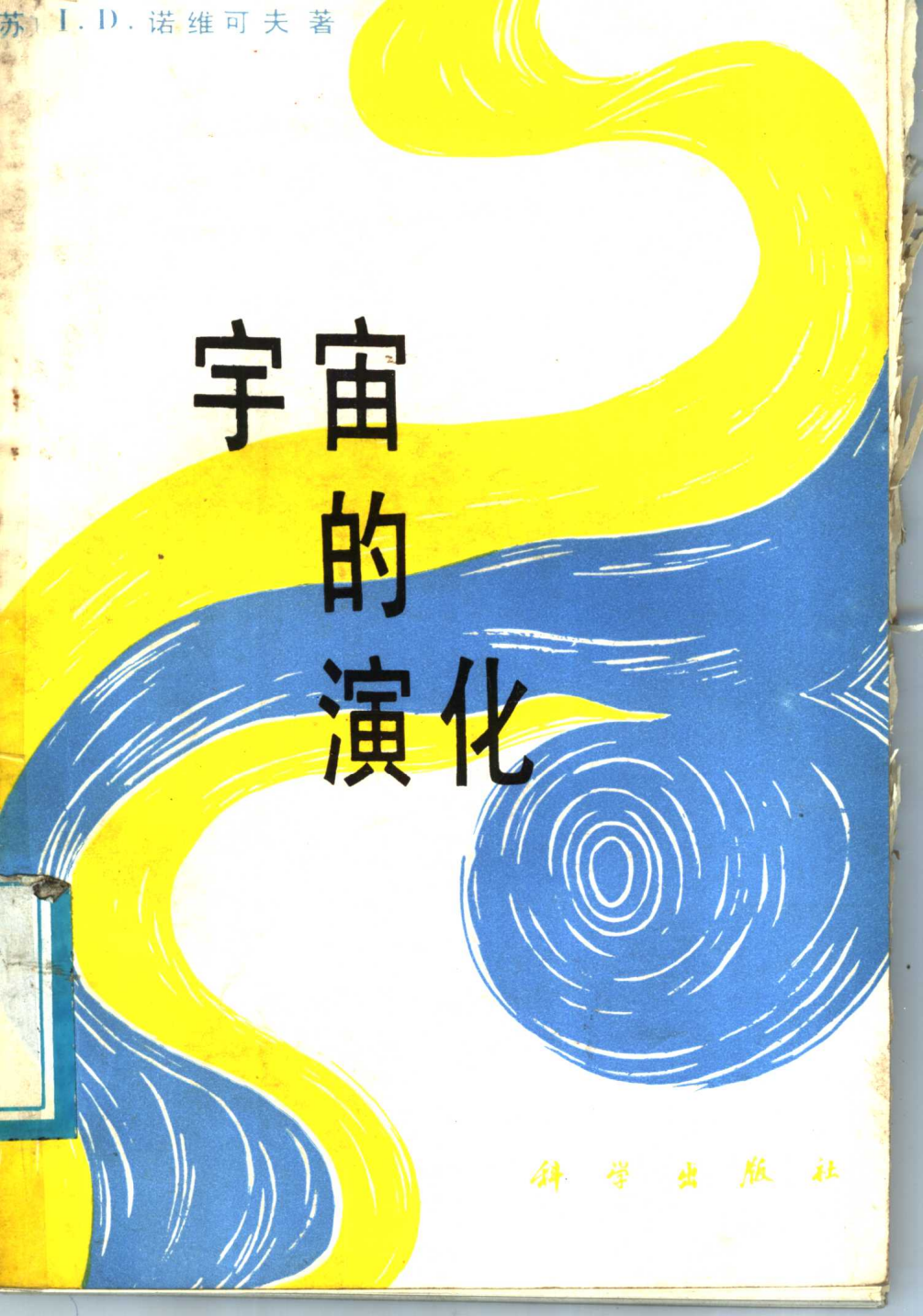


苏 I. D. 诺维可夫 著

宇宙的演化



科学出版社

宇宙的演化

〔苏〕I. D. 诺维可夫 著

黄无量 陈定栋 张 梅 译

科学出版社

1989

内 容 简 介

本书阐述宇宙的演化，尤其是关于宇宙大尺度结构和星系的起源问题以及中微子在宇宙演化中的作用。对宇宙学的前沿课题也作了简要的介绍。本书深入浅出，强调正确的理论必须经过严格的观测和实验的检验。

