

# 牛顿

Newton  
Science Museum

科学馆

## 恒星的生命密码

CAN STARS FIND PEACE

(印) 加尼森·斯里尼瓦桑 (Ganesan Srinivasan) ◎ 著

李庆康 ◎ 译



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

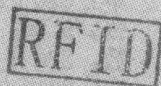
# 牛顿科学馆

## 恒星的生命密码

CAN STARS FIND PEACE

印) 加尼森·斯里尼瓦桑 (Ganesan Srinivasan) ◎ 著

李庆康◎译



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

## 版权声明

Can Stars Find Peace

Copyright © University Press (India) Private Limited 2011. This translation of Can Stars Find Peace, G. Srinivasan first published in 2011, is published by arrangement with Universities Press (India) Private Limited.

北京市版权局著作权合同登记图字 01—2015—1002 号

本书中文简体翻译版授权由北京师范大学出版社独家出版。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

---

## 图书在版编目(CIP)数据

恒星的生命密码/(印)加尼森·斯里尼瓦桑著;李庆康译. —  
北京:北京师范大学出版社, 2019. 8  
(牛顿科学馆)  
ISBN 978-7-303-24573-4

I. ①恒… II. ①加… ②李… III. ①恒星—普及读物  
IV. ①P152-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 046856 号

---

营 销 中 心 电 话 010-58805072 58807651  
北师大出版社高等教育与学术著作分社 <http://xueda.bnup.com>

---

HENGXING DE SHENGMING MIMA

出版发行: 北京师范大学出版社 [www.bnup.com](http://www.bnup.com)  
北京市海淀区新街口外大街 19 号  
邮政编码: 100875

印 刷: 天津旭非印刷有限公司  
经 销: 全国新华书店  
开 本: 890 mm×1240 mm 1/32  
印 张: 9.5  
字 数: 220 千字  
版 次: 2019 年 8 月第 1 版  
印 次: 2019 年 8 月第 1 次印刷  
定 价: 38.00 元

---

策划编辑: 尹卫霞  
美术编辑: 李向昕  
责任校对: 韩兆涛

责任编辑: 王玲玲  
装帧设计: 李向昕  
责任印制: 马 洁

## 版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

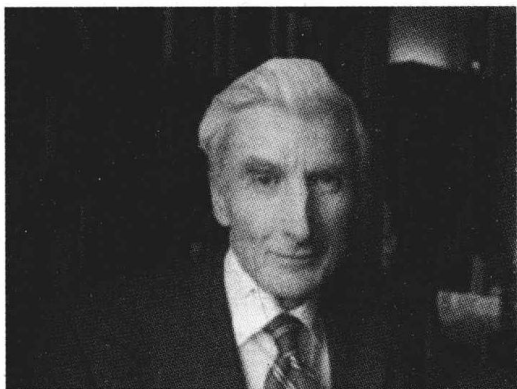
北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58805079

# 序 言



马丁·里斯(Martin Rees) 勋爵

宇宙学和天体物理学教授

英国皇家天文学家

剑桥大学三一学院院长

英国皇家学会前任会长

如果随机选择 1 万个人，其中的 9 999 人应该有一些共同 v  
点——他们工作和他们的兴趣爱好都是在地球表面或接近地球表面的地方进行或产生的，剩下那一个就是天文学家。我很庆幸自己是这个奇怪的群体中的一员——斯里尼瓦桑(G. Srinivasan)博士也是其中一员，他是“当今天文学革命”这一系列著作的作者。但是天文学并不只为天文学家专属。它的发现是迷人的，而且了解宇宙与理解自然界的其余部分同等重要。整个宇宙是我们环境的一部分。事实上，暗夜的星空在整个人类历史上是基本不变的，

