

物理
(四)

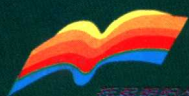
中学生探索学习丛书

绚烂星空

主编 袁启荣

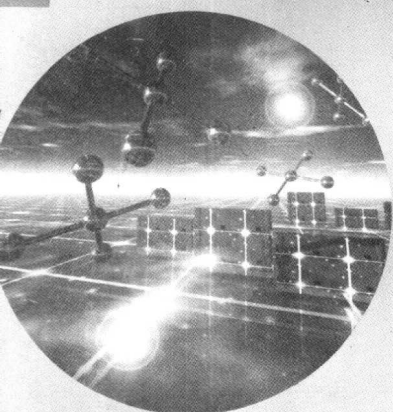
TAN SUO XUE XI

江苏科学技术出版社



ALAN

物理(四)



绚烂星空

TAN SUO XUE XI

中学生探索学习丛书

主编 袁启荣

江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理 .4, 绚烂星空/袁启荣主编. - 南京: 江苏科学技术出版社, 2000.9

(中学生探索学习丛书)

ISBN 7-5345-3204-3

I. 物... II. 袁... III. 物理学-青少年读物

IV. 04-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 46574 号

中学生探索学习丛书·物理(四)

绚 烂 星 空

主 编 袁启荣

副 主 编 黄克谅

责任编辑 陈贝贝

出版发行 江苏科学技术出版社
(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)

经 销 江 苏 省 新 华 书 店
照 排 南京展望照排印刷有限公司
印 刷 泰 州 人 民 印 刷 厂

开 本 850×1168 毫米 1/32
印 张 8
字 数 200 000
版 次 2000 年 9 月第 1 版
印 次 2000 年 9 月第 1 次印刷
印 数 1—6 000 册

标准书号 ISBN 7—5345—3204—3 /O·140

定 价 11.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

写在前面

“路漫漫其修远兮，吾将上下而求索”，几千年前，我们的先人就发出了如此体现人之生命价值的慨叹。综观人类历史的发展，每一个足迹，都是以探索为前提的。正是因为人有了探索之精神和勇气，人的生命才不同于一般的生命，人才成为万物之灵。探索，使我们在有形的世界里，领略到了无限的风光。

如今的时代，是以人的素质发展为主题的时代，对人的探索精神提出了前所未有的要求。由传统因袭下来的“模式化”教育，已不能适应信息时代对人成长的需要。提高国民的素质，成为当务之急。素质的一个综合性的体现就是科学素养，即探索事物的心理品质。科学可以塑造人类思维和感觉的模式，并使他们的行为受到微妙的影响，而“微妙的影响”就是科学探索的精神。这种精神，应当从人的幼时开始培养。青少年更应当有意识地在探索学习中，塑造创新的个性，投入创新的世界，参与创新的竞争。

《中学生探索学习丛书》抖落“应试”的尘土，带着丝丝沁人心脾的清新，向中学生走来！

本套丛书立足课内知识,用心在课外探索,以中学各年级已开设的主要课程为线索,适应教育部关于中学各学科新教学大纲的思路,以“四新”(新材料、新观点、新视野、新发现)、百家争鸣、热门话题为基本架构,反映各学科研究领域多元化的、辩证的、前沿的观点、思想和方法等,为研究性学习提供了丰富的背景材料,从而引导学生进行知识创新、思想创新、方法创新。

博学资深的院士,才思敏捷的年轻博士,为中学生奉献了他们的学识、才华和智慧,也正因为他们的强强联手,还给本套丛书增加了知识含量和欣赏品味。

拥有《中学生探索学习丛书》,你一定会鼓起探索的勇气,进入课本之外的大千世界、未知天地!

我们期待着!

江苏科学技术出版社

江苏人民出版社

2000年9月

AN76/05

前 言

今天,科学技术已与你的生活、学习和工作息息相关,无论是家用电器、交通、通信、教学和办公设施,还是日常的衣、食、住等方面,总之,我们所看到的、听到的、触摸到的东西几乎都有高技术的产品。很难想象,一旦失去这些东西,我们的生活将会变得怎样。此时,我们不由得会想到给予我们如此恩惠的古往今来的那些献身于科学事业的人们,正是他们敢于探索、勇于创新的精神,科学技术才能不断进步、发展,才会有今天如此辉煌的成就。

