丛书主编／陈佳洱　乔从丰

〔美〕史蒂文·温伯格 (Steven Weinberg) ／著

丁亦兵　乔从丰　李学潜　沈彭年／译

诺贝尔奖大师科普经典

感谢科学，它不仅使生命充满快乐和欢欣，
并且给生活以支柱和自尊心。

湖畔遐思

Lake Views

This World and the Universe

宇宙和现实世界

科学出版社

(N-0554.01)

毫不夸张地说，温伯格无愧于诺贝尔奖的评语：一位真正的智者、卓越的理论物理学家。

理查德·道金斯（Richard Dawkins）

这本精彩的文集出自一位非凡的物理学家。温伯格是一位深刻的思想家和优雅的作家。

肯·福特（Ken Ford）｜《量子世界：写给所有人的量子物理》的作者

史蒂文·温伯格是我们与大众沟通交流中的一个典范。有关科学或科学与社会方面的事情，温伯格写的东西极具智慧，无人能及。读者们会发现这本卓越的文集非常迷人，启迪思维。

劳伦斯·M.克劳斯（Lawrence M. Krauss）｜亚利桑那州立大学客座教授，溯源（Origins）计划负责人，《星际迷航中的物理》和《镜中隐像：额外维的神秘诱惑，从柏拉图到弦论》的作者

这是一部伟大的散文集。史蒂文·温伯格是当代最伟大的物理学家之一。在更广泛的意义上讲，他是一名优秀的学者；此外，文笔也很好。

约翰·S.瑞登（John S. Rigden）｜《爱因斯坦1905》的作者

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-043774-7

9 787030 437747 >

定 价：48.00 元

创造有价值的阅读

科学出版社科学人文分社

编辑部电话：010-64035853

E-mail：houjunlin@mail.sciencep.com

地址：北京市东黄城根北街16号

诺贝尔奖大师科普经典

丛书主编／陈佳洱　乔从丰

湖畔遐思

Lake Views

This World and the Universe

宇宙和现实世界

阜阳师范学院图书馆
藏书

科学出版社

北京

图字:01-2015-1192

LAKE VIEWS: This World and the Universe
by Steven Weinberg
Copyright © 2009 by Steven Weinberg
Published by arrangement with Harvard University Press
Through Bardon-Chinese Media Ageney
Simplified Chinese translation copyright © (year)
by China Seience Publishing & Media Ltd.
ALL RIGHTS RESERVED

图书在版编目(CIP)数据

湖畔遐思:宇宙和现实世界/(美)温伯格(Weinberg. S.)著;丁亦兵等译.
—北京:科学出版社,2015.4
(诺贝尔奖大师科普经典)
书名原文:Lake views:this world and the universe
ISBN 978-7-03-043774-7
Ⅰ.①湖… Ⅱ.①温… ②丁… Ⅲ.①物理学—普及读物 Ⅳ.①04-49
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 051362 号

责任编辑:邹 聪 王昌凤 / 责任校对:张怡君
责任印制:张 倩 / 封面设计:黄华斌
编辑部电话:010-64035853
E-mail:houjunlin@ mail. sciencep. com

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
http://www. sciencep. com
文林印务有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2015 年 4 月第 一 版 开本:720×1000 1/16
2015 年 4 月第一次印刷 印张:11 1/4 插页:2
字数:220 000
定价:48.00 元
(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书受北京科普创作出版专项资金和
中国科学院科普专项经费资助

〔美〕史蒂文·温伯格 (Steven Weinberg) ／著

丁亦兵　乔从丰　李学潜　沈彭年／译

译者前言

在为数众多的诺贝尔物理学奖得主中，史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）或许可以算得上是在我国物理学界和广大科学爱好者中有较高知名度和广泛影响的一位。这不仅是因为他（和格拉肖、萨拉姆一起）创立了划时代的弱电统一模型，从而当之无愧地分享了1979年的诺贝尔物理学奖，而且由于他的许多专著和教材（如他的《引力与宇宙学》及三卷本的《场的量子理论》这两部经典名著），以及科普读物在国内广泛流传，引起了公众的极大兴趣。特别是他为普及大爆炸宇宙学和基本粒子相互作用的终极统一理论而撰写的《宇宙的起源：最初三分钟》及《终极理论之梦》等科普著作，对以极大兴趣渴求科学新知、追索自然奥秘的广大青年读者有着巨大的吸引力和影响力。

我们有幸在这里向大家介绍温伯格的又一部科普力作《湖畔遐思——宇宙和现实世界》（*Lake Views：this world awd the universe*）。这本书是一部文集，收录了2000～2008年温伯格在美国的各种杂志和书籍上发表的一些散文。正如作者在前言中所指出的，书的标题反映了这些散文都是在奥斯汀湖畔，他家书房内，能远眺湖景的窗户旁的一张书桌上写成的。美丽的湖景、繁忙的往来船只、相互交织的音乐和发动机的噪声，以及千姿百态的游客都使作者浮想联翩。在沉思抽象的物理与数学科学课题的余暇，涌现在脑海中的科学、历史、哲理、人性和天下大事等勾连在一起，激发了他创作的欲望。他用一些妙语、警语，激扬的文字展现出文学方面的才华，对于从宇宙学问题直到这个世界方方面面的议题——军事的、政治的和宗教的等，明确甚至尖锐地表达了他的一种唯理主义者、还原论者、现实主义者和虔诚的世俗的观点，向广大读者展现了一个真实、全面、人性化的伟大科学家的面貌。

1933年温伯格出生于美国纽约的一个犹太移民家庭，1954年获康奈尔大学学士学位，1957年于普林斯顿大学获博士学位。其后，温伯格分别到哥伦比亚大学（1957～1959年）和加利福尼亚大学伯克利分校（1959年）攻读博士后。1967年他成为麻省理工学院（MIT）的客座教授。正是在麻省理工学院的这一年里，温伯格提出了统一电磁作用和弱相互作用的模型，即粒子物理中的标准模型，1973年实验上发现了模型所预言的中性矢量玻色子 Z^0。六年之后他和格拉肖、萨拉姆因对标准模型建立所做的贡献，一起分享了1979年的诺贝尔物理学奖。1982年温伯格来到得克萨斯大学奥斯汀分校，成立了该校物理系的理

论组。他是现今粒子理论研究方向上影响力最大的顶尖科学家。

除了进行科学研究之外，温伯格还是一位拥有广泛兴趣、生性好辩的物理学家，也是一位杰出的科学发言人，他曾在美国国会上作证支持超导超级对撞机的建造，为《纽约书评》撰写文章，并在更大的范围内做各种演讲。

温伯格是一位有影响的散文作家，其散文能给人以启发和激励。本书收录的散文主要集中了他在理论物理学、宇宙学和一般自然科学，以及文学、哲学、历史和科学政策方面的深刻见解，从杰出的科学家和富有挑战性的作家这两个方面将温伯格的魅力全面地展现了出来。这些文章能为广大读者带来无穷的乐趣，让大家体验我们这个时代最迷人、最强的科学大脑那种非凡的辨别力、理解力和洞察力。本书的故事、背景，以及作者关于一些深奥理论和惊人结论的描述，很好地糅合在了一起，使得一般的读者也能清晰地理解它、欣赏它。其中有几篇短文是专门写给新毕业的年轻研究生与博士后的。他基于自身经历总结出了一些经验教训，语重心长地对青年人提出了一些殷切希望和教导，相信读者可以受到启迪，得到教益。

然而，必须要说明的是，由于作者认识的某种局限性，书中对社会事物的很多评价我们无法苟同，甚至认为那是错误的。为了保持本书的原貌，我们没有特意对这部分内容进行删减，相信读者对这些内容会有足够的甄别能力。

本书是在北京科学技术普及创作与出版专项资金和中国科学院科普基金支持下，由几位译者通力合作的结果，如今能够出版也是与科学出版社编辑的热情关注和大力协助分不开的，译者特此一并表示感谢。

尽管为翻译本书我们付出了很多努力，但限于水平，疏漏之处恐难避免，欢迎读者不吝赐教，以便再版时予以修正。

译　者

2014 年 6 月 30 日于北京

前　言

本书是一部文集，收录了2000～2008年在各种杂志和书籍上发表的一些散文。本书的标题反映了这样一个事实：这些散文与我的一些科研文章一样，都是在我奥斯汀湖畔家里的书房内，能远眺湖景的窗户旁的一张书桌上写成的。

它并不真的是一个湖。就像得克萨斯（Texas）几乎所有所谓的湖一样，奥斯汀湖是由一段在河上筑起的水坝形成的，这条河是得克萨斯的科罗拉多河。它有28英里[①]长，但靠近我家附近，宽度不到1/4英里——它是那样窄，以致科罗拉多河下游的管理机构要求湖面上的船只都要靠右行驶。特别是夏季，你可以看到一些钓鱼船和滑水艇往来穿梭于湖面，船上的发动机声和音乐声不绝于耳。所以，虽然作为一名物理学家，我的绝大多数工作与数学有关，没有什么人情味，但透过窗户，我不断地想到外面的人间世界，就像那位湖边的夏洛特夫人（Lady of Shalott）[②]。

这部文集中的25篇散文按时间顺序编排。它们表达了我的一些观点，选题范围从宇宙学问题到这个世界的方方面面的议题——军事的、政治的和宗教的等。尽管这些议题中很多远远超出了科学范畴，但它们都以这样或那样的方式反映了我作为一名理论物理学家的经验。就像我早些时候由哈佛大学出版社（Harvard University Press）出版的散文集《仰望苍穹：科学反击文化敌手》（*Facing Up: Science and Its Cultural Adversaries*）一样，它们表达了一种唯理主义者、还原论者、现实主义者和虔诚的世俗的观点。

本书收录的散文中有9篇曾发表在《纽约书评》（*New York Review of Books*）上。而其他的一些散文，多数发表在一些面向一般读者的期

① 1英里=1609.344米。——译者注

② 这是亚瑟王时代的一个传奇故事。夏洛特夫人被囚禁在靠近卡默洛特（亚瑟王的王宫所在地）的古堡中，日复一日地织着一张魔网，外面的风花雪月一概与她无缘。城中的人平日只能听到她悠扬的歌声，但从未目睹其人。她面前的墙上有一面巨大的镜子，可将大千世界尽收眼底。魔网上的花纹和图案是她每日所见，然而镜中的快乐终究是别人的，她视之为不断变化的幻影，备感无聊和寂寞。直到有一天，兰斯洛特爵士（亚瑟王圆桌武士中的第一勇士）的影像浮现在镜中，诅咒便在那一刻种下——魔网飞出窗外，魔镜碎成一块一块。她哭着走出城堡，走到河边，在一条小船头上刻下“夏洛特夫人”几个字，松开锚绳，躺在船底，在自己的歌声中顺流而下，在自己的歌声中死亡，最终到达兰斯洛特爵士的身旁。——译者注

刊和书籍中。但是，有 1 篇书评和 2 篇文章出现在由美国物理学会（American Institute of Physics）面向物理学家每月出版一期的杂志《今日物理》（*Physics Today*）上。《今日物理》旨在使整个物理学界一直保持跟踪有关物理学的最新的一切，因此，它的文章避开了专业研究文章中的技术语言。即便如此，在阅读这些文章时我发现，其中我偶然会用到一些为物理学家而不是其他读者所普遍熟悉的语汇。遇到这种情况时，我添加了对这些术语的一些解释，或找到了其他的说法。

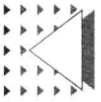
另一篇文章《生活在多元宇宙中》是为理论物理学家写的，我已经删去了其中的数学部分。这部文集的余下的那些散文，在这里完好无损地呈现出它们原来的样子，至多为了似乎必要的一些澄清与修正，或者为了避免重复自己，而做了一点改写。在我所讨论的议题于事后有了一些想法的地方，我一般地把它们作为脚注包括进来，标为“附注”。正如《仰望苍穹：科学反击文化敌手》一书那样，我给每一篇散文都添加了一段新的导言，解释它是如何写成的。对于某些散文，我还添加了编后记，提示该文主题有更新。

在文集的一些文章中我需要引用一些非常大或非常小的数字，因此，我采用了一种或许为许多人所熟知，然而或许并非所有的读者都熟悉的符号，把这些数字写成 10 或 1/10 的幂。例如，10^{56}是 56 个 10 的乘积，或者是 1 后面跟着 56 个 0；而 10^{-33}是 33 个 1/10 因子的乘积或者是小数点后面跟着 32 个 0 与一个 1。

我要再一次感谢哈佛大学出版社的迈克尔·菲希尔（Michael Fisher），因为他建议把我的一些原始文章结成文集——《仰望苍穹：科学反击文化敌手》出版，而现在又是由于他的帮助，我出版了这第二部文集。我们应该感谢特里·瑞里（Terry Riley）和简·杜菲（Jan Duffy），因为他们找了很多书籍和文章以及旧的文件；我要感谢得克萨斯大学的许多同事的帮助，他们提供了一些具体题目的信息。我还要感谢许多朋友和编辑们，他们对改进这些文章提了很多建议，特别是《纽约书评》的罗伯特·西尔弗斯（Robert Silvers）。

目　录

译者前言 / i
前言 / iii
1　等待终极理论 / 1
2　科学可以解释每件事甚至任何事情吗？ / 4
3　科学大战最终实现和平 / 17
4　科学及宇宙的未来 / 20
5　暗能量 / 33
6　那些伟大的方程是如何留存下来的 / 37
7　关于导弹防御 / 42
8　正在增长的核危险 / 56
9　宇宙是一部计算机吗？ / 66
10　“《自然》百年”的序言 / 77
11　漫步启示录 / 79
12　荣誉的价值？ / 84
13　四条金训 / 99
14　错误的事情 / 102
15　转折点？ / 113
16　关于奥本海默 / 116
17　爱因斯坦对统一的追寻 / 121
18　爱因斯坦的错误 / 126
19　生活在多元宇宙中 / 133
20　反抵制 / 139
21　极端确信 / 143
22　寄语博士后 / 149
23　是科学还是太空人 / 152
24　以色列和自由主义者 / 155
25　没有上帝 / 158
参考资料 / 172



1 等待终极理论

20世纪的结束促使杂志和报纸沉溺于对未来的大量猜测。作为这种先知远见努力的一部分，《时代》（*Time*）杂志邀请我评估在理解自然界基本规律的道路上我们还必须走多远。我的答案是：相当远。这篇短文于2000年4月在《时代》杂志上发表。

20世纪堪称是一个物理学家的世纪。到20世纪70年代，我们手头已经有了所谓的标准模型，这是一个精确描写我们在实验室里观测到的那些力和粒子的理论，它提供了在物理科学中几乎一切东西的认识基础。

不，事实上我们不可能理解每一个事物——有很多东西，从海洋中的湍流到蛋白质分子的折叠，如果在我们的计算方法中没有新的深刻见解和根本改进，我们不可能理解它们。它们将给理论家和实验家在可预见的未来提供大量令人感兴趣和可持续的职业，但是，要理解这些现象并不需要新的独立的科学原理。标准模型提供了我们为此所需要的一切基本原理[①]。

尽管还有一种力——引力，没有被标准模型所涵盖。爱因斯坦的广义相对论给出了通常距离下的引力很好的解释，而如果我们愿意，我们可以把它添加到标准模型中。但是当我们试图将它应用于距离非常小——比最强大的粒子加速器能够探测到的距离的一亿亿分之一还要小——的粒子时，严重的数学不自洽性就出现了。

然而，即使不说描写引力的问题，标准模型以现在的形式，也有着太多的任意性特征。它的方程包含太多的自然常数——诸如基本粒子的质量和电荷基本单位的强度等——它们都被赋予了一些特定的、仅仅是为了让它们似乎有效的数值。在写下这些方程时，物理学家们只不过插

①这是我的书《终极理论之梦》（*Dreams of a Final Theory*）（Patheon，1992）中详细描述的一种还原论观点的非常简短的陈述。

入了一些只要能使理论预言符合实验结果的数值。

有理由相信，这两个问题实际上是同一个问题。这就是说，我们认为，当我们学会了如何建立一个数学上自洽的、既控制引力又控制已经由标准模型描写的那些力的理论时，所有那些似乎任意的性质都将被证明正该如此，因为这是使理论能够在数学上自洽的唯一方式。

一条应当是正确的线索是这样的一种计算：它证明，尽管在我们的实验室里测量时各种力的强度似乎非常不同，但假如它们可以在一个微小的距离——彼此靠近到上述的不自洽性开始显现的距离——测量的话，所有这些力的强度都会是相等的。

理论家们甚至曾经确认了一个能将引力与其他各种力自洽统一的候选者：超弦理论。该理论的某些版本曾经建议，对于我们似乎是粒子的那些东西都是存在于十维时空的弦形成的圈或线。但是我们还没有理解该理论的所有原理，而且，即使我们理解了，我们也不会知道怎样应用这个理论做出可以在实验室中进行检验的预言。

这样的一种理解可能在明天就会由一些聪明的研究生做到，也可能还要再花上另一个世纪左右。很可能这种理解从某种新的基本物理原理出发做一些纯数学推导就可以实现，而这些新的基本物理原理只不过是某人碰巧发现的，但是更有可能需要一些新的实验发现触发灵感。

我们希望能够通过测量是今天实验室中所能探测的尺度的一亿亿分之一的尺度上发生的事件来判断一种新的基本理论的正确性，但或许这是永远不可能做到的。借助我们现在可以想象得到的任何一种技术，像这样的一些测量会用掉比全人类的经济资源还要多的资源。

即使不依靠新的实验，或许根据是否能解释标准模型所显现的各种性质，也能评判一个终极理论。但是，解释太多了。我们不会满意于这样的一种理论：它以一种类似于开普勒（Kepler）以前的天文学家通过一环套一环来解释行星运动轨迹的方式，用某种复杂而且任意的东西来解释标准模型。

要想使解释合格的话，该基本理论必须是简单的——不一定只是几个简短的方程式，但是这些方程都必须基于一个简单的物理原理，就像广义相对论的方程基于引力是一种时空弯曲效应的原理建立起来一样。而且这一理论还必须是令人信服的——它必须给我们这样一种感觉：它几乎跟现在没有什么不同。

当我们最终有了一种简单的、令人信服的，而且在数学上自洽的引力与其他力的理论，它们解释了标准模型的任何明显特征时，我敢说这个理论将真的是一种终极理论。我们对于自然的描述变得越来越简单。越来越少的基本原理用于解释越来越多的东西。但是简单性不可能无限

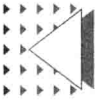
增长。看来很可能我们所选定的下一代主要理论将是如此之简单，以至于不会有任何进一步简化的可能性。

然而，一种终极理论的发现不会帮助我们治愈癌症或理解意识。我们或许已经知道了我们所需要的、适合这些任务的所有基础物理。终极理论似乎有一个有极大影响的科学分支是宇宙学。我们对标准模型有充分的信心，它能向回追踪宇宙目前的膨胀到它的假定起点之后的十亿分之一秒。但是，当我们试图理解比那更早的时间发生了什么时，将遇到这个模型的局限性，特别是它关于极短距离引力行为知识的空白。

这种终极理论将促使我们回答宇宙学的一些最深刻的问题：目前的宇宙膨胀有起点吗？什么决定了这个起点的条件？我们所称呼的宇宙，即在所有方向蔓延几百万光年的辐射与物质，真的就是存在的一切？还是它仅仅是一个大得多的“多宇宙”的一部分，我们所看到的膨胀只是在其中的一个局域的插曲呢？

终极理论的发现还有一种文化影响，堪比现代科学诞生时人们所获得的感受。据说，17 世纪和 18 世纪科学精神的扩散曾是终止焚烧女巫等事件中的一件。知道了宇宙如何被终极理论的客观原理所控制，不可能终结人类持久延续下来的迷信，但至少它留给这些迷信很少的活动空间。

自 2000 年以来，超弦理论也好，多宇宙想法也好，都没能取得会确立它们在科学中永久地位的那类成功，但是在某种意义上它们殊途同归。在 2001 年人们［由加利福尼亚大学圣巴巴拉分校（University of California at Santa Barbara）的史蒂文·吉丁斯（Steven Giddings）、沙米特·卡赫鲁（Shamit Kachru）和约瑟夫·波尔钦斯基（Joseph Polchinski）］发现超弦理论的方程具有大量的解。斯坦福（Stanford）大学的伦纳德·萨斯坎德（Leonard Susskind）对于解的这种多重性杜撰了一个术语，叫“弦景观”，这类似于理论生物化学中发现的蛋白质分子可能取向的景观。按照斯坦福大学的安德烈·林德（Andrei Linde）早些时候关于混沌暴涨的想法，这些解中的每一个都可能描写一个不同类型的大爆炸宇宙学（它是本文集中的第 9 篇文章的主题）。弦景观以及宇宙学含义的探索是一个艰巨的任务，只不过刚刚起步。事实上，在理解自然的基本规律的道路上，2009 年与 2000 年相比，我们仍然必须走甚至更远的距离。



2 科学可以解释每件事甚至任何事情吗？

这篇散文是根据2000年10月我在阿默斯特学院（Amherst College）的一篇演讲写成的，这是我的一次偶然和不情愿的涉足科学哲学的冒险。在写作哲学有关文章时，我总感觉缺乏自信，因为有那么多聪明人全身心地投入其中。尽管如此，在我看来，科学哲学家的任务不是告诉科学家如何工作，而是描述科学家在他们的工作中正在做些什么，所以，不时地听到一位正在打拼的科学家认为他或她正在做的是些什么，对于哲学家们或许是有用的。但是当阿默斯特学院的哲学家们邀请我做一次关于科学中解释的意义的演讲时，我还有另外一个理由接受了它：我住在得克萨斯，而且喜欢这里，但的确我有时会错过新英格兰（New England）的秋天，那里曾是我生活过的地方。这次旅行并没有让我失望。在从波士顿（Boston）到阿默斯特的路上，我驱车穿过大片的枫树和橡树林，它们的红色和黄色的树叶在10月的灿烂阳光照耀下闪闪发亮。我认为驾车带给我的乐趣远胜过因阿默斯特的听众或许会欣赏我的演讲所得到的乐趣。

这篇文章曾经发表于2001年5月的《纽约书评》上，2002年重新发表在《最佳美国科学著作》（*The Best American Science Writting*）上。

几年前的一天晚上，我和得克萨斯大学的几位教员给一群大学生讲述我们各自学科的工作。我概述了物理学家在解释有关基本粒子和场的实验现象方面所取得的巨大成就——当我还是一个学生时，我们如何不得不学习大量关于基本粒子、力和对称性的杂七杂八的知识；在从20世纪60年代中期到70年代中期的10年间，所有这些零零碎碎的知识如何用现在所谓的基本粒子标准模型给出了解释；我们如何学会了将粒子和力的这些繁杂的事实从几个相当简单的原理出发用数学推导出来；

啊哈！之后一个伟大的集体怎样由物理学界产生出来了！

我讲过之后，一位也是教员的同事（一位科学家，但不是一位粒子物理学家）评论道："嗯，当然，你知道科学并不真正地解释事情——它只是描述它们。"以前我曾听到过这种评论，现在却使我大吃一惊，因为我曾经认为，我们一直在做一些相当好的解释观测到的基本粒子和力的性质而不只是描述它们的工作。

我认为，我的同事的评论可能源自第二次世界大战时期科学哲学家中广泛存在的一种实证主义的焦虑。路德维希·维特根斯坦（Ludwig Wittgenstein）的著名评论中说道："所谓的自然规律都是自然现象的解释的这一错误观念，是在整个现代世界观的基础上建立起来的。"

人们或许会认为，当我们找到一件事情的原因时，它就得到了解释。但是，伯特兰·罗素（Bertrand Russell）[①] 在他 1913 年的一篇有广泛影响的文章中论证道："由于'原因'一词与一些歧义性关联密不可分，它已被完全排挤出了人们认可的哲学词汇范围。"这使得哲学家们像维特根斯坦一样，在解释和描述之间只保留唯一的一个候选者，即符合目的论的那个，把解释定义为是对要解的事务的用意的陈述。

福斯特（E. M. Forster）的小说《天使不敢涉足的地方》（*Where Angels Fear to Tread*）给出了一个通过目的论区分描述与解释的好例子。菲利普试图找出，为什么他的朋友克洛琳促成了菲利普的妹妹与遭到菲利普一家人反对的一位意大利年轻人的婚姻。在克洛琳转述了她与菲利普的妹妹的全部交谈内容之后，菲利普说："你跟我所说的只是一种描述，而不是一种解释。"人们都知道菲利普这样说意味着什么——在问及一种解释时，他想要知道克洛琳的目的。在自然规律中显示不出任何目的，而且也不知道任何区分描述与解释的方法。维特根斯坦和我的朋友们得出了这样的结论：这些规律不可能被解释。或许说科学描述而不是解释的人中有一些人还想着把科学与神学作不合时宜的对比，他们设想神学通过引用某种神圣的目的解释事物，而科学拒绝这样做。

在我看来，这种推理模式不仅在实质上而且在程序上都是错误的。决定一些字词具有不同于通常使用的意义，不属于哲学家的工作。与其论证当科学家们像通常所做的那样说他们的工作都是在解释事情时，他们都是不正确的，那些关心科学中解释的意义的哲学家们不如去尝试一下，理解科学家们谈论他们正在解释某件事时，到底正在做些什么。假如一定要我给出物理学中解释的一个先验定义的话，我会说："物理学中的解释是当物理学家们说'啊哈！'时，他们一直在做的事。"而一

①"On the Notion of Cause", reprinted in *Mysticism and Logic* (Doubleday, 1957), p. 174.

个先验定义（包括这个定义）是没什么用处的。

据我所知，至少从第二次世界大战以来，科学哲学家们已经清楚地理解了这一点。彼得·阿钦斯坦（Peter Achinstein）、卡尔·亨佩尔（Carl Hempel）、菲利普·基切尔（Philip Kitcher）和卫斯理·萨蒙（Wesley Salmon）等这类哲学家，撰写了大量关于解释的本质方面的现代文献。通过读这些文献，我知道有关这一点，他们现在做得很对——他们正在通过查看，当科学家说他们正在解释某事时他们实际上正在做什么，来尝试获得对于这样的问题的答案："当科学家解释某件事时，他们在做什么？"

做纯粹而不是应用研究的科学家们通常告诉公众和基金会，他们的使命就是解释一些事情；所以对于他们和对于哲学家们一样，澄清解释实质的任务可能都是极其重要的。在我看来，这个任务在物理学（及化学）方面，比其他学科要容易一点，因为科学哲学家有"对一个事件作出解释有什么意义？"这样的问题所带来的困扰（注：维特根斯坦称之为"自然现象"），而物理学家感兴趣的是规律，即物理原理，而不是对个别事件的解释。

生物学家、气象学家、历史学家等关心个别事件的原因，诸如恐龙的灭绝、1888 年的暴雪、法国大革命等，而一个物理学家仅仅对像 1897 年贝克勒尔（Becquerel）放在一块铀盐附近的照相底片感光这类事件感兴趣，当时该事件揭示了诸如铀原子的不稳定性的自然规律。菲利普·基切尔曾经试图复活这样一种想法，即解释一个事件的方法是要依据其原因，但是可以影响一个事件的无穷多的事物中应当把哪一个看成其原因呢？①

在物理学的局限语境内，我认为对于区分解释与仅仅描述的问题，人们可以给出一种勉强说得过去的答案，它抓住了当物理学家说他们已经解释了某个规律时所意味的东西，这个答案就是：当我们证明一个物理原理可以从一个更基本的物理原理演绎出来时我们就解释了这个物理原理。不幸的是，套用玛丽·麦卡锡（Mary McCarthy）关于莉莉安·海尔曼（Lillian Hellman）所写的一本书中曾经说过的一句话：这个定

①有一个用原因来解释事件遇到困难的实例，曾经被许多哲学家多次引用。假设人们发现市长患有麻痹性痴呆。可以用几年前该市长曾经患过梅毒而没有治愈这件事来解释吗？采用这一解释带来的麻烦在于很多人都曾经患过梅毒而没有治愈，但他们事实上并没有患上麻痹性痴呆。或许你可以追踪一系列由梅毒导致麻痹性痴呆的事件，或许你会发现大量其他的事情起了基本作用——也许一个螺旋菌以一种方式而不是另一种方式扭动，也许市长缺少某种维生素——谁知道呢？然而我们觉得在某种意义上市长的梅毒的确是他的麻痹性痴呆的解释。也许，这是因为在导致这种效果的许多因素中梅毒最引人注目，而且肯定它最涉及政治。

义中的每一个单词，包括“我们”和“一个”，其意义都有疑问。但是，在这里，我将注意力集中在我认为具有极大困难的三个单词上：“基本”、“演绎”和“原理”。

不可能将带来麻烦的单词“基本”从定义中去掉，因为“演绎”本身不具有一种指向性的含义，它经常两个方向都适用。我所知道的最好的例子是由牛顿定律与开普勒定律之间的关系提供的。大家都知道，牛顿不仅发现了描述引力随距离的平方成反比而减少的定律，而且发现了描述物体在任何一种力的影响下如何运动的定律。比他稍早些，开普勒曾描述了行星运动的三个定律：行星都沿着以太阳为其一个焦点的椭圆运动；从太阳到任何一个行星的连线在相等的时间扫过相等的面积；周期（各个行星绕它们各自轨道一周所花的时间）的平方正比于行星轨道长轴的立方。

通常人们说牛顿定律解释了开普勒定律，但是，从历史上看，牛顿的引力定律是由开普勒的行星运动定律演绎出来的。埃德蒙·哈雷（Edmund Halley）、克里斯多夫·雷恩（Christopher Wren）和罗伯特·胡克（Robert Hooke）都曾用开普勒的周期的平方与直径（取轨道为圆形）的立方之间的关系演绎出引力的平方反比定律，而后来牛顿把论证扩展到了椭圆轨道。当然，今天，当你学力学时，你学会了从牛顿定律演绎出开普勒定律，而不是反过来从开普勒定律演绎出牛顿定律。而正是在牛顿定律解释了开普勒定律而不是相反的这种意义上，我们深深地感觉到牛顿定律比开普勒定律更基本。但是，要对一个物理原理比另一个更基本这样的概念作出精确的定义并不容易。

声称更基本意味着更全面，这是很诱人的说法。也许，最著名的尝试捕捉到科学家给出解释的意义的是卡尔·亨佩尔。他在于 1948 年与保罗·奥本海姆（Paul Oppenheim）合著的文章[①]中评述道：“一个一般规律的解释在于将其归入另一个更完全的规律，归入一个更普遍的规律之下。”但是，这消除不了困难。例如，人们或许会说，牛顿定律不仅仅支配行星的运动，而且还控制地球上的潮汐、苹果从树上掉落等，而开普勒定律只处理行星运动这类局限情况。然而，这种说法严格地讲并不准确。开普勒定律在经典力学完全适用的范围内，还支配着原子中电子绕原子核的运动，在那里引力无关紧要，因此有这样一种感觉，即开普勒定律具有一种牛顿定律所没有的普遍性。尽管说开普勒定律解释牛

①Carl Hempel and Paul Oppenheim, “Studies in the Logic of Confirmation”, *Philosophy of Science* 15, no. 135 (1948), pp. 135-175; 在 *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science* (Free Press, 1965) 上重印，并做了一些修改。

顿定律会让人觉得很荒谬，然而大家（除了纯粹的哲学家以外）都觉得牛顿定律解释开普勒定律的说法使人舒服。

牛顿定律和开普勒定律的这个例子有点牵强，因为关于哪一个是另一个的解释已为人们所公认。在其他的一些情况中，什么解释什么的问题更难，也更重要。这里有一个例子。当把量子力学应用于爱因斯坦的广义相对论时，人们发现引力场中的能量和动量是一份一份出现的，称为引力子，这些粒子具有零质量，很像光的粒子，即光子，但是自旋等于2（是光子自旋的2倍）。另外，曾经有人证明：质量为0、自旋等于2的任何粒子，其行为方式恰为广义相对论中的引力子，因而这些引力子的交换将正好产生广义相对论所预言的引力效应。此外，一定存在质量为0而自旋为2的粒子乃是弦理论的一个普遍预言。因此，引力子的存在由广义相对论解释，还是广义相对论由引力子的存在解释呢？我们不知道。关于这个问题的答案随我们对物理学未来设想的选择而定——它像广义相对论那样基于时空几何学，还是基于像弦理论那样的一些预言引力子存在的理论。

当我们考虑那些看上去超越了曾经将其演绎出来的原理的物理原理时，把解释作为演绎的思想也会遇到麻烦。特别是对于热力学，一门关于热、温度和熵的科学，情况更是如此。在19世纪热力学得到表述之后，路德维希·玻尔兹曼（Ludwig Boltzmann）成功地从统计力学，即由非常大量的各个分子组成的物质的宏观样本的物理学，演绎出这些规律。玻尔兹曼借助于统计力学对热力学的解释被广泛接受，尽管遭到了马克斯·普朗克（Max Planck）、厄恩斯特·策梅洛（Ernst Zermelo）和其他几位物理学家的抵制，他们坚持老的观点，认为热力学是独立的物理原理，就像任何其他的物理原理一样是基本的。但是，随后雅各布·贝肯斯坦（Jacob Bekenstein）和斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）在20世纪的工作证明了热力学也适用于黑洞，而且，不是因为它们是由许多分子组成的，而只不过是因为它们具有一个没有任何粒子或光线可以从它发射出来的表面。[①]因此，热力学似乎超越了多体系统的统计力学，尽管它原来是从后者演绎出来的。

虽然如此，我想论证的是这样的一种感觉，即热力学定律不是像广义相对论或基本粒子的标准模型一样基本的。在这里，重要的是区分热力学的两个不同的方面——作为一种数学形式体系，以及作为真实世界

①附注：这并不完全正确。为使热力学适用于黑洞，还有一点是必需的，即其表面足够大——它的尺度必须比普朗克长度，大约10^{-33}cm，要大得多，在普朗克长度以下的尺度引力场的量子涨落变成相当可观。

的一种表述。一方面，热力学是一种形式体系，无论在什么情况下，只要它的那些定律适用，都允许我们从几个简单的定律演绎出一些有趣的结果来。这些定律适用于黑洞，它们也适用于蒸汽锅炉以及许多其他的系统。然而它们并不是到处都适用。假如将其用于一个单独的原子，则热力学将会没有任何意义，想要找出热力学定律是否适用于一个特定的物理系统，你必须问一问热力学的定律是否可以从你所知道的关于该系统的那些演绎出来。有时它们可以，而有时不可以。热力学本身绝不是任何东西的解释——你一定会问为什么热力学适用于你所研究的任何系统。之所以可以，是因为你能够从碰巧与该系统相关的某个更基本的原理导出热力学定律。

在这方面，我看不到热力学与欧几里得几何学之间有多少差别。要知道，欧几里得几何学适用于惊人的广泛的情况。如果三个人约定，每个人都来测量与其他两个人的连线之间的夹角，然后他们聚在一起，把这三个角度相加，则和将是 180°。而一个由钢棒制作的或者在一张纸上用铅笔线画成的三角形的三个角的和都将同样是 180°。所以，似乎几何学可能比光学或者力学更基本。但是欧几里得几何是建立在一些假定之上的一个推理体系，对于某一特定情形，这些假设可能适用，也可能不适用。正如我们从爱因斯坦的广义相对论所知道的，欧几里得体系不适用于引力场，尽管在地球的相对比较弱的引力场中它是一个非常好的近似，而正是在地球的这种环境下欧几里得与他的前辈一起发展了这种几何学。当我们使用欧几里得几何学解释自然界中的任何事务时，我们是在默许依靠广义相对论解释为什么欧几里得几何学可以用于我们手边的情况。

谈到演绎，我们遇到另一个问题：是谁在做这种演绎呢？我们经常说，某件事用另外的某件事解释，并不需要我们真的把它演绎出来。例如，20 世纪 20 年代中期量子力学发展起来之后，以一种清楚的和可以理解的方法计算氢分子的束缚能和光谱第一次成为可能，这时，许多物理学家立刻推断，全部化学都可以用量子力学及电子与原子核之间的静电引力和斥力的原理来解释。像保罗·狄拉克（Paul Dirac）这样的一些物理学家宣布：现在全部化学都变成可以理解的了。但是。他们还没有成功地演绎出除了最简单的氢分子之外的任何分子的化学性质。物理学家们确信，所有这些化学性质都是同样适用于原子核和电子的量子力学规律的结果。

经验已经证实了这一点。事实上，通过利用量子力学和静电吸引与排斥原理所做的一些复杂计算，现在我们能够演绎出相当复杂的分子的性质——当然不是像蛋白质或 DNA 那么复杂，但是仍然是一些令人印

象相当深刻的有机分子。几乎任何物理学家都会说，化学通过利用量子力学与电子和原子核的简单性质得到了解释。但是，化学现象将绝不可能以这种方法完全地计算出来，因此化学作为一门独立的学科存留下来。化学家并不把他们自己称为物理学家，他们有不同于物理学家的杂志和技术。利用量子力学方法很难处理复杂分子，但是我们仍然知道物理学解释了为什么化学会是现在这个样子。这种解释不在我们的书中，也不在我们的科学文章中，它是在自然界中，正是物理规律要求化学有这样的行为方式。

类似的评注适用于物理科学的其他领域。作为标准模型的一部分，我们已经有了一种经过精确检验的强核力——把原子核中的质子与中子束缚在一起，也把夸克束缚在一起形成质子和中子的力——的理论，称为量子色动力学，我们相信它能解释为什么质子（和中子）的质量是其现在的数值。质子的质量几乎完全是由质子内部的夸克彼此之间所施加的强作用力所产生的。并不是我们能够实际地计算出质子质量；我甚至确定不了我们是否有一个好的算法做这种计算，但是对于质子的质量并没有什么神秘的感觉。我们觉得自己知道它为什么是现在这个样子，可并不是在我们已经计算出它或者甚至能够计算出它的意义上，而是在量子色动力学能够计算出它的意义上——质子质量的值是由量子色动力学所限定的，尽管我们不知道如何去做这个计算[①]。

即使是在这种局限的意义上，认识到某种事物已经得到解释可能也是非常重要的，因为对于需要解决的问题它能够给予我们一种对全局有重要意义的判断力。如果你想计算质子的质量，那就做吧，加油！它会是计算能力的一种令人愉快的展示，但不会推进我们对自然规律的理解。因为我们已经充分地理解了强核力，足以确信在这个计算中不再需要任何新的自然规律。

把解释作为演绎的另外一个问题是：在某些情况下，我们可以演绎某一事物而没有解释它。这听起来可能真的有点奇怪，但是我们来考虑下面这个小故事。当物理学家开始认真地对待大爆炸宇宙学时，他们所做的事情之一是计算在宇宙开始膨胀的最初几分钟轻元素的产生情况。作这个计算的方法是写下控制各种核反应发生率的所有方程。任何一种核素的数量（或者如物理学家所说的“丰度”）的变化率等于几项之和，而每一项都正比于这种核素或者一些别的核素的丰度。用这样的方

①附注：在写这段话时，理论家们正在探索一种可能的近似计算方法，称之为格点量子化，其中，时空的连续性被由密集的分立的点组成的格点所代替。从那时起，这个方法发展起来，迄今为止，它已经能够计算质子和其他一些粒子的质量，与测量值符合得相当好。

法，你会得到一组很大的联立微分方程，然后将它们输入计算机中，产生数值解。

当20世纪60年代中期杰姆斯·皮伯斯（James Peebles），然后是罗伯特·瓦戈纳（Robert Wagoner）、威廉·福勒（William Fowler）和弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）求解这些方程时，他们发现，在这最初的几分钟之后，宇宙质量的1/4左右以氦的形式留存下来，而几乎所有其余的质量都是氢，别的元素只占极小的比例。这些计算还显示了某些规律性。例如，如果在该理论中放入某种东西来加速膨胀，比如通过添加一些其他种类的中微子，你会发现会有更多的氦产生出来。这有点违反直觉——你本来以为宇宙的加速膨胀会使留给产生氦的核反应的时间减少了，然而事实上，计算表明产生的氦的量却增加了。

这一点并不难解释，尽管在计算机的打印输出结果中不是那么容易看出来。在宇宙膨胀并在最初的几分钟变冷的同时，从原始的质子和中子构造成复杂核的核反应也在发生着，但是由于物质的密度相对很低，这些反应只能依序发生，先是由一些质子和中子结合成重氢的核，即氘核；然后，氘核与质子或中子或其他的氘核结合成像氦那样的更重的核。然而，氘核是非常脆弱的；它们是相对弱的束缚态，所以直到温度下降到10亿度左右，也就是在最初三分钟结束之前，实际上没有任何氘核产生出来。在所有的这段时间里，中子在变成质子，就像在我们今天的实验室里自由中子所发生的那样。

当温度下降到10亿度，变得冷到足以使氘核维系到一起时，仍然剩下的那些中子被急剧地捕获到氘核中，而这些氘核随后变成了氦核，一种特别稳定的原子核。生成一个氦核需要两个中子以及两个质子，所以那时产生的氦核的数目只有余下的中子数的一半。因此，决定早期宇宙中产生的氦核数量的是在温度下降到10亿度之前有多少中子衰变掉了。膨胀越快，温度就越早下降到10亿度，于是中子发生衰变的时间就越少，结果剩余的中子越多，产生的氦核也就越多。这就是我们在计算机计算中所发现结果的解释；但是，这个解释不是在计算机生成的表明丰度与膨胀速度的关系图中发现的。

更进一步讲，虽然我说过，物理学家只对解释普遍原理感兴趣，但是什么是一个原理，什么只是一种偶然，并不那么容易区分。有时我们认为是自然界一个基本定律的却不过是一个偶然事件。开普勒再一次提供了一个例子。今天人们知道他，主要是源于他的著名的行星运动三定律，但是当他还是一个年轻人时，他曾企图用一种包含一些正多面体的复杂几何结构，解释行星的轨道直径，这些正多面体嵌套在承载行星的那些球面之间。今天我们对此一笑了之，因为我们知道行星与太阳的距

离反映了在太阳系形成时碰巧发生的一些偶然事件。我们不会试图通过从某种基本定律演绎它们，来解释这些行星的轨道直径。

然而，在某种意义上对于地球与太阳的距离有一种近似的统计解释[①]。如果你问为什么地球距太阳大约1亿英里，而不是相反，比方说，2亿英里或者5000万英里，甚至更远，或者甚至更近，一个答案会是：假如地球更靠近太阳的话，那对于我们来说就会太热；而假如离太阳再远些的话，则对于我们来说就会太冷。按照实际情况来看，这是一个愚蠢的解释，因为我们知道，在太阳系形成时绝不会提前知道人类。但是我感觉，这个解释并不是这么愚蠢。宇宙中有无数行星，以至于即使只有极小的一部分与它们的恒星有正确的距离并有正确的质量和化学成分等，允许生命繁衍，而这些生物在探究他们的行星与他们的恒星之间的距离时会发现，他们就生活在这一极小部分行星之一的上面，应当没有什么值得大惊小怪的。

这类解释被称作人择原理，正如你能看到的，它并没有提供对太阳系物理的一种非常有用的深刻理解，但是，当应用于通常我们所称的宇宙时，人择论据可能变得非常重要。宇宙学家们越来越多地猜测，恰如地球只是许多行星中的一个一样，我们的大爆炸，即我们所赖以生存的宇宙的极为巨大的膨胀，或许只是在一个大得多的“多宇宙”中四处零星发生的许多爆炸之一。他们进一步猜测，在这许多不同的大爆炸中，自然界的那些假定的参数中有一些会取不同的值，而且甚至在我们现在所称的自然规律当中，或许有一些会采取不同的形式。在这种情况下，关于我们所发现的自然规律以及我们测量到的自然的常数为什么是它们现有这个样子的问题，会有一个粗浅的目的论的解释——这只不过是由于在这类大爆炸的情况下会有问这个问题的某人存在而已。

我当然希望，我们不会被驱使去做这类推理，而且我们将发现唯一的一组自然规律，它们解释为什么所有的自然常数都取它们现在的值。但是我们必须记住这样一种可能性，即我们现在所称的自然规律和自然

①对于这个解释的一个较早的例子，得克萨斯大学的汉金森（R. J. Hankinson）教授曾经介绍我注意盖伦（Galen）。当然，在哥白尼（Copernicus）之前1400年写的文章中，盖伦关心的是解释太阳而不是地球的位置。在《论人体各部分的用途》一文中，他把他关于太阳位置的解释与人的腿部末端脚的位置的解释相比较——太阳和人脚都由造物者安放在它们最合适的地方。尽管这些解释都是目的论的，这种方式已被现代科学所摈弃，盖伦的类比要比他所能够认识到的东西要好一些。恰如地球是数量极其巨大的行星当中的一员，而这些行星离它们的恒星的距离主要是一种偶然机会一样，人脚的位置也是我们脊椎动物祖先的演化过程中极其巨大数量的偶发变异结果。由一连串的把它的脚放在了它的嘴里的偶发变异产生的生物，不会通过基因传给它的后代而存活下来，就像一个由于偶发凝聚而太靠近或者太远离它的恒星的一颗行星不会是哲学家们的家一样。

常数都是这个大爆炸的偶然特征，而我们发现自己碰巧就在其中，尽管受到了条件（正如地球与太阳的距离这类）的约束，即偶然特征必须能够满足人类的出现，他们还能够问为什么是现在这个样子。

相反，也有可能一个事件我们视之为偶然现象，实际上却是一些基本物理原理的表现。我认为，这可能就是困惑我多年的一个历史问题的答案。为什么亚里士多德（Aristotle）［以及许多其他自然哲学家，尤其是笛卡儿（Descartes）］会满足于一种对抛物体或其他落体在飞行中任一时刻位置无法作出任何预言的运动理论，而这正是牛顿定律能够预言的。按照亚里士多德的说法，物质倾向于朝它们的自然位置运动——地球的自然位置是向下，火的自然位置是向上，而水和空气的自然位置是向中间某处——但是亚里士多德并没有试图说出地球上的一块下落物向下有多快，或者一个火花向上飞得多快。我不是问为什么亚里士多德没有发现牛顿定律——显然，必定会有人首先发现这些定律，而这一荣誉碰巧落在了牛顿头上，困惑我的是，亚里士多德为什么对于他不知道如何计算抛物体每个时刻沿其路径的位置没有表示出任何不满意。看来他并没有认识到这是一个任何人都应当解决的问题。

我怀疑，这是因为亚里士多德隐含着假定物体向它们的自然位置移动速度的大小只是种偶然，有关这种速度没有什么值得说的（除了自由落体的速度正比于它们的质量的概念之外），唯一真正令人感兴趣的东西是平衡问题——物体将会停在什么地方的推论。这可能反映了对于希腊哲学家的一部分发生的变化的一种普遍蔑视，它展示在，例如，巴门尼德（Parmenides）得到亚里士多德的老师柏拉图（Plato）的赞赏的著作中。当然，就这一点而言，亚里士多德是错的，但是假如你设想自己就生活在他那个时代，就可以看到，运动由可能会发现的精确数学规则控制这件事是多么远非显然。据我所知，在伽利略开始测量沿一个斜面向下滚动各种距离要花费多少时间之前①，人们并不理解这一点。认识到什么是偶然和什么是原理，是科学的伟大任务之一，关于这一点，我们永远不可能提前知道。

因此，我现在分解出的这些词，“基本”、“演绎”和“原理”，就是在我的建议——当谈到我们在物理学中从一个更基本的原理演绎出一个原理时就是解释了这个原理的建议——中存活下来的一切吗？是的，我认为就是这样，但它仅仅是在一种历史环境、一种科学的未来的愿景之内。我们一直在朝着一幅满意的世界图像稳步推进。我们希望，未来

①附注：在匀加速度条件下运行的距离在15世纪就被算出来了，但是据我所知，那时这个结果没有用于落体。

我们将达到对我们在自然中见到的所有规律的一种理解，它建立在几个可以从它们演绎出所有其他规律的简单的原理，即自然规律的基础之上。这些规律就将是可以从它们直接演绎出来的不管什么样的（诸如标准模型的或广义相对论的）原理的解释，而那些直接演绎得到的原理又将是从它们演绎出来的不管什么原理的解释，等等。仅当有了这种终极理论时我们才会确切地知道什么是一个原理，什么是一种偶然，自然界的什么事实由什么样的原理所决定，以及哪一些是基本原理，而哪一些是他们解释的不那么基本的原理。

我现在已经做到可以最恰当地谈论科学是否能够解释任何东西，因此就让我来开始着手回答科学是否能够解释任何东西这个问题。显然不是。肯定总会有一些没有任何人可以解释的偶发事件，并不是因为即使我们知道了所有会导致它们出现的精确条件，它们仍不能被解释，而是因为我们绝不会知道所有这些条件。有一些问题，比如，为什么遗传密码一定是现在这个样子，或者为什么 6500 万年以前一颗彗星恰恰是在这个地方而不是别的某个地方撞击地球，或许将依然永远超出我们掌控的范围。我们不可能解释，例如，为什么在 1865 年约翰·威尔克斯·布斯（John Wilkes Booth）的子弹杀死了林肯（Lincoln），而 1933 年朱塞佩·赞加拉（Giuseppe Zangara）的枪没有射中富兰克林·罗斯福（Franklin Roosevelt）。假如我们能有证据证明就在赞加拉扣动扳机时，他的手臂被撞了一下的话，我们或许会有部分解释；但是，正如当时所发生的那样，我们没有这样的证据。所有这些信息都在时间的迷雾中丢失了。这些事件依赖于我们绝不可能恢复的偶然性。或许我们可以尝试在统计意义上解释它们，例如，或许可以考虑这样一种理论：19 世纪南方的一些演员都是些好射手，而 20 世纪的意大利的一些无政府主义者却往往都是蹩脚的射手，但是，当你只有几个奇怪的信息片段时，甚至连统计意义的解释也极难做得出来。物理学家们试图解释的只是那些不依赖于偶然的事情，但是在真实世界中，我们试图理解的绝大多数的确依赖偶发事件。

更进一步讲，科学绝不可能解释任何道德原则。在“是”的问题与“应该”的问题之间似乎有一个不可逾越的鸿沟。我们或许可以解释为什么人们认为他们应当做某些事情，或者为什么人类已经进化到觉得某些事应当做而另一些事不应当做的程度，但仍然停留在生物学意义下的道德准则。也许，例如，我们人类已经以这样一种方式进化，即男人和女人起着不同的作用——男人狩猎和打仗，而女人生育和看孩子——但是我们可以尝试朝一个每一种工作对于男人和女人不存在任何偏见的社会而努力。告诉我们应该做还是不应该做的道德准则，不可能从

我们的科学知识中演绎出来。

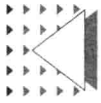
我们的解释的确定性也是有局限的。我并不认为我们这些解释永远确定无疑。就像有些深奥的数学定理表明算法自洽的证明的不可能性一样，似乎很可能我们永远也证明不了最基本的一些自然规律是数学上自洽的。不必为我发愁，因为即使我们知道这些自然规律在数学上都是自洽的，也仍然确定不了它们都是真实的。当你在职业生涯上做出转换，使自己成为一个物理学家而不是一个数学家时，你就放弃了关于确定性的这种担忧。

最后，似乎很显然，我们绝不可能解释我们的最基本的科学原理（也许这正是为什么有些人说科学不提供解释，但是，依照这种推理也没有什么别的做到了这一点）。我想，最后我们将得到一组简单的、普适的自然规律，一些我们不能解释的规律。我能够设想（如果我们不只是打算寻找更深刻的一组规律，然后它们恰好把问题更远地回推）的唯一的一种解释将是证明数学上的自洽性需要这些规律。但这显然是不可能的，因为我们早先能够设想出几组自然规律，就我们所知，它们在数学上都完全自洽，却不能描写我们所观测到的自然。

例如，如果你取基本粒子的标准模型，然后把除了强核力及它们所作用的粒子，即夸克和胶子之外的任何东西都丢开，将剩下的理论称为量子色动力学。看上去量子色动力学似乎在数学上是自洽的，但是它描写的是一个贫瘠的宇宙，那里只有核粒子——没有原子，也就没有人。如果你放弃量子力学和相对论，那你就可以造出大量逻辑上自洽的自然规律，比如描述按照规律无休止地彼此做轨道运动的几个粒子的牛顿定律，宇宙中别的什么也没有，而且永远没有任何新的事情发生。这些都是逻辑上自洽的理论，但是它们都是枯竭的。或许我们对于一个终极解释的最好的希望是发现一组终极的自然规律，并且证明这是唯一逻辑上自洽的丰富的理论，丰富到，例如，足以允许我们自身的存在。这可能会在一两个世纪内发生，并且如果发生了，我认为，那时物理学家们将做到他们的解释能力的极限。

这篇文章引来了《纽约书评》读者的两篇有趣的评论。大卫·洛文苏（David Lowenthal），伦敦大学学院的一位地理学教授，认为我轻视了历史学家，说他们与物理学家不同，只对诸如法国大革命那类个别事件的原因感兴趣。我以一篇公开发表的答复解释，我不是有意暗示历史学家对历史规律不感兴趣，而是说历史学家有权利经常发现许多个别事件也是有趣的，而不只是将其作为规律的线索；然而物理学家，不像历史

学家（或生物学家、气象学家），归根结底，对于规律之外的任何东西都不感兴趣。在另一封信中，碰巧在安多弗（Andover）教过我女儿的拉比·埃弗雷特·甘德勒（Rabbi Everett Gendler）指责我说，“我们知道，在太阳系形成过程中没有任何预知的人类知识”。我回答说如果作为“知道”意味着“肯定地知道”或者“通过直接的观测知道”，他是对的，而我说过的应当是在我们关于太阳系起源的最好的科学理论中没有任何地方暗示涉及预知的人类的知识。我补充说，把那些通过考虑人类而阐明或不通过考虑人类而阐明的问题区分开来，是成功科学的根本要素。



3 科学大战最终实现和平

20世纪90年代的科学大战是以各色各样的社会学家、历史学家、文化评论家为一方与以科学家为另一方的论战，前者强调的是社会和文化对科学研究的影响，而后者则相反，把自己的工作看作是根本上对真理的客观研究。到2000年，双方都发现了大量共同的基础，于是论战在很大程度上平息了下来。加州理工学院（Caltech）的一位化学家杰伊·拉宾格（Jay Labinger）和卡迪夫大学（Cardiff University）的一位社会学家哈里·柯林斯（Harry Collins），产生了一个想法，他们想把参加了这场科学大战的学者和科学家所写的文章汇集起来，以澄清任何余下的分歧。这些文章被收录在由芝加哥出版社于2001年出版的一本书《一种文化?》中。（这本书的书名意在提醒读者斯诺（C. P. Snow）著名的1959年里德讲座（Lede Lecture）——“两种文化”，尽管斯诺一直在抱怨人文文化无视科学这样的事实，但科学战争的发生却是因为人文主义者对科学给予了科学家认为不正确的关注造成的。）《一种文化?》分成三个部分：定位、评论和反驳。当被邀请做一些贡献时，为了阐明我的定位，我提交了《物理和历史》与《托马斯·库恩的非革命》两篇文章的一个合并版，二者都曾出现在我之前的文集《仰望苍穹：科学反击文化敌手》中。而作为一篇评论，我提交了下面的文章，我还写了一篇对哈里·柯林斯、彼得·迪尔（Peter Dear）和特雷弗·平奇（Trevor Pinch）所写的一些评注的简略反驳，但是这篇反驳仅仅是那些读过他们的评注的人（假如，的确，即便是一位这样的读者）才会感兴趣，因此没有包括在这个文集中。

在读这本书其他的那些文章时，我很失望地看到，它们中间没有多少我能够同意。由社会学家、历史学家、哲学家所写的没有批评做科学的方法的文章，比科学家们写的反对把科学研究作为一项社会事业的文章还要多。我们似乎正迅速走向一个普遍的和解局面。从和睦的边缘撤

回来也许还不太晚。

在我看来，至少还有一个有待论证的重要问题。虽然科学家们认识到他们的理论往往带有它们被表述时的社会环境印记，但我们喜欢将这种印记视为杂质，是留在金属中的一些矿渣，最终我们希望将它们清除掉[①]。我们都感觉到了真正的理论施加于我们的想法上的强大吸引力，一种似乎与我们开展研究工作的社会环境没有什么关系的吸引力。我们很奇怪，为什么某些像哈里·柯林斯这样的科学史学家对描述这样一类过程不感兴趣，即物理理论经常缓慢和不确定地朝最终无文化制约的形式发展，但事情就是这样的，因为这就是世界发展的方式。

在1996年的一篇文章[②]中，我试图通过如下的说法来表达这种科学观点：当我们与外星人接触时将发现，它们已经发现了与我们所知道的一样的物理学定律。在《一种文化?》一书中，迈克尔·林奇（Michael Lynch）[③] 的文章非常准确地抓住了我这一点并指出，直到几个世纪以前居住在地球上的智能生物的科学工作并不像我们今天相信的理论。但这恰恰说明了我在这里正试图做的那一点，它不一定是目前不受文化制约的科学理论的状态，而是它的渐进形式，是它最终会趋近的那种形式。正如我所理解的，许多科学社会学家或者否认这种渐进极限的存在，或者选择忽略它。

在论证这一点时，科学家们可能会抱怨“真理”和“实在”。我们谈论我们的理论的真理性，以及它们如何对应于某种实在的东西。这是件危险的事；哲学家们关于什么是“真理”和“实在”的意义一直争论了几个世纪。伊恩·哈金（Ian Hacking）[④]称这些为“电梯用语”，他的意思是说，它们用于提升我们现在所谈论的事情的重要性，对于解决任何问题的确没有多大帮助。我自己就曾表达了这样的一种观点：当我们说一件事是实在的时候，我们只是表示出一种尊重[⑤]。以一种更为消极的情绪，托马斯·库恩曾经说过：“实在的概念不可能让人们感觉到像它在科学哲学中通常起的那种作用。”[⑥] 因此，迈克尔·林奇[⑦]和史蒂

---

①嗯，至少物理学家，或者至少一些物理学家，或者就只是我。

②“Sokal's Hoax”，*New York Review of Books* 43，no. 13（August 8，1996）：11-15；在 *Facing Up* 一书中重印。

③“Is a Science Peace Process Necessary?”，*The One Culture?*，ed. J. A. Labinger and H. Collins（University of Chicago Press，2001），48-60.

