

当代天文学和 物理学探索

F. 霍伊尔 J. 纳里卡 著

科学出版社

内 容 简 介

本书著者F. 霍伊尔和J. 纳里卡是世界著名天文学家，也是杰出的天文科普作家。本书构思新颖，将物理学中的四种基本作用力，即强相互作用力、弱相互作用力、电磁相互作用力和引力，与天文学上的重大发现，即类星体、脉冲星、星际分子和微波背景辐射等，有机地联系起来。因为有些学说为著者本人所提出，有些重大发现著者曾亲自参加，故叙述得更为生动。本书可作为大学天文系、物理系大学生的参考书，也可供中等文化水平的天文爱好者和物理爱好者阅读。

F. Hoyle J. Narlikar

THE PHYSICS-ASTRONOMY FRONTIER

W. H. Freeman and Company, 1980

当代天文学和物理学探索

F. 霍伊尔 J. 纳里卡 著

何香涛 赵君亮 译

责任编辑 夏墨英

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

中国科学院科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1989年12月第一版 开本: 787×1092 1/32

1989年12月第一次印刷 印张: 17 7/8

印数: 0001—760 字数: 407,000

ISBN7-03-001256-9/P·230

定价: 18.20元

译者的话

翻译“当代天文学和物理学探索”一书的想法开始于1982年，当时译者在英国皇家爱丁堡天文台进修。天文台的图书馆里摆满着各种天文书籍和杂志，其中最引人注目的一类图书便是霍伊尔的各种天文著作。尤其是他的科普创作，被誉为当今世界上最流行的天文读物。

霍伊尔虽然早就是一位蜚声全球的天文学家，但对于中国的读者来说却显得陌生，他的著作迄今尚未介绍到中国。霍伊尔于1915年生于英国的约克郡宾利，1939年获剑桥大学硕士学位，1957年当选为英国皇家学会会员。霍伊尔在天文学研究领域里的著名论断，即宇宙的稳恒态模型，认为宇宙的性质在大尺度范围内是稳恒不变的，而宇宙在膨胀的过程中物质连续不断地从虚无中产生。这种稳恒态宇宙学说与一些普遍流行的物理规律相违背，也没有完全为观测所证实。但它作为一家之言，至今仍受到重视。霍伊尔对恒星演化过程中的元素合成理论作过重要贡献，是著名的 B^2FH 理论（四位作者名字的第一个字母拼写而成）的参加者。其中的福勒曾为此获得1982年度诺贝尔奖金。霍伊尔是一位思想十分活跃的天文学家，他对地球上生命的起源、引力的本质等问题都有自己独到的见解。

霍伊尔写过大量的天文科普著作，在当代天文学家中堪称首位。我们选择的这本《当代天文学和物理学探索》，构思新颖，以物理学中的4种作用力（强相互作用力、弱相互作用力、电磁相互作用力和引力）为框架，系统地介绍了天文学和天体物理学的知识。书中包括了近代天文学的最新研究成果，以及作者自己创立的学说。

本书的另一位作者纳里卡是印度的著名天体物理学家，印度总理的科学顾问。他与霍伊尔长期合作，在宇宙学和红移的本质等问题上进行过广泛的研究。

翻译这样一本内容丰富的天文著作，我们深感知识水平和英文能力的不足。不当之处，敬希读者不吝指正。

中译本序言

我们很高兴“当代天文学和物理学探索”即将以中文出版。

自从本书的初稿问世之后,天文学和物理学都有了长足的进展,尽管如此,许多新的发展仍被认为处于推测和研究阶段。其中,应该提到的是粒子物理学家们试图将所有已知的物理相互作用构造成一幅统一的图象,而宇宙学家们则应用这些观念来研究宇宙的早期历史。

虽然这些进展目前相当令人鼓舞,但对于研究这一领域的新人来说,会被不断变化着的各式各样的方案搞得迷惑不解。出于这种原因,我们认为把这类内容包括在一本实质上属于导引性的教科书中是不合适的。

