

亚毫米波天文述评

杨 建 娄国芳

(中国科学院紫金山天文台)

提 要

本文主要从天文角度对亚毫米波天文观测和技术的目前进展作简要述评,介绍亚毫米波段大气的吸收与发射,观测站址情况,仪器现状和发展计划,地面、飞机、气球和空间观测,以及天文研究课题等,说明亚毫米波天文的重大科学意义。

一、引 言

亚毫米波天文是天文学最年青的分支学科,也是观测天文学最新的一个前沿阵地。因为即使对无线电电子学家来说,亚毫米波段也是近年来才迅速发展的一个波段,所以不少天文学家对此并不熟悉。

亚毫米(submillimetre, 简写为 sub-mm) 波段通常有以下几种定义:“亚”的意思是“短于”,因此,一是指1毫米以下即1—0.1毫米(300—3,000京赫)^[1];二是指1—0.35毫米(约300—1,000京赫)^[2];三是1—0.01毫米(300—30,000京赫)^[3],也即把一部分远红外波段算在亚毫米波段内,相反,也有人把整个亚毫米波段算作远红外波段的一部分^[4];四是2—0.05毫米(150—6,000京赫)^[5]。各种定义至今尚未统一,本文通常是指1—0.1毫米的波段。

亚毫米波段并不是一个新的研究课题,历史上Rubens和Van Baeyer^[6]早在1911年报道了应用汞放电管为功率源和测辐射热计作检波器,波长短至0.3毫米的测量结果。Glagoleva-Arkadyeva^[7]在1924年则用一个火花放电器产生了50—0.082毫米的波。但是,这类功率源是非相干、不稳定和低功率的,因而用途有限。

实际的定性研究工作是从应用由微波源激励的谐波振荡器和作为检波的改进型微波点接触二极管这种微波技术而开始的,Gordy等人^[8]在1958年利用32京赫的速调管产生18次谐波得到波长0.55毫米的辐射,功率仅零点儿微瓦,但还是进行了一些很精细的波谱学研究工作。

与上述研究工作相平行,产生相干辐射的激光器和灵敏的量子检波器的发展,在六十年代中期,采用H₂O或HCN作激活分子,激光器的工作范围已扩展到亚毫米波段,在有些波长上已达到毫瓦级功率电平。同时,也可利用如红外线指示器和热电检波器这种在室温工作而响应较慢、灵敏度高的接收器。

七十年代以来, 亚毫米波技术发展较快。1970年召开了第一次国际性的“亚毫米波专题讨论会”^[19], 这类会议后来成了例会, 隔一、二年开一次^[10-15], 可见此领域的活跃。我国有代表参加这种会议^[14, 15]。开展亚毫米波研究的国家现已发展到二十多个, 其中有美、苏、日、英、西德、法、罗、印等国。

我国尚未召开过专门的亚毫米波会议。1981年10月由中国电子学会真空电子学会在北京召开了“第一届毫米波、亚毫米波学术年会”^[16], 会上提出的 55 篇论文中有 6 篇是有关亚毫米波的。第二届同样的年会于 1983 年 10 月在南京召开, 会上提出的 80 篇论文中, 有 10 篇是有关亚毫米波的。

就亚毫米波天文观测而言, 最早的河外观测开始于六十年代中期, 但至今仍处于婴儿期, 只是在 1980—82 年接收机系统灵敏度才有较大改进, 现在在波长 1 毫米上容易观测 1Jy 的源。在亚毫米波天文学专著方面, 最早的有两本, 一是 1976 年出版的《红外和亚毫米波天文论文集》^[17], 二是苏联列别杰夫物理研究所的会议录第 77 卷《射电望远镜、亚毫米波望远镜和 X 射线望远镜》, 已有英译本^[18]。在亚毫米波天文会议方面, 1981 年 9 月在英国伦敦玛丽皇后学院由英国天文学会资助召开的《亚毫米波天文会议》, 是第一次这种会议, 会上的一部分论文于 1982 年 6 月底前截稿, 并于同年 9 月出版了一本书:《亚毫米波天文》^[19]。第二次亚毫米波天文会议是 1982 年 5 月 10—12 日在荷兰诺德魏克尔豪特(Noordwijkerhout)召开的《亚毫米波观测的科学重要性讨论会》, 参加者 80 人, 会议主办单位欧洲空间局于 1982 年 8 月出版了一本书:《亚毫米波观测的科学重要性》^[20]。