④Ian Hacking，*The Social Construction of What?*（Harvard University Press，1999）.

⑤*Dreams of a Final Theory*（Pantheon，1992）.

⑥“The Trouble with the Historical Philosophy of Science”，Rothschild Distinguished Lecture in the Department of the History of Science，Harvard University，November 19，1991.

⑦见上面的第三个注释。

文·夏平（Steven Shapin）[①]在《一种文化?》一书他们的文章中，以及理查德·罗蒂（Richard Rorty）在另一处[②]对我的说法“对于作为物理学家的我来说，自然规律与地上的岩石一样，都是实在的（不管它们是什么）”持有异议，是不足为怪的。

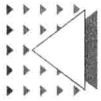
当然，在说这句话时，我并不认为我已经解决了围绕着实在概念的古老的本体论问题。这正是我为什么在谈到岩石就是实在的意义时插入了附加语“不管它们是什么”。也许我应该更明确表示我的谦虚，免得使夏平紧张不安。

另一方面，我确实想在讨论科学的历史与社会学时保护像“真理”与“实在”这类词的使用。大家在日常生活中都用这些词：我昨夜梦见的妖怪只是一种虚幻，今天早上草坪上的鹿是实在的，而这就是真理。我们对于用这些词所要表达的意思并没有一个准确的概念，它们不会比我们所说的其他一些词汇，如“事业”、“爱情”、“美丽”等，有更精确的概念，但是它们仍然对我们很有用。当我们说这东西是实在的时候，是打算传达我们的一种经验，即它具有一个或更多特性，使我们产生这样一种印象：这东西有一个独立的存在；也许别人可以体验它；也许当我们的心情变化时，它并不改变；也许它是那种可能导致一些错误的东西；也许当我们靠近些看它时，它不躲开。在这个意义上，每块岩石都明显是实在的，虽然作为类别的“岩石”或许并非如此。我把自然规律比作岩石不是一个哲学论证，而只不过是个人的一种表述，在我作为一个物理学家的工作中，我对于自然规律的体验与岩石让我感知到的真实一样。

这提出了一个更大的问题。正如像“实在”与“真理”这类字眼的常见用途所展示的，我们都采取一种在我们的日常生活中可以被称为朴素实在论的工作哲学。据我所知，没有任何人曾经证明过，当我们谈到科学史、科学社会学时，为什么应该放弃朴素实在论。哲学家们也许能帮助我们提升理解像“实在”、“真理”和“原因”等词的方式，但他们无权让我们不使用它们。

①“How to Be Unscientific”, *The One Culture?*, ed. J. A. Labinger and and H. Collins (University of Chicago Press, 2001): 99-115.

②“Thomas Kuhn, Rocks, and the Laws of Physics”, *Common Knowledge* 6, no. 1 (1997): 6-16.



4 科学及宇宙的未来

为了庆祝新世纪的开始，纽约公共图书馆与《纽约书评》联合，在2001年赞助了一个系列讲座，其标题为“未来：光明、昏暗及其他”。2001年1月我在那所图书馆的讲座上做了一次演讲。下列文章正是基于我的演讲写成的，发表在2001年11月的《纽约书评》上。

在讨论科学的未来时，我仔细地审视了我所写的《终极理论之梦》一书中涉及的一些同样的内容。但在谈到关于宇宙的未来时，我的确没加任何改动地引入了当前的一条新闻：仅仅在早前两年天文学家已经发现的证据表明，一直被认为是在缓慢下来的宇宙膨胀，因为星系彼此之间的引力而相反地加快了。这被归因于一种“暗能量”，一种驻留于空间之内而不是存在于任何物质粒子和辐射之中的能量。这种暗能量是本文集下一篇论文的主题。

在纽约公共图书馆这个系列讲座的计划中，我看到了一幅未来的图像：雷蒙德·洛伊（Raymond Loewy）的一架概念飞机，与曾经在1939年纽约世界博览会上展出过的一样。我曾经到1939年的纽约世界博览会参观过，但是我不记得雷蒙德·洛伊的这个设计。当时我很小，记得最清楚的是亮起了彩灯的喷泉，另外，我还记得一个乳制品公司免费提供的小冰激凌蛋卷。在大萧条仍在继续的情况下，免费冰激凌是一个令人难忘的经历。这次博览会对未来科技的任何预测都没给我留下什么印象。

这并不是什么大的损失。也许除了通用汽车馆中的现代高速公路的图像，那次纽约世界博览会对未来技术的那些预测都没有取得巨大的成功。洛伊关于一架未来飞机的设计图看起来根本不像今天的客机，它展示了八个发动机和一个类似内燃机车的机身。在1939年我并不了解它，但事实上雷蒙德·洛伊在20世纪30年代曾经为宾夕法尼亚铁路公司（Pennsylvania Railroad）设计过内燃机车，并赋予它们一种未来派的

“流线型”外表，但是没有实际关注空气动力学原理。他或许能在内燃机车上侥幸获得成功，但不是在飞机上。然而，即使你没有忽略物理规律，预言未来技术也是非常困难的。或许把时间花在欣赏彩色喷泉上会更好一些。

我在本文中谈论的主题不是技术或科学的其他应用的未来，而是科学本身的未来。在这里我们可以满怀信心地做一个预言，那就是我们迟早会发现控制所有自然现象的物理原理。

我们已经有了这样一种理论，它包括了构成我们自身及周围一切的所有的粒子，以及除引力之外的所有作用于其上的力，称为标准模型，可以用量子力学的数学形式体系表示，似乎是一切物理规律的一个普适的基础。但标准模型有太多的任意元素，比如，对每一种基本粒子都必须赋予质量。我们还有一个先于量子力学的引力理论——广义相对论。麻烦在于，我们目前的引力量子理论仅仅提供了一种近似，它的适用性仅限于足够低的能量和足够长的距离。我们尚缺少的是一种包括所有的粒子和力的无限适用的量子力学理论。我们就像《十二铜表法》（Twelve Tables）仍然保密时代的罗马庶民，不知道统治我们的法律是什么。更具体地说，稍后我将会谈到，我们对于自然的终极规律的无知，使得我们对宇宙未来的预言具有不确定性。

现在有一种强有力的猜测，认为这个终极理论将是像今天的弦理论的某种东西，这在布莱恩·葛林（Brian Greene）的畅销书[①]中可以读到。可以这样简要地描述他们（这几乎是不可能的）：在一种弦理论中，每一种粒子，不管它是一个电子，还是一个中微子，或者是一个夸克，或是无论什么东西，实际上都是一根弦，一个振动着穿越空间飞驶的极小的一维实体，而所有的不同种类的基本粒子对应于弦的不同的振动模式。基本上在所有的弦理论中，都会有一种粒子类型属于引力子，它是在引力的量子理论中传递引力的无质量粒子。所以，弦理论自动把引力与别的力一起纳入这个图像中。

有一段时间似乎存在五种不同的数学上自洽的弦理论，这个结果太令人沮丧了，因为没有人了解为什么大自然会被这些理论中的一个而不是其他四个中的一个所描述。为了避免不自洽，所有这些弦理论都是在十维时空（九维空间加一维时间）表述的，这甚至更令人沮丧，因为有充分的证据表明我们不是生活在十维时空里。但是最近发现［由爱德华·威滕（Edward Witten）］，这五种不同的弦理论（以及一种十一维

①Brian Greene, *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory* (Norton, 1999).

时空的非弦理论）都只是一种潜在的理论的不同的相，不幸的是我们对它还一无所知。我们也有某些理由希望，在四维时空——长度、宽度、深度和时间——中我们的成功的粒子和力的标准模型，将会是这个基本理论的另一个我们生活在其中的相。

这有点像说金刚石和石墨是同一种材料，是碳的不同的相。如果有的人所知道的关于碳的唯一知识是来自于观测珠宝钻石和石墨铅笔，那么要认识这些都是同一种物质的相或许是极为困难的。人们或许可以看到，金刚石和石墨具有一些共同的性质——例如，它们与来自一个核反应堆的中子相互作用的方式。但是假如你不知道碳原子，那么将会极难找到一种揭示金刚石和石墨实际上只是碳原子的不同形式的统一理论。当然，这仅仅是一个类比。在这里，我不是谈论一种物质的不同的相，而是一种物理理论的不同的相，尤其是，由不同数目的时空维度所表征的相。希望这些不同的理论只是对基本理论方程不同的解的近似，或多或少地像金刚石和石墨可以理解为控制碳原子的方程的不同的解。

我们将怎样找到一个理论作为所有这些不同版本的弦理论和描述我们在四维时空观测到的那些现象的理论的基础呢？答案是——很困难。这一发现的时间尺度可能是几个小时也可能是几个世纪，也许明天当我为了解物理方面的新闻而浏览每天早上都要查看的网站时，发现某个默默无闻的研究生写的一篇文章已经把它全部展示出来了。再者，它可能不会在本世纪实现，但我认为它将会实现，当它真的实现时，它将会结束科学史上的某一章：探寻成为一切基础的基本原理[①]。

很可能我们以这样的方式所发现的这个终极理论，在其仅仅是基于几个基本原理建立起来的意义上，将是非常简单的。它或许在下列意义上还将是非常脆弱的，即它将不可能在理论上做出任何微小的变化，而不会使其成为逻辑上不自洽的。沿着这个方向我们已经走过了一条了不起的路。例如，量子力学，在20世纪20年代中期发展起来，直到今日没有任何实质性变化地存活了下来。如果你尝试设想一个类似于量子力学但只是稍有不同的理论，就会发现它们总涉及一些诸如负概率的逻辑荒谬性或引发下面的一些效果。当你把量子力学与相对论结合起来时，这种脆弱性增加了。你发现，如果你不去仔细地构造一种相对论量子力学，则当你问一个合理的问题，比如问及某一反应率时，就会得到一个不合理的回答——该反应率为无穷大。

---

①在更长的 *Dreams of a Final Theory*（Pantheon，1993）中，我写了相关的内容。

仅有限的几种类型的理论能避免这种无意义的无穷大[①]。这种脆弱性是好事，因为它可以朝着告诉我们为什么自然规律是它们现在这个样子推进几步。我们可能希望在它具有更大脆弱性的情况下，一个终极理论将不包含任何自由参数，比如像标准模型那样的粒子质量，它们的数值不得不取自实验，而我们一点也不理解为什么这些数字是它们现在所取的值。脆弱性也给了我们的理论很多的美，就像肖邦的华尔兹舞曲通过我们的感官呈现出美，它的每一个音符都不能改变一样。

实现一个终极理论将是一个伟大的成就，但它不会完全令人满意，因为尽管那时我们将会知道为什么这个理论与其他自洽的理论不是略有不同，但我们将永远不知道为什么这个理论并不是完全不同的某种东西。例如，如果你愿意或者放弃量子力学，或者和相对论一起都放弃，那么你可以构建任意多个逻辑上自洽的理论，但它们都不能描述现实世界。

另一个限制：这个理论，尽管我称之为终极理论，不会是科学之路的尽头。它将不会是有时人们所称道的包罗万象的理论，一个解决了所有科学问题的理论。我们已经有很多根本得不到解释的科学问题。其中之一取自物理中的一个问题，是理解一个变成湍流时的流体的流动。这个问题摆在我们面前已经有 100 年；它仍然未能解决，而且在基本粒子的终极理论成功之后可能仍然毫无解决办法，因为我们已经理解了关于控制流体的基本原理所需要知道的一切。我们只是不知道如何处理复杂类型的流体流动，其中的旋涡被包含于更大的旋涡内，而后者又被包含在更大的旋涡内等，即充分发展的湍流的特点。与许多极有趣的物理问题一样，计算机只能有限地帮助理解流体的湍流，因为它们只告诉我们在各种各样的特殊情况下会发生什么，我们也可以由实验认识到这些。我们真正想要弄明白的是在所有的情况下充分发展的湍流的普适性质。

当然，物理学的一个终极理论对我们生物学领域的朋友就没多大用处。很有可能生物学的发展已经并将继续对人类文化产生最大影响。人类思想史上一个最伟大的时刻是 19 世纪达尔文（Darwin）和华莱士（Wallace）的发现，即要解释物种的进化不需要任何神的干预或所谓的“生命力”。生命不是由独立的基本生物学规律所控制的——它可以被描述为物理学和化学在数十亿年内产生的偶发事件的效应。就在不久之

①附注：严格地讲，只有在如果我们坚持的理论在所有的距离尺度上都描写自然的情况下，这才是正确的。存在一大类所谓的有效场论，它们在可以达到的距离尺度上提供令人满意的近似，但在非常小的尺度上失去了其有效性。据称，今天一些成功的场论，如广义相对论和基本粒子物理学的标准模型，都是有效场论。对于有效场论的大距离近似都要受到严格的限制，但不像那些描写所有距离尺度自然规律的理论所必须满足的那么严格。

前，许多人的宗教信仰还是基于设计论证，这种论证认为生物的那些奇妙特征，没有一个神的计划不可能产生。利顿·斯特雷奇（Lytton Strachey）讲述了红衣主教曼宁（Manning）正是如何以这种方式获得他的信仰的。现在我们明白进化如何可以通过随机突变的自然选择发生，设计论证对于那些对生物科学具有一定理解的人失去了力量。

生物学面对的巨大挑战是理解行为，这似乎远比理解生命的其他各个方面困难得多。谈论有关行为问题偏离了我的专业领域，但我要说我并不认为这是一个不可逾越的科学问题也许可以得到原谅。很可能这个问题在人类这里不会首先得到解决，而在一种已经被研究很多的线虫身上得到解决，其全名我既不会拼也不会读，但它被缩写为 *C. elegans*（秀丽隐杆线虫）。这种线虫就像老鼠和果蝇一样，是生物学家研究的一种经典的动物。线虫有其完整的神经系统，几年前已经被描绘出来了，但是我们不了解它的行为，因为我们不知道支配其行为的程序。我们处于像一个工业间谍那样的境地：他买了一台个人计算机，可以绘制出其中央处理器芯片上每一个晶体管的连线和定位他的硬盘上的每一个磁化点，并且从正在计算机上使用 Windows 操作系统的人的肩膀上看过去，却弄不懂晶体管和磁化点如何使操作系统工作。（我不知道为什么会有人想偷那个特定的操作系统，但是我们都同意这是一个非常困难的问题。）

这个问题一直没有得到解决，但这对 *C. elegans* 似乎不是不能解决的，而且这个问题最终在人类这里也将被解决。我并不是说我们将来一定会解决困扰哲学家的那些意识问题。（当我们看到的颜色都是红色的时候，我怎么知道你我所感知的是同样的东西呢？）但我的确认为我们将会理解行为，而且会认识到意识的任何方面对于理解行为都是必要的。这不会是一个像日食和月食理论那样的完全的预测理论，因为行为太复杂了以致做不到这一点，但是它更像我们的天气理论。我们并不总是能预测天气，但我们清楚地知道天气是如何工作的。

在这一切之中隐含着一个保守的假设，即科学将会沿着由伽利略和牛顿开创的道路无限继续下去：除了历史的偶发事件之外，对于所有的现象，包括生物学及物理学，越来越综合的数学规律的发现将越来越多地被明显考虑。我不能肯定这是正确的。正如中世纪亚里士多德学派（Aristotelians）几乎不可能想象牛顿风格的科学一样，因而可能轮到我们现在无法想象未来的科学。但我看不到这种变化的丝毫进展。

我曾描述过的物理学的发展，已经阐明了宇宙的未来。事实上，与预测选举或者股市市场未来的问题不同，对宇宙的未来作预测比计算过去一定发生的事要容易得多。宇宙正在膨胀和冷却，所以当你回头朝着

逝去的时间看过去时，你必须考虑一个巨大的密度和极高的温度的时代，那是一种我们目前的理论变得不适用的密度和温度。没有一个终极的、普遍适用的理论，我们就不能从理论上看穿最初的一秒的极小部分，了解大爆炸最开始发生了什么。但展望未来我们看到，宇宙将膨胀，密度变得越来越小而且越来越冷，于是——至少对最初的那一会儿——描述起来越容易。

我的意思是说宇宙的膨胀需要解释，因为对于它的误解层出不穷。当天文学家说宇宙正在膨胀时，他们并不是指空间在膨胀，虽然有时我们中的一些人对于这种说法总感到内疚。束缚在一起的一些物体，像星系和太阳系以及卷尺，并不膨胀。事实上，假如卷尺和其他的一些长度及别的每一种东西的标准都以一种与宇宙膨胀相同的方式膨胀的话，你怎么会知道是什么东西在膨胀呢？当我们说宇宙在膨胀时，是指不受引力束缚而在相互环绕的轨道上运动的星系彼此正在飞离开。我们的银河系（Milky Way galaxy）是所谓的本星系群的一部分，后者不仅包含我们的星系，还包含位于仙女座（Andromeda）的大旋涡星系 M31，而且还有若干比较小的星系，它们都靠引力彼此维系在一起。本星系群不膨胀；事实上，仙女座星系和我们自己的星系正在或多或少地向着对方运动。但任何一对不像本星系团那样束缚在一起的星系，都彼此飞离。这正是我们谈到宇宙在膨胀时所指的意思。并不是说我们自己的银河系是特别排斥的；相反，宇宙中充满了彼此飞离的星系，就我们所能够说得上来的，它们充满了整个空间，没有中心也没有边缘。

我们实际上不知道宇宙的膨胀是否将永远继续下去。可能即使那些彼此没有束缚成为星团（clusters）或小的本星系团（local groups）的星系，最终也将被整个宇宙的能量，包括由粒子质量锁定的能量（根据爱因斯坦关系 $E=mc^2$），产生的引力拉回到一起。是否将发生这种现象取决于在每立方米的宇宙中平均有多少能量、这种能量随时间如何变化，以及宇宙的膨胀速度。如果单位体积内能量太少并且宇宙的引力场太弱以致不能终止膨胀，则宇宙会永远继续膨胀，越来越冷，越来越空。如果在每单位体积的粒子质量中能量太多，则膨胀会停下来，然后逆转，再现早期宇宙的炎热致密的条件。选择处于极冷和极端紧缩之间。

令人惊讶的是，过去几年的天文观测表明，事实上，宇宙的膨胀根本不是减慢，而是相当程度上的加速。如果每个星系从一开始一直以一个恒定的速度移动，那么到现在任何典型的星系会达到的远离我们的距离都将正比于这个速度——走得越快，达到的距离就越远。如果，像我们曾经一直以为的那样，在引力作用下它们一直在慢下来，那么虽然比较快的星系会比慢一些的离我们更远，但假如它们的距离正比于它们的

观测速度的话，它们就不会像现在这样远了，因为我们正在观测的离开我们的速度是很久以前该星系具有的速度，我们观测到的光是它们的恒星发出的，且如果它们正在放缓下来，那么很久以前它们会一直以比从那时以来更快的速度移动。

事实上，两大组天文学家［高-Z 超新星搜索小组（High-Z Supernova Search Team）和超新星宇宙学工程（Supernova Cosmology Project）］最近发现，遥远的星系与我们的距离要比假设星系的距离与观测到的速度成正比给出的距离远得多，这表明它们一直是在加速而不是减慢的，因为我们现在看到的光是早已离开恒星时的①。关于这种加速的原因，我们能够给出的最佳说法是，除了通常物质的质量中的能量之外，空间本身可能存在一种“真空能量”。

自从爱因斯坦第一次把他的注意力转向宇宙学②，关于真空能量（有时称为“暗能量”）就一直有一些猜测，而且在很长时间里人们认为真空能量会产生一种反引力，它导致彼此有很大距离的星系之间有一种排斥力，但是迄今为止我们没有任何可靠的方法预言这种效应的大小，或者它是随时间如何演化的。这是物理学及宇宙学的一个基本问题。目前弦理论的缺点之一是它们或者做不出关于真空能量的任何预言，或者预言值太大以致与观测不自洽。因此，还没有一种终极理论阻碍了预言宇宙的未来及其过去。

因为我们判断星系的距离是根据它们所包含的东西的表观亮度，倘若从这些星系发出的光被沿着我们的视线的星际尘埃遮暗的话，遥远星系看上去会比它们的实际距离更远些，幸运的是，有一种方法能把这种遮蔽与真空能量效应区分开。当宇宙中的物质成团变得不是太紧密，而每单位体积真空能量被预期（至少粗略的）为常数时，则每单位体积粒子质量中的能量在早些时候比现在更大。所以在甚早期，质量能量会盖过真空能量。

这意味着，虽然有真空能量存在，在甚早期宇宙的膨胀一直在减

---

①遥远星系的速度通过多普勒效应，即从星系的恒星发出的光波长增长的效应来测量。测量星系的距离要难得多。所需的是一个“标准烛光”，它是一种在很远的距离可以看见的物体，它的发光率已知，使得我们可以从它的表观亮度判断其速度。通过使用新的标准烛光，使获得宇宙是加速膨胀的发现成为可能：白矮星的热核爆炸和所谓的 Ia 型超新星爆炸。

②爱因斯坦在 1917 年对于他在 1915 年建立的广义相对论方程引入了一个称为宇宙常数的修改，它完全等价于对每单位体积的真空均匀恒定地增加一份能量。量子力学出现以后人们认识到，不确定性原理不允许场有任意的常数值，即使在所想象的真空中也不行，以致在这些场中涨落不可避免地也要对于真空能作贡献。在一些现代理论中，存在一种附加的伴随宇宙演化的真空能，这有时称为以太（quintessence）。

慢，而不是加速。这样，尽管（如所观测到的那样）适当遥远的星系会比如果距离正比于观测速度时它们可能的距离要更远些，一个极其遥远的星系，我们测量了它在甚早期时的速度，比如果距离正比于观测速度时它可能的距离更靠近我们，因为它会在减慢一段时间后才开始加速。从这样一颗极远星系来的光，看上去会比如果星系距离正比于它的观测速度而星系之间的尘埃不可能产生影响时它的样子更亮。今年的早些时候天文学家们宣布，通过研究一颗于 1997 年在一个以非常高的速度飞离我们的星系中观测到的超新星，他们发现的恰是这种效应。

如果宇宙的加速继续下去，就像假如它是由一个常数的真空能量所产生的那样，我们肯定会处在极其寒冷而不是在一种极度压缩之中。再有，在关于加速速率的合理假设下，我们就会被所谓的事件视界所环绕：超出某一距离的任何星系都会永远不可观测。即使我们现在乘坐一只空间飞船以光速出发飞行，我们也绝不会追上超出事件视界的那些星系，因为我们朝着它们飞行得越久，它们离开我们就越快。更进一步讲，随着时间的流逝，越来越多的星系离开我们的事件视界，而变得永远不可及。如果想要探索本星系团（被我早些时候提到的引力维系在一起的星系团，包括我们的银河系和仙女系）外面的宇宙的任何部分，那么你将不得不在下一个 1000 亿年左右做这件事，在那以后就会太晚了，因而你将绝不能访问超出本星系团的任何一个星系了。

也许到此为止的整个讨论一直是很有局限性的。现代宇宙学中最令人感兴趣的想法中有一些包含扩充“大爆炸宇宙学”的可能性，我曾经把它描写为只是在一个更大的多重宇宙（multiverse）中的一个片断，在多重宇宙中大爆炸此起彼伏不断发生。也许像我们宇宙的大爆炸过去曾经发生过无数次，而且还将一次次发生。我们现在离弄清楚这是否是真的还非常遥远。最大的障碍，我认为，并不是缺少合适的天文观测，因为很难看到观测天文学可能解决这个问题的任何方法，而是缺少一个基本的物理理论。多重大爆炸的思想源自关于可能出现在一种基本的物理理论中的某些场的一些推测，但是迄今它们还只是些推测。当我们发现了我所谓的终极理论时，无论它是一个弦理论还是一个其他什么理论，我们将会知道的事情之一，是对于我们的大爆炸是否解释整个宇宙的问题的回答。但是即使它解释不了，我们也将永远受困于我们自己的大爆炸之中。

在这种不断膨胀的宇宙中，对于我们，会有什么样的未来呢？在《时间机器》（*The Time Machine*）中韦尔斯（H. G. Wells）讲述时间旅行者如何旅行 3000 万年，在越来越冷的太阳下站在海滩上，大海开始冻结，一个足球大小的圆形的东西，生命的最高形式，断断续续

地在沙滩上跳来跳去。我们现在更明白了。太阳是一个所谓的主序星，这意味着它通过在太阳核心内氢聚变成氦的核反应获得能量。随着氢被用尽，太阳将先变热，而不是冷下来。我们的海洋将会在35亿年左右[①]沸腾。

最终，太阳将膨胀成一个红巨星，核心内再没有氢可用。如果你想看看那时太阳看上去会是什么样子，可以瞧一眼猎户座。在这个星座的一个角落里，有一颗明显的红巨星参宿四。我们的太阳在70亿年左右会变成一个像参宿四一样的红巨星。

我们真的不知道那时地球是否将会毁灭。也许它将会遭受从膨胀的太阳来的大气的拖拽，就像大气的拖拽使人造地球卫星几年后降落下来一样，这个阻力将导致地球盘旋降落到太阳上。或者也可能是，由于太阳风把越来越多的质量从太阳带走，地球的轨道将扩大，地球将会逃脱被卷进太阳的厄运。但是随着海洋的消失，谁还会在乎呢？

最终，太阳将变得越来越暗，成为一棵矮星，或许就是所谓的白矮星，大约像现在的地球一样大。在那之前很久，人类这个物种或许就已经消失了，或许我们将与我们的地球一起移居到宇宙的其他地方了。就在现在，看来甚至在征服我们自己的太阳系中的其他行星方面我们都不是非常活跃。人类并不是按照科幻小说作家预期的那样行事的。

我的猜测是，虽然考察队将在火星、小行星及木星卫星和其他外行星，或许最终在其他恒星周围的行星上建立科学站，但我们并不打算征服它们中的任何一个非常长的时间。在某种程度上，我的观点是基于我们在南极洲取得的经验。我们在南极洲有科考站，但是有什么人想过构建一个经济上自给自足的永久殖民地吗？然而，相比火星，南极洲是天堂。所以只要我们不是去征服南极洲的话，我就不能想象为什么我们会去征服火星和木星的卫星，更不用说一颗遥远恒星的行星了。但是我们最终将会有一个征服其他行星的动机，至少是在35亿年内在海洋开始沸腾之前。所以，人类的未来可能最终更多地取决于宇宙的未来而不只是太阳系的未来。

新的恒星将继续形成并在相当长的一段时间内提供核能量的来源，因为在银河系和其他星系中有很多尚未形成恒星的星际气体和尘埃。但是恒星的形成将需要大约1万亿年。

---

①在这篇文章中的这些数字都是基于许多物理学家和天文学家的计算得到的，它们概述在两篇优秀的评述文章中：Freeman J. Dyson，“Time without End：Physics and Biology in an Open Universe”，*Reviews of Modern Physics* 51，no. 3（July 1979）：447-460；Fred C. Adams and Gregory Laughlin，“A Dying Universe：The Long-term Fate and Evolution of Astrophysical Objects”，*Reviews of Modern Physics* 69，no. 2（April 1997）：337-372.

在这里，我不得不停止使用像 10 亿和 1 万亿这类词汇，而开始用通用的科学语言，把大数表示为 10 的幂。1 万亿年是 10^{12}，这意味着它是把 10 自乘 12 次。或者你可以把 10^{12} 看作意味着 1 的后面跟着 12 个 0。一般来说，恒星的质量越低，它演化得越慢。最低质量恒星产生的能量将在大约 10^{14} 年——100 万亿年消耗完。然后这个星系将只包含褐矮星和白矮星，它们不再靠核反应提供燃料，再加上几个中子星，它们本质上只是直径几英里大的原子核，以及黑洞。

这些残骸的合并将会引起一些恒星重生，因而核反应有时会再一次开始。但过了一段时间之后，这个过程也就差不多结束了，因为星系将会蒸发。大多数恒星现在维系在它们星系的引力场中，没有机会从星系逃脱，就像月亮不会有机会从地球的引力场逃脱一样。但两颗恒星有时会靠得足够近，以致其中一个得到了足够的速度而达到逃逸速度，因而离开它的星系。这种过程是非常缓慢的，因为恒星不会很经常地彼此接近。但在 10^{18} 年内星系将会蒸发得相当厉害，从而终结了恒星的重生。

我在 1977 年写的书《最初三分钟》的最后一章曾说过，宇宙“面临着未来无尽的寒冷或者难耐的酷热而灭绝”，因而我得出的结论是：“其中的任何一种情况都不会太舒服。”弗里曼·戴森（Freeman Dyson），一位我所知道的最敏锐的和富有想象力的科学家，被这段评注感动，写了一篇得出比较乐观结论的文章[①]。他承认，对于处在一个大的危机中的我们来说，没有任何希望。但是他说在严寒的情况下（它似乎为我们储备好了）——即使在不断加深的寒冷之中，物理过程会越来越慢——我们的后代或许能减缓他们的思维速度，以致总是有无穷多种想法留给他们去想。

戴森还想到极富想象力的缓慢的能量来源，如冷聚变，即接近或低于室温的核聚变。当然，大多数科学家对这种近年来一直成为新闻的冷聚变持怀疑态度，但是如果给予足够的时间，戴森版的缓慢的聚变真的会发生。分子或晶体内的原子核被静电力的势垒分隔开，它通常会阻止它们彼此发生反应，但是事实上它们可以慢慢地渗透穿过势垒，发生接触，从而可以引发核反应。这样，在被烧尽的恒星中的一团碳最终将变为铁，释放出核能。但这是一个如此之慢的过程以至于无法想象。戴森估计，在较低的温度下碳聚变成铁可能需要 10^{1500} 年的时间。

戴森可能过于乐观。有充分的理由认为构成所有普通物质的质量的绝大部分核粒子在可能发生冷聚变之前，早就衰变为较轻的粒子了。在

①Dyson，“Time without End”.

正常环境下核粒子似乎是稳定的，但是人们普遍预计它们实际上要衰变[①]，半衰期在 10^{32} ~ 10^{37} 年范围内，远远短于戴森的冷聚变所需的时间。

这是另一件没有一个更全面的物理理论我们就不可能预测的事，但有一个机会，如果物质确实会以这种方式衰变，则这个衰变就可以被观测到。这看上去可能是荒谬的，但你不要取一个核粒子并等待 10^{32} 年来寻找这个衰减；相反，你可以取比 10^{32} 还多的粒子，它们的质量约为 100 吨，因而你只需等待几年。这样，它比起前者难度小多了。但是，利用像日本那种在矿井中的巨型水箱，如果核粒子的衰变率在我们所预期的高端的话，它很有机会在接下来的几年中被发现。

当戴森写下他的文章时，关于核粒子衰变的这些推测还完全是新的，因此他没有对此予以太多注意。但是如果它们是正确的，那么在 10^{40} 年之后将不会有原子核剩下来，因此也就没有了原子或分子。宇宙中唯一存活下来的将是辐射，以及可能有一些电子、中微子、反电子和反中微子。宇宙将会是一个非常阴暗的地方。

这并不完全正确，因为宇宙还包含一些黑洞。并不是说黑洞不是由原子核粒子构成的，正如通常的恒星一样，黑洞也是由原子核粒子与电子构成的，但是黑洞是如此紧密，以至于它的引力场阻止光从它的表面逃逸，同时任何恰好从它表面逃逸的光被阻滞得如此之慢，以致对于一个外部观察者而言，黑洞表面的时间似乎是停止的。从掉进黑洞的一个观察者的观点看，原子核粒子的衰变似乎有着与在地球上所观测到的相同的（或者我们将希望的）半衰期，但是从远离其外部的观察者来看，它们似乎活得太长太长。但是黑洞本身要辐射出能量，这使得有着与太阳相同质量的一个黑洞无论如何都会在 10^{66} 年左右消失。一个星系大小的黑洞活得更长些，或许有 10^{100} 年。最终，黑洞也都将消失。如果时间旅行者能远远走在时间前面，他就会发现，没有海滩，没有行星，没有恒星，没有原子，除了“爬行的杂音和凝视着的黑暗”什么都没有。

我在这里所呈现的人类未来的观点，并不完全令人愉快。撇开我们关于宇宙遥远未来的那些凄凉的预言，我们在短期内或许能发现一些自然的基本规律，但是我们永远不会知道为什么它们都是真实的。据我们所知，这些规律都将是相当客观的，未显示出任何涉及人类的迹象。而且，虽然我们可以学会如何拥有所具有的价值观，并且科学知识无疑会

①通常这被称为质子衰变，即使在原子核内与质子一起的还有中子，因为自由中子大约 10 分钟就很快地衰变成质子，而自由质子有如此长的寿命，以致它的衰变还从来没有被观测到过。但在普通的非放射性核（像大多数元素最常见的同位素的原子核）中的中子预期会像质子一样缓慢地衰变，因此这样的核内的中子衰变的发现正如质子衰变的发现一样令人兴奋。

继续使我们改进能力以获取我们所重视的东西，但是科学中没有任何东西能够告诉我们应当重视什么。

我想这是一幅相当悲惨的人类生活的景象。但它不是源自于科学家。例如，它在莎士比亚（Shakespeare）的戏剧中曾被美好地表达出来。当普罗斯佩罗（Prospero）描述所有的东西会怎样“逐渐隐去，就像这种消退着的华丽盛会，丢弃的并不是一种痛苦”时，他或许几乎一直在想着质子的衰变或黑洞。泰坦尼亚（Titania）和迪米特里厄斯（Demetrius）[①] 的爱情提醒我们，我们看重的事情，常常由很偶然的因素所决定。我们大多数人，像莎士比亚一样，对宇宙的焦虑远不如至多大约100年后每个人的世界将不复存在这样的现实重要。在《辛白林》（Cymbeline）中盖德留斯（Guiderius）唱道：“黄金般的少男少女们都一定像烟囱清洁工一样，归于尘土。”但是我们的悲剧不是像李尔王（Lear）或奥赛罗（Othello）的悲剧。他们的悲剧是在莎士比亚的剧本中，而我们的悲剧在于没有任何脚本。

或者说，我们必须编写自己的脚本。我们可以为自己决定在我们的传统价值观中坚持哪些，比如彼此相爱，以及舍弃哪些，比如女性的从属地位。并且，我们还可以发明一些新的价值观。虽然意识到宇宙中没有任何东西暗示是以人类为目的的，但有一种方法人类可用来寻找目的，那就是依据科学方法研究宇宙，而不必利用关于未来或关于我们自己的童话故事来安慰自己。

这篇文章受到了2002年3月号《纽约评论》上发表的两封来信的批评。一封信是由哈佛大学的一位人文学科的退休教授鲁思·哈伯德（Ruth Hubbard）写的，他问我是否没有意识到我刚刚提供了另一个童话故事，给人以或多或少的一些安慰，依赖于个人的口味。另一封信是由尼科斯学院（Nichols College）的一位教授马克·瓦格纳（Mark Wagner）写的，他批评我的这样的说法：“宇宙中没有任何东西暗示是以人类为目的的。”我通过讲清楚应该被附加到关于宇宙命运不同预测中的确定性和不确定性的程度给出了回答，而且继续给出如下的说法：“所有这一切既不是一个谬论，也不是一个童话——我们现在能做到的最好的恰是预测宇宙中实际上会发生什么。在人类以这种方式认真思考未来的能力方面，我找到了一些安慰，

①泰坦尼亚和迪米特里厄斯是英国剧作家威廉·莎士比亚著名喜剧作品《仲夏夜之梦》中的人物。——译者注

尽管哈伯德教授十分正确地说，这是一个口味问题。但无论人们在安慰方面的口味如何，毫无疑问，正视关于宇宙科学研究所揭示的一切是一条崇高的途径，它并非痴心妄想，既不要求它应当安慰我们，也不应当赞美个别人，这正是瓦格纳教授所希望的，只是要问一下那是否可能是真的。”

5 暗 能 量

2001 年不仅是新世纪的第一年，也是诺贝尔奖的 100 周年纪念。12 月在斯德哥尔摩有一个历届诺贝尔奖得主的大聚会，伦敦的《泰晤士报高等教育增刊》也为这个盛会提供了一个特别版：诺贝尔奖 100 年。诺奖得主亨利·克勒托（Harry Kroto）是这期的客座编辑，纳丁·戈迪默（Nadine Gordimer）、吉特·格拉斯（Gunter Grass）、莱昂·莱德曼（Leon Lederman）、詹姆斯·米立斯（James Mirries）、约翰·波拉尼（John Polanyi）、约瑟夫·罗特布拉特（Joseph Rotblat）和詹姆斯·维恩（James Vane）以及克勒托自己都利用此机会就面对我们这个世界的公众话题做了评论，而我却决定做一个与我们整个宇宙有关的科学问题的报告，这就是暗能量的问题，一个空间中小小的能量寄居者，我在这个集子前面的短文中简要提到过这一点。

这个问题在我的大脑中已经徘徊了许久，1988 年，在准备哈佛大学系列演讲时，我审视过各种为什么存在暗能量的解释，如果它存在的话，是如此之小以致一直没能被探测到的解释，并且得出结论，只有一种解释可能行得通，这就是前面短文中提到的多重宇宙的想法。1998 年在得克萨斯大学，雨果·马特尔（Hugo Mantel）、保罗·萨皮洛（Paul Shapiro）和我一起对这种思路所能得到的暗能量做了一个估计，我们发现它将大到足以产生一个可观测的宇宙膨胀的加速。在同一年，两组天文学家发现：宇宙的膨胀确实在加速。

我的题目是真空空间的能量。这似乎有点像非常不靠谱的课题。不过，真空空间真的是空的吗？不完全如此。事实上，我们对真空空间能量了解的失败是今天基础物理和宇宙学未来发展最重要的拦路虎。

海森堡的不确定原理告诉我们空间不可能是真的真空。在我们最熟悉的形式中，这个原理告诉我们：一个粒子的位置和它的位置的变化率——粒子速度——不可能同时都具有确定的值。类似的不确定原理

可以应用到场，诸如电、磁和引力场。在任意给定点的场和它的变化率不可能同时都具有确定值。特别是，这些场中的任意一种场在假定的空的空间中不可能保持为零；如果一种场碰巧在某一瞬间为零，则它的变化率可能具有任意值，所以在以后的任意一刻，这个场就能有任意的可能值。这些连续涨落着的场把能量赋予自身的任意空间，该能量正比于这部分空间体积，不论这部分空间是否包含正常物质。

谁会在意它呢？通常来说重要的不是能量，而是能量之差。为了解从一个滚下山的球中能获得多少能量，我们必须要问球在山顶和在山脚下的重力势能的差是多少。然而，不管那里有什么东西，空间中的能量总是在那里，因而对任何两个态的能量差都没有影响。

自然界中确实有一件事与能量本身有关，而不是仅仅与能量差相关，那就是引力。太阳的引力场不仅仅来自于太阳的质量，还来自于它的热能，如果太阳是冷的，地球还要保持在它的轨道上，就要绕太阳转得稍快一些。在宇宙中有很多空间，它的能量对宇宙的引力场有贡献，而引力场反过来又主导着宇宙膨胀的方式。这样就提供了真空空间能量的实验上限。根据它的符号，太多的暗能量要么在现在之前就已经中止了宇宙的膨胀，要么已经把宇宙的膨胀加速得太快了，以至于已经没有时间去形成银河或星系。

那么我们期望在每立方英尺[①]的真空空间中有多少能量呢？乍一看，似乎电、磁和引力场的量子涨落会给每一立方英尺的真空以无穷大的能量，但这荒唐的结果仅适用于这样一种情况：在那里包括了从一英尺降到零的、任何可能的波长的涨落贡献。这并未被证实，因为我们真的不太清楚很小波长涨落的行为。如果我们在这个计算中只包括比在粒子加速器中已探测过的最短距离——大约 10^{-16} 厘米大的波长，则计算将给出一个每立方英尺有限的能量，但这是一个比宇宙正在这样膨胀的观测结果所限定的值要大得多的能量，太大了。事实上，大了 10^{56} 倍。如果暗能量真的要这么大，那么宇宙将会演化得太快，以致没有时间让银河系或行星或生命出现。

这是个谜，但不是佯谬，因为暗能量还有其他来源的贡献。1917年爱因斯坦提出在广义相对论的场方程中引入一个修正，就是熟知的宇宙常数，它等价于把一个每单位体积的恒定能量赋予空的空间。所以，如果量子场的涨落给予真空某种巨大的正能，比观测所允许的值要大 10^{56} 倍，我们可以假定，爱因斯坦的宇宙常数应给出一个同样巨大的能量，但是是负的，以致这两种能量互相抵消。但是，要避免与观测结果

① 1 英尺 = 0.3048 米。——译者注

相矛盾，这种抵消要精确到小数点后56位，这似乎太不可思议了。

这个谜是现代物理行为方式的一个非常好的展示。发明一个符合所有数据的暗能量理论并不困难。我们可以按照爱因斯坦的方法，引入一个宇宙常数，调节它的大小，以致纯的暗能量可以小到能避免与观测结果相冲突的程度。但是我们的目标不仅仅是发展一些与观测结果一致的理论，我们的理论要能解释自然界为什么是它现在的样子。迄今为止，我们尚未达到对这种真空能量的理解。

这种神秘性在物理学家的大脑中已经存在了几十年。我们大多数人假定存在着某种还未被发现的、要求能精确抵消暗能量的基本原理。我们认为我们最宏伟的引力和其他力统一的理论的最大不足，就是没能给出这种抵消的基本原理。而1998年天文学的观测结果让人大吃一惊，虽然真空能大大地小于所料想的那个数，但明显不为零。它似乎约等于包含在宇宙组分的质量中的能量（根据$E=mc^2$关系）的2倍。（这给我们提出了另一个疑问：单位体积内的能量通常假定大约是个常数，然而在粒子质量中单位体积的能量在宇宙膨胀时自然减少，那么它们为什么会在宇宙历史的这个特定时刻有相似的值？）

暗能量的这个值是从宇宙膨胀的研究中推断出来的，是由遥远星系急速离开我们的方式所认定的。如果我们观测的星系从开始就以一个恒定速度移动，那么任何星系的距离都应正比于它的速度。在缺失暗能量的情况下，我们预期星系会在它们相互间引力的作用下减速，这样它们在发射出现在看到的光时的速度，要大于它们在发射出光以后的速度。那么它们的实际距离就要小于如果它们的速度是常数时的距离。事实上，似乎这些距离比如果它们的速度是常数时的距离大，这说明它们不仅没有慢下来，反而加速了。这就是所预期的正的暗能量引起的效应。顺便说一下，如果宇宙继续加速膨胀，就会存在一些星系，它们发出的光将永远到达不了我们这里，并且最终所有超出我们本星系群的星系对我们来说都是不可见的。

不论暗能量是否真是零或具有最近观测所确定的值，毫无疑问，与我们依据量子场涨落能量的估计值所期待的数值相比，它难以置信的小。人们提出了很多种解释，可能一些场自动调整它的值以几乎抵消所有的暗能量，也许某个未知的物理原理支配宇宙向暗能量为零的状态演化，所以，由于我们的宇宙已经很老了，现在暗能量才这么小。也许宇宙大爆炸只不过是多元宇宙中的一个情景，而在这个多元宇宙中有无数个大爆炸已经发生，并且将要发生，每个大爆炸事件对类似暗能量那样的基本物理常数都有不同的值。在这种情况下，任何要询问暗能量的人都必须处在某个大爆炸产生的宇宙中，而这个大爆炸中的暗能量纯粹偶

然地足够小，可以让时间演化到允许他问这个问题的那个时刻。任何真正的解释注定都是有意思的。

自这篇短文发表以来，对宇宙微波辐射背景（从大爆炸只有38万岁的时刻遗留下来的无线电波微弱的飒飒声）的研究确认了暗能量的存在。现在天文学的热点问题是，要测量在空间单位体积内的暗能量是否一直保持为常数，或者当宇宙膨胀时随时间演化。美国国家航空航天局和能源部共同资助了一个联合卫星发射任务，旨在测量在过去的100亿年中的不同时刻暗能量的大小，天文学家也有用地基望远镜进行类似测量的计划，诸如在西得克萨斯（West Texas）州的霍比－埃伯利（Hobby-Eberly）望远镜。