我们祝贺何香涛先生和赵君亮先生完成了将本书译成中文的艰巨任务,并希望他们杰出的译著会激励我们的中国科学界同事们在天文学和物理学的前沿领域里努力工作。

F. 霍伊尔

J. 纳里卡

前 言

宇宙就其现象范围来说，必然比我们在地球上所能期望经历的任何事物都要广泛。人类过去一直在观测天空，寻找了解世界本质和规律的各种线索，直到今天依然如此。物理学家在研究支配我们世界的自然规律时也转向天文学和宇宙学，寻找支持其理论的证据；而天文学家又依据物理学家在地面实验室中的物理实验去理解天空中的现象。物理学和天文学之间这种根本性的相互联系，促使我们编著了这本《当代天文学和物理学探索》。

本书从物理学观点出发来阐述天文学的问题，因此，一开始我们便讨论了诸如原子性质、量子力学以及辐射概念等等课题。遗憾的是，人类不具备直觉地理解这些问题的本能，因为日常生活同它们并不密切相关。的确，为了了解原子的结构，必须付出很大的精力和代价，而量子力学的研究也只是在现代微电子学出现之后才普遍发展起来。但是，不掌握物理学的这些比较深奥的部分，对天文学的理解就几乎寸步难行。

规律通常是通过所谓“因果关系”存在于世界之中。因果关系通过粒子间的相互作用体现出来，这种相互作用有四种类型——电磁相互作用、强相互作用、弱相互作用和引力相互作用。这四种相互作用都在开头一章中作了讨论；之后，本书每一篇则分别论述属于一种相互作用范畴的现象。第一篇阐述电磁相互作用，描述由辐射波谱获得的天文知识，包括光学天文学、射电天文学、毫米波天文学，红外天文学和X射线天

文学。第二篇论述强相互作用和弱相互作用，着重讨论恒星内部的特性。第三篇阐述引力相互作用，讨论牛顿理论和爱因斯坦理论，并以此为基础去认识黑洞和宇宙学的各种问题。在每一篇中都是以物理学的基本发现为基础去理解各种天文现象。我们期望，这种叙述方式会使天文学面目为之一新；不像大多数天文书籍那样，或者着眼于发现的顺序，或者按天体到地球的距离，由近及远地去讨论。我们着眼于在宇宙中起作用的各种基本力，从而为理解各种天文现象提供了一个基础，而不只是简单地描述它们。

本书中我们几乎完全局限于用非数学方法去论述。最困难的数学也只不过是第十一章中出现的一些简单的代数运算。离开这些代数运算，我们发现在讨论黑洞物理学时很难作到意义确切。在一般科学常识方面具有扎实的中学水平的读者，在阅读本书时应该没有什么困难。