本文主要从天文学角度述评亚毫米波天文观测和仪器的现状和可以进行的一些天文研究课题。

二、亚毫米波段的大气吸收与发射

亚毫米波天文遇到的一个重大问题是地球大气的吸收与发射。由图 1^[4]可见, 波长 1 毫米以下的波受水汽吸收很严重, 在波长 0.35 和 0.45 毫米, 即使水汽含量只有 0.5 毫米(代表海拔为 4200 米的最佳站址), 天顶透射率仅 60%, 当水汽含量为 2 毫米时, 天顶透射率降到

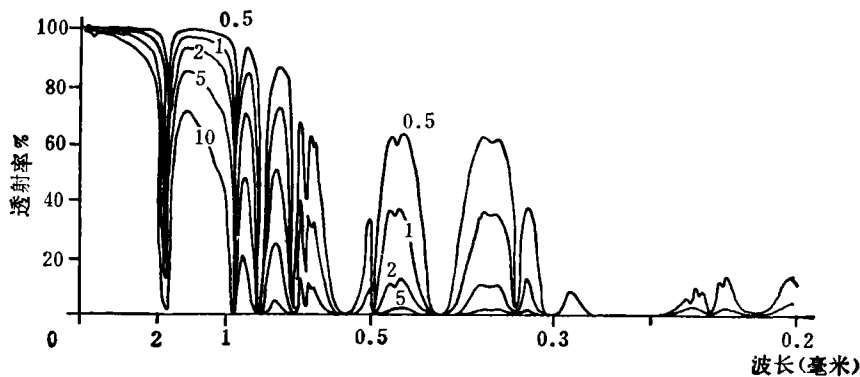


图 1. 大气中水汽含量为 0.5, 1, 2, 5, 10 毫米时, 亚毫米波段的天顶大气透射率。

10%。因此，地面上已有的最高最干燥的站址不能观测波长 0.35 毫米以下的波，而必须到空中观测(利用飞机、气球、火箭、人卫等)。

地球大气中水汽分子对亚毫米波的吸收几乎完全是由于转动能级之间的跃迁(振动基态不改变，具有永久电偶极矩)^[21]。需要指出，大气吸收方面的大部分早期研究工作是天文学家做的，目的是要扣除大气吸收量，算出大气外接收到的天体亚毫米波的流量。还要指出，即使良好站址，大气透射率也是每晚变化的(见表 1)^[20]，这种变化基本上与大气中的水汽含量成正比。

表 1 莫纳克亚站在波长 0.85 毫米平均夜晚时间测定的天顶透射率

日 期	天顶透射率	日 期	天顶透射率
1979年11月29日	0.85	1980年12月22日	大风
12 1	0.8	23	0.7
12 3	0.8	24	0.4
1980 6 1	0.8	1981 6 16	0.93
2	0.75	17	0.3
3	0.85	18	0.5
4	0.8	9 10	<0.2
5	0.7	11	<0.2
6	0.7	12	<0.3
1980 12 19	0.8	13	<0.3
20	0.8	14	0.4
21	大风	15	0.4

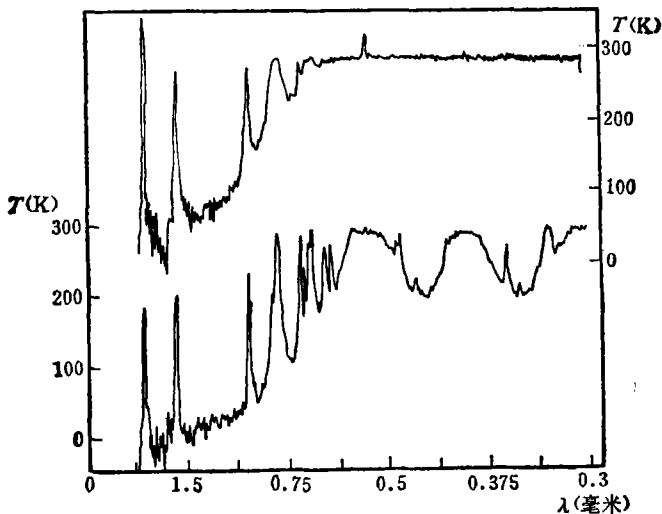


图 2. 天顶方向大气发射频谱。上图为潮湿情况，下图为干燥情况。

变化，此时得出的观测值的弥散(见图 3)就大。

此外，至今对地球大气吸收谱还不完全清楚，因为存在异常吸收，尚未能作理论解释和

除了水汽吸收以外，大气还以一定的温度进行发射，图 2 是 1978 年 2 月在加那利群岛中的伊萨那(Izaña, 高 2,400 米)的两次实测结果^[22]，图中的强发射线是水汽和氧产生的。

