

宇宙射电

赵仁扬 编著



科学出版社

电 射 宇 宙

赵仁扬 编著

科 学 出 版 社

1978

内 容 简 介

本书深入浅出地从射电天文学的诞生讲起,依次介绍了有关射电望远镜、太阳系射电辐射和宇宙射电辐射等方面的基本知识,尤其是着重介绍了宇宙射电中最近的一些重大新发现和研究新成果。本书可供具有中等文化程度的广大工农兵读者阅读,并可作为射电天文工作者参考。

宇 宙 射 电

赵仁扬 编著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年9月第一版 开本:787×1092 1/32
1978年9月第一次印刷 印张:5 1/2
印数:0001—35,240 字数:105,000

统一书号:13031·803

本社书号:1150·13—5

定 价: 0.45 元

序

射电天文学是一门诞生于四十年代的萌芽科学，是天体物理学和无线电物理学之间的边缘学科。它使用无线电电子学的技术方法，通过对宇宙天体所发射和反射的电波的观测研究，来进一步揭露宇宙天体的奥秘。它在短短的数十年内迅速地茁壮成长，并为天文学和物理学的进展作出了重大的贡献，同时在对其他科学技术的促进与实际应用方面也起了很大的影响。

本书主要概述了宇宙射电辐射，尤其是着重介绍了最近十年来宇宙射电中的重大的新发现与新成果，也扼要地叙述了太阳系的射电。本书的目的，是将这门新颖的年青学科简略扼要地介绍给具有高中以上文化程度的广大工农兵和知识青年。书中的许多宇宙射电的新动态，对大学天文系和物理系的师生以及有关工作人员也有参考的价值。

由于笔者水平有限，而且这门科学发展极为迅速，所以书中难免存有疏漏不周之处，敬希读者随时给予指正。

编著者

1973 年于中国科学院

目 录

序	iii
一 射电天文学的诞生	1
1 大气“天窗”	2
2 宇宙射电的发现	4
二 射电望远镜	8
1 抛物面天线射电望远镜	10
2 射电干涉仪	13
3 雷达	17
三 太阳系射电	19
1 流星射电回波	19
流星余迹	19
雷达探测	21
一些研究结果	24
2 月球射电	27
月球的射电回波	27
月球的射电辐射	30
3 行星射电	36
木星射电	37
金星射电	40
火星射电	45
其他行星的射电	49
4 太阳射电	50
太阳简介	50

宁静射电	53
缓变射电	60
射电爆发	63
日地关系	68
四 宇宙连续频谱射电	72
1 星系简介	72
2 射电巡天	76
3 银河系射电	86
4 银河系中的分立射电源	93
5 河外星系射电	100
五 宇宙原子氢谱线射电	110
1 揭示银河系结构的奥秘	113
2 河外星系中的原子氢	122
六 宇宙射电中的新发现	126
1 十年来的新发现	126
2 惊异的新天体——“类星体”	129
3 奇特的新天体——“脉冲星”	138
4 射电星际分子	150
5 寻找“天上人间”	160
七 结语	164
主要参考文献	169

一、射电天文学的诞生

伟大革命导师恩格斯曾经指出：“必须研究自然科学各个部门的顺序的发展。首先是天文学——游牧民族和农业民族为了定季节，就已经绝对需要它。……科学的发生和发展一开始就是由生产决定的。”

古代的人们为了社会生活的实际需要，要求有一种计量时间的方法，因而采取了昼夜更替、月亮盈亏和四季循环这些最自然的时间单位。又如，原始的游牧民族经常在辽阔的草原上流动，需要一种辨别方向的方法，因而利用了天空星星的图象这个最基本的方向标志。再如，对于远古的农业民族，他们需要了解播种和收获的季节，因而便注意到季节的变化与中午太阳的高度有着密切的关系。经过长期的生产实践，经验积累，人们看到在不同的农牧季节、不同的地方出现不同的天象，因而就逐渐开始利用这些不同的天象来定季节、定方向、定位置。……就是这样，由于生产实践的需要，从而促使了天文学逐渐地建立和发展起来。

同样，射电天文学也是在人类的生产实践中诞生和成长起来的。科学技术是生产力。科学技术的日新月异的发展，也促进了射电天文学的迅速发展。在短短的二、三十年中，射电天文学就取得了很大的成就。

1 大气“天窗”

人们研究物理学或生物学的时候，可以把研究对象安排在实验室里做实验或进行解剖。但天文学就没有这种可能。对天文工作者来说，除了太阳系内地球的近邻以外，宇宙天体是名副其实的“可望而不可及”。人们不能随心所欲地将遥远的天体(天上落下的陨石和登月飞行而带回的月球上的物品除外)放到实验室中来做实验。