6 那些伟大的方程是如何留存下来的

编辑们定期给为大众写通俗文章的科学家们强加一个要求：不要用方程。因此，对格拉汉姆·法尔美罗（Graham Farmelo）——一位物理学家和物理方面的科普作家来说，必须鼓足勇气把那些短文收集在一个文集里，《它一定是美丽的——现代物理的伟大方程》，来特别论述某些科学的标志性方程。2002 年，这个文集由格兰塔图书公司（Granta Books）出版，居然真放了差不多 6 个方程。文集中的一些作者是我的朋友，包括历史学家彼得·格利森（Peter Galison）和亚瑟·米勒（Arthur Miller），以及物理学家罗格·潘罗斯（Roger Penrose）、克利斯蒂·萨腾（Christine Sutton）和弗朗克·维尔切克（Frank Wilczek），还有一些我没有接触过的但很欣赏他们的作品的作者，包括生物学家罗伯特·梅（Robert May）和约翰·梅纳德·史密斯（John Maynard Smith）。

我接受了撰写文集编后记的任务，评述在我们有关自然的理论中，留存下来的方程是多么伟大，即使最初建立方程时科学家们的某些初始想法已不再被认可了。这篇短文涉及麦克斯韦（Maxwell）的电磁方程组以及爱因斯坦的广义相对论方程，但未对狄拉克（Dirac）的电子波动方程给予特别的关注。这部分是由于个人的不满。作为一个学生，当我学习狄拉克方程时，给予这个方程的根据就是激发保罗·狄拉克动机的东西，我怀疑现在还是这么教的，尽管按照当前的理解这是毫无意义的。但不管怎么样，这个方程作为我们最出色的现代理论的一部分留存下来了，并将一直存在下去。这是我想在这篇短文中解释的事情。

要把今天的我们放到生活在 20 世纪的那些人的思维框架内是非常困难的，但是他们的许多作品——大楼、道路、艺术品都留了下来，而

且其中不少还在使用。同样，尽管我们常常很难理解过去的那些并不知道我们所有的知识的科学家的想法，但那些带着他们名字的方程——电磁场的麦克斯韦方程、引力场的爱因斯坦方程、量子力学波函数的薛定谔方程，以及在本文中讨论的其他方程——仍然与我们在一起，而且仍然有用。就像大天主教堂是中世纪精神的纪念碑一样，这些方程是科学进步的丰碑。是否会有那么一天，我们不用再去教学生这些伟大的方程了呢？

虽然这些方程是科学知识的永恒部分，但对它们的有效范围以及它们为什么在这些范围内有效的理解却有了意义深远的改变。我们不再如同麦克斯韦那样，把麦克斯韦方程视为在以太中的张力的描述，甚至不再如同他的同僚物理学家奥利弗·希维塞德（Oliver Heaviside）所为，把它视为电磁场的精确描述。自 20 世纪 30 年代以来我们已经知道：支配电磁场的方程包含无数的额外项，它们正比于越来越高的场和场振动频率的幂次。在可见光区我们习惯的频率和强度下，这些额外的项很小，但在强度很高的时候，这些项可以导致可观的交叉光束的散射。麦克斯韦理论是一个有效场论，它仅对足够弱且变化足够慢的场是一个很好的近似。

这些必须加到麦克斯韦方程中的额外项，起源于电磁场与不断地从真空空间中产生又不断湮灭的带电粒子和反粒子对的相互作用。在 20 世纪 30 年代使用量子电动力学——电磁学、电子和正电子的量子理论——计算了这些额外项中最大的项。量子电动力学本身并非最终的答案。在能量低到不足以产生 W 和 Z 场的量子的近似下，它来源于一个更基本的理论，现代粒子物理标准模型，这些出现在标准模型中的 W 和 Z 场为电磁场的姊妹场。然而，标准模型也不是最终答案，我们认为它仅仅是一个更基本理论的低能近似，而这个基本理论的方程可能根本不包括电磁场或 W 或 Z。

广义相对论方程也经受了类似的重解释。在推导该方程时，爱因斯坦以一个基本的见解为指导原则，即引力和惯性的等价原理，它导致了把引力解释为时空几何的曲率。但是它也引入了一个数学简洁的特别假定，这些方程的类型必须是二阶微分方程。这意味着在爱因斯坦假定的方程中，只有场的变化率（一阶导数）和变化率的变化率（二阶导数），而不能有更高阶的变化率。我不知道爱因斯坦在什么地方解释过他进行这个假设的动机。他在 1916 年关于广义相对论的论文中宣称存在“一个选择这些方程的最小任意性”，这是因为这些方程基本上是唯一可能的、与引力和惯性的等价原理相符的、引力场的二阶微分方程，但至少在那篇文章中他没有试图解释为什么那些方程必须是二阶的。也

许他依赖于一个也没有被解释的事实，即用引力场写出牛顿引力理论时，这些场所遵从的方程（泊松方程）就是二阶的。或者他也许觉得如此重要的方程必须尽可能简单。

今天广义相对论被更广泛地（虽然不是普适的）看作另外一种有效理论，它只适用于距离远大于约 10^{-33} 厘米和粒子能量远小于一个能量，即等于 10^{19} 个质子的静止质量的能量的情况。今天没有人想要（或至少没有人应该要）认真承担小距离或大能量的广义相对论的任何必然结果。

一个方程越重要，我们对它的意义的改变就越要警惕。没有哪些变化比对狄拉克方程的看法的变化更具有戏剧性。在这里，我们看到的不只是对为什么这一方程是适用的及在什么条件下适用的观点有改变，而且对这个方程到底是干什么的理解有了一个根本的改变。

保罗·狄拉克于 1928 年着手寻找一个要与狭义相对论原则相适应的、量子力学的薛定谔方程。薛定谔方程支配着量子力学的波函数，一个依赖于时间和空间位置的数值量，在任何位置及时间点，它的平方给出在那个时间和位置找到粒子的概率。薛定谔方程并没有对称地对待时间和空间，而那是狭义相对论所要求的。的确，方程中波函数随时间的变化率与波函数对位置的二阶导数是相关联的（即波函数对位置变化率的位置的变化率）。狄拉克注意到，一个自旋为零粒子的、相对论版的薛定谔方程［克莱因-高登（Klein-Gordon）方程］与概率守恒的原则不相容，该原则要求无论在什么地方找到粒子的概率必须永远是 100%。

狄拉克能够构建一个与概率守恒相符合的、相对论版的薛定谔方程，该方程从那时起就被称为狄拉克方程，但它描述的是一个自旋为 1/2（以普朗克常数为单位）而不是自旋为 0 的粒子。这被认为是一个伟大的胜利，因为通过几年前对原子光谱的理解，电子的自旋已被确认为 1/2。再有，通过研究外电磁场在它的方程上的效应，狄拉克还能够展示电子就是一个磁体，它具有的磁场强度就是荷兰实验学家萨谬尔·古德斯密特（Samuel Goudsmit）和乔治·马伦贝克（George Uhlenbeck）从光谱实验数据中推断出的数值，他也可以计算氢原子的“精细结构”，即仅因电子自旋相对于其轨道平面取向的不同所确定的态之间的微小能量差别。当狄拉克于 1984 年去世时，有一份讣告将为什么电子自旋必须为 1/2 的解释归功于他。

所有这方面麻烦出现的原因在于不存在狄拉克所寻找的那类相对论的量子理论。相对论与量子论的结合不可避免地会导向具有无穷多粒子的理论。在这种理论中波函数所依赖的真实的动力学变量不是一个粒子或一些粒子的位置，而是类似于麦克斯韦电磁场那样的场。粒子是这些

场的量子——能量和动量束。光子是自旋为 1 的电磁场的量子，而电子是自旋为 1/2 的电子场的量子。

归根到底，如果狄拉克的论证是正确的，那同样的论证必须能用于任何一种基本粒子。在狄拉克的分析中从未用到区分电子与其他粒子的特殊性质——例如，电子是在所有常规的原子中，在环绕原子核的轨道上发现的粒子。但是和狄拉克想的不一样，量子力学和相对论并不禁止自旋不是 1/2 的粒子的存在，而且现在我们知道这样的粒子是存在的。不仅有自旋为 1 的无质量的光子，还有自旋为 1 的有质量的粒子，W 和 Z 粒子，它们几乎和电子一样基本。在相对论量子力学中甚至没有任何东西可禁止自旋为零的基本粒子的存在。的确，这样的粒子出现在我们当前的基本粒子相互作用的理论中，并且实验物理学家们做出了巨大的努力来寻找这些自旋为零的粒子。

狄拉克理论宣称，作为最大的成果，它成功地预言了电子的反粒子——正电子，该粒子几年后在宇宙线中被发现。狄拉克察觉到他的方程具有负能解。为避免所有的原子、电子都萎陷成负能态，狄拉克假定那些负能态是几乎被填满的，以至于泡利不相容原理（它禁止两个电子占据同一个态）会使正能常规电子保持稳定。这些偶尔未填满的负能态被解释成一个正能的、电荷与电子相反的粒子，即反电子。但从量子场论的观点来看，没有理由说一个自旋为 1/2 的粒子必须有一个独立的反粒子。反粒子就是自身的、自旋为 1/2 的粒子存在于我们的某些理论之中，尽管迄今还未被探测到[①]。当然，量子场论告诉我们：带电粒子必须有一个独立的反粒子，而和自旋为 1/2 的粒子一样，它对自旋为 0 或 1 的粒子同样是正确的（它们不遵从泡利不相容原理），并且现在一个自旋为 1 的、具有独立的反粒子的基本粒子（W 粒子）已经被实验所证实。

在狄拉克的工作之后，有关这方面的困惑持续了很多年，甚至延续到了现在。20 世纪 50 年代，一台新的叫作 Bevatron 的加速器在伯克利规划建造，它第一次具有足够的能量产生反质子。有人提出反对意见：既然人人皆知质子必须具有它的反粒子，那么为什么还要设计一个锁定这个特殊发现的加速器呢？那个时候的一个回答是：质子似乎不满足于狄拉克方程，因为它具有一个明显强于狄拉克理论所预言的磁场，并且如果它不遵从狄拉克方程，那么就没有理由期望它具有一个有区别的反粒子。那时人们仍然理解不了狄拉克方程与反粒子的必要性没有什么关

① 附注：现在有可靠的证据显示中微子具有很小的质量，这要求把这些自旋为 1/2 的粒子看成它们自己的反粒子。

系这件事。当然了，反质子在 Bevatron 上被找到了。

那么，为什么狄拉克方程在预言氢原子的精细结构和电子的磁场强度方面那么好呢？这是由于量子力学和狭义相对论的融合要求一个量子具有 1/2 自旋且只和外电磁场相互作用的场必须满足一个在数学上等价于狄拉克方程的方程，尽管它具有非常不同的解释。这个场不是一个波函数，不像薛定谔波函数那样是个数值量，而是一个量子力学算符，它改变它所作用的物理态的粒子数目，并且不再具有在不同位置上找到粒子的概率的直接解释。通过把这个算符作用于包含一个单电子的态，我们可以计算这个粒子的磁强度，以及原子中这个粒子态的能量。由于电子场算符的方程在数学形式上和狄拉克波函数的狄拉克方程一样，计算的结果就刚好和狄拉克方程的结果一样了。

所有这些都是近似的。电子还和电磁场的量子涨落相作用，所以它的磁场及它在原子态上的能量与狄拉克计算的结果并不精确地相等，它还与原子核有非电磁弱相互作用。但这些在常规原子中的效应都很小。虽然基于狄拉克方程对原子结构的计算仅仅是近似，但它仍是很好的近似，并且继续是有用的。

不言而喻，当一个方程像狄拉克方程那样成功时，它绝不只是个错误。可能其作者假定的理由并不合适，它可能在新的范围内不再成立，甚至可能并不表示它的作者认为它意味的那些意思。我们的认识必须继续对这些方程的重新解释开放。现代物理中那些伟大的方程是科学知识的永恒部分，它们甚至可以和早年美丽的大教堂一样经久不衰。

7 关于导弹防御

差不多半个世纪以来，我一直以某种方式被卷入弹道导弹防御的研究。早在20世纪60年代初，我就是一名研究分辨携带真炸弹的弹头与诱饵的防御顾问，那时我参加并合作编写了参议员爱德华·肯尼迪（Edward Kennedy）负责的一本书，反对尼克松政权的“守卫者”（Safeguard）导弹防御系统，后来我在军备控制与裁军署（Arms Control and Disarmament Agency）做了一段时间的顾问，评估苏联的反导能力。从那之后，我以一己之力在各种非保密的出版物中撰写了有关导弹防御的文章。

2001年8月，乔治·布什（George W. Bush）总统宣布美国将于不久正式退出1972年与苏联签订的《反弹道导弹条约》[①]，这个条约限制了弹道导弹防御的研制和部署，对此参议院外交委员会（Senate Foreign Relations Committee）决定举行关于这个问题的听证会。我应委员会成员彼得·齐默尔曼（Peter Zimmerman）的邀请作证，但是听证会在2001年9月11日的大灾难后被取消了。于是国会反对总统倡议的努力失败了。这篇文章正是我准备的证词的扩充版本，但它始终未派上用场。它于2002年2月发表在《纽约书评》上，并且在2003年《最好的科学与自然著作》中重印。

2001年12月13日，布什总统宣布在六个月内美国将退出1972年的ABM条约，这个条约限制了俄罗斯和美国的实验，以及禁止任何国家进行导弹防御系统的部署。这个决定确定的原因是美国需要发展这种系统以保护我们不受由恐怖分子或所谓流氓国家发射的洲际弹道导弹的攻击。美国还没有退出此条约，这是条约所要求的、正式的提前六个月的通知，并且总统仍然能够决定不退出，但是很难想象2002年6月之

① 全称为《限制反弹道导弹系统条约》，原著以下均简称“AMB条约”。——译者注

前会有什么事情能改变他的想法。

现在，科学家和国会议员们对这样的论点——在不废除 ABM 条约的情况下美国能继续执行发展和试验导弹防御系统的项目，似乎是有争议的，但是对是否真的发展和部署国家导弹防御系统却不是空有议论。2002 年年中以及接着的一年，对导弹防御拨款的要求会再次回到议会。我们能预感到会有一个持续的全国性辩论，讨论美国是否需要寻求发展和部署反洲际弹道导弹的国家防御系统。

在这个争论中，很少有几个观点是新的。确实，谁也不记得美国是什么时候不再争论关于国家导弹防御的[①]。大约半个世纪前，在艾森豪威尔（Eisenhower）内阁时，陆军提出了将旧的“奈克”（Nike）反航空器系统转换成可称为“宙斯奈克”（Nike Zeus）的反导弹系统，它将用雷达制导核武装火箭拦截穿越大气层袭击美国城市的苏联弹头。这个计划有几处明显的失败：在第一次成功拦截时产生的核爆炸令我们的雷达停止工作，并且如果敌人的导弹和每个弹头一起还携带着几个轻诱饵，那么我们拦截导弹的储备就会很快耗尽。

在肯尼迪（Kennedy）内阁时，“宙斯奈克”计划升级为一个两层次方案，称为“奈克 X”（Nike X）。被称为“斯巴达人”（Spartans）的长程核武装导弹将试图拦截还在地球大气层之上巡航的苏联导弹；而短程的“疾跑”（Sprint）导弹将在大气层内对付那些逃过“斯巴达人”攻击的弹头。作为防卫顾问的杰森集团（JASON group）的成员之一，我在 20 世纪 60 年代研究了区分弹头和诱饵的问题，从而知道了那有多么困难。像之前的人一样，我也逐渐被反对部署任何导弹防御系统的强势论调所影响，在那时的条件下，部署这种系统就会诱使苏联增加他们进攻性的洲际导弹力量，使我们的情况比以前更糟。

尽管有这种观点，约翰逊内阁还是在强大的政治压力下开始实施某种导弹防御。1967 年，国防部长罗伯特·麦克纳马拉（Robert McNamara）作了一个引人注目的演讲，解释了所有的反对部署国家导弹防御的理由，之后断言：不管怎样，约翰逊内阁将继续发展一个有限的反导系统，现在它被称为“哨兵”（Sentinel），以保护我们的城市不被偶然事件或者被来自那时认为是流氓国家的攻击。

让人惊奇的是对“哨兵”系统最有力的反对者，不是批评这个系统的有效性或忧虑军费控制的专家，而是不愿意把核武装的导弹装在自

①关于布什内阁导弹防御计划以及早些时候对导弹防御提议非常中肯且公平的评议，是由布拉德雷格·拉汉姆（Bradlay Graham）在他的《攻击到杀戮：保护美国不受导弹攻击的战斗》（Public Affairs，2001）一书中给出的。

己家门口的平民百姓。对这种反对意见的回应是，尼克松（Nixon）内阁把提议的“哨兵”导弹基地从城市移开，并重命名为“守卫者”（Safeguard）。现在公开宣称的新系统的作用是保护我们的攻击性导弹发射井不受袭击，而不是我们的城市。这样做是打算平息对战略稳定性的担忧——保护我们的发射井而不是城市就不会使苏联增加他们的力量以保持他们报复美国第一次拦击的能力。而且通过保护我们自己的攻击性导弹，“守卫者”将减少我们不得不在紧要关头发射导弹的动机。正如国防部长梅尔温·莱尔德（Melvin Laird）所解释的：“最初的哨兵计划被错误理解为……而事实上可以是……保卫我们城市的第一步。”①但事实上，除了“守卫者”对郊区房地产的价值影响较小之外②，“哨兵”和“守卫者”系统只有很少的技术上的区别。

“守卫者”系统被对其有效性（特别是关注它的雷达系统的脆弱性）的怀疑和对其巨额花费的忧虑否决了。1972 年尼克松内阁和苏联签订了 ABM 条约。它限制反弹道导弹在两个位置中的每一个位置只能有 100 个拦截器，后来双方又同意减少到只在一个位置上有 100 个拦截器。这个位置可以被安放在保护首都或保护攻击导弹发射场的地方。该条约将允许苏联在莫斯科周围保持他们相当原始的“橡皮套鞋”（Galosh）导弹防御系统，同时美国能继续推进公开建立“守卫者”系统的目标，并且保护在北达科他州的洲际弹道导弹基地。

不出所料，该条约也包括禁止发展、实验或部署“AMB 系统或海基、空基、太空基或者移动的陆基的组成部分的条款”③，一个后来被导弹防御支持者特别攻击的条款。虽然宣称这是对我们的攻击性导弹保护的需要，但不论尼克松内阁还是任何后来的内阁，都没有保留条约所允许的对北达科他州导弹基地的反弹道导弹防御。

这些问题一直留存到里根（Reagan）内阁。据说，里根总统在他访问契耶尼山（Cheyenne Mountain）的大陆防御司令部时惊奇地发现美国没有能力击落攻击美国的敌人的导弹，于是转向了导弹防御。尽管如此，1983 年他还是宣布了一项战略防御计划④，旨在使核武器成为“无

---

①《在参议院军事委员会的声明》（1969 年 3 月 19 日）。

②关于反对部署守卫者系统的观点（包括我的一篇文章），可参看 *ABM: An Evaluation of the Decision to Deploy an Antiballistic Missile System*, edited by Abram Chayes and Jerome B. Wiesner (Harper and Row, 1969)。

③各种武器控制条约的文本可以在下述文件中找到：*Nuclear Arms Control: Background and Issues*, prepared by the Committee on International Security and Arms Control of the National Academy of Sciences (National Academy Press, 1985)。

④俗称“星球大战”计划。——译者注

效并过时的”[1]。这个系统不再局限于地基拦截导弹，并且计划有更冒险的技术，包括携带 X-射线激光的卫星，它可以在攻击性导弹发射后的最初几分钟烧穿其助推器的表皮。这种想象中的系统不久就被称为“星球大战”。

最终，即使里根内阁中的热心人也确信 X-射线激光和战略防御倡议中所需要的其他组成部分都超出了现有的技术能力。老布什（George Bush Sr.）内阁用有限打击全球保护系统，包括 1000 枚被称作“智能卵石”[2] 的小型太空基拦截导弹和更多传统的地基和海基导弹一起，替换战略防御倡议，这种策略也没能够行得通，最后就在克林顿（Clinton）内阁中失效了。

但研究和发展在更缓慢地继续着。1996 年国防部宣布了一项为期三年的计划，继续进一步发展一种小尺度的导弹防御系统，在这之后将决定是否在下一个三年中部署这个系统。研究中的国家导弹防御系统现在局限于单一类型的拦截导弹。代替核武器，它将携带一种大约 120 磅重的“外大气层杀伤拦截器”（EKV），可以靠直接打击而不是核爆炸在地球大气层之上摧毁敌人的弹头。如果这个计划可行，那真的就是用一颗子弹去打另一颗子弹了。

之后，朝鲜在 1998 年 8 月 31 日震惊了世界，他们发射了一枚三级火箭，把第三级打到了 1000 英里之外，然后爆炸成碎片落入太平洋。这枚导弹没有飞得足够远，到达美国的任何地方，并且它也不能携带核弹头，但是它的发射给克林顿内阁施加了巨大的政治压力，要尽快做些有关导弹防御的事情。

1999 年 7 月，克林顿总统签署了《国家导弹防御法令》，这个法令是几个月前由国会通过的。正如约翰逊政府的“哨兵”倡议，这个法令更像是防御共和党而不是外部威胁，这个法令承诺“一旦技术上可能”，美国就部署一个国家导弹防御系统。夏末的时候，内阁确定了防御系统的最初（C-1）结构，这个结构保留了布什内阁研究的导弹防御系统的核心单元。20 枚（后来增至 100 枚）携带 EKV 的拦截导弹将部署在阿拉斯加州的格瑞里堡（Fort Greely，Alaska）基地，并在最初的阶段，由部署在阿拉斯加州、加利福尼亚州（California）、马萨诸塞州（Massachusetts）、格陵兰（Greenland）和英国（England）的五部预警雷达把它们引向它们的目标；在飞行的后段，改由在阿留申（Aleutians）

①关于里根的战略防卫倡议，可参见 Frances Fitzgerald，*Way Out There in the Blue: Reagan, Star Wars and the End of the Cold War*（Simon and Schuster，2000）。

② 也称为“小精灵”导弹。——译者注

的施米亚岛（Shemya Island）上的高频作战管理雷达引导；最后，在最终600英里的飞行中，由EKV携带的红外望远镜制导。

这种地理性的部署，明显是要防御朝鲜的导弹。要更好地保护美国东海岸不受中东发射导弹的攻击，还有必要在第二个地点增设拦截导弹，基地可能在北达科他州或缅因州（Maine），而且还需要增加额外的作战管理雷达。在该系统的一些组成部分被检验之后，部署C-1系统的决定被一直推迟至2000年。

EKV的第一次测试是在1999年10月2日进行的。一枚由加利福尼亚范登堡空军基地（Vandenberg Air Force Base）发射的“民兵”（Minuteman）洲际弹道导弹送入空间的模拟弹头，被一枚发射于马绍尔群岛（Marshall Islands）夸贾林环礁（Kwajalein Atoll）的拦截导弹上的EKV飞越太平洋后击中。但是这次测试远不如它想象得那么好。这个EKV一开始就偏离了航向，以至于它的望远镜没有捕捉到“民兵”弹头。后来当EKV扩展了它的视野时，它首先看到了一个明亮的大气球诱饵，并且修正了它的航向，之后它看到了弹头并成功地击中了它。如果这个弹头没有一个诱饵伴随，它就可能逃过了识别，或者如果这个诱饵看上去更像一个弹头，则EKV就可能击中这个诱饵而不是弹头。即便如此，这似乎也是在适当条件下，一颗子弹才能打中一颗子弹。

2000年1月，第二次测试失败了。用来冷却EKV红外望远镜的氮气体被管道里的冰阻滞了，以至于EKV一直没有看到弹头，在200多英尺之外错过了。由于EKV没能从助推器中分离出来，7月份的第三次试验也失败了。而且，即便所有这些测试都成功了，用这三个实验检测这个系统也是不够的[①]。2000年8月，克林顿总统最终决定国防部不应启动在阿拉斯加的作战控制雷达的准备工作，宣称将把是否部署导弹防御系统的决定留给下一届政府。

布什总统已经在一个新方向上对导弹国家防御系统采取了行动。就在克林顿政府计划在2002年花费57.5亿美元部署弹道导弹防御的地方，布什政府计划花费83亿美元用于同样的任务。布什政府假定：一个类似于克林顿政府的国家导弹防御C-1系统的反导系统，不仅要通过从范登堡和夸贾林环礁发射的火箭的交锋来检验，而且还要通过从阿拉斯加基地发射的拦截器去测试，该基地之后将转换成作战导弹防御基

①对这些实验局限性的刻薄分析见：“Operational Test and Evaluation Report in Support of the National Missile Defense Deployment Readiness Review”, by Philip Coyle, then the director of Operational Test and Evaluation of the Department of Defense（August 10, 2000）。这份报告目前已可在防御信息中心网站上找到（www. cdi. org/news/missile-defense/coyle. pdf）。

地。布什内阁还提出：采用一个与其他系统不确定的混合来补充这个陆基中程拦截系统，这些系统包括可能的机载或星载的激光装置，它们可以在敌人导弹飞行的最初加速阶段予以攻击。

阿拉斯加拦截器测试基地可能会违反 1972 年的 ABM 条约，而发展和检测机载或星载导弹防御系统，即使远在实际部署之前，也肯定违反了这个条约。但是就在克林顿总统排除掉单方面废止条约的地方，布什总统从一开始就一直渴望从这些限制中把美国解放出来。2001 年 8 月，他说道，美国将在“对美国方便的时刻”退出条约[①]。其后，“9·11”大灾难促使布什总统和普京总统紧密合作，然而俄国人拒绝同意 ABM 条约的重大改动，现在总统已经给出了他打算退出条约的警告。

所以，我们在这里再说明一下导弹防御系统的利弊。这场辩论提出了三个主要的话题：

导弹防御系统是否真的能保护美国甚至不受那些可能由流氓国家，诸如朝鲜或伊拉克，发射的导弹的攻击？

在我看来，早期 EKV 测试的困扰问题似乎能够全部解决了。2001 年 7 月的第四次实验和 2001 年 12 月的第五次实验都很成功，尽管拦截器的助推器在 12 月晚些时候的实验中没有通过。从“奈克 X”那时起就一直存在的最大问题是在攻击携带弹头的攻击者所放出的诱饵时，有多少拦截导弹会被耗尽。

对于这样一个导弹防御系统，这是一个特别尖锐的问题。这个系统就像依赖于在中途拦截弹头的克林顿-布什国家导弹防御计划的第一阶段所计划的那样，是在外大气层中拦截的。与弹头同时部署在空间中的气球将沿着与弹头相同的轨道飞行，直到它们重返大气层。对常规望远镜来说，它们很容易被做成弹头的样子，对红外传感器来说，它们也可以热到像弹头一样。也可能，甚至更容易把弹头放在一个诱饵气球中使得弹头看似一个诱饵，或者将弹头藏在一个冷却的防护罩里使它无法被看见。EKV 打击伴随着辅助穿透系统弹头的能力还没有做过实际测试。

在过去几十年中，很多关于反导系统有效性的技术上的争论都集中在美国是否能解决这个问题上[②]。也许我们花大价钱能开发出一种中程

①请见 David E. Sangen，“Bush Flatly States US Will Pull Out of Missile Treaty”，*New York Times*，August 24，2001，A6。

②这个问题在忧思科学家联盟（Union of Concerned Scientists）/MIT（原文误写为 Science——译者注）的报告“Countermeasures：A Technical Evaluation of the Operational Effectiveness of the Planned US National Missile Defense System”（April 2000）中有详细讨论。这份报告可以在 www. ucsusa. org/ nuclear_ weapon_ and _ global_ security/ missile_ defense/ technical_ issuse/countermeasures-a-technical. html 中找到。

拦截系统，它能击溃任意一个特定的穿透辅助系统和弹头，但我们当然不可能知道进攻者将选择什么样的助手，我也不明白在处理未知威胁时我们怎么能有信心。攻击者永远有最后一手。

1998 年由国会召集的关于导弹防御的“蓝绶带”专家组的报告中，提到过另一个击溃美国中程拦截系统的方式，这个专家组是由多纳德·拉姆斯菲尔德（Donald Rumsfeld）领导的，并且从那时起，该方式已经被专家组成员之一理查德·加尔文（Richard Garwin）强调过多次[①]。代替使用最多发射几个核弹头的火箭，攻击者可以用同样类型的火箭发射几百个含有诸如炭疽孢子之类的生物军用毒剂的“小炸弹”。这些小炸弹一旦被部署了，任何一类现在仔细考虑过的导弹防御系统对它都是无效的。与携带核武器的导弹相比，这类导弹甚至会杀死更多的人。

没有一种反对意见适用于能摧毁仍在“加速阶段”的攻击者导弹的导弹防御系统，也就是说在攻击导弹向上加速的短暂瞬间，在它还没有设置弹头、诱饵或小炸弹之前摧毁它[②]。然而，加速过程只有几分钟。试图拦截一个在加速阶段的导弹的导弹必须在大约 600 英里之内的洲际弹道导弹发射基地发射，因而这种导弹防御系统不得不只瞄准一个或最多几个特别可能的攻击者。例如，一个瞄准朝鲜的海基导弹系统，将不可能防御从中国或俄罗斯发射出的导弹。同样，一个空基激光系统对那些在加速过程终了时还在视野之外的导弹的防御也不是很有效，这时导弹高度在 120 英里、距离在约 1000 英里外（激光的实际范围要远远小于这个距离）。一个空基或海基加速阶段的拦截系统可能对先发制人的攻击是脆弱的（克林顿-布什国家导弹防御系统的雷达也一样），除非这次攻击是很好定时的，它可能会引发一次摧毁敌方还在地面上的攻击导弹的反攻击。如果这种系统能够工作，一个太空基的激光系统（或者“智能卵石”）就可能提供对来自于一个很大区域的威胁的防御。但是这个技术还不存在，而且在任何情况下，没有任何一届政府建议过建立一个特别的太空基的激光系统[③]。

莫非美国会被恐怖分子或流氓国家或误操作发射的洲际弹道导弹袭击？

“9·11”的攻击使这个问题变得很清晰（虽然以前也很清楚）：在

---

①例如，理查德·加尔文在 2000 年 12 月 30 日《纽约时报》的专栏文章。

②理查德·加尔文在 2000 年 9 月的文章中很清楚地描述了一个现实的加速阶段拦截系统。

③对关于为导弹防御使用激光或其他定向能源武器前景的详细分析，请见《美国物理学会报告》，它是由科学与定向能源武器技术研究小组撰写的，发表于 *Reviews of Modern Physics* 59，no. 3，pt. 2（July 1987）。由于 1987 年以后一直没有什么技术上的发展，这使得这个报告的悲观结论过时了。

这个世界上存在着想毁灭我们的人。这似乎使公众舆论转向支持导弹防御，并且在参议院制止了拒绝给违反 ABM 条约的导弹防御实验拨款的动议。但是这个攻击也展示了存在不涉及洲际弹道导弹发射的、伤害美国的方式，甚至会有很多运送核武器的方式，如用卡车或者货船或者（如拉姆斯菲尔德专家组建议的）船上发射的短程导弹。洲际弹道导弹并不是可被恐怖分子或流氓国家选用的、以核武器攻击我们的诸多运载工具中唯一的一种，它是最不可能的运载工具。虽然有些恐怖分子会采用自杀式袭击，但是庇护恐怖分子的民族领袖们却从不这样。塔利班（Taliban）的领袖们没有公开承认“9·11”攻击是由阿富汗（Afghanistan）组织的，卡扎菲（Qaddafi）也从不承认泛美航空（Pan American）的飞机在洛克比（Lockerbie）上空爆炸是由利比亚（Libya）策划的。

但是，与恐怖分子的攻击不同，洲际弹道导弹的攻击携带着永久性的发射点的地址。每次这类导弹的发射都不可避免会被检测到，它的来源会被美国国防支援计划的卫星群确认。即便承认像朝鲜或伊拉克那样的国家能最终部署核武装的洲际弹道导弹，为什么任何政府首脑，不管他恨我们恨到什么程度，当他和他们能有许多其他方式匿名运用核武器时，却非要用洲际弹道导弹来攻击我们或允许恐怖分子在他们领土上发动这样的攻击呢？

另外，也存在很多场合，洲际弹道导弹的知名度可能是一个优势。例如，仅通过一个核恐怖主义的威胁，不可能阻止美国最近在阿富汗的行动，或者阻止试图推翻萨达姆·侯赛因（Saddam Hussein）；但会冒险试图推翻一个具有核武装的洲际弹道导弹的国家吗？

对美国来说这是一个现实的问题，但是还不清楚除了完美的反导弹防御系统，任何其他的防御系统能有多大的差别。如果美国拥有从未在实际中使用过的反导系统，这个系统会使我们有足够的信心去打击一个拥有核武装弹道武器，特别是我们不知道他们的导弹携带着什么类型的诱饵的政权吗？

但是，不需要这样，还有其他方式可以使美国不会成为诸如伊拉克或朝鲜核讹诈的对象。这是在讨论导弹防御时偶尔提到过的，虽然很简短而且可能还有些难堪。这是先发制人。（或者，就像有时被称为加速前拦截。）如果一个像伊拉克或朝鲜那样的国家被怀疑拥有核武器，而且我们看到它们试验了洲际范围的弹道导弹，我们就真的看着他们竖起这些导弹而不采取行动把它们摧毁在地面上吗？这些行动不需要我们使用核武器，携带常规弹头的巡航导弹就足以精确地完成这项任务了。我很怀疑洲际弹道导弹能够被任何一个国家安放在一个美国不知道的地

方，并且除非让我们知道，否则核讹诈一点儿用处都没有。

这就使俄罗斯和中国的误发射成为唯一貌似合理的、洲际弹道导弹可能威胁美国的方式。这里的“误”意味着任何可能的情况，从单个火箭上的纯机械故障，到在潜艇上或陆基导弹基地里的几个狂人进行的非授权的发射，一直到由一位国家领导人在他的国家受到攻击的错误印象下，下令把全部库存导弹都发射出去。

由于错误而发射是一个很严重的危险，虽然布什总统在宣布退出ABM条约时没有提到此事，它却经常被引证为建立国家导弹防御系统的原因之一。的确，俄罗斯大规模的误攻击是仅有的、貌似合理的威胁，它不仅能毁坏我们的国家，而且是超过我们复苏能力的毁坏。这种攻击比恐怖分子能够造成的任何破坏都更具毁灭性。俄罗斯现有大约3900枚战略核弹头，其中超过1000枚安装在陆基或潜艇基的洲际弹道导弹上，它们已准备好一经通知即刻发射[①]。面对美国的第一次核打击，这些导弹越来越脆弱，这是由于俄罗斯的预警能力在不断削弱。至少有两次，俄国人错误地认为它受到了导弹攻击：一次是1983年3月，由于一颗苏联卫星误判了五颗导弹发射的明亮映像；另一次是1995年1月，由于一枚被俄罗斯雷达探测到的美国研究火箭被解释为入射的美国导弹。在这两次，俄国人的发射程序离决定是否启动核报复的时间点只剩下几分钟。

在危机期发射的危险更为严重，这是由于美俄的大部分弹头都是MIRV，即多弹头独立重返大气层载具型的。例如，每个俄国SS-18导弹携带10枚弹头，其中每一个都能瞄向分离的目标。没有MIRV并且双方拥有相等数目的导弹，对于首先打击是不利的。纵使每枚导弹都有90%的机会摧毁它的目标，首先攻击的一方，即使已把其所有的导弹都瞄准了敌方的导弹，在对方还有10%的力量留下来的同时，自己的军械库却已空虚。但是，如果在每个导弹上都有10枚弹头，那么首先攻击方用10%的力量就能摧毁对方90%的军备，而己方还有90%的力量留下来[②]。当然这种推理是疯狂的。今天没有人会认为美国还是俄罗斯会计划这种攻击。但是在将来的某些危机中，伴随着不同的俄罗斯领导人和来自早期预警雷达的误导数据——谁又能知道呢？

布什政府所计划的那种导弹防御系统不能保护我们免遭由误判导致

---

①对俄国导弹力量的描述，请见 *Russian Strategic Nuclear Forces*, ed. by P. Podvig (MIT Press, 2001)。

②精确地说，这种计算只能用于不可移动的、在导弹袭击中成为靶子的导弹。但是俄罗斯的潜水艇大部分时间都停泊在码头，而且俄罗斯可移动的陆基导弹一般都由固定的守备部队保有，由于这些缘故，他们的导弹都是不可移动的。

的大规模攻击。确实，我们曾被特别告知，它不能在俄国人进行大规模攻击时保护我们。（它甚至不能保护我们免受几枚导弹误发射的打击，因为俄罗斯的导弹大概都伴随有令人迷惑的诱饵或者其他的穿透辅助系统，如果我们真的部署了导弹防御系统，他们肯定会是这样的。）不论有还是没有布什政府的导弹防御计划，我们都得面对被俄罗斯核武装导弹毁灭的危险。随着俄罗斯预警能力的退化和社会总体的松散化，这种危险甚至比冷战时期还要大，这就把我们引向了第三个也是最重要的一个命题：

由布什政府建议的国家导弹防御系统到底是帮助还是伤害了我们的安全？

乍一看，这个问题好像是在自我回答，是不是任何导弹防御系统都不如未部署导弹防御系统好，尽管这个系统本就是无效的？

这种推理的一个麻烦是我们并未面对一个固定的威胁，一个独立于我们在导弹防御方面做什么的威胁。的确，我们现在面临与 20 世纪 60 年代或 70 年代不同的状况，那时我们理所当然地认为美国的导弹防御系统会被苏联进攻性导弹力量的增长所抵消，而现在俄罗斯的经济无法支持其导弹力量的增长。的确，俄罗斯一直渴望削减他们的力量，据报道要将战略核弹头削减到 2000 枚左右。然而，这还是足以毁灭美国的力量，何况在这世界上还有许多别的力量。他们庞大的武器库也增加了俄罗斯核武器乃至长程导弹被偷走或卖到恐怖分子手中或流氓国家的危险。我被告知，俄罗斯目前严格地控制着它的战略核武器，但在 20 世纪 90 年代初就不是这样，而且在将来也不一定还是这样。对美国的安全来说，头等重要的是让双方的核力量至少减少到几百枚甚至几十枚而不是几千枚核弹头，特别是要去除 MIRV，但如果美国致力于导弹国家防御系统，这就不会有机会实现了。

俄罗斯的核力量是其作为超级力量状态的唯一幸存者。目前在我们与俄罗斯之间不管存在多好的感觉，对任何能够保护我们国家不受即使是少数的俄罗斯洲际弹道导弹袭击的美国系统都为俄罗斯削减他们的战略核武器设置了一个下限。即使俄罗斯由于经济压力继续削减它的核力量，也能很便宜地保有它的威慑力量，虽然是以危险的方式，比如，可以消除目前来自一经通知即刻发射导弹的各种各样的顾虑。如果美国继续实施它的导弹防御，俄罗斯也不会消除它们的 MIRV。开始Ⅱ（START Ⅱ）条约，需要双方都消除所有的陆基 MIRV，但是俄罗斯已经指出：如果美国废止 ABM 条约，它们将不会通过并实施这个条约。

至于中国，它现在拥有大约 20 枚核武装的洲际弹道导弹，足够有效阻止来自俄罗斯或美国的任何袭击。一份透露给《纽约时报》和

《华盛顿邮报》的国家情报估计预言：如果美国发展国家导弹防御，那么中国人将会把他们的武装从20枚导弹增加到约200枚[①]。还有，如果中国对它的导弹力量作了这种增加，那印度和日本要怎么做？而那时巴基斯坦又要做什么？

当我们还在争论提议的国家导弹防御系统能阻止俄罗斯削减导弹力量和促使中国增加导弹力量时，争辩它对流氓国家发起的一个甚至很小的攻击都可能无效似乎是相互矛盾的。但是每个国家都会“谨慎地”高估其他国家防御的有效性，特别是它们在将来可能会发展的话。苏联部署原始的莫斯科反导弹防御系统是美国决定通过部署MIRV倍增它的弹头数目的主要因素，所以莫斯科在进行防御之后比之前更为危险了。我记得在20世纪70年代初，对从未发生过的、苏联的防空导弹可能被赋予防洲际弹道导弹功能的事情，美国制订防御计划的人变得何等惊慌。想象一下，俄罗斯和中国防御计划的制订者将如何考虑美国单方面地从1972年ABM条约中撤出？

如果明天就可能开通一个导弹防御系统，它可使美国免受任何导弹攻击的伤害，我和其他大部分导弹防御的反对者都会赞成它。但这不是我们面对的选择。事情是这样的，一个导弹防御计划大概要10年时间才能完成初级阶段的部署，然后还要很多年才能把它升级到真正有效地对抗威胁的程度。然而在这段时间里，美国的安全就会被俄罗斯和中国为应对我们的导弹防御采取措施以保持或加强他们的战略能力所损伤。

有一种导弹防御系统不会产生这些问题。正如以前提到的，一个把导弹或空基激光束处于加速阶段的洲际弹道导弹作为目标的防御系统，只能防御从有限地理区域发射出的导弹，也将不受诱饵或其他穿透辅助系统的影响。尽管为防御从伊拉克或伊朗而来的发射需要分别求助于土耳其或某些前苏联加盟共和国的合作，我们可以用布署在日本海舰船上的短程导弹来防御朝鲜导弹的发射。这样的防御对从俄罗斯或中国基地发射出的导弹是无效的，它们在加速阶段所处的位置超出了我们能部署的任何导弹或空中激光的范围。因此，尽管这种防御破坏了1972年的ABM条约，普京总统已经指出他将考虑修改条约以允许这个系统的存在。但是如果把一个加速阶段拦截系统装载在卫星上，或者如果把它与外大气层的中程拦截器结合在一起，就像克林顿-布什的国家导弹防御计划那样，它将会有所有的其他导弹防御系统所具有的不稳定化的效应。

---

①Roberto Suro, “Study Sees Possible China Nuclear Buildings”, *Washington Post*, August 10, 2000, A2; Steven Lee Myers, “Study Said to Find US Missile Shield Might Incite China”, *New York Times*, August 10, 2000, A1.

发展一个国家导弹防御系统也会损害我们的外交关系。这会让公众认为，美国不愿意被国际协定（诸如一个全面禁止核试验条约或环境公约）所约束。这会削弱普京对俄罗斯极端民族主义者采取的手段的效果。由于试图保护美国不受导弹攻击而同时我们的盟友却不受保护，这种导弹防御会毁掉与诸如北大西洋公约组织（NATO）的结盟。一个导弹加速阶段的拦截系统也并不真的是个例外；拦截一个加速阶段的长程导弹不太依赖于导弹的最终目的地，但阻断它的加速将可能使弹头掉在比较近的地方，也许可能落在我们的盟国，如加拿大或德国。

导弹防御系统会以另一种重要的方式，把钱从其他防御形式中拿走，损害我们的安全。对所有想到的可以保护我们的事我们不可能都做到。我们需要提升医院水平以应付生物攻击；改善我们与加拿大边界和港口的安全状况；改进联邦调查局（FBI）的计算机系统，等等。在这些方面我们所有的活动都受到资金缺乏的限制。增加保护领土所需资金的立法在国会中受阻，因为所要求的钱数超过了内阁的准则。

如果特别担心（如同我们应该担心）恐怖分子对美国进行攻击，那么我们应该最优先考虑与俄罗斯和其他国家的合作，以清除从他们的核反应堆中生产的、可用于制造武器的铀和钚的大量储备。俄罗斯现在拥有 150 吨钚和 1000 吨高浓缩的铀。这些材料不仅能用来制造可以用各种方式运送到美国的核炸弹，甚至一个技术上不成熟的恐怖主义者都能改用它来制造所谓的脏弹，一种能产生剧烈爆炸并具有高放射性特质的炸弹，这些放射性物质在爆炸中很快扩散，从而使得很多城市区域不再适合居住。

不幸的是，这些物质并没有得到严格的控制[①]。从 1991 年起在其他的事情中就有一个代表两党的“纳恩-卢格减少威胁合作计划”（Nunn-Lugar Cooperative Threat Reduction Program），它主要旨在改进俄罗斯对裂变物质的安全控制，并且把它的钚和铀变成不能发生核爆炸的材料，但是这个项目也没得到足够的资助。一个由霍华德·贝克（Howard Baker）与劳埃德·卡特勒（Lloyd Cutter）领导的两党特别小组，呼吁在下个 10 年中平均每年花 30 亿美元用于俄罗斯核武器、核材料、核技术的安保、监测和削减[②]。即使国会作过大幅度的增加，2002 年对这些

①例如，见 Steven Erlanger，“Lax Nuclear Security in Russia Is Cited as Way for bin Laden to Get Arms”，*New York Times*，November 12，2001，B1.