人类文明史告诉我们,社会发展与科学技术的进步密不可分。近代科技史上发生的三次技术革命,即18世纪中叶以蒸汽机为代表的机器大工业代替传统的手工工场;19世纪70年代以电力、化工、自动化等为代表的产业代替机械化产业;20世纪40年代以原子能、计算机、新材料等一系列新兴产业代替传统产业。这三次技术革命都使生产力得到了飞速发展。我们不难看出,物理学在这三次技术革命中起了十分重要的作用。可以预料,物理学及物理学与其他学科相互渗透的交叉学科,将会在今后的技术革命中发挥更加重要的作用。因此,物理学各领域的研究现状及发展方向,物理学家在干些什么,受到人们的关注。为此,物理分册撷取了物理学各领域中具有前沿性的一部分新理论、新技术、新观点以飨读者,同时介绍物理学家在研究

中的探索过程,使读者不仅学到物理学理论知识,还能学习科学研究方法。

物理分册在编写过程中得到了王业宁和张淑仪两位中科院院士及南京大学原教务长欧阳容百教授的积极支持、关怀和指导,并亲自撰文。在组织和编写过程中,南京大学物理系主任张世远教授、电子科学与工程系主任高敦堂教授和原系主任孙广荣教授、东南大学物理系主任黄洪斌教授、南京师范大学物理系主任童培庆教授和袁启荣副教授等给予了有力支持。江苏省物理学会副理事长陈坤基教授,秘书长王永新副教授、副秘书长张尧培副教授,常务理事、学会静电专业委员会主任吴宗汉教授和常务理事、学会科普工作委员会主任杨松龄教授等积极参与本书各项工作。在此,我谨向他们表示衷心的感谢。

徐龙道

2000年9月

目 录

宇宙的创生·····	1
宇宙的未来·····	11
构建宇宙大尺度结构·····	17
我们的银河系·····	23
太阳系的起源·····	34
太阳系家族中的主宰·····	42
太阳系的第十颗行星存在吗?·····	48
对地球的新认识·····	53
火星探索·····	59
行星之王·····	70
金星的地貌和气候·····	74
奇特的白矮星·····	81
脉冲星探秘·····	85
太空浪子·····	93
神秘的土星环·····	97
远在天边的类星体·····	102
恒星的诞生、演变和衰亡·····	107
危险的碎石·····	125
稍纵即逝的奇观·····	128
星系的旋涡结构·····	134

谜一般的活动星系核	139
宇宙中最猛烈的爆炸	143
黑洞的奥秘	151
宇宙中的暗物质	158
伽马射线暴之谜	166
形态各异的河外星系	174
搜索地外文明	183
宇宙的“量天尺”	200
洞察宇宙的眼睛	206
宇宙反物质探索	211
宇宙中的引力透镜效应	215
破译提丢斯-波德定律	220
认识中微子	227
重要的吸积理论	234
走极端的中子星	239
后记	248

宇宙的创生

为什么会存在这个宇宙？这个问题长期以来一直困扰着人们。存在之谜是最深奥莫测的。为什么是存在而不是不存在？为什么是这样而不是那样？对这个问题的回答可能是人类一个永恒的追求。而过去几十年科学的发展为解开这个亘古之谜提供了契机。

宇宙有起源还是一直存在？

对于任何声称对物质世界提供某种理解的思想体系，都不能回避宇宙起源的问题。在这一点上有两种说法：要么宇宙突然起源于过去某一特定时刻，要么宇宙是一直存在着的。那么，宇宙到底是有起源还是一直存在呢？从20世纪中叶开始，物理学家和天文学家才开始拥有了解决这个问题的理论基础和实验方法。对宇宙学的研究逐渐形成了两大理论体系：“大爆炸宇宙论”和“稳恒态宇宙论”。大爆炸宇宙论认为宇宙产生于一场大爆炸。一开始宇宙温度非常高，密度非常大，此后，宇宙膨胀、冷却，凝结出恒星和星系。而稳恒态宇宙论则与之相对立，认为宇宙自始至终存在，而且一直没有什么大的变化，人们观察到的宇宙膨胀引起的星系彼此远离，由不断产生的新星系来补偿。

大爆炸宇宙论和稳恒态宇宙论是对宇宙起源问题的两个截

然不同的回答。目前,大多数天文学家支持宇宙创生于大爆炸的理论,只有少数人仍坚持稳恒态宇宙的学说。理论模型的发展和检验都来自于不断增加的观测结果。我们不妨来回顾一下 20 世纪宇宙学发展的历史。

