

开启宇宙的钥匙

〔美〕奈杰尔·考尔德 著

李 小 源 译

科学普及出版社

内 容 提 要

《开启宇宙的钥匙》是一本介绍二十世纪七十年代最新物理学成就的科普名著。本书作者曾荣获1972年国际加林卡科普奖。此书系作者走访了世界各大高能物理实验室和天文台，收集了大量宝贵的资料后编写而成。书中以简练的文笔，对宇宙中许许多多神秘莫测的问题：从生命的创造，基本粒子的组成，电力、引力和亚原子力之间的关系，直到茫茫无际的星系和宇宙的构成，作了深入浅出的阐述。全书主题突出，内容丰富，文风朴实，语言生动。

本书可供大中学生学习，也可供高能物理学、天文学和宇宙学方面的科技工作者和技术管理干部阅读参考。

在本书的翻译过程中，得到张子贤同志的不少帮助，陈式刚和陈崇光两同志仔细校阅了全书的初稿。

Nigel Calder

The Key to the Universe

Published in 1977 by The Viking Press

开启宇宙的钥匙

〔美〕奈杰尔·考尔德 著

李 小 源 译

责任编辑：袁同辰 封面设计：王序德

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
妙峰山公社印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：7 1/4 字数：159千字

1981年8月第1版 1981年8月第1次印刷

印数：1—10,500册 定价：0.62元

统一书号：13051·1224 本社书号：0274

前 言

为了写下这本书，我不得不首先学习那么多新兴的物理学，我希望，我自己困难的经历会有助于为读者铺平道路。我要感谢我的老师——欧洲和美国的物理学家和天体物理学家们，在写作本书和有关电视节目稿的过程中，他们慷慨地对我给予了帮助。因为直接帮助过我的有二百多人，我很抱歉不能一一列名感谢他们，并且在书中对他们的研究工作也不可能作出完全公允的评价。我要特别感谢一些主要加速器实验室的主任和工作人员，其中有西欧核子研究中心(CERN)、费米国立加速器实验室(FERMILAB)、布鲁克海文国立实验室(BNL)和斯坦福直线加速器中心(SLAC)。还要感谢埃里克·伯霍普(Eric Burhop)、理查德·费曼(Richard Feynman)、斯蒂芬·豪金(Stephen Hawking)、吉勒德·特胡夫特(Gerard 'tHooft)、马丁·里斯(Martin Rees)、阿布杜斯·萨拉姆(Abdus Salam)、克里斯特弗·卢埃林·施密斯(Christopher Llewellyn-Smith)和史蒂文·温伯格(Steven Weinberg)，因为在整理故事的过程中，得到了他们不断的帮助。当然，如其中还留有任何问题，那完全是我的过错。最后，我感谢英国广播公司和它的海外合作者，是他们支持了电视片的摄制并使我的旅行成为可能。

本书中所采用单位的注释：

1 京 = 1000兆。

“质量能量单位”是Mev (兆电子伏特)，一兆电子伏特是一个电子通过一兆伏特时被加速所得到的能量。它相当于 16×10^{-14} 焦耳的能量或 18×10^{-28} 克的质量。

温度是用绝对温标 ($^{\circ}\text{K}$)。 $0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$ 。

目 录

第一章 生命的创造者	1
§ 1-1 走向极端	2
§ 1-2 热情的科学	6
§ 1-3 新奇的思想和宇宙力	9
§ 1-4 用十的幂次思考问题	12
§ 1-5 生命力就是电力	14
§ 1-6 第一次统一	19
§ 1-7 借贷能量和借贷物质	23
§ 1-8 力和粒子	28
第二章 恒星碎裂机	33
§ 2-1 化学元素的形成	35
§ 2-2 用弱作用力“炼金”	38
§ 2-3 欢迎中微子	41
§ 2-4 一张没有任何东西的相片	43
§ 2-5 自然界中的新的作用力	49
§ 2-6 电力和弱力	53
§ 2-7 跨越三道障碍	58
§ 2-8 获得重量	62
§ 2-9 规范理论	66
第三章 太阳的光焰	72
§ 3-1 结合能	73
§ 3-2 粒子排成的图形	77
§ 3-3 挑选夸克	83
§ 3-4 质子中的小块	88
§ 3-5 颜色力	94
§ 3-6 夸克的自由和被奴役	100
§ 3-7 可废除的强核力	104

