

第一推动丛书: 宇宙系列

物理 天文学 前沿

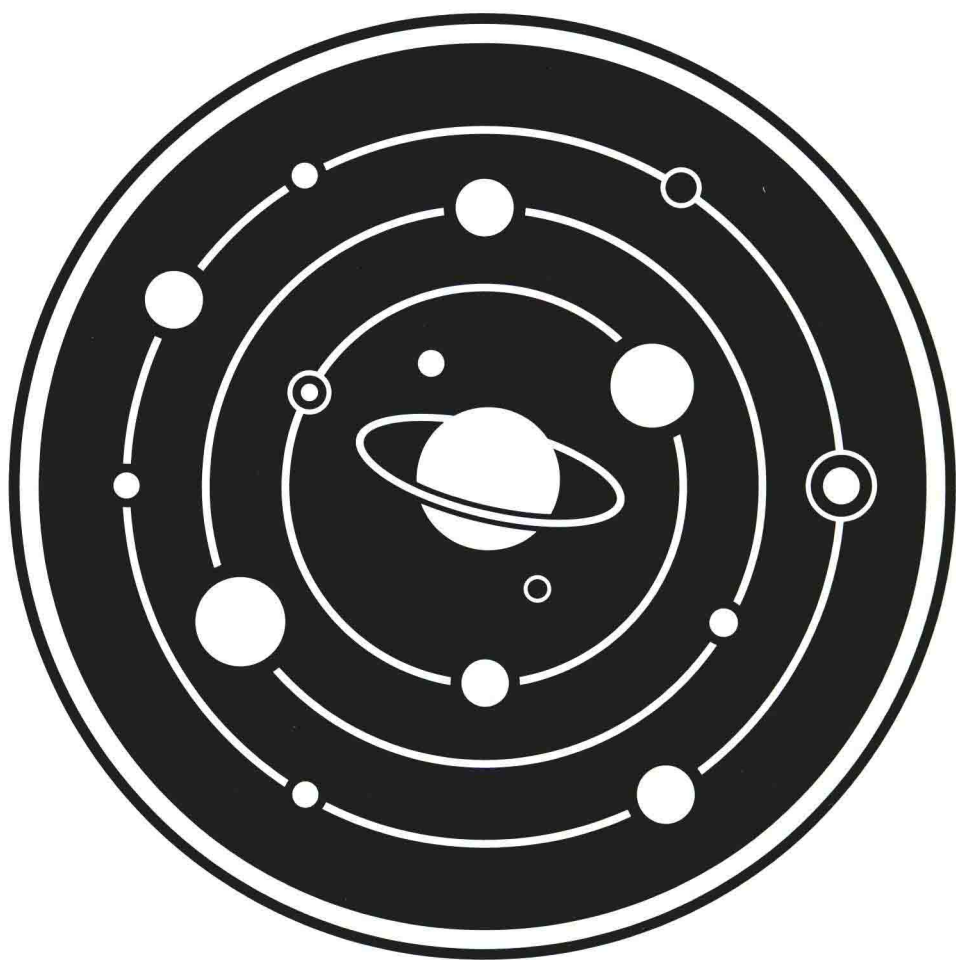
[英] F. 霍伊尔
[印] J. 纳里卡 著
何香涛 赵君亮 译

The Cosmos Series

The Physics- Astronomy Frontier

Fred Hoyle
Jayant Narlikar

11111
THE
FIRST
MOVER



第一推动丛书: 宇宙系列
The Cosmos Series

物理天文学前沿 The Physics-Astronomy Frontier

1111
THE
FIRST
MOVER

[英] F. 霍伊尔 [印] J. 纳里卡 著 何香涛 赵君亮 译
Fred Hoyle Jayant Narlikar

图书在版编目 (C I P) 数据

物理天文学前沿 / (英) F. 霍伊尔, (印) J. 纳里卡著; 何香涛, 赵君亮译. — 长沙: 湖南科学技术出版社, 2018.1

(第一推动丛书·宇宙系列)

ISBN 978-7-5357-9451-2

I . ①物… II . ①F… ②J… ③何… ④赵… III . ①天体物理学—普及读物②天文学—普及读物
IV . ①P14-49 ②P1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 212892 号

