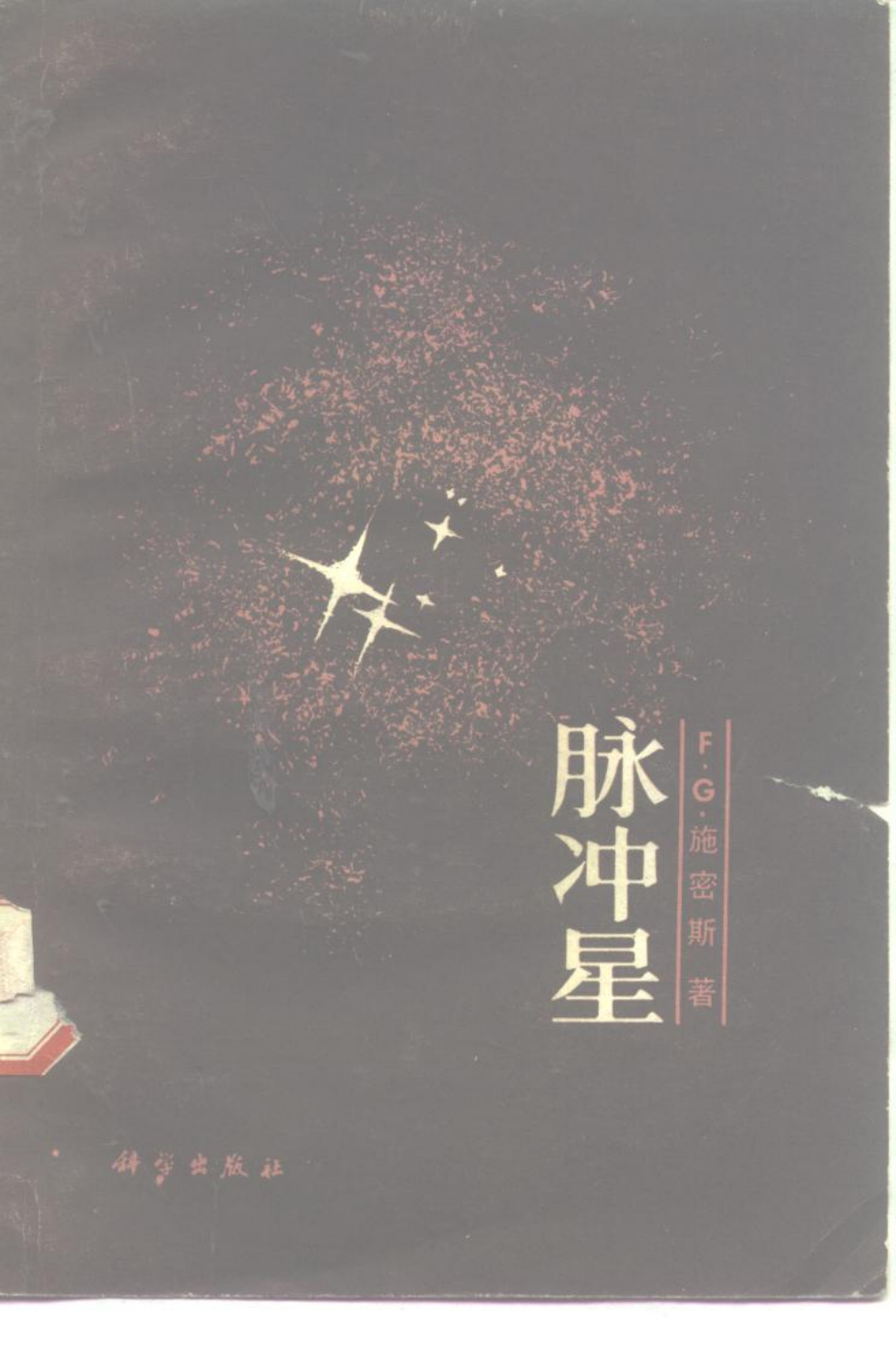




脉冲星

F·G·施密斯 著

科学出版社

P145:6
SFG

脉 冲 星

F. G. 施密斯 著

李启斌 译

7455/01



科学出版社

1982

001908

内 容 简 介

脉冲星是六十年代天文学四大发现之一，对现代天文学发展产生了重大影响，其发现者曾获得1974年诺贝尔奖金。本书是一本深入浅出地介绍脉冲星观测与理论的著作，介绍了脉冲星发现的历史和观测技术，重点地叙述了观测结果，对理论机制也作了简明的介绍。本书的特点是对观测事实归纳得十分有条理，对理论的介绍简明扼要而富于启发性，既可供一般读者作为入门书，又可供进一步研究脉冲星的专业工作者参考。

本书可供理科大学学生、研究生、天文和物理工作者阅读参考。

F. G. Smith

PULSARS

Cambridge University Press, 1977

脉 冲 星

F. G. 施密斯 著

李启斌 译

责任编辑 夏墨英

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

1982年8月第一版 开本：787×1092 1/32

1982年8月第一次印刷 印张：8

印数：0001—2,200 字数：178,000

统一书号：13031·1959

本社书号：2659·13—5

定价：1.25 元

中 译 本 序

1977年，我愉快地访问了北京、南京、上海和昆明的天文台。中国天文学家为使他们的望远镜和仪器现代化而作的顽强的努力和理论方面的工作，都给我留下了深刻的印象。我愿借本书中译本出版的机会，祝贺中国天文学家的成就，并对他们的未来表示最好的祝愿。

作 者



原 序

Hewish教授和Joselyn Bell女士在1967年关于脉冲星的发现，与类星体及微波背景辐射的发现并列，成为近代天文学的三大进展之一。那时，一些天文台便大力发展其射电天文技术，以便迅速发现更多的脉冲星和了解更多的脉冲星的性质，而理论家则很快地领悟这些发现的意义，并以令人头晕目眩的速度提出种种解释，使人无所适从。