图 1 和图 2 均是天顶方向的大气吸收与发射，天顶距增大时，大气吸收与发射就增加。在大气稳定的夜晚可以得到图 3 的实测结果^[22]。这是 1978 年 2 月 16—17 日两个夜晚在伊萨那测得的。纵坐标为大气不透明度。当大气不稳定时，曾观测到短至 15 分钟的不透明度的变化，

预测(虽然也有些地区例如伊萨那的观测没有发现异常吸收)。因此,地面观测资料的绝对测量要扣除大气影响是非常困难的工作。

谈到绝对测量问题,火星是亚毫米波段唯一的一级校准源,但误差达5—10%,比其他波段的校准精度低。现有亚毫米波段仪器的灵敏度还找不到亮的、致密的、不变化的校准源。二级校准源已有天王星、木星、DR21 和 NGC7027 等^[23]。

三、亚毫米波天文仪器现状和发展计划

过去几年,全世界曾用超外差式接收机进行亚毫米波观测的望远镜见表2^[24]。由表2可见,地面亚毫米波望远镜的观测可用率和大气透射率是不高的。而关于每年可用于亚毫米波观测的百分率,表2中给出莫纳克亚大于80%的值是White^[24]估计的,Longair则认为每年只有30%的时间可用于亚毫米波观测,其中10%是优良的^[25]。

表2 使用超外差式接收机进行亚毫米波观测的望远镜

望远镜	直径 (米)	高度 (米)	观测优良的夜晚 天顶透射率		每年可用于亚 毫米波观测的 百分率
			$\lambda 0.86$ 毫米	$\lambda 0.46$ 毫米	
柯伊伯(Kuiper)机载望远镜	0.9	12,500	1.0	1.0	100
英国红外望远镜	3.8	4,200	0.9	0.5	>80
美国航天局红外望远镜	3.0	4,200	0.9	0.5	>80
夏威夷大学望远镜	2.2	4,200	0.9	0.5	>80
加-法-荷望远镜	3.5	4,200	0.9	0.5	>80
美国莫纳克亚站望远镜	1.5	4,350	0.9	0.5	80
得克萨斯大学望远镜	4.9	2,100	0.6	<0.1	20
智利拉斯坎帕纳斯望远镜	2.5	2,300	0.6	0.1	40
帕洛玛山望远镜	5.1	1,750	0.5	<0.1	10

除了表2列出的望远镜以外,另有一些已经、正在和计划建造的地面亚毫米波望远镜,见表3。

然而地面观测终究是受大气限制的,所以亚毫米波天文观测不可避免地要在空间进行。天文学家开始用飞机观测,接着是用气球、火箭和人造卫星(见表4)。亚毫米波段空间观测的优越性很显著,它不仅可以消除或少受大气吸收和发射的影响,增加观测时间和观测资料的精度,而且大大提高观测灵敏度。举例来说,直径60厘米的空间致冷望远镜的灵敏度为地面4米镜或气球运载1米镜的灵敏度的 10^2-10^4 倍(由于透射率不同,波长愈短,灵敏度提高倍数愈大)。