②“A Report Card on the Department of Energy's Nonproliferation Programs with Russia”（U. S. Department of Energy，January 10，2000），app. A.（提供这个数据的表给出的警告是“这不是指预算，也不意味着美国要单独为这个规划付钱”，但是事实上，其他国家对这些活动的贡献是相当小的）。现在这份报告可以在 google www. google. com/search? q = cache: http: //www. seab. energy. gov/publications/rusrpt. pdf 上查到。

活动的预算也仅为7.5亿美元。把这个数字与600亿美元的导弹防御系统的最低报价费用（而且一定会大大超过）相比，给人一个很强烈的印象：布什政府和国会中的某些人对国家安全完全不认真。

我在2001年11月参加了一个华盛顿的新闻发布会，那时美国科学家联盟散发了一封由51位诺贝尔奖获得者签名的，反对在违反1972年ABM条约的国家导弹防御计划上花钱的信。出席会议的一位记者问我：如果反对国家导弹防御的观点这么令人信服，为什么政府内和政府外的许多人却都赞同它？这是个很好的问题，是一个我不确定我知道答案的问题。大型军事项目通常面临着很多压力，这通常来自于有关防御的订货单位、把爱国挂在嘴边的政治家。支持国家导弹防御似乎比反对它更简单和直接。但是我认为把美国的力量发射到太空中去也特别令人着迷。还能怎么解释国际空间站或在里根政府时期鼓吹“高边疆”（high frontier）导弹防御计划的人在机场架设牌桌的愚蠢行为呢?[①] 我得承认欠考虑并非导弹防御鼓吹者的专利。一些导弹防御的反对者对任何大规模的军事项目都自动地反对。在评估导弹防御或者相关的其他东西时，不存在确实想通这个问题的替代品。

在我自己所从事的物理领域，我们把由社会需求驱使的应用物理和为了寻求科学自身知识的纯物理区分开。两种物理都是有价值的，但并非每一样纯的东西都是可取的。在寻求部署旨在防御难以置信的威胁的国家导弹防御系统，一个能否有效防御威胁值得怀疑、总体上损害而不是有助于我们安全的系统时，布什政府似乎在追求一个纯粹的而非实用的导弹防御——一个为其自身采取的导弹防御，而对保卫我们的安全没有任何应用价值。

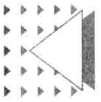
> 我把这篇文章的草稿寄给了一位朋友，一个据我所知喜欢布什导弹防御计划的保守的报纸专栏作家。关于这一点，我们在他位于华盛顿的办公室里讨论了很长时间，他告诉我，他认为我的文章代表了一种人为的看待国家防御的方法。他通过提出下述问题总结了他的批评意见：如果知道朝鲜曾向美国发射过携带核武器的导弹，你会对拥有某种导弹防御，甚至它可能不是完全有效的，感到不高兴吗？那时我还没有准备好一个适当的回答。几天以后，我想到我可以这样问他：假如有人试图在上方用锤子袭击你，你会对带着钢盔感到不快吧？除非你摘

①在20世纪80年代一些鼓吹导弹防御系统的人常在机场支起小桌子向民众散发传单。——译者注

掉它。那为什么呢？但再经考虑，这只是一种漠视核武装导弹攻击危险的方式——不会产生更重要的论点，即试图防御这样的攻击将是无效的，而只会增加来自部署对抗我们的核力量的危险。

文章发表几个月后，我听到了劳埃德·道根（Lloyd Doggett）的意见，他那时是我所在的得克萨斯居住区推出的国会议员。他在众议院的发言中引用了我的文章的内容，这是可喜的——在国会中我写的东西不常被引用。他也引用了前国防部长威廉·佩里（William Perry）关于导弹防御的一段尖锐的议论："较小防御系统的部署会触发一场可观的核武器竞赛。"就是这样。

果不其然，2002 年年中美国退出了 1972 年的 ABM 条约。在随后几年中，布什政府继续在阿拉斯加部署反导系统，但是从未对这个系统做过任何对抗有诱饵或其他渗透辅助系统伴随的、重返大气层运载器的现实检测。设法在东欧部署反导系统好像是要防御伊朗导弹的样子，恶化了美俄关系，即俄罗斯会把任何一个即便是无效的反导防御系统都看作是对它自己的核威慑力量进行威胁的开始。新的总统巴拉克·奥巴马（Barack Obama）对导弹防御系统的有效性表示了一定的保留，但现在要确定他是否会继续导弹防御计划还为时过早。我希望这篇文章的论据在文章写出来的这几年中变得过时了，但不幸没有言中。



8 正在增长的核危险

在我成年后的日子里，我一直对核战争的危险感到恐惧。还有许多需要担心的事——全球气候变暖、恐怖主义、经济崩溃——但只有美俄之间的核战争将超过我们的复苏能力，能够毁灭我们的国家，以及所有的人类文明。在我写这些东西的时候，新闻时事评论员们对我们为什么没有认识到世界经济体系变得如此不稳定感到奇怪。我担心在将来的某个时刻，当双方的城市都变成了废墟，我们可能会后悔为什么我们没有认识到美俄之间的核平衡是如此不稳定了。

这种危险好像从来没在政治竞选中出现过，但我没法把它从我的脑海中除去。我看不到美国和俄罗斯怎么能一起放弃他们的核武器，就像这会将我们置于任意一个只有少量核炸弹的第三国的怜悯之中，但是我们一定能，也应该大大削减双方巨大的核武库。我们也不应该进行新的核武器计划，这些计划会激起其他国家发展自己的新核武器的兴趣，让他们找到借口。

出于这些原因，当知道发表在2002年9月1日的《核态势评论》上的布什政府计划时，我一点都不担忧。虽然实际部署的核武器数量会有所削减，但几千枚退役的弹头并未销毁，它们可以很容易地重新服役。这篇评论还要求发展可打击地下设施的新型核弹头。

在《核态势评论》的新闻泄露给媒体后不久，彼得·齐默尔曼（Peter Zimmerman），一位参议院外交关系委员会成员打电话给我，让我那年春季末到委员会就此评论作证。正如我在这个集子前面的文章中已经提到过的，对于导弹防御，我早就被齐默尔曼召去对同一个委员会就此作证，但是那些听证在2001年9月11日的袭击后被取消了。导弹防御是我这些年一直在研究和思考的问题，但是在这期《核态势评论》中提出来的一些问题对我来说还是新的，所以我试图请求委员会让别人来代替我，结果没成功。但幸运的是，我从与美国科学家联

盟和忧思科学家联盟有关系的朋友那里得到了非常宝贵的信息和深刻的见解。这份《核态势评论》是保密的，虽然我通过了活动安全审查，却希望能在公开听证会上就此评论作证，所以我没有要求阅读这个完整保密版的态势评估。但是一份由国防部长助理克劳奇（Crouch）撰写的关于此评论的不保密的简报，以及由国防部长拉姆斯菲尔德撰写的一封不保密的传送信件，还有已在报刊上刊登出来的此评论的摘录还是可以用的，所以我认为对于此评论我知道的已经多到可以批评它了。

2002 年 5 月 16 日举行了听证会。会议的主持人是委员会主席约瑟夫·拜登（Joseph Biden）参议员和少数党参议员理查德·卢格（Richard Lugar）。两位参议员给我的印象是他们在处理他们的选民可能不感兴趣的问题上的严肃劲。其中一个见证人是我在作为防卫顾问杰森集团积极成员的日子里就认识的小约翰·S·福斯特（John S. Foster Jr.）博士。福斯特曾是劳伦斯·利弗莫尔（Lawrence Livermore）国家实验室主任和美国国防研究与工程局局长，并且曾在无数的顾问委员会中工作过。我一直认为他在防务问题上是个强硬派，所以听到他普遍支持布什内阁的核政策，我一点都不惊讶。另一个持有相似观点的证人是前参谋长联席会议副主席、海军上将威廉·A. 欧文斯（William A. Owens）。还有两位证人，他们的看法和我的看法很接近：卡内基国际和平基金会的防止核扩散事务主任约瑟夫·奇林乔内（Joseph Cirincione）和莱克星顿（Lexington）学院的首席运营官洛伦·汤普森（Loren Thompson）。我和奇林乔内一起在听证会前的晚上共进晚餐，并利用这个机会通过向他请教来准备我的证词。下面的文章大体上是以我在听证会上的证词为基础，扩充到包括对一周后布什和普京总统签订的武器控制条约的评论。这篇文章发表在 2002 年 7 月的《纽约书评》上。

文章中的一个论点反映了听证会上发生的一些事情。福斯特博士和欧文斯海军上将都认为我们必须保有一个庞大的核武库，因为未来是不确定的。就像我在文章中提到的，在与普京签订条约之后，布什总统给出了一个类似的论点。在这篇文章中我对这个问题的回答和我在听证会上给出的回答是一样的：是的，未来是不确定的，但是在将来许多不确定的突发事件中，俄罗斯和美国巨大的核武库将导致世界的灾难。

美国拥有巨大的核武库，这是冷战时期留下的。我们大约有6000枚运行部署的核武器①，其中大约2000枚安放在洲际弹道导弹上，3500枚安放在潜艇发射的弹道导弹上，还有几百枚由轰炸机携带。这些是热核武器，比摧毁广岛和长崎的裂变炸弹威力大得多。看看这些数字，我们不禁要问，所有这些核武器要用来干什么？

在冷战时期，有一个保持巨大核武库的根据，我们必须确认苏联对美国的突然袭击能够被阻止，这种袭击是由于苏联确认我们的核武库在任何这类袭击下能有足够多的残存，以使我们能够发起一次毁灭性的响应。我不是说美国的战略需求就是这么算出来的，但是这种威慑的需求至少给出了一个拥有巨大武库的合理论据。

现在保持大武库的根据已经过时了。世界上没有哪个国家，即便它的核武器和导弹以令人难以置信的速度快速发展，能够威胁我们基于潜艇的威慑力量，未来的几十年中除了俄罗斯，没有哪个国家能对我们的陆基威慑力量构成任何威胁。

尽管是不同运载工具的混合，俄罗斯保持着和我们相当的核武库。2002年5月24日，布什总统和普京总统签署了一个条约，该条约要求双方将运行部署的核武器于2007年削减到大约3800枚，于2012年削减到1700～2200枚。这个条约几乎肯定会被参议院批准，民主党人对削减核武器一般会感到高兴，而少数共和党人将反对布什总统的外交政策。布什总统说："这个条约将清除冷战的遗留痕迹。"但是任何赞美都为时过早，因为这个条约远远不像表面看到的那样。

首先，削减的速度奇慢无比。START Ⅲ协议是由克林顿和叶利钦总统宣布的（虽然没有签字或批准），要求到2007年将"战略部署"核武器削减到2000～2500枚，而不是布什-普京条约规定的到2012年的最后期限。（术语"战略部署"在包括所有伴随着运载工具的武器上不同于"运行部署"，无论它们是否已做好发射准备。这样，比如在干船坞中潜水艇上的导弹的核弹头将被包括在战略部署的武器清单中，但不在运行部署的清单中。当计入这个区别时，START Ⅲ协议设置的、到2007年的2000～2500枚战略部署武器的限制就和布什-普京条约设置的、到2012年的1700～2200枚运行部署核导弹的限制一样了。）这个条约是高度可逆的；任何一方都可以在通知了45天之后退出条约，并且除非更新，否则该条约将在2012年失效。另外，不像以前的武器控制协议，布什-普京条约并不要求销毁导弹或轰炸机，而仅仅要求移

①术语"运行部署"是指已经装载到导弹上的、准备好发射的核弹头，以及已经准备好装载到执勤轰炸机上的炸弹。

走它们的核弹头或炸弹。

最重要的是，布什内阁把俄国人的努力——在这个条约中应该要求把从部署的导弹和轰炸机上收回的核武器销毁，挡了回去。国防部关于核武器的计划放在2002年1月9日的保密的《核态势评论》中[①]，而其中大部分内容几个月后就透露给了媒体[②]。放在这篇评论中的计划要求保留大约7000枚完好的、未运行部署的弹头，而不提大量的钚“核”（pits）（一种可以触发热核爆炸的裂变炸弹）和其他的武器部件。当然，这个条约也不要求销毁俄罗斯拆除的核武器，并且它不限制俄罗斯的战术核武器，这样一来，实际上增加了俄罗斯武器落入流氓国家或恐怖分子之手的危险性。这个条约不是如同布什总统宣称的为“清除冷战遗留痕迹”设计的，而是要守住尽可能多的那种遗迹。即使考虑了布什-普京条约所要求的削减，我们仍然想要知道这些核武器到底是用来干什么的。

巨大的美国核武库有一种可能的用途：发射对抗俄罗斯的战略武器的先发制人的打击。我说“俄罗斯”是因为我们核武库的巨大规模将与优先打击任何其他力量没什么关系。如果我们发现一个怀有敌意的流氓国家正要部署几十枚核武装的洲际弹道导弹，并且我们可以定位它们，则只要使用我们核武库中的一小部分就能摧毁它们，甚至事实上只用常规武装的巡航导弹就可以了。另外，尽管我们在冷战时期不能使苏联的威慑力量失效，随着他们发射导弹的潜水艇停泊在码头边，他们的陆基可移动的洲际弹道导弹由固定的守备部队保有，现在俄罗斯的核力量变得更加不易移动了，我们巨大的核武库可以将俄罗斯的核力量置于在美国先发制人的打击下完全毁灭的危险之中。在传送给国会的关于《核态势评论》的信中，国防部长拉姆斯菲尔德说：“美国将不再计划，调整或维持它的力量，即使俄罗斯只展示了一个缩小的苏联摆出的威胁姿态。”但这似乎就是我们正在做的。

可能具有发动先发制人的打击以对抗俄罗斯战略核力量的能力是好事，但事实上，这样不论是对我们还是对俄罗斯都构成了巨大的危险。俄罗斯也和我们一样能数出导弹的数目，并且作为“审慎”的防卫计

①《核态势评论》是国会要求国防部做的关于美国核能力和计划的报告，曾经只有过两份这种评论；第一份是在克林顿政府时期准备的。

②《核态势评论》的内容最先由威廉·阿金（William Arkin）于2002年3月10日《洛杉矶时报》（*Los Angeles Times*）上报道的。这个泄露的版本可以在网站 www. globalsecurity. org/wmd/library/policy/dod/npr. htm 上查到。另外还有一份由负责国际安全政策的国防部长助理J. D. 克劳奇（J. D. Crouch），撰写的、关于《核态势评论》的不保密的简报，它可以在网站 www. defenselink. mil/news/Jan-2002/t01092002_ t0109npr. html 上找到。

划者，他们对我们先发制人打击成功的机会的估计很可能远高于我们所能达到的。尽管理解美国现在没有这样的先发制人打击的计划，但他们必然要考虑如果将来美俄关系恶化时，这种状态改变的可能性。如果美国继续部署国家导弹防御系统，它可能被认为对防卫俄罗斯零星的二次打击有一定的效果，或者我们按照《核态势评论》所推荐的，美国应发展能使我们瞄准在路上移动的俄罗斯导弹的实时情报能力，这种状态改变的可能性似乎就更大了。

这种危险不是俄国人将生我们的气，也不是计划要打击我们。而是他们将通过把他们的军队保持在一触即发的警戒状态，悄悄地采用一个能对付美国先发制人打击的、廉价和简单的防御系统。这就使美国在某些未来的危机中，受到由错误判断导致的俄罗斯大规模袭击的威胁，例如，俄罗斯可能收到一个迫在眉睫的美国袭击的误导警告，于是就把自己的核武器在被摧毁于地面之前发射了出去。（根据其情报来源，他们大约需要15秒让他们的洲际弹道导弹瞄准目标，然后用2～3分钟实施发射）。由于俄罗斯监视可能攻击和控制他们自己力量的能力逐渐衰退，这种危险将加剧，这种衰退已经导致了一次误判，他们把从挪威岛上发射的美国研究火箭误判成从挪威海的美国潜艇上发射的攻击型导弹①。

对于那些可能认为这是一种偏执的担忧的人来说，也许这种担忧是由诸如《核战爆发令》（*Fail Safe*）或《奇爱博士》（*Dr. Strangelove*）等冷战电影遗留下来的，回顾在古巴导弹危机——冷战时期最危险的一次危机②中美国战略威慑力量所犯的错误是有益的：

（1）1962年8月23日，一次导航错误让一架本来在一条越过北冰洋飞往阿拉斯加的非挑衅性航线上的空中警戒B-52轰炸机——也就是准备好如果美国受到攻击就实施报复的飞机——改为直接朝苏联飞去。当轰炸机离苏联领空只有300英里时，这个错误被发现了。虽然有了这样一个事件，以及在北极圈内导航的困难，美国空中警戒轰炸机的线路却几个月都没有改变，直到十月的导弹危机之后才作了更改。

（2）1962年10月26日，当美国和苏联的武装力量已经处在高警戒状态时，作为没人想过要取消的测试项目的一部分，一颗洲际弹道导弹从范登堡空军基地发射。我们不知道苏联是否探测到了这次发射，但他们可能已经探测到了。

---

①显然，俄国人在发射前已经得到了通知，但是这个通知莫名其妙地没有送达他们的战略控制中心。

②这些例子取自Scott Sagan，*The Limits of Safety: Organizations, Accidents, and Nuclear Weapons*（Princeton University Press，1993）。

（3）在新型民兵Ⅰ型导弹正在蒙大拿州的马姆斯特罗姆（Malmstrom）空军基地安装的时候，古巴导弹危机碰巧发生了。为了使这些导弹准备好可能的发射，空军和承包商人员避开了安全设施，而这些措施正是为防止由单个军官决定发射而设计的。幸运的是没有一个军官决定在他的控制下发射导弹。

我们不知道苏联方面可能犯了哪些错误，双方犯的错误都没有导致战争，但这显然不是因为国家领导人在危机时刻能完全控制他们的武装力量。正如肯尼迪总统在古巴导弹危机时说的，“总是有某些没有得到命令的混蛋”。

尽管俄罗斯大规模误攻击的威胁不很严重，但它是长期存在的。这也是我们面临的可以摧毁我们国家而使我们无法恢复的唯一威胁。与这个威胁相比，所有对恐怖分子或流氓国家的关注都是无足轻重的。

这让我想到我们巨大核武库的一个真正的价值：我们可以用我们大部分的核武库去换取俄罗斯武装力量相应的裁减。我不是要削减到2000枚部署的武器，而是要到各方不多于几百枚部署的武器，并且各方拥有不多于1000枚各种类型的核武器，包括在各类储备中的那些，就像1997年国际安全委员会和美国国家科学院武器控制委员会的报告中所要求的那样[①]。这样，虽然俄罗斯误发射的危险没有被消除，不过我们的风险将会是几百万或几千万人员的伤亡，而不是几亿人员的伤亡。

这个削减也会降低俄罗斯的核武器和武器材料被转移到罪犯或恐怖分子手中的危险。代替寻求在将来与俄罗斯签订双边战略协议的最大灵活性，基于有约束力的批准的条约，我们应该寻求双边最大可能的不可逆性。我们也应该在最初由前参议员萨姆·纳恩（Sam Nunn）和参议员理查德·卢格（Richard Lugar）发起的、帮助俄罗斯控制或销毁他们多余的核材料的计划上多花一些钱。当俄罗斯急于改善与西方的关系，当经济方面的考虑给了他们一个强而大的刺激去减少他们的核力量，并且当他们第一次有了一位强势总统能够通过他们的军事与政治机构去推动这个削减计划时，我们就有了前所未有的机遇开始从核灭绝的危险中逃离出来。让这个机会从我们身边滑走将是个悲剧。

在正确的方向上我们不仅没有走得足够快，也没有走得足够远，在某些方面布什政府似乎正走在错误的方向上。一个例子就是废止限制反

①*The Future of US Nuclear Weapons Policy*（National Academy Press，1997）。最近，汉斯·贝蒂（Hans Bethe）、理查德·加尔文（Richard Garwin）、马文·戈德伯格（Marvin Goldberger）、卡特·戈特弗里德（Kutt Gottfried）和我发表的一份声明要求：加速削减我们的核武库和其他的步骤以改善我们的安全；见 www. ucsusa. org。

弹道导弹系统的1972年条约[①]。另一个例子是为使用而不仅仅为威慑去发展核武器的想法的复活。

例如，为攻击地下设施，诸如像伊拉克那类国家的生物战实验室，《核态势评论》要求发展低当量钻地核武器。这存在着很大的技术上的困难，即使我们拥有这种武器，这些困难也会阻止我们使用它。当我们现在的钻地武器从轰炸机如B61-11上投下来的时候，只能穿透大约10英尺的冻土层。可以用火箭加速武器飞到地面来增加穿透深度，但是冲击速度的增加超过一定程度后，就会导致武器破裂，结果是穿透深度减小了，而不是增加了。现在的计算表明，一个钻地武器不可能打到深度超过它在水泥层中长度的4倍[②]。这个计算为一个长度是B61-11长度2倍的武器设置了一个穿透深度约为80英尺的上限，实际上能达到的真实深度可能远远小于它，因为冲击速度必须保持足够低以保持武器电路的完好。

确实，80英尺的深度足以将绝大部分的爆炸能量变成破坏性的地下爆炸波，它可以摧毁在实际爆破点之下的设施，但即使如此，1000吨的爆炸也只能摧毁远远小于300英尺的隧道，而在水平方向上不会比这更多；精确的范围对我们不可能知道的地质结构的细节很敏感。一件钻地核武器只对不太深的且已知其精确位置的目标有效，要确信地下目标已被摧毁，不管怎么说，我们必须有地面部队，因此核攻击甚至可能是不必要的。

即使钻地核武器能摧毁它的目标，由于辐射效应，我们也将不会使用它。20世纪50年代，带着开发核爆炸的和平用途的希望，比如开凿运河，一个可称为“犁头”（Plowshare）的项目在不同深度的地下爆炸了若干核装置。这些实验的实践显示，要让核爆炸不冲破地表层把放射性灰尘扩散到大气中去，一个千吨级爆炸至少要保持在300英尺以下，并且随着当量的减少所要求的深度缓慢地减小。（穿透地面的核武器会留下一个通到地面的竖井，这是“犁头”测试中不存在的东西，所以要防止放射性尘埃，所要求的深度甚至必定会大于这些测试所表明的数值。）为了防止深度仅为80英尺处核爆炸的放射性尘埃，把当量减小到19吨TNT是必要的，这没有超过常规爆炸所起到的作用。我不相信能有什么方法可以不用电梯把当量大于几百吨的核武器带到足以防止产生大量放射性尘埃的深度。

---

①见本文集第7章。

②Robert W. Nelson, “Low-yield Earth-penetrating Nuclear Weapons”, *Science and Global Security* 10, no. 1 (January 2002).

在80英尺深的一个1000吨爆炸所产生的放射性尘埃可以杀死地面上半英里半径内的所有人。这是在静止空气条件下估算的；风能把放射性尘埃带到几十英里外，这不仅会杀死那些我们努力把他们（如在阿富汗）招募到我们一边的当地的居民，而且也会伤害我们和我们盟国在地面上的各种武装力量。

国防科学委员会的主席威廉·施耐德（William Schneider）在最近的陈述中指出：还有另外一个对发展实用核武器更感兴趣的迹象。他宣布了一项更新的、关于核武装导弹拦截装置作为导弹防御系统一部分的研究。核武装的导弹防御拦截装置有它自身的技术和政治问题，这些问题导致了从里根政府以来对核武装拦截装置作为导弹防御的组成部分的抛弃。

我们将为发展新型核武器的所谓的优越性，包括恢复核武器试验的压力，付出高昂的代价。就像我前面说过的，计算指出任何对地下目标有效的核武器都会有很强的放射性。纵使核武器穿透地面的深度在某种程度上增加了，并且当量减少到不会有放射性尘埃，但是没有对这些武器的运行进行检测，人们如何确信放射性尘埃不会逃逸，特别是美国的武器已经造成了一条通向地表的竖井？人们如何会对基于未经测试涉及大气层内或大气层之上核爆炸的核武拦截器的导弹防御系统有信心呢？从前面的布什政府时起，我们甚至就没有进行过地下试验。并且就像我们非常感兴趣的，俄罗斯和中国也没有进行过这类试验。

发展战争用的新核武器将破坏我们对1970年旨在降低核武器作用和最终全部销毁的《核不扩散条约》的承诺。为此目的重新开始核试验将使这个破坏具体化和戏剧化，并且严重地削弱不扩散条件的有效性，而这个条约是为了阻止全球的核武器计划。

发展核武器计划的特别危险之处是它们可能阻碍了真正大规模的、核武器的共同削减。我不清楚我们是否是为了促进这样的新武器计划而正在保留一个巨大的核武库，或者是为了减慢我们核武库的削减而提出了这个武器计划。可能两者都是。回到第一次禁止试验条约还在辩论的时候，一个反对它的论点是它会阻碍“犁头”项目，也会影响“猎户座”项目、由核爆炸推进的宇宙飞船的发展。（这两个项目早已被放弃了。）发展攻击地下设施或导弹防御的核武器可能就是今天的“猎户座”和“犁头”项目。

但是现在关于新核武器的建议比“猎户座”和“犁头”项目更危险。作为常规武器方面的领导者，我们对保持自1945年以来留下来的核武器禁止使用戒律有强烈的兴趣。为了实际应用而不是为了威慑发展和试验新核武器给全世界上了一课：核武器是个好东西，值得拥有。这

是完全不合理的事情。我记得60年代末，有一次我在麻省理工学院和一位印度政府的资深科学顾问共进午餐。我问他有关印度发展和试验核武器的计划，他说这完全取决于美国和苏联能否在禁止所有将来核试验的问题上达成一致的意见。我说这似乎是不合理的，这是不是因为美国或苏联对印度施加了军事威胁，而且即便的确形成了这样的威胁，美国和苏联的核力量在任何情况下也远远大于印度的核力量，因而对印度来说，不论美国和苏联是停止还是继续核试验都是一样的。

这位印度科学顾问回答说，政治不是永远基于合理的计算，在印度执政的圈子里对是否发展核武器存在着巨大的分歧，而且美国和苏联继续试验核武器的活动将会加强印度那些赞成发展核武器的人的力量。当然，在那时候美国和苏联都没有停止试验，印度的确在发展核武器，并且巴基斯坦紧随其后。美国恢复核试验对诸如日本、埃及或德国等国家的有关核武器的决定没有影响吗？当美国发展和试验实际应用的核武器时，不扩散条约还可以存在下去吗？

布什-普京条约签署之后，人们问布什总统：对我们来说，为什么保有2000枚安装在导弹上的核武器是必要的？他回答道：未来是不确定的。相同的说法也常常被用来为发展新核武器辩护。确实，将来是不确定的，但是哪儿又写了减少不确定性的方案总是会最大化我们的核能力呢？我们没法预知美俄关系会出现什么样的危机，一场危机就可能使美国置于误发射导弹的危险之中。我们也不能预知恐怖主义者会拿走或偷走部分的俄罗斯核武库。我们还无法预知面对中国巨大的核武库我们会有什么样的危险，这个武库的建立是为了保持他们的威慑力量来对付以导弹防御系统作为后盾的美国第一次打击的威胁。我们也无法预知哪些国家会由于美国新的武器计划或者恢复核试验而倾向于做出发展核武器的决定。不存在什么我们一定要做的事。我们必须要决定什么是最主要的危险，这些危险会由于其他国家对我们自己武器计划的反应而增加，不是减少。那期《核态势评论》显然没有考虑到其他国家为应对我们的武器计划会做些什么。

在20世纪初，英国拥有世界上占绝对优势的、最强大的海军力量，正如今天美国是世界上常规武器的领导者一样。1905年海军上将约翰·费舍尔（John Fisher）爵士，第一海军军务大臣，推动了一艘新设计的快速战舰的建造，它配备的主要武器是唯一的12吋主炮——那时可用的最大的火炮。它的原型被称为“无畏号”，一个曾用于皇家海军七艘其他战舰的名字，可追溯到16世纪。无畏舰的确优于以前的战舰，紧要时管用的不是国家舰队的规模，这方面英国是超大的，而是无畏舰的数目。由于别的国家通过建造无畏舰也可以和英国一较高下，英国和

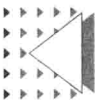
德国之间开始了海军武器竞赛，在这场竞赛中英国只在巨大的开销和困难方面领先。海军元帅弗雷德里克·理查兹（Frederick Richards）爵士在议会抱怨道："在英国舰队的效率处于巅峰，且其舰队不是等于两个而实际上等于世界上所有海军的总和的那个时候，整个英国舰队就确实被抛弃和被标记为过时的了。"① 如同无畏舰一样，核武器可作为像美国这样的具有强大的经济实力和常规军事力量的强国与弱国乃至恐怖组织之间的均衡器。现在应该清楚，国家安全的最佳效果并不总是由建造最好的武器来实现的。

作为一个科学家，从建造无畏舰到今年的《核态势评论》，我能感知到某种技术的躁动。在费舍尔鼓吹无畏舰之前几年，刚当上上尉的他负责皇家海军鱼雷学校的事务，他说："如果你是一个炮手，你必须相信并且教导别人这个世界是被火炮拯救的；如果你是一个鱼雷手，你必须讲授和教导别人这个世界是被鱼雷拯救的。"这种态度没有什么腐败或不爱国，但它们的后果可能是灾难性的。

自从本文发表后，攻击地下设施的钻地核武器的计划似乎已被束之高阁了。2005 年 10 月布什政府放弃了资助此类武器的要求。

很难找到其他的支持。部分是由于北约和美国在原来华沙条约国家部署导弹防御计划的扩张，俄美关系已经变得更加敌对。与此同时，俄罗斯在高加索和其他地方正发挥着更积极的作用。最重要的是，俄罗斯和美国都被两个国家的巨大核武库威胁着。在 2008 年 3 月美国哲学协会发表的一篇文章中，理查德·加尔文评论道："我断定：在 60 年代和 70 年代，幸运扮演了避免核战争的主要角色，而一场全面的核战争仍然可能由于偶然事件发生。"

①理查兹和费舍尔的引述取自 Robert K. Massie, *Dreadnought: Britain, Germany, and the Coming of the Great War* (Ballantine, 1991)。



9 宇宙是一部计算机吗？

当听说一位已经离开了粒子物理领域的计算机奇才——史蒂文·沃尔弗拉姆（Stephen Wolfram）撰写了一本新书《一种新型科学》（Wolfram Media，2002）时，我不是很热心的。正像我从广告上了解到的，沃尔弗拉姆曾提出用类似于一部巨大计算机的宇宙景象来替代对量子场论或者弦理论的探求，而后者将把基础物理中所有松散的端点束紧在一起——这就是我从事的那种物理。我为《纽约书评》所写的大部分文章不是对书的评论，但是当罗伯特·西尔弗斯（Robert Silvers）让我评论沃尔弗拉姆的书时，我感到不能放弃这个保护传统科学的机会。

随着工作的开展，我发现在沃尔弗拉姆的书中有很多有趣的地方，它所声称的东西被夸大了，但它对计算机科学未来的研究给出了有趣的方向。我的评论是在2002年10月的《纽约书评》上发表的。

众所周知，电子计算机极大地帮助了科学研究工作。一些科学家对计算机的重要性已经有了一个宏伟的展望，他们期待它可以改变我们对科学本身的、对科学理论应该完成的及可以实现这些目标的那些理论的想象。

我从没有分享过这种想象。对我来说，现代的计算机只是一个快速的、便宜的和比较可靠的办事员队伍（那么就称为“计算机”），第二次世界大战时在洛斯·阿拉莫斯（Los Alamos）它们被用来编程做数值计算。但是，不论我还是我们那一代的其他理论物理学家都没有像学生那样学习使用电子计算机。这个技巧在那些必须处理海量数据的实验家，以及在诸如星体结构或炸弹设计方面工作的理论家进行数值运算时是极为必要的。像我这样的理论家一般不需要计算机，我们的工作旨在创造一些理论，并仅在最容易的情况下，计算这些理论的预言。

不过，我偶尔也需要去寻找一个微分方程的数值解①，有些尴尬，我不得不招募一个同事或一个研究生来为我做这些事。因而，当我学会了使用一个在史蒂文·沃尔弗拉姆指导下为个人计算机编写的叫作“数学”（Mathematica）的程序时，对我来说，那真是快乐的一天。每个人所要做的就是按照规定的代码键入要解的方程，按下移动-进入（shift-enter）键，很快，结论就会出现在显示器上。“数学”的使用者手册就在我的办公桌上，它是那么厚，又那么重，以致它具有作为我放在手边的其他书籍的书档的双重作用。

现在沃尔弗拉姆又写了另一本几乎和“数学”使用者手册一样重的书，让出版社产生了极大的兴趣。《新一类的科学》（*A New Kind of Science*）基于沃尔弗拉姆对计算机的长期爱好，对未来科学作了一个激进的描绘。这本书的出版商，沃尔弗拉姆媒体，宣称这是“一个全新的、看待我们宇宙运行的方式”和“一系列从未公之于众的激动人心的发现”。沃尔弗拉姆以这样的评论“如果传统科学是我们仅有的向导，那么现在我们大概就会被卡在这儿了”，声称他提供了一次对科学本质的革命，并一次又一次地把他的工作与他所谓的传统科学拉开距离。他以这本书最初几行的主张打赌：“三个世纪以前，科学被戏剧性的新理念所改观，这个理念就是能够使用基于数学方程的法则来描述我们的自然界。在这本书中我的目的是启动另外一个这样的改观。”

我通常把持有这类主张的书放在我办公室书柜的怪人格中。但对沃尔弗拉姆这本书来说，那将是一个错误。沃尔弗拉姆非常聪明，22岁就获得了麦克阿瑟（MacArthur）奖学金，是无法估价的“数学”的先驱者，并且关于计算机和科学他都有很多令人兴奋的事情要说。我不认为这本书接近了他的目标，或者证明了他的主张，但是假如这是一种失败，那也是一件有趣的事情。

这本书的主题很容易表述，就是许多简单的法则能导致复杂行为。反复用来说明这个主题的例子是复杂系统理论家所钟爱的玩具，被称为元胞自动机，所以我必须说说这个元胞自动机是什么。

拿一张白色图纸，在它上面用交叉阴影线画成一些小方块。这些小方块就被称为“细胞”。选择任意一个你所喜欢的方式，把最上面一行中的一个或几个细胞涂黑，使其他的细胞保持白色。这是你的输入。现在按照某个预定的规则把第二行中几个细胞涂黑，该规则告诉你把细胞

①一个微分方程可以给出某个变化量的数值和这些量的变化率（也许这个变化率的变化率）等之间的关系。微分方程的数值解是一个变化量的数值表，在足够好的近似下，它们既满足微分方程又满足这个量和它变化率的初始值条件。

涂黑或留白取决于它在第一行中三个相邻细胞的颜色（即在紧接第二行所选细胞上方的第一行中的细胞，或者在它上方左边或右边的细胞）。然后使用相同的规则，不论是什么规则，根据在第二行中三个相邻细胞的颜色自动给第三行中每个格子着色，并继续用同样的方式自动给再下一行的细胞着色。这种着色法则是基本的元胞自动机。

这有点儿像井字游戏中的纸牌变化，只是不那么令人兴奋。的确，256 种可能[①]基本元胞自动机中的大部分都很无趣。例如，考虑第 254 步，它规定如果紧接它的上面的细胞或在它上面并向左边或者右边错过一位的细胞是黑的，这个细胞就应被涂成黑色，否则它应被保留白色。不论顶端行中黑细胞输入的花样是什么样的，黑细胞都会向下扩展，最终填满一个扩展的黑三角，以至于一旦你达到足够低的行，在任意一列中的细胞都是黑的。

但等一下，沃尔弗拉姆的获奖自动机是他的 256 项规则目录中的第 110 号。110 号规则规定：在一行中如果一个细胞上面一行中的三个相邻细胞全是黑的，或全是白的，或是黑-白-白的，那么这个细胞就应该是白的，否则它应该是黑的。使用非常简单的、在顶层一行中只有一个细胞被涂成黑色的输入，将这个法则应用 20 或 30 次之后，人们没看到有趣的事情。沃尔弗拉姆给一台计算机编好程序来运行这个自动机，并运行了几百万步。在几百步之后，令人吃惊的事情发生了，这个法则开始产生一个非常丰富的结构，既不是有规则的，也不是完全随机的。一个黑细胞的图案向左扩展到最左端的一个泡沫条，然后出现移向右方的、黑细胞的较大和较小密度区的周期性交替，随之而来的是黑白细胞的混杂。这是一个令人吃惊的沃尔弗拉姆结论的展现：即便十分简单的法则和输入也能产生很复杂的行为。

沃尔弗拉姆并非第一个研究元胞自动机的人。沿着 20 世纪 50 年代约翰·冯·诺伊曼（John Von Neumann）和斯塔尼斯拉斯·乌拉姆（Stanislas Ulam）所做的突破性工作，麻省理工学院的爱德华·弗里德金（Edward Fredkin）领导的小组已经研究了它几十年。沃尔弗拉姆也不是第一个看到复杂性可以从自动机或其他什么的简单法则中产生出来的人。1970 年左右，普林斯顿的数学家约翰·何顿·康威（John Horton Conway）发明了“生命游戏”，一个二维的元胞自动机，这里的细胞是

---

①自动机必须告诉你在一行中的一个细胞所对应的上一行三个临近细胞的 $2\times2\times2=8$ 种可能颜色图案中的每一种图案的颜色，故在 2 种颜色间作出这 8 个独立的决定的方法数目为 $2^8=256$。同样，如果有 3 种颜色，则一个基本的元胞自动机必须为每个细胞规定的染色决定的数目将是 $3\times3\times3=27$，故自动操作的数目（使用数学计算得到的）将是 $3^{27}=7\ 625\ 597\ 484\ 987$。

按照由所有围绕着它的细胞的颜色决定的规则来涂黑的，而不只是由上一行细胞的颜色决定的。运行这个游戏会产生多种激增的结构，这让人想起在显微镜下看到的微生物。不久，这个**生命游戏**就很有危害地让物理领域的研究生们上了瘾。10 年之后，另外一位数学家，也是分形的发明者，本纳特·曼德尔布罗特（Benoit Mandelbrot）给出了构建著名的曼德尔布罗特集合的简单的代数解决方案，一个在越来越小的尺度上检验时，显示出一个细节复杂到令人难以置信的丰富的二维连通图。

在现实世界中，也有一些人们熟知的从简单法则衍生出复杂性的例子。假定一束均匀的气流在一个风道中流过某个形状简单（如一个光滑的实心球）的障碍物，如果气流速度足够慢，那么空气以一个简单平滑的图案流过球的表面，空气动力学家称它为层流。如果气流速度增加超过一定的值，空气涡流就会出现在球的后面，最终形成旋涡的规则踪迹，称为“冯·卡门涡街”（Von Karman street）。接着，如果气流速度进一步增加，旋涡图案的规律性就会丧失，气流开始成为湍流。这时的气流确实很复杂，然而它是从简单的空气动力学微分方程和风吹过小球的简单设置中出来的。

沃尔弗拉姆所做的似乎还有些新意的事是研究大量各种类型的简单自动机，特别是寻找那些能够产生复杂结构的类型。有的元胞自动机有两种以上的颜色；有的元胞自动机着色按生命游戏中的规则，细胞的颜色每次变换多于一行；而有的元胞自动机的细胞分布在两维以上空间。除元胞自动机之外，还有具有诸如记忆等额外特性的自动机，包括图灵机（Turing machine），下面还会讲到。通过对这些各种各样的自动机的探索，沃尔弗拉姆发现它产生的那些图案可以归为四类。有些是很简单的，如在我讲到过的第 254 号规则的基本元胞自动机中的扩展黑三角。另外一类模式是重复性的，诸如嵌套模式，它们在越来越大的尺度上无休止地自我重复。还有一些模式似乎是完全随机的。最有意思的是第四类自动机，而 110 号规则是一个范例。这些自动机产生既不重复也不完全随机的非常复杂的模式，随着结构复杂化，以不可预测的方式出现在这里或那里。

那么，它和科学有什么关系？回答取决于为什么人们对复杂性感兴趣，并反过来取决于为什么人们对科学感兴趣。

有些复杂的现象被科学家研究过，因为这些现象本身就很有意思。对技术来说，它们可能是很重要的，例如，空气湍流流过一架飞机，或者直接与我们的生命相关；又如，记忆，那么可爱或奇怪以至于我们不能不对它们感兴趣；再如，雪花。据我所知，不幸的是没有一件真实世界中的复杂现象能用沃尔弗拉姆的计算机实验令人信服地予以解释。

以雪花为例。沃尔弗拉姆找到了一些元胞自动机，这些自动机中的每一步都对应着在一片成长的雪花周围水分子的获得或丢失。在加入几百个分子后，某些自动机可以产生看起来确实与真的雪花相似的图案。但麻烦在于真实的雪花不是仅包含几百个水分子，而是有超过 10 万亿亿个分子。倘若它能运行足够长的时间来增加很多水分子，是否沃尔弗拉姆能知道他的自动机会产生什么样的图案，但他没这么说。

或者我们取生物学中的复杂系统，诸如人的神经或免疫系统作为例子。沃尔弗拉姆提出这种系统的复杂性不是在一个复杂的演化历史中逐渐形成的，而是某种未知简单法则的结果，或多或少地类似于由 110 号元胞自动机产生的复杂行为是其简单法则的结果。可能的确是这样，但没有证据。不管怎么说，就算沃尔弗拉姆的推测是对的，这也并不意味着生物系统的复杂性和达尔文的进化论有丝毫关系。我们还是要问为什么那些有机体遵循一些简单规则，而不是其他的规则，而唯一可能的回答是自然选择喜欢那些法则，它们可以产生那种增强繁殖稳定性的复杂系统。

沃尔弗拉姆甚至讨论了在自然界决定论的观点与自由意志的存在之间的古老冲突。他提出自由意志是一种错觉，它来自于由那些生物学的简单规则产生的复杂行为的明显不可预测性，还认为那些简单的规则能控制人类的有机体。这是很奇怪的，因为我们肯定不会把自由意志归结为其他的诸如地震或暴风雨等不可预知的复杂现象。无疑，对自由意志的印象反而来自于我们实际决定要做什么的个人经验，一种我们不愿意想象受到地震或暴风雨影响的经验。这当然不是说我具有一些提供自由意志的智慧，因为我从来没弄明白别人在自由意志和自然界完全决定论之间发现的不一致性。对我来说，自由意志只意味着我们有时候决定要做什么，并且我们按照同样的、让笛卡儿确信他是存在的心理经验，知道这确实是真的，但我们没有这样的心理经验，它将告诉我们：我们想要做的不是过去的条件和自然规律的不可避免的结果。

其他和我类似的科学家在研究那些本质上不是很有趣的现象，因为他们认为研究这些现象能帮助他们认识自然界的规律，以及掌控所有现象的规则。在这个工作中我打算研究那些最简单的可能的现象，因为在这些事例中，我们最容易计算我们理论预言的东西，并且把结果与实验数据做比较，以确定我们的理论是对的还是错的。沃尔弗拉姆使人以为，因为长时间的习惯或数学的软弱性，物理学家们选择简单而不是复杂的现象去研究，但是在寻找自然界的规律时，避开复杂性是科学艺术的本质。

我自己的工作一直主要在基本粒子理论方面，但是我从未发现这些

粒子本身是很有趣的。一个电子是平凡的，且非常像其他的电子。当前在科学史中，因为我们认为研究基本粒子是用来发现掌控所有自然现象的规律的最佳途径，大多数研究基本粒子的人都这么做。因为这种特定的动机，我们一般不在乎是否能计算在复杂情况下发生在基本粒子上的每个事件，而仅仅关注是否能做足够多的计算以检查我们的理论的有效性。在中能基本粒子碰撞中，对撞能量变成复杂的粒子雨。没有人能预言这些粒子雨的细节，甚至在那些基本理论已知的地方也做不到，并且几乎没有人在意它。在较高的能量条件下，事情就变得比较简单：能量以能被进行理论计算并且和实验结果比较以检验我们的基本粒子理论的方式，落进那些定义明确的、包含了很多沿同一方向飞行的粒子的喷注。这就是使我们感兴趣的规律，而不再是现象。

不同于基本粒子，由于宗教和占星术，行星似乎在历史上就很有趣。但是，正是行星运动的简单性让牛顿发现了运动规律和引力。作为一个很好的近似，这些行星在一个单一不动的客体——太阳的影响下，在空虚的空间中运动。通过研究湍流或雪花，牛顿永远不可能发现他的那些定律。

沃尔弗拉姆本人是一个“开小差”的基本粒子物理学家，我猜想他忍不住想把他使用数字计算机程序的经验应用到自然规律的研究中去。这使得他把自然界看成是分立的而不是连续的（理查德·费曼在1981年的文章中也这么考虑过）。他提出，空间就像在元胞自动机中的细胞那样由分立点的网络构成，并且甚至时间也以分立的步伐流动。根据爱德华·弗里德金的想法，他得出结论，宇宙本身就是一部自动机，像一部巨型计算机。这是可能的，但除了这是沃尔弗拉姆和其他人已习惯的、在他们工作的计算机上的那类系统，我看不出这些推论的任何动机。这就像是一个看着月亮的木匠认为月亮也是木头做的一样。

还有另外一个研究复杂现象的原因——不是因为那些现象是有趣的，尽管有时候它们是有趣的，或者因为研究复杂现象是一种了解自然规律的好方法，这确实不是，而是由于复杂性本身是有趣的。也许有一个复杂的理论正在等待我们去发现，即一般是关于复杂行为的简单事情，而不只是元胞自动机的110号规则，或者是空气湍流，或者人类的神经系统。

还有其他一些我称之为自由浮动理论的例子，这些理论可以应用到各种各样的（尽管不是无限的）非常不同的情景。抓住了公众想象的混沌理论处理从气象到土星环上的小圆石那样的系统，这些系统显示出其行为对初始条件的极度敏感。热力学是关于热的科学，它是一个不太

时髦的例子。热力学中的概念，如温度和熵，可以应用于黑洞，也可用于蒸汽锅炉。一个不太熟悉的例子是对称性破缺理论。许多非常不同的物质，包括超导、磁铁和液氦，都是由具有某些对称性的方程来支配的，在这个意义上方程从某些不同的观点看都是一样的，然而这些物质展现出不遵从这些对称性的现象。

在专攻这类自由浮动理论的科学家和追求老还原论者梦想——寻找那些还未被其他方法解释但又基于已有系列解释基础的自然规律——的人（主要是粒子物理学家）之间，存在着一场低烈度的文化争论。这场冲突通常只在粒子物理学家试图为建造大型新加速器申请基金时才引起公众的关注。反对者听到关于粒子物理学家寻找自然界基本规律的报告时被激怒了。他们争论说热或者混沌或者复杂性或者对称性破缺同样是基本的，因为这些理论的基本原理不依赖于它们要适用的系统是由什么样的粒子构成的。反过来，像我这样的粒子物理学家指出，虽然这些自由浮动理论是有意思的和重要的，但它们不是真正基本的，因为它们可能或不可能应用到一个给定的系统；要想判断是否能将这其中的一个理论应用到一个给定的环境中，你必须能从真正的自然界的基本规律中推演出这个环境下理论的公理。

这种争论是不幸的，因为这两类科学都是有价值的，而且它们往往有很多东西可以互相学习。我自己在基本粒子物理方面的工作就从对称性破缺的想法中获益匪浅，这个想法最初源于固体物理研究，但结果成为理解包含低能的 π 介子的反应和统一作用于基本粒子的某些力的关键。复杂性理论也可给予基本粒子理论一些指导（反之亦然），但它不可能像基本粒子物理那样基本。

近来，粒子物理学家们总是遇到恪守他们在这场争论中的诺言的麻烦。几十年来迈向基本理论的步伐缓慢得令人痛苦，这大多是由于60年代和70年代发展起来的“标准模型”的巨大成功，给我们留下了能指引我们下一步工作的几个谜题。研究混沌和复杂性的科学家也喜欢强调他们的工作可以应用于日常生活的方方面面，而基本粒子物理则和那些没有直接关系。

这些日子，研究复杂性的科学家们格外兴奋。他们中的一些人在非常不同的复杂现象的特征中发现了令人吃惊的相似性，包括股票市场的涨落、沙堆的坍塌和地震。这些现象通常是采用康威的“生命游戏”机一类的元胞自动机通过模拟的方法来研究的。这种工作常常是在大学的物理系和跨学科的圣塔菲研究所（Santa-Fe Institute）中进行的。另一些自称是复杂性理论家的科学家在大学的计算机科学系或数学系工作，他们研究用计算机计算各种系统行为的时候，采用步数随系统尺度

增加的方式。他们时常采用诸如图灵机一类的自动机作为计算机的特例。他们研究的一些系统，诸如万维网（World Wide Web），是非常复杂的。但是所有这些工作还没有汇总到一个普遍的复杂性理论之中。没有人知道如何判断哪些复杂系统具有其他系统的特征，或者通常如何去界定哪些复杂性会使得某些大系统，而不是别的系统，行为的计算变得十分困难。研究这两种不同问题的科学家似乎甚至不相互交流。粒子物理学家想要说在这一代的科学中复杂性的理论是最让人振奋的新东西，但这一点却是让人兴奋不起来的不足。

在这一点上，我认为沃尔弗拉姆的书能做出有用的贡献。沃尔弗拉姆与他的合作者已经能够展示：许多产生复杂行为的简单的“第四类”自动机，例如，110 号规则的元胞自动机，能够相互模仿。这就是说，通过在 110 号规则的元胞自动机上设定一个合适的、黑白细胞的输入图案，人们可以给出其他第四类自动机能产生的同样的复杂图案，反之亦然。（在这种模拟中，一个自动机中的细胞块描述被模拟的自动机中的一个单一细胞。）特别令人感兴趣的是，其中能以这种方式被模拟的一种自动机就是通用的图灵机①。

图灵机是计算机科学史上最重要的自动机，也是今天数字计算机的先驱。它是阿兰·图灵（Alan Turing）于 1936 年发明的，在第二次世界大战时，图灵成为英国王牌密码破译专家中的一员，之后他是休·怀特摩尔（Hugh Whitemore）的游戏《破译密码》中的英雄。图灵的目标是回答一个被称为“决策问题”的经典数学逻辑问题：对某个给定的演绎数学系统，如算术或者欧几里得几何或者符号逻辑，是否存在什么逻辑方法，当它被机械地应用于该系统的任意命题的时候，保证能判断那个命题能否通过遵循该系统的法则来证明。②

为了回答这个问题，要把图灵机设计成能够抓住机械逻辑方法本质的机器。正如一个经历过用一系列符号做数学证明的人每次只关注一个

①沃尔弗拉姆说，这个证明的主要元素是他的一个助理马修·库克（Matthew Cook）在 1994 年找到的，他在这本书中给出了一个读不出来的升级版本，同时承认还有一些错误存留。我收集了未曾在专业期刊上发表过的证明。在《自然》（*Nature*）杂志上，吉姆·吉尔斯（Jim Giles）撰写的文章《这是哪种科学?》（*What Kind of Science Is This?*）（2002 年 5 月 16 日）中说道，1998 年库克不再任沃尔弗拉姆的助理工作后，在圣塔菲研究所做过一个关于他的工作的报告。但那个报告却没有出现在会议文集中；沃尔弗拉姆采取了法律手段对付库克，控告库克违犯了协议，该协议规定只有在沃尔弗拉姆的书出版后库克才可以发表他的证明。

②图灵煞费苦心地指出库尔特·格雷特尔（Kurt Groedel）著名的 1931 定理并没有解决这个问题，这个定理说有些一般数学系统中的命题不能被这个系统的法则证明或证伪，这些说法展示在伯特兰·罗素（Bertrand Russell）和阿尔弗雷德·诺思·怀特海特（Alfred North Whitehead）的《数学原理》中。

符号一样，图灵机致力于一个一维的细胞序列，每个细胞包含一个取自于某个有限列表的符号，而且该序列只有一个被“激活的”并在每一步中都有可能会被改变的细胞能够被读出。还有对应于这样的事实——一个致力于证明的人会保持对前面某些步骤的记忆，在有限数量“条件”中的任意一个条件下，图灵在他的机器中安放了一个存储寄存器。

每种图灵机都遵循一种固定的法则，该法则告诉我们在每一步中如何改变“激活”细胞中的符号，如何改变存储寄存器的条件，以及是否按照激活细胞中的符号和存储寄存器的条件把细胞向左或向右移动一步。其实我们选用什么样的符号或者什么样的条件用到存储寄存器上都不会有什么区别，它们的重要性是源于机器的法则。要解决的问题和要使用的数据以初始的符号串输入到机器中，当存储寄存器达到通知机器停止运行的条件时，就可以得到以字符串形式出现的答案。

图灵从未真正制造过一台这样的机器（虽然他持续地建造了一些具有特殊用途的计算机），但是如果高兴的话，你可以想象用图灵机里的细胞组成一个纸带，符号就是带子上一系列的带色的点，通过扫描仪装置从带子上移上或者移下，从一个激活的细胞到另一个激活的细胞读入和写出符号。在这个例子中，存储寄存器就是一个简单的机械指示器，它能处在两个或多个位置中的任意一个位置。如何改变激活细胞的颜色和存储寄存器的位置以及如何移动纸带的决定，是遵照用导线接入机器的规则，按照被读出细胞的颜色和指示器的位置做出的。一个具体的图灵机完全由纸带上细胞可能颜色的数目、指示器可能位置的数目以及装入机器的规则来标识。

关于图灵机的重要一点是某些图灵机是通用的。图灵曾证明任何一台通用的图灵机都能计算或证明其他图灵机能计算和证明的任何东西。例如，在海量的（96^{48}）、使用两种颜色和24个位置存储寄存器的那种图灵机中，至少有一种是通用的。更进一步，基于为模仿人类做机械计算的方式而设计图灵机的意图，图灵认为，通用图灵机可以计算和证明用任何纯机械过程计算和证明的东西。这通常被称为邱奇-图灵（Church-Turing）论文，因为大约在同一时候，普林斯顿大学的数学家阿隆佐·邱奇（Alonzo Church）通过他自己的更加抽象但数学上等价的方法，得到了一个类似的结论。顺便说一下，图灵和邱奇发现对大多数数学或逻辑系统中“决策问题”的回答是“不”：不存在保证能判断是否任意给定命题都能通过遵循该系统的法则来证明的机械过程。

由于通用图灵机能被110号规则元胞自动机所模拟，因而断定：这个元胞自动机及所有能模拟它的其他自动机也都是通用的——它们可以做任何计算机可以做的计算。计算程序和要使用的数据是以在顶行中黑

色细胞图案的形式输入到110号规则元胞自动机中的，而答案将以一个图案的形式出现在下一行。沃尔弗拉姆认为，这些自动机在计算上都是等价的，但这只在一个有限的意义上是对的。一台通用计算机的设计越简单，它模拟一台实用计算机的每一步计算所需用的步骤就越多。这就是为什么戴尔（Dell）和康柏（Compaq）公司不出售图灵机或110号规则元胞自动机的原因。

沃尔弗拉姆继续进行他那影响长远的猜想，认为几乎所有类型的能产生复杂结构的自动机都能被它们中的任意一个来模拟，所以按沃尔弗拉姆的想法它们都是等价的，并且都是通用的。但对包括连续变量的系统来说，这并不意味着这些自动机在计算上也是等价的（即使按沃尔弗拉姆的想法）。只有当沃尔弗拉姆是对的时候，即空间、时间抑或其他任何东西都不是真正连续的（这是另一个问题），图灵机或110号规则元胞自动机才在计算上等价于一台模拟计算机，或者量子计算机、大脑、宇宙。但是即使没有这个影响长远的（并且异乎寻常的）猜想，沃尔弗拉姆关于自动机的计算等价性的猜想至少会为任意一种复杂性理论提供一个出发点，这种复杂性可由任意一类自动机产生。

沃尔弗拉姆猜想的一个麻烦是它不仅从未被证明过——而更深层次的麻烦是它甚至从未用一个可被证明的形式提出过。沃尔弗拉姆复杂性的意思到底是什么？如果他的猜想不是一个赘述，则我们必须要有一个独立于普适性概念的复杂行为的定义。由110号规则元胞自动机产生的图案看来肯定很复杂，但是什么样的复杂性标准可以告诉我们它已复杂到可应用沃尔弗拉姆猜想的程度了？

在定义随机性的时候，存在一个众所周知的与上述讨论平行的问题。对于一个数字串或纸带上一系列黑白细胞的随机性，最常见的精确定义是：如果没有办法用一个较短的序列描述它，它就是随机的。但麻烦在于按照这个定义，一个像$\sqrt{2}$这样的数值的数字串就不能称为随机的，因为可以很简单地描述它——它是2的平方根——尽管这样，它肯定看上去是随机的（数学程序给出它的前30位为1.41421356237309504880168872420）。同样，总不能定义像在顶行只有一个单一黑细胞的110号规则元胞自动机的输出是复杂的，除非不能用简单的方式描述它，这是因为它可以用一个简单的方式来描述，这个方式就是顶行只有一个黑细胞的110号规则的输出。随机性还有其他的定义，诸如关联的缺失：$\sqrt{2}$数字串中的数字就能说成是随机的，目前所知，给定任一小数位上的数，你完全不知道下一位的数是什么。沃尔弗拉姆甚至还没有开始制定复杂性的类似定义。

事实上，就像沃尔弗拉姆所坦承的，对他来说，对一个图案复杂性

的真正检验应该是它看起来就复杂。他关于复杂性的讨论大多是奇谈怪论，是依赖于他所知道的特定自动机产生的图案的描述。在此，沃尔弗拉姆与人们称之为图形文化和文字文化（也许过于简化）间的年代久远争斗的一方结了盟。在我自己的时代，它在电视与报纸的竞争以及计算机操作系统中的图形用户界面与指令行界面之间的竞争方面已浮现出来。