但是，大多数天文学家很快便难以（其他科学家几乎也不可能）离开脉冲星、中子星和超新星爆发三者之间的联系去理解脉冲星的真相了。在理论家分析那些显然不甚恰当的过于简化的模型的时候，脉冲星的观测者则在努力找出他们的观测数据可以说明的关键问题，但并不太成功。结果是复杂而令人困惑的出版物大量涌现。

现在，文章的洪流已经低落下去，是综述脉冲星观测结果与理论的时候了。对于作者来说，他在焦德雷尔班克天文台和他的同事们为脉冲星进行了六年激动人心的工作之后，于1975年开始写这本书是一个合适的时机。由于有76米射电望远镜和J.G.Davies教授为它发展了联机计算机，这项工作在得到关于脉冲星发现的消息后就开始了。现在，焦德雷尔班克天文台的研究工作在A.G.Lyne博士领导下继续进行，我对他深表感谢。我的研究现在已由射电天文学转向光学天文学，因而在脉冲星方面进行观测的可能性已非常有限，我只能通过这本书来对这一课题做出贡献。我希望这本书将不仅对少数脉冲星专家，而且对更广泛的科学家，都有所裨益。

他们将注意到,本书不是解决问题,而是偏重于描述现象而不涉及深奥的理论,以及本书材料几乎完全依靠他们自己发表的工作和少量我自己的工作。我希望他们会原谅我在本书中所作的取舍。

目 录

第一章 脉冲星的发现	(1)
1.1 行星际闪烁	(2)
1.2 1968年2月份英国《自然》杂志上的通讯	(4)
1.3 证认为中子星	(5)
1.4 蟹状星云脉冲星的光学脉冲	(6)
1.5 蟹状星云脉冲星的X射线脉冲	(7)
1.6 脉冲星研究的发展	(9)
第二章 搜寻和观测技术	(11)
2.1 灵敏度问题	(11)
2.2 脉冲到达时间的色散	(12)
2.3 搜寻技术: 单脉冲	(14)
2.4 搜寻技术: 周期性	(15)
2.5 光学、X射线和 γ 射线技术	(17)
第三章 脉冲星和自转中子星的同一性	(20)
3.1 致密星的脉动	(20)
3.2 行星和双星轨道	(22)
3.3 自转致密星	(23)
3.4 周期的变化	(24)
第四章 X射线脉冲星	(26)
4.1 Her X-1/HZ Her	(29)
4.2 Cen X-3	(31)