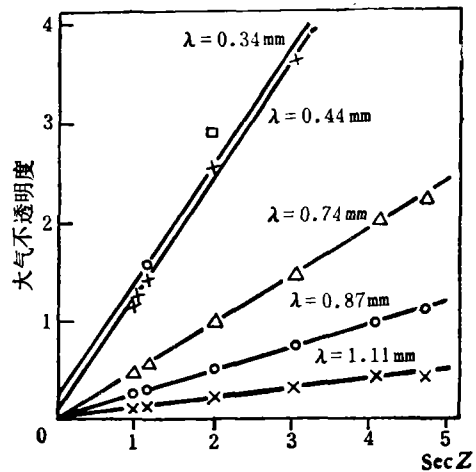


图3. 由大气发射谱得出的大气不透明度随天顶距的变化。

表 3 已建、正建和计划建造的亚毫米波望远镜

国 别	单 位	天线直径 (米)	表面精度 (毫米)	工作波长 (毫米)	站址高度 (米)	纬度	建成年份	备 注
美	纽约哥伦比亚大学	1.3	0.06	1	100	41°N	1978	
法	波尔多天文台	2.5	0.06	1			1980	
法	格勒诺布尔大学天体物理室	2.5		1.3	2,550	44°N	1984	地平式
西德	科隆大学物理研究所	3	0.05	0.5	3,000		1983	站址在瑞士
西德、美	亚利桑那大学斯图尔德天文台	10	0.015	0.35	2,800	32°N	1985	地平式
美	加州理工学院	10.4	0.03	0.5	4,300	38°N	1984	
印	赖曼物理研究所	10.4	0.03	0.5			1984	
美	加州理工学院	10.4	0.015	0.35	4,200	20°N		改进型
美	国家射电天文台	12	0.036	0.6	1,900	32°N	1982	站址在基特峰
英、荷	科学研究委员会	15	0.05	0.6	4,084	20°N	1985	保形设计, 遥控
美	国家射电天文台	25	0.07	1	4,200	20°N		
西德	马克斯-普朗克射电天文研究所	30	0.07	1	3,400	37°N		站址在西班牙
伊拉克	伊拉克科学研究院	30	0.07	1	2,100	37°N	1985	站址在科雷克山

表 4 亚毫米波空间观测概况

运载工具	年份	国家	研制机构	波长(毫米)	口径 (厘米)	飞行高度 (公里)	观测课题	参考文献	备 注
飞 机	1967	英	国家物理研究所	0.6—1.5	4.3	12	太阳辐射在地球大气中的吸收谱	[26]	傅里叶频谱仪
	1970	美	航天局	0.04—0.3	30	15	银河中心	[27]	1.8 K 致冷铂测辐射热计
	1973	美	航天局艾姆斯中心	0.001—1	92	13.7	星际气体云	[28]	红外望远镜
	1981	欧洲七国	41个研究所	0.001—10	150	13	行星、彗星、恒星、行星状星云、星际云、原恒星区、星系、类星体、银河中心	[29]	27种观测仪器
气 球	1967	美	航天局戈达德空间研究所	亚毫米波	30	30		[30]	1.8 K 致冷铂测辐射热计
	1968	法	默冬天文台	0.05—2.3	40	30	太阳频谱	[31]	亚毫米波卡式镜
	1970	苏	列别杰夫物理研究所	0.5—2	12		地球大气辐射	[33]	4.2 K 致冷钨化钽辐射计
	1970	美	麻省理工学院	亚毫米波			宇宙背景辐射	[34]	1.5 K 致冷钨化钽辐射计
	1972	瑞士		0.12—0.4	20		太阳亮温度	[32]	片状干涉仪
火 箭	1968	美	康奈尔大学	0.4—1.3	17	170		[35]	致冷钨化钽辐射计
	1971	美	加州大学洛杉矶拉莫斯实验所	0.1—6	15.5	120	宇宙背景辐射	[36]	1.6 K 致冷铂测辐射热计
	1971	苏	列别杰夫物理研究所	亚毫米波	16		太阳辐射	[37]	钨化钽接收机
人 卫	1969—71	苏	列别杰夫物理研究所	0.3—2	150			[38]	钨化钽接收机
	1983	美、英、荷	喷气推进实验室	0.08—0.12	60		恒星、行星等	[39]	液化氦致冷红外天文卫星

美国计划于九十年代初期发射航天飞机运载红外望远镜^[39](SIRTF-Shuttle Infrared Te-

lescope Facility), 口径为 1 米, 波长 0.01—0.05 毫米, 装有照相机、光度计和光谱仪, 置于航天飞机货舱中; 致冷接收, 比地面测光改进 1,000 倍, 但仍不适于弱源作高的频率分辨率光谱观测。因为恒星形成区开始坍缩时分子凝聚区直径约 1/3 光年, 温度约 10K, 当距离为 500 光年时, 约宽 100", 即使在波长 0.1 毫米, SIRTIF 也太小, 分辨率要求提高十倍才行。

美国计划于九十年代中期发射大型自动伸展反射面^[39] (LDR—Large Deployable Reflector), 直径 20 米卡式镜, 波长 0.03—1 毫米, 指向精度 0".1, 分辨率 20" (波长 0.03 毫米), 用航天飞机送上空间轨道自由飞行, 使用十年, 每两年由航天飞机前往运送液氮致冷剂及更换新仪器, 八十年代末完成设计研究。可观测半径 30 光年内的几百颗恒星的行星系统, 但此仪器仍不能研究原恒星结构, 需要空间射电干涉仪才行。