§ 3-8	一种“不民主”层次的复苏	106
第四章	粲数	110
§ 4-1	需要新夸克	113
§ 4-2	布鲁克海文国立实验室的谨慎	116
§ 4-3	斯坦福直线加速器中心的香槟酒	120
§ 4-4	其他可能的含粲数的吉普赛粒子	126
§ 4-5	粲数的特征	131
§ 4-6	宽慰的叹息	140
§ 4-7	粲宇宙	147
§ 4-8	还有更多的粒子吗?	150
§ 4-9	最终的衰变	153
§ 4-10	路走完了吗?	156
第五章	恒星粉碎机	159
§ 5-1	爱因斯坦的引力	160
§ 5-2	“黑洞是看不见的”	166
§ 5-3	爱克斯射线的汨汨声	171
§ 5-4	爆发星系的回转	177
§ 5-5	引力创造粒子	184
§ 5-6	黑洞现在可能爆发吗?	188
§ 5-7	自然界如何割断历史	190
§ 5-8	引力仍然是孤独的	193
第六章	宇宙创造者	197
§ 6-1	红化的星系和温暖的天空	197
§ 6-2	宇宙无聊的未来	202
§ 6-3	有关替代宇宙的猜测	207
§ 6-4	破缺对称性	211
§ 6-5	劈裂的最初一秒钟	215
§ 6-6	大爆炸及其以后	218
§ 6-7	是一把摸得着的钥匙吗?	222

第一章 生命的创造者

七十年代，人类对宇宙本质和天地万物规律的了解，不断取得进步，其进展之神速使专家们都有点喘不过气来。一个小小行星上的居民，凝神注视一望无垠的太空，居然会看出时间的发端。他们甚至认为，还能发现象黑洞那样的不可思议的地方，在那儿，时间似乎都已终止了。另一些人的眼睛盯住了微观世界——比原子要小得多的粒子世界，是它们构成了自然界的星系和人的脑子。他们得到的好处更大，发现了各种宇宙力同它们所作用的物质性质之间的深刻联系。

本书就是描写这些进展的。更具体一些讲，这些进展扩大了人类对物质世界组成的了解。但是，在“是什么”这个问题的后面，“为什么”的问题正变得越来越迫切。开启宇宙的钥匙或许只是一组简要的方程式或图形，它概括了宇宙大尺度和小尺度的全部作用机制，并且表明这些机制和空间时间特征的逻辑联系。七十年代中期，第一流的理论家们已经在公开讨论这个大统一的目标，好象它几乎就要实现似的。

另外一些人断言，绝不可能完全达到这一目标，他们或者认为，因为技术上的原因，目前时机尚不成熟。但是，比如说，却很少有人不为找到“净熵数”而激动，因为这一发现证明，人们对微观宇宙已有相当的了解。为了寻求开启宇宙的钥匙，或者哪怕只是为搞清它的一部分，也总是会导致新的探险。

如果广大公众到七十年代中期，对当代的探险依然是毫

无所知，或者是毫无鉴赏能力，那似乎是一件很遗憾的事情。因此，我随同英国广播公司（BBC）的亚历克·尼斯比特（Alec Nisbett）一起，参观访问了许多大加速器实验室和天文台，去向第一流的理论家们请教。我们走访了八个国家，足迹遍及历史悠久的高等院校，新成立的加速器实验室和边远的天文台。这个报告，至少部分地反映了我们长期辛勤劳动的成果。正当本书写到一半的时候，“净聚数”的证据出现了，最近的这个事例，当然要特别重视。但是，在人们努力去撬开愚昧无知的锁的同时，即使是过去数百年的发现，如能纳入更广泛的宇宙方略，同样会使人赞叹不已。

§ 1-1 走向极端

一些国家的政府和纳税人，几乎完全是无意识地把他们的研究人员装备起来，去探索宇宙的构成。在加利福尼亚州、高加索、智利和新南威尔斯晴朗无雾的山顶，装有巨大的反射天文望远镜；在平原上，经常安放有宽硕的射电接收器；价格昂贵的小型人造卫星不停地围绕着地球转，接收那些来自宇宙而又不能到达地面的射线。