4.3	周期变化和质量交流	(32)
4.4	其他X射线双星	(33)
4.5	X射线发射的物理学	(35)
第五章 中子星的内部结构		(38)
5.1	温度	(38)
5.2	外层	(40)
5.3	中子露点	(41)
5.4	中子流体: 超流	(42)
5.5	核心固化和超子的形成	(42)
5.6	中子星模型	(43)
5.7	中子星的稳定性 与中子星的形成	(44)
第六章 中子星的磁层		(47)
6.1	磁层的电动力学	(48)
6.2	轴对称偶极子	(50)
6.3	倾斜转子	(53)
6.4	复杂性与不稳定性	(54)
6.5	Ruderman 胡须和功函数	(54)
6.6	脉冲星的能流	(55)
第七章 脉冲的守时性		(57)
7.1	脉冲星位置和质心改正	(57)
7.2	相对论改正	(60)
7.3	周期、周期变化和脉冲星位置	(61)
7.4	蟹状星云脉冲星	(62)
7.5	船帆座脉冲星PSR0833-45	(66)
7.6	中子星结构和跃变函数	(67)
7.7	星震和核震	(69)
7.8	脉冲星年龄和阻尼指数	(71)
7.9	脉冲星的自行	(72)
7.10	双 星	(74)

7.11	双星脉冲星PSR 1913 + 16	(75)
第八章	累积射电脉冲的性质	(78)
8.1	累积脉冲轮廓	(78)
8.2	开 / 关比: 中介脉冲	(80)
8.3	累积脉冲轮廓的频率响应	(83)
8.4	累积偏振	(84)
8.5	累积轮廓的精细结构	(87)
8.6	模式变化	(87)
8.7	脉冲星射电发射的频谱	(90)
8.8	流密度的长期变化	(91)
第九章	个别射电脉冲	(93)
9.1	个别脉冲的结构	(94)
9.2	亚脉冲的宽度	(97)
9.3	微结构	(101)
9.4	脉冲能量的直方图	(103)
9.5	脉冲漂移	(105)
9.6	脉冲漂移的调制作用	(108)
9.7	消零和节律	(108)
第十章	蟹状星云	(112)
10.1	发现与早期观测	(112)
10.2	蟹状星云的连续辐射	(114)
10.3	能量补给	(115)
10.4	能量从脉冲星转移到星云	(117)
第十一章	蟹状星云脉冲星	(121)
11.1	频 谱	(121)
11.2	脉冲形状	(124)
11.3	色散量与脉冲到达时间	(125)
11.4	强度变化	(126)
11.5	脉冲的变化: 巨脉冲	(127)

11.6	偏振: 光学	(129)
11.7	偏振: 射电	(131)
11.8	光学辐射与射电辐射的关系	(132)
第十二章 脉冲星距离的指示器——星际介质		(134)
12.1	星际电子	(134)
12.2	银河系 H I 盘	(135)
12.3	H II 区盘	(137)
12.4	电子分布模型	(139)
12.5	中性氢的吸收	(140)
12.6	高银纬脉冲星	(143)
第十三章 星际磁场		(146)
13.1	在十八个量级以下	(146)
13.2	脉冲星偏振的法拉第旋转	(148)
13.3	近区磁场的形式	(150)
13.4	较远空间的磁场	(152)
13.5	银河系磁场: 小结	(153)
第十四章 星际闪烁		(155)
14.1	薄屏模型	(155)
14.2	闪烁的衍射理论	(157)
14.3	厚扩散屏	(159)
14.4	观测结果	(160)
14.5	脉冲展宽	(163)
14.6	多重扩散: 几何方法	(165)
14.7	脉冲展宽的衍射理论	(167)
14.8	脉冲展宽的观测	(169)
14.9	源的视直径	(172)
14.10	闪烁图案的速度	(173)
14.11	脉冲星的自行	(176)
第十五章 辐射过程		(178)