公元 2000 年以后, 拟在反射面后面用静电力控制薄膜成形^[40], 可在各种扰动下维持天线形状, 这就可能获得重量很轻的空间巨型亚毫米波望远镜。

四、亚毫米波天文观测研究

到 1982 年 5 月为止, 地面上已观测到了亚毫米波段的 8 条谱线(表 5)^[41], 1983 年因莫纳克亚天气特别干燥, 又发现了更多条谱线。

表 5 1982 年 5 月以前已发现的亚毫米波谱线

分子	跃迁	频率 (京赫)	波长 (毫米)	天顶大气透射率 (莫纳克亚站)
$^{13}\text{C}^{16}\text{O}$	$J=3\rightarrow 2$	330.588	0.910	0.7
$^{12}\text{C}^{16}\text{O}$	$J=3\rightarrow 2$	345.796	0.868	0.9
HCN	$J=4\rightarrow 3$	354.505	0.846	0.9
HCO^+	$J=4\rightarrow 3$	356.734	0.841	0.9
H_2O	$^4_{14}-^3_{21}$	380.197	0.789	<0.1
CO	$J=4\rightarrow 3$	461.041	0.651	0.6
CI	$^3P_1-^3P_0$	492.162	0.610	0.4
CO	$J=6\rightarrow 5$	691.473	0.434	0.4

射电天文是无线电电子学与天文学交叉产生的边缘学科, 亚毫米波天文学则是射电天文学与红外天文学交叉形成的边缘分支学科。由于是新的分支学科, 目前对此波段的观测仅触及问题的表面, 因此在目前这种发展阶段不宜讨论亚毫米波段引起的科学问题的细节, 只能谈一些主要问题^[42]。

1. 分子谱线观测课题

(1) 恒星形成区

这是亚毫米波谱线天文学主要关心的课题, 并且与红外观测紧密有关。了解恒星的形成过程, 对星系天体物理学以及星系的起源和演化的一些关键问题的研究关系重大。恒星的形成与原恒星区的元素丰度、粒子密度和温度有关, 但我们不清楚是什么因素决定恒星的形成率和质量谱。我们现在知道恒星由是巨大分子云内的凝聚区形成的, 也知道毫米波和亚毫米波

观测能够提供一种独特的手段,可以对这些正在形成恒星的区域探测其动力学演化过程。其独特之处在于巨大柱密度的星际尘埃在光学波段遮掩了这些区域,又因这些区域在坍缩阶段的温度太低、热辐射太弱,所以在红外波段也不易观测,因此只有利用毫米波和亚毫米波观测的高的空间分辨率和速度分辨率,才有可能区分膨胀区和坍缩区以及确定恒星形成区的湍流速度。两者之中由于亚毫米波比毫米波波长更短一个量级,因而能比毫米波观测更好地探测到导致恒星形成的坍缩过程。另外,由于射电技术与红外技术在亚毫米波段交叉,所以在研究恒星形成区时亚毫米波段起关键作用。

目前这个课题在理论方面做了一些云的模型的研究,观测方面在猎户座中观测到分子气体向外流动的双极性质。由于云中存在热分子成分,因此需要同时进行红外频谱观测才能获得完整资料。

(2) 星系的元素丰度和动力学

毫米波和亚毫米波观测邻近星系具有特别的重要性,因为不仅能够得出巨大分子云以及它们与不同星族的关系的全貌,而且能够直接以高的速度分辨率和空间分辨率得到整个星系速度场的详细图形。这些研究可补充中性氢谱线研究之不足。后者只代表原子情况,不能给出关于分子种类或化学丰度和详尽的激发状态。通常,在星系演化过程中,中性氢跟分子的作用是不同的,因而分子观测资料必不可少。

利用不同的分子的谱线观测,可以对银河系和其他星系画出分布图,能很有效地得到各种星系中不同区域的不同元素及其同位素的丰度和丰度变化的资料,由此可研究导致星系现在结构的物理过程以及重元素形成过程。星系演化研究中一个特别重要的例子是对在象DCN这种分子中的合成氘的研究。氘是热大爆炸合成的元素之一,它易变,可是它持久存在于银河中,这就要求不断地有含氘的物质从星系际空间落到银河系来。所以若以高分辨率得出星系速度场的详细图形,这对研究星系动力学演化和化学演化是很重要的。美国加州大学已对 $HD(J=1\rightarrow 0)$ 谱线进行观测,得出猎户星云中 D 的丰度极低,还首次在亚毫米波段观测到了河外星系的 $O\text{ I}$ 和 $O\text{ III}$ 线,进一步观测需用大口径亚毫米波望远镜。