本书可供对宇宙学及天体演化有兴趣的一般读者以及天文、天体物理、理论物理等领域的专业人员参考。

I. D. Novikov

EVOLUTION OF THE UNIVERSE

Cambridge University Press, 1983

宇 宙 的 演 化

[苏] I. D. 诺维可夫 著

黄无量 陈定栋 张 梅 译

责任编辑 方开文

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

中国科学院开封印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1989年9月第一版 开本：787×1092 1/32

1989年9月第一次印刷 印张：5 7/8

印数：0001—1385 字数：127,000

ISBN 7-03-001228-3/P·221

定价 5.50元

译 者 的 话

本书作者是苏联Zel'dovich研究组的主要成员,是pancake理论和原初黑洞概念的提出者之一,他还首先提出了白洞概念.本书反映了该研究组1983年前对宇宙演化所作的研究工作,既是一本通俗读物,对专业人员也有很好的参考价值.

本书第一、二、三章由陈定栋和黄无量翻译;第四章由黄无量翻译;第五章由张梅翻译.全书由黄无量校订.译者对本书原文中明显笔误处已作订正,书中就不再逐一加以说明了.

序

万事万物，论其宏伟壮观，莫过于宇宙的整体演化。而人类认识这种演化的理性能力也是惊人的。爱因斯坦写道：“关于世界，最不可理解的事情正是在于它是可以被理解的”。

人类的理智亦如自然界的万物，力求向深化方向发展。因此，毫不奇怪，世上许多人都希望对全部奥秘之至深者——整个宇宙的奥秘——有更多的了解。

本书的目的就是满足人们的这种要求。然而，与此同时，我的目标是说明现代科学正在怎样以其可靠的和经过验证了的方法去阐明这个谜中之谜。正是这样，宇宙学才渐渐失去某些神秘的色彩，而它的结论也和自然科学其它分支的结论一样变得确切无疑。

作者感谢英国同行推出本书的英文版，并得以扩大读者的范围。作者还特别愉快地得知该书正在英国出版，这个国家的科学家自伟大的牛顿始，就对有关宇宙的现代认识作出了重大的贡献。

鉴于本书引用的主要事实是确凿的，有关宇宙演化的结果是可靠的，所以，自俄文本出版以来，虽然若干年过去了，但本书的内容仍毋需作重大的修改。事实上，直至1981年春的有关宇宙学方面的最新成就都早已被本书包括。这些年来，本书所述有关当代宇宙学研究的总趋向已经变得更为清晰：研究工作越来越集中在两个重大问题上，即关于宇宙膨胀之初的奥秘以及关于星系起源与宇宙大尺度结构之谜。

为使本书的素材叙述得较俄文初版更为清晰,部分原文业已重新改写。作者十分感谢M. M. Basko 博士,他是本书的英译者、是一位苏联在相对论天体物理和宇宙学方面的著名专家,他的意见和建议对本书英文版的改进有显著的帮助。作者还想对那些对改进这一版本提出宝贵意见的其他同事表示衷心的感谢。

译者和作者都非常感谢L. G. Straut,她熟练地用母语(俄语)和外语(英语)打印了全部手稿。

I. D. 诺维可夫

1981年4月25日于莫斯科

俄 文 版 序

宇宙学研究宇宙的结构与演化。从本质上讲,它是自然科学的一个分支并注定要处在不同知识领域的汇交点上,这就是说宇宙学融合了性质各不相同的思想和方法。作为天文学的一个分支的宇宙学,它同时应用了物理学的、数学的和哲学的方法与成就。宇宙学的研究对象是全部外在的宏观世界,即整个“大宇宙”,而它的具体目标则在于构造物理及数学模型,以描述有关宇宙结构与宇宙演化的最普遍特性。显然,宇宙学的基本结论对于通常所说的“宇宙观”具有很重要的意义。需着重予以强调的是,现代宇宙学的理论模型要由观测天体物理学,即按实践和经验的标准来加以检验。

本书中,有关现代宇宙学的成就是以这样一种方式来叙述的,即不仅能为经常研读有关宇宙学书籍的专家们而且也能一般为一般读者所理解。

虽然作者已假设本书的读者除了从学校学得的天文、物理和数学课程的一般知识外并无任何专业知识。然而,由于所论及问题的严肃性,要求部分读者作出一定的努力与思考。

在着手写作本书之前,作者已与Ya. B. Zel'dovich一起编写了二部适用于专业人员的现代宇宙学专著(Relativistic Astrophysics, Nauka, Moscow, 1967和 Structure and evolution of the Universe, Nauka, Moscow, 1975)。这二部专著总结了作者和他们的同事的研究工作,而对宇宙学整个学科的成就也作了概括。

