

宇宙 从一粒尘埃开始

9堂极简宇宙课

Brain Cox & Jeff Forshaw

〔英〕布莱恩·考克斯 & 杰夫·福修——著

张辉——译

UNI
VER
SAL

A GUIDE TO THE COSMOS



北京联合出版公司
Beijing United Publishing Co., Ltd.

宇宙 从一粒尘埃开始

9堂极简宇宙课

Brain Cox & Jeff Forshaw

[英] 布莱恩·考克斯 & 杰夫·福修——著

张辉——译

U N I
V E R
S A L

A GUIDE TO THE COSMOS



北京联合出版公司
Beijing United Publishing Co., Ltd.

图书在版编目 (CIP) 数据

宇宙从一粒尘埃开始 / (英) 布莱恩·考克斯, (英) 杰夫·福修著; 张辉译. — 北京: 北京联合出版公司, 2018.10

ISBN 978-7-5596-2533-5

I. ①字… II. ①布… ②杰… ③张… III. ①宇宙—普及读物 IV. ①P159-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第212117号

著作权合同登记号 图字: 01-2018-5006

Copyright©2017 by Jeff Forshaw and Apollo's Children Limited

宇宙从一粒尘埃开始

作者: [英] 布莱恩·考克斯, [英] 杰夫·福修

译者: 张辉

总发行: 北京时代华语国际传媒股份有限公司

责任编辑: 牛炜征

封面设计: 吉冈雄太郎

版式设计: 姜楠

责任校对: 赵哲安

北京联合出版公司出版

(北京市西城区德外大街83号楼9层 100088)

北京中科印刷有限公司印刷 新华书店经销

字数210千字 700毫米×1000毫米 1/16 17.5印张

2018年10月第1版 2018年10月第1次印刷

ISBN: 978-7-5596-2533-5

定价: 88.00元

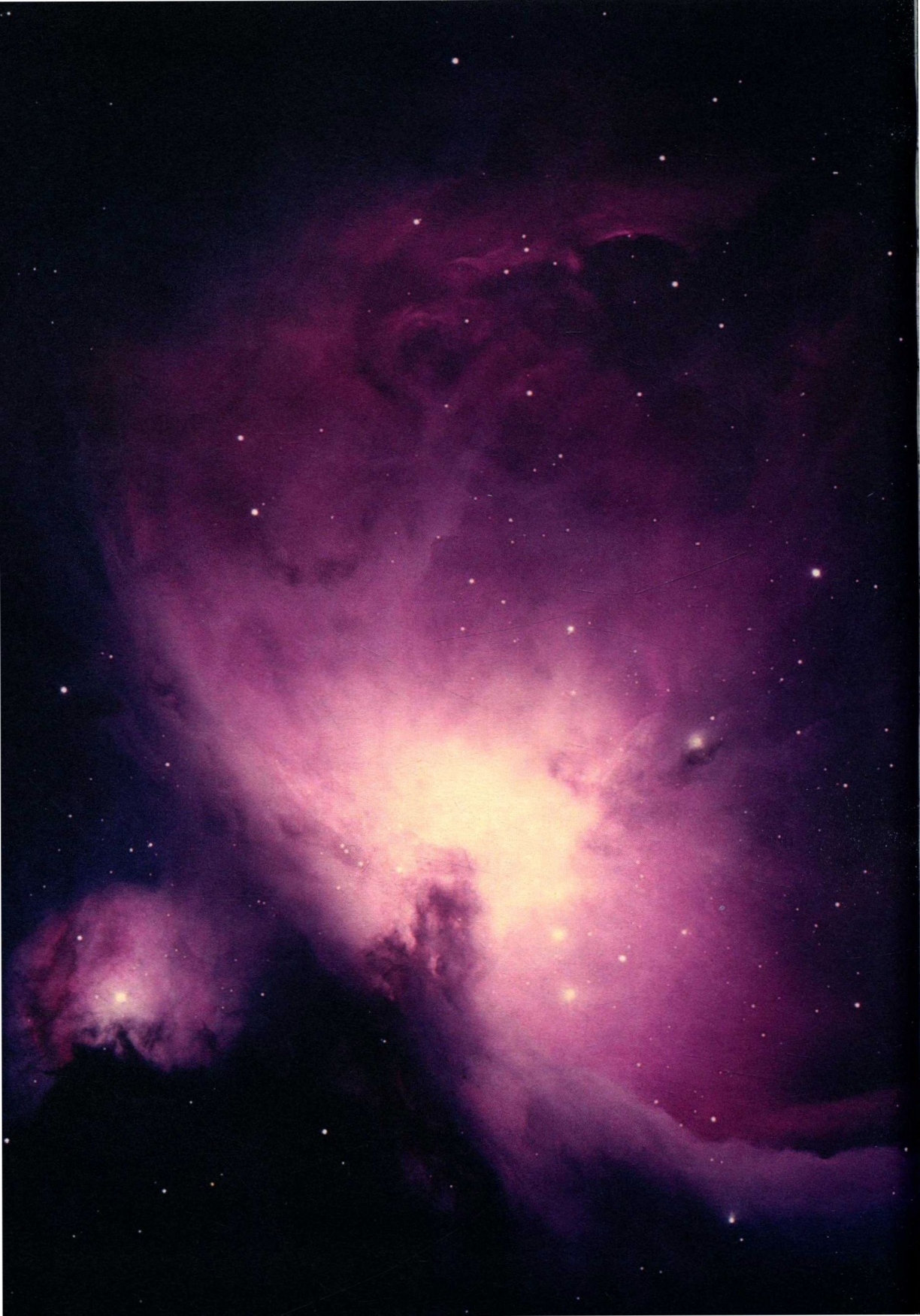
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书部分或全部内容