我们衷心地感谢福克纳(J. Faulkner)博士，他细心地阅读了手稿，提出了建设性的评价，同时提出了许多改进意见。

F. 霍伊尔

J. 纳里卡

目 录

前言	(ix)
----------	--------

第一章 时空图和物质结构	(1)
--------------------	-------

第一篇 电磁相互作用

第二章 辐射、量子力学和谱线	(22)
----------------------	--------

§ 2-1 宏观粒子的辐射	(22)
---------------------	--------

§ 2-2 时间的方向性和因果律	(30)
------------------------	--------

§ 2-3 量子力学	(35)
------------------	--------

§ 2-4 名称、单位和测量	(50)
----------------------	--------

第三章 黑体、恒星光谱和赫罗图	(60)
-----------------------	--------

§ 3-1 温度和绝对温标	(60)
---------------------	--------

§ 3-2 黑体	(63)
----------------	--------

§ 3-3 恒星光谱	(68)
------------------	--------

§ 3-4 赫罗图	(73)
-----------------	--------

§ 3-5 天空中的恒星	(84)
--------------------	--------

第四章 射电天文学	(115)
-----------------	-------

§ 4-1 历史简况	(115)
------------------	-------

§ 4-2 蟹状星云	(131)
------------------	-------

§ 4-3 个人的回忆	(138)
-------------------	-------

§ 4-4 脉冲星	(141)
-----------------	-------

§ 4-5 射电星系	(148)
------------------	-------

§ 4-6 类星体	(152)
-----------------	-------

第五章 毫米波天文学	(164)
------------------	-------

§ 5-1 分子	(164)
----------------	-------

§ 5-2 星际空间中的分子	(171)
----------------------	-------

§ 5-3 巨分子云	(174)
------------------	-------

第六章 星际微粒和红外天文学	(180)
§ 6-1 一门新学科的诞生	(180)
§ 6-2 星际尘埃	(190)
§ 6-3 星际有机分子的起源	(197)
第七章 X射线天文学	(201)
§ 7-1 技术	(201)
§ 7-2 来自太阳的X射线	(213)
§ 7-3 天蝎座X-1 —— 太阳系之外所发现的第一个X 射线源	(221)
§ 7-4 蟹状星云和其他的一些X射线源	(225)
§ 7-5 第一个X射线星系	(232)
§ 7-6 自由号巡天观测	(235)
§ 7-7 密近双星和食双星	(242)
§ 7-8 X射线双星和黑洞	(251)
 第二篇 强相互作用和弱相互作用	
第八章 原子、原子核和恒星的演化	(257)
§ 8-1 恒星的能源需求	(257)
§ 8-2 放射性	(269)
§ 8-3 是天然放射性, 还是核聚变?	(271)
§ 8-4 原子核和各种粒子	(272)
§ 8-5 核能和恒星的能量	(281)
§ 8-6 恒星的演化	(289)
§ 8-7 恒星的终极问题	(295)
§ 8-8 物质的历史	(307)
第九章 天体距离的测定	(310)
§ 9-1 毕星团主星序	(310)
§ 9-2 毕星团主星序的利用	(315)
§ 9-3 造父变星	(317)
§ 9-4 距离范围的延伸	(325)

第三篇 引力相互作用

第十章 运动定律和万有引力定律	(330)
§ 10-1 引言	(330)
§ 10-2 运动	(334)
§ 10-3 动力学	(337)
§ 10-4 万有引力定律	(342)
§ 10-5 从牛顿到爱因斯坦	(347)
§ 10-6 狭义相对论	(350)
§ 10-7 广义相对论	(358)
§ 10-8 爱因斯坦的引力论	(362)
§ 10-9 万有引力与天文学的关系	(367)
第十一章 黑洞	(370)
§ 11-1 引言	(370)
§ 11-2 逃逸速度	(370)
§ 11-3 牛顿引力框架中的引力塌缩	(372)
§ 11-4 广义相对论框架中的引力塌缩	(376)
§ 11-5 黑洞是怎样形成的?	(384)
§ 11-6 黑洞没有“发”	(387)
§ 11-7 克尔-纽曼黑洞	(390)
§ 11-8 黑洞物理学定律	(394)
§ 11-9 黑洞的检测	(401)
§ 11-10 白洞	(404)
第十二章 宇宙学简介	(409)
§ 12-1 什么是宇宙学?	(409)
§ 12-2 哈勃定律	(418)
§ 12-3 膨胀着的宇宙	(424)
§ 12-4 宇宙的对称性	(427)
§ 12-5 奥伯斯佯谬	(433)
第十三章 大爆炸宇宙论	(438)
§ 13-1 宇宙学模型	(438)