后来，图形文化就更好了。曾几何时，文字文化随着声音在电影中的引入，似乎已经取得了胜利。在《日落大道》中，诺玛·德斯蒙德（Norma Desmond）回忆到，在无声电影中“我们不需要对话，我们已有面孔”。但是现在，没有对话的电影可以拖得很长，只有汽车相撞的闷响以及闪亮刀剑的嘶嘶声。图形文化的支配地位已被计算机和复杂性的研究煽动起来，它使得对复杂可视图像的模拟成为可能。

我笃信文字，或相应的数学语言（即方程）的重要性，在这方面是一个守旧的人。看到成百上千幅沃尔弗拉姆所画的图后，觉得自己像电视剧《边缘之外》（*Beyond the Fringe*）里喜剧片段中的矿工，对矿井下如此对话很不满意：永远是“喂，这是一块煤”。

沃尔弗拉姆关于元胞自动机产生的图案的分类可以追溯到80年代初，而110号规则基本元胞自动机是一个通用计算机，是在20世纪90年代初发现的。从那时候起，这项工作对其他科学家的研究就没有太大的影响了，除了沃尔弗拉姆的雇员们。我看到的科学家们对这本新书的最强烈的反应是对沃尔弗拉姆夸大了他个人对复杂性研究的贡献很愤怒。如果沃尔弗拉姆对由自动机产生的复杂图形的综述能导致有关复杂性的简单、清楚的数学表达，也许还能引起其他科学家的关注。我怀疑，甚至只有沃尔弗拉姆关心10亿步操作之后110号规则元胞自动机会产生什么图像。但是如果沃尔弗拉姆能够对他的猜测——几乎所有产生复杂图案的自动机在计算上都是等价的，给出一个精确的表述，并证明它是真的，那么他将发现复杂性的一个简单的共同特性，那将是真正有意思的事情了。在人类事务之外的任何研究中，包括复杂性的研究，只有简单的才是有意思的。

10 “《自然》百年”的序言

《自然》杂志是英国著名的科学期刊，它发表各科学领域的研究文章及科学世界的新闻。虽然《自然》杂志创刊于1869年，直到20世纪才开始发表最重要的研究文章。在芝加哥大学出版社于2003年出版的一本书中，《自然》杂志的前物理科学编辑及北美编辑劳拉·加尔文（Laura Garwin）和《自然》杂志的新闻及观点板块的编辑蒂姆·林肯（Tim Lincoln），把《自然》杂志在20世纪报道的21项最重要的发现及当前一些顶级科学家的评论收集在一起重印。例如，他们的文集包括了查德维克（Chadwick）在1932年发现中子的报告及莫里斯·戈德哈伯（Maurice Goldhaber）的评论；华生（Watson）和克里克（Crick）报道1953年DNA双螺旋结构的发现及悉尼·布瑞纳（Sydney Brenner）的评论；休伊什（Hewish）、贝尔（Bell）等人关于1967年发现蟹状星云中脉冲星的报告及约瑟夫·泰勒（Joseph Taylor）的评论。下面是我奉献给加尔文和林肯的令人印象深刻的文集的简短序言。

几乎没有科学家甚至更没有非科学家曾读过经典科学发现的原始报告。例如，我一生只遇到过两位物理学家（我不是其中的一个）通读过牛顿的《原理》（*Principia*）。那么他们为什么要读原著？不像神学或者艺术，科学是一门积累的事业。我们现在能比前人更好地认识事物，今天任何一个有能力的理论物理研究生都比麦克斯韦本人更懂电动力学的麦克斯韦理论，那么他或她为什么还要去读麦克斯韦1873年的论文《电与磁》呢？

不过，把我们自己和我们的过去完全截断是一个遗憾。科学史就像历史的其他分支一样有趣，对科学家来说，我们工作的乐趣之一就是继续伟大的历史传统、弘扬我们前辈的工作并为我们的后辈奠定基础。的确，在学习科学的时候，我们都吸收了一定的科学史知识：达尔文和华莱士（Wallace）做了这个，然后，孟德尔（Mendel）做了那个，等等。

但这种浓缩的历史带来的麻烦是它从未抓住过迈出新一步的极端困难所在，并且它往往明显是错的。为理解科学史，不存在真正阅读过去科学家巨作的替代品。这就是我们赞扬劳拉·加尔文和蒂姆·林肯从《自然》杂志众多文章中攒集了这本经典科学文集，并配置了解释性的文字以使一般读者容易理解这些文章的原因。

这个文集是如此不同寻常，不仅因为各自文章的重要性，还因为它们都出现在同一本杂志中。曾经假定那些自然哲学家（直到后来才被称为“科学家”）能够阅读并弄明白任何科学领域的新发现的报告，并且经常能对其中很多的领域做出贡献。想想威廉·海德·沃勒斯顿（William Hyde Wollaston），一位19世纪初的医生，他发现了两个新的元素，首先观测到了太阳光谱中的暗线，发明了投影描绘器，并用他的名字为地质学中最重要的荣誉命名——沃勒斯顿奖章。我们现在已经非常专业化了，只能阅读在我们自己的部分—部分—部分—专业里的文章。除了学术性的院校文集，只有两种坚持老传统，包含所有科学的英文杂志：美国的《科学》和英国的《自然》。

在这个由来自《自然》杂志的文章构成的论文集中，人们可以读到在20世纪的每一个科学领域中影响深远的文章。每个领域，也就是说，除了我自己的基本粒子理论领域。由于某种原因，粒子物理理论家很少把他们的文章投到《科学》和《自然》杂志（但是《自然》杂志曾经有一个机会，恩瑞克·费米（Enrico Fermi）把他1932年关于β-衰变理论的伟大文章投到《自然》杂志，这个理论创建了弱相互作用的现代理论，然而该论文被拒绝接受）。仔细审视这个论文集，我们应该考虑给《自然》杂志做点贡献了。我将加入到这个优秀的团队中。

11 漫步启示录

美国艺术与科学学院于1780年在波士顿成立，从那时起它就对波士顿地区，并进而对国内越来越多的地区的精神生活做出了极大的贡献。我和我的夫人在剑桥生活期间，常喜欢参加每月一次科学学院的“例会”，然后去美丽的布兰德基官（Brandegee House），在那里，讲座之后会与朋友们一起用晚餐、聊天。自从搬到得克萨斯后，我很少再涉及艺术与科学学院的事，但一直很高兴有机会重回那里。我特别高兴的是被邀请做报告，纪念两个朋友：赫尔曼·费什巴赫（Herman Feshbach）和维克多·魏斯科夫（Victor Weisskopf），他们都曾是学院的院长，但现在，都已离我们而去。下面的内容是基于我在2003年3月12日第1868届学院例会上所做的报告，那时学院已迁入自己富丽堂皇的房子。该报告发表在《学院通报》和《美国科学家联合会的公众利益报告》中。在这个报告里，我用另一种方式表述了我所关心的核恐怖主义和意外的核战争。我已经删除了一些有关发展导弹防御和核武器的评论，它们与本文集第7章和第12章随笔中的材料重叠了。

能到这个学院演讲总是很荣幸和高兴的，但对我来说，做一个献给两位伟人——赫尔曼·费什巴赫和维克多·魏斯科夫——的演讲是一项特殊的荣誉。我知道他们是麻省理工学院（MIT）的资深人士；维克多（Viki，维克多的爱称）把我招到了他主持的物理系，而赫尔曼是我工作的理论物理中心的主任。当然，远在我认识他们之前，他们就都已经是名扬天下的理论物理学家了。此外，他们两位都为核物理做出了巨大的贡献，在20世纪40年代，这些贡献成为世界历史中的一个要素。赫尔曼的博士论文是关于氚的，氚是氢的同位素，后来成为氢弹的基本原料。维克多是在洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）设计第一颗原子弹的人员中的一位，他曾感受过在10英里之外的阿拉莫戈多（Alamogordo）第一次核爆的炽热。

参与研发核武器的经历带给一代物理学家的不是内疚感而是责任感——是维克多所说的“基于对我们所制造的武器的威力的特别认识，有义务告知公众有关核战争的可怕后果……我们对一个实际核冲突的噩梦般的景象”。为贯彻这个宗旨，维克多和另外一些人创建了原子科学家联合会。后来，在1969年，维克多、赫尔曼和我联合另外38位MIT的教职员组成了忧思科学家联盟，赫尔曼是第一任主席。在70年代，维克多通过学院致力于组织有关武器控制的会议。在赫尔曼的第一期学院院长的任期内，建立了国际安全研究委员会。这些组织在向公众提供有关国家核政策和其他事务的独立科学判断方面起到了重要作用。

我多么希望我能够说随着冷战的结束，不再需要这些努力了。不幸的是，事与愿违。自从2001年9月11日以来，我们已经痛苦地意识到：世界上有些人，他们如此憎恨美国人，以致宁愿用自己的生命来伤害我们。假如恐怖主义分子在我们的某个城市成功地引爆了一件原子武器，它将会杀死如此多的人和造成如此大的破坏，以致连9月11日看起来都不过像一个普通的工作日。倘若获得100磅左右的高浓缩铀，造出一件核武器并把它放在一个美国城市、一辆卡车或一架飞机上，或者放进每年货轮带入北美港口的1700万个容器中的一个就不会是什么难事。

去年秋天，我参加了由对外关系委员会（Council on Foreign Relations）召集的关于国土安全规则（Homeland Security Imperatives）的哈特-拉德曼独立工作小组（Hart-Rudman Independent Task Force）。我们的特遣队断定：“在2001年9月11日之后的一年美国预防及应对对美国国土的灾难性攻击仍处于毫无准备的危险境地。”例如，正如我们所知道的，美国港务局管理协会估计，要使我们的商业海港具有足够的财物安全的花费是20亿美元，但只有9230万美元的联邦拨款得到授权和批准。

无论我们做什么来保护我们的城市，一些脆弱点总是存在的。我们也不得不通过与其他国家一起控制可裂变物质以防备核恐怖主义者。俄罗斯现在大约有150吨钚和850吨高浓缩铀。自1991年以来，美国已承诺实施“纳恩-卢格减少威胁合作计划”（Nunn-Lugar Cooperative Threat Reduction Program），该计划的目的主要是要改善俄罗斯对这些材料的控制，使其不落入恐怖分子和其他国家手中，并使它们不能被用于武器制造。然而，我们在这个计划上的支出大约只是所应支付的1/3。安全计划的升级大概只完成了俄罗斯核存储点的40%，并且只使小于1/7的俄罗斯高浓缩铀储备不能用于武器制造。去年布什总统提出将用于该计划的花费削减5%；今年，他只要了约10%的额外资金。

我们甚至还没有充分地保护我们的核武器设施。能源部长斯宾塞·亚伯拉罕（Spencer Abraham）说，他的部“无法满足下一轮安全任务的要求”，并且要求用3.797亿美元去改善那种局面，但白宫只批准了0.264亿美元。这里没有技术障碍——只是缺乏资金。

的确，在“9·11”之后，我们的计划得到了一大笔新资金：弹道导弹防御资金。在过去的12月，布什总统宣布在2004年10月之前部署有限的导弹防御系统。在2004年的预算中有90亿美元的导弹防御经费——一个当该计划从测试、开发到部署时肯定会增加的数字。我听说所估算的到2014年的导弹防御计划总费用可达到1万亿美元。

支持导弹防御和支持其他计划之间的差异的讽刺意味是令人痛苦的，因为用弹道导弹攻击不是恐怖分子能用来对我们使用核武器的唯一的一种方法；它是最不可能的方法。恐怖分子最愿意采用自杀的方式，不过庇护他们的国家的领导人却从不会这样做。为什么任何人都应该用常会暴露他们资源的弹道导弹而不采用很多可隐蔽资源的方法中的一种来攻击我们呢？

真正的危险不是一个流氓国家将向我们发射核武装的洲际弹道导弹，而是他们在局部冲突中使用核武器或者把它们交给恐怖主义者。对此没有简单的答案。我们可能不得不考虑对核设施，诸如朝鲜的核燃料后处理工厂，发起先发制人的非核攻击。在这个方面，我不同意参议员罗伯特·伯德（Robert Byrd）和爱德华·肯尼迪（Edward Kennedy）的观点，他们呼吁美国尊重绝对禁止预防性攻击。有时预防性的战争是必要的和恰当的——例如，在1935年3月德国宣布撕毁《凡尔赛条约》（Versailles Treaty）并组建空军时。

如果美国能够清清白白地反对核扩散将是有益的。根据1970年《核不扩散条约》的条款，我们致力于降低核武器的作用并努力消除它们。但是，有迹象表明布什当局正试图回归核武器不只用于威慑而且还要使用的观念。当局的核态势评估报告要求发展强大的核地面穿透器——攻击地下设施的核武器（尽管这种武器在不产生严重核辐射的情况下也不能用）——新的预算中含有一小笔为了这个目的的拨款。国防科学委员会主席已要求进行核武装反弹道导弹拦截系统的研究。白宫办公厅主任安德鲁·卡德（Andrew Card）说过，美国将不会排除在伊拉克使用核武器的可能性。布什总统已经宣布他将不寻求批准《全面禁止核试验条约》。对一个常规武器占压倒优势的国家，发展实用的核武器似乎是事与愿违地到了疯狂的程度。

某些人说核试验是保持安全性和可靠性所必需的，但美国国家科学院的一个委员会在2002年和美国物理学会理事会在2003年都已得出结

论：不经过真实的核爆炸，对现存核武器储备的安全性和可靠性拥有信心是可能的。的确，我们过去测试核武器的时候，通常是在开发新式武器。

在我看来，我不认为如果各方核武器的确变得不太可靠是坏事。这样我们就不可能把它们用于先发制人的攻击，或碉堡克星，或导弹防御，但是如果我们的部分武器达不到标准水平，将会对威慑产生什么样的影响呢？与此同时，核扩散仍在继续：今天朝鲜，明天伊朗，甚至在巴西，一位内阁大臣已在呼吁核武器计划。

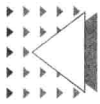
你可能没有意识到这一点，到目前为止我在这个演讲中一直在寻找光明的一面。恐怖分子或者流氓国家的核攻击会造成严重破坏并夺去几百万人的生命，但它不会毁灭我们的国家。只有俄罗斯巨大的核武器军火库对我们国家的错误攻击可以做得到。

提及这种危险看起来可能很“复古”——类似于建议现代政治家去担心一个像复本位制或自由相爱一类的 19 世纪的问题。在目前的国际关系中，的确没人认为俄罗斯或美国会计划首先打击另一方。然而，双方的战略核力量仍然冻结在他们的冷战姿态。每个国家都肩负着在攻击核武器到达自己的陆基导弹和控制中心之前就能够回应对方攻击的责任。这意味着必须在任何核武器真正爆炸之前的几分钟内决定攻击。只需要 2 分钟的时间发射我们自己的陆基洲际弹道导弹，用不到 15 分钟的时间发射我们的潜射导弹。

快速决策的压力对俄罗斯来说比对我们还要严重，因为他们几乎没有无懈可击的威慑部分（他们的导弹潜艇很少出海）保存下来，并且他们的陆基导弹对美国潜艇相对短程的攻击是脆弱的。1995 年 1 月，俄罗斯攻击决策过程曾被美国一个从挪威近海岛屿发射的研究北极光的研究火箭所触发。火箭最初被误认为是从在挪威海的美国潜艇上发射的，多个阶段的分离也许给人以被几个导弹攻击的印象。俄罗斯的反应过程仅在离 10 分钟最后决断截止期前的几分钟被中断。（类似的片段也曾于 1983 年发生在苏联和 1979 年及 1980 年发生在美国。）因为美国部署和改进了其反导系统，可以认为它有能力对付一个衣衫褴褛的俄罗斯的第二次打击，俄罗斯快速决断的压力变得更大了。

国防部长唐纳德·拉姆斯菲尔德坚持部署一个无效的导弹防御系统，说这总比没有好，但事实上它比没有更坏。俄罗斯国防委员会前副参谋长帕维尔·柔罗塔瑞（Pavel Zolotarev）少将说，美国导弹防御计划使俄罗斯核规划者很难再考虑大幅削减核武库和降低警戒级别。我们真能假定俄罗斯总能正确地判断他们是否受到了攻击，特别是如果美国和俄罗斯的关系在未来变得敌对时？

已经采取了的降低这种危险的几个步骤，都有无效这一共同特征。1994 年 5 月，克林顿总统和叶利钦总统同意美国和俄罗斯停止相互瞄准对方的领土。这是一个糟糕的玩笑；瞄准可在几秒钟之内恢复。1988 年，美国和俄罗斯的总统同意在莫斯科建立一个交换火箭发射数据的中心。这个中心的计划已完成了，但它从未投入运行。2003 年 3 月，参议院批准了《削减进攻性战略武器条约》，该条约在一年前已由布什总统和普京总统签字。它要求双方削减部署战略核武器的数目，但该条约仅要求到 2012 年把各方武器的数目削减到约 2000 枚，并且运载工具和几千枚退出服役的武器将不必销毁，只要分解就可以了。我们需要把各方核武器的数量减少到几百枚，而不是几千枚；清点所有的武器，不仅是那些战略部署的；并且关闭这些武器一触即发的警戒。没有比这更重要的事情了。除少数几个强硬派发出警告［如国防信息中心主任布鲁斯·布莱尔（Bruce Blair）和前参议员山姆·纳恩（Sam Nunn）］之外，任何年份，由错误触发核攻击的危险很小，它很少受到关注。没有哪方的总统对此危险给予高优先级。但它总是与我们同在，并最终可能毁灭我们。



12 荣誉的价值?

我阅读历史是一种消遣，我读的大量的东西是军事史。在我看来，在战争史中，就像在科学史中一样，能够得出非常清晰的成功或失败的判断，而在社会史或政治史中这通常是不可能的。出于这个原因，军事史可提供参与战争群体的长处与弱点的特别有益的见解。不管怎么说，这就是通常的解释，否则我看起来就像是一个偏执于酷爱和平的教授。也许我对军事史感兴趣的另外一个原因是，在第二次世界大战期间我是个小孩，非常遗憾自己年龄太小而不能加入战斗。

我在近年阅读中有时会这样想：对军事策略和技术的选择经常会增加军队指挥官的荣耀，尽管事实上它们并没有增加避免或赢得战争的可能性。在目前的军事计划中也可以看到这方面的例子，其中有一些在专业上和政治上与我有关。我曾经想写一篇有关在军事史中欺世盗名的事情所产生的影响的文章，但又有些犹豫，因为我没有作为历史学家的专业资质。于是，罗伯特·西尔弗斯（Robert Silvers）请我给《纽约书评》40周年刊写一篇议题随意的文章，该文章发表于2003年11月，而我就利用这个机会表述了下面的我的军事荣誉观点，并将该文章所引用的书刊列在其后。

战争为大多数类型的愚蠢提供了充分的机会。在这当中，有一种与战争特别般配的愚蠢：荣誉的欲望。人们几乎可以肯定一个指挥官在任何情况下的动机，但仍有熟悉的欲望迹象：愿意接受在不利情况下的挑战；愿意独立于盟军或同僚行动；一种非理性的进攻而不是防守的倾向；努力把握自己在赢取胜利中的决定性作用。很容易想到这方面的例子。安东尼（Antony）接受阿格里帕（Agrippa）在亚克兴（Actium）打海战的挑战，尽管他擅长陆地战。在1421年，克拉伦斯公爵（Duke of Clarence）违反了他的兄长亨利五世国王（King Henry Ⅴ）的命令，用150名骑马的重骑兵在没有弓箭手的情况下拼死攻击5000人的法兰

西军队。为夺回荣誉，在 1862 年的里士满（Richmond）防御战中，J. E. B. 斯图尔特（J. E. B. Stuart）通过骑着马在麦克莱伦（McClellan）军队的周围探寻他的侧翼赢得了战争，尽管他的军队在葛底斯堡（Gettysburg）战前一周没有进行所必需的侦察就甩开了北弗吉尼亚（Northern Virginia）军团，他还是在 1863 年 6 月和 7 月带领他的骑兵一路狂奔穿过了马里兰州和宾夕法尼亚州。海军上将威廉·F. 小哈尔西（Admiral William F. Halsey Jr.）指挥着第三舰队追猎日本战列舰和航母，虽然其他日本战列舰正威胁着在莱特岛（Leyte Island）海滩登陆的美国战士。

虽然总有“甚至在加农炮炮火下还要寻求虚名”的战士和海员，由于通信和监视技术的改进增强了高级指挥官控制下属官员的能力，似乎近来个别指挥官的极度虚荣心已经在战争中变得不那么危险。但是仍然有来自于习惯性虚荣的持续的危险。有时一个军事分支可能试图将其荣誉的机会最大化，背弃其他相对乏味而实际需要的任务。这可能成为一种意识形态，像 1914 年的法兰西陆军条令“饱和攻击”（l'attaque à outrance）。军方甚至可能更多地采用用于增强荣誉而不是用于胜利的武器，而武器自身可能变得充满了魅力，这妨碍了对如何使用它们做出明智的决定。人们在整个历史的长河中都能找到这样的例子，由于我们目前国防政策上的危险效果，它们不幸地延伸到了现在。

1917 年 2 月 1 日，德国启动了一个无限制潜艇战计划。它对英国航运的影响是毁灭性的。在前三个月中，德国仅以 10 艘 U-型潜艇的代价击沉了 844 艘船只。按照温斯顿·丘吉尔（Winston Churchill）说的：“在我看来，那是我们在所有跌宕起伏的战争中所面临的最严重的危险。”

显然，解决 U-型潜艇威胁的方案是要求商船集队航行。正如后来丘吉尔在《世界危机》中所解释的：

> 海是如此之大，相比之下船队的尺度与单艘船只的尺度间的区别减小到了无意义的程度。实际上 40 艘船只的船队以密集的形式在巡逻着的 U-型潜艇之间溜过去而不被察觉的机会与单艘船的机会几乎是一样的；每出现一次这样的机会，就有 40 艘船逃出来，而不是一艘。

这也是很多种鱼成群游动的原因。此外，40 艘商船能由很少量的驱逐舰或其他的护航舰只护卫，而为每条单独航行的商船派一艘护航舰是不可能的。即便在声呐变得实用之前，在下潜的潜艇发起攻击时也能通过追溯它所发射的鱼雷的轨迹发现它。一支船队确实比单艘船展现出

多得多的目标，但即便有那么多标靶，一艘 U-型潜艇在耗尽它的鱼雷或被摧毁或被护航舰赶走之前也只能摧毁少数几艘船。在第二次世界大战中，当一支船队被发现时，U-型潜艇学会了使用无线电与设在被占领的法国的总部联系，招来其他的 U-型潜艇发起攻击，但该技术在第一次世界大战中还不可用（也不可用于捕鱼）。

在无限制潜艇战开始后的几个月，尽管英国船只的损失有增无减，海军部仍继续拒绝护航。对第一次世界大战中的皇家海军来说，护航的责任是不体面的[①]。研究 20 世纪早期海战的首席历史学家亚瑟·马德（Arthur Marder）在《从弩级战舰到斯卡帕湾》中解释道：

> 奇怪的教条出现在战前的一代，他们提供军舰护送商船本质上是起“防御”作用的（因为它保护商船不受攻击），事实上这很糟糕，而他们使用海军力量去巡逻贸易航线，尽管只是徒劳，但起到了“攻击”敌人战舰的作用，这是好的。

1915 年，英国海军中将 H. F. 奥利弗（H. F. Oliver），战争参谋部参谋长，对战时内阁秘书毛里斯·汉基爵士（Sir Maurice Hankey）解释道：对潜艇威胁的正确解药不是护航，而是“猎杀”。

麻烦的事是，在没有远程飞机和雷达时（甚至常常在有它们时），巡逻舰很难发现在开放海洋上巡航的潜艇。在我曾经作为 JASON（一个担任国防顾问的学者群体）的成员做反潜战工作的那些日子里，我的工作主要局限于求解方程，但在 20 世纪 60 年代早期，我曾经参加过反潜演习，在一个护航驱逐舰上搜索一艘那天早晨离开基韦斯特（Key West）的第二次世界大战时的柴油潜艇。我们的船和一艘驱逐舰、飞机使用被动和主动声呐及磁性探测装置搜索了一整天，都没能找到潜艇。在结束的时候，潜艇不得不发射出一个无线电信标，告知我们它在哪里。记住这一点，后来当我读到海军少将威廉·西姆斯（William Sims）（在第一次世界大战期间负责在欧洲的美国海军的美国海军上将）的评估——对巡逻舰来说，要发现随意下潜的潜艇，大约需要每平方英里的大洋有一艘驱逐舰，我想西姆斯太乐观了。要知道大洋包含了太多的平方英里。按照西姆斯的估计，要发现一艘在西部某处靠近不列颠群岛巡航的潜艇可能需要 25 000 艘驱逐舰。

由于挑衅性的巡逻显然没能反击 U-潜艇并且航运损失在增长，海

①公平地说，对护航舰队的诘难来得更合乎情理。有人说，商船不能以紧密的编队航行，但当试着做时，发现能做到。有人说，没有足够参与护航的舰艇，但结果是现有的驱逐舰能执行此任务。

军部变得绝望了。1917 年 4 月 10 日，当西姆斯到达伦敦时，他应邀会见第一海军军务大臣、海军上将约翰·杰利科爵士（Sir John Jellicoe）。杰利科告诉他：如果航运损失以目前的速度继续，英国将不得不退出战争，并且海军部也不知道该如何做。西姆斯给华盛顿发回电报："简单地说，我认为目前我们正在输掉这场战争。"

来自西姆斯、汉基和劳埃德·乔治（Lloyd George）的压力最终迫使海军部尝试使用船队。作为一次试验，一支商船船队被从直布罗陀派到英国，所有的船都于 1917 年 5 月 29 日安全到达。第二天，海军部终于命令所有往返于伦敦的商船必须以船队的方式航行，于是航运损失急剧下降。

在第二次世界大战中，试图扮演一个光荣但不切实际角色的英国和美国的战略空军，试图由他们通过战略轰炸赢得战争，即瞄准轰炸敌方的工业设施和城市。曾经出现过关于二战中的战略轰炸功效的大辩论。然而尽管可能有过有用的战略轰炸，但它不可能通过自己赢得战争，至少直到核武器出现之前是不可能的。在诺曼底（Normandy）登陆中，所有可用的轰炸机以及护航战斗机都要依照是否收到艾森豪威尔（Eisenhower）当局的指令参战肯定是必要的，这样在需要进行战略轰炸以支持地面部队和封锁德国援军的时候，当局可以调动它们。尽管如此，美国第八空军的杰姆斯·杜利特（James Doolittle）和英国轰炸机司令部的指挥官亚瑟·哈里斯（Arthur Harris）给这样的安排或给任意中断战略轰炸设置了一个巨大的阻力，并且设法争取到了丘吉尔（Churchill）的支持①。为在入侵的关键阶段获得对战略空军的控制，艾森豪威尔不得不声明只要他在指挥，就不会接受其他安排，从而含蓄地威胁要辞职。

甚至在葛底斯堡之战前斯图尔特失去与李②的联系，可能代表着一种制度化的傲慢而不仅是个人的虚荣。其他内战中骑兵将领也喜欢独立行动。1864 年 8 月，田纳西州的南方联盟军司令约翰·B. 胡德（John B. Hood）派出他的骑兵，在约瑟夫·惠勒（Joseph Wheeler）将军的指挥下袭击在格鲁吉亚的舍曼（Sherman）军队的铁路供应线，并期望[依据李察·麦克默里（Richard McMurry）的书《亚特兰大》（1864

①艾森豪威尔在《十字军在欧洲》中说，是杜利特、哈里斯和丘吉尔反对给予他入侵时的战略空军指挥权，而格哈德·温伯格（Gerhard Weinberg）在所著的关于第二次世界大战历史的书《战争中的世界》中还把不赞成将战略空军指挥权给艾森豪威尔归罪于在意大利的第十五空军司令依拉·埃克（Ira Eaker），以及杜利特和哈里斯。罗素·里格利（Russell Weigley）在《艾森豪威尔的助手》中只引了哈里斯抵制艾森豪威尔的权利。如果里格利是对的，则英国民族自豪感以及空军虚荣可能在这一争端中起了作用。

②李（Robert Lee）为美国南北战争时期南方军总指挥。——译者注

年)］惠勒只去几天。在这之后直到10月中旬，田纳西军队里没人再看到惠勒的部队。1864年2月，联盟骑兵将军贾德森·基尔帕特里克(Judson Kilpatrick)说服林肯允许他的骑兵为分发小册子和释放一些囚犯对里士满发动一次灾难性的袭击。就像布鲁斯·卡顿(Bruce Catton)所看到的，“它产生于一个浪漫梦想，它是为了荣耀，而荣耀是过时的”。

我们最近有了另外一个军人厌恶给人印象不深的角色的例子。正像第一次世界大战中皇家海军偏好为完成护航任务而进行的“猎杀”行动，和第二次世界大战中盟军空军偏好为支持地面行动而进行的战略轰炸，以及在内战中骑兵偏好为支持步兵而进行的独立行动，近年来美国陆军偏好计划战斗而不担心如何治理征服的领土。在第二次世界大战中，军队有一个有效的军政府部。它于1942年7月在宪兵司令办公室成立，早在任何一块被占领的轴心国领土需要治理之前。正是这个部门和在军政府的夏洛茨维尔学院(The Charlottesville School of Military Government)受过训的工作人员，使美国在后来能秩序井然地管理日本和部分德国及意大利没有遭受到广泛的抢劫、暴乱或游击队的袭击。

在战后的年代，军政府的责任被转移到军队的民政部门。对这个部门给予的支持减少，它几次从试图把它解体为一个分离的单位中幸存下来，直到1987年它最终在特种作战司令部找到了归宿。在那里，它必须击退把它的剩余资金和人事职位转移到特种部队的企图。在20世纪80年代末，一份陆军委托的报告中的“精简非必需品”的章节质问道：“应继续训练7000名预备役人员去治理被占领的国家吗？需要那些在管理艺术、档案、古迹方面受过训练的人去保持被占领领土上的文化吗？”① 民政事务被称为职业官员的死胡同。

现在只有一个现役民政单位，总部位于布拉格堡(Fort Bragg)的第九十六民政营(空降)；剩下95%的民政人员是预备役军人。与第二次世界大战德国投降后不久在德国的美国占领区大约有15 000名军政府士兵相比，现在在阿富汗大约只有200名民政人员。一位刚从伊拉克回来的上校(不是民政人员)告诉我，在那里，几乎没有遗落其他任何地方，大约有2000名民政官员(不全在军政府中)，尽管他们正在做着出色的工作，但人员远远不够。不幸的是，国防部的工作重点似乎没有改变。今年晚些时候，它计划关闭有10年历史的陆军战争学院的维和研究所。

军事技术史经常描述新研制武器的采用怎样被文化的影响所延迟的例子。(也许最引人注目的例子是德川幕府将军不允许在日本使用枪

①由斯坦利·桑德勒(Stanley Sandler)引用的《很高兴看到他们来，但很遗憾他们走：美国民政和军政府的历史，1775—1991》(USASOC，1998)，372。

支。）但在这些历史中，当新武器最终被采用时，通常认为是由于他们的目标性，而不是那些非理性的荣耀的欲望。

著名的中世纪历史学家林恩·怀特（Lynn White）在其有影响的1962年的著作《中世纪的技术和社会变革》中遵循了这种模式。作为新军事技术的一个例子，他选择了马镫和长矛的结合。马镫在传统的古代西方不为人知。正如怀特讲的，它大约是公元5世纪由中国发明的。游牧骑兵通过中亚把马镫带到君士坦丁堡。沿途没有哪个地方显示它对战争怎么打有很大的作用。但是当马镫在公元世纪后期传到西欧时，其效果大增。马镫可让骑兵通过“平端的”长矛，即他可在身体和上臂间夹着它，把猛冲的马的全部力量传递到他的枪尖而不掉下马来。怀特认为，征募可负担得起所需的盔甲和战马的骑兵以这样的方式去打仗突然变得必要，而骑兵只能由国家拨款供应。从公元732年开始，法国梅罗文加王朝（Merovingian France）的杰出宫相查尔斯·马特尔（Charles Martel）开始没收教会的土地，并把它们授予骑兵。一类新的封建骑士和贵族诞生了[①]。

我对这个故事表示怀疑。毫无疑问，每个尝试过骑马的人都知道马镫是件好东西。我不怀疑在1100年以后平端长矛的骑兵突击变成一个流行的战术，但这是由于它的有效性而被采用的吗？

怀特认为的马镫的使用在打破赞同骑兵超过赞同步兵的平衡方面是“尤其”重要的，使骑马的骑士能够平端长矛突击，这也是马镫必不可少的一种战术，但似乎不能非常有效地对付步兵。在这样的一次突击中，每个骑士在一般的混战开始前只能杀死一名步兵战士，在混战中长矛是没用的。一匹“军马”，一匹强壮到足以驮载一位装甲骑士并被饲养和训练得能向敌人猛冲的马，是非常昂贵的。正如合唱歌曲《国王亨利五世》中说的，“他们现在卖掉牧场买马”。当我们也要考虑骑士和马的护甲的费用，以及必要的马夫和替换马匹的费用时，用这种方法杀死一名步兵战士似乎是不划算的。它就像没有枪炮的坦克通过逐个撞倒的方法攻击步兵一样。毫无疑问，坦克会打败相同数量的步兵战士，但在两个具有相等资源的国家间的战争中，以这种方式使用其资源的一方肯定会被打败。

同时，在中世纪，步兵并非毫无防备。他们可以站在地面尖桩阵的后面，就如同英格兰弓箭手在阿金库尔（Agincourt）战役和百年战争中的其他战役中所做的。他们能用长矛保护自己，就像1176年意大利步兵在莱尼亚诺（Legnano）为击退的腓特烈一世皇帝(Emperor Frederick I)

①迈克尔·霍华德（Michael Howard）在《欧洲历史上的战争》中核准了这件事。

的骑兵所做的，或者在沼泽地的战斗，就像1302年佛兰德（Flemish）的长矛兵在考特赖（Courtrai）为击退法国骑兵所做的，或在丘陵地区，就像1315年瑞士人在莫尔加滕（Morgarten）战胜奥地利利奥波德（Leopold）时所做的。而且步兵能用投射武器反击。一支从弩放出的弩箭或者一支从长弓放出的箭可以穿透除最好的盔甲以外的一切东西。在克雷西（Crécy）、普瓦捷（Poitiers）和阿金库尔战胜了法国骑兵的就是那些英格兰弓箭手。

我知道在中世纪欧洲没有一场战役是通过端着长矛的骑兵对一排步兵发动攻击赢得战斗的。查尔斯·阿曼（Charles Oman）在他经典的两卷本《中世纪战争艺术史》中没有提及明确的例子。就算从1100年到1300年，步兵几乎从后中世纪的欧洲战场上消失了，但显然不是因为他们被长矛和马镫击败了[①]。

奇怪的是，怀特只提及了一场欧洲的战斗，1066年10月14日的黑斯廷斯（Hastings）战斗，以证实新军事技术的优势。这是真的，在黑斯廷斯，威廉公爵（Duke William）指挥下的诺曼人大多是骑在马上的，他们打败了哈罗德国王（King Harold）的步行作战的英格兰步兵。但也可能是英格兰士兵在数量上被诺曼人压倒，并且他们已经筋疲力尽。9月25日在斯坦福桥击败了由哈拉尔德·哈德拉德（Harald Hardraade）统领的挪威军队的入侵之后，他们从约克行军200英里于10月6日到达伦敦，然后，他们又行军58英里到达黑斯廷斯附近。更有甚者，目前尚不清楚在黑斯廷斯的诺曼骑兵使用平端的长矛攻击过英格兰步兵[②]。在黑斯廷斯所使用的武器的唯一可靠证据是在战斗之后不久刺绣的贝叶挂毯[③]。纵观整个挂毯的复制品，我看到在很多诺曼骑兵

①在14世纪步兵复兴之后，阿曼提到两场鼓动贵族相信骑兵必然优越于步兵的战斗：1304年的蒙-恩-贝维尔（Mons-en-Pevele）战斗和1328年的卡塞尔（Cassel）战斗。如同最近凯利·德夫里斯（Kelly DeVries）在14世纪早期的步兵战中指出的，虽然在这两场战斗中，法国骑兵确实击败了佛兰德的步兵，这仅仅发生在弗莱明斯（Flemings）由于构想拙劣的对法国的攻击而变得组织混乱之后。在蒙-恩-贝维尔战斗中，最初法国骑兵的冲锋是被佛兰德的步兵打回去的，在卡塞尔，在佛兰德发起攻击之前，法国甚至没有试图攻击佛兰芒线。

②怀特没有直截了当地说诺曼人在黑斯廷斯用平端的长矛冲击英格兰人，但是他把黑斯廷斯之战看作是新军事技术“最引人注目的”应用，和“7世纪与11世纪的军事方法间的矛盾”。

③没有目击证人对黑斯廷斯战役的书面记载。最频繁被引用的同时期的记载是杜克大学的牧师普瓦捷（Poitiers）的威廉（William）撰写的《威廉的事迹》和亚眠的主教盖伊（Guy）撰写的《黑斯廷斯战役之歌》。他们大多提到箭、标枪和剑。有几处英语翻译成长矛（在这两份记载中这些武器没有一个出现在战场的同一个地点），但现在还不很清楚这就是在拉丁原件中表示的意思。拉丁字 *hasta* 的意思可以是长矛或者投枪。此外，在每个记载中都没有任何地方明确地说是使用端着的长矛发起了攻击。普瓦捷的威廉的翻译评论道：因为丘陵地形，在这场战役中使用端着的长矛受到了限制。

手上有长矛，但那证明不了什么，长矛早在发明马镫或封建制度之前就广泛地被骑兵用于刺杀和投掷。贝叶挂毯中的很多长矛被举到头上，犹如它们即将被投出一样。

只有一块板上，第65号，显示有端着的长矛可能被用于攻击英格兰步兵，但无法知道这是否是骑兵冲击的结果。我发现它是在说，贝叶挂毯上所示的长矛没有一个有手柄（就像在后面中世纪骑士比武的实例中展示的被称为铁片护手的锥形的护手），该手柄可使骑在马上冲锋的骑士将长矛刺进敌人身体。没有这样的手柄，不管撞到什么东西长矛都会滑过有马镫或没有马镫的骑士的腋窝。不管是哪种情况，英格兰人在黑斯廷斯更可能是被诺曼人的弓箭手而不是骑兵打败的。贝叶挂毯显示一个英格兰人——一般认为是哈罗德——的眼睛被箭射中。

因此，如果骑兵端着长矛冲锋对步兵是无效的策略，为什么长矛变成中世纪骑士的标准武器，并且为什么骑兵主宰了中世纪鼎盛时期的战场呢？我似乎觉得，新兴封建贵族阶层的出现并非靠着一套马镫和端着的长矛，封建制度的出现另有原因[①]。骑兵配备长矛成为封建骑士和贵族所钟爱的装束，是因为有助于他们在战场上建功立业。土地拥有者能把自己视为军人英雄，而不是仅仅作为王子招募来的军士。这种战术需要巨额费用是一个优点，而不是缺点，因为农民买不起战马和盔甲。在战斗中没有使用步兵，原因不是它将会是无效的，而是这是大家都在用的。如果这些听起来都太不合逻辑以致不会是真的，请回想阿曼对中世纪晚期骑士的论断："封建势力呈现出一个非军人样素质，诸如已经很少知道要共存的集合。"

端着长矛骑马冲锋的真正用途是在中世纪骑士的比武中。这些华丽的仪式赋予像英格兰的威廉·马歇尔那样的熟练骑士成为国际名人的机会。一种说法是作为真正战斗的训练场，骑士比武在12世纪变得流行起来[②]，但说不含步兵的骑兵战可充当比武的训练也同样是对的。

不难找到很类似那些更多是为荣耀而不是为军事效益而采用新武器的例子。在两次世界大战之间，美国陆军航空兵军官想象：陆基飞机不仅能通过战略轰炸摧毁敌人的工业，还能征服敌人的舰队。空军将军威廉·米契尔预言，空军力量"将不仅主宰陆地，还将主宰海洋"。正如中世纪骑士使得平民步兵不再必要，轰炸机将使海军变得无关紧要。

①例如，按照亨利·皮雷纳（Henri Pirenne）的备受争议的论文，这是因为地中海对欧洲的贸易被阿拉伯人关闭，是他们造成了以封建主义替换罗马文明。

②惠灵顿应该说滑铁卢战役是在伊顿公学（Eton）的比赛场上赢的。但是他比中世纪的将军们更聪明，他知道最好不要用板球拍去武装他的士兵。

轰炸机远离近海单独执行任务，而不用海军舰艇搭载去进行攻击，需要飞行很长距离，载弹量又很大，就如同执行战略轰炸任务一样。这样的飞机将很大，所以它不能被作为俯冲轰炸机，它将不得不在水平飞行中释放炸弹。为了避开防空火力，它将不得不从高空投弹。经过几个飞机制造商间的竞争，波音公司在1936年1月得到了一份满足这些需求的轰炸机合同。它最终被命名为B17，或“空中堡垒”，并在战后变成影片《孟菲斯美女号》（*Memphis Belle*）和《晴空血战史》（*Twelve O'Clock High*）中的明星。

B17满足了陆军部所有的技术规格要求，但它未能达到所计划的目标。在“珍珠港事件”之后，B17被派到中途岛。1942年6月，一支日本舰队在接近中途岛时，被B17发现。在6月3日和5日间的55架次的飞行中，B17投掷了315颗炸弹，然而虽有飞行员们乐观的报告，仍没有一颗击中日本船。日本舰队的防空火力把B17拒之2万英尺之上，在那个高度很难把炸弹投到像一条小船一样的目标上。同时，像中世纪躲避端长矛的骑兵攻击的步兵一样，船舶可以机动操作避开从高空投下的炸弹。正如塞缪尔·艾略特·莫里森（Samuel Eliot Morison）在他的《第二次世界大战中美国海军的作战史》中评注的，B17跟踪日本舰船将比轰炸它们造成更多损害，但是他们的飞行员仅被训练过轰炸。

陆军航空兵对自己轰炸敌人舰船的能力的信心，部分来自于米切尔（Mitchell）在1921年给出的引人注目的示范，在那次示范中，陆军的轰炸机成功炸沉了一些投降的德国战舰，包括东弗里斯兰号弩级战舰。但德国船只是停泊着的，不是在机动回避中，并且因为它们没有向飞机射击，从低空轰炸它们是安全的。四艘日本航空母舰在中途岛不是被B17而是被短程海军SBD俯冲轰炸机击沉的，这些俯冲轰炸机是由企业号和约克敦号航母承载来参加战斗的。在1943年期间，尽管少数B17飞机为了一些较不显眼的活动，如向遇难的水手投掷救生艇，而被留了下来，大部分B17则被撤出了太平洋战区。

甚至在自己的战略轰炸这一主要作用方面，B17也遇到了麻烦。在没有我们目前的星载全球定位系统的情况下，为有机会击中像工厂和铁路编组站一类的目标，轰炸机不得不在白天攻击。但是在白天飞越敌方的领空时，它们容易受到敌人拦截飞机及防空炮火的攻击。为此，B17的设计牺牲了部分炸弹能力以使它能够携带特别重的武器：13挺机关枪，由6名机组人员操纵。（B17最大的炸弹负荷小于英国的兰开斯特①

①皇家空军曾比美国陆军航空兵有更高的战略轰炸的热情，但他们对轰炸机的自我防御能力的认识更为现实。他们放弃了精确轰炸的目标，而是在晚上攻击德国的城市，希望通过破坏士气和职工住房来削弱德国。

或美国的 B24。B24 被证明比 B17 更有用，但它同样从未引起过公众的关注。）空军期待 B17 的紧密编队飞行能自己抵御截击机，并能到达超越美国战斗机护送范围的目标。实际过程没有证实这一点。在 1943 年 8 月 17 日的白天空袭中，315 架未被护送的 B17 袭击了一个在施韦因富特的滚珠轴承厂和一个在雷根斯堡的梅塞施米特式战斗机工厂，但也失去了 60 架轰炸机和他们宝贵的机组成员。在这个损失率下，第八空军要想不全军覆没就不可能在白天继续进行哪怕少数几次的突袭式战略轰炸了。深入德国的白天的战略轰炸不得不暂停，直到 1944 年 2～3 月像 P51 一类的长程护航歼击机面世。

尽管对 B17 在执行已计划好的任务时的无效性有太多的失望，它仍体现了空军的荣耀之梦，并且成为美国空中力量的象征。战争期间共制造了 12 000 多架 B17。在远程护航可用之后，B17 与其他轰炸机一起通过袭击德国合成油的工厂和运输设施，的确在战争中发挥了重要作用，尤其是在迫使德国将火炮和战斗机从战场转移到防空洞方面。但美国的资源对 B17 的巨大投入限制了其他的生产。盟军的作战计划持续地被登陆艇的短缺所限制，但 B17 从来不短缺。

自第二次世界大战以来有了火箭和核武器，它们同样有着曾围绕着轰炸机和长矛的魅力。现代高科技武器在一定环境下的非凡功效是毫无疑问的，却经常要被问及它们在哪类任务中是有效的，以及在这些任务中有哪些实际需要去完成。

在核武器用于战争以来的几十年中，一个健康的信念已经被开发出来，即这些武器不可以再用于威慑之外的任何情况。在一场引人注目的国际讨价还价中，一些国家在 1970 年同意他们完全不会发展核武器，以换取美国和其他有核国家降低核武器的作用并努力消除它的保证。现在布什当局通过呼吁研制新一代低当量核武器背弃了《核不扩散条约》。这非但不会增强我们的核威慑力，实际上反而可能被用于战争。在政府愿望清单中首要的是一个“强大的核钻地弹”，一件能钻到地下去攻击地下掩体和实验室的核武器。

如同使用平端的长矛，很难想象新的低当量核武器在一项合理的使命中能实际发挥有效作用。正如我在前面讨论过的[①]，一个被强大的钻地弹带到地下的核武器只能攻击那些埋得不太深的、其位置是精确知道的标靶，并且任何这样的攻击将不可避免地产生大量的辐射沉降在地表，可能会杀死大量的平民。

①“不断增长的核威胁”（The Growing Nuclear Danger），*New York Review of Books*，July 18，2002；本书第 8 章。

问题并不在于花费在新核武器上的钱将被浪费掉，这些项目的成本在几千万或几亿美元的范围内，而不是几十亿美元；相反，问题是美国将违反 1970 年《核不扩散条约》并且将鼓励全世界新一轮核武器的发展。对于一个在非核军事技术方面极大地领先于世界其他国家的国家，即使是中世纪的骑士都可能觉得这是难以置信的愚蠢。

国家导弹防御系统对某些人来说具有一部好科幻电影般的魅力。一批美国卫星检测到亚洲一些邪恶政权的导弹发射。在阿拉斯加的强大的雷达追踪到了导弹的弹头，并且美国发射了导弹在地球大气层之上去迎击它。然后，我们的导弹释放了外大气层杀伤拦截器（EKV），它会自我引导去撞击敌人的弹头并摧毁它内含的炸弹。西雅图保住了。

不幸的是，导弹防御系统不太像能工作得这么好的样子[①]。到目前为止，EKV 的测试在成功和失败间交替，并且现在测试已经暂停，而将携带 EKV 进入空间的助推器方面的工作仍在继续。然而就算测试有一个不间断系列的成功，它们仍像 1921 年东弗里斯兰号战舰被轰炸机毁灭一样靠不住。像这样的一些测试不是没有价值，但是，不能靠它们告诉我们是否被测试系统将是非常有效的。就像在米切尔测试中的东弗里斯兰既没有机动躲避也没有射击攻击它的轰炸机，在 EKV 测试中没有一个被瞄准的弹头伴随着简单且现实的能挫败 EKV 的诱饵。到目前为止，也没有在任何一次测试中专注于其他可能对抗 EKV 的对策。在现实世界中，B17 无法打击以不可预知的方法机动躲避的日本战船，所以同样，如果敌人使用了我们不能提前知道的对策，我们的 EKV 将无法毁灭飞来的弹头。

我已经对他们概括地说过的那些导弹防御系统的支持者承认这些问题，但是他们争辩说我们至少需要起步，然后一边走一边学。正如拉姆斯菲尔德部长所说，提出国家导弹防御系统至少比没东西好。我认为，可以给出一个强有力的理由说明它比没有更坏：它将伤害我们与盟友的关系，劝阻俄罗斯不要关闭导弹发射就绪警报，鼓励中国增加比计划中更强的导弹力量。

如果一个基于攻击发射后不久的导弹助推器的“助推段拦截”系统（“boost-phase intercept”system）是为保卫我们的盟国及我们自己，并且被安置在一个碰不到从俄罗斯或中国发射出来的导弹的地方，它将不会受到这些批评。然而美国物理学会的一个专门小组最近的研究表明，可行的拦截器在弹头从朝鲜或伊朗发射出来的导弹助推器中分离出

---

①我在“导弹防御”（On Missile Defense）（*New York Review of Books*, February 14, 2002）中有更详细的讨论；本书第 7 章。

来之前将无法碰到这个导弹[①]。

的确，人们无法确定其他国家会怎样回应美国的导弹防御系统。然而，毫无疑问存在导弹防御的巨额成本的问题。我们目前的花费为每年约90亿美元，且仅仅是为了研发，部署覆盖整个美国的系统将肯定花费几千亿美元，所有这些都是用来无效地对抗难以置信的威胁。任何针对美国的导弹攻击都将马上显示出是由哪个国家发射的，并使其处于毁灭性的报复中。这样的威慑力量在近半个世纪的冷战中保护美国不受核攻击。这是真实的，没有导弹防御，可能会阻止美国试图推翻一个拥有核武装洲际导弹的“流氓国家”。但是，美国要采取这样的行动而不害怕核报复，导弹防御系统将不得不接近完美，且不仅仅比没有好。

甚至以国防为一个明确的合理理由使政府花钱去做的那些事，也应该考虑导弹防御所需的巨额资金用在其他种类的防御上是否会更好。不同于弹道导弹，利用不会马上暴露出攻击源的核或生物武器的方法攻击美国的方法有很多种。在过去一年左右的时间里，我曾经在外交关系委员会的两个专门小组——国土安全需要（homeland security imperatives）方面的哈特拉德曼独立工作小组（the Hart-Rudman Independent Task Force）和紧急救援人员（emergency responders）方面的鲁德曼独立工作小组（the Rudman Independent Task Force）任职，知道资金的缺乏在多大程度上限制了我们防御恐怖分子对国家袭击的能力是很痛苦的。我们海港的财物安全资金严重不足。另外，美国可能只为应急反应人员提供了合理所需资金的1/3。现在美国城市的警察和消防员比2001年9月11日以前的人数还要少。

我们面临着另一个危险，甚至比来自恐怖分子的还要严重。对今天俄罗斯和美国之间所有良好的关系来说，俄罗斯的核力量被冻结在冷战的配置水平，他们设计了在一个单独的核武器打到俄罗斯陆基导弹或控制中心之前，在10分钟内通过大规模的核反击来应对美国袭击的警报做出反应的装置。这不只是把一个或两个城市，而是把整个美国都置于由错误导致的不可逆破坏的危险之中，这是一个当俄罗斯探测攻击的能力变得越来越退化时将增加的危险。应该采取更多措施来减少这种危险，诸如认真地减少双方的核武库，并且共享有关导弹发射的信息，但是这一直不是任何一届美国政府的优先考虑。减少错误导致的核攻击威胁，改进港口的安全，提供应急响应，把有效的政府带给伊拉克和阿富汗——我们的领导人在其中的任何一件事上都没有发现足够的荣耀。

①美国物理学会研究组报告《国家导弹防御的助推段拦截系统》（2003年7月），可在www. aps. org上找到。

这篇文章用过的书：

A Stillness atAppomattox: *The Army of the Potomac*, vol. 3, by Bruce Catton (Anchor).