版权所有, 侵权必究

本书若有质量问题, 请与本社图书销售中心联系调换。电话: 010-83670231

致布莱恩的父亲，大卫





目

录

1 宇宙的故事 · 001

2 太阳有多老 · 007

3 给地球称重 · 049

4 到恒星的距离 · 071

5 爱因斯坦引力论 · 107

6 大爆炸 · 141

7 给宇宙称重 · 173

8 大爆炸之前发生了什么 · 199

9 我们的世界 · 247

1

宇宙的故事

我们敢于想象，在某个时刻，整个可观测宇宙是一个比原子还要小的空间。不仅如此，我们还可以计算。我们能够算出，数千亿计的星系是如何从一个比一粒微尘还要微不足道的亚原子大小的空间里产生的，而且这些计算和我们对宇宙的观察是高度一致的。如此看来，人类似乎能够知道宇宙的起源。

宇宙学无疑是最为大胆的科学分支。我们所在的星系——由四千亿颗行星组成的银河系，曾经被当作比一粒微尘还要小的空间，这个想法已经是奇思异想。而整个可观测宇宙中的所有星系都不过是一个亚原子大小的空间，这种说法听上去就像痴人说梦。然而，对于许多宇宙学者来说，这个主张几乎连半点争议也没有。

这本书无关高深的理论知识，而是教普通大众如何通过科学来理解宇宙。可能会认为，一个普通人是不可能对宇宙有仔细的钻研的：难道我们不需要哈勃空间望远镜和大型强子对撞机吗？答案是：不见得。一些很基本的问题，比如对地球、太阳、太阳系甚至之外的有关宇宙的问题，都可以从你家的后花园里找到答案。它们存在多久了？它们有多大？它们有多重？科学能够给我们答案。我们可以通过观察、测量和思考得出答案。科学给人带来的喜悦之一，就是让你第一次了解事物——这里的了解指的是真正的理解，它远不同于知道事实，而且更让人满意。我们将会沿着宇宙学先驱埃德温·哈勃对宇宙扩张的发现，站在南威尔士的一片沙滩上测量海王星的运行，做出我们自己微不足道的观察。