15.1	回旋辐射	(178)
15.2	运动电子的回旋辐射	(180)
15.3	同步加速辐射	(181)
15.4	曲率辐射	(184)
15.5	相干性	(185)
15.6	脉泽放大	(186)
第十六章 发射机制 I :观测特征的分析		(187)
16.1	累积脉冲轮廓	(187)
16.2	个别脉冲:亚脉冲	(188)
16.3	强度和频谱	(190)
16.4	周期 P 及其导数 $\dot{P}$	(191)
16.5	同年龄和周期有关的辐射特征	(192)
第十七章 发射机制 II :几何考虑		(193)
17.1	累积轮廓的宽度	(193)
17.2	累积轮廓的形状	(197)
17.3	亚脉冲宽度	(197)
17.4	相对论性成束过程	(198)
17.5	亚脉冲偏振	(202)
17.6	偏振的方位角	(203)
17.7	单矢量模型	(204)
17.8	同旋转磁场的关系	(205)
17.9	结论:发射源的位置	(207)
第十八章 发射机制:讨论		(209)
18.1	位置	(209)
18.2	能密度	(212)
18.3	频谱	(213)
18.4	射电辐射	(214)
18.5	小结	(216)
第十九章 超新星:脉冲星的起源		(220)

19.1	超新星爆发	(220)
19.2	超新星产生的频率	(222)
19.3	双星中的超新星	(224)
19.4	观测到双脉冲星的机会	(226)
19.5	中子星所获得的速度	(227)
19.6	脉冲星和超新星的成协	(228)
第二十章 脉冲星的年龄与分布		(230)
20.1	观测的分布函数与实际分布函数	(231)
20.2	周期的分布	(232)
20.3	光度的分布	(233)
20.4	垂直距离 $ z $ 的分布	(233)
20.5	径向距离 R 的分布	(234)
20.6	银河系内脉冲星总数	(234)
20.7	分布函数之间的相关	(235)
20.8	脉冲星的年龄	(235)
20.9	辐射截止	(238)
20.10	结 论	(238)
第二十一章 高能和致密星		(240)
21.1	X射线双星	(240)
21.2	星团中的X射线	(241)
21.3	银河中心	(242)
21.4	河外星系团	(243)
21.5	射电星系和类星体	(243)

第一章 脉冲星的发现

第二次世界大战以后三十年来，射电天文学飞跃发展的标志是一系列观测新技术的应用，每一项新技术都开辟了一些新的观测研究领域。每一种技术上的进步起初都只应用于某一特定问题，可是天空的射电却如此丰富多采，以致每项新技术都把观测者引向意外的新方向。所有射电天文大发现都可以作为这种意外收获的例证。J.S.Hey 和他的同事们为了扩充他们的流星雷达观测工作而进行的射电天空背景的研究，意外地发现了第一个分立射电源——天鹅座 A 源。剑桥大学在宇宙学研究中为了扩充河外星系源计数而在射电望远镜中采用的新技术，意外地导致了类星体的发现；类星体的证认则依靠月掩射电源观测技术的发展及其在悉尼新射电望远镜上的应用。新观测技术往往得到额外奖赏的最杰出例子，就是脉冲星的发现。