(3) 恒星晚期研究

恒星晚期抛出的壳层是毫米波和亚毫米波谱线发射的强源。据信在许多情况下,在晚型星的喷射物中有尘粒存在,而且分子也在此产生。这种可能性已为瑞典翁萨拉(Onsala)天文台对猎户星云和碳星IRC10216的观测所证实,并且表明有碳链分子在碳星外壳中形成。

(4) 银心

银心区的分子种类特别丰富,银核附近有许多形成恒星的活动区,因此分子谱线天文学家对银心特别感兴趣。根据靠近银核的气体的速度场,可能获得靠近银核的引力势分布,从而可知银核是否存在一个大质量的黑洞。根据速度场还可确定物质是从银核抛出还是落入银核。下一代亚毫米波望远镜的分辨率高,可对邻近星系作类似的观测研究。

虽然银心是分子谱线天文学的一个重要和丰富多彩的目标,它的分子和同位素丰度问题以及动力学问题都具有重大的天体物理意义,可是目前关于银心的亚毫米波研究极其缺少,这显然是一个不足之处。

(5) 星际化学

随着星际介质中存在着大量的各种分子的发现, 星际化学这个新领域, 为天文学家了解分子在星际空间中的形成和破坏过程作出了巨大贡献。关于分子的形成机制, 主要有两种: 一种是尘埃粒子表面的催化作用, 另一种是气相分子离子与中性分子的相互作用, 要取得验证, 既要求发现更多的星际分子种类和有关参数, 也要求星际化学理论研究取得进展。另外, 在恒星包壳中的分子合成, 现在也认为是分子天文学的研究对象, 暂时也属于星际化学的研究范围。

另一方面, 化学家现在能够研究实验室中不知道而在星际介质中存在的基和分子离子(例如属于基的有 CH_2CN 、 HCO_2 、 CCN , 属于分子离子的有 H_3CO^+ 、 H_2^+CN^+), 他们现在终于认识到在低温和低密度的星际空间中的反应(尤其是交换反应, 在星际化学中看来起主要作用)的重要性, 实际上是开辟了化学研究的新领域。

星际化学最近突出的发现, 是用美国航天局柯伊伯机载望远镜(口径 92 厘米)在 490 京赫(波长 0.61 毫米)处发现了银河系猎户星云中 OMC-1 中性碳(C I)基态精细结构跃迁 $^3P_1-^3P_0$ 产生的谱线, 这条谱线的强度比最乐观的理论家所预言的还要强得多, OMC-1 中 C I 的丰度达到 CO 的 0.1—3 倍! 原子碳 C I 必定广泛分布在整个银河系中, 其他尚待发现的简单分子例如 C_2 、 C_3 、 CH_2 和金属氢化物, 它们的跃迁频率在毫米波和亚毫米波段, 所以有可能在此波段内被发现。原子碳谱线的发现, 表明我们对于稠密分子云的内部必须有崭新的研究, 低温分子云内部可能存在着高温区。范·特·胡斯特(van de Hulst)曾说过:“如果你制造一台新接收机准备寻找一条新谱线(当然是一条合理的谱线), 你很可能找到它, 但不一定在你预期找到的地方。”因此在可能的(或似乎不可能的)地方研究毫米波和亚毫米波谱线时, 我们一定会遇到许多其他类似中性碳的惊奇的新发现。

2. 连续谱观测课题

(1) 原恒星周围的尘埃和恒星形成区

早就知道尘埃在恒星形成区的演化过程中起着基本作用。尘埃被入射辐射加热至某一温度, 即以此温度的黑体辐射再发出光学和红外辐射, 因此原恒星和正在形成原恒星的区域, 以约 30—300K 的辐射温度大致以黑体辐射谱为特征。所以这些区域是亚毫米波的强源, 其频谱在波长 1 毫米附近约以频率的三次方增加, 在亚毫米波段尽可能短的波长上寻找这些源是有充分的有利条件的, 可望有许多新发现。地面大型亚毫米波望远镜和气球运载设备, 都值得进行此种观测研究, 特别要对银道面区域进行巡天观测。