The World Crisis, vol. 4, by Winston S. Churchill (Scribner).

Infantry Warfare in the Early Fourteenth Century, by Kelly DeVries (Boydell and Brewer, distributed in the US by University of Rochester Press).

Crusade in Europe, by Dwight D. Eisenhower (Johns Hopkins University Press).

The Carmen de Hastingae Proelio of Guy, *Bishop ofAmiens*, translated and edited by Catherine Morton and Hope Muntz (Clarendon Press).

War in European History, by Michael Howard (Oxford University Press).

From the Dreadnought to Scapa Flow, vol. 4, by Arthur J. Marder (Oxford University Press).

Atlanta 1864: *Last Chance for the Confederacy*, by Richard M. McMurry (University of Nebraska Press).

Winged Defense: *The Development and Possibilities of Modern Air Power—Economic and Military*, by William Mitchell (Dover).

Coral Sea, *Midway*, *and Submarine Actions*, *May 1942-August 1942*, by Samuel Eliot Morison (Little Brown; part of a fifteen-volume set).

A History of the Art of War in the Middle Ages, by C. W. C. Oman (Burt Franklin, two volumes).

The Art of War in the Middle Ages, *AD 378-1515*, by C. W. C. Oman, revised and edited by John H. Beeler (Cornell University Press).

Mohammed and Charlemagne, by Henri Pirenne (Dover).

Hankey: *Man of Secrets*, *Vol. 1*, *1877-1918*, by Stephen Roskill (Naval Institute Press).

The Victory at Sea, by William S. Sims (James Stevenson).

TheBayeux Tapestry: *A Comprehensive Survey*, edited by Frank Stenton (Phaidon).

Eisenhower's Lieutenants: *The Campaign of France and Germany*, *1944-1945*, by Russell F. Weigley (Indiana University Press).

A World at Arms: *A Global History of World War II*, by Gerhard L. Weinberg (Cambridge University Press).

Medieval Technology and Social Change, by Lynn White (Oxford University Press).

The Gesta Guillelmi of William ofPoitiers, translated and edited by

R. H. C. Davis and Marjorie Chibnall (Oxford University Press).

《纽约书评》发表了两封有趣的信件评论前面发表的文章。由耶鲁大学法语系霍华德·布洛赫(R. Howard Bloch)教授写的一封信发表在2003年12月。布洛赫教授不同意我的说法:在中世纪骑兵端着长矛冲锋不是一种有效的军事技术。他指出在黑斯廷斯之战中作战的诺曼人认为有足够高的技术使他们能带着马横渡海峡。他进一步提出在康奎斯特(Conquest)之前,最引人注目的是1053年他们在西维塔特(Civitate)击败教皇军队时,就已经在南意大利使用了平端着的长矛。

由哈利·利伯(Harry Lieber)写的另一封信在第二年的4月发表了。利伯先生承认我关于在中世纪端着长矛冲锋的骑兵是无效的观点可能是对的,但认为使用平端长矛这项技术赢得了1683年的维也纳战役的胜利。他指出,波兰骑兵在国王索比斯基(Sobieski)的带领下打破了土耳其的防线并使土耳其军队(主要是步兵)败退。我用下面的评注来回答这两封信。

虽然我很感谢布洛赫教授在6月份那期杂志上对我的文章《荣誉的价值?》的赞美,但我不同意我看错了黑斯廷斯战役。我并不想争论威廉公爵是否认为端着长矛的骑兵攻击将会有效地打击步兵。如果他这样做了,我不会感到吃惊。在历史上不可能有许多军事指挥官或组织者决定采用明知是无效的战术或武器,只是因为他们认为这将把他们的荣耀最大化。也许我应该说得更明确一点,我的观点是渴望荣耀可以扭曲对策略和武器有效性的判断。我的文章提供了在黑斯廷斯战役中骑兵平端长矛冲锋并没有起到显著作用的证据,也许是因为丘陵地形会使这一策略无效。我讨论黑斯廷斯战役不是因为不管怎样它都给出了长矛和马镫结合的有效性的清晰证据,而是因为这是一场在林恩·怀特的书《中世纪的技术和社会变革》中一直被提到的作为其有效性的例子。

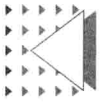
布洛赫关于西维塔特之战的评注提出了更严峻的挑战。这次战役(不像黑斯廷斯战役)确实提供了一个骑兵端着长矛冲锋的有效性的例子吗?人们普遍认为,在西维塔特主要由约3000名骑兵组成的诺曼军队击败了更多的主要由步兵组成的教皇军队。但似乎没有任何诺曼骑兵是使用平端长矛冲锋的证据,在这种战术中马镫是必不可少的。关于西维塔特战役引用最多的资料是阿普利亚区(Apulia)的威廉写的《罗伯特·吉斯卡尔的事迹》。布洛赫教授可能被该书1961年的法文译本误

导，该书告诉我们，诺曼骑士罗伯特·吉斯卡尔（Robert Guiscard）如何用长矛刺穿了教皇的一个步兵。得克萨斯大学古典学系的一名教师同事告诉我，原始的中世纪拉丁文本只是说战士被尖锐的东西（犬齿）刺穿，不一定是长矛尖。后来，威廉描述说，罗伯特用一只手拿着长矛、另一只手拿着剑战斗，这并不意味着平端长矛冲锋。同样，无论诺曼人采用了什么策略，他们的胜利几乎没能证明什么。教皇的军队只是一群乌合之众，吉本（Gibbon）把他们描述为一群“卑鄙的和混杂的群众……他们战斗没有纪律，并且逃跑不知羞耻”。这是事实，教皇军队有一支由700名训练有素的斯瓦比亚步兵组成的中坚力量，他们承受着一个接一个的诺曼骑兵的冲击，直到他们的数量优势被淹没。一个用3000名骑兵只能吃力地击败700名步兵的策略很难说是有效的，更不用说成本效益了。

我将借此机会更新我文章中的一点。自完成这篇文章以来，美国军队已推翻了关闭其维和研究所的决定。

利伯先生的信是非常有趣的。我不知道1683年的维也纳战役中简·索比斯基的骑兵对土耳其步兵冲锋是使用了平端的长矛。在我的文章中我曾争辩在中世纪战争中这种战术的无效性，但这个情节可当作骑兵使用或不使用平端的长矛可赢得战斗的一种提示——通过把无准备的步兵吓得魂飞魄散，而不是做任何实际伤害他们的事情。这似乎就是在维也纳发生的事。就在索比斯基的骑兵冲击之前，通过马里尼（Marigny）步兵的有效冲击，土耳其步兵已经陷入了混乱。平端着长矛扑向土耳其步兵的骑兵，使组织混乱的土耳其步兵陷入不能重整的恐慌之中。类似的情节在中世纪也可能发生了。另外，骑兵携平端长矛冲锋对抗经过精心准备的步兵，像百年战争中的英国弓箭手一样，是完全无效的。

这篇文章发表以后，伊拉克和阿富汗出现的事情再次表明了美国陆军民政部浪费资源的愚蠢。但是，正如这篇文章所明确指出的，这不仅仅是布什政府的失误，也是前政府和军队所做决策的结果。



13 四条金训

在大学毕业典礼上发言时向应届毕业生提供关于生活和工作方面的忠告是一种惯例。我做毕业演讲时，一般都避免这种做法，因为我不知道怎样给朝着各种不同方向——商业、军事、法律、学术、政治，诸如此类——前行的学生提供意见。但在2003年6月，当我被邀请到麦吉尔大学（McGill University）的科学大会上为毕业班讲演时，情况就不一样了。我可以假定他们中的大多数人至少会考虑科学研究这一职业。就像大多数科学家一样，我必须对在研究中做什么和不做什么给出一些想法，并且我不能抗拒把我的意见塞给作为未来科学家的听众的机会。我觉得这个演讲做得相当不错，所以我添加了一个“冠冕堂皇”的题目，并把它提供给了可敬的期刊《自然》，发表于2003年11月。

当我拿到我的大学学位时——那好像已经是100多年前的事了——物理文献对我来说似乎是一个巨大的、未经探索的海洋，在开始无论是哪项研究之前，它们的每个部分我都不得不追踪。不知道所有已被研究过的事，我怎么能做其他事呢？幸运的是，在研究生院的第一年，我被招到资深物理学家的麾下[①]，他们不顾我焦急的反对，强调我必须开始做研究，并随着工作的进展需要什么学什么。不能成功便是沉沦。出乎我的预料，我发现这是可行的。我设法得到了一个快速博士学位——虽然当我得到它时我对物理几乎什么也不知道。但是我确实学到了一件大事：没有人知道所有的事情，而且你也不需要每件事都知道。

继续使用我的海洋学的隐喻，我学到的另外一课是，当你游泳且不会沉没时，你的目标应该是波涛汹涌的水域。20世纪60年代末，当我在麻省理工学院教书时，一个学生告诉我，他想进入广义相对论领域而

①附注：他们是哥本哈根玻尔研究所的戴维·弗里斯（David Frisch）和贡纳尔·卡伦（Gunnar Källén）。

不是我的工作领域——基本粒子物理，因为前者的基本原理是众所周知的，而后者在他看来还是一团乱麻。我忽然感到他给出了一个做相反事情的绝好理由。粒子物理是一个仍然可以做创造性工作的领域。在20世纪60年代它确实是一团乱麻，但是从那时起，很多理论和实验物理学家的工作已经能够把它梳理出来，并把一切（好吧，几乎是所有的）都放在一个漂亮的可称之为标准模型的理论中。我的建议是：到混乱的地方去，那才是有所作为的地方。

我的第三条建议可能是最令人难以接受的，那便是要原谅自己浪费了时间。在物理课上，只要求学生们解决他们的教授（除非异常严酷）知道怎样解决的问题。另外，该问题在科学上是否是重要的也无所谓——它们必须被解出来以通过课程的学习。但在真实世界中，我们很难知道哪个问题才是重要的，也永远不知道在一个给定的历史时刻某问题是可解的。

在20世纪初期，一些顶尖的物理学家，包括洛伦兹和亚伯拉罕，试图找到电子理论。这部分是为了理解为什么通过以太探测地球运动的效应的所有努力都失败了。我们现在知道，他们在研究错误的问题。在那个时候，没有人能建立一个成功的电子理论，因为量子力学还没有被发现。天才的爱因斯坦在1905年认识到要研究的正确问题是运动对时空测量的影响。他由此创建了狭义相对论。

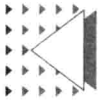
正如你将永远不会知道哪个是要研究的正确问题一样，你在实验室或桌子前度过的大部分的时间将被浪费掉。如果你想有所创新，就不得不习惯于将你的大部分时间花在非创新性的事情上，在科学知识的海洋里停滞不前。

最后，要学习一些科学史，或至少你所研究的学科的历史。其最基本的原因是，实际上在科学研究中，历史可能是对你的研究有用的一些东西。例如，科学家时常会被从弗朗西斯·培根（Francis Bacon）到托马斯·库恩（Thomas Kuhn）、卡尔·波普尔（Karl Popper）等哲学家们提出的某个过于简单化的科学模型所束缚。科学哲学的最好解药是科学史知识。

更重要的是，科学史能使你觉得自己的工作更有价值。作为一个科学家，你可能不想变得那么富有，你的朋友和亲戚也可能不理解你正在做的事。并且如果你工作在一个像粒子物理一样的领域，你甚至从未有过做一些马上有用的东西的满足感。但是你可以通过认识到你的科学工作是历史的一部分而得到极大的满足。

回首百年前，到1903年，谁是1903年大英帝国或加拿大的总理有那么重要吗？真正重要的是，在麦吉尔大学欧内斯特·卢瑟福（Ernest

Rutherford）和弗雷德里克·索迪（Frederick Soddy）揭示了放射性的本质。这项工作当然有实际的应用，但更重要的是它的文化内涵。对放射性的认识使物理学家能解释太阳和地球的内核在数百万年后为什么仍然会很热。这样，对许多地质学家和古生物学家认为地球和太阳存在了很长年代的最后一个科学异议也消除了。此后，基督教徒和犹太教徒不得不要么放弃“圣经”字面上的真理的信念，要么甘心放弃理智。这只是从伽利略经过牛顿和达尔文到现在的一系列步伐中的一步，它一次又一次地削弱了宗教教条主义的桎梏。如今随便读哪一张报纸都足以显示迄今这项工作还未完成。但是，它是文明化的工作，科学家们可以为此感到骄傲。



14 错误的事情

作为一个理论物理学家，我的工作是使用笔和纸完成的，所以不依赖于用在设备上的大量的政府基金。但是理论研究没有了新实验数据持续提供营养就会死亡。在我自己的领域，基本粒子物理和宇宙学，绝大部分的数据来自于昂贵的设施——周长若干英里的高能加速器，地层深处等待着俘获偶然的中微子或暗物质粒子或质子衰变的巨大的液体罐，智利或夏威夷或西得克萨斯山顶上的直径几米的望远镜，以及被无人驾驶人造卫星携带到地球大气层之上的望远镜和微波接收器。人们始终要为这些设施得到资助进行奋斗，而有时项目在进行了几年和花费了数百万或数十亿美元之后却被取消了。1993 年对超级超导对撞机建造极具伤害和愚蠢的终止（在我的书《终极理论之梦》中描述过）已经导致美国在高能物理研究中的领导地位的丧失，并且阻碍了该领域多年的发展，现在这种状况随着欧洲大型强子对撞机的建造完成有可能结束。

在物理学家们挣扎求存超级对撞机资助的同时，国会正在考虑对国际空间站的拨款。空间站已经花费了超过 10 倍的建成超级对撞机所需的费用，但对科学知识并没有什么重要的贡献。即便如此，当我在众议院的一个委员会作证支持超级对撞机时，我听到该委员会的一位众议员说，他看到空间站将有助于了解宇宙，但他无法看到超级对撞机的作用。

国会决定保持空间站，并放弃超级对撞机，这可能是因为美国国家航空航天局（NASA）把空间站的合同分配到几乎所有的州。也许，如果超级对撞机也像空间站那样贵，并把它的合同散布到全美国，它就不会被取消。但是我想还有另外一个要建空间站的原因，即到处蔓延着的看到地球人在太空中的魅力。这种愚蠢时常被航天员做的科学研究报告合理化，但真的与任何重要的科学工作无关。

接着，在 2004 年 1 月布什总统宣布了一项载人航天飞行

的新举措，派宇航员重返月球，然后到火星。费用尚未公布，但它显然将是巨大的，甚至远高于空间站的费用。《纽约书评》编辑罗伯特·西尔弗斯（Robert Silvers）知道我对载人航天飞行有强烈的意见，因为在一篇关于导弹防御的文章（本文集的第7章）中，我曾提到过“白痴”的国际空间站。他请我写一篇关于总统新举措的文章，我即刻抓住了这个机会。这篇文章发表在2004年4月。

自从NASA成立以来，大部分资源已被用于把男性和女性送入太空。在这一年的1月14日，布什总统宣布了一项进一步强化NASA向载人航天飞行凝聚的“太空探索新视野”计划。自1998年以来一直在建设中的国际空间站将在2010年完成；它将随着从现在开始的美国的在站活动，保持服务直到2016年左右，这些活动将专注于研究太空旅行对宇航员的长期影响。被称为航天飞机的载人航天器将继续飞行至2010年，并且主要向空间站提供服务。然后，航天飞机将被换成一个新的载人航天器，它将被开发和测试直到2008年。在2015年和2020年间，将使用新的载人航天器发送宇航员重返月球，他们将更长期地在那里生活和工作。然后，我们将为下一步人类去往火星的任务做好准备。

花费将是昂贵的。总统没有给出成本的估算，但美国参议院商务、科学和运输委员会主席约翰·麦凯恩（John McCain）引用了报告，这个新举措将耗费1700亿~6000亿美元。按照NASA简报，1700亿美元只计划把NASA维持到2020年，不包括火星任务本身的费用。1989年前总统布什宣布了一个类似的举措，NASA估计派遣宇航员到月球和火星的费用是4710亿美元或1991年美元币值的5410亿美元，取决于计算的方法。这大约为今天的9000亿美元。无论NASA怎样估算新举措的费用，我们可以预期费用往往会像这样伴随着NASA的巨大计划而超支。（在1984年，NASA估计，在不计入使用成本的情况下，将耗资80亿美元把国际空间站放到太空。到目前为止，我所看到费用的数字是250亿~600亿美元，而且空间站还远没有建成。）让我们不必对这将近1000亿美元讨价还价——我估计，总统的新举措将耗费近1万亿美元。

将此费用与最近派送机器人“勇气号”和“机遇号”到火星的费用8.2亿美元比较，后者大约是总统新举措费用的1/1000。将人包括进来则无疑会使任何一个空间任务变得更加昂贵。人需要空气、水和食物。必须保护他们免遭宇宙射线的伤害，因为在地面上我们能得到地球大气层的屏蔽。在赴火星的航程中，宇航员将超出地球磁场的保护范围，所以他们也不得不屏蔽太阳在耀斑期间发送出来的带电粒子。不同

于机器人，宇航员将要返回地球，最重要的是，对宇航员的惨痛损失无法像机器人的损失一样不予理会，因此任何使用新航天器的伤亡都会导致昂贵的延误和计划的变更，就如同1968年“挑战者号”航天飞机和2003年2月“哥伦比亚号”航天飞机灾难性事故之后所发生的那样。

于是，总统的新举措使我们有必要再次处理一个首次空间冒险以来一直纠缠着我们的问题：把人类送到太空的价值是什么？这里存在着严重的冲突。天文学家和其他科学家普遍怀疑载人航天飞行的价值，并时常对干扰科学研究感到愤怒。NASA管理人员、宇航员、航空航天承包商和政客通常会感觉载人航天飞行简直太棒了。NASA太空科学办公室解释说：“总统所想象的根本目标是通过一个坚实的太空探索计划增强对美国科学、安全和经济的关注。”因此，让我们来看看载人航天飞行是怎样增强这些关注的。

许多美国人还记得1957年10月苏联发射无人驾驶的人造地球卫星时普遍感到的对美国国家安全的忧虑。1961年当苏联宇航员尤里·加加林（Yuri Gagarin），进而盖尔曼·蒂托夫（Gherman Titov）进入太空时，这些担忧上升到了一个新的高度。蒂托夫驾驶的航天器环绕地球飞行了17圈，其中3圈首次跨越了美国。汤姆·沃尔夫（Tom Wolfe）在《正确的事情》中描述了美国人的反应：

> 全国各地的政治家和媒体似乎再次深感震惊，可怕的景象呈现出来；假设宇航员装备了氢弹，并在经过（美国）上空时把它们扔了下来，就像托尔（Thor，北欧神话中的雷神）扔下雷电……托莱多（Toledo）从地球表面消失……堪萨斯城（Kansas City）……卢伯克（Lubbock）……

作为结果，把火箭送入太空的能力确实具有巨大的军事意义。作为一种把苏联或美国的核武器携带到敌人领土的运载工具选择，在地球大气层之上飞行的弹道导弹几乎取代了轰炸机。甚至在今天的非核战争中，环绕地球轨道的人造卫星在监控、通信和导航方面也扮演了重要角色。但是，这些导弹和卫星都是无人驾驶的。据我所知，从蒂托夫的飞行到现在，从来没有那么一刻把人送入太空的能力可以给任何国家带来一点点军事优势。

虽然事实上一些军事卫星已由航天飞机送入轨道，我还是要说，幸好这可以用便宜得多的无人火箭去做。人们曾希望，使用航天飞机将降低将卫星送入轨道的费用，因为它可被重复使用。要把卫星送入轨道，使用无人火箭的费用约为每磅3000美元；相反，使用航天飞机的费用约为每磅10 000美元。物理学家罗伯特·帕克（Robert Park）曾经指

出，以这种比率，即便在轨道上铅能变成黄金，也不会付钱给航天飞机发送卫星。派克或许可以再加一句，在这种情况下，不管怎么样 NASA 都可能会用航天飞机把铅砖发送上去，并在发布的新闻中将黄金作为航天飞机的价值的证明。

除了 NASA 需要以某种方式来证明航天飞机的存在是合理的，似乎没有其他任何理由需要使用航天飞机把一些军事卫星送入轨道，在卡特（Carter）政府期间，NASA 向国家安全副顾问解释说，除非卡特总统把军事卫星飞行任务强加在航天飞机上，他将是一个对航天飞机计划结束负责的总统，因为如果不得不向商业用户收取实际空间发射费用的话，航天飞机绝不可能幸存。

类似的评注也适用于太空旅行的直接经济利益。环绕地球轨道的人造卫星的巨大经济价值是毫无疑问的。勘测地球表面的那些数据给我们提供了各种各样的有关天气、气候和环境变化的信息，并可对军事建设和火箭发射发出警告。卫星超越地平线转发电视节目和电话会话。全球定位系统能计算出汽车、船舶、飞机及导弹的位置，靠的是来自卫星的定时信号。但同样，这些都是无人卫星，并且能使用最便宜的无人火箭把它送入轨道。

很难想象把人送入太空可得到一些直接的经济利益。在诸如国际空间站的轨道卫星上，人们一直努力在重力几乎为零的情况下让某种晶体生长，或仿效空间站，在近乎完美的真空中制作超纯半导体薄膜。起初里根总统批准空间站是期望它最终可以赢利。这里没有什么经济价值显现出来，现在在总统空间站的新计划中这些项目显然已被明智地放弃了。

不久前有一些派遣宇航员到月球上开采轻同位素氦 3 的话题，这些氦 3 经过月球表面暴露在太阳风下数十亿年已沉积下来。关键是，较为熟悉的以氢同位素为燃料的热核反应会产生大量的中子，它们可能会损坏周围的材料，使它们具有放射性，而涉及氦 3 的热核反应产生的中子少得多，因而只产生较少的放射性废物。使用氦 3 的热核反应器，假设能工作的话，也可能让核能到电能的转换更为有效。

不幸的是，这是一个重大的“假设”。热核能源发展如此困难的原因之一，是必须把燃料加热到一个非常高的温度，使原子核有足够的速度克服原子核所携带的电荷间的斥力导致的相互碰撞。氦原子核的电荷是氢原子核的两倍，所以引发涉及氦 3 和氢同位素的热核反应所需的温度远远高于仅涉及氢同位素的反应所需的温度。到目前为止，没有人能够引发有用的、能自我维持的使用氢同位素的热核反应。在做到这一点之前，花费大量的钱到月球上开采那种更难以产生热核能的燃料似乎是无意义的。

布什总统在他的1月14日演讲中强调，太空计划引起“惠及全人类的技术进步”。这是事实，执行一项艰巨的任务，如把人送上火星，可以产生新技术形式的间接效益，但在这里，我也认为无人驾驶的任务可能更有成效。设想一些能真正造福人类的、来自太空任务的未来副产品，我觉得很难拿出比设计无人太空任务所需的机器人的经验更有前途的东西①。这方面的经验可以帮助我们建造使人类在地球上免除危险或单调乏味工作的机器人。惊喜总是可能的，但我看不出任何具有类似价值的东西会出自为保障执行太空任务的宇航员生命安全而发展出的专业技术。

布什总统在他的太空计划报告中强调将获得的科学知识。一些阅读了他的讲话的读者可以想象宇航员在航天飞机或空间站上通过望远镜凝视行星或恒星，或在月球或火星上漫游以发现太阳系的历史。但事情不是这样的。

毫无疑问，空间观测站带来了天文知识的极大增加。只举一个例子，在20世纪90年代初期，宇宙背景探测卫星上的仪器测量了1965年发现的微波无线电静态的微弱背景。宇宙处于目前膨胀阶段的历史只有约40万年，而这种辐射就是在那个时候遗留下来的。新的数据显示，现在各种波长的辐射强度刚好是不透明物质在绝对零度以上的2.725摄氏度所发射的量。在宇宙学的历史上，这是第一次任意的量被测量到了四位有效数字的精度。更重要的是，研究发现这种辐射的强度不是完全均匀的，而是稍微有点起伏。所观察到的强度从天空的一个部分到分开几个弧度方向的另一个部分大约差十万分之一。假如这些宇宙微波背景的变化是由宇宙极早期能量空间分布的量子涨落引起的，这些团块正是我们所期待的，涨落也最终导致物质——星系和星系团——的汇集，这也是天文学家在整个宇宙中看到的。随后的十年，在山顶上、气球上和南极对宇宙微波背景进行了日益完善的观察，但地球大气层的扭曲效应给精度设置了一个极限，该精度可在气球能飞到的最高海拔进行测量得到。最后在2002年，这些研究被一个引人注目的新太空任务，威尔金森微波各向异性探测器（Wilkinson Microwave Anisotropy Probe），大大地推进了一步。在环绕月球重复循环若干周以获得速度之后，这个探测器沿着与太阳相反的方向飞往太空中的一个被称为L2的点，它距地球约100万英里（比月球远4倍）。任何放置在L2点的东西就以保持它待在L2点所需的速度绕太阳运行。在那里，在寒冷的安静的行星际空间，可

①附注：当我在奥斯汀的一个计算机财团的演讲中做这个评注的时候，听众中有人指出，无人太空任务通过推动实时处理不可预见问题的计算机程序的发展，可能会对技术做出更大的贡献。

以以前所未有的精度标志出宇宙微波辐射背景的团块结构。这些测量结果与理论的对比证实了我们关于在宇宙极早期出现涨落的基本想法，它显示出，现在的宇宙是由约4%的常规原子、约23%的不与辐射发生作用的某些奇特类型的暗物质，和其余某种神秘的具有负压的“暗能量”构成的；并给出了目前阶段宇宙的年龄为135亿~139亿年。

这是激动人心的研究，NASA可以理直气壮地为它感到骄傲。这种研究带来了宇宙学的黄金时代。但是，无论是宇宙微波背景探测器还是威尔金森微波各向异性探测器，都没有任何宇航员在上面。在那里不需要人。相反，他们的动作和身体的热量会破坏这些测量，也极大地增加了这些任务的费用。这对每个空间观测站都是适用的，这些观测站通过在地球大气层之上观测紫外光、红外光、X射线或伽马射线扩充了我们的宇宙知识。其中一些观测站是由航天飞机送入轨道的，而其他的（包括宇宙微波背景探测器和威尔金森微波各向异性探测器）则是由无人火箭送上去的，本来都可以这样做的。

哈勃太空望远镜是一个特例。如同其他在轨道运行的观测站一样，哈勃望远镜在遥控下运行，无人伴随。但是，与其他观测站不同，哈勃望远镜不仅由航天飞机发射，而且多次由航天飞机把宇航员送入它的轨道对它进行维修。哈勃望远镜对天文学做出了巨大的贡献，一个远远超出了拍摄华丽的行星和星云彩照的贡献。最引人注目的是，与地面上的天文台合作，哈勃望远镜执行了测量遥远星系的距离和速度的任务。1998年，这些测量结果揭示出，宇宙膨胀放慢不是由于其物质间相互的重力引力，而可能是对先前我提到过的暗能量的重力斥力做出的反应（本书第5篇有对暗能量更详细的讨论）。对载人航天飞行的科学价值，哈勃望远镜可能给了NASA一个最好的说法。

但是，像其他的空间观测站一样，哈勃太空望远镜本来是可以用无人火箭送入轨道的。这将使宇航员免遭航天飞机飞行的危险，也会便宜得多。太空望远镜科学研究所的前所长里卡尔多·贾科尼（Riccardo Giacconi）估计：使用无人火箭而不是航天飞机，我们可以在不增加总任务费用的情况下，发送7个哈勃望远镜。于是，就不会一直需要维修哈勃望远镜，当发现设计缺陷或零件损坏时，我们只需要再发送一个哈勃望远镜就可以了。

航天飞机或国际空间站上的宇航员做了哪些科学实验？最近，我要求看一下NASA指派给最后一次飞行的“哥伦比亚号”航天飞机上的宇航员的实验目录，该航天飞机在重新进入大气层时爆炸，悲惨地结束了它的航程。宣告它不是一个令人印象深刻的实验目录是令人悲哀的。大约有一半的项目不得不在考虑空间环境对宇航员的影响条件下进行。这

至少是一种没有宇航员的存在就不能做的科学，除非为了某些其他原因人们计划让人在太空待很长时间，否则它没有任何意义。

在“哥伦比亚号”的另一半实验中，很大一部分涉及的是在近零重力的情况下晶体的生长和流体的流动，NASA 早先的方案既没有阐释任何科学的基本问题，也没有任何实际的应用。对某一领域的科学家来说，试图评判其他领域专家所做的工作的价值总是危险的，但是我想，如果任何一个确实令人兴奋的事情是出自于其中的某个实验，我应该会听到过，然而我没听到过任何事情。大量被指派给航天飞机和空间站上的宇航员的“科学”项目都有着为高中科学天才的竞赛而做的味道。有些工作看起来很有趣，但是很难看出为什么它必须由人来完成。例如，在“哥伦比亚号”上只有一个关于天文学的实验，一个测量太阳辐射能量变化的有用的实验。项目负责人告诉我，宇航员唯一的作用是开启装置和之后关闭装置。

展望未来，我们必须要问，哪些科研工作可由宇航员在火星上做？他们可以来回走动，观看地形，执行岩石测试，寻找水或生命的迹象，但所有这一切都可以由机器人来完成。他们可以带回岩石的样本，就像“阿波罗”飞船的宇航员所做的那样，但这也可以由机器人完成。岩石样本也曾由苏联的无人登月任务从月球带回到地球。人们有时说，在火星任务中使用机器人的最大不利因素是，它们只能由地球上的人来控制，为此它每次要长时间（至少 4 分钟）地等待无线电信号在地球和火星之间传输。如果机器人被派往火星与火星人谈判，这确实是一个严重的问题，但现在那里没有发生什么事情，我不明白为什么机器人不能留下来以仅仅偶然受地球干预的方式工作。在探索火星过程中，宇航员较机器人任何微不足道的优势都远被载人飞行的巨大花费所抵消。把几个人送到火星上的一个位置所需的费用，足够让机器人研究全火星很多不同的地形。

许多科学家和一些 NASA 管理员对所有的这一切都非常了解。我经常被告知，不管怎么样，公开地捍卫载人航天飞行计划是必要的，因为选民和他们选出的代表只关心太空人的剧本。［理查德·加温（Richard Garwin）提醒我想起老宇航员的格言“没钱就搞不成科学”。］人们希望在花费巨款于载人航天飞行任务的同时，拿出一点点钱用于真正的科学。我认为这种看法是弄巧成拙。每当 NASA 遇到麻烦时，科学很可能首先被牺牲掉。在 NASA 把“阿波罗计划”推至人们驻足观看在月球上着陆的电视之后，它取消了将是具体地致力于科学研究的“阿波罗”18 号和“阿波罗”19 号计划。

的确，现在政府计划在未来的三年，对 NASA 的拨款每年增加 5%。

迄今为止，对下一代大型空间望远镜的拨款维持不变，而对某些其他科学计划的拨款正在增加，包括到行星及其卫星的机器人任务。然而，我们已经看到了对与太阳系探索没有关联的一些计划的损害，特别是宇宙学的研究。研究行星的起源是有趣的，但肯定不会比研究宇宙的起源更有趣。

在布什总统提出他的新空间举措两天之后，NASA 宣布取消计划中的 2006 年维修哈勃望远镜的航天飞机任务。这项任务将被延长哈勃望远镜的寿命至下一个十年所需的陀螺仪和电池所取代，将会安装两个新的仪器（已建成，其价值为 1.67 亿美元）以扩充哈勃望远镜的性能。其中的一个仪器将使哈勃望远镜能用红外光和紫外光全面观测天空，揭示更多的关于最早的恒星和星系形成的信息。另一个仪器是紫外光谱仪，它将探索早期宇宙中的星系际物质。使用较早的仪器，哈勃望远镜也能把测量星系的距离和速度的计划推向更远的范围，显示出导致加速宇宙膨胀的暗能量。相反，在三年左右的时间里，当哈勃望远镜的陀螺仪不再能使望远镜指向准确时，它将停止运作。这将使我们最早在 2011 年之前没有大型空间望远镜可用。最终，在哈勃望远镜所在高度的地球大气层的轻微阻力作用使其掉下来之前，无人火箭将被发射升空，将哈勃望远镜带离轨道，并将其无害地沉入大洋。为销毁它，NASA 在科学上的花费将增加约 3 亿美元。

对于继续在空间站上工作的同时终止哈勃望远镜，NASA 给出的原因是，航天飞机飞到哈勃望远镜比飞到空间站更危险。据称，如果航天飞机上的宇航员发现在发射过程中航天飞机的保护瓦已损坏，他们可在空间站等待救援，而这在哈勃望远镜执行任务期间将是不可能的。然而对宇航员来说还有许多其他危险，不管航天飞机飞往空间站还是哈勃太空望远镜，它们都是一样的。其中的一种危险是在发射过程中的爆炸，就像 1986 年摧毁“挑战者号”的那种危险。《纽约时报》网站加载了 NASA 的一位匿名工程师的报道，这位工程师挑战了 NASA 关于航天飞机飞到哈勃望远镜比飞到空间站更危险的说法。他（她）指出，航天飞机在哈勃望远镜的高度上遇到的微流星体和轨道碎片将比在空间站较低的高度上遇到的少。即便只考虑发射过程中航天飞机保护瓦损伤的可能性，飞往哈勃望远镜或空间站的风险也不可能有太大的区别。“哥伦比亚号”事故调查委员会讨论了这个安全问题，但他们建议无论航天飞机是否停靠到空间站，NASA 都应开发在太空修理航天飞机防护瓦的能力，并且他们没有得出必须放弃哈勃望远镜的结论。即使出现航天飞机损坏无法在太空中修复的情况，为确保营救宇航员，可安排一些额外的费用，当一架航天飞机起飞去维修哈勃望远镜时，另一架航天飞机将在地面上备用。比如，哈勃望远镜维修任务可安排在某项计划中的空间站

任务之前。

为应对来自国会和科学界的压力，NASA 已经同意考虑这一决定。我自己对判断这个决定的安全问题知道得不多，但我同意广泛流传的怀疑：为了总统的倡议，牺牲哈勃望远镜去节省经费，特别是为了把宇航员送到空间站和接回来这一目的在航天飞机有限的日程中预约了所有的航班。

也许是因为时机问题，哈勃望远镜决定引起了公众极大的关注，但 NASA 最近还有其他与安全问题无关的计划，因而表明了 NASA 的意图，即通过牺牲科学来省钱以用于载人航天飞行。在科学家历时几年对任务的优先级做出困难的抉择之后，2003 年 1 月，NASA 宣布了一项“超越爱因斯坦”的新倡议，以探索爱因斯坦广义相对论预言的一些更奇特的现象。为了通过发现暗能量的密度是否已随宇宙膨胀改变来揭示暗能量的本质，它包括了对更多遥远星系卫星的观测（与能源部共同开发的）。对宇宙学同样重要的是会有另外一个探针，通过研究宇宙微波背景的极化寻找来自于早期宇宙的引力波的间接效应。（引力波与普通重力的关系与光和电磁场波的关系一样，它们在引力场中自持振荡，并在真空中以光速传播。）

“超越爱因斯坦”还包括另一颗专用于寻找黑洞的卫星和两个较大的设施。其中之一是一个可称为星座-X 的 X-射线望远镜阵列，它将观察正在落入黑洞的物质。另一个被称为 LISA，即激光干涉仪太空天线。这个“天线”将由三艘彼此相距约 300 万英里的环绕太阳轨道运行的无人太空飞船组成。三艘太空飞船间的距离的变化，将通过它们之间的组合激光束进行精度超过百分之一英寸的连续测量。这些精密的测量将能揭示穿过太阳系的引力波的存在。LISA 将有足够的灵敏度去探测恒星落入黑洞时被撕裂所产生的或由黑洞相互合并所产生的引力波，这用普通的望远镜是不可能看到的。NASA 还有另一个性价比特别好的称为“探索者”的早期计划，它支持像宇宙背景探测器和威尔金森微波各向异性探测器一类的小型和中型的观测站。

可惜的是，现在 NASA 的太空科学办公室宣布，“超越爱因斯坦”和“探索者”计划“没有明确支持总统想象的空间探索的目标”，所以它们的拨款已被大大地削减了。三个较小的“超越爱因斯坦”任务的拨款已被推迟了五年，LISA 将被推迟一年或更长的时间；“探索者”在未来五年中将被压缩规模，并在一年或两年内不会考虑新任务的提案。这并不是无法弥补的损害，但是在总统“新视野”上的花费才刚刚开始。随着哈勃望远镜维修的结束，这些推迟正提出警告：为了向我们提供人类无特殊原因地进入太空的奇观，在月球和火星任务吸纳越来越多

的钱的时候，宇宙学的黄金时代正在走向终结。

当载人航天飞行的倡导者缺乏载人航天飞行对“科学、安全和经济兴趣”的贡献的论据时，他们求助于探索的精神，大谈“俄勒冈之旅”（老布什）［Oregon Trail（Bush I）］或刘易斯和克拉克探险（小布什）［Lewis and Clark（Bush II）］。和许多人一样，我在看到宇航员在火星或月球上行走时也会产生兴奋感。我们常常在读物中看到人类在火星上行走：在《但丁和比阿特丽斯》（*Dante and Beatrice*）中探访先驱和英烈所在的星球，跟随雷·布拉德伯里（Ray Bradbury）的地球人寻找消失的火星文明的废墟和亡灵，以及最近跟随着基姆·斯坦利·鲁滨孙（Kim Stanley Robinson）的拓荒者把火星改造成人类新家园。我希望总有一天，男性和女性将在火星表面行走。但在那之前，有两个需要满足的条件。

其中一个条件是，将会有某些机器人不能做而必须由人在火星上做的事。如果只是几个宇航员到火星上旅行，插一面旗，观察某些岩石，打几个高尔夫球，然后回来，那将是一个令人兴奋的时刻，但在没有什么结果时，我们将只留下幻灭的酸涩感，就很像“阿波罗”登月计划结束后那样。也许把更多的机器人送到火星的不同地点后，会碰到某些需要人类直接去研究的事情。

另一个必要条件是美国人重新考虑政府的开销。似乎存在这样一个普遍的印象：通过从私营部门提取资金的政府开销损害了经济，因此它必须始终保持在最低的限度。不同于通常所说的“大科学”——轨道望远镜、粒子加速器、基因组项目——把人类送到月球和火星上去是如此昂贵，只要公众认为政府开销寄生于私营经济，这个项目就会干扰对医疗保健、国土安全、教育及其他公共物品的足够支持，就如同它已经开始干扰在科学上的花费一样。

我受到的是物理训练，所以不愿意对经济表态；但它似乎是显而易见的，政府在公共物品上花一美元对总的经济活动和就业的影响与政府削减将用于私人物品的一美元的税的影响几乎是相同的。最重要的区别是由经济产生的物品的类型——公众的还是私人的。我们最需要哪一类物品的问题不是某种经济科学，而是价值判断，它是任何人都有能力做的。在我看来，我们社会所面临的最严重的问题不是稀缺私人物品——食物或衣物，越野车或消费电子产品——而是有得不到健康保健的病人，不能进入康复计划的药物成瘾者，易遭恐怖袭击的港口，处理阿富汗和伊拉克的资源不足，被抛在身后的美国的孩子，等等。正如霍姆斯（Holmes）大法官所说的“税收是我们支付给文明社会的”。但只要公众非常厌恶被征税，那么我们花费数千亿美元把人送到太空，用于改善

这些社会问题或者做真正的科学研究的钱就会更少。

前面提到，我已经很严肃地谈论了总统的空间倡议。那可能是一个错误。在“新视野”宣布之前，政府面临的政治损伤的风险比一年前少，这种损伤来自于一个像“哥伦比亚号”灾难一样的可能的新的致命的航天飞机事故。通过在2004年总统大选前取消所有航天飞机的飞行，并在这之后只允许足够的维持空间站建设的航班，这个问题可能得到缓解。空间站产生了另外一个问题：没有人再对已经变成了绕地球转的大火鸡感到兴奋了。虽然对国内承包商和国际合作伙伴的承诺使得它们免受被立即取消的影响，但其失控的成本应被削减。不过，仅仅削减太空飞船和空间站就太消极了，完全不符合一个有视野的总统所预期的。所以，回到月球，登上火星！这些载人飞行任务的巨额账单中的大多数将在2005年或2009年总统卸任后到期，在此之前的额外费用，不管怎么样都可部分通过削减白宫内无人感兴趣的其他事情，像黑洞和宇宙学的研究，来支付。在总统任期结束后，谁还在乎呢？如果后任总统不愿意资助这一举措，那么他们将要承担眼光短浅的污名。所以，看到光明的一面吧，代替把近一万亿美元花费到月球和火星的载人任务上，我们可以把只花费了一小部分钱而什么也没有做成的任务结束掉。

自从2004年4月这篇文章发表以来，我的担忧——总统倡议的花费将通过无人驾驶的卫星扼杀天文研究计划——大多成真。在应该是“超越爱因斯坦”计划支持的各种航天器研究设施中，一个也没有发射，只有一个研究暗能量的任务似乎要提前。在“探索者”计划中，雨燕观测站在2004年1月布什总统宣布他的月球-火星任务的时候基本研制完成，它不久就被发射了，对伽马射线、X射线、紫外线辐射的观测非常成功。但自2004年以来，没有启动过新的天文探索任务。

有一些迹象表明，公众选择可能会改变。在激烈的政治压力下，布什政府的NASA新局长迈克尔·格里芬（Michael Griffin）同意发送航天飞机去维修哈勃望远镜，这项任务在2009年5月顺利完成。格里芬并非对科学不好，但他是一个载人航天飞行的热情支持者。（大约一年前我与格里芬一起吃午饭，给了他一本含有前述文章的《纽约书评》，他很客气地说在他飞回华盛顿的途中会很高兴地阅读此书。我告诫过他，他不会喜欢的。）新总统刚刚上任，格里芬就辞去了NASA局长的职务。我们有理由期待奥巴马政府将取消愚蠢的月球-火星任务，但现在下结论还为时尚早。

15 转 折 点?

作为对2004年总统竞选期间国家辩论的一个贡献，《纽约书评》邀请了14位先前的撰稿人为竞选问题撰写短文。《纽约书评》的罗伯特·西尔弗斯从我发表的文章知道我对布什政府在导弹防御、核武器研发和载人航天飞行上的举措有强烈的看法，邀请我作为其中的一个撰稿人。

在下面的随笔中，我也借此机会表达我在其他一些我没写过的问题上的看法。包含“选举和美国的未来”研讨会的那期《纽约书评》正好在2004年11月的大选之前出版。无论如何，布什最终还是再次当选总统了。

每个从错误的方向上冲下高速公路的人都会自然地开始考虑转折点问题。我不知道是否2004年的选举将是美国的一个转折点，但有一些关于指向我们应该调转的方向的想法，那些想法强调共和党人厌恶的也很少被民主党人支持的政策。

在得克萨斯州，我遇到许多经济上的保守主义者。他们中的大部分人都是好人，而不是自然倾向于压榨穷人。但当我表明我们需要选举一个愿意提高税收和花费更多钱去寻找集装箱船中的核武器、减少公立学校班级学生的人数、补贴伊斯兰国家的非宗教教育、重建阿富汗，扩展科学研究、帮助俄国人控制他们的裂变材料的库存，以及提供全民医疗保健（也许是通过向任何一个想要的人提供医疗保险）的总统和国会的时候，我的保守派朋友宣称只有首先通过减税“增长经济”，才能支付得起这些东西。他们（以及许多自由派）陷入了一个经济上的谬误，认为在生活消费品上花费一美元比在公共物品上花费一美元对经济的刺激作用要大。他们实际上相信，以不聘用足够的警察和专利检查员来限制政府的开支是与失业作斗争的方式！

具有讽刺意味的是，对高收入和大数额遗产的减税削弱了保守派应该珍视的美国生活独特的一面。由于对慈善捐款的扣除缺乏吸引力，减税伤害了私人基金会、大学、博物馆、交响乐团、医院及教堂，尽管这

些机构通过对捐助者减免税收得到政府的间接支持，不管怎样，这种操作没有被政府控制。

为了扭转贫困的增长和缩小大多数人与最富有的几个人之间实际的每小时净收入的差距，我们必须恢复剧增的累进所得税和削减工资税。更重要的是保留遗产税，并堵住可能的漏洞，抑制靠继承财富形成的贵族阶层的扩大。为了劳动人民的尊严及财富，国会需要给予工人某些工作合法权利，禁止更换罢工的工人，废除《塔夫脱-哈特莱法》（Taft-Hartley Law）最坏的方面。没有人会相信只要失业率降低，经济就一定会健康。没有哪个阶层的美国人曾经有过和战前南方黑人一样低的失业率。

另外一类税，汽油税，需要增加。我们需要使汽油价格永恒上涨而不是把更多的钱送到沙特阿拉伯，以为燃油效率和替代品提供刺激。可能出现的最坏的政策将是试着通过在阿拉斯加钻井使汽油价格下调。从现在开始几十年内，考虑到唯一的大型常规石油储量将是在中东，阿拉斯加的石油则是宝贵的资产，我们最终的战略储备。

我们所需要的公共物品的部分费用可以通过削减那些我们不需要的费用来承担。总统对载人航天飞行的非常昂贵的“新视野”没有为经济、军事，或者科学目的服务。目前正在部署的成本巨大的导弹防御系统，对最不可能发生的核威胁只有值得怀疑的效果，而毫无疑问，对一个能够毁灭我们国家的危险，一个误发射的俄罗斯的重型导弹，完全无效。

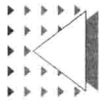
约翰·克里的公开陈述没有透露他将如何改变这些问题的方向。也许这是很好的策略——对如何赢得选举我知道做什么？有一件事我能确信：我们从乔治·布什那里找不到帮助。

布什总统的连任将是另一方面的灾难。目前最高法院抨击了国会的宪法权力，驳回了将保护个人免受违宪国家行动的立法。似乎就要开庭的法庭上的空缺创造了一个扭转这些决定的机会。再有一个四年的布什政府将把法庭的平衡倾斜到像安东宁·斯卡利亚（Antonin Scalia）和克拉伦斯·托马斯（Clarence Thomas）等布什特别钦佩的极端法官那里。

综上所述，你会认为我对 11 月的投票已经考虑成熟，但我还有一个可能使我不投克里的票的问题。不管怎样，在欧洲和美国，自由主义和反犹太复国主义之间的相关性增长了：一种同样在国内问题上采取自由主义立场的政治家、学者、演员和记者在阿拉伯和以色列的争端中试图站在阿拉伯一边的倾向。克里的陈述和投票记录显示没有反犹太复国主义的迹象，只有一个我知道的例外，他在对外关系委员会的讲演中竟然指定詹姆斯·贝克作为那个他可能会指派去促成以色列和巴勒斯坦之

间和平的人——一个他随后会摈弃的可能性。

不管怎么样，如果克里当选，我忍不住会担忧一个自由政府的外交政策。这种担忧被这样的恐惧加深：在激进的伊斯兰恐怖主义继续折磨我们的时候，通过撤销对以色列的支持，或者作为得到支持的条件从西岸完全撤军，将会有越来越多的诱惑来安抚穆斯林，使以色列很容易地受到像1948年、1967年和1973年阿拉伯国家发起的那样的攻击。屈服于这种诱惑会削弱世俗民主的事业，永久性地玷污我们国家的荣誉。但是，心怀最大的期望，无论如何我还是期待投克里的票。



16 关于奥本海默

这是对物理学家和作家杰里米·伯恩斯坦（Jeremy Bernstein）撰写的《奥本海默：一个不可思议的人的肖像》[迪伊（I. R. Dee），芝加哥，2004 年] 的评论。我之所以同意为《今日物理》评审该书，部分是因为我一直喜欢伯恩斯坦的作品，当然也因为基于一点，一个关于其主题，J. 罗伯特·奥本海默（J. Robert Oppenheimer）的故事，在如何思考我个人的职业生涯上起了重要的作用。

决定成为一名科学家有点像蒙上了面纱。有人可能觉得科学发现有一种超然的重要性，但是与此同时，人们逐渐不甘心于站在巨大的公共事务世界之外。这对通常是单独工作或与一个或两个合作者一起工作的理论家来说更是如此，对像我这样的在基本粒子理论和宇宙学领域工作的人更要加倍，这些领域不像能产生马上有实用意义的发现的样子。自高中以来，我从来没有怀疑过我想成为一名理论物理学家，但与此同时，我会对失去生活的某些方面感到毫无疑问的伤感。

然而在 20 世纪 40 年代末的某个时候，当时我还在读高中，我看到一本杂志，也许是《生活》杂志，封面是奥本海默。我读到他从事意义深远的基本粒子和恒星坍塌的研究，他是一个学梵文诗歌的学生，并且通过他领导的在洛斯阿拉莫斯进行的“曼哈顿计划”为结束第二次世界大战做得不比任何其他美国人少。哇！我看到当一个人把理论物理作为职业的时候，他不必弃绝尘世。

事实上，虽然我从来没有片刻为决定成为一个物理学家感到遗憾，我的生活没有那么世俗，当然也丝毫不像奥本海默的生活，尽管如此，在高中的一段时间，学习奥本海默使我大大地振作了起来。

下面这些对伯恩斯坦这本书的评论出版于 2005 年 1 月期的《今日物理》。

杰里米·伯恩斯坦是一个你能在科学家中找到的最好的作家。我会期待着阅读伯恩斯坦写的任何传记，即使主题是米勒德·菲尔莫尔（Millard Fillmore），或利伯雷斯（Liberace）。如果这个主题是J. 罗伯特·奥本海默自然更好。奥本海默是极少数参加过20世纪20年代量子力学革命的美国理论家之一，并在20世纪30年代开创了中子星和黑洞的理论，虽然与理论家如保罗·狄拉克（Paul Dirac）或沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）不在一个级别上，但是在20世纪30年代他的时期，他曾是理论物理学的领军人物之一。

当然，作为公众人物，奥本海默是如此有趣。在他的领导下，位于洛斯阿拉莫斯的秘密实验室设计和制造了结束第二次世界大战的核武器。战争结束后，他成为高等研究院的负责人，在那些辉煌的日子里，研究所安置了库尔特·哥德尔（Kurt Gödel）、乔治·凯南（George Kennan）、约翰·冯·诺伊曼（John von Neumann）和赫尔曼·韦尔（Hermann Weyl），以及阿尔伯特·爱因斯坦（Albert Einstein）。作为原子能委员会的总顾问委员会主席，奥本海默继续在政府的高层做核政策顾问。接着，在一次能与戏剧中的圣女贞德和查理一世的苦恼相媲美的听证会后，他的安全许可被撤销了。