天文学工作者不辞辛劳成年累月地不分春夏秋冬操纵着精密复杂的仪器，耐心仔细地观测着那些摸不到的宇宙天体。然后利用数学和物理学的知识，进行繁难的计算分析，从中探索到一些宇宙天体的奥秘。因此，天文学直到不久前，几乎可以说是一门纯观测科学。

宇宙天体在时刻不停地向四面八方发射着大量的电磁波(有些天体还会发射高能带电粒子)。但是能够达到地面而被观测到的毕竟只是其中极小的一部分。虽然如此，这少量的电磁波却也能有效地揭露出宇宙天体的一些奥秘。

电磁波的特性随着波长的不同而异，因此依据物理特性按波长可将它分成 γ 射线、X射线、紫外线、光波、红外线和无线电波(射电波)几个波段(参看图 1.1)。其中只有光波为可见波，其他的电磁波是人眼所不能看见的。

从图 1.1 可见，光波波段约从 4000 埃($1 \text{ 埃} = 10^{-10} \text{ 米}$)的紫光到 8000 埃的红光。而整个电磁波谱却从波长不到 10^{-12}

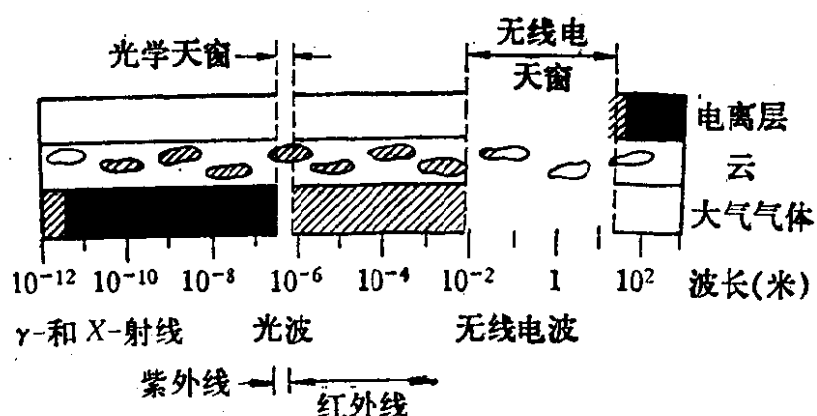


图 1.1 电磁波谱与大气“天窗”

米的 γ 射线一直延伸到波长达 10^4 米的射电波。显然,光波波段的波长只不过变化了两倍,即它只包含一个倍频程(倍频程就是频率加倍的次数);而整个电磁波谱的波长变化达 10^{16} 倍以上,即它包含 50 个以上的倍频程。这说明光波,这个天文学长期以来唯一能够进行观测的波段,只占整个电磁波谱的极小的一部分。十九世纪中叶,由于采用了照相和光电技术,而使该波段扩展为五个倍频程,即从 3000 埃的紫外线到 10 微米($1 \text{ 微米} = 10^{-6} \text{ 米}$)的红外线。

我们形象地将这个波长范围比喻为大气光学“天窗”。通过这“天窗”,人们就可用肉眼或光学望远镜等仪器去观测天体所发射的这个波长区域中的电磁波。在这个“天窗”范围以外,天体的电磁波则受到地球大气的严重吸收。这种吸收情况从图 1.1 可以看到,画阴影的区域代表部分吸收,而全黑的区域表示完全吸收。大部分的紫外线和红外线遭到大气中气体分子和水汽分子的严重吸收,而波长更短的 X 射线和 γ 射线几乎受到全部吸收。对于这些电磁波,只有到大气外面,利

用气球、火箭、人造卫星和宇宙飞船去进行高空观测。

从图 1.1 可见,除去开得较窄的光学“天窗”而外,在无线电波区中还存有一个开得相当大的新“天窗”——无线电“天窗”。该“天窗”约包含 16 个倍频程,即从 1 毫米到 60 米以上。显然要比光学“天窗”开阔得多。在这“天窗”外面,波长短于几毫米的天体的电磁波则受到地球低层大气中氧分子和水汽分子的严重吸收。而波长长于 60 米以上的电磁波则遭到高层大气电离层的反射。这个无线电“天窗”直到几十年前才被发现。