现代宇宙学的奠基作是爱因斯坦于 1917 年发表的论文:“根据广义相对论对宇宙学所作的考察”。而 20 世纪三大科学发现之一的爱因斯坦的广义相对论也就成为了宇宙学的理论基础。1929 年,美国天文学家哈勃发现几乎所有的星系都在以惊人的速度离开地球,而且退行速度正比于星系离开我们的距离。哈勃的这项工作揭开了宇宙神秘的面纱,昭示人们:星系彼此退行,宇宙正在膨胀。星系退行速度与彼此距离成正比的这个关系称为哈勃定律,比例常数称为哈勃常数。哈勃定律的发现是现代宇宙学的里程碑之一。

对大爆炸后原始火球演化的定量理论的研究起源于物理学家伽莫夫。伽莫夫与阿尔弗·霍尔曼等人探索了在高温高密的宇宙中一些化学元素的起源问题。伽莫夫的理论成功地解决了当时困扰大家的元素氦的丰度问题,也就是氦在宇宙中的相对含量的问题。该理论认为原始大爆炸的火球中能够进行核反应,从而形成氦。因此宇宙中的氦主要不是由恒星中间发生的核聚变反应所产生的,而是大爆炸宇宙的原初核合成产生的。伽莫夫理论所预言的氦丰度与实际观测值很符合。伽莫夫的大爆炸模型还预言今天的宇宙应该存在绝对温度约为 5 开的热辐射。宇宙早期的温度非常之高,辐射是主要成分,随着宇宙的膨胀,辐射便会衰减并降低其温度,这种宇宙早期的热辐射遗留至今,便会在宇宙背景中形成温度已很低的辐射。遗憾的是,天文学家并没有匆忙确认这种宇宙背景辐射的预测,也许是因为他们不知道如何从其他辐射源分辨出这种辐射,也许是因为他们

根本就没有认真对待这种预测所依据的宇宙论。当初的大爆炸理论有两个重要的缺陷：首先是不能解释氦以外的重元素的形成；其次是不能解释地球的年龄比当时推算出的宇宙年龄 20 亿年大得多的问题。当然，现在我们知道这两个缺陷已不复存在。实际上，现代大爆炸理论认为氦以外的重元素是在第一代恒星形成之后才生成的，而现在测定的宇宙年龄要比当时推算的大很多，在 150 亿年 ~ 200 亿年。时代的局限性使得大爆炸理论并不能广泛地被人们接受。

为了解决当时存在的大爆炸理论的一些矛盾，英国剑桥的两位年轻科学家霍伊尔·邦笛和戈尔德在 1948 年提出了稳恒态宇宙论。在他们看来，宇宙并没有一个开始的时刻，星系正在远离我们而去并不意味着物质密度在连续降低，因为物质正在连续不断地产生，产生的速度正好足够补偿从可见宇宙远去消失的物质。这些新产生的物质最终会形成恒星及星系，从而任何观察者在任何时候看到的宇宙总是一样的。稳恒态宇宙论者的基本想法是：物理实验的可重复性意味着实验结果不随实验的时间和地点而变，这表明在整个物理学中已预先假定了空间与时间的某种均匀性。传统的宇宙学原理仅假定宇宙在空间上是均匀各向同性的，而稳恒态宇宙论者则提出了所谓的“完全宇宙学原理”，即在时间上宇宙也不存在大的差别。对于稳恒态宇宙论，人们首先可能提出的质疑是其新物质是如何产生的？物质无中生有地产生违背了质量和能量守恒定律。然而稳恒态宇宙论者可以立即反驳说，仅仅对稳恒态理论提出“新物质如何产生”的问题是不公平的，因为大爆炸理论实质上也假设了宇宙物质在大爆炸中的一次创生。

但是在 1965 年宇宙微波背景辐射的发现，使得稳恒态宇宙论遭受了沉重的打击。当时，两位射电天文学家彭齐亚斯和威

尔逊打算利用贝尔电话实验室的天线实施一项射电天文学计划。为了比较他们使用的高灵敏度仪器,不得不首先消除掉微波噪声,然而他们的尝试总是不成功。直到他们与其他天文学家讨论这个噪声问题时,才意识到自己意外地发现了这个早就被宇宙大爆炸模型预言的宇宙微波背景辐射,并确定其对应的温度为稍低于3开,辐射的波长位于光谱的微波区。宇宙微波背景辐射的发现是现代宇宙学发展的又一个里程碑。

稳恒态宇宙模型没有能预测出宇宙微波背景辐射,而且似乎更不可能理解这种辐射。因此,大爆炸宇宙模型成为大家公认的标准宇宙模型。

到了20世纪90年代,稳恒态理论几乎被人遗忘的时候,霍伊尔和阿普等一些当代一流的天文学家又站出来维护稳恒态宇宙论。稳恒态理论之所以出现复活的迹象,一方面是由于标准宇宙模型在解释新现象时出现了一些困难,另一方面是稳恒态理论本身得到了改进,以解释那些对它不利的证据。虽然支持稳恒态理论的只是少数派,但他们对大爆炸理论的猛烈批评多少有些令人吃惊,而且其中许多理由确实是值得深思的。宇宙学中许多问题的解决并不是一朝一夕便能见分晓的。

是谁创生了宇宙?