(2) 晚型星周围的尘埃

最近在波长 0.35 毫米上, 发现晚型星外层发生质量损失所产生的热尘埃的连续谱辐射, 这对于研究从恒星演化成星际介质的过程来说, 是最新的重大发现, 表明宇宙物质不仅可以由星云形成恒星, 而且恒星演化晚期又可产生星际介质, 成为循环演变。从喷射出的气体的尘埃辐射的观测, 可以较好地确定晚型星的质量损失率。这一发现使正常恒星成为亚毫米波望远镜的观测研究对象, 藉助它可以研究几千颗恒星的质量损失。首次发现是用英国的 3.8 米红外望远镜获得的, 从而开辟了这个人感兴趣的新课题。

(3) 致密射电源的同步加速器辐射

此种辐射变化的快慢随辐射频率而增, 所以在毫米波段已观测到时间尺度为几天的变化。

按照一般理论考虑,在厘米波段观测到的变射电源事件是较短波段的事件引起的。在亚毫米波段对活动星系、类星体和蝎虎座 BL 天体的系统观测,可以提供探测非常致密的活动星系核的机会,甚至可探测象黑洞这样的大质量坍缩天体。所以在亚毫米波段观测研究很短波段的事件与厘米波段的“超光速”射电源动力学活动相关,以及与光学和 X 射线源的非热特性的相关,还将能全面了解活动星系核的起源问题。地面和空中都可进行此项观测,目前已在莫纳克亚和飞机上对 3C345 等进行观测,但因活动星系核距离很远,需要建造大口径设备。

(4) 微波背景辐射

它的普朗克频谱峰值在波长 1 毫米附近,所以在毫米波和亚毫米波段容易观测到背景辐射。有几种具有宇宙学意义的观测要求有良好的观测条件下才能进行。这些观测包括在亚毫米波段测定背景辐射的空间分布涨落和辐射频谱。引起涨落的最重要的原因,是星系团的热气体和具有大红移的原星系和原星系团的热气体引起的背景辐射康普顿散射。这些涨落的特征,是它们在黑体辐射谱极大值的两侧应有相反的符号。如果微波背景辐射谱与普朗克谱有重大偏离,那么上述效应对理解这些偏差的起源是特别重要的。

此项观测最好是在空间进行,当天气极为良好时(水汽含量远低于 1 毫米时),在地面上,亦值得进行尝试。

(5) 太阳系

所有行星及其卫星、彗星和小行星是毫米波和亚毫米波的强辐射源。对太阳低层大气的观测,也可用亚毫米波望远镜进行,它能提供其它测量方法测不出的区域的粒子密度估计值。

目前已在亚毫米波段观测的太阳系天体有木星、土星、天王星、海王星和土卫六,另外在 38 公里高空的气球上,观测了黑子、太阳活动带和宁静太阳。下一代亚毫米波望远镜建成后,可观测更多的太阳系天体。

根据维恩(Wien)位移定律,黑体温度为 150K 和 3K 时,最强辐射能量区分别在 0.02 和 1 毫米波长附近,所以亚毫米波段适宜观测宇宙冷区。这个波段使天文研究开辟了二个量级的电磁频谱(300—30,000 京赫),而天文研究史上每次开辟新的波段(例如射电、红外、紫外、X 射线等)总是会发现许多新天象,为天文学家提供更多的资料以组成更好的宇宙总图景,从而获得许多惊人的和科学上感兴趣的新发现。总的说来,我们现在所知道的亚毫米波天文,仅是刚看到冰山的尖顶,冰山的全貌尚待天文学家去探索研究。

参 考 文 献

- [1] Batt, R. J. and Harris, D. J., *Radio and Electronic Eng.* 46 (1976), 379.
- [2] 徐培源,毫米波和亚毫米波天文学,见《中国大百科全书·天文卷》,112,(1980).
- [3] 黎宗文,亚毫米波技术与应用,(1980),1.
- [4] Robson, E. I., *Sci. Prog., Oxf.*, 66 (1979), 119.
- [5] *Radio, Submillimeter, and X-ray Telescopes*, ed. by Basov, N. G., Translated by Oldham, E. U., 35, Plenum Publ. Co., (1976).
- [6] Rubens, H. and Van Baeyer, O., *Phil. Mag.*, 21 (1911), 689.
- [7] Glagoleva-Arkadyeva A. A., *Nature*, 113 (1924), 640.
- [8] Cowan, M. and Gordy, W., *Phys. Rev.*, 104 (1956), 551.