§ 13-2	弗里德曼模型	(440)
§ 13-3	哈勃定律的推广	(444)
§ 13-4	射电源计数	(453)
§ 13-5	角大小检验	(459)
§ 13-6	早期宇宙	(465)
§ 13-7	热大爆炸	(470)
§ 13-8	微波背景辐射	(474)
§ 13-9	氢和氦的原始丰度问题	(479)
§ 13-10	宇宙的年龄	(481)
§ 13-11	再论奥伯斯佯谬	(482)
第十四章	惯性和宇宙学	(485)
§ 14-1	引言	(485)
§ 14-2	马赫原理	(486)
§ 14-3	单位和量纲	(493)
§ 14-4	星系系统膨胀的含义	(498)
§ 14-5	宇宙膨胀的另一种解释	(501)
§ 14-6	哈勃和哈曼逊的红移-星等关系	(510)
§ 14-7	早期宇宙	(513)
§ 14-8	当前宇宙学中的难题	(515)
§ 14-9	质量相互作用的一般形式	(521)
§ 14-10	黑洞和白洞	(529)
附录A	狭义相对论几何学	(535)
附录B	引力辐射	(543)
附录C	多普勒效应	(548)
附录D	稳恒态宇宙模型	(551)

第一章 时空图和物质结构

几年前，作者之一曾作过一次旅行，那是去芝加哥为美国物理学会的一次会议作一篇报告。这次旅行留下了难忘的印象，原因是航行中出现了太阳从西方升起的现象。飞机跨越大西洋，朝西北方向飞行。那是一月份一个下午，白天很短，和通常一样，一天即将结束，太阳正在西南方向地平线上沉下，天空逐渐黑暗起来。机舱里，有的旅客已进入梦乡，有的还在聊天、饮酒，有的在聆听音乐。就在这个时候，机舱里的光线开始轻微而又微妙地变化。西方天穹逐渐明亮起来，而不是像通常那样暗下去。天空居然越来越明亮，宛如奇迹一般，一直到一轮金光灿烂的太阳又重新呈现在西方地平线上。

那天太阳从西方升起，原因是航线非常偏北地越过格陵兰岛，结果飞机的飞行速度超过了地球的自转速度。这样，我们就好像处在一颗自东向西、而不是自西向东旋转的行星上。随着超音速客机的使用，这种现象会变得尽人皆知。然而，在这次飞行中，这一现象的确令人十分惊奇，如像地球和太阳在时空中的运动颠倒了过来。

在日常生活中，很少有人会对我们通常的时空概念产生疑问。对我们大多数人来说，时间就是时钟的连续走时，一秒钟接着一秒钟，仿佛是无休无止；而空间则没有边际，仿佛是无穷无尽。但是，物理学家和天文学家总是试图认识支配物理世界的规律。对他们来说，空间和时间在含义上是密切相关的两个概念。从爱因斯坦时代起，空间和时间被看作是称