随着本书的进展，我们的目光当然会扩展到众星云集的星系中。为了有助于理解，我们需要依赖一些自己无法做出的观察和测量。但是我们可以把自己当作许多可以这样做的天文学家团队的一部分。

那些恒星和星系离我们有多远？宇宙有多大？它是由什么组成的？它在遥远的过去是什么样的？这些问题的答案会带出一大串新想法，不用看完此书，大家就具备探求宇宙起源的能力了。科学是一段充满魅力的探索的旅程，它是一个令人兴奋的、给人回报的过程，它让科学家和周围世界有了更好的联系。它也让人敬畏，令人谦卑；让人感到世界是如此不可想象的美丽，而我们身处其中，见证其存在，又是何等荣幸。

不过，在开始我们的旅程之前，我们得对目的地稍做了解。下面要讲的，是宇宙是如何从一个亚原子大小的空间转化成如今我们看到的无穷的星系海洋的故事。也许，当你看完此书时，你会认为，这可能确实是真实的情况。

我们先回到大爆炸之前的宇宙。这里所说的“大爆炸”指的是在 138 亿年前，组成可观测宇宙的所有物质以高温稠密基本粒子等离子体的形式出现的事件。在此以前的宇宙是截然不同的。它相对较冷、无颗粒，而且空间本身以非常快的速度在膨胀，也就是说，宇宙中包含的所有粒子都在以高速彼此远离。颗粒间的平均距离每 10^{-37} 秒就增加一倍。这是一种几乎令人无法理解的惊人的膨胀率，两个曾相隔一厘米的粒子，在仅仅 4×10^{-36} 秒以后就相距 100 亿米，这比地球到月球距离的 20 倍还要多。我们不知道宇宙这样膨胀了多久，但至少持续了 10^{-35} 秒。宇宙学家称这个快速膨胀的大爆炸前阶段为暴胀时期。

让我们集中关注一个只有质子（氢原子的原子核）的十亿分之一大小的空间。乍一看，它没有什么特别的，只是浩瀚的膨胀的宇宙中极其小的一个组成部分，而且和它周围众多的空间没什么两样。

这块空间值得我们注意的唯一原因是，它注定将在 138 亿年间成长为可观测宇宙，即我们现在从地球上能看到的包含所有星系、类星体、黑洞、恒星、行星、星云等的宇宙。而整个宇宙比可观测宇宙要大得多得多，但是我们没有办法看到全部，因为光在 138 亿年的时间里所走的距离是有限的。

在大爆炸之前，宇宙充满了一种叫“暴胀”场的东西，它就像由静止的海洋构成的物质空间。暴胀场内的能量在引力的作用下，导致了宇宙的指数性增长，这也是它名字的来源：它就是导致宇宙膨胀的场。总体而言，暴胀场在宇宙增长的时候一直不受影响，但是它也不是完全均匀的。正如量子物理定律要求的那样，它有很多微小的波纹。

当我们的可观测宇宙到了一个瓜那么大的时候，暴胀时期由于驱动能量的耗竭已快到尾声。但这个能量不是没有了，而是转变成了大量的基本粒子。一瞬间，一个冰冷的空洞的宇宙变成了一个炽热而稠密的宇宙。膨胀就这样结束，大爆炸开始，形成了一个新的宇宙，其中充满了注定要进化成星系、恒星、行星和人类的粒子。

我们目前还不知道在大爆炸过程中有哪些粒子在场，但是我们确实知道，那些最重的粒子很快就衰变，生成了较轻的粒子，即我们现在所知的电子、夸克、胶子、光子、中微子以及暗物质等¹。我们对宇宙在万亿分之一秒时存在的粒子很有信心，因为我们能够在地球上通过大型强子对撞机²再造这些条件。这就是空荡荡的空间被希格斯场填充，导致其中一些基本粒子获得质量³的时刻。导致恒星发光的弱核力也在此时与电磁力分道扬镳。