它被所有的文化共享——尽管阐释它的方式非常不同。

天文学家是人类悠久传统的继承人。也许除了医学，天文学是最古老的科学了。它的产生是因为人类需要建立日历来度量时间，解释在天空中看到的情景和规律。现在，我们的知识比以往任何时候都进步得更快，这要感谢功能强大的望远镜及飞往其他行星的探测器。这些探索取得了激动人心的成就，公众也分享了这些喜悦。

vi 我们还不能把真实的探测器发送到太阳系以外，但是通过使用望远镜，我们可以详细地研究恒星。在过去的十多年中，我们学到了一些东西，它使得夜空更加有趣。恒星不只是闪烁的“光点”，它们就像太阳一样，有行星这样的随从绕行着。其中的一些行星可能会像地球，但它们中的任何一个上是否存在生命，依然是个问题，而且这个问题会给未来几代科学家带来挑战。

我们已经意识到宇宙在空间和时间上的巨大尺度。我们生活在一个恒星数目超过一千亿颗的星系中，但是这个星系只不过是现代望远镜可见的一千亿个星系中的一个。因为来自遥远天体的光要经历很长一段时间才能到达我们这里，所以在宇宙空间中极目远眺，实际上就是在时间上往宇宙早期追溯。与地理学家和化石搜寻者相比，天文学家有一个优势：他们实际上可以观测到过去，追溯第一代恒星和星系形成的宇宙历史。确实有令人信服的证据表明，我们的宇宙创生于大约 140 亿年前的一次“大爆炸”，之后就一直在膨胀。

我们已经知道关于宇宙的一个关键性事实：它是由我们可以理解的物理规律所支配的，而这些规律似乎处处适用。通过分析来自遥远星系的光，我们可以推断出组成遥远星系的原子的行为

就像我们在实验室里所研究的那样。正是因为这样的一致性，我们才能够了解恒星的结构及其生死循环，以及恒星、星系和行星是如何一步一步形成我们身在其中、有复杂结构的宇宙的。

宇宙是一个统一体。很小的原子级别的微观世界和非常大的恒星、星系级别的宏观世界之间存在联系。恒星形成、演化，最后死亡(有时是爆炸性的)。它们通过核聚变提供能量，这种核聚变和氢弹爆炸一样，但是它是受控的。在恒星的一生中，从原始的氢到碳、氧和铁，这个过程会不断发生。地球上所有的原子，包括我们身体里的原子，都是恒星死亡后的灰烬。我们是使恒星发光的核聚变的“核废料”。要充分了解我们自己和我们的起源，我们不仅要了解达尔文的进化论，而且要了解组成所有生命物质的原子，还要了解产生这些原子的恒星。这个精彩的故事应该是每个人学习生涯的一个组成部分。

研究天文学还有另一个原因。它使我们能够探索在地球上的实验室里无法触及的，在更极端的温度、压力和能量条件下的自然规律。它还允许我们研究引力这个最基本的力，以及它是如何把空间和时间的本质关联到一起的。

无疑，现在是天文学的黄金时代。随着太空时代的到来，通

vii

向宇宙的新窗口已经被打开了。通过位于地球大气层之上的威力巨大的在轨天文台，天文学家现在可以在很宽的波长范围内探索宇宙，包括射电波、毫米波、红外辐射、可见光辐射、紫外线、X射线和 $\gamma$ 射线。这使得天文学家在各种有关问题的研究中取得了前所未有的进展，包括行星的形成，恒星的本质及其演化史，恒星的诞生和死亡，恒星的坟墓——白矮星、中子星和黑洞，星系，类星体，宇宙大尺度结构。

“当今天文学革命”(The Present Revolution in Astronomy)系列著作是非常及时的，它的目的是以入门级的难度水平审视当代天文学的成就。该系列图书的作者斯里尼瓦桑博士是这个领域中国际知名的领军人物。特别是，他一直研究中子星，而中子星本身就展现了一些惊人的“极端”物理现象。读者会发现，在这些精彩的和可读性很强的图书中，斯里尼瓦桑博士是一位清楚地、热情地指导大家探索宇宙的奇景和奥秘的向导。我们大家都应该感谢他。

马丁·里斯

于剑桥

# 前言

2009 年被誉为国际天文年，这是为了纪念伽利略 (Galileo Galilei) 在 400 年前首次使用望远镜观测天体。400 年来，天文观测彻底改变了人类对天体的认识。