天文学是一门巨大的科学，但是从事微观宇宙探索的高能物理学却更加庞大。要对宇宙作任何透彻的说明，都必须解释为什么自然界大量地产生着各种特定类型的粒子，这些粒子又是如何构成原子、恒星、行星和生命的。为了更加深刻地认识物质世界，要求在科学上采用从未设计和建造过的最精密的仪器。

这样做的目的，是要揭示那些从未怀疑过的现象，检验有关自然界相互作用的一些流行理论，看看它们究竟在什么

地方会遭破坏。这就是说，要走向极端：把能量集中到一个非常小的体积中，以达到可能的最强条件。因此，散布在世界各地的加速器的目的，是要努力产生前所未有的物质形态，并且空前仔细地彻底研究已知的物质形态。这些加速器利用电力加速粒子，使它们得到很大的动能。然后，让这些粒子撞击物质靶，或者相互对撞；同时，精心制作的仪器——各种粒子计数器和称之为泡室的装置——把碰撞产物记录下来。

自然界本身也从外层空间到达地面的宇宙线中为我们提供高能粒子。研究工作者曾经利用这个天然的源泉，做出过许多有关物质组成的重要发现。虽然宇宙射线粒子具有的能量，远远超过了地球上所能制造出的任何粒子的能量，但是，它是很罕见的，要费很长时间和偶尔才能抓住它们。所以，七十年代以后，大部分的发现都是来自大加速器。

有些重要的加速器加速的是电子，这种粒子和在电视屏幕上用来扫描的物质粒子是相同的。但是，电子太机敏了，它们具有这样一种倾向，即得到能量快，放掉能量也快。因而，最高的能量都是通过加速质子来达到的。质子就是氢原子核，也是宇宙主要的原始材料。苏联一度在莫斯科附近的谢尔普霍夫，拥有过最大的粒子工厂，但是俄国人并没有用它做出许多事情。到了1972年，美国人在芝加哥建造了一台庞大的加速器之后，就胜过了它。

费米国立加速器实验室的加速器，使质子得到的能量非常大，这使它比通常的质子要重500倍。费米国立加速器实验室的加速器，矗立在伊利诺斯州的草原上，是世界上的工程奇迹之一，是一座真正的科学宫。该加速器用了上千块大型电磁铁来约束质子，这些磁铁分布在周长6公里多的一个圆

环上，一个预注入器把质子注入到主环中，预注入器本身的能量也比大多数世界上加速器的能量还要高；以后，质子就在真空室中转圈，围绕着磁铁的“回转木马”转二十万圈，这个距离比到月亮的往返距离还要大。质子每绕主环转一圈，都受到高频能量的冲击，使它们的质量能量增加两个单位。

最后，被加速质子的脉冲，就象一块从弹弓中发射出的石块，从环中飞射出来，打到实验区。来自许多国家的物理学家，组成了十几个甚至更多的实验组，正在那儿等候着，看看他们能用这全部能量做些什么。实验区就象铁路的交叉汇合点，延伸出两公里，放在那儿的设备仪器本身也是十分精细和昂贵的。

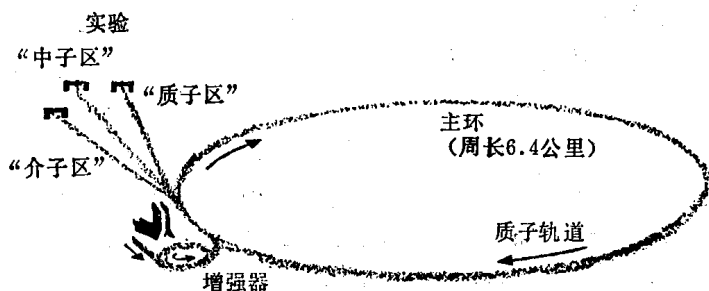


图 1-1 费米实验室的加速器示意图

无论就其复杂性还是消耗的费用而言，高能物理甚至都可以和空间研究相媲美。1976年，在西欧核子研究中心，西欧人使一台和费米实验室加速器规模相当的加速器投入了运行，并且，机器建造者们已经在酝酿能量远远大得多的加速器。批评家们嘲笑这是“花钱的玩意儿”。确实也很难想象，如何才能为这样大的工程辩护。