The Physics-Astronomy Frontier

By Fred Hoyle, Jayant Narlikar

本书中文版由作者 Jayant Narlikar 授权翻译出版。

本书根据 Freeman 公司 1980 年版本译出。

湖南科学技术出版社获得本书中文简体版中国大陆独家出版发行权

WULI TIANWENXUE QIANYAN

物理天文学前沿

著者

[英] F. 霍伊尔

[印] J. 纳里卡

译者

何香涛 赵君亮

责任编辑

吴炜 戴涛 杨波

装帧设计

邵年 李叶 李星霖 赵宛青

出版发行

湖南科学技术出版社

社址

长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

湖南科学技术出版社

天猫旗舰店网址

<http://hnkjcbst.tmall.com>

邮购联系

本社直销科 0731-84375808

印刷

湖南天闻新华印务邵阳有限公司

厂址

湖南省邵阳市东大路 776 号

邮编

422001

版次

2018 年 1 月第 1 版

印次

2018 年 1 月第 1 次印刷

开本

880mm × 1230mm 1/32

印张

19

字数

396000

书号

ISBN 978-7-5357-9451-2

定价

78.00 元

目录

第 1 章	001	时空图和物质结构
第 1 篇	021	电磁相互作用
第 2 章	022	辐射、量子力学和谱线
	022	§ 2-1 宏观粒子的辐射
	029	§ 2-2 时间的方向性和因果律
	034	§ 2-3 量子力学
	050	§ 2-4 名称、单位和测量
第 3 章	060	黑体、恒星光谱和赫罗图
	060	§ 3-1 温度和绝对温标
	063	§ 3-2 黑体
	069	§ 3-3 恒星光谱
	075	§ 3-4 赫罗图
	084	§ 3-5 天空中的恒星
第 4 章	098	射电天文学
	098	§ 4-1 历史简况
	114	§ 4-2 蟹状星云
	121	§ 4-3 个人的回忆
	124	§ 4-4 脉冲星
	131	§ 4-5 射电星系
	136	§ 4-6 类星体

第 5 章	147	毫米波天文学
	147	§ 5-1 分子
	154	§ 5-2 星际空间中的分子
	158	§ 5-3 巨分子云
第 6 章	164	星际微粒和红外天文学
	164	§ 6-1 一门新学科的诞生
	175	§ 6-2 星际尘埃
	182	§ 6-3 星际有机分子的起源
第 7 章	186	X 射线天文学
	186	§ 7-1 技术
	198	§ 7-2 来自太阳的 X 射线
	206	§ 7-3 天蝎 X-1—— 太阳系之外所发现的第一个 X 射线源
	209	§ 7-4 蟹状星云和其他的一些 X 射线源
	217	§ 7-5 第一个 X 射线星系
	221	§ 7-6 自由号巡天观测
	227	§ 7-7 密近双星和食双星
	234	§ 7-8 X 射线双星和黑洞
第 2 篇	243	强相互作用和弱相互作用
第 8 章	244	原子、原子核和恒星的演化
	244	§ 8-1 恒星的能源需求

	<u>246</u>	§ 8-2 放射性
	<u>249</u>	§ 8-3 是天然放射性，还是核聚变
	<u>250</u>	§ 8-4 原子核和各种粒子
	<u>260</u>	§ 8-5 核能和恒星的能量
	<u>268</u>	§ 8-6 恒星的演化
	<u>272</u>	§ 8-7 恒星的终极问题
	<u>286</u>	§ 8-8 物质的历史
第 9 章	<u>288</u>	天体距离的测定
	<u>288</u>	§ 9-1 毕星团主序
	<u>294</u>	§ 9-2 毕星团主序的利用
	<u>296</u>	§ 9-3 造父变星
	<u>304</u>	§ 9-4 距离范围的延伸
第 3 篇	<u>309</u>	引力相互作用
第 10 章	<u>310</u>	运动定律和万有引力定律
	<u>310</u>	§ 10-1 引言
	<u>314</u>	§ 10-2 运动
	<u>318</u>	§ 10-3 动力学
	<u>324</u>	§ 10-4 万有引力定律
	<u>330</u>	§ 10-5 从牛顿到爱因斯坦
	<u>333</u>	§ 10-6 狭义相对论
	<u>343</u>	§ 10-7 广义相对论
	<u>347</u>	§ 10-8 爱因斯坦的引力论