4 个世纪之后的今天，我们又处在天文学的另一个黄金时代。太空时代的到来为我们研究宇宙打开了新的窗口，由此也有了许多惊人的发现，并使我们在认识天体的本质方面取得了前所未有的进展。与此同时，许多新的和突出的问题也出现了。事实上，有明显的迹象表明，一些难题的解决可能需要对基础物理学本身进行大的修改。微观和宏观的内在联系正在变得越来越清晰。

“当今天文学革命”系列著作打算让读者了解现代天文学取得的激动人心的成就。撰写这些著作的灵感源自参加我所讲授的跨校际课程的同学们的热情建议。这门课程我曾经在印度班加罗尔的圣约瑟夫学院讲授了 5 年。这门课程不是常规的学术课程，而是为这个城市里所有大学中对天文和天体物理感兴趣的教师 and 同学们开设的。有趣的是，每一批学生中有半数以上来自工科，而不是纯理科。不过呢，他们为天文学的魅力着迷。虽然本课程深层的主题是“当今天文学革命”，但是我的想法是把天文学当成一匹特洛伊木马，从而让学生直面物理和天文、工程和技术世界中那些令人兴奋的挑战。同学们一致要求我把这些年的讲座提炼成系列丛书。

x

为什么我认为值得写这些书，还有第二个原因。历史上，天文学一直对公众有很大的吸引力，今天更是如此。新望远镜接二连三地投入使用，获得的新发现得到了传统媒体和电子媒体的广泛宣传。一些太空机构，如美国国家航空航天局(NASA)及一些优秀的天文台，有令人印象深刻的公众服务计划。然而，在印度几乎没有一所大学把天文学当作一门本科课程提供给学生。直接后果就是：尽管在印度有几个真正的世界级水平的观测设备，但学生们普遍对天文学缺乏了解，所以很少有学生选择从事天文学方面的工作。本系列著作旨在力所能及地填补这一空白。

现在谈谈这些著作的范畴和写作风格。我的主要目的是向年轻的和不那么年轻的读者介绍当前天文学正在进行的革命。我们将讨论大家广泛关注的主题的最新进展：恒星的本质及其一生，恒星的诞生和死亡，恒星的坟墓——白矮星、中子星和黑洞，星系，类星体，宇宙大尺度结构。

这些著作不打算扮演天文学“教科书”的角色。如果是教材，那它们必须根据教育学的方法来精炼主题，实验方法和现象则需进行详细描述并用系统的方法推演出该理论的数学表述结果，另外还需要有一些问题和习题，等等。但是，当所有这些都需要认真学习的时候，传统的教材就会出现严重的缺陷。导论性的书籍是以入门知识作为开始的，很少能够传递激动人心的当代科学进展。它们倾向于关注已解决的问题，而不是强调还没有解决的困惑。与这些相对照，这一系列著作将有不同的目的。我希望它们能给读者介绍最近的科研进展并强调那些突出的和亟待解决的问题。我相信，年轻的读者将会对尚未解决的难题更感兴趣，并想知道真正的挑战在何处。

这一系列著作与传统的天文学书籍相比有一种非常不同的风格。例如，它们不讨论天体的距离测量、质量和光度测定等话题，它们也不详述在天空中确定恒星位置的坐标系统及恒星的光谱分类等。虽然这些是最基本的问题，但是我的观点是如果一个读者决定成为一名职业天文学家，他将在之后的常规课程中学习这些内容。这一系列著作的重点将放在物理上，原因如下。

在艾萨克·牛顿(Isaac Newton)的众多伟大发现中，意义最深远xi的，或许是他断言自然规律具有普遍有效性。换句话说，在地球上支配各种自然现象的物理定律在宇宙中的任何地方都适用。今天，我们把牛顿的这个论断作为一个公理。确实，在过去的几个世纪里，从实验物理的角度来看，若干开创性的成就都来自天文观测。万有引力定律的发现、原子光谱中的吸收线和发射线、氢元素的发现，以及对狭义相对论和广义相对论预言的首次验证等就是其中一些比较重要的例子。这是毫不奇怪的。天体的密度、温度和压力的变化范围，与人们在地球上所遇到的相比，是令人难以置信的。例如，密度从每立方厘米1个原子到每立方厘米 $10^{37}$ 个原子，温度从3 K到 $10^8$  K<sup>①</sup>，如此极端的条件确实让我们很难理解。因此，在天体上会遇到许多新奇的和怪异的物理现象。事实上，几十年前人们可能会说“天文学是物理学的终点”。不过，今天说“物理学是天文学的终点”应该会更恰当些。通过阅读这一系列著作，我们将明白这一范式转变的个中缘由。因此，我们将集中研究天体的物理性质，比如它们的本质、它们的稳定性、它们中心的能源、它们的辐射机制，等等。