现在的这个能量，已经是普通物质所达不到的。就这意

世界主要的粒子加速器 (1976年) 表 1-1

加速器 类 型	加 速 器 名 称 或 地 点	加 速 器 能 量 (兆电子伏特)
质子同步 加 速 器	美国费米国立加速器实验室	400,000
	西欧核子研究中心 (SPS)	400,000
	苏联谢尔普霍夫高能物理研究所	76,000
	美国布鲁克海文国立实验室 (AGS)	33,000
	西欧核子研究中心 (PS)	28,000
	美国阿贡国立实验室 (ZGS)	12,700
	日本东京国立高能物理实验室 (KEK)	12,000
	苏联杜布纳联合核子研究所	10,000
	英国卢瑟福高能实验室 (NIMROD)	8,000
	苏联莫斯科理论和实验物理研究所	7,000
	美国加利福尼亚大学劳伦斯伯克利实验室 (BEVATRON)	6,200
质 子 储 存 环	西欧核子研究中心 (ISR)	31,000
电子直线 加 速 器	美国斯坦福直线加速器中心 (SLAC)	22,000
电子同步 加 速 器	美国康乃尔大学	12,000
	西德汉堡电子同步加速器实验室 (DESY)	7,500
	苏联阿美尼亚物理研究所 (ARUS)	6,100
正负电子 对 撞 机	美国斯坦福直线加速器中心 (SPEAR)	4,500
	苏联新西伯利亚核物理研究所 (VEPP3)	3,500
	法国奥赛直线加速器实验室 (DCI)	1,800
	意大利弗拉斯卡蒂实验室 (ADONE)	1,500

义上讲，在这样高能量上的研究，“超出了这个世界的范围”。因此，没有充分的理由期望，象这样戏剧性的能源会有什么实际的好处，而是要在宇宙中也就是要在人类生存中去找它的意义。同时，它还使得每一代人都有权利去研究他们前辈的想法和假设。曾经有一位众议员质询费米国立加速器实验室的主任罗伯特·威尔逊(Robert Wilson)，问他的实验室对美国的安全是否有贡献，威尔逊答道：“它和我们国家的防卫并无直接关系，除了使它更值得保卫之外。”

§ 1-2 热情的科学

只有自然界的奥秘才是唯一的秘密，因而发现它们应是一项国际性的事业。在日内瓦附近十二国的西欧核子研究中心，这一点表现得尤为明显，任何别的地方都不能和它相比。随着它的发展，它已越过了瑞士国境进入了法国，为它的大加速器找到了场地。并且，形成了一种风格，把工业集合体和高等学校巧妙地组合在一起。

在西欧核子研究中心的咖啡馆里，不仅能品尝到瑞士烹调的菜肴，还能最好地体验这种特有的气氛。午餐时，在拥挤的餐桌旁，你可以听到许多种语言的对话，但是，最经常听到的，还是洋泾浜英语，它是物理学的两种国际性语言之一。应该原谅一个英国人，或许他都不能听出其中的一些话是英语来。这倒并不是因为语调叫人难懂，而主要是因为大量的机器、仪器、实验和理论方面的行话夹杂其中。数学是另一种国际性语言，它也常出现在餐桌上，或者被随便乱写在小纸片上，用它来加强论证。

在那儿，你或许还会见到来访的诺贝尔奖金获得者坐在

年轻人的旁边，而年轻人的目的是要证明他错了。你也会发现，从各合同公司来的排除机件故障的能手正在休息，他们正努力使机器结构中最难驾御的部分能达到设计要求。在基本物理学中用得上的全部技艺，可在这样一个小组中表现出来：机器建造者、理论家、实验家和各种技术的专门家。并且，人们也谈论本职中的事情，因为物理学就是他们的生活。