如果说宇宙创生于一次炽热的大爆炸,那么,是什么启动了这次大爆炸呢?我们不妨沿着时间的长河溯流而上,也许能找到宇宙创生的源头。

对大爆炸宇宙模型的研究表明,要解释观测到的宇宙的许多特征,宇宙在起源时必须具有极为特殊的初始条件。我们首先来看视界问题:光速是有限的,宇宙创生至现在的时间也是

有限的,因此,在这有限的时间里光只能传播有限的距离,这个距离称为视界。视界之外的区域,我们是看不到的,因为光还没有传到我们这里。我们可以在一个方向上看到视界附近的区域,也可看到相反方向上视界附近的区域,因为这两个区域的光线已传入我们的眼中,而这两个区域之间的距离大于视界,它们之间互相是看不见的,因此它们现在没有任何因果联系。大爆炸宇宙模型的减速膨胀,使得这两个区域在整个历史阶段都从未有过因果联系。然而我们却观测到从这两个方向来的宇宙背景辐射是一样的。就是说这两个毫无因果联系的区域在宇宙初始时刻是相同的,这似乎很难说得通。其次是平度问题:大爆炸模型指出随着时间的推移,宇宙会变得越来越弯曲。但是观测结果表明我们能够看到的这部分宇宙空间几何是极为平坦的。而要形成现在这样平坦的宇宙,宇宙只有在它开始时非常精确的平坦,其平度需精确到 $1/10^{60}$ 以内,如此精确的初始条件是很不自然的。最后,用大爆炸模型解释现在观察到的宇宙大尺度结构的起源时,必须假设早期宇宙存在物质密度的微小扰动,但大爆炸模型不能给出这些扰动形成的原因,因而这些扰动只能假定为初始条件。我们的宇宙如此精确地依赖于初始条件,这一点使宇宙学家非常不舒服,我们探求宇宙存在的原因,特殊的初始条件给不出实质性的回答。

1980年美国麻省理工学院的古什提出了暴涨宇宙的模型。这个模型认为宇宙开始于一个非常短暂但急剧膨胀的过程。这个暴涨的过程只持续了令人难以置信的短暂瞬间,大约 10^{-30} 秒。在这段时间里,宇宙却增大了 10^{30} 倍。暴涨过程结束后,宇宙才进入大爆炸宇宙论的缓慢膨胀阶段。暴涨宇宙模型可以解决许多只用大爆炸模型不能解决的问题。我们观测到的宇宙在暴涨前小到足以允许有因果联系,因此暴涨解决了视界问题。

由于暴涨阶段剧烈的指数式的膨胀,使宇宙涨得如此之大,以至于它看上去是非常平坦的,就像巨大充气气球的表面局部看起来是平坦的一样,因此平度问题也不存在了。此外,暴涨将极早期宇宙中的因量子起伏所产生的一些峰加以放大,从而使这些扰动足以成为形成星系及大尺度结构的种子。

大爆炸加上暴涨宇宙模型,告诉人们宇宙可能来之于暴涨的过程,那么导致暴涨行为的机制是什么呢?暴涨的概念,是高能粒子物理理论与大爆炸基本理论相结合的产物,理论上已提出了很多暴涨模式,这些模式都涉及到真空的概念。什么是真空?随着科学的进步,人们对真空的理解不断深入。以前,把真空简单地理解为空的空间。在近代物理学中,真空是基态,是各种激发的出发点。在现代粒子物理理论中,人们对真空有了全新的认识,真空态不是惟一的,真空不空,真空会发生相变,从高能态的真空跃迁到低能态的真空。对于相变,我们并不陌生。比如,降到零摄氏度,水就从液相的水变成了固相的冰,这便是发生了相变。许多宇宙学家相信,宇宙在极早期经历了一个类似于水凝结成冰的相变过程。假如宇宙刚开始处于某一真空状态,此时温度极高,能量密度极大。随着宇宙的膨胀,温度的降低,到某一时刻,原来的真空态已不是能量最低的状态,而出现了能量较低的新真空态,原来的真空态便会向低能态跃迁,这便是真空的相变。真空可能并不马上发生相变,而是继续保持在原来的状态,形成过冷态,就像零摄氏度以下的水是过冷水一样。处于过冷状态的真空,拥有巨大的激发能量,而真空物态方程的特点是压力与能量密度符号相反,因此此时压力是负的,负压力相当于负引力,也就是排斥力作用。这样,处于过冷期的宇宙中存在着巨大的排斥力,这种排斥力使宇宙膨胀不是越来越慢,而是大大地加速,可以在一刹那间将宇宙冲开,这便是暴涨。