自然,本书在讨论许多问题时会引用上述专著以及
Ya. B. Zel'dovich等合作者所做的其他工作,有时只是略去
复杂的数学运算而以稍微简单的方式来叙述这些材料. 事实
上,作者的目就是叙述先前的工作并使之为广大读者所了
解. 本书也引用了我们的一些科普文章.

作者感谢Yy. N. Efremov 和 O. Yu. Dinariev,他们阅
读了本书手稿并提出了许多宝贵的意见;作者还要感谢L. G.
Straut,她完成了全部打印工作.

I. D. 诺维可夫

1979年1月于莫斯科

目 录

序

引言	(1)
----------	-------

第一章 膨胀着的宇宙

(6)

1. 宇宙的大尺度均匀性与各向同性	(6)
2. 理论预言非静止宇宙	(8)
3. 宇宙膨胀的发现	(12)
4. 星系退行能否超光速?	(18)
5. Hubble 常数	(19)
6. 宇宙膨胀的历史,膨胀的开始	(25)
7. 膨胀宇宙的未来,临界密度	(29)
8. 星系和星系团	(31)
9. 宇宙中物质的平均密度与“隐藏”质量 问题	(41)
10. 红移是否证明宇宙的膨胀?	(46)
11. 真空是否具有引力效应?	(50)
12. 引力佯谬	(60)

第二章 相对论宇宙学

(67)

1. 爱因斯坦引力理论的基本思想	(67)
2. 宇宙中空间的几何特性	(71)
3. 闭宇宙与开宇宙	(75)
4. 宇宙的平均物质密度和对宇宙空间曲率	

的观测检验	(79)
5. 宇宙中的视界	(83)
6. 为什么相对论宇宙学中无引力佯谬发生	(86)

第三章 热宇宙

1. 膨胀宇宙中的物理过程	(89)
2. 公元前一百亿年	(90)
3. 冷起源还是热起源	(95)
4. 剩余辐射的发现	(98)
5. 最初瞬间	(102)
6. 随后的五分钟	(109)
7. 轻元素的合成: 关于早期宇宙的线索	(112)
8. 观测到的轻元素丰度	(115)
9. 第一个百万年之后	(117)

第四章 宇宙结构的形成

1. 引力不稳定性	(120)
2. 均匀物质中扰动的类型	(124)
3. 热宇宙中微扰的演化	(129)
4. 薄饼(pancake)理论及其它理论	(136)
5. 如果中微子静质量不为零	(141)

第五章 前沿

1. 宇宙学中的奇点	(147)
2. 在强变化引力场中粒子的产生	(150)
3. 宇宙中的物质与反物质	(154)
4. 宇宙可能是振荡的吗?	(156)
5. 物理学中的马赫原理与非爱因斯坦引力	

理论.....	(158)
6. 关于宇宙非浅显拓扑的可能性	(163)
7. 原初黑洞与白洞	(169)
8. 结语	(174)

引 言

现今,关于宇宙演化的思想似乎变得十分自然,甚至是十分必要了,然而,并非一向如此.就像任何一种伟大的科学思想一样,在它最终在科学上获得胜利之前,总要经历一系列的发展和斗争.今天,宇宙演化乃是科学事实,为大量天体物理观测所证实并为整个物理学的坚实理论基础所支持.

本书描述演化着的宇宙和宇宙学.宇宙学是自然科学的一个分支,其研究课题是整个宇宙.

物理宇宙学成为科学的一个真正分支,可以看作是20世纪的一项成就.正是在这个世纪,阿尔伯特·爱因斯坦创立了引力的相对性理论(即广义相对论),这个理论成了宇宙结构科学的理论基础.另一方面,本世纪之初,在天文观测上的成就——确定了星系的特性和发现了Hubble红移定律——加上射电天文和其它观测方法(包括使用宇宙飞船)的非凡进步,在最近几十年内为现代宇宙学建立了牢固的实验基础.