之为时空的一种更为基本的实体的组成部分。为了说明这一概念，让我们来绘制一张从伦敦飞往芝加哥的飞机运动图。假定飞机的航线是平滑的，没有任何曲折，那么便可以用

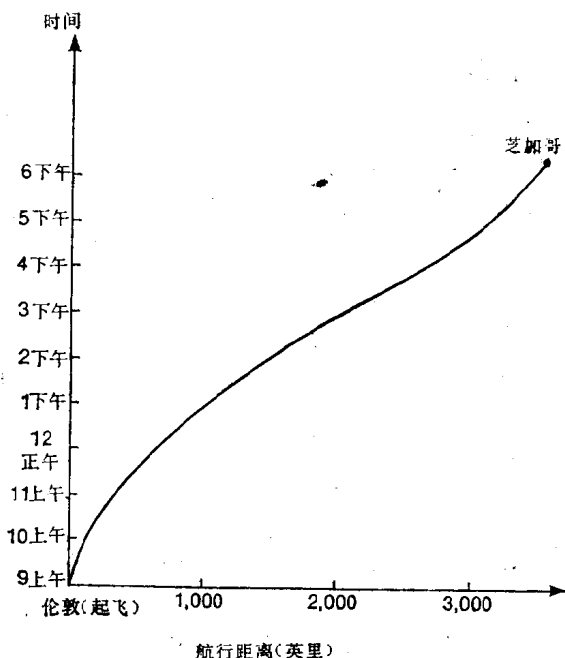


图1-1 飞机从伦敦飞往芝加哥的时间-距离图。请注意，图上所画的不是一条直线，这是因为飞机在航行开始和终止阶段的速度要比中途飞行时来得慢。

图1-1的方式来表示它的运动，一个方向表示时间，另一个方向表示飞行距离。描述旅行过程的这种图示方法，在物理学中称之为时空图。

当然，实际的航线不是完全平滑的；但是，附加上一些细节不会引起任何困难。我们可以把图1-1推广为更接近真实的形状，使用二维空间加上一维时间。二维空间可以用来表

示飞机航线在经度和纬度上的变化。如果还希望表示出飞机离地面高度的变化，我们可以加上第三维空间。于是，一幅完整的时空图应当具有三维空间和一维时间。这样一来，我们便从图1-1的简单概念（一维时间和一维空间）过渡到比较复杂的四维图概念（一维时间和三维空间）。在物理学家看来，宇宙的全部变化都在这个四维时空图上呈现出来了。

重要的问题是，要注意到时空图和纯空间图之间的差别，也就是如图1-2和图1-3所表示的差别。

图1-2是一幅纯空间图，表示地球绕太阳的轨道，代表地球的黑点随着时间绕太阳运动。但是，这种思考方式有含混之处，因为它没有表示出空间运动和时间过程之间的联系。如果我们希望把时间过程清楚地表示出来，则必须

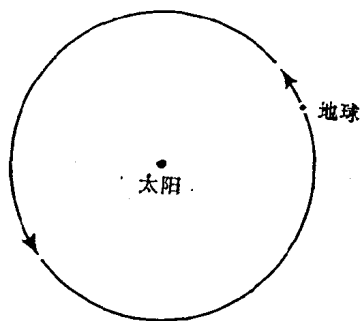


图1-2 表示地球绕太阳运行轨道的纯空间图。在任何确定瞬间，地球位于轨道上某个特定的位置。随着时间的推移，地球以图中所示的方式运动。

如图1-3那样，在一幅综合的时空图上把地球轨道表示成一条螺旋线，太阳位于螺旋线的轴上。

这里，我们碰到了一个颇为奇妙的问题。实际上我们往往喜欢采用图1-2，而不是图1-3，原因是我们主观上重视时间的确定瞬间。设想图1-2代表某一个确定瞬间，而地球和太阳的其他轨道形态对应于另外一些确定瞬间。另一方面，图1-3中所表示的则是地球运动的整个历史，任何一个轨道形态都没有赋以特定的意义而单独地表示出来。图1-3

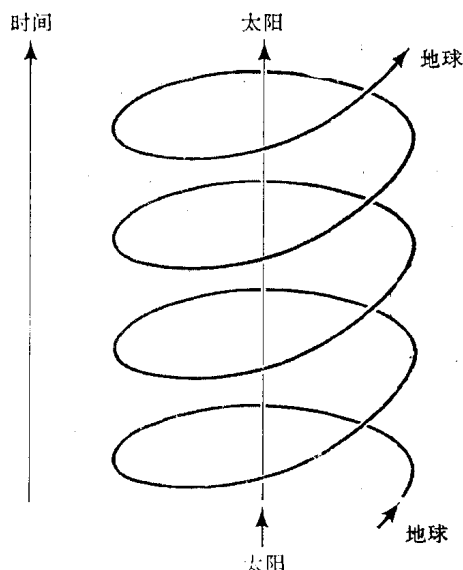


图1-3 对图1-2加上时间维后,地球的轨线成为一条螺旋线。这张图所反映的不是现时瞬间;所有的瞬间都综合在一起了。

中没有任何内容与现时瞬间概念有关。在物理学中通常都这样理解,即不存在表示现时的确定瞬间,所有的时间瞬间一起存在,而整个世界占有四维时空。

人们可能会认为,物理学家为了简单明了而舍去了有趣的细节。图1-1没有给出任何有关从伦敦飞往芝加哥那架飞机的具体内容,耳机、鸡尾酒、机组人员、乘客全都不见了。物理学家对于这类指责的回答是,常规的描述毕竟十分有限,这类描述所提供的细节总归是远远不够的。什么算是鸡尾酒?人脑又是如何起作用的?物理学家在为这些深入一步的问题寻求答案,而如果我们硬要他们提供细节的话,那他们是完全可以用极其丰富的内容来作出回答的。