在大爆炸的百万分之一秒之后，当炽热的等离子体降温到 10 万

亿摄氏度时，夸克和胶子组成了质子和中子，即原子核的构成部分。尽管这个原始的宇宙所包含的粒子成分几乎一样，但其中粒子的稠密度还是有些许差别的，这就是暴胀场内量子导致产生的波纹的痕迹。这些变化就是星系日后发展壮大的种子。

在大爆炸一分钟之后，宇宙温度冷却到约 10 亿摄氏度的时刻，一些质子和中子可以配对聚合形成氦核了。其中大多数又继续和其他质子和中子配对形成氦核，以及少量的锂核。这是一个核合成的时期。

在接下来 10 万年左右的时间内，宇宙持续扩张和冷却，除此之外没有多大变化。然而在接近这一时期的尾声时，暗物质逐渐开始聚集在暴胀场内波纹播下的种子周围。宇宙中暗物质较多的地方就变得略微稠密一些，而它们的引力也吸附了更多周围的物质，这就是物质引力聚集的开始，最终将导致星系的形成。同时，光子、电子和原子核彼此频繁交错碰撞，从而形成了一种类似液体的物质。38 万年以后，当可观测宇宙达到现在的一千分之一时，温度已经降到了太阳这类平均大小的恒星的表面温度，冷到了能够让电子被带电氢核和氦核俘获并围绕它们旋转的程度。刹那间，在整个宇宙中，第一批原子诞生，宇宙经历了一个巨大的变化，从一团炽热的电等离子气体，变成了一团炽热的电中性的粒子气体。这一事件具有重大后果，因为光子和电中性的原子之间的反应要少得多。宇宙变得透明了，意味着光子不再进行之字形运动，而是开始做直线运动。在接下来的 138 亿年里，这些光子大部分都做直线运动，其中一些刚刚以微波的形式到达我们今天的地球。这些古老的光子就是远古时代的信使，它们带来了大量的信息宝藏，供宇宙学家们破解。

随着宇宙的继续膨胀，在引力的作用下，它主要由暗物质组成

的稠密区域变得越来越稠密了。氢与氦原子在暗物质周围聚集，旋转的原子云继续成长，直到最稠密的部分向内塌陷，增加了其内核的压力和温度，导致它们最终形成了核熔炉；氢聚合为氦的过程被引发，恒星在全宇宙范围内诞生。大爆炸的一亿年以后，宇宙的黑暗时代结束，取而代之的是一片熠熠星光。最大质量的恒星只有短暂的生命，当它的氢燃料耗尽时，在与引力进行的徒劳角斗中，它开始元素聚变，产生了更重些的元素如碳、氧、氮、铁等：这些形成生命的元素就是这样产生的。当燃料最终耗尽，这些恒星就瓦解成闪亮的行星星云或者爆炸中的超新星，同时把它们新造成的重元素散布到宇宙空间各处。在它们回光返照的最后一刻，每颗爆炸中的超新星的剧烈震荡合成了那些最重的元素，包括金和银。新的恒星从旧恒星的碎片中产生，数千亿计的恒星聚集在最初的星系里。而在暗物质引力的作用下，数千亿计的星系凝聚在浩瀚宇宙中如同蛛网般密布的网格上。

在 46 亿年前的银河系，一朵充满恒星碎片的气体云瓦解，形成了我们的太阳。不久后，地球从气体云的残留物中产生。38 亿年前，在地球的一片海洋（它是由在宇宙生命的第一分钟中形成的氢，以及从那些陨灭很久的恒星造成的氧组成的）中，年轻的地球从地球化学的存在变成了生物化学的存在：生命开始了。1687 年，艾萨克·牛顿发表了《自然哲学的数学原理》。显然，我们在这里跳过了一些生物学介绍。

这就是宇宙从大爆炸之前到艾萨克·牛顿的进化的大轮廓介绍。看起来，似乎只要从冷却的灰尘里取得一些原子的集合，再掌握一点点叫作科学的神奇东西，我们就有机会窥探创世之火的真谛。本书的其余部分，讲述了我们是如何做到这一点的。