饭后，人群分散到上千种不同的岗位上去。理论家回到办公室自己的座位上，拿起笔和纸，和宇宙亲密地商谈。他们努力设想如何才能把这些物质粒子组织起来，好象他们就是上帝似的；某些人从事雄心勃勃的数学推测；另一些人密切关注正在进展中的实验，建议一个未曾预料的发现可能意味着什么，或者帮助解释测量的结果。

机器的运行人员走到不同加速器的操纵室，让他们的同事们尽管放心，保证每个粒子脉冲都在充分监督之下。西欧核子研究中心从来没有睡觉，机器每天运行24小时，一周内一直不停。如果因为某种障碍，中断了粒子束，几十个实验家会吵吵嚷嚷地来要求修复。

在向愚昧无知开战的西欧核子研究中心战场上，实验家是前沿作战部队。散兵坑就是实验家的工作室，在那儿，每当加速器发送一个脉冲，大量的粒子喷水般地通过仪器时，计算机和电子设备网就将这些探测仪器的报告记录下来。

大部分实验家都来自欧洲附近的高等学校和研究所，或者更远的地方。他们在一个实验组中工作，把他们的粒子计数器进行复杂的排列组装，然后就不分昼夜不停顿地呆在实验工作室里。单独一个实验，哪怕它关心的或许只是当一个质子相互擦过时所发生的情况中的某个微妙之处，也都要作

好几年的准备和运行测量好几个月。这要求实验家有非凡的献身精神。特别是，因为做出一个有重大意义的发现的机会总是很小的。并且，就算你的实验组十分幸运，但是参加工作的人是那么多，分到每个人的荣誉还是很少的一点。

长时期以来，探索知识的过程是很缓慢的，通常还是很可悲的。就是思想相对解放一些的古希腊哲学家，也深深陷入错误的泥潭之中，他们假设过对自然界的思索比起观察自然界更为重要；中世纪的占星家和炼金术士很注重自然界，但是巫术和魔法使他们的思想乱惑了；一直到了十七世纪，随着“实验哲学”的兴起，才找到了思索和观察之间的正确关系。原则十分简单：只有当你的想法和你通过观察所看到的东西一致时，才能认真地看待你的想法。

虽然有会议和出版的社会系统，保证每个理论和实验的结果，都要受到其他专家们的检验和追究。但是，在观察和实验中，真正的裁决者是自然界。这就是科学，这就是从未想到的知识得以进步的强大动力。随着伊萨克·牛顿的万有引力理论经受了两个世纪天文学测量的考验，现代探索开启宇宙的钥匙的工作，几乎立刻就走上了正道。

物理学始终是一门主导的科学。它的主题是物质和能量的行为，这是世界上一切作用的基础。天文学、化学、地学，甚至生物学都恰好是物理学的延伸。并且，无论是计算潮汐，制造电视或释放核能，物理学的发现很容易得到应用。物理学好歹要在世界上造成影响。但是，它的特殊地位之所以永久不变，还在于它向自然界提出了最深刻的问题。

但是，社会公众对物理学家产生了一种错觉。他们用局外人去代替入迷的科学家的形象，不理解为什么求知欲能比任何监工都更有力地促进物理学家们的工作，他们认为这是为

一种征服自然和人类的权欲所驱使的。另一些人比较好心，但仍然很不诚心。他们把物理学家看成是一个白胡子老头，只是靠着他们无穷的智慧和计算机一般的脑袋，才使得他们与众不同。

实际上，物理学是年轻人的事业。通常，都是当二、三十岁的人们，推翻了他们老师的观念时，一个重大的进展才会来临。在一个自由的环境中，在教授们和政治家们最愿意尊重年轻一代特殊地位的地方，科学才最为繁荣。到目前为止，物理学家除了为他们丰富的知识而感到宽慰之外，还为他们所不懂的东西所困扰；并且，仅仅有一个计算机那样的脑袋，是不可能产生为科学进步所必需的思想飞跃的。

§ 1-3 新奇的想法和宇宙力

尽管这或许是荒谬的，但是，坚持用实验事实来裁决，会使思想更加解放，而不是束缚它。当然，你现在可以不断地提出各种类型的奇怪理论，说自然界是如何工作的，既不散布错误也不用无意义的东西去阻碍人们的想法。但是，如果理论和事实不符，这些想法就会自动地为共同的研究过程所否定。并且，当更注重观察自然界的实验家，发现了纯粹的思考所未猜测到的不可思议的行为时，理论家的想法就会被扩展开来，以便去顺应它们。理论和实验的发现就象在两头拉锯子的两只手那样在一起工作。