宏观物体是由原子组成的

对物理学家来说,任何一个物体,诸如一架飞机或者地球,都是一个组合体;也就是说,它们可以分成为一些更小的**小块**.究竟能分到多小呢?古代希腊人虽然没有给出十分明确的答案,但是他们相信,任何一个物体可以分割成的小块,其大小必然有一个最终的限度,他们把这些最小的小块叫做**原子**.十九世纪的科学家们抱有同样的信念,他们开始试图弄清楚世界上究竟存在着多少种不同的原子.在这一探索中,他们获得了相当的成功,结果如表1-1所示,其中列出了到目前为止已经知道的所有原子,以及每种原子的宇宙丰度和发现的年份.

在十九世纪,把物体分离为组成它们的原子是一项重要的研究课题.科学家们掌握了备制各种原子标准样品的技术,这里的标准是指不管什么类型原子的样品都含有同样数目的原子.例如,一份氢样品中含有的氢原子数目和一份碳样品中碳原子的数目是相同的.这样做成以后,便可以比较各种样品的重量,从而计算出各种原子的相对重量.表1-1是按原子量增加的顺序排列的,只有两对相邻原子是例外,即**钴和镍**与**碲和碘**.氢是最轻的原子,氢次之,然后依次类推.如果取一个氢原子的重量为**1**,他们发现氢原子的重量大约是**4**,碳原子大约是**12**,氧原子**16**,铝原子**27**,铁原子**56**,等等.于是,科学家们把这些相对重量称之为**原子质量**.

一个大物体的质量只不过是组成它的原子的质量之和.设想把物体分成为各种类型的原子,计算每一种原子的个数,同时考虑到不同原子具有不同的质量.这种计数总是以质量最小的原子氢为单位.因此,每一个氢原子计作**1**,而每一个碳原子则计作**12**,因为一个碳原子的质量是一个氢原子的**12**倍.每个氧原子计作**16**,依次类推.这样计数的结果,便可以

表 1-1 元 素

Z	元素名	化学符号	发现年代	宇宙物质中的丰度
1	氢	H	1766	3.18×10^{10}
2	氦	He	1895	2.21×10^9
3	锂	Li	1817	49.5
4	铍	Be	1798	0.81
5	硼	B	1808	350
6	碳	C	• •	1.18×10^7
7	氮	N	1772	3.64×10^6
8	氧	O	1774	2.14×10^7
9	氟	F	1771	2450
10	氖	Ne	1898	3.44×10^6
11	钠	Na	1807	6.0×10^4
12	镁	Mg	1775	1.06×10^6
13	铝	Al	1827	8.5×10^5
14	硅	Si	1823	10^6
15	磷	P	1669	9600
16	硫	S	• •	5.0×10^5
17	氯	Cl	1774	5700
18	氩	Ar	1894	1.17×10^5
19	钾	K	1807	4205
20	钙	Ca	1808	7.2×10^4
21	钪	Sc	1879	35
22	钛	Ti	1791	2770
23	钒	V	1830	262
24	铬	Cr	1797	1.27×10^4
25	锰	Mn	1774	9300
26	铁	Fe	• •	8.3×10^5
27	钴	Co	1735	2210
28	镍	Ni	1751	4.8×10^4
29	铜	Cu	• •	540
30	锌	Zn	1746	1245
31	镓	Ga	1875	48
32	锗	Ge	1886	115
33	砷	As	• •	6.6
34	硒	Se	1817	67
35	溴	Br	1826	13.5
36	氪	Kr	1898	47