卓越的苏联科学家A. A. Friedmann在1922年至1924年间的著作标志着现代宇宙学的开始.根据爱因斯坦的理论,他建立了在引力作用下整个宇宙中物质运动的数学模型. Friedmann证明宇宙中的物质不可能处于静止状态,即宇宙不可能静止不动,它必须是膨胀或者收缩,于是,宇宙中的物质密度也必须是减小或者增加.这样,有关宇宙整体演化的概念就从理论上发展了起来.

这种思想是崭新的而且非同寻常.若干世纪以来,有关宇宙结构的种种模型一个接着一个地在科学界流行,但是所

有这些(或几乎所有这些)模型都有一个共同特点——它们都只是些结构模型而不是关于宇宙演化和连续变动的模型,即属于那类不变的“钟表机构式宇宙”模型。这种占统治地位的静态宇宙(或称稳恒态宇宙)思想好像是不证自明的。虽然宇宙中或许发生着最复杂的过程,但是整个宇宙怎么能从某处(即某种状态)演化到另一状态去呢?看来有关宇宙整体演化的思想好像是不合理的和荒谬的,即使一些杰出的科学家接受这种思想也要经过很多努力。作为一个例子,或许可以提到阿尔伯特·爱因斯坦本人。这位相对论的创造者完全知道他的理论对于宇宙学是多么重要。就在导出广义相对论方程后不久,他立即试图弄清楚将该方程用于整个宇宙时是否允许存在静态解,即不随时间而变化的定态解。对于爱因斯坦来说,这似乎是很显然的,应当去构造的乃是一种静止的、非演化的宇宙模型。然而,将广义相对论方程用于整个宇宙时却不允许有静态解存在,这表明新物理理论的方程包含着超出了该方程创造者所能预料的内涵。请注意,不仅广义相对论是如此,而且对任何一种具实际意义的理论都有这样的情况。看来静态宇宙的思想是如此吸引人,致使爱因斯坦不相信自己的方程并着手修改它们。

那么为什么静态宇宙思想看来是如此吸引人呢?其理由显然来源于这样的事实:所有天体和天体系统(如太阳系、恒星、星团或星系)都没有发生可察觉的变化,它们始终如故。人们总自觉或不自觉地把在人类能把握住的尺度范围内所观测到的天文现象的不变性外推到了整个宇宙。亚里士多德在他的论文“论星空”中阐述得十分清楚:“沿着流逝的时光,根据人类一代接一代的记载,无论整个最遥远的星空还是某一特定局部均未发现变化的痕迹”。

从今天的观点来看,那种反演化的偏见、那种对宇宙方程

静态解的探求,甚至从原则上讲也是错误的,因为现在业已确认所有那些以前被认为似乎是恒定发光和沿着循环轨道稳定运动的天体和天体系统都是在演化的。大家会记得放射性衰变不可逆性这一事实,它就为天体演化提供了很好的证明。如果作为天体中一员的地球已经存在了无限长时间,那么地球上所有的放射性元素已经衰变了很长(无限长!)的时间。然而我们知道放射性元素仍存在于地壳中,因此,自地球、地壳和放射性元素形成以来只是过去了有限的时间。现在,连小学生都知道岩石中放射性物质的含量可用来作为地球年龄的良好指示器。

关于太阳和恒星的演化也被确认。这些天体辐射着能量,其能源就是恒星内部的核反应。任何能源都会消耗殆尽,核能的储量也不是无限的。因此,太阳和恒星应形成于以往的某个有限远的时刻,并有着它们自己的演化史。

今天,即使在像星系这样巨大的体系中,我们也观测到激烈的爆发和演化过程,组成星系的物质正通过发生在恒星内部的核反应而逐步更新:氢转化成氦,进而转化为其它较重的元素。

这样,只要考虑足够长的时间周期,对无论哪一类天体采用静止不变的图象都是不可接受的。如果我们现在刚刚着手构造宇宙模型,我们大概会被迫去发展一种演化模型,在此模型中应指明宇宙开始形成恒星、星系……的时期。

让我们回到本世纪之初,那时爱因斯坦完成了宇宙的静态模型,但为此付出的代价是在他的理论中除了万有引力外不得不引入一种假想的宇宙排斥力。稍后,当爱因斯坦得知A. A. Friedmann证明宇宙必须是非静态的文章时,他判定这篇文章是错误的。仅当Friedmann的种种解释转达到爱因斯坦处后,他才认识到这位苏联数学家所得结论的正确性,同