	353	§ 10-9 万有引力与天文学的关系
第 11 章	355	黑洞
	355	§ 11-1 引言
	356	§ 11-2 逃逸速度
	358	§ 11-3 牛顿引力框架中的引力坍缩
	361	§ 11-4 广义相对论框架中的引力坍缩
	371	§ 11-5 黑洞是怎样形成的
	374	§ 11-6 黑洞没有“发”
	377	§ 11-7 克尔-纽曼黑洞
	382	§ 11-8 黑洞物理学定律
	390	§ 11-9 黑洞的检测
	393	§ 11-10 白洞
第 12 章	397	宇宙学简介
	397	§ 12-1 什么是宇宙学
	406	§ 12-2 哈勃定律
	413	§ 12-3 膨胀着的宇宙
	417	§ 12-4 宇宙的对称性
	423	§ 12-5 奥伯斯佯谬
第 13 章	428	大爆炸宇宙论
	428	§ 13-1 宇宙学模型
	430	§ 13-2 弗里德曼模型
	436	§ 13-3 哈勃定律的推广

	<u>442</u>	§ 13-4 射电源计数
	<u>450</u>	§ 13-5 角大小检验
	<u>456</u>	§ 13-6 早期宇宙
	<u>462</u>	§ 13-7 热大爆炸
	<u>467</u>	§ 13-8 微波背景辐射
	<u>472</u>	§ 13-9 氦和氘的原始丰度问题
	<u>474</u>	§ 13-10 宇宙的年龄
	<u>475</u>	§ 13-11 再论奥伯斯佯谬
第 14 章	<u>477</u>	惯性和宇宙学
	<u>477</u>	§ 14-1 引言
	<u>479</u>	§ 14-2 马赫原理
	<u>486</u>	§ 14-3 单位和量纲
	<u>492</u>	§ 14-4 星系系统膨胀的含义
	<u>495</u>	§ 14-5 宇宙膨胀的另一种解释
	<u>504</u>	§ 14-6 哈勃和哈曼逊的红移-星等关系
	<u>508</u>	§ 14-7 早期宇宙
	<u>510</u>	§ 14-8 当前宇宙学中的难题
	<u>517</u>	§ 14-9 质量相互作用的一般形式
	<u>525</u>	§ 14-10 黑洞和白洞
	<u>531</u>	附录 A 稳恒态宇宙模型
	<u>541</u>	附录 B 表格

3

引力相互作用

第 10 章

运动定律和万有引力定律

§10-1 引言

本书的宗旨始终在于利用基本物理学所提供的手段，来帮助读者理解观测到的形形色色的天文现象。为了这个目的，在前面一些章节中，我们已经看到了，电磁相互作用、强相互作用以及弱相互作用是怎样有助于解释各种不同形式的电磁辐射现象——X 射线、微波、射电波和可见光的发射，以及解释恒星的结构和恒星核锅炉内各种元素的诞生，等等。我们也看到了，知识的流通绝不是单向的，也就是说，不只是从物理学输入到天文学，就大多数情况来说，天文学同样促进我们对物理学基本定律的理解。我们之所以这么说的根据是，所谓物理学的基本定律仅仅是通过实验室的实验取得的，而这些实验必然要受我们地球上的环境限制。但是，这些定律应该适用的条件和环境远远超出我们地球上的这些限制。至少来说，这是引导理论物理学家前进的一条基本原则。天文学为人们提供了一个宇宙实验室，其物理条件之广是地球上的任何环境所不可及的。

让我们回顾一下天文学为检验物理学定律所提供的宇宙实验室。最大的人造粒子加速器——费米实验室，它所产生的粒子能量高达

10^{12} eV。如果同宇宙线中粒子的能量相比较,后者可达 10^{20} eV,这就是说,要比地面实验室中所达到的能量高1亿倍。尽管今天的技术仍然无法做到由氢聚合成氦的受控热聚变反应,然而在恒星内部却正经历着这一过程。恒星确实已经实现了理论上可能的全部热核聚变概念。强射电源在爆发过程所涉及的能量,要比百万吨级氢弹爆炸时释放出来的能量大 10^{36} 倍。