---

① 本书中温度单位均为开尔文(K)。

在阐述这一系列著作的目的后，我必须再补充一点。要读懂这些著作，我不认为读者需要有任何天文学背景知识。对于物理知识，比方说达到哈里德(Halliday)和雷斯尼克(Resnick)所著的《物理学基础》(*Fundamentals of Physics*)中要求的水平，应该就足够了。在这些著作中我们会连带介绍其他方面的背景知识。为了达到既定目标，我经常需要牺牲严谨的论述，取而代之以简单的类比和定性讨论。读者应该理解我不得不如此行文而不需要任何道歉！如果这些著作能够成功展现现代天文学所取得的激动人心的成就，那么我认为我的努力是值得的。对于年轻的读者，我非常希望这些著作可以唤起他们对天文学的兴趣，从而使他们想进一步去阅读学术性更强的书籍来探求更深的专题。

当我还年轻的时候，我很高兴并很荣幸能够读到一些绝好的著作，如亚瑟·爱丁顿(Arthur Eddington)爵士、詹姆斯·金斯(James Jeans)爵士和乔治·伽莫夫(George Gamow)这些大师的著作。在这些书中，他们阐述了20世纪早期的物理学和天文学的发展。最近，一些优秀的物理学家和天体物理学家也按照类似的脉络推出了若干著作。现在是“互联网”时代，本系列著作谨代表我也以同样的勇气做了一点非常微小的努力。

## 关于本书

在这一系列著作的第一本《恒星的故事》(*What Are the Stars?*)中，我讨论了恒星的本质，它们的稳定性和它们所辐射能量的来源。关于恒星，最迷人的事情之一，就是它们随着年龄的增长而演化。这种演化因质量不同而不同。当能量供给耗尽时，恒星如何结束它们的一生，也是取决于它们的质量的。本书专门讨论了

恒星的演化和它们的最终命运。从历史上看，甚至在恒星的演化细节变得清晰之前，天文学家首先担心的是恒星的最终命运。

我把本书分成了两部分。第一部分考虑的是 20 世纪 20 年代和 30 年代有关恒星最终命运的著名预言。由于这些进展的大部分紧扣着新兴量子物理学，所以我给出了相关物理学的详细介绍。如果有人决定在凝聚态物理、核物理、天体物理等领域从事研究，这些知识将是有益的。

第二部分是关于恒星一生的总结。它分为三个小部分来讨论：像我们太阳一样的低质量恒星、中等质量恒星和大质量恒星。

大家读本书时会发现，现代天体物理学的很多内容是建立在苏布拉马尼扬·钱德拉塞卡(Subrahmanyan Chandrasekhar)在 20 世纪 30 年代建立的基础之上的。因为在写本书时恰逢钱德拉塞卡的百年华诞，所以我也加进了他的简要生平介绍。

## 致 谢

出版这一系列著作的想法首先是由参加我所讲授的天文学和天体物理学校际课程的同学提出的。我已经在印度班加罗尔的圣约瑟夫学院讲授这些课程很多年了。印度空间研究组织(ISRO)卫星中心的斯雷库马(P. Sreekumar)博士强烈支持这个建议。同学们对另一系列丛书中由文卡塔拉曼(G. Venkataraman)博士撰写的《物理学花絮》(*Vignettes in Physics*)反应热烈。文卡塔拉曼积极持续地劝说我应该写点关于当代天文学的类似系列丛书，这让我感觉到我确实应该承担这项任务。2007 年，贾瓦哈拉尔·尼赫鲁纪念基金会给予了我贾瓦哈拉尔·尼赫鲁资助(Jawaharlal Nehru Fellowship)，这是一个动力，使我得以开始这个项目。2009 年，