时承认他自己力图建造的非演化模型乃是一种错误的模型。最后,于1929年美国天文学家 E. Hubble 分析了大量观测结果后,证实了宇宙膨胀这一事实。

这样一来,宇宙的整体演化就被证实了。这项发现成为人类理性认识的最伟大成就之一。当然,宇宙膨胀规律的发现只不过是宇宙演化探索真正的开始,可以说这只是对宇宙力学的认识。尚仍需研究种种发生在膨胀宇宙中的特殊物理过程,包括研究那些发生在遥远的过去的过程,那时的物质状态十分不同于现在的物质状态;同样也研究那些发生在邻近目前时期的过程,那时天体和天体系统开始形成;最后,还应当研究那些正在发生和将要发生的过程。

也就是在宇宙学发展的最近一、二十年内,有关宇宙中作用力和运动的力学图象才被赋予了新的具体的物理含义。

本书的随后几章将详细说明当代有关宇宙演化的科学见解。这种演化图象看起来确是宏伟壮观的:从基本粒子间存在猛烈反应的超密超热状态膨胀到物质分裂成巨大的天体系统(那里恒星和行星已经形成,生命也在进化)的当前状态。

然而,必须强调指出,本书是论述宇宙本身以及与宇宙有关的种种新思想的发展,而不是专门记载那些已在或正在这一科学分支中进行研究的人们。试图同时论及这二个方面对作者来讲似乎并不合适,因为它们是不同的性质的任务,需采用不同的写作风格。为此,在随后的论述中,作者将不遵循编年史的顺序而只是偶而提到某些人的名字和年代。

最后,请注意以下用到的“宇宙”这个术语,如同通常在宇宙学文献中所采用的一样,乃是指全部外在的宏观世界。在不同种类的科学文献(如关于哲学、物理学和天文学的文献)中,这个术语往往被赋予不同的含义。而贯穿本书讨论的是有关这个外在宏观世界的具体物理特性和它的物理、数学模

型.

读者若希望更详细和更深入地了解关于现代宇宙学的各种问题,可参阅如下专著:

D. Sciama, *Modern Cosmology*, Cambridge University Press, 1975;

P. J. E. Peebles, *Physical Cosmology*, Princeton University Press, 1971;

S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, New York, Wiley, 1972;

Ya. B. Zel'dovich & I. D. Novikov, *Structure and Evolution of the Universe*, Moscow, Nauka, 1975
(英译本正在准备中*).

作者关于宇宙学种种问题的观点陈述在上列书目的最后一本书中. 自该书出版以来,许多专门问题有了进一步的发展,而有关一般问题的总观点从本质上讲仍保持不变,因此,当本书讨论到许多问题时,作者会沿用上述这本专著中的观点(参阅本书俄文版序).

• 英译本已于1983年由The University of Chicago Press出版。——译者注

第一章 膨胀着的宇宙

1. 宇宙的大尺度均匀性与各向同性

任何一种构造外在世界模型的尝试当然要从努力理解观测事实开始。

关于宇宙我们究竟看到了什么呢？

在这导引性的一节中，我们仅讨论由观测所得出的最一般的结论，它对于我们弄懂下文是重要的。有关观测数据的更详细的评述将在本章第8节和第9节中给出。

迄今，天文学家能直接观测的只是发光的天体，即恒星、发光气体及恒星系统。

在较小尺度上，恒星在空间的分布是很不均匀的。我们一旦认识到银河是一个巨大的恒星集团——银河系时，这一点就十分清楚了。随着光学望远镜功能的增强以及天体物理方法变得更为成熟，人们发现原来星系也是如此之众多而且相当不均匀地散布在宇宙空间中，一般说来，宇宙呈现为星系团的一种集合。星系团的大小及其所包含独立成员的个数十分不同。大的星系团含有数千个星系，尺度达若干兆秒差距(Mpc)。〔注：天文学家以秒差距(pc)来量度距离： $1\text{pc} = 3.26\text{光年} = 3.1 \times 10^{18}\text{cm}$ 。宇宙学中 $1\text{Mpc} = 10^6\text{pc}$ 被用作单位长度〕。平均而言，星系团间相隔约30Mpc，即它们之间的距离约为它们自身大小的十倍。这意味着，该结构单元内部的平均密度比将所有物质均布在宇宙空间中所得的密度大100—1000倍。然而，甚至还有更大尺度的凝聚——超星系团。这样，在30—100Mpc尺度以下，宇宙“分裂”成独立的结