红外探测器是整个红外技术发展的基础与先导。五十年代, PbS 光导探测器的

出现使红外制导变成现实。InSb 探测器的研制成功,使探测的目标延向中温,使得各种车辆的动力装置成为可攻击的目标。六十年代以后, HgCdTe 器件的出现,更是大幅度推动了各种具有成像功能的红外前视系统的发展。可以说,红外遥感使红外技术达到了一个新的高潮,它是红外测温、红外成像、红外分析等各种红外技术与太空科学的美妙结合。目前,各种遥感卫星穿梭太空,不分昼夜地获取来自地球与空间的大量信息,还可进行资源探查,气象监测、森林防火、军事侦察。人们为取得尽可能多的信息,往往在遥感卫星上装备 Si、PbS、InSb、HgCdTe 等多种探测器件,使探测波段一直从近红外延至长波,囊括全部大气窗口。

当前,红外技术的重要性已是举世公认,美国、西欧、日本、苏联以及我国所实施的各种高技术研究项目中,红外技术的应用与研究均被置于极为重要的位置。投入了大量的人力、资金。我国的红外研究始于六十年代初,目前仅从事红外探测器与材料的研究人员已有数百人之多。可以认为,随着改革开放的进程,我国的红外事业将有一个更为光辉的前景。