显然,在诸如此类的例子中,物理学家们有幸在远远超出地球实验室范围的条件下来检验他们的理论。在天文现象上的这些应用,的确代表了物理学家们对他们的基本定律的普遍适用性和有限性进行真正检验的唯一途径。

引力相互作用在实验室内显得微不足道,然而对于相距遥远的大质量天体却是十分重要的

上面的讨论促使我们来谈一谈引力相互作用,它是本书所要讨论的物质间四种基本相互作用中的最后一种。不过,从历史发展的过程来看,在我们所要讨论的这四种相互作用中,引力并不是排在最后,而恰恰是第一。那是在1665年,也就是大瘟疫的那一年¹,牛顿(图10-1)坐在英格兰乌尔斯苏普(Woolsthorpe)他自己家的庭院内,看到一只苹果从树上掉了下来,并由此开始思索苹果下落的缘由。据说,这一番思索使他得出了万有引力的概念。最后,牛顿发表了著名的万有引力的平方反比定律,并且在1687年出版了他的著作——《自然

1. 指1665年的伦敦大瘟疫,死者总计达7万人之多。——译者注



图 10-1 牛顿, 1642—1727 年, 马卡德尔根据西曼的画像于 1740 年制作的金属雕像

哲学的数学原理》(以下简称为《原理》), 该书中对这条定律做了介绍¹。我们在本章内将会看到, 这一定律曾经是极其成功的, 它对很多不同的现象做出了解释。但是, 正如我们今天所知道的, 它对现代物理学的发展却几乎没有发挥任何的作用。原因在于, 事实上从万有引力的根本性质来说, 它对于天文领域里的应用较之实验室范围内的应

1. 有点令人不可思议的是, 牛顿居然花了 22 年(从 1665 年到 1687 年)的时间才发表了这样一个重要的定律。他真是在 1665 年就认识到了这一点吗? 从 1679 年前后虎克(1635—1703)和牛顿之间的通信可以看出, 在最初的时候虎克对于这一定律重要性的认识比牛顿更为清楚。

用显得更为重要。

为了弄清楚这一事实，让我们来看一下万有引力的平方反比定律：

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}。$$

这一定律表明，质量为 m_1 和 m_2 的两个质点间的引力 F ，与 m_1 和 m_2 的大小成正比，而与质点间距离 r 的平方成反比。引力常数 G 是一个非常小的量，因而在地球上力 F 总是很小的（只有一种情况是例外）。比如说，对于观察氢原子的原子物理学家来说，电子和质子间的静电力大约是它们之间引力的 10^{40} 倍！因此，原子物理学家完全有理由在他们的计算中略去引力的作用。

唯一的例外是指地球对地球上所有物体的引力吸引。这时，我们可以令 m_1 = 地球质量，它对 m_2 所施加的力大到足以测量出来。这个力恰恰就是重力，它给 m_2 以“有重量”的感觉。这一例外情况体现了万有引力的基本性质，正是这一性质使得万有引力对天文学来说显得特别重要。天文学所涉及的是一些大质量的天体，这时 m_1 或 m_2 ，或两者同时是很大的。尽管在天文学中 r 也很大，但是巨大的质量起着支配性的作用。

现在，我们就天文学所处的条件，把其他几种相互作用同引力来进行比较。强相互作用和弱相互作用属于短程力，它们在星际或星系际距离上是无关紧要的，这两种力主要在密度很高的恒星内部发挥

作用。由于天体是电中性的，因而电磁相互作用不大可能在大尺度范围上起重要的作用。但是，在前面几章中我们曾讨论过天体在各种不同的环境下发出辐射，而电磁相互作用对于产生这些辐射来说是很重要的。如果我们所关心的是大质量天体的大尺度运动，或者是这些天体的平衡问题，那么万有引力的贡献就是至关紧要的了。恒星和行星的运动、星系和星系团的运动，以及宇宙作为一个整体的大尺度特性，在这些方面万有引力都起着重要的作用。不同恒星的各种平衡结构以及黑洞的形成，则是万有引力在同自然界中的其他作用力进行较量。在许多场合下，万有引力总是处于主导地位。