- [9] Proceedings of the Symposium on Submillimetre Waves, Microwave Research Institute, Polytechnic Press, Brooklyn, New York, (1970).
- [10] Proceedings of the First International Conference on Submillimetre Waves and their Applications, *IEEE Trans.*, MTT-22 (1974), No.12, 981—1120.
- [11] Proceedings of the International Conference on Infrared Physics, Zurich (1975).
- [12] Proceedings of the Second International Conference on Submillimetre Waves and Their Applications, San Juan (1976).
- [13] Proceedings of the Third International Conference on Submillimetre Waves and Their Applications, Guildford (1978), *Infrared Physics*, 18 (1978), 375—927.
- [14] Proceedings of the 4th International Conference on Infrared and Submillimetre Waves, Miami, (1979).
- [15] Proceedings of the 5th International Conference on Infrared and Submillimetre Waves, (1981).
- [16] 第一届毫米波、亚毫米波学术年会回旋管学术及其应用讨论会论文摘要集, (1981), 北京.
- [17] Symposium on Infrared and Submillimetre Astronomy, 223pp.
- [18] Radio, Submillimetre, and X-ray Telescopes, ed. by Basov, N. G., Translated by Oldham, E. U., Plenum Publ. Co., (1976).
- [19] Submillimetre Wave Astronomy, ed. by Beckman, J. E., and Phillips, J. P., Cambridge Univ. Press, (1982).
- [20] The Scientific Importance of Submillimetre Observations, ESTEC Reproduction Services, (1982).
- [21] Leslie, D. H., Manning, J. L., AD-A083975, (1980).
- [22] Hills, R. E. et al., *Infrared Phys.* 18 (1978), 823.
- [23] The Scientific Importance of Submillimetre Observations, ESTEC Reproduction Services, p.149, (1982).
- [24] *ibid*, p.6.
- [25] *ibid*, p.222.
- [26] Bate, M., et al., *Nature*, 214 (1967), 377.
- [27] Aumann, H. H. and Low, F. J., *Ap. J.*, 159 (1970), L59.
- [28] 36-Inch Airborne Infrared Telescope, NASA Ames Res. Center, Rep. 9, (1971).
- [29] The Scientific Importance of Submillimetre Observation, ESTEC Reproduction Services, p.69, (1982).
- [30] Woolf, N. J., et al., *Science*, 157 (1967), 187.
- [31] Gay, J. et al., *Ap. Lett.*, 2 (1968), 169.
- [32] Stettler, P. et al., *Astron. Astrophys.*, 20 (1972), 309.
- [33] Лапшин, В. И. et al., *Изв. Вуц. Радиофиз.*, 13 (1970), 388.
- [34] Muehler, D., Weiss, R., *Phys. Rev. Lett.*, 24 (1970), 742.
- [35] Shivanandan, K. et al., *Phys. Rev. Lett.*, 21 (1968), 1460.
Houck, J. R. and Harvit, M., *Ap. J. Lett.*, 157 (1969), 145.
Pipher, J. L. et al., *Nature*, 231 (1971), 375.
Houck, J. R. et al., *Ap. J.*, 178 (1972), L29.
- [36] Blair, A. G. et al., *Appl. Opt.*, 10 (1971), 1043; *Phys. Rev. Lett.*, 27 (1971), 1154.
- [37] Кобжев, А. А., *Тр. ФИАН*, 77 (1974), 110.
- [38] Саломонов, С. В. et al., *ФИАН*, 预印本 No.126, (1974).
- [39] Strom, S. E., *Sky and Telescope*, 65(1983), 312.
- [40] The Scientific Importance of Submillimetre Observation, ESTEC Reproduction Services, p.95, (1982).
- [41] *ibid*, p.8.
- [42] *ibid*, p.220.

Review of Submillimetre Astronomy

Yang Jian Lou Guofang

(Purple Mountain Observatory, Academia Sinica)

Abstract

The present development of astronomical submillimetre observations and techniques

is briefly reviewed, with the absorption and emission by the earth's atmosphere in the sub-mm spectral range elucidated. The site condition of sub-mm observation, the existing sub-mm telescope and its perspective, the observations of ground-based facilities, airborne observatory, balloon-borne platform and space-borne observatories, as well as the astronomical projects carried out with sub-mm telescopes are discussed, with the idea of making clear the scientific significance of sub-mm observations.