1924 年,人们采用向地球电离层发射电波并测量其返回的时间,而来决定电离层的高度。可是当发射的波长小于 40 米时,电波便一去不复返了。以后才明白,这些电波并非受到电离层的吸收,而是穿过电离层逃到宇宙空间中去了。波长小于 60 米的电波,是可能穿过电离层而逃离地球的。从此才探索到通向宇宙的这个无线电“天窗”。

既然地面上的电波可从这个“天窗”逃进太空中去,那么宇宙中的电波也必定可由该“天窗”射入地面上来。不过,由于受当时科学技术水平所限,还没有一架能发觉极端微弱的宇宙射电的灵敏仪器所以还没有进行这方面的实验。

2 宇宙射电的发现

1931 年,有一个名叫 K. G. 央斯基的无线电物理工作者,当时他在从事着无线电通讯的干扰试验。他安装了一架方向

性很强的天线,用来研究短波天电干扰的方向。这架天线(参看图 1.2)安放在一个下端装有四个轮子的木架上,它可在一个砖砌的圆轨道上转动,因而便可指向任何方向的天空。为了发现微弱的天电干扰,他又采用了一台很灵敏的接收机来与天线相连。

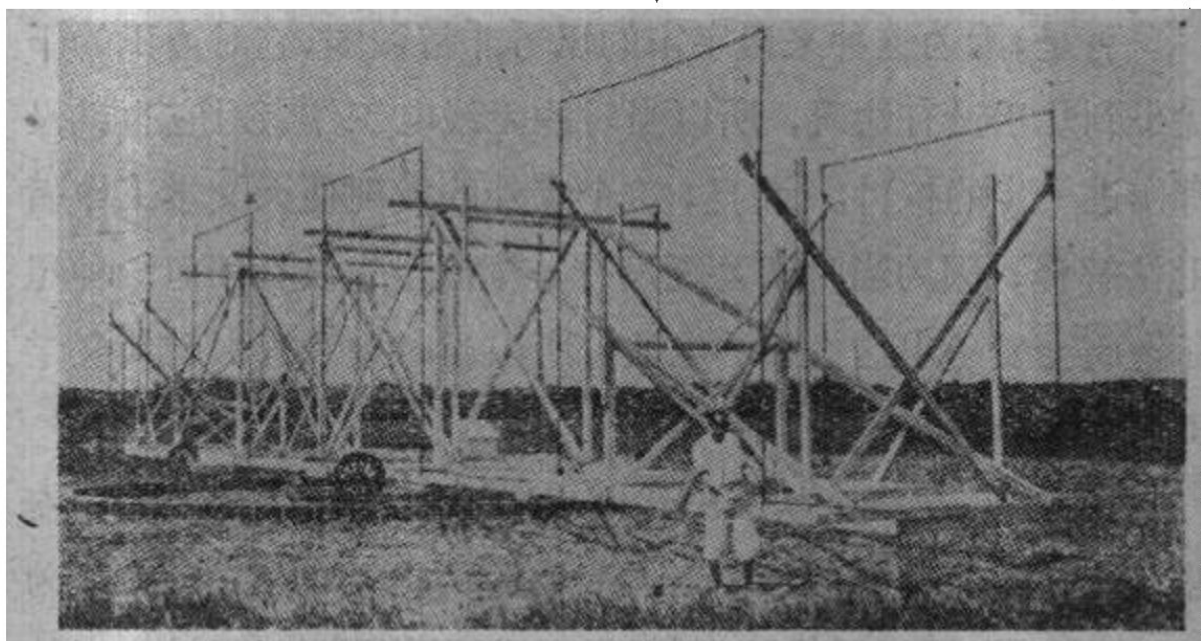


图 1.2 首次发现宇宙射电的天线

央斯基就用这架仪器在 14.6 米的波长上接收到两种所预料到的天电干扰讯号:一种是从当地的雷雨直接而来的,另一种是由远处的雷雨经过电离层反射后而来的。可奇怪的是,在 1932 年 1 月,又突然接收到意外的第三种干扰讯号,这种来历不明的讯号引起他极大的兴趣。他对这种讯号密切地注视了一年多,经过精确测量与周密分析,终于摸索到它的特有规律。

首先发现,这种讯号的强度,在慢慢地不断变化着。更有趣的是,这种强度变化的周期正好等于地球相对于恒星的自

转周期 23 小时 56 分 04 秒(请注意, 24 小时是地球相对于太阳的自转周期)。这无疑地说明了这种讯号既非来自地球, 又非来自太阳, 而是来自更遥远的宇宙星空。其次又发现, 每当天线指向恒星间某个确定的方向时, 这种讯号就最强。这个固定的方向刚好指向银河系的中心——人马星座。