2

太阳有多老

地球存在了 45 亿 5 千万年，左右不过 5 千万年的偏离。这个数值和对宇宙年纪的独立测量是一致的，而大爆炸则发生在 138 亿年前。这同时也与我们得到的物理生物方面的证据一致，我们对生物进化自然选择的理解表明，地球上最开始出现生物是在约 38 亿年前。恒星的寿命也和这个时间线相符。估计太阳存在了 46 亿年，与之类似的恒星的寿命估计有 100 亿年。质量更大的恒星的寿命更短。在地球形成之前，一定有恒星经过了生命周期，因为地球是由铁、碳、氧等重化学元素组成的，而这些元素是由恒星内部产生的。再来一个时间大飞跃，爱尔兰巨人堤道的玄武岩柱是在 6 千万年前形成的，那正是恐龙灭绝的时候。现存的最老的树是在加利福尼亚州白山上的一棵狐尾松。它到 2016 年为止，已经 5066 岁。

以上所有数据都是用不同的科学方法得到的，但是它们却出人意料地一致。我们所选的这个名目没有什么特别：我们选择这些杂七杂八的事物只是因为它们能反映一系列不同的“老”东西，我们也完全可以选择另外一个名目。这就带来一个问题：怎么才能知道某个事物有多老呢？判断年纪并非小事，尤其是对很老的事物来说，因为只能通过间接的推断。我们做不到从宇宙产生时那一团热等离子体就开始眼睁睁看着它发展。我们甚至都没有直接的证据证明地球上最老的那棵树的年纪。没有人能活到那么老，从它是一棵小苗开始就记录它的生长。但是我们不需要在现场：只要做一点侦探性工作搜集证据，并运用逻辑得出结论，我们就可以间接地获取知识。这本书讲的就是如何用科学的方法去获取我们对周围世界的认知。而且这种方法是有增值性的——我们对宇宙的了解越多，我们的知识体系就会越丰富——它和空想也是完全对立的：电脑不是从错误

的试验重建成的，如果不考虑错误的可能性，你更有可能犯错。在医院里、在飞机上，我们会把生命交付于科学知识。同理，我们也可以把这种想法用到生活中的其他方面，而且大有裨益。本书将会告诉大家通过简单的理性的步骤和仔细的观察，我们在理解宇宙这条路上能走多远。这一章，我们将带着信心和精确性去探索测量事物年龄的科学。

让我们从地球的年纪开始。很明显，我们可以用眼睛看：问问地球表面有没有什么东西可以给我们一些线索。换句话说，仔细看看我们的大自然，从简单的观察出发我们能找到什么。比如，河床会被流水冲断，海岸线会受到侵蚀。这些特征是因时间而变的。因此，仔细观察它们，了解形成它们的物理过程，就能帮助我们观测它们的年纪。放大一步来说，类似的大陆和海洋的形状是不是也可以告诉我们，它们是如何形成的，又花了多长时间才形成的呢？

图 2.1 是一幅大西洋以及周围大陆的地图。南美洲和非洲看上去就像是合在一起的。让我们假设一下这并非偶然，并提出一个设想：这两块大陆曾经是合为一体的，之后逐渐漂离了对方。如果这个理论是正确的，我们就可以大致推算出大西洋的年纪。当然，这不是一个新理论。阿尔弗雷德·魏格纳的大陆漂移学说已经有 100 多年了。这本书想要说明的一点是，我们可以自己发现科学——跟随伟大科学家的脚步，去了解无法抗拒的进展是如何从简单的想法中产生的。首先，我们需要确认，我们假想的命题（南美洲和非洲曾经是合为一体的，后来逐渐彼此漂移）的大致轮廓是可信的。这需要核实大西洋现在是否还在增长。如果是，我们可以测量现在两个大陆的分离率，然后再进一步假设，这个分离率从两大陆分离初始时一直保