你知道的事实越多，对想象力的挑战就越大。二十世纪的两位著名理论家，沃纳·海森堡（Werner Heisenberg）和沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）提出过他们认为是开启宇宙的钥匙的重要的东西。1958年，泡利作了一次有关

这个问题的演讲，尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）也出席了，他是另一位大人物，在四十年前曾提出过原子构造理论。在经过一些讨论之后，意见普遍不利于这个理论。玻尔站起来宣布：“我们完全同意你的理论是个新奇的想法。但是，使我们之间产生分歧的地方是，它是否已足够的新奇了。”

一个足够新奇但却可能是正确的想法，得来并不容易。但是，物理学产生了它们，并把人类的智慧引导到一个从未想过的世界。当然，一般公众也总是把一些貌似科学的猜测冒充为科学：几乎和金星相碰啦；古代曾经来地球访问过的空间人啦；在百慕大群岛附近神秘的毁灭性影响啦，等等。但是，冒充者毕竟才疏学浅，想不出任何东西来和物理学家的简单的收音机相比。或者也想象不出使意大利和瑞士相碰，并使阿尔卑斯山耸起那样的、并不是那么不可思议的影响——而且从来不会想到反物质或大爆炸。

牛顿的新奇想法就是认为，引力是一种宇宙力：使苹果从树上落到地面的力，在天空中同样也起作用。并且，它还主宰了地球本身的运动。牛顿同时还发觉，还有其他的力在起作用。正如他在1704年提出挑战时所表明的：

“因此，在自然界中有一种作用力，它能使物体的粒子通过非常强的吸引粘在一起，找到这种作用力正是实验哲学的任务。”

在牛顿以后，人们证明，不仅引力在整个宇宙中起作用，而且“使物体的粒子粘在一起”的力，也在整个宇宙中起作用。无论从什么地方看，从遥远的星系一直到最小的物质粒子，他们发现，自然界十分明显是多种多样的，但它的基础却是极度有规律和有秩序的。通过几种宇宙力作用在几种基本的物质粒子上，就可明显地铸成和决定一切事物。

因此，寻求开启宇宙的钥匙，就在于努力了解这些力和粒子，以及它们之间的关系。

到1970年，流行的理论认为，宇宙中所有的重物质都是由叫做夸克的粒子组成的，这些重物质都聚集在所有原子中心的重原子核中。此外，还有熟知的电子，它在重量上要轻得多，通过其运动，填满了原子中的大部分空间，并且决定了原子的化学性质。电子只有有限的几个亲属，虽然它们并不是普通物质的组成部分，但是却都认为它们是基本粒子。夸克家族和电子家族说明了宇宙中所有永恒的物质。

据说有四种基本的宇宙力，它们决定了宇宙中所有的作用。引力是一种，它是恒星的建筑师和行星的引导者，它最起码的一项职责，就是把人类从脱离地球的危险中解救出来，它一视同仁地作用在所有的粒子上。电力是另一种宇宙力，它是光、照明和生命的发源者，它还是我们行星上所有普通物质的主要粘合剂，它作用在所有带电粒子间——这意味着作用在大部分基本粒子之间。

下一种就是强核力，它是原子核的束缚者和太阳及恒星光焰的制造者，它只作用在核物质上。所谓的弱力，是这个简短的目录中的第四种力，它在强度上是弱的，但是它的影响是很微妙的。它作为改变物质固有特性的最主要作用物，在创造丰富多采的宇宙中起着根本的重要作用。象引力一样，它影响夸克和电子家族的所有基本粒子。

在大多数情况下，强核力比电力要强得多，而电力依次又远远强过微弱的引力。另外还有一个重要的区别，引力和电力在力程上是无限的，但是，只有当粒子非常接近——距离小于一兆分之一厘米时，强核力和弱力才起作用。

在1970年以后的年代里，表明进步的一种标准是，物理