可是, 因为这种来自宇宙的讯号非常微弱, 它对通讯的干扰小到几乎没有妨碍, 所以当时的无线电工作者对它也就没有作进一步的探讨。而且, 这个意外的发现使天文学工作者无法解释, 因为当时认为既没有一颗恒星也没有任何一种星际物质会发射出这么强的电波, 所以当时也没有引起天文学工作者的注意。

1937 年, 另一个从事无线电工作的 G. 瑞伯, 他在家中安装了一架在当时说来是相当大的仪器, 其天线是一个直径为 9.6 米的由金属板铺成的抛物面, 在距抛物面 6.1 米的焦点处放置一对锥状小接收天线。他用这架仪器希望在更短的波长上来验证央斯基的结果。终于在 1939 年 4 月, 又从银河系中心方向人马星座发现了波长不到 2 米的电波。此外还发现, 从银河系内其他的方向(如仙后星座、天鹅星座等)也发射出同样的电波, 只不过它们的强度不同而已。因此, 瑞伯的工作便进一步证实了央斯基的发现。

1942 年 2 月, 英国发现许多炮台上的炮瞄雷达有时突然都受到干扰。当时猜想, 可能是德国使用了某种反雷达的新式武器。可是, 经过科学工作者的多次研究才发现, 每当各个炮瞄雷达一旦对准太阳时, 就会受到同样的干扰。而且当太

阳上出现“黑子”、“耀斑”时，干扰就更强。这时才真相大白，原来是从太阳上来的天然干扰。太阳也在时刻发射着无线电波。

这些重大发现就充分肯定了，宇宙天体象发射光波一样，也会发射电波。于是，人们便获得了通过无线电波来探测宇宙奥秘的新途径。诞生了“射电天文学”。

二 射电望远镜

要想通过无线电“天窗”来窥测宇宙的奥秘，也就必须使用“射电望远镜”(又称“无线电望远镜”)。

一提到望远镜，人们都有这样的印象，它具有将远处目标“成像”的本领。可是，射电望远镜就不具备光学望远镜这种最基本的特点。从一般的射电望远镜中，并不能直接“看到”天体的详细形象，而只是笼统地识别天体的射电波的强弱，我们只能从这种电波讯号中，来分析研究宇宙天体的某些情况。

射电望远镜的结构、原理实际上和光学望远镜大同小异。它的天线部分相当于光学望远镜中的物镜，也是担负着将天体的电波(对光学望远镜则是光波)汇聚在焦点上的任务。光学望远镜是在焦点处放置照相底片或光电元件来接收光波，或直接装上目镜用肉眼来观测。而在射电望远镜中，接收电波的设备却是一架非常灵敏的无线电接收机。

从图 2.1 可知，天线将收集到的天体电波，经过馈电线而送到接收机上。这架接收机和日常收音机的原理差不多，实质上也是个放大器，它首先将微弱的天体电波高倍放大，再进行检波，让高频能量转变为低频形式，最后送到记录仪上记录下来，或在示波器上显示出来。为了要确定天体电波的强度，接收机还可通过开关，而联接到一个强度为已知的比较源(如噪

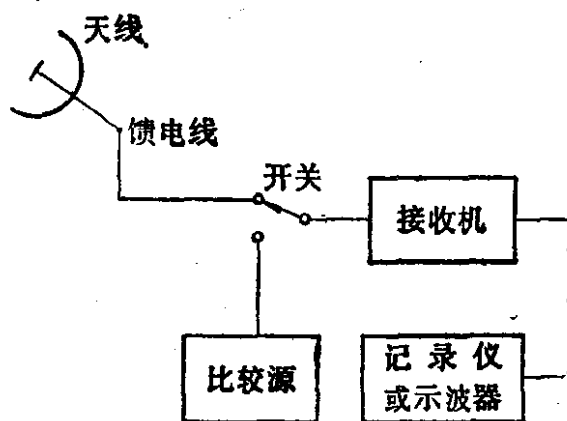


图 2.1 射电望远镜简单结构

声发生器或石墨热源)上去进行比较。

射电望远镜中的接收机通常采用超外差线路，这种接收机具有极高的灵敏度和极好的稳定性。由于宇宙天体非常遥远，因而射来的电波功率非常微弱，往往比接收机固有噪声功率还要小几百倍甚至几千倍以上。而且地球大气中的天电干扰噪声及地面上的工业干扰噪声也同时进入接收机，在这样的情况下，要想从接收机中挑选出所需要的宇宙射电信号，就采用“补偿法”、“调制法”和“相关法”。目前灵敏的接收机已能发现并能测出比机身噪声小几千倍甚至上万倍的宇宙射电信号。这种微弱的讯号比现代大型光学望远镜所能发现的最小讯号还要小上千倍，射电望远镜在绝对灵敏度方面，要远远超过普通的光学望远镜，所以它能观测到更遥远的天体。随着科学技术的发展，接收机中已采用了低噪声的量子放大器和参量放大器这些新器件，因而灵敏度又有很大的提高，从而使射电望远镜能发挥更大的威力。