孟买的尼赫鲁中心给了我两年的资助来继续该任务。我非常感激这些资助。我一开始是一位凝聚态物理学家，但后来走进了天文学领域。早年我对天文学最初的了解来自我的父亲，但促使我去追求它并尝试向人们去普及它的理念的，首先是我杰出的老师、芝加哥大学的钱德拉塞卡教授，后来是剑桥大学的马丁·里斯教授、阿姆斯特丹大学的爱德华·范·登·霍伊维尔(Ed van den Heuvel)教授和班加罗尔拉曼研究所的拉达克里希南(V. Radhakrishnan)教授。我非常感谢他们一直以来对我的热情激励。我还要特别感谢 NASA、欧洲航天局(ESA)和国际天文学界，他们为本系列著作提供了精彩的图片。

加尼森·斯里尼瓦桑  
(G. Srinivasan)

# 目 录

## 第一部分 历史的视角 /1

### 第 1 章 恒星是什么? /3

气体球 /3

太阳的温度 /4

流体静力学平衡 /5

辐射平衡 /7

爱丁顿的恒星理论 /11

质量—光度关系 /12

恒星为什么会发光? /14

恒星能寿终正寝吗? /16

### 第 2 章 年轻时期的恒星 /18

赫茨普龙—罗素图 /18

主序星的能量产生 /20

恒星内部的对流 /24

恒星的寿命 /26

恒星的最终命运 /27

### 第 3 章 白矮星 /29

天狼星的奇怪伴星 /29

引力红移/32

引力红移的实验验证/35

恒星悖论：恒星有足够的能量来冷却吗？/37

#### 第4章 统计力学原理/40

经典力学/40

统计力学/40

量子力学/47

量子统计力学/51

量子统计/56

自旋与统计/61

#### 第5章 费米—狄拉克分布/67

泡利不相容原理/67

费米—狄拉克分布/68

简并电子气体/71

费米动量/73

#### 第6章 量子星/82

福勒拯救了白矮星/82

钱德拉塞卡登场/84

钱德拉塞卡的白矮星理论/86

所有恒星最终都会寿终正寝/94

#### 第7章 钱德拉塞卡极限/97

相对论性星/97

钱德拉塞卡的一个惊人发现/103

钱德拉塞卡极限/106

所有恒星都能寿终正寝吗？/111

## 第 8 章 恒星的荒诞行为：不是所有的恒星都有能量来冷却 /116

一些著名的论断 /116

爱丁顿的演说 /117

## 第 9 章 客 星 /125

东方天文学家 /125

1006 年的客星 /125

1054 年的客星 /127

1572 年的新星斯特拉 /127

1604 年的开普勒新星斯特拉 /130

仙女座大星云中的客星 /130

大辩论 /131

一个超级新星? /132

## 第 10 章 超新星、中子星和黑洞 /134

中子的发现 /134

超新星的起源 /136

物质的中子化 /142

大质量恒星的中子核球 /145

中子星的最大质量 /150

黑 洞 /157

钱德拉塞卡简介 /160

## 第二部分 恒星的一生：现代的视角 /173

## 第 11 章 燃烧或不燃烧 /175

核循环 /175

量子隧穿 /176

氢燃烧/181

碳燃烧和氧燃烧/182

氧燃烧之后/183

洋葱模型/185

燃烧或不燃烧/186

## 第 12 章 太阳的未来是怎样的?/195

早期演化/195

恒星变成红巨星/197

超亮巨星/198

氢 弹/201

氢核球燃烧/204

超巨星/204

实测的赫罗图/206

热脉冲和物质抛射/210

## 第 13 章 中等质量恒星的一生/212

氢 核/212

勋伯格—钱德拉塞卡(Schönberg-Chandrasekhar)极限/212

中心氢燃烧/216

碳—氧核球/217

生存还是毁灭!/218

## 第 14 章 天空中的钻石/229

白矮星家族/229

白矮星的质量/231

磁白矮星/232

白矮星的冷却/234