在暴涨结束时,真空开始发生相变,相变中放出的能量转变成辐射和粒子,这些粒子和辐射便是组成宇宙万物的原材料。这样,在远远小于1秒钟的时间内,宇宙开天辟地之事就已基本大功告成。剩下的事情是随着温度的降低,通过核与粒子物理过程,生成今天所看到的重子,合成氦、氢等原子,然后是引力仍聚集形成各种星体,演化出生物和人。

暴涨宇宙模型是宇宙学家的惊人创举,它成功地解释了许多现象,然而对暴涨过程的具体细节依然解释得很不清楚。人们提出了许多暴涨的理论模型,哪个模型反映了宇宙的真实情况,尚无法判断。暴涨宇宙模型自身也面临一些难题,也还存在着暴涨这个概念完全是个错误的概念的可能性。

暴涨对大爆炸模型所作的显著改进在于它可以使现今观测到的宇宙状态来自于一组宽阔得多、合理得多的初始条件。在宇宙暴涨期,没有任何化学元素,不存在任何粒子,也没有辐射,只有膨胀着的宇宙处于一种真空态。这似乎是一幅完美的宇宙生成图。但是,暴涨的宇宙图景并不能解除人们对宇宙如何创生的疑问。产生暴涨的那个特殊的真空态是从哪里来的呢?在暴涨以前发生了什么?宇宙究竟是怎样开始的呢?

再向前追溯,宇宙显得越来越小,最后趋于零,而引力场强度和能量密度则趋于无穷大。也就是说,宇宙似乎起源于一个奇点,这是最初的初始条件。但是你依然要问,奇点存在的原因是什么?是谁创造了这个奇点?

每一事件都有其原因为吗?如果是这样的话,那么宇宙肯定有一个原因。将宇宙创生的原因归结为上帝或某种超自然的东西,在逻辑上是说不通的,要从宇宙自身内部去寻找,没有任何东西能够给出宇宙的开端,没有任何东西便是“无”,因此,“无”给出了宇宙的开端,宇宙创生于无,宇宙是无中生有。听起来有

点玄,但从现代科学的观点来看,这并不是不可理解的。相对论和量子论告诉我们,时间和空间的概念本身是有适用范围的,时间和空间的测量都有个精度的限制,这个精度分别为 10^{-44} 秒和 10^{-33} 厘米。当时空范围小于这个精度时,时间和空间的概念便失去了意义,这是个没有时间、没有空间的世界。没有了时间,也就没有了过去、现在和将来的概念,因此大爆炸之前发生了什么事或是宇宙创生之前发生了什么事这类问题是无意义的。因为没有大爆炸“之前”,宇宙的创生也是时间的创生和空间的创生。时间起源于没有时间的状态,空间起源于没有空间的状态。没有了时空,也就无所谓因果。

因此,追溯膨胀宇宙模型并不会真正达到时空的奇点,而是到达一个没有了时空的状态。描述这样一个混沌的状态需要引力的量子化理论,然而科学家至今尚未能构造出令人满意的量子引力理论,因此无法弄清这种混沌状态的细节。引力量子化的尝试已经进行了几十年而没有成功,鉴于其面临的巨大困难,诺贝尔奖得主温伯格认为要完成这样的工作可能还需 50 年或更长的时间。因而要真正解决宇宙的创生问题,还有一段很长的路要走。

为什么宇宙中的物理规律是这样的?

科学家对宇宙创生和演化的理解是基于对物理规律的理解。为什么宇宙过去是这样而不是那样?因为物理规律是这样而不是那样。那么,为什么物理规律是这样的呢?只有回答了这个问题,宇宙创生的理论才是自足的、完整的。要解决这个问题,不能依靠寻找这些物理规律的规律来完成。因为对于这些规律的规律,我们依然可以问为什么是这样而不是那样?并未