射电望远镜中的天线，是一个相当重要的组成部分，它可

以决定望远镜的类型。下面我们就分门别类地介绍一下。

1 抛物面天线射电望远镜

射电望远镜中所采用的天线种类繁多,用得最广泛的(尤其在较短的波长上)要数金属旋转抛物面反射天线(参看第六章的图 6.7 和图 6.9)。这种天线,在抛物面的焦点上,还放置一具小型的天线(如半波振子或喇叭等天线),来接收由抛物面所反射而汇聚的电波,然后通过馈电线而输送到接收机上。

这种抛物面天线的最大优点,是可以在较宽阔的波长范围内工作,因为只要改变一下接收机设备,就可把射电望远镜从一个波长调到另一个波长,而不必去更动天线本身。抛物面天线的另一个长处,就是它的“方向性”要比其他类型的天线的方向性强得多。

天线的方向性表示它能接收并增强某一定方向到达的电波,而削弱甚至不接收其他方向的电波。因此,天线能告诉人们,它所接收的电波是来自何方。一般天线的方向性可用图 2.2 的形式表示, O 为天线中心,在某个方向 θ (离 OX 方向的角距离)上,天线的灵敏度可用 $\overline{OP}$ 长度表示。图中最灵敏的方向为 OX 方向,在此方向附近的方向瓣称为“主瓣”。而在偏离主瓣的方向上,还存在着许多“旁瓣”,甚至还有向着反方向的“后瓣”。从图可见,天线除了主要接收正面方向上由主瓣进来的天体的电波而外,还会接收一些侧面甚至反面方向上由旁瓣和后瓣进来的背景辐射(宇宙空间和地球大气中的辐

射)以及地面热辐射。这些辐射会干扰甚至混淆从正面来的真正信号,因此射电望远镜的天线,希望设计制造得旁瓣和后瓣越小越好。

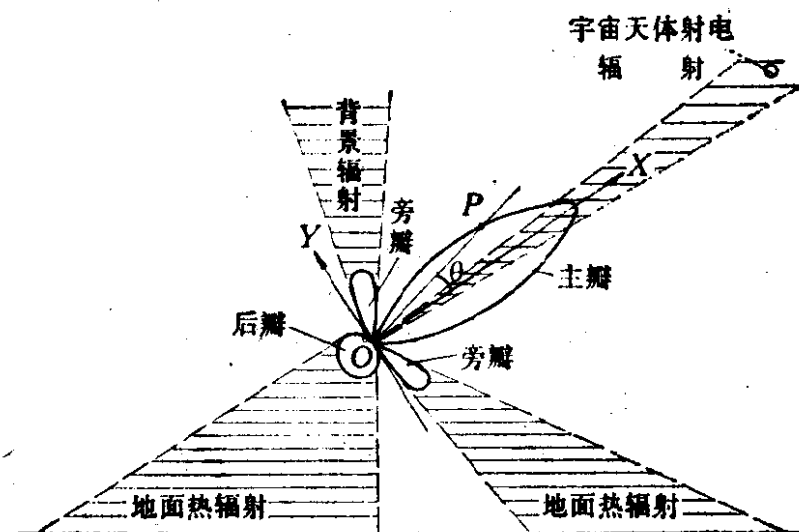


图 2.2 天线方向图

我们要想从射电望远镜中发觉遥远天体的微弱电波,除了增加接收机的灵敏度而外,就只有将希望寄托在天线上了,因为天线是收集电波的,于是便设法尽量增大天线面积,由此提高射电望远镜的灵敏度。目前世界上最大的全可动抛物面天线射电望远镜的天线直径已达 100 米,该天线的可动部分(不包括更大的支架)就重达 3200 吨。

全可动天线可绕着互相垂直的两个轴转动,因而它可指向任何方向的天体,并能进行跟踪。但这种天线的机械结构庞大复杂。如果让天线只绕一个水平轴转动(半可动),则其机械结构就较简单,不过它只能指向中天附近的天体。倘若天线固定不动,则其机械结构就更简单了,因此它可做得相当