所有这一切都使奥本海默成了世界名人。我记得，1962年在罗切斯特高能物理会议休会期间，我和妻子到城里后坐在日内瓦一间咖啡厅里，看着咖啡馆的其他顾客，我们判断他们一定是外交官——他们说着我们无法识别的语言，他们太衣冠楚楚以致不可能是物理学家。一时间我感到，虽然很喜欢物理，但在选择研究职业的时候，我已经放弃了国家和国际事务广阔世界的诱惑。这时奥本海默走了进来。他停在我们的餐桌旁，与我聊了几分钟会议上的某些报告。在他走了以后，其中一个戴着一顶华丽的塔布什土耳其毡帽的外交官走了过来，说："Pahdon me, Sah, but was that Doctah Oppenheimah?"[①] 我突发一阵自怜，我虽没有外交护照，但至少我认识奥本海默。

伯恩斯坦的新书是奥本海默灿烂辉煌的简历，最初打算作为《纽约客》的人物简介。伯恩斯坦非常善于描述奥本海默的优势。奥本海默有能力弄懂任何事情——在洛斯阿拉莫斯的每个部门做的所有工作，以及在战后的理论物理前沿进行的所有工作。当我还是普林斯顿大学研究生的时候，我曾经去研究所E栋参加物理研讨会。奥本海默总是坐在前排，提很多问题，表现出他对演讲者的主题知道得和演讲者同样多。当然，他那是炫耀，但没有人可以逃过他。他确实知道得和演讲者同样多。

① 这是一个英文发音不准的人说的：对不起，先生，那是奥本海默博士吗？——译者注

奥本海默对新思路是敞开的，并且做那些可以推进其想法使他印象深刻的更年轻的理论家的工作的事情。奥本海默为研究所招聘了恒星工作组的新成员，包括理论物理学家弗里曼·戴森（Freeman Dyson）、布拉姆·派斯（Bram Pais）、弗兰克·杨（Frank Yang）和（缩写）李政道（T. D. Lee）。直到阅读伯恩斯坦的书我才知道，早在1943年，奥本海默就曾试图使伯克利招聘理查德·费曼（Richard Feynman），出于某种原因，该提议遭到系主任雷蒙德·伯奇（Raymond Birge）的反对。伯恩斯坦说，伯奇和奥本海默的关系紧张。伯恩斯坦可能不知道他们后来的和解。1966年，奥本海默最后一次去伯克利，然后死于癌症。在教职员俱乐部吃完晚餐后，伯奇站起来向奥本海默致敬。你可以想象一下那时我看到的伯奇，一个穿着深色三件套的秃顶小老头，而不是方方的头和一种拘谨的态度，他是世界上最后一个从他那里你可以期望更多感情展示的人。伯奇叙述了奥本海默为伯克利、为国家、为物理所做的事情，停了片刻，以“我爱他”结束了讲话。

伯恩斯坦是如此善于由科学进展写出一本引人入胜的书，我希望他讲述了奥本海默在解决量子场论中能量和几率的计算常常给出无穷结果的问题时所起到的作用。实际上奥本海默是第一个在计算原子能级顺收和放出光子的效应时，遇到了某个棘手的无穷大的人——本质上与后来称为兰姆（Lamb）移动的现象是一回事。在对于这些无穷大和宇宙线簇射中的某些异常所做出的反应中，奥本海默成为认为量子电动力学（光子、电子和反电子的量子场论）存在一些根本性的错误想法的主要倡导者，该理论在描述距离标度远小于10～13厘米的物理过程时简直不能认为是可靠的。［他的观点被罗伯特·塞伯（Robert Serber）在《粒子物理学的诞生》（*The Birth of Particle Physics*），（ed. L. Brown and L. Hoddeson，Cambridge University Press，1983）一书中引用。］不过，在战争结束后发现，如果给予适当解释，量子电动力学就可给出完全合乎情理的有限结果，奥本海默接受了这个新的观点，并聘用最清晰地阐述了如何处理这些无穷大问题的戴森为研究所的终生成员。

奥本海默从来没有用他在物理研究中的领导地位，去扮演一个企图控制其他物理学家做什么事情的官员的角色。在这方面，他与更伟大的物理学家沃纳·海森堡形成鲜明对比，后者是一个在战后尽其所能地强迫德国物理学家按照他自己的想法去工作的人。我确信，美国在战争期间成功地开发了核武器而德国却没有的原因之一是我们有奥本海默，而他们有海森堡。

伯恩斯坦在描述奥本海默的弱点时甚至做得更好。对于为什么莱斯利·格罗夫斯（Leslie Groves）将军在1942年选中从未组织过任何比

野营旅行更为复杂的事情的奥本海默，去领导在洛斯阿拉莫斯的秘密核武器实验室，而不是选择像习惯于运作科学实验室的 E. O. 劳伦斯（E. O. Lawrence，回旋加速器的发明者）那样的人，伯恩斯坦提供了一个有趣的解释：因为格罗夫斯感觉到奥本海默有劳伦斯所没有的一定的柔韧性，这将使得格罗夫斯可以用他的方式运作事情。这种柔韧性显现在奥本海默愿意让他自己和所有在洛斯阿拉莫斯的其他科学家都被纳入军队。幸运的是这个想法被放弃了。正如伯恩斯坦指出的，试图把像理查德·费曼那样的人物放入军队将是一场灾难。奥本海默做了其他一些奇特的事情。他对安全官员做了一些毫无必要的和错误的评论，说伯纳德·彼得斯（Bernard Peters）是一个共产主义者，并且在他自己的安全听证会上，粗心地选择了在诉讼方面几乎没有什么经验的代理人。

关于安全性听证会，我同意伯恩斯坦的看法，奥本海默不单是忠诚（听证会承认的）也存在安全风险。最近在《纽约书评》上有一场争论，该争论是在格雷格·赫肯（Gregg Herken）和丹尼尔·凯夫利斯（Daniel Kevles）之间发生的。前者声称奥本海默在 20 世纪 30 年代和 40 年代初期是一个共产主义者，而后者否认这件事。这是一个模糊不清的问题。毫无疑问，奥本海默有共产主义者朋友，并且，在去洛斯阿拉莫斯之前的一段时间里，奥本海默属于一个伯克利教师小组，该小组可以视为一个共产党小组或左翼咖啡聚会，这取决于你如何看。据我所知，奥本海默从来没有接受过任何共产主义组织的命令。肯定没有证据证明他曾把任何事情泄露给任何人。相反，当他的朋友哈康·谢瓦利埃（Haakon Chevalier）试图让奥本海默把“曼哈顿计划”的信息传递给与苏联领事馆有过接触的乔治·阿伦敦（George Eltenton）时，奥本海默主动把阿伦敦的名字报给了安全官员，虽然他最初试图庇护谢瓦利埃，他最终遵从了格罗夫斯的命令并透露了谢瓦利埃的作用。（他说谢瓦利埃通过奥本海默的兄弟弗兰克（Frank）接近他，这是一个在安全听证会上伤害到他的毫无意义的谎言。）从美国联邦调查局（FBI）对共产党代理史蒂夫·纳尔逊（Steve Nelson）的电话窃听中听到尼尔森抱怨奥本海默没有泄露任何信息。此外，不管奥本海默在早些时候对苏联抱有什么样的同情心，在战争中他丢弃了它，在 20 世纪 50 年代肯定完全没有了。谢瓦利埃的妻子在她的日记中回忆到，在战争期间奥本海默告诉谢瓦利埃，苏联是不可信的。在 1947 年奥本海默被清除时，有关他与共产党接触的信息就已为人所知，这也被扯进了 1954 年的听证会。奥本海默失去安全许可不是因为他是一个危险人物，而是因为爱德华·泰勒（Edward Teller）和空军不喜欢他给出的对核动力飞机和氢弹的意见。

正如伯恩斯坦所描述的，奥本海默的早期生活可能导致了他终生的不自信。在受到保护的相当富裕的童年之后，奥本海默在大学试图削减犹太学生数量的时候去了哈佛，发现自己在那里几乎是一个隐士。伯恩斯坦引用了一封家书，在里面奥本海默滔滔不绝地说着他的写作和阅读，并以希望他死了来结尾。伯恩斯坦说得对，“整个状况使人毛骨悚然”。奥本海默在英国剑桥大学攻读研究生期间情况更差，患神经衰弱。他只有在遇到马克斯·玻恩（Max Born）时，生活才变得更快乐些，并且找到了他作为一个理论物理学家的职业。

甚至作为一个物理学家的开始也给奥本海默留下了一些不愉快的回忆。我记得我曾经作为哥伦比亚大学的博士后被邀请到研究所做我近期工作的报告。我的报告非常正规，数学难题林立。奥本海默打断我，说我让他想起了处在我这个年龄的他自己。我愚蠢地脱口而出：“谢谢你。”对此他严肃地回答道：“这不是一种恭维。”

17 爱因斯坦对统一的追寻

1905年是爱因斯坦令人惊异的一年。在那一年，爱因斯坦引入了光以分立的能量束出现的想法，并用它来理解光电效应；他阐明了悬浮在液体中微小颗粒的锯齿状布朗运动是它们与液体分子碰撞的结果，提供了物质原子本质的证据；他创建了狭义相对论，并由此推断出质量和能量间的关系。这些成就的百年纪念是以宣告2005年为世界物理年的形式进行庆祝的。作为庆祝的一部分，安德烈·罗宾逊与耶路撒冷希伯来大学的阿尔伯特·爱因斯坦档案馆联合准备了一本书《爱因斯坦——相对论一百年》（Palazzo Editions，Bath，England，2005）。除了罗宾逊的完全文本，这本书包括了弗里曼·戴森写的序言，阿瑟·克拉克（Arthur Clarke）、菲利普·格拉斯（Philip Glass）和史蒂文·霍金写的专题文章及大量精彩的照片。我被要求写一篇有关爱因斯坦寻求统一场论的文章。下面的文章是我对罗宾逊的书的贡献，外加一个我希望能澄清某些讨论过的想法的注脚。

20世纪70年代，我收到了一封来自经营珍本书籍和手稿的旧金山经销商的信。随信附了一篇爱因斯坦用德文手写的科学文章的复印件。经销商请我看一下这篇文章，并给他一些关于该文章重要性的忠告。我不是爱因斯坦研究者，好不容易读懂了德文，快速浏览显示，这是在20世纪30年代和40年代爱因斯坦为找到一个电磁场和引力场的统一理论所做的诸多尝试中的一个。我写信给书籍经销商，告诉他虽然爱因斯坦亲手写的任何东西肯定都有价值，但这篇特殊的文章在科学史上并不是很重要的。

爱因斯坦是人类历史上最伟大的科学家之一，一个与伽利略、牛顿和达尔文同等级的，肯定是20世纪领军人物的物理学家。这并不奇怪，他在1905～1925年取得了巨大的科学成就之后，将注意力转向寻找一个电磁场和引力场的统一理论。在物理学史上，最伟大的进展一直是以

发现了对先前似乎不相关的现象给出一个统一解释的新理论作为标记的。在17世纪，牛顿统一了天体和地球物理学，证明了使得苹果落在地面上的同一种万有引力，也使月球保持在它环绕地球的轨道上，以及地球和行星保持在它们环绕太阳的轨道上。在19世纪，通过意识到正像振荡磁场产生电场力一样，振荡的电场也产生磁场力，詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）统一了电和磁的现象，并且发现光只不过是一个自持振荡的电场和磁场。在1915年，爱因斯坦在他的广义相对论中证明，引力不过是空间和时间几何的一个方面。在那辉煌的成功之后，很明显，下一个问题是要找到一种理论，它能给出一个引力场和电磁力场的统一描述。可悲的是，爱因斯坦在他一生的最后30年几乎尽其所能地致力于这个目标，不仅没有成功，也未对其他物理学家的工作产生任何有重大意义的影响。

在这个工作中，爱因斯坦追随着两条进攻的主线。

首先，爱因斯坦被数学家西奥多·卡鲁扎（Theodor Kaluza）在1921年的一篇论文中的想法所吸引，在该想法中，电磁力可被理解为五维而不是通常的四维时空中的引力的一个方面。由爱因斯坦发展的广义相对论，任意数维度的引力应该由一个对称的方阵 g_{MN} 来描述是清楚的。（M标记矩阵的行和N标记矩阵的列；“对称”的意思是 $g_{MN}=g_{NM}$。）这个矩阵中的元素 g_{MN} 都是场，也就是说它们都是数字，其数值依赖于在空间和时间中的位置。这个场的矩阵也描述时空的几何，由此被称为度规。在通常的四维时空中，M和N指标跑遍1、2和3，它们按照惯例用于区分常规空间的三个方向，再加上指标0用于区分时间维数。这就是说，万有引力由10个场来描述：g_{11}、g_{22}、g_{33}、g_{00}、$g_{12}=g_{21}$、$g_{23}=g_{32}$、$g_{10}=g_{01}$、$g_{20}=g_{02}$ 和 $g_{30}=g_{03}$[①]。在五个维度中，M和N跑遍指标1、2、3、0，再加上一个指标5为第五维度。卡鲁扎提出 g_{MN} 中的M和N都只跑遍1、2、3和0的部分表示在四维时空观察到的引力场，就像爱因斯坦的理论一样；四个新量 g_{51}、g_{52}、g_{53} 和 g_{50}（由于度规是对称的，它们分别等于 g_{15}、g_{25}、g_{35} 和 g_{05}）构成“矢量势”，常被用作常规电磁学理论中的电磁场的另一种描述；而 g_{55} 是一个新的场，描述某种物质。确实，用这种对 g_{MN} 场的解释，如果人们任意假设这些场独立于第五维空间中的位置，则结果是广义相对论的场方程到五维的明显延拓，产生了引力场的广义相对论方程和电磁场的麦克斯韦方程，这

①附注：这比牛顿万有引力的描述要复杂得多，在那里只有一个单一的场。牛顿的描述在大多数像我们太阳系一样的天文系统中是一个很好的近似，因为在这些系统中，矩阵仅有的一项，g_{00}，在空间的点到点有明显的改变。

两者都是四维的。

这个理论似乎不仅仅给出了引力和电磁力的统一描述；随后物理学家奥斯卡·克莱因（Oskar Klein）在1928年对卡鲁扎理论的延拓，似乎提供了解决自从广义相对论问世以来一直困扰着爱因斯坦的一个问题的希望。在爱因斯坦1915年的广义相对论公式体系中，引力是作为时空几何的自然结果（暂时不考虑在足够大的距离处会消失的可能效应），引力场方程几乎是独一无二的。另外，物质是用“手”放进理论的；没有一个判断什么样的物质存在的先验方法，或者它们怎样对引力场的源做出贡献。克莱因所建议的是卡鲁扎的第五维度不只是一个形式的技巧，还是一个真正的空间维度，该维度是蜷缩的以致通常观察不到，就像吸管不仔细观察时，看起来像一维的，但仔细观察就会发现它是一个二维面，只是其中一维蜷缩起来了。

按照这个想法，g_{MN}场不再被随意地约束为独立于蜷缩起来的第五维中的位置。相反，它的每个元素都是一个无穷多项的和。其中的某些项是独立于第五维的，并且这些，如同卡鲁扎发现的，代表着四维的引力场和电磁场。此外，就像风琴管中的声波，存在着在蜷缩的第五维中振荡的新项，其波长等于蜷缩维度周长的一倍、两倍或任意倍。在四维中，这些振荡项看起来就像无穷多种重粒子，它们的电荷正比于它们的质量。因此，不仅引力和电磁力，还有带电重粒子，均产生于一个五维的纯引力理论。

麻烦的是，卡鲁扎-克莱因理论所预言的粒子不可能是电子或质子或任何其他已知类型的基本粒子。即使是这些新的粒子中最轻的粒子，所预言的质量还是太重了，大约是已知基本粒子的10^{19}倍。它们是如此之重，以至于每对粒子之间的引力将像它们的电吸引力或排斥力一样强，这当然不同于常规原子的情况。这一挫折似乎已使爱因斯坦对额外维度理论失去了兴趣，他在20世纪40年代的努力转到了一个不同的方向。

在第二个解决统一的主要途径中，取代增加时空维度的数目，爱因斯坦考虑矩阵g_{MN}不对称的可能性，也就是说，g_{MN}可能不等于g_{NM}。（在爱因斯坦的一些作品中，他考虑度规具有与称之为厄密性的数学性质等价的可能性。）他的动机是一个初等的计数。正如我们已经看到的，一个对称的4×4矩阵有10个独立的矩阵元。但是，如果没有对称的约束，一个4×4的矩阵就有$4^2=16$个独立的矩阵元。爱因斯坦假定在一个一般的非对称度规中，$16-10=6$个额外的场可能标志着由3个分量的电场和3个分量的磁场描述的电磁学量。在爱因斯坦生命的最后几十年，正是这种希望占据了他的思想。

这种想法的麻烦之处是，对一个一般的度规，其对称部分的 10 个分量和额外的 6 个分量彼此间没有相互关系，只把它们一同放到一个 4×4 的矩阵中，说不出它们的物理性质是如何关联的。这与麦克斯韦的电磁场统一理论非常不同。首先，对一个静止的观测者来说看起来像一个纯电场或磁场的场，对一个运动中的观测者来说将像一个电场和磁场的组合，而在爱因斯坦的新理论中，对一个观测者看似纯引力场的场对所有其他观测者来说也将像一个纯引力场。爱因斯坦当然很了解这一点，并且他一直在寻找一些能以一个自然的方式把度规所有的 16 个分量联系在一起的物理原理，但他从来没有成功过。

如同已经发生的情况一样，自爱因斯坦去世之后的半个多世纪以来，爱因斯坦的统一梦想已经部分实现，但是以与他的预期大不相同的方式。电磁学理论现在被理解为一个更大的“弱电理论”的一部分，该理论描述的不只是电磁学，也描述一定的弱核力。这些力对原子核中的放射性过程负责，在这些过程中中子转换成了质子，或反之亦然。弱核力的力程很短——两个原子核粒子之间的弱核力在超出一个千万亿分之一厘米的距离后急剧下降，相比之下，像引力一样，电磁力是一个长程力——两个带电粒子间的吸引力或排斥力按它们之间距离的平方的倒数的规律平稳地减小，没有任何地方陡降。然而，尽管电磁力和弱核力之间有这么明显的差异，它们以相同的方式进入现代弱电理论的方程，而它们之间的差异归咎于我们生活的空间的特性，而不是理论本身。

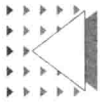
爱因斯坦当然知道放射性。它是 1897 年发现的，10 年之后，放射性盐向他提供了一个清晰的质量和能量之间关系（$E=mc^2$）的例子。但据我所知，爱因斯坦自己从未涉足理解使放射性可能发生的弱核力研究。的确，爱因斯坦在晚年没有表现出对任何当代核物理和粒子物理工作的兴趣。这或许是因为这项工作既不是基于广义相对论，也不是使广义相对论具体化。爱因斯坦在 1950 年评论道：“所有为获得物理学基础的更深层次知识的尝试，对我来说似乎注定要失败，除非基本概念从一开始就依照广义相对论。”此外，其他物理学家在核物理和粒子物理方面的工作都基于量子力学，这是一种在 20 世纪 20 年代发展起来的理论物理新的概率方法。爱因斯坦把量子力学看作是对物理学传统目标的抛弃，从而达到对物理现实的完全理解。的确，爱因斯坦对统一理论的希望之一是它会为已被量子力学成功解释了的原子现象提供一个替代的非量子力学解释。

粒子物理学家在 20 世纪 70 年代还发展了另一类非常成功的强核力的理论，该力把一些夸克束缚在中子和质子的内部，并且把中子和质子束缚在原子核内。这个被称为量子色动力学的理论在数学上类似于弱电

理论，所以不难设想用各种方法把这两个理论统一到一个电磁力、弱核力和强核力的理论中。

然而，把引力放到这个理论框架中已经遭遇到更大的困难。引力和电磁力都产生随距离的平方的倒数衰减的力，其表面上的相似性已被证明是虚幻的。现在人们把引力与其他自然力统一的希望放在了一个弦理论的方向，该理论假设自然界的基本成分既不是粒子也不是场，而是弦，它如同点粒子以外的任意东西，是一维的、小到我们看不到的实体，但其各种振动的模式解释了我们观察到的各种粒子类型。

具有讽刺意味的是，发现这些弦理论最自然的公式框架是在十维时空，而不是在四维时空，因而复活了卡鲁扎-克莱因理论在 20 世纪 30 年代如此吸引爱因斯坦的想法，虽然它具有 6 个额外维度，而不是一个维度。但关于爱因斯坦的其他统一途径，把广义相对论延拓到一个非对称度规，目前的研究中没有留下踪迹。额外维度的想法，尤其是由克莱因提出的形式，是高度推测的，乍看起来似乎像一个纯数学游戏，但不管对还是错，它有真正的物理内容。相反，非对称度规的想法也是纯数学的，但不可能有什么结果。在 1905 ~ 1915 年发展相对论的广义理论的时候，爱因斯坦一直用已有的数学公式框架、黎曼弯曲空间理论作为指导，也许基于这个经历，他太过重视以纯数学的力量激发他的物理理论的灵感。在爱因斯坦年轻时很好地为他服务的数学神谕，在他晚年的时候背叛了他。



18 爱因斯坦的错误

《今日物理》刊登了一系列关于爱因斯坦的文章，作为对2005年世界物理年的贡献。我受邀参与，于是提交了下面的文章，它发表在2005年11月那期上。

我选择“爱因斯坦的错误”为主题是因为我想说明我所选取的是一种科学的力量，那种我们甚至没有把我们最伟大的英雄提升到绝对先知的力量。这篇文章没打算把讨论的一组错误当作一个详尽无遗的叙述。其他错误已被许多人评论过：在《今日物理》2005年3月期上，亚历克斯·哈维（Alex Harvey）和恩格尔贝特·舒金（Engelbert Schucking）描述了一个爱因斯坦关于地球表面时钟率的错误预言；在亚瑟·I. 米勒（Arthur I. Miller）1981年的书《阿尔伯特·爱因斯坦的狭义相对论》中，作者讨论了爱因斯坦在计算电子横质量时的错误。我对这里讨论的一些错误感兴趣，因为它们披示了爱因斯坦所处学术环境的某些方面。

在下面，我增加了一些脚注来解释一些科学术语，也删除了我在《今日物理》的文章中有关爱因斯坦寻找引力和电磁力统一理论的大部分讨论，因为它在很大程度上与这本文集第17章中所说的那些东西重复。

阿尔伯特·爱因斯坦肯定是20世纪最伟大的物理学家和有史以来最伟大的科学家之一。说起来谈论这样一位杰出人物的错误可能是太放肆了，尤其是在他的奇迹年一百周年纪念时。然而比起其成功，顶尖科学家的失误往往提供了一个对他们时代的精神和价值观有更为深入的洞察的机会。此外，注意到甚至连爱因斯坦也会犯错误，对我们中的那些犯了共有的科学错误的人则是一种温和的安慰。也许最重要的是，通过展示我们所知道的甚至由最伟大的科学家所犯的错误，我们为那些沿着其他设想的路径走向真理的人树立了良好的榜样。我们认识到，最重要的科学先驱们不是他们的著作必须被作为可靠的指南去学习的先知

们——他们只是为我们现在已经达到的更完美的理解奠定了基础的伟大的男性和女性。

在考虑爱因斯坦的错误时，人们立刻回想起爱因斯坦［在与乔治·伽莫夫（George Gamow）的对话中］所说的他一生中最大的疏忽：引进宇宙常数。爱因斯坦在完成了他的空间、时间和引力的理论——广义相对论——的公式框架后，于1917年转到了对整个宇宙时-空结构的考虑。然后，他遇到了一个问题。爱因斯坦假定，当对许多恒星适当求平均后，宇宙是均匀的和基本上静态的，但对一个物质均匀分布的宇宙，广义相对论方程似乎不存在一个与时间无关的解。因此，爱因斯坦通过引入一个他称之为宇宙常数的新量，修改了他的方程组。后来发现，事实上宇宙不是静态的，而是在膨胀。爱因斯坦感到遗憾的是，他不必要地肢解了他原来的理论。他错过了对宇宙膨胀的预测可能也困扰着他。

这件事情涉及一些纠结在一起的失误，而不是爱因斯坦认为的他所犯的那个错误。首先，我不认为它不利于爱因斯坦的宇宙是静态的假定。除了极少数例外，理论家不得不把世界取为观察者呈现给他们的样子。观测到的相对低的恒星速度使得在1917年对宇宙是静态的假设几乎是不可抗拒的。因此，当1917年威廉·德西特（Willem de Sitter）提出一个修正的爱因斯坦方程的可选解时，他关注用坐标来确定时空中的位置，对它们来说度规张量[1]是与时间无关的。然而，这些坐标的物理含义不是显而易见的，随后人们认识到德西特的替代宇宙学事实上不是静态的——在其模型中的物质粒子会相互加速远离——起初这被认为是理论的一个缺陷。

的确，美国天文学家维斯托·梅尔文·斯里弗（Vesto Melvin Slipher）在19世纪最初的10年中观测螺旋状星云光谱时，发现了大量会通过多普勒效应[2]在膨胀中产生的红移，然而没有人知道螺旋状星云是什么，直到1923年埃德温·哈勃（Edwin Hubble）在仙女座星云发现微弱的造父变星的可变因素[3]，人们才弄清楚，螺旋状星云是遥远的星系，是远在我们自己的银河系以外的巨恒星簇。我不知道，到1917

①附注：这是表征时-空几何场的矩阵。在本文集第17章中有更细致一些的讨论。

②附注：多普勒效应是光频向较低值方向的移动，因此光的颜色移向光谱的红端，这是由光源离开观察者的运动引起的。（如果光源移向观察者，则频率移向更高的值，并且光的颜色移向光谱的蓝端。）

③附注：这些是明亮的变星，由亨利艾塔·斯旺·莱维特（Henrietta Swan Leavitt）发现的它们的变化周期与其绝对亮度（每秒钟光在所有方向上辐射出的能量）密切相关。与一个造父变星的表观亮度相比较，以从造父变星推断出的绝对亮度作为基准，在望远镜的反射镜面上每平方厘米的每秒钟接收到的能量可使人们确定恒星，进而它所在的银河系的距离。

年时爱因斯坦是否已经听说了斯里弗的红移，但在任何情况下，他都很清楚地知道至少还有另一个可能产生光谱线红移的方式——引力场，所以仅凭红移的存在未必能使他相信宇宙正在膨胀。

这里应该承认，在第一次世界大战期间就从德西特那里知道了广义相对论的亚瑟·爱丁顿（Arthur Eddington）在1923年的确解释了斯莱弗的红移是由于德西特模型中的宇宙膨胀。然而，直到1929年哈勃才宣布，实际的展示是在1931年，遥远星系的红移按它们的距离成正比增加，就像对于一个均匀膨胀所预期的（它们走得越快，就离开得越远）。之前，宇宙膨胀并没有被普遍接受。直到这个时候，研究者更多的注意力才转向亚历山大·弗里德曼（Alexander Friedmann）在1922年引入的膨胀宇宙模型，该模型是基于爱因斯坦没有宇宙常数的原始方程。对爱因斯坦来说，在1917年假定宇宙是静态的是相当合理的。

爱因斯坦在引入宇宙常数时确实犯了一个出人意料的平庸的错误。虽然那一步使得爱因斯坦场方程可能会有与时间无关的解，这个解描述了一个不稳定平衡的态。宇宙常数起到了一个随距离增加的排斥力的作用，而通常万有引力的吸引力大小随距离增加而变弱。虽然有一个临界质量密度，在那里这个排斥力正好与引力的吸引力相平衡；这个平衡是不稳定的；一个微小的膨胀都将增加排斥力并减小吸引力，从而使扩张加速。很难想象爱因斯坦怎么会漏掉这个基本的困难。

最初，爱因斯坦也被从哲学家、物理学家恩斯特·马赫（Ernst Mach）那里继承来的遥远的质量引起了惯性现象[①]的想法所迷惑。为保持惯性有限，爱因斯坦在1917年猜想宇宙必须是有限的，所以他认为它的空间几何是一个三维的球面[②]的几何。因此，当计算表明假如在原来德西特模型的真空宇宙中引入少数几个粒子，它们会表现出所有惯性所具有的性质时，这对爱因斯坦来说是一个惊喜。在广义相对论中，遥远客体的质量不是惯性的原因，虽然它们的确影响惯性系的选择[③]。但那样的错误是无害的。正如爱因斯坦在他1917年的论文中所指出的，宇宙是静态的而不是有限的假设，使得宇宙常数成为必要。

爱因斯坦在他不喜欢的宇宙常数方面犯了一个从今天的理论物理角度来看是更深层次的错误。在发展广义相对论的时候，他不只依赖一个简单的物理原理——他在1907～1911年发展起来的引力和惯性的等价

①附注：这就是说，质量的阻力将被提升。

②附注：这是一个四维球的表面。

③附注：惯性系是任意的坐标系统，在那里，至少在一个小区域内，运动定律就是那些不存在引力的牛顿力学（或更准确地说，在狭义相对论中）中的运动定律。例如，在地球表面上，在自由下落的电梯内测量的距离和时间规定了一个惯性系。

原理——而且还依赖于“奥卡姆剃刀”理论一类的东西，即理论方程不仅应与这一原理自洽，还要尽可能简单。就其本身而言，等价原理将使场方程可以几乎无限的复杂。爱因斯坦方程可以包含四次时-空微商[①]，或六次时-空微商，或任意偶数次时-空微商，但他把自己限制在二阶微分方程，一个每项最多只有两次时-空微商的方程。

这本来可以用实用的理由来辩解的。场方程中包含两次以上时-空微商的项都必须伴随着一些与某些长度的幂次成正比的常数因子。如果这种长度是类似于在基本粒子物理，或甚至原子物理中遇到的长度，则这些较高阶的导数项在迄今为止进行所有引力观测的更大尺度上是完全可以忽略不计的。爱因斯坦方程组的修改只有一个可能的观测效果：引入一个完全不含对时-空微商的项，即一个宇宙常数。

然而爱因斯坦并没有为了这个或其他实用的原因排除具有较高阶微分的项，而是为了一个美学的原因：它们不是必需的，为什么还要包括它们呢？正是这种审美的判断，使他感到曾经引入宇宙常数的遗憾。

自从爱因斯坦时代以来，我们已经学会了不信任这类审美标准。我们在基本粒子物理学中的经验已经告诉我们，对满足基本原理的物理，其场方程中的任何项都可能会出现在这个方程组中，尽管它可能在不太大的距离及能量的标度上太小，以致没有测量的效应。它就像怀特撰写的《曾经和永恒之王》中的蚂蚁世界：一切没有明令禁止的都是强制性的。的确，只要我们能够计算，量子涨落自身就会产生一个巨大的有效宇宙常数，它远大于天文观测的允许值，所以为了抵消这个无法接受的、巨大的量子涨落贡献，在场方程组中将不得不存在一个巨大的、符号相反的“裸”宇宙常数。“奥卡姆剃刀”是一个很好的工具，但它应该用于原理，而不是方程。

这可能是因为爱因斯坦受到了在苏黎世理工学院当学生时自学的麦克斯韦理论例子的影响。当然，在保持电荷守恒定理的同时，麦克斯韦发明了他的方程组以解释已知的电和磁的现象，并且在麦克斯韦的公式框架中，场方程只包含最低阶的时-空微商。今天我们知道，这个支配着电动力学的方程组包含具有任意阶的时-空微商的项，但就像在广义相对论中有更高阶的微商项，这些项在宏观尺度上没有可观测的后果。

在1917年后的几十年中，天文学家偶尔也探寻宇宙常数的迹象，但他们仅在设定常数的上限方面是成功的。那个上限大大地小于来自于量子涨落贡献的预期值，许多物理学家和天文学家由此得出结论：这个

①任意物理量的微分是它的变化率。在引力场方程中，微分是位置或时间移动的变化率。

常数必须为零。但是，尽管尽了最大的努力，还是没有人能够找到一个满意的、要求一个为零的宇宙常数的物理原理。

之后，在1998年由超新星宇宙学项目（Supernova Cosmology Project）和高红移超新星搜寻团队（High-z Supernova Search Team）进行的超新星的红移和距离的测量显示，宇宙正在加速膨胀，就如同德西特在他的模型中发现的一样。看来宇宙能量密度的大约70%是一种“暗能量”，充满着整个空间。它随后被宇宙微波背景①各向异性角尺度的观测所证实。暗能量的密度在宇宙膨胀时变化不那么快，假如它真的是与时间无关的，则它应该正是从宇宙常数所预期的效应。然而，如果结果正是如此，那么为什么宇宙常数不像量子涨落计算中预期的那么大？这仍然是令人困惑的。近年来，这个问题已成为理论物理学家全神贯注研究的事。就爱因斯坦于1917年引入宇宙常数而言，他的真正错误是，他认为这是一个错误。

一位读了这篇文章第一稿中上述内容的历史学家评论说，我可能会被指责犯了辉格史（Whig history）的错误。术语“辉格史”是历史学家赫伯特·巴特菲尔德（Herbert Butterfield）在1931年的演讲中创造的。按照巴特菲尔德的说法，辉格史学家相信在历史上有一个演变的逻辑，他们使用现在的标准去评判过去。但在我看来，虽然辉格党的原则在政治和社会的历史上要避免（这是巴特菲尔德所关心的那些事），但在科学史上还是具有一定价值的。我们在科学上的工作是累积的。我们确实比我们的前辈知道得要多，我们可以通过审视他们犯的错误，学习在他们那个时代没被理解的事情。

普遍认为，属于爱因斯坦的另外一个错误是，在他与尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）有关量子力学的著名辩论中，他站在了错误的一边。这场争论始于1927年索尔维会议（Solvay Congress）并持续到了20世纪30年代。简而言之，玻尔曾主持制定了量子力学的“哥本哈根解释”，根据这个解释只可能计算各种可能的实验结果的概率。而爱因斯坦不同意物理定律用概率处理这样一种看法，以他著名的判句说：上帝不会和宇宙掷骰子。但历史给出了反对爱因斯坦的裁决——量子力学从成功走向成功，而把爱因斯坦甩在了一边。

所有这些耳熟能详的故事都是真实的，但遗漏了一件具有讽刺意味

①附注：宇宙微波背景是宇宙最初对辐射变得透明时遗留下来的辐射，大约是目前宇宙膨胀的这种状态开始后的40万年。通过宇宙的膨胀，它从那时的开氏3000度冷却到现在的开氏2.725度的平均温度（即在绝对零度以上摄氏度数）。但太空中这个温度有十万分之一的变化，通过研究这些变化，有可能推断出自从这种辐射被发射出来以来，宇宙的膨胀可能被暗能量加速了。

的事，量子力学的玻尔版本有严重缺陷，但不是出于爱因斯坦所考虑的原因。“哥本哈根解释”描述了当观测者进行测量时发生了什么，但观测者和测量行为本身是按照量子前的经典物理规律处理的。这肯定是错误的：物理学家和他们的设备必须受到支配宇宙中其他事情的、相同的量子力学规律的支配。然而，这些规律是用一个以完全确定性的方式演化的波函数（或者更确切地说，一个状态向量）来表示的。那么，“哥本哈根解释”的概率规律从何而来呢？

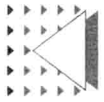
近年来在该问题的解决上已取得了长足的进步，在这里我不可能深入讨论。说玻尔和爱因斯坦都没有专注于量子力学的真正问题就已经足够了。哥本哈根规则显然是有效的，所以他们不得不接受。但是，使用确定的波函数演化方程，即薛定谔方程，去解释它们的任务，被留给了观测者和他们的设备。其困难不是量子力学的概率性——它是我们显然不得不与其生活在一起的某种东西，真正的困难是，它也是确定性的，或更确切地说，它把概率解释和确定性的动力学结合在一起了。

在从20世纪30年代到1955年去世的这些年中，爱因斯坦对他曾做出贡献的量子力学的拒绝使他与其他的物理研究隔绝开来，但这还有另外一个因素。也许爱因斯坦最大的错误是，他成了自己成功的囚犯。当一个人已经取得了巨大的成就时，通过重复以前行之有效的策略去争取进一步的成就是世界上最自然的事情。想一想在1956年苏伊士运河危机的时候，一个杜撰的苏联武官给埃及总统贾迈勒·阿卜杜·纳赛尔（Gamal Abdel Nasser）的忠告：“把你的部队撤退到国家的中心，并等待着冬天的到来。”

比起爱因斯坦取得的成就，有哪些物理学家曾取得过更巨大的成就？在取得发现引力的时-空几何解释的巨大成功后，爱因斯坦试图把其他的力和引力一起放入一个基于几何原理的“统一场论”中是很自然的。由于电磁力是唯一的一个在其宏观效应上似乎与引力相似的其他力，就是这个引力和电磁力统一的希望驱动着爱因斯坦晚年的研究。但他的所有努力都失败了。

尽管对爱因斯坦来说，远离20世纪30～40年代年轻物理学家们做出的令人兴奋的进展是一个错误，但他的人格中一个令人钦佩的特点被展现了出来。爱因斯坦从未想当一个政界要员。一般说来，他从来没有试图诱使物理学家放弃他们在核物理和粒子物理方面的工作而沿着他的想法去做，他从来没有试图把他的合作者或助手填补到高等研究所的教授位置上。爱因斯坦不仅是一个伟人，也是一个好人。在其他事情上，他的道德意识也在引导着他：在第一次世界大战期间他反对军国主义；

他拒绝支持斯大林时期的苏联；他成为了一个狂热的犹太复国主义者；在欧洲被纳粹德国威胁时，他放弃了先前的和平主义，如敦促比利时人重新武装；他公开反对麦卡锡主义（McCarthyism）。在这些重大的公众问题上，爱因斯坦从没有失误过。



19 生活在多元宇宙中

我们所在的宇宙中的膨胀星系云在所看到的各个方向延伸了至少10亿光年，近来有一种可能性备受关注，即我们所说的宇宙仅仅是一个更大的、由很多子宇宙构成的“多元宇宙”中的一个片段，它们有的像我们自己的宇宙，但大多数是非常不同的。我被邀请做一个有关这个问题的报告，作为“一个终极理论的预期”研讨会的开幕词，该研讨会于2005年9月在剑桥大学三一学院（Trinity College）举行。会场设置是非同一般的——在院长别墅的楼上，那儿有一幅前学院董事艾萨克·牛顿的巨幅油画肖像，严厉地俯视着报告人。尽管像往常一样我用大纲做报告，为收入伯纳德·卡尔（Bernard Carr）的书《宇宙或多元宇宙》（剑桥大学出版社，2007年），我在会后把这个报告整理成文。

报告的中间部分是很技术性的，所以展现在这里的版本中，我删掉了它们中的大部分。此外，我的这部分报告包括了许多物理学家的名字和科学文章的参考文献（包括我自己的），在目前的版本中，这些也被删掉了。但是，在文章的结尾，为了保持其奇闻轶事感，我不得不留下三位科学家的名字。他们的名字对物理学家和天体物理学家来说是熟悉的，但一些普通的读者可能不知道。我只想说，戴维·格罗斯（David Gross）是一位理论物理学家，目前是加利福尼亚大学圣巴巴拉分校的卡弗里理论物理研究所（Kavli Institute for Theoretical Physics）的所长；安德烈·林德（Andrei Linde）是斯坦福大学的天体物理学家；马丁·里斯（Martin Rees）（又名里斯勋爵）是剑桥大学的天体物理学家，作为三一学院院长，是我们的会议的东道主。

我们通常用了解到的自然来标志科学史中的进步，但在某些关键时刻，最重要的事情是我们有关科学本身所发现的。这些发现导致了在如

何评价我们的工作方面的变化，在我们认为是可以接受的理论方面的变化。

例如，回顾一个仅百年前的发现。1905 年之前，曾有过许多不成功的、探测光速变化的努力，这些变化是由地球穿过以太的运动引起的。菲茨杰拉德（Fitzgerald）、洛伦兹和其他的人曾试图建立电子（那时设想它是所有物质的主要成分）的一个数学模型，该模型将解释当用正确的方式穿过以太以保持光的表观速度不变时，直尺是怎样缩短的。与之相反，爱因斯坦提供了一个不变性原理，该原理指出，不仅仅是光的速度，而且所有的自然规律在变换到匀速运动的参照系时都不受影响。洛伦兹抱怨道，爱因斯坦只是假定了他和其他的人一直试图证明的东西。但是，历史站在了爱因斯坦那一边。1905 年的狭义相对论是不变性原理被普遍接受为一个物理理论有效基础的开始。

这就是狭义相对论如何使科学本身发生的变化。从某个角度来看，狭义相对论没有什么重大的举措，它只相当于用一个不同的不变性原理，即在平移、旋转和可称为洛伦兹变换的变换下不变，而且所有这些都保持光速不变，替换了服从牛顿力学的不变性，即在平移、旋转和速度均匀地加入的变换下不变，这被称为伽利略不变性。但是，之前从未有过一个不变性原理被取作一个物理理论基础的合理假设。

像通常这类革命出现所带来的一样，爱因斯坦在相对论研究方面的进展伴随着退出另一个研究方向：构建一个电子的力学模型的努力被永久性地放弃了。相反，不变性原理日益成为物理理论的主要基础。在 20 世纪 20 年代量子力学问世之后，这种趋势加快了，因为在量子理论中幸存的不变性原则把严格限制的一致性条件（包括反物质的存在）强加到了可接受的物理理论中。目前我们的基本粒子相互作用标准模型，几乎可以被视为某些不变性原理和与之关联的量子力学一致性条件的后果。

标准模型的发展没有涉及任何在那些可接受为物理理论基础的概念方面的变化。的确，可以认为标准模型就是扩大了的 20 世纪 40 年代的量子电动力学。同样，当扩展标准模型以包括引力的努力引发了人们对弦理论的广泛兴趣时，我们期待以对待标准模型的相同方式来评价这个理论的成败：如果不变性原理和一致性条件能成功地预言粒子的质量和标准模型的其他参数，弦理论将是成功的。

现在，我们可能正处于一个新的转折点，一个将从根本上改变我们认作是物理学理论合理基础的转折。目前激动人心的当然是最近发现了大量的弦理论解的推论。在十维时-空，弦理论的一致性条件最自然地被满足。为了解释我们只看到一个时间和三个空间维度的事实，有必要

假设额外的六个维度是紧紧卷曲起来的。这个紧凑的六维空间的形状由大量的整数来描述，这些整数决定着各种场穿过空间的孔洞和环柄的方式，并且每个整数都能取大量的数值。据估计，这六个额外维度卷曲方式的解的数量是在 10^{100} ~ 10^{500} 的数量级，也就是说，一个 1 后面跟着 100 ~ 500 个零的数。对于这种解的多样性，弦理论家从生物化学那里拿来了术语“弦景观”，在生物化学中，大分子中每个化学键的取向选择的可能性导致了巨大数目可能的组态。除非能找到一个理由抛弃除少数几个弦理论解外的所有的解，我们可能不得不接受我们希望计算的大部分东西是外在环境参数，它们表征着描述我们子宇宙的弦理论方程的特解。因而这些常量就像从太阳到地球的距离，它的值我们将永远无法从第一原理推出。

我们失去了一些东西，但也赢得了一些东西。由弦景观提供的可能的物理参数值的数目越大，弦理论就越多地使人择推理作为物理理论的新基础：任何研究自然的科学家一定生活在这种景观的某个部分，在那里物理参数的取值适合于生命的出现和演化成科学家，并且如果物理参数在弦景观的不同部分取足够多的不同数值，有可能景观的这样的部分是存在的。

到弦景观被发现的时候，已经有了一个显然成功的人择推理的例子。几十年来，除去它可能包含的任何物质或辐射之外，真空能量——空虚空间的能量——的数值似乎有点奇特。[这个也被称为暗能量，是本文集第 5 篇的主题]。已知的场在很清楚的能量处（例如小于 100 倍的一个质子质量的能量）的量子涨落给出的真空能的值，比观测所允许的值大了一个 10^{56} 的因子。这种对真空能量的贡献可能被更高能量的量子涨落抵消，或通过在爱因斯坦场方程简单地引入一个恰当的“宇宙常数”项来抵消，但是这种抵消需要精确到小数点后 56 位。目前没有找到可解释这种抵消的不变性论据或者调整机制。即使可以找到这样的解释，也没有理由认为剩余的净真空能与目前已知的物质密度值比，并且因为它肯定不是非常大，可以很自然地假设它非常小，小到探测不到。

另一方面，如果在多元宇宙中真空能量可在一个很宽的数值范围内取值，对科学家来说，发现自己处在一个真空能量取适于科学家出现的值的子宇宙中是很自然的。1987 年，有人指出，这个真空能量的值不可能太大和取正值，因为那样的话星系和恒星就不会形成。大体上说，该极限是：真空能量应小于星系第一次凝聚时刻的宇宙质量密度。由于这是在过去，当膨胀宇宙的质量密度大于目前值时，真空能量密度的人为上限大于目前的质量密度，但不是大好几个数量级。

然而，人择的观点不仅为真空能量设了一个限，还给了我们一些预

期的数值的粗略概念：真空能量与适合生命的数值的平均值相比应该没有太大的差异。有时它被称为“平庸原理”。这个平均值是正的，因为如果真空能量是负的，在整个生命演化期间，它的绝对值将不得不小于宇宙的质量密度，否则在任何天文学家出场之前，宇宙会崩溃；而如果它是正的，真空能量只需要小于大多数星系形成时的宇宙质量密度，这给出了一个比负值范围更大的正值的可能范围。1997～1998 年，天文学家在整个多元宇宙中看到的真空能量数值的概率分布详细计算（假定先验的概率分布在人为允许的相对非常窄的范围内是平坦的）显示，如果真空能量最终弥补了小于目前宇宙总能量的 60% 左右，人为推理就不能解释为什么它是如此之小。

结果恰好是真空能量密度不太小。1998 年，Ia 型超新星的观测揭示，我们宇宙的膨胀正在加速，并得出结论，真空能量占我们现在宇宙能量的 70% 左右。这仍然比人们预期的要小一些。采用最好的有关形成星系涨落的现代数据算出来的一个随机抽选的天文学家，在多重宇宙中的任何地方看到一个这么小的或更小的真空能的概率是 16% 左右。但至少发现我们处于多重宇宙的某个部分，并具有我们观测到的真空能不是一件令人吃惊的事。

现在，我想开始处理我们在解决弦景观的人为影响中必须面对的四个问题。

1. 弦景观的形状是什么样子的？

我们需要找到支配不同的弦的解的统计规则：有多少具有可在各种不同范围内取值的物理参数的解。这是困难的，因为我们真的还不知道弦理论背后的基本原理。

2. 扫描哪些常数？

要允许人为推理应用到一个特定的自然常数，这个常数从多元宇宙的一个部分到另一个部分的变化必须足够宽泛并且平滑。更具体地说，如果景观中常数变化的范围比人为允许的常数值的范围大，那么假定在狭窄的人为允许的范围内先验的概率分布是平坦的就是合理的，则人为推理对一个给定的常数是有意义的。我们需要知道在这个意义上什么常数确实“扫描”了。物理学家希望计算尽可能多的东西，所以我们希望没有太多的常数扫描，或从一个子宇宙完全变化到另一个子宇宙。最乐观的假设是，唯一变化的常数是真空能量，以及也许是观测到的基本粒子的整体质量标度。

3. 我们应该如何人为地计算条件概率？

我们期待这样的概率，一个随机的科学文明观察到一个给定的物理常数的值是在一个给定的范围内，该范围正比于常数处于该范围的弦景

观的某个部分的科学文明的数目。在上面提到的计算中，这个数字取为正比于在有能够支持生命的行星所在的星系中找到原子核粒子的比率，但假如对这些粒子的总数进行仔细清点会怎么样呢？如果它是无限的呢？

4. 景观是如何填充的？

实际上至少有四种方式我们可以想象由弦景观描述的不同的“宇宙”是存在的：各种子宇宙可能只是不同的空间区域，或者可能是一个单一的大爆炸中的不同的时间纪元，或者可能是非连通的时-空区域，或者可能是被宇宙的波函数所占据的、可称为希尔伯特空间的数学空间的不同部分。这些可选择者绝不是相互排斥的。特别是，不管人们得出结论是前三个可选者中的哪个，在我看来，仍然存在这样的可能性：宇宙波函数是一个不同项的叠加，这些项表示在空间和/或时间中占据景观的不同方式。

最后，我想评论一下人为推理在物理学界之内和之外的影响。一些物理学家已经表达了对人为论据的强烈厌恶。（我听戴维·格罗斯（David Gross）说过：“我恨它。”）这是可以理解的。基于人择计算的理论当然表示与我们的期望相背离：从第一原理计算所有的基本参数。放弃这个希望还为时过早，但因为不喜欢它，也许我们不得不委屈自己撤离，就像牛顿不得不放弃开普勒的从第一原理计算行星轨道相对大小的希望一样。

对多重宇宙概念持有异议的一个不太充分的理由是，事实上我们永远不可能观测到除我们自身所在的子宇宙外的任何其他子宇宙。在已经确立的理论中也有许多成分是我们永远也不可能观测的，但我们并没有因此就拒绝这些理论。检验一个物理理论不是要求理论中的每个量都是可观测量，以及理论做出的每个预言都应该是可检验的，而是有足够的观测量和足够的预测可被测试，以使我们有信心相信这个理论是正确的。

最后，我已经听到了反对的意见，在试图解释为什么自然定律是这么好地适应于生命的出现和演化时，人为的论据呈现出一些宗教的味道。我认为情况正好相反。正如达尔文和华莱士解释的，没有超自然的干预，生态奇妙的适应就不会出现。所以，弦景观可以解释在没被仁慈的创造者微调的情况下，我们观测到的自然常数怎么能取适合于生命的值。我发现这个类比在一个出人意料的地方，一篇由维也纳红衣主教克里斯托弗·施波恩（Christoph Schönborn）撰写的发表在2005年7月《纽约时报》上的专栏署名文章，被很容易地理解了。他的文章结论如下：

现在，在21世纪初，面对诸如新达尔文学说和宇宙学中

> 的多元宇宙假设等的科学主张——它们的发明是为了避免关于现代科学中发现的目标和构思的压倒性证据——天主教会再次通过宣扬在自然中的固有构思是真实的来捍卫人性。试图辩解构思的出现是“偶然性和必然性”的结果的科学理论完全不是科学的，而是，就像约翰·保罗（John Paul）说的，放弃人类的智力。

很高兴看到目前宇宙学的工作有了一些对演化的关注，当然，这不是可以决定任何科学问题的那一类的宗教成见。

必须承认对于新达尔文学说和多重宇宙论，我们的置信度有巨大的差别。地球上生物的适应性通过自然选择对随机无指向遗传因素的作用而产生，这点和科学上任何无争议的事一样也没有争议。关于多元宇宙，保持一个开放的心态是恰当的，因而科学家之间的意见也有很大的差别。在参加这次会议途中的奥斯汀机场，我注意到正在出售的10月那期《天文学》杂志，封面上的标题是“为什么你住在多重宇宙”。在里面我发现了一篇对斯坦福大学会议上的讨论的报道，在那篇报道中马丁·里斯（Martin Rees）说，对多重宇宙他有足够的信心用他的狗的命来打赌，而安德烈·林德（Andrei Linde）说，他会用自己的命来赌。至于我，对多重宇宙我正好有足够的信心赌上安德烈·林德加马丁·里斯狗的命。

20 反 抵 制

2006 年 5 月，我了解到英国的高等教育和再教育国家教师联合会（Natfhe，简称教师联合会）在考虑发起一个号召它的成员参与对以色列科学机构和教授的个人抵制运动。我加入了一个反对这项运动的诺贝尔奖得主的群体[①]。伦敦的《泰晤士报高等教育增刊》邀请我发表观点。下面的文章发表在他们 2006 年 5 月 26 日的那一期上，还附有一封支持抵制运动公开信的编辑版，是由巴勒斯坦大学教授和雇员工会联盟以及巴勒斯坦抵制以色列科学与文化运动组织撰写的。

如果教师联合会投票决定抵制那些拒绝反对以色列政策的以色列学者，它就应受到全世界的道德谴责。以色列是一个民主国家，它将整个人权给予了所有的公民——阿拉伯人和犹太人。它正在从加沙和西岸的大部分地方撤离，并且它积极地寻求和阿拉伯科学机构的联系。

如果对抵制的要求是不可抗拒的，那为什么不抵制苏丹的学者？在那里，政府支持的军队正在强奸和谋杀黑人；为什么不抵制沙特阿拉伯的学者？在那里，犹太人和基督徒是不允许成为公民的；为什么不抵制伊朗的学者？在那里，犹太人以捏造的间谍罪被投入监狱。就这件事而论，为什么不抵制所有采用伊斯兰法律的国家的学者？在那里，妇女被歧视，而且对穆斯林来说，放弃伊斯兰教是大罪！

也许人们能从歧视问题看到其背后更远的地方，抵制朝鲜的学者，他们具有世界上最残酷的政府，或在加沙的学者，在那里一个恐怖分子的政府接管了政权。

还有在过去的 10 年中，英国的科学家联盟只考虑过抵制以色列，我只能将此行动归结为它仅仅是一种现实的引人注目的道德愚昧，一种对犹太人的仇恨，或者两者均有。

①Aaron Ciechanover, David Gross, Dudley Herschbach, David Kahneman, Walter Kohn, Jean-Marie Lehn and Frank Wilczek.