谈到脉冲星，我们首先要问：为什么没有在1967年以前发现脉冲星？脉冲星的信号非常清晰，而且往往很强；例如，其中有几颗脉冲星，焦德雷尔班克天文台的 250 英尺射电望远镜应能接收到它们的脉冲。在真正发现脉冲星之前十年，就已经存在发现它们的可能性。事实上，在真正发现脉冲星之前，这架望远镜在作背景辐射巡天观测的时候，的确已经记录到了脉冲信号，不过没有得到证认。脉冲星 PSR0329 + 54，在几次巡天记录中都曾留下了强脉冲的清晰印记。关于木星射电脉冲的发现，也曾有过类似的情况：它是在1954年发现的，然而五年之前在澳大利亚就已记录到了木星的信

号（这些信号对于后来分析行星上射电源的自转周期是有用的）。蟹状星云脉冲星的X射线脉冲在发现前的记录更为突出：气球飞行观测就已经记录到了，比火箭观测发现它要早两年。信号虽然记录到了，但却没有证认出来。

识别射电脉冲信号的头一个困难是：射电天文学家没有预料到天体射电源会有快速信号起伏。射电望远镜接收到的脉冲信号往往被看成是电机、电线放电、汽车发动机点火等等地上脉冲源产生的干扰。的确，大多数射电接收机的设计都要求消除或平滑掉脉冲信号，只测量经过几秒钟积分而得的稳定的平均信号。即使所用的积分时间常数更短，在记录纸上出现的一系列脉冲也不会引人注目，因为这种规则出现的干扰是意料中的，而且，离射电望远镜一两英里以内农场上的电网之类的简单电气装备往往会产生这种干扰。

以前所用的仪器缺少两方面的性能：短时间响应和重复观测程序。可是，只有具备这两种性能才能证明某些零散信号确实来自持续的天体射电源。这正是 A. Hewish 设计的射电闪烁巡天观测的两个特点，在巡天观测中他发现了第一颗脉冲星。

1.1 行星际闪烁

人们熟悉的可见星的闪烁是由地球大气中的随机折射引起的。在射电天文学中，折射是由电离气体引起的，它有三种不同的表现。射电波在中性气体中受到折射，跟可见光所受折射大体上差不多，但射电波在电离气体的折射效应却大得多。天体射电源的电波闪烁的随机折射产生于地球电离层、太阳系行星际电离气体以及银河系的星际电离气体之中。遥远的点源发出的射电波穿过这三种区域中折射率起伏的介质，这种起伏使射线的路径发生偏转，在到达观测者之前互

相交叉，从而引起干涉。剑桥大学发现并研究了这三种射电闪烁，在这三方面的研究中，Hewish起了关键作用。恰好，星际闪烁理论对脉冲星很重要，它提供了最戏剧性的证明：而巧合的是，正是星际闪烁的研究导致了脉冲星的发现，甚至可以说，脉冲星的发现并不是本来研究的目的，而是副产品。

Hewish同他的研究生 Jocelyn Bell女士(现名 Burnell 博士)一起制造了一面很大的长波(3.7米)接收天线，做成了一架对分立的微弱射电源很灵敏的射电望远镜。在此波长上，星际闪烁效应很强，但是只有角直径非常小的射电源才会发生闪烁。于是，把闪烁看成是类星体的突出标志，而较大的射电星系是不会闪烁的。后来，Hewish 用这个系统的巡天观测结果来研究非常遥远的河外星系射电源的分布和数目。所用的观测技术是使用一架能够反应射电闪烁的短时间常数(在长波段，闪烁很快)的接收机进行反复巡视。

在1967年7月开始常规记录后一个月内，Jocelyn Bell 就有了发现。她在几天的反复观测中，看到有来自于天体的很强的信号起伏。信号的特征不像是闪烁，却很像是地上的干扰。Hewish 起初把它当作路过的摩托车之类的干扰而未予理会。接着在几夜中信号没有出现。正如我们现在知道的，这一定是由于偶然的闪烁效应。然后，这种信号又一再反复出现，时有时无，一直到十月份，Hewish 得出了结论：有某种新的东西存在。这会是哪种天体射电源呢？他和同事们用了一台时间响应更快的接收机，在十一月份他们第一次看到了奇妙的规则的脉冲。这会是人为的吗？会是从宇宙飞船发出的吗？还是地外文明世界的第一个无线电信号呢？