在对万有引力进行较为细致的考察之前，我们先要认识一下有关动力学的一些基本概念，动力学也就是关于运动的科学。奠定动力学基础的人还是牛顿，他以数学为工具，通过动力学的方法来研究万有引力定律所造成的种种结论。在爱因斯坦对它做全面的修正之前，牛顿的这套动力学框架一直沿用了两个多世纪。

§10-2 运动

对于任何一个观测自然界的人来说，运动也许是最引人注意而又无所不在的现象。引起观测者注意的并不是静止的系统，而是变化着的系统。并且对每一个系统进行周密的考查后，总会发现有某些东西在运动着。甚至在所谓的稳定系统中，每个组成部分通常也是在运动着，只不过它们的运动方式使系统在总体上看不出有什么变化。举例来说，在一个无风的日子，空气并不真正处于静止状态，构成空气的分子在不停地做随机运动，这和宁静的湖泊中水分子在不停地运动

是完全一样的。

事物为什么会运动呢？它们又是怎样地运动呢？毫不奇怪，人们早已从几个不同的方面提出过诸如此类的问题，从地面上的现象，如箭的移动、鸟的飞翔、车辆的推进、河水的流淌，直到天上的现象，如恒星、行星以及太阳和月亮的运动，所有这一切都提出了一些需要加以解释的问题。有关文献记载的历史表明，随着哲学推理、实际观测、宗教信条以及科学实验诸方面的交错传播，人类的观念经历了饶有风趣的演变。最初的概念是 2000 多年前的希腊人提出来的，而演变的结果则以牛顿著名的运动定律的形式首次满意地解释了这些问题。

物体仅仅在运动状态发生变化时才受到力的作用

在《原理》一书中，牛顿对于支配物体运动的几条定律做了系统的论述。不过，在更早的时候，伽利略（1564—1642）的工作已经为这些定律奠定了基础，这就是人们今天所熟知的运动学第一定律：物体在不受外力作用时始终保持匀速直线运动，这一概念标志着对早先由希腊人提出的那些旧观念的一次革命。这是人们第一次指出，力对于运动并不是必要的，只是对于运动的变化才是必不可缺的。

为使运动发生一定程度的变化需要有多大的力呢？牛顿的运动学第二定律回答了这个问题，这个定律通常表述为

$$\text{力} = \text{质量} \times \text{加速度}。$$

质量是物体内部所含物质数量的一种量度。然而，在第二定律的含义中，它又是物体惯性的量度。惯性是这样的一种属性，它说明了物体对于任何力图改变其运动状态的外部因素（也就是说力）所表现的抗拒能力。对于给定的力，惯性越大（也就是 m 的数值越大），运动的变化就越小。这种变化由加速度来量度。

那么，什么是加速度呢？加速度就是速度的变化率。实际上，速度包含着两个方面的内容，它既告诉了我们运动的快慢程度，又指出了物体运动的方向。如果这两者之一，或者两者同时发生了某种变化，便会产生加速度。例如，假定有一辆汽车正以每小时 50 英里¹ 的速度行驶，现在驾驶员踩动油门，并且在 1 分钟时间内使运动速度改变为每小时 60 英里。假设速度发生上述变化时汽车在高速公路上的运动方向没有改变，问加速度是多少？

速度大小的变化是 $60 - 50 = 10$ 英里 $\cdot$ 小时⁻²，这一变化是在 1 分钟 $= 1/60$ 小时内发生的，因此，每小时的变化 $= 10 \div \frac{1}{60} = 600$ 英里 $\cdot$ 小时⁻²，这就是加速度，其方向与运动方向一致。

再举一个例子，假定有一个石块系在一根绳子上，以不变的速度 v 在半径为 r 的圆圈上做旋转运动。尽管速度的大小保持不变，但是运动的方向不断地在改变，因此，石块在做加速运动。加速度的大小等于 v^2/r ，方向指向圆心。所以，绳子施加在石块上的力同样也指向圆心（图 10-2）。

1. 1 英里 = 1.609 千米。——译者注