学者们因为政治立场抵制其他国家的同行绝不是一个好的想法。在冷战时期，美国和苏联的科学家们小心地保持知识交流的畅通，这不仅对科学本身有益，而且促进了人与人之间的关系。这最终导致了武器控制的初步行动。根据同样的想法，当我指导在耶路撒冷举办的理论物理冬季学校时，做了我们所能做的以招收从伊斯兰国家来的阿拉伯学生，而这些国家的政府是歧视犹太人的，我们做梦都没有设想过要抵制他们。

教师联合会起草了一份建议书谴责以色列“建立隔离墙”。确实，对阿拉伯人和犹太人双方这个壁垒都是让人厌恶的。然而，它并不是由于犹太人不愿意和阿拉伯人联系而建立的，而是他们不想被阿拉伯人屠杀。

直到2002年巴勒斯坦人在加沙的暴动达到新的兽行高度之前还没有建立这么一堵墙的想法。事实上，这堵墙与在贝尔法斯特的那座13英里的“和平线”没有什么不同，而建立那墙是为了控制旧教徒和新教徒邻居之间的暴力冲突。即便隔离墙还不完整，这道壁垒还是起到了作用，它已经大大降低了以色列人死于自杀式炸弹袭击者之手的数目。由于这面墙拯救了生命，人们会感叹，它减少了以色列人的死亡，而让阿拉伯人有些不方便。

教师联合会起草的建议书在以色列大门前放置的另一个罪状是“歧视性的教育”。我真想不出这是什么意思，以色列的大学以对待犹太人公民的同等方式，对它的阿拉伯公民开放。并且大量的阿拉伯学生在海法、特拉维夫和耶路撒冷的世俗大学读书。当然，对不是公民的人的对待是有些不同的。得克萨斯州立大学自然在入学及教育收费方面给予得克萨斯居民以优惠的待遇，但是没有人提出，由于不同对待，俄克拉荷马州的学生要抵制得克萨斯的学者。

以色列是黎凡特地区（地中海东部地区）唯一的真正民主的国家，也是世界仅有的被它的邻居时时刻刻威胁它的存在的国家。这让人相信以色列在约旦河西岸或加沙的存在不是问题所在。问题是在伊斯兰世界中犹太人的存在，更糟的是犹太人的成功。在以色列建国之前，在巴勒斯坦，犹太人被阿拉伯人屠杀，而当西岸和加沙在阿拉伯人手中时，以色列一而再再而三地受到攻击，沙特阿拉伯、叙利亚一直认为他们和以色列是在战争状态，同时哈马斯和伊朗总统公开号召消灭以色列，远远不是要抵制。以色列应该得到学者们的支持，特别是如英国那样的国家，它在两次世界大战时做了许多事来保障民主。

如果教师联合会号召抵制以色列的学者，那我将对它的成员提出一个要求，就是把我也算在要抵制的人中间，我认为那是一项荣誉。

这还不是我介入这种抵制事情的结尾。在2006年教师联

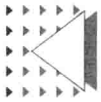
合会会议上通过了抵制运动，我曾同意那个夏天在达勒姆（Darham）大学举行的宇宙学大会上做报告，但最后我很遗憾地谢绝了邀请。我并不想启动一个英国的反抵制活动，我只是感到作为一个自由人，也是一个学者，也是一个犹太人，我必须做出一个抗议的姿态。后来我很高兴地看到，这个抵制被取消了，虽然那时已太晚了，我已不可能再出席达勒姆大学的会议了。

几个月后我收到在伦敦帝国学院做学术报告的邀请，这来自于我的一个老朋友麦克·达夫（Michael Duff）教授。我被要求在2007年7月做一个纪念已故的阿布达斯·萨拉姆（Abdus Salam）的学术报告。1961～1964年我在伦敦帝国学院时和萨拉姆进行过非常有成效的合作。我还被邀请在7月伦敦召开的物理大会上做一个技术性的报告。由于Natfhe的抵制活动已经被取消，我也很高兴有这个机会对萨拉姆表达敬意，我接受了邀请。天啊！2007年5月我了解到英国的新闻工作者国家协会在它的全国大会上投票通过抵制以色列产品，英国的大学和联合会以及在布莱顿和伦敦东区的几所大学也在考虑相似的动议。180位英国的医生在呼吁抵制以色列的医药联盟。我写信给达夫教授，告诉他我7月不会来伦敦了，在那封信中我解释说："我知道有些人要说，这些抵制仅仅是针对以色列的，而不是一般地反对犹太人。"但是根据对以色列的攻击史以及在中东和其他地方、其他国家的压迫和侵略性，对以色列的抵制预示了道德的盲目性，很难找到不是反犹太人的其他解释（我能想到的唯一其他解释是想要迎合英国正在增长的穆斯林少数）。我很遗憾我没有机会给出赞誉萨拉姆的报告，我认为他也会对英国新闻工作者的所作所为感到遗憾。

我告诉达夫，他可以把我的信给任何感兴趣的人看。这样，这封信到了英国出版社手中。5月24日《卫报》（*The Guardian*）刊登了我给达夫的信的摘录，然后在5月25日，《泰晤士报高等教育增刊》把整封信登出来了，并且引用了对我的电话采访如下："我爱英格兰，我在那儿结的婚，我也是皇家学会的外籍成员，我为此感到骄傲。无疑，我将会回去，但此刻我必须做出某种道德抗议的姿态，有那么多的国家值得谴责，然而轻易地混过去了。我可以认为对以色列的做法除了反犹太人外没有别的解释，这种态度是英格兰左翼知识分子阶层的特征，这对于我一个自认为自己是比较左的人来说是很悲

哀的。”

2007 年大学和学院联盟（吸收了教师联合会）通过了呼吁抵制以色列学者的运动，它后来被一个特别召开的大会推翻。在 2008 年这个联盟的一次代表大会上，号召它的成员“考虑一下和以色列的研究机构建立教育上的联系产生的道德及政治影响”，但是随后放弃了实施此项活动的企图。从所有这些事开始之后，我就没有回到过英格兰，但是无疑我最终一定会回去。



21 极端确信

这是对理查德·道金斯（Richard Dawkins）的《上帝的错觉》（Bantam，伦敦，2006）一书的评论。我没有给多少书写过评论，但是当伦敦的《泰晤士报文学增刊》要求我评论此书时，我同意了，这是由于我对《新共和》与《伦敦书评》对此书的批判有不同的看法，并且也由于我想把我自己对道金斯书中所涉及的问题的观点加进去。此评论发表在2007年1月的《泰晤士报文学增刊》上。

在所有可以扰动宗教思维的科学发现中，没有哪项有达尔文的自然选择进化论那样的冲击性，物理学还有宇宙学的进展就没有产生这样的震动。

在基督教的早期安提阿的教堂神父西奥菲勒斯（Theophilus）和拉克坦迪阿斯（Lactantius）就拒绝接受从柏拉图时候就已很普遍的知识：地球是圆的。他们坚持《圣经》字面上的意义，从起源到新发现的诗句可以解释成它意味着地球是平的。然而当一个人看见一条船的船体消失在地平面之下，而它的桅杆还看得见时，那么圆形地球的证据对他来说是不可抗拒的，最终平坦的地球的观点似乎不值得去争论了。

关于地球在绕着太阳运动这个更为基本的概念就更难让人接受了。无论如何《圣经》将人类放置于罪与赎戏剧的中心，那么我们的地球怎么能是其他的一个行星？直到19世纪，在萨拉曼卡（Salamanca）和其他的西班牙大学中都不能教授哥白尼的天文学，然而在达尔文时代，它对任何人都不是什么麻烦。

对宗教的另一个挑战是由于牛顿而出现的。他关于运动和引力的理论，表明自然现象可以不用神的干预来得到解释（虽然牛顿一直是虔诚的信徒），并且这种理论在牛顿所在的大学受到约翰·哈钦森（John Hutchinson）根据宗教原则进行的抵制。但是在欧洲对牛顿思想的抵制在18世纪就垮掉了。信徒们聊以自慰的是他们认为奇迹只是不遵从牛顿规律的偶然例外，并且无论如何数学物理不会打扰那些不理解它的解

释自然界功能的人。

达尔文主义却不同，那不仅仅是像运动的地球那样的关于进化论的理论，而是直接与《圣经》的条文相冲突；它不仅仅是进化论，而是像哥白尼的理论，否认人类作为宇宙的核心。牛顿理论对那些原来似乎没有神的干预就无法理解的自然现象，给出了非宗教的解释。更糟的是，那些用自然选择理论解释的自然现象是我们引以为傲的人类最根本的特性。按照现代演化论的生物学家的学术成果，我们对同伴和孩子的爱，还有那些更抽象些的道德原则，诸如忠诚、宽容、诚实都有一个演化的起源，而不是存在于一个神造的灵魂之中。

传统的宗教受到进化理论的重创，这符合我们的认识：宗教最有力、最有雄辩性和最不妥协的现代的对手是让我们懂得进化的生物学家，最先是弗朗西斯·克里克（Francis Crick），然后是理查德·道金斯（Richard Dawkins）。道金斯最畅销的《上帝的错觉》一书，涵盖了他所有关于生物和宗教的书，他在书中对宗教的每个方面都进行了抨击——不仅是传统的宗教，而且包括冠以宗教之名的各种比较模糊的虔诚。

在对这一切进行最不客气的区分中，道金斯甚至争论说对上帝的持久的信仰本身也是自然选择的产物——可能作用于我们的基因上。这也正如迪恩·哈默（Dean Hamer）在《上帝基因》一书中主张的那样。但是它一定作用于我们的文化基因，也就是许许多多文化信仰和看法，对达尔文主义者来说尽管它们并非在生物学意义上进行一代一代传承。不是文化基因帮助信徒或信徒的基因活下去，而是文化基因自身由于它的特性而要继续存在下去。

例如，在一个特殊的宗教中信仰的持久性是来自于这样的原则：这个宗教教育信徒们上帝要惩罚那些不信教者，如果用以威胁的惩罚足够可怕，这样的宗教将存活下去。反之，一个宗教认为那些不信教的人在死后只在一段时间内有一点不舒服，然后他们就可以和信徒们一起享有永远的安乐，那它就不容易让想改变信仰的人还留在这个宗教内。很自然地，在传统的基督教和伊斯兰教的教义中，不信教会成为终极罪堕入地狱——那个终极的折磨人的场所。无怪乎，数学家保罗·埃尔多斯（Paul Erdos）习惯地将上帝称为极度的法西斯。

顺便说一句，道金斯的书（还有这个评论）集中在基督教和伊斯兰教上，一般它们强调信仰的重要性，而不是像和一些特定的种族群体连在一起的犹太教和印度教或日本神道教那样集中在宗教上，而且强调遵从而不是信仰。

道金斯像埃尔多斯一样不喜欢上帝，他将《旧约》中的上帝称为“在传说中最不讨人喜欢的人物：妒忌并且为此而自豪；心胸狭窄、不

公正到不可原谅、无自制的怪物；报复心极强、嗜血的种族灭绝者；一个厌恶女人的人；有害的、自大的、施虐受虐狂的、反复无常恶意的恃强凌弱者”。对于《新约》他完全赞同地引用托马斯·杰弗逊（Thomas Jefferson）的话：“基督的上帝是作为一个极妙人物存在的——残忍的，报复性的，反复无常的，并且是不公正的。”

这是很厉害的东西，道金斯显然想要给读者一个震撼，但是这种猛烈抨击具有构造性的目的。通过攻击神圣经文中的上帝，他在试图弱化假定的上帝意旨的权威性，对这些意旨的解释，曾导致人类陷入到质疑、原始战争和圣战的耻辱的历史中。道金斯把许多残酷的细节都给了读者，但是读者只要看看今天的大标题就能满足他或她自己的需要了。由于某些原因，道金斯对古兰经的真主（阿拉）没有做评论，而阿拉似乎为那些恶语攻击提供了同等的机会。

发表在《纽约时报》和《新共和》上的对《上帝的错觉》一书的众多评论将道金斯轻蔑地拒绝上帝存在的经典“证明”作为评论的课题。我同意道金斯拒绝这些证明，但我要以稍有不同的方式来评论它们。

圣·安斯勒姆（St. Anselm）的“本体论证明”要求我们首先必须同意可能思考某些东西而且确实没有比它更伟大的事可以思考了。一旦接受了这个动议，这个狡猾的哲学家指出被思考的事情必须存在，因为如果它不存在，那么像这个东西那样的其他什么真正存在的东西将比它还伟大。那么什么可能是真实存在的最伟大的事情，是上帝吗？证明结束。从安斯勒姆时代的高尼罗（Gaunilo）修士到我们时代的哲学家，如麦奇（J. L. Mackie）和阿尔温·普兰汀伽（Alvin Plantinga），普遍认同安斯勒姆的证明是有缺陷的，尽管他们在是什么缺陷上没有共识。我自己的观点是，这个证明是循环的；一个人能思考没有比他更伟大的能思考的东西这个命题是不真的，除非他首先假定上帝的存在。

安斯勒姆的“证明”以多种形式再现，从笛卡儿到普兰汀伽，那些不同形式中的证明被从肯特（Kant）和胡姆（Hume）到麦奇等哲学家所批驳。这有点像传染病可以用抗生素治愈，但是它可以演化以至于需要从头再来才能治愈。

“宇宙学证明”在逻辑上没有不好到哪儿去，但它在一定程度上要求助于物理学家。本质上，可以认为任何事都有因，并且从因果率的链上不可能永远追溯上去，它一定会停在我们称之为上帝的最初的因上。关于最终的因的想法是很有吸引力的，同样关于基本粒子物理的梦想就是寻找最终的理论，这是我们认为它在解释我们在自然界看到的一切的链条的最根部。问题是这样一种数学形式的终极理论不可能是任何人所

指的上帝，有谁会向量子力学祈祷呢？

信徒会争辩说，没有物理理论能是最初的因，这是由于我们还不明白为什么自然界是由那个理论所主宰而不是其他的。还有，同样地，上帝也不可能是最初的因，按照我们关于上帝的概念，我们也还会奇怪为什么这个世界是由这类的上帝支配而不是其他的。

历史上最有说服力的“证明”就是从设计而来的议论。这个世界（特别是生命）被认为是奇迹般地形成的，它只可能是一个超级设计者的手工制品。从牛顿到克里克、道金斯，这些科学家们工作的伟大成就，是要驳斥关于解释世界的这种议论。

我发现有点不妥的是托马斯·纳格尔（Thomas Nagel）在《新共和》上把道金斯称为“业余哲学家”，而特里·伊格尔顿（Terry Eagleton）在《伦敦书评》上嗤笑道金斯缺乏神学方面的教育。那我们是不是要得出这样的结论：关于哲学或宗教事务的意见只能由专家来表述，而不是科学家或其他的普通人？这就像在说，只有政治科学家才有资格表达关于政治的观点。伊格尔顿的论断是特别不适宜的，它像是说一个不懂怎样造钟表的人不能判断占星术的正确性。

我认为道金斯的错误在于他像阿金库尔（Agincourt）战役之后的亨利五世，他好像不了解战斗的进程，其实他那方已经赢了。伊斯兰教在欧洲的崛起被放在一边，欧洲人对严格的基督教义的偏离被广泛地宣传为道金斯为了他死不悔改的宗教信仰的信条中的大部分转向了美国。他认为美国关于宗教伟大的态度可以归结为我们从未有一个全国确认的教派的事实。这是他从托克维尔（Toqueville）那儿找来的一个看法。然而，虽然大部分美国人能认识到了宗教的价值，但就我所知，他们并不很清楚宗教教导他们的东西的事实性。按照《纽约时报》最新的文章，美国的福音传道者对一项民意测验感到绝望，这项民意测验显示只有4%的美国青少年在成年后会成为“相信圣经的基督徒”。

宗教宽容的扩展构成了教义确信度弱化的证据。大部分基督教派一直教导人们，对基督缺乏信仰就不可能得到灵魂的救赎。如果你真的确信任何没有这种信仰的人就注定要永远在地狱中，那么，传播这种信仰以及压制不相信的观点在逻辑上就是世界上最重要的事——远远比诸如宗教宽容这样的仅仅是世俗的美德来得重要。还有在美国宗教宽容是太过分了。在美国没有一个对任何特定宗教公开表示不尊重的人能被选到重要的岗位上。

纵使美国的无神论者赢得选举有困难，美国人对我们这些不信神的人还是很宽容的。我在得克萨斯的一些好朋友是真正的基督徒，但他们根本不试图改变我的信仰，这也许可以作为他们不真在乎我永留地狱的

证据。但我宁愿相信（并且浸礼会教徒和长老会会员们都对我承认），事实上他们自己对地狱和天堂也不那么确定。

我经常听到这样的话：一个人信什么并不重要，重要的是我们如何对待彼此。当然，听起来确实太好了。但是“一个人信什么不重要”？想象一下，试着把这个解释给路德（Luther）或加尔文（Calvin）或圣保罗（St Paul）！这样的谈论显示基督教从它原来占有的地方大幅度地退却，这个退却没有什么新的可借鉴之处，它仅仅是确信的缺失。

基督教在西方大部分宗教信仰的弱化是由于科学，纵使是那些宗教使其倾向于对科学的炫耀充满敌意的人们，也都懂得他们必须依赖科学而不是宗教来把事情办好。几年前，有一次我从奥斯汀开车去瓦口，就遇上了这么一个例子：那还是神灵论者争辩说如达尔文的进化论那样的科学理论本身就是宗教的一种形式、是一种可称为“世俗的人道主义”的宗教的时候，公立学校的课程不应该给予它比别的宗教如基督教更多的赞同。我正要去贝勒尔大学参加一个关于这个论题的学术会议，当时正是得克萨斯的干旱时期，我开车经过位于布拉佐斯山谷的圣经地带①的农田，我想所有的农夫都一定在祈祷下雨。我打开收音机，听到当地电台的天气预报，播音员说了气温和湿度以及从西得克萨斯来的冷空气前锋，但他没有说一句关于祈祷的话，尽管那一定正在进行。这让我有些疑惑，为什么圣经地带的听众要设立这种世俗人文主义的天气预报？显然是因为他们真的想知道是否会下雨。

在弱化宗教信仰方面，科学的作用是它对人类文明最伟大的贡献之一。在伊斯兰世界中类似的事却没有出现。在伊斯兰国家中人们发现不仅是对特定的科学理论的宗教抵制，这在西方国家里也偶尔存在，而且是广泛地对科学本身的敌意。我过去的朋友，杰出的巴基斯坦物理学家阿布达斯·萨拉姆曾试图说服波斯湾的石油富国的统治者在科学教育和研究上投资，他发现虽然那些统治者对技术很热忱，但他们认为纯科学对信仰提出了太大的挑战。埃及的穆斯林兄弟会曾一度号召结束科学教育。事实上，在公元9世纪，当科学在欧洲还几乎不存在时，世界上最伟大的科学研究中心是在巴格达的智能学院（House of Wisdom）。

伊斯兰教在12世纪开始转向反科学，最具影响力的人物是哲学家阿布·哈米德·阿伽扎利（Abu Hamid al-Ghazali）。他在《无逻辑的哲学家》一书中，提出反对自然界法则的根本想法，他认为这些法则将束缚上帝的手脚。按照阿伽扎利的说法，将一团棉花放在火上烧，它不会因为热变暗或无火焰地闷烧，而是因为上帝要它变暗和闷烧。在阿伽扎

①圣经地带，指美国南部和中西部正统主义派教徒多的几个州（地带）。——译者注

利以后的几个世纪中，在伊斯兰国家科学走向衰退，这种情况一直没有逆转。

这种后果是极其可怕的，不论你怎么想那些在拥挤的欧洲或以色列城市引爆自杀式炸弹或驾机冲入美国大厦中的穆斯林，谁又能怀疑他们对信仰的忠诚和这些行为不无关系呢？

乔治·布什和许多其他人要让我们相信恐怖主义是对伊斯兰教教义的歪曲，而伊斯兰教是和平的宗教。当然，这么说是很好的策略，但是关于“伊斯兰是……”这样的声明真不意味着什么。伊斯兰教像其他宗教一样是人创造的，潜在地存在许多不同教派，正如存在着宣称自己是穆斯林的人们。（同样的评论可以用在伊格尔顿的极为个人的宣称“基督教是……”）我不知道在什么情况下我们能说一位如阿布达斯·萨拉姆那样和平的和有良好愿望的人，比那些真主党和伊斯兰的杰哈德的谋杀性的圣战战士们，或者那些在整个伊斯兰世界煽动仇恨和暴力的教会圣职人员，或者那些仇视侮辱他们的信仰但不抵制以宗教之名行使暴力的穆斯林，更像一个真正的穆斯林。（顺便说一句，阿布达斯·萨拉姆认为他自己是虔诚的穆斯林，但他属于大部分穆斯林认为的异端的教派，并且多年来，他被禁止返回巴基斯坦。）

道金斯认为把伊斯兰教视为又一个糟糕的宗教，但宗教和宗教是有区别的，区别在于宗教信仰在伊斯兰世界所留存的范围，以及它产生的危害。道金斯的想法是一种良好愿望，但是用错了地方。我和道金斯一样缺乏对各种宗教的尊敬，但在我们的时代，要同等地不尊重所有宗教也是一种愚蠢。

22 寄语博士后

博士后研究合作（associateship）堪称美国学术界的一项绝妙的发明，但是对于那些得到了这些位置的人，他们的经历可能会令人恐惧。这些“博士后”都是刚刚得到学位的博士，被给予在一所大学或国家实验室从事期限为两年或三年研究的机会，不承担教学任务，但是也不能期望会被考虑在那里晋升为一名较为永久的教员或者行政人员。伴随博士后约谈的不言而喻的套话是：“好吧，作为一名研究生你得到这份工作已经很不错了，而且你现在有了一个展示按照你自己的创意可以做什么类型的研究工作的机会。从现在起，没有人关心你在哪里上过学或者你在那里学得有多好，而只关心你现在在做什么类型的研究工作。你有两到三年的时间，然后你将不得不尝试去找另一份工作，像助理教授或者与之相当的、能够成为某种更为永久性工作的职位。不要只是干坐在那儿，要发现点什么。”

博士后觉得有点焦虑，这也是自然的。2006 年秋季，得克萨斯大学物理系邀请来自其他一些美国大学的若干博士后到奥斯汀参加一个研讨会，他们相互之间，也和我们的教员一起讨论他们当前的工作。我被邀请给这些博士后做一次午餐后的讲话，我认定给他们一点鼓励或许不会有错。谈话的效果看来得到了认可，于是我把以下的文字版本寄给了《今日物理》（*Physics Today*），他们在 2007 年 3 月发表了它。

在仔细考虑今天晚上我要对一群开始他们研究生涯的才华横溢的年轻博士后讲些什么的时候，我自然地回想起对于我们这一代物理学家，当我们第一次开始进入研究状态时，看上去是怎样的一种情况。我们中的许多人曾担心过，在当时的物理学的状态下，取得进展似乎是那么困难。（我仍记得在我自己的物理学研究领域——粒子和场的理论，是怎样的一种情况，但是如果类似的评述也适用于其他领域，我不会感到惊

奇。）我们曾有过一个弱核力的理论①，但当进一步扩充到超出最低阶近似时，它变得毫无意义了。强核力②甚至更是令人迷惑不解。我们没有任何理由相信任何有关这些力的特殊理论，而且即使我们相信了它，也没有任何办法进行一个强核力理论的推论。有人认为理解强核力要通过研究散射振幅作为几个运动学变量函数的解析结构③来实现。这种方法真的使我沮丧，因为我知道我绝不可能理解一个以上复变量的理论。所以，我非常担心，在这种一团糟的局面中我怎么能做研究工作。

我不得不承认，除了这种悲观，我还有一种对上一代理论家们的羡慕感。或许我们这一代中的许多人都有过这种感觉。我们见证了20世纪40年代晚期戴逊（Freeman Dyson）、费曼（Richard Feynman）、施温格（Julian Schwinger）和朝永振一郎（Sin-Itiro Tomonaga）这一代人掌控诞生了20年的量子电动力学理论④的情景。在我看来，他们所需要做的一切就是认识到如何在电子质量和电荷的测量值与场论中出现的符号 m 和 e 建立起联系。一旦把这一点理清楚，施温格就能轻松地——或者对我来讲似乎如此——将电子的磁矩⑤计算到小数点后四位。这一切看上去比起我们这一代物理学家所面对的谜团容易得多。

当然，我们羡慕上一代是不对的，其理由有两个。

首先，我敢说，每一代物理学家都曾经羡慕过他们的前辈。我知道，费曼和施温格那一代的一些理论家都曾惋惜，他们没能工作在发现量子力学的20世纪20年代。毕竟，是什么让猜出薛定谔方程⑥，然后解出这个方程，最后给出氢原子的能谱这么难呢？我猜想，20世纪20年代的海森堡、泡利、薛定谔和狄拉克一定羡慕过爱因斯坦，他不必担心量子力学的复杂性，只须处理场方程就在1915年发展了广义相对论。

---

①附注：这是对一些放射性衰变过程负责的力，在这些衰变过程中，原子核内的一个中子或一个质子变成一个质子或一个中子，同时发射出一些其他的像电子和中微子这样的高能粒子。

②附注：这些是在中子和质子以及其他一些粒子内部把夸克束缚在一起的力，也是在原子核内部把中子与质子束缚在一起的力。

③附注：这很难用非数学术语解释。散射振幅是一些数值的量，它的平方给出当一束粒子被其他粒子散射时，可能发生的各种事情的概率。它们依赖于像初态与末态的粒子能量和运动方向这样的运动学变量。而“解析结构”是当运动变量允许变化的区域扩展到包括复数，即包括负数的平方根的数时，这种依赖性如何光滑的一种描述。

④附注：量子电动力学是关于电子、正电子（反电子）和光子（光的粒子）的量子力学理论。

⑤附注：磁矩是给出电子自旋产生的磁场强度的一个数。

⑥附注：确定能量的原子态的薛定谔方程控制该态上粒子波函数的空间变化，而后者是一个给出在某处找到该粒子的概率的量。而仅当原子的总能量取某些称为原子能谱的分立值时这个方程才有合适的解。

而在这个世界上又有谁能让爱因斯坦羡慕呢？显然，除了牛顿，不会再有别人了！果然，爱因斯坦在给1931年版牛顿的《光学》一书写的前言中说："幸运的牛顿，科学的快乐童年！"

其次，在每一代人中，那些认为他们的前辈遇到的问题比他们自己遇到的要容易的人是不对的。戴逊、费曼、施温格和朝永振一郎严格地处理量子电动力学，需要极大的勇气。在20世纪40年代晚期，一般的想法是，量子电动力学只是一种低能近似，在能量超出几百万电子伏之上时，它不可能被信任，一定会被某种全新的理论代替。当薛定谔在1925年写下他的方程时，他没有关于波函数意味着什么的想法；这种想法要等到几年之后玻恩（Max Born）关于散射理论的工作提出之后才出现。而牛顿并不只是发明了一个特殊的运动定律和一个特殊的引力定律——他是要发明动力学方程的整个思想。在牛顿之前只存在中世纪由让·布利丹（Jean Buridan）和其他一些人提出来的一种非常有局限性的数学运动学①，以及亚里士多德的毫无价值的哲学动力学。

所以我所说的故事，其寓意并不是让你在今天的研究工作的一开始，在面对一些巨大的困难时丧失信心，事实上，进展的机会恰恰在于那些看上去一团糟的物理领域。我们这一代人没有把像物理教科书后面的习题集那样清晰的一组任务交给你们，但是过去什么时候对于下一步要做的事情完全清楚呢？与以前任何一代物理学家相比，你们在数学上的训练好得太多了，而且你们所掌握的能支配的工具，从个人计算机到人工智能，远远超过了早些年代的科学家的梦想。你们也将会有面对困难的时候，就像我们一样，但是你们肯定会做得更棒。

①附注：这并不完全正确。在牛顿之前，惠更斯（Christiaan Huygens）曾发现了关于以恒定速度做圆周运动的一个物体的向心加速度的一个重要公式。

23 是科学还是太空人

没有任何科学领域像天文学那样多地得益于业余爱好者。他们利用双筒的和最时髦的望远镜巡视天空，搜寻那些专业的天文大望远镜由于视野狭隘而错过的彗星和变星。甚至更为重要的是，业余的天文爱好者们成了一群对天文学研究成果感兴趣的政治选民，普遍地支持政府对这类工作的投入。

在美国，天文爱好者协会（加上不少专业人士）以杂志《天空与望远镜》（*Sky and Telescope*）为他们服务。所以，非常自然的是，当我想要寻求对以国际空间站研究宇宙线项目的支持时，我会投寄一篇评论稿件给这份杂志。

这个计划中包括的关键仪器是α磁谱仪（Alpha Magnetic Spectrometer，AMS），它利用高能物理技术探测组成宇宙线的粒子的性质。AMS已经准备好，可以用了，因此唯一需要的就是把它带到国际空间站上去。我对这个项目的支持在2007年赢得了它的领衔人物、我的老朋友物理学家丁肇中（Sam Ting）的欢迎，从他那里我听说美国国家航空航天局（NASA）在允诺使用航天飞机把AMS带上国际空间站之后，又背弃了这个承诺。在布什总统宣布要派遣宇航员重返月球，然后再去火星的计划之后，NASA已经决定航天飞机只用于完善空间站，而使用空间站只支持载人航天技术。在我看来，这是NASA倾向致力于把财力物力投向诸如月球-火星使命的载人航天宏大任务的又一次有害的结果。早在几年前我就已经表达了对载人航天的否定观点——本文集第14章重印了那篇文章——而现在我想用AMS的情况作为由于强调载人航天造成伤害的一个实例。我的文章被《天空与望远镜》杂志在2008年5月号发表。

半个世纪以来，NASA一直强调人类太空飞行高于一切。毫无疑问，有些人只要看到太空中的航天员就感到异常兴奋，但是，这是一种

非常昂贵的旁观者的游戏。

人类的空间探索常常因其对科学与技术的贡献表明它是很有道理的。是的，把人放到太空中实质上是要研究微重力对人类的影响，但这并不是一件有趣的事，除非还有一些别的理由要把人送到太空去。NASA 的工作促进了天文学的巨大发展，但是所有这些发现都来自无人驾驶的机器人太空船，比如，哈勃太空望远镜（HST）、宇宙微波背景探测卫星（COBE）以及威尔金森微波各向异性探测器（WMAP）。

坦率地讲，没有多少人能在太空中做那些装备了仪器的卫星和机器人都做不好的事，而且还要求成本要低得多。人要辐射热量并会偶然遇上一些事情，他们需要有空气、食物和水，而且一定要返回地球。

大多数天文学家一直不愿意批评 NASA 不断强调人类太空飞行的观点。他们的理由是有人在太空中似乎更吸引公众，从而使空间机构增加资助，其中有一些支持真正的科学。但是这种心照不宣的讨价还价，现在得到澄清了。布什总统把人送上月球和火星的代价极为高昂的计划正迫使 NASA 砍掉从监测气候变化到研究宇宙微波背景等各种科学任务。

NASA 为了用火箭把人送往太空而牺牲科学方面，有一个特别糟糕的例子。由诺贝尔奖得主、麻省理工学院的丁肇中牵头的一项国际合作，为研究来自太空的原初高能宇宙线，建造了一台被称为 α 磁谱仪（AMS）的很令人震撼的装置。AMS 预定用于国际空间站，并不是因为需要航天员操作它，而是因为空间站是在地球大气层之外的一个稳定的平台，具有许多可用的功能。只要空间站还在那里，我们就可以用它做一些重要的科学工作。

AMS 已经做好了上天的准备。为了建造它花费了大约 15 亿美元，大部分的钱来自欧洲的一些财团，而 NASA 也同意把它送上空间站。但是在 2003 年“哥伦比亚号”悲剧性失败的那段时期，NASA 的管理者决定空间站的工作将仅限于支持总统对于人类空间探索的愿景。因此，这个机构目前并不打算把剩下的任何一架航天飞机飞行的有效载荷的 1/4 用于把 α 磁谱仪送到空间站。据我所知，NASA 曾想把 α 磁谱仪作为航天飞机一次额外飞行的理由，但这个想法遭到了国会的反对。尽管 NASA 的一位高级官员曾经对我说，这项任务或许还能被包括在探索计划预算中，但我担心到头来天文学将会承受相应的代价。

现在是天文学家与天文爱好者们一起反击 NASA 出尔反尔以及布什政府继续以牺牲真正的科学为代价追求人类太空飞行的时候了。有些人反驳说，让航天员停留在太空是公众的需要。或许这曾经是对的，但是我怀疑它现在是否仍然正确。今天熟悉网络的太空迷们可能比他们的前辈更容易获得来自远程传感器的结果。对于来自哈勃太空望远镜和“勇

气号”、“机遇号”火星探测器得到的结果，公众有极大的兴趣。

毫无疑问，一旦航天员返回到了月球并继续飞往火星，最初那将会是极其激动人心的。但是经验表明，当公众明显地看到，航天员们一旦到了那里实际上没有什么太多的事情要做时，很快就会变得不再抱有幻想了。

这篇文章发表以后，我听说NASA可能要增加一些额外的航天飞机飞行计划，并利用其中的一次将α磁谱仪送到空间站上去。我无法确定这是否是一件好事。我是2007年9月在休斯敦月球与行星研究所高等空间研究中心召开的α磁谱仪技术交流会上通过视频致开幕词时第一次听到这种可能性的。在我讲完讨论时，我陷入了一场与国会议员尼古拉斯·兰普森（Nicholas Lampson）关于增加额外航天飞机飞行计划的争论，约翰逊载人航天飞行中心（Johnson Manned Space Flight Center）就坐落在这位议员所代表的选区。在我看来，在预定的航天飞机的航班中有足够的空间把α磁谱仪带到空间站上去。增加额外航天飞机的飞行任务对于载人航天飞行中心会是件好事，但我担心这很可能会导致从科学研究中抽走更多的资金。

24 以色列和自由主义者

2008年是以色列建国60周年，这一年《复原》（*Tikkun*）杂志在5/6月那一期辟出专栏“以色列六十年”以示纪念。出乎我的意料，我也被邀请给专栏写点什么。我感到吃惊是由于早先我曾在《新共和》（*the New Republic*）和《泰晤士高等教育增刊》（*Times Higher Education Supplement*）发表过强挺以色列的观点（本文集第20章），尽管我不能说《复原》是反以色列的，但我总感觉它在面对以巴冲突问题时，时常强调以色列应该做出让步，我原以为如果我的文章不进行彻底修改是不可能发表的，事实表明我多虑了——《复原》杂志编辑最大限度地保留了我的原文。

以色列在其古代地址上的复国堪称我们这个时代最大的奇迹，一片荒凉的土地随之变成了可爱的以色列，那里有绿树成荫的街道、咖啡馆、大学，乐观的人民、解放了的妇女、自由民主和健全的法律。在饱受敌对的阿拉伯军队的袭击情况下，一个居住在这片狭长土地上的热爱生活的民族仍然能够生存下来也不失为一个奇迹。爱德华·吉本（Edward Gibbon）[①] 在描述中世纪早期欧洲犹太人的状况时写道：“对他们可以随意欺压，因为他们已经不会使用，甚至都不记得什么是武器了。”不可思议的是，20世纪的犹太人再次学会了用武器来保卫自己。

然而，尽管以色列已经存在，它还是面临着各种敌意。这些敌意不仅来自于阿拉伯民族统一主义者，来自那些讨好伊斯兰产油国的政客和商人，还包括思想保守的反犹主义者。就以色列问题而言，这个时代最令人震惊的变化是，在全球范围内许多自由知识分子，包括科学家、艺术家、作家、工会领导人、“开明”宗教人士，也开始不理智地仇视以

① 爱德华·吉本（Edward Gibbon，1737～1794年）是近代英国杰出的历史学家，影响深远的史学名著《罗马帝国衰亡史》一书的作者，18世纪欧洲启蒙时期代表人物之一。——译者注

色列，这个中东地区唯一自由民主、唯一一个像我们这样的人还能够在那儿生活的国家。他们在国际论坛上，荒谬地把以色列指责为人权的最大践踏者，世界和平的最大威胁，要求以色列关闭检查站，推倒隔离墙，取消其他用来拯救犹太人生命的措施。这批人中最可耻的要数所谓犹太和以色列“自由主义者”，他们急不可耐地冲出来向世人显摆他们不是坏犹太人，是好的，比谁都更反以色列。

敌视以色列表面上是由于以色列“占领”了巴勒斯坦领土，不断要求以色列退回到1967年的边界。其实，以色列已经完全撤出了加沙（Gaza），并把约旦河西岸绝大部分移交给了巴勒斯坦解放组织（PLO）。难道会有人认为把居住在所剩的一小片土地上的犹太人清理出去，终止以色列军队在约旦河西岸的巡逻就会带来和平？哈马斯（Hamas）、黎巴嫩真主党（Hezbollah），以及他们在像伊朗这样的伊斯兰国家的支持者们明确表示，只有彻底消灭以色列他们方肯善罢甘休。即便巴勒斯坦解放组织和其他伊斯兰国家的“温和派”承认以色列，以色列也退回到了1967年划定的战略上很被动的边界，他们的底线又在哪里？别忘了，巴勒斯坦解放组织是1964年成立的，那时候无论加沙还是约旦河西岸，都没有寸土在以色列手中，因此“解放”只能是意味着要消灭以色列。

不仅要求以色列完全从约旦河西岸撤出是不现实的，也是不公平的。受攻击的国家在击败攻击者后，如果为保护自己不再受到攻击而占领了攻击者的土地通常是不会受到责难的，苏联就是这种情况。第二次世界大战后苏联吞并了东普鲁士（East Prusssia），至今大多数德国人并不因此而谴责苏联（当然，俄罗斯人并没有在占领的土地上统治德国人的问题，因为他们已经都被驱逐出去了）。按照这个标准，以色列可以为了安全滞留在约旦河西岸的任何地方。

然而有些“自由主义者”否认以色列存在的合法性，说为什么不能在整个巴勒斯坦建立一个多民族的、正巧是阿拉伯人占多数的国家？他们忽视了犹太人不可能在阿拉伯人统治的国家自由生活这样一个历史事实。生活在阿拉伯人中的犹太人不断地经历屠杀，就像1922年的希伯伦（Hebron）。一旦犹太人在阿拉伯国家苟活，他们将沦为二等以下公民，一如《古兰经》中所描述的情形。现在沙特阿拉伯禁止犹太人居留，他们只好逃到其他阿拉伯国家。尽管国际法确认所有巴勒斯坦都是犹太人的祖国，第一次世界大战后，英国把大部分地方（今天称为约旦的地方）[①] 送给了英格兰的盟友哈桑王族，而他们与约旦没有任何关

①附注：1911年版《大英百科全书》把约旦河描述成一个标识，“是东西巴勒斯坦的分界线”，而不是划分巴勒斯坦和其他地方的边境线。这应该至少反映了那个时候英国人的看法。

系。但犹太人与巴勒斯坦有实实在在的联系，那里是他们古代的家园，从罗马帝国时代起成千上万的犹太人就生活在那里。甚至在交给约旦后，联合国还投票表决分割了剩余的土地，只把一半留给了犹太人。就这样，犹太人接受这半个长条的土地，把它建成了一个美丽的国家。

现在是自由主义者和知识分子、犹太人和异教徒回归真正的自由价值观的时候了。我们应该认识到，仇视犹太国家和仇视犹太人没有两样。趁还来得及，我们必须尽一切可能保障犹太人能在他们自己的国家继续生活下去。

25 没有上帝

2007年6月，我收到哈佛大学物理系霍华德·乔治（Howard Georgi）的一份电子邮件，邀请我在2008年6月毕业周在斐陶斐学术论坛（Phi Beta Kappa Literary Exercises）上做演讲①。霍华德是我的好朋友，我在哈佛大学时我们多有合作，他现在成了斐陶斐荣誉学会哈佛分会的会长。我明白斐陶斐荣誉学会的学术报告是件盛事，从18世纪新英格兰名人开始持续至今，报告人包括约翰·昆西·亚当斯（John Quincy Adams）②、爱德华·埃弗里特（Edward Everett）③、亨利·沃兹华斯·朗费罗（Henry Wadsworth Longfellow）④、乔赛亚·罗伊斯（Josiah Royce）⑤、奥利弗·温德尔·霍姆斯（Oliver Wendell Holmes）⑥，20世纪作过报告的美国人有伍德罗·威尔逊（Woodrow Wilson）⑦和沃尔特·李普曼（Walter Lippmann）⑧，近期的报告人还有少许的科学家，像埃德温·兰德（Wdwin Land）⑨和刘易斯·托马斯（Lewis Thomas）⑩。经不住加入这件传统盛事的诱惑，我迅即答应了霍华德的邀请。

我计划将我2007年5月在康奈尔大学信使讲座（Messenger Lectures）系列中，关于科学和宗教对峙的讲义再加工一下作

---

① 斐陶斐（Phi Beta Kappa）是美国最具历史和声誉的学术社团，招募最优秀大学入会，旨在奖掖人文和自然科学方面的杰出人才。——译者注

② 1767～1848年，美国第六位总统，第二任总统约翰·亚当斯之子。——译者注

③ 1794～1865年，美国政治家、教育家，曾任马萨诸塞州州长、哈佛大学校长和美国国务卿。——译者注

④ 1807～1882年，美国19世纪最伟大的浪漫主义诗人。——译者注

⑤ 1855～1916年，美国唯心主义哲学家。——译者注

⑥ 1809～1894年，美国医师、作家。——译者注

⑦ 1913～1921年，第二十七任美国总统。——译者注

⑧ 1889～1974年，美国新闻评论家和作家。——译者注

⑨ 1909～1991年，美国科学家、发明家、企业家。——译者注

⑩ 1913～1991年，美国科学院院士，生物学家。——译者注

为斐陶斐演讲的内容。2008 年 3 月在得克萨斯农工大学（Texas A & M University）特洛特奖（Trotter Prize）颁奖活动中与分子生物学家弗朗西斯·柯林斯（Francis Collins）的争论，已给了我一次完善讲义的机会。关于斐陶斐演讲，我想应该对拉尔夫·瓦尔多·爱默生（Ralph Waldo Emerson）表示我的敬意。他在 1837 年所作的精彩演讲，即名篇《美国学者》（*The American Scholar*），堪称所有斐陶斐演讲之最。

2008 年 6 月的斐陶斐学术论坛无疑已成为一个盛典。论坛在哈佛大学的桑德斯剧场（Sanders Theater）举行，由新校长德鲁·吉尔平·福斯特（Drew Gilpin Faust）主持。活动包括年度斐陶斐诗人卡尔·菲利普斯（Carl Phillips）的诗朗诵和哈佛快乐男生合唱团（Glee Club）的圣歌演唱会。我在演讲的时候强调，没有宗教信仰的人同样可以欣赏宗教诗歌，还提到尽管我很欣赏合唱团演唱的圣歌，但合唱团如果最终还是不能把女声也包括进来，终归不会有什么大的长进。我演讲到此的时候被热烈的掌声所打断，同时也伴随着一些倒彩之声。

下面的文章是编辑过的我的哈佛演讲的稿子，把挖苦快乐男生合唱团的句子去掉了。文章发表在 2008 年 9 月的《纽约书评》上，引起了特别多读者的反响。它们有些送到了杂志社，更多的则是直接寄送给了我。在下面的文章中我也吸纳了读者的意见，做了修订，并加上了读者建议澄清或增添的那些内容。

在拉尔夫·瓦尔多·爱默生 1837 年于哈佛所作的斐陶斐演讲，即著名的《美国学者》中，他预言美国如“其他国家学徒”般的日子即将结束。他的预言在 20 世纪变成了现实，要知道没有哪个方面比科学上学得更多了。这一定会使爱默生感到欣慰。他在给出的伟人中，通常将哥白尼、伽利略、牛顿与苏格拉底、耶稣、斯威登堡（Swedenborg）[①]相提并论。但我想爱默生若有知，会对美国及其他国家科学进步带来的一个后果怀有错综复杂的心情，那就是科学进步普遍地削弱了人们对宗教的信仰。按赫尔曼·梅尔维尔（Herman Melville）[②]的看法，爱默生并不特别正统守旧，爱默生觉得“假如他生在创世之初，他会提些有益的建议”。但他做过一段一神论教派（Unitarian）的牧师，通常只能赞

① 伊曼纽·斯威登堡（Emanuel Swedenborg，1688～1772 年），瑞典科学家、神秘主义者、哲学家和神学家。——译者注

② 1819～1891 年，19 世纪美国最伟大的小说家、散文家和诗人之一。——译者注

美全能的主。爱默生也对他那个时代在美国，甚至英国，宗教信仰的衰弱感到悲哀，但那是仅就虔诚度和去教堂方面而言的，我不认为他将之归咎于科学的进步。

有关科学和宗教的冲突的想法由来已久。按照爱德华·吉本的看法，拜占庭教会（Byzantine church）认为“研究自然就是不信仰的表现”。或许描写科学和宗教冲突最有名的要数康奈尔大学第一位校长，安德鲁·迪克森·怀特（Andrew Dickson White）1896 年出版的书《科学与基督教神学的战争》了。

近代出现了反科学和宗教之间存在战争的论调。布鲁斯·林德伯格（Bruce Lindberg）和罗纳德·南博尔斯（Ronald Numbers）在 1986 年的一篇文章中，批评了怀特的“冲突观点”。两人都是著名的科学史专家，指出了怀特学术研究中的诸多不足。坦普尔顿基金会（Templeton Foundation）为辩称科学和宗教没有冲突的人提供了巨额奖金。有些科学家为了使科学教育免受基督教原教旨主义者的干扰也采取这样的态度。已故的史蒂文·古尔德（Stephen Gould）[①] 辩解说，科学和宗教不应该有冲突，科学关心的是具体现实问题，而宗教要面对的是价值问题。这当然不是过去宗教信徒们的观点，倒是当今许多相信超自然者蜕变的一个迹象，他们自称是宗教人士，但认同古尔德的观点。

姑且认为科学和宗教并不相悖——毕竟有一些（尽管不是很多）像查尔斯·汤斯（Charles Townes）[②] 和弗朗西斯·柯林斯（Francis Collins）[③] 那样的杰出的科学家也具有很强的宗教信仰。我想，即便二者不是互不相容，至少存在哲学家苏珊·哈克（Susan Haack）所说的紧张关系，它逐渐削弱了虔诚的宗教信仰，特别是在科学最发达的西方更是如此。在此我想勾勒出一些这种紧张关系的根源，然后就信仰丧失所带来的非常严重的问题，即没有上帝该如何生活，发表几点看法。

第一部分

我不认为科学和宗教的紧张关系来自于科学发现和具体宗教教义之间的矛盾。这是怀特的主要看法，但我认为他看待这个问题的视角有问

---

① 即史蒂文·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould，1941～2002 年），美国著名古生物学家、科普作家。——译者注

② 1915～，美国物理学家、教育家，1964 年获诺贝尔物理学奖。——译者注

③ 即弗朗西斯·塞勒斯·柯林斯（Francis Sellers Collins，1950～），遗传学家，美国国立卫生院（NIH）国家人类基因组研究中心主任，美国医学院院长，国家科学院院士。——译者注

题。伽利略在他写给克里斯蒂娜大公夫人（Grand Duchess Christina）那封著名的信中说到“圣灵意在教导我们如何到达天堂，而不是天堂是怎样的”，这也不光是他一个人的看法，是他引述了教堂王子（prince of the Church）[①]，梵蒂冈圣经馆馆员，巴洛尼厄斯（Baronius）红衣大主教的观点。

圣经教义与科学知识之间的矛盾一再出现，也已逐渐为开明宗教人士所接受。例如，在《旧约》和《新约》中都有一些章节说地球是平的，然而如哥白尼（Copernicus）所说（引自给克里斯蒂娜的同一封信），这些说明使得部分像拉克坦提乌斯（Lactantius）那样的早期教父们拒绝接受古希腊认为地球是圆的的看法，然而受过教育的基督徒们远在哥伦布和麦哲伦航海之前就变得对圆形地球有好感了。但丁（Dante）[②] 发现，圆形地球的中间正是适合囚禁罪人的地方。

一度（如上）早期教堂中的严重问题在今天变成了搞笑的话柄。堪萨斯大学天体物理学家艾德里安·马罗特（Adrian Melott），在与那些要求在堪萨斯州公立学校中用一半时间讲授神创论的宗教狂热分子抗争时，创立了一个叫作 FLAT（学习正确理论的家庭的简称）的组织。他的组织丑化神创论者要求用一半时间来讲授扁平地球的地理，说应该让孩子们接触有关不同地球形状争议的双方。

然而，即便科学知识和具体宗教信仰之间的直接冲突本身不是很重要，至少导致科学和宗教之间关系紧张的四个根源还是重要的。

二者关系紧张的第一个根源在于，宗教最初的力量来源于观察神秘现象，如打雷、地震、疾病，这些现象似乎需要神的介入。每条小溪中都有仙女居住，每棵树上也有森林女神存