最后这种可能性特别令人激动。如果让公众知道他们正在接收空间科学幻想小说中地外有理性世界的“小绿人”发

来的信号，报纸的记者便会大批涌进天文台，破坏平静思考问题的机会。所以，工作虽然十分活跃，但直到1968年2月《自然》杂志上出现那篇著名的论文 (Hewish et al., 1968) 以前，两个月中都没有报道。

1.2 1968年2月份英国《自然》杂志上的通讯

关于这项新发现的通讯中，对脉冲信号进行了卓越的分析。结果表明，这一射电源肯定在太阳系之外，可能是在典型的恒星距离上。而且，它一定是某种致密星，大概是白矮星或者中子星。当然，这些结论已为后来的工作所扩充和超过，但是，不要忘记，他们是在发现后的头几个星期完全没有头绪的气氛中就对脉冲射电源的最重要的性质得出了正确的结论。其位置在太阳系之外，是从地球运动对脉冲周期的影响判断出来的。从这种现象也能测定脉冲星的位置。头一批观测中，算错了一天的脉冲次数，给出的周期有 6×10^4 分之一的误差，这似乎是后来对脉冲时间唯一要作的改正。特别有趣的是，论文已具体指出了中子星可能是脉冲信号的起源，而在那个时候，中子星的概念还只是一种假说。然而，在发现后不久，由这一发现而涌现出来的理论推测性文章的洪流却不追随这种观点，而是探索类似于双星和白矮星的种种图象。

《自然》杂志上的通讯出现前几天，剑桥大学的学术讨论会上讨论了这一发现。于是，消息迅速传开了，射电天文学家立即把注意力转向证实这一显赫的结果。离头篇文章发表只有两星期，《自然》杂志就发表了焦德雷尔班克天文台关于这颗第一脉冲星 (CP 1919) 射电脉冲的一些重要细节的报道。在此后几个月中，其他天文台都发现并报道了新的脉冲星。至年中时至少有八个射电天文台作出了显著的贡献。

对脉冲星的发现的赞美有时也受到这样的诋毁：剑桥大学控制了结果的发表，而没有把全部资料在发现之时就让大家可以自由使用。麻烦似乎是由当初《自然》杂志上这样的叙述引起的：已发现了另外三颗脉冲星，它们的特征正在研究中。显然，这不过是为了支持《自然》杂志通讯中提出的天体物理解释而写的，但却导致人们纷纷索取这三颗脉冲星的位置和周期的进一步资料。Hewish 拒绝在完成他的测量之前给出进一步的细节，他把结果发表在四月份的《自然》杂志上。他的行为完全符合正常的科学规约，但却遭到了误解。遗憾的是，在六年多以后还有人对此耿耿于怀。可能，某些研究社会学的学生能够解开这场似乎是嫉妒和骄傲在起作用的纠葛。

1.3 证认为中子星

科学史也将欣赏把脉冲星证认为中子星的理论文章的经历。应该记得，白矮星是能观测和理解的天体，而中子星所代表的凝聚态更高阶段却只在关心固态物质的天体物理学家的理论中存在。认为它是类似于白矮星的提议，特别是白矮星的种种振动模式的提议从理论家那里源源而来。他们不知道，连Hewish也未注意，Franco Pacini 在发现脉冲星之前几个月就已经在《自然》杂志上发表了一篇包含了脉冲星性质的理解的文章。这篇论文(Pacini, 1967)表明，具有强偶极磁场的快速自转中子星，像一个很强的发电机的作用一样，能给周围的星云（如蟹状星云）的辐射提供能源。

1968年6月《自然》杂志发表了康奈尔大学教授 T. Gold 的通讯，他很明确地证认脉冲星为自转中子星。Pacini和Gold 的两篇论文包含了基本理论及其同观测的有机联系。这个故事有一段有趣的情节：在 Gold 发表文章的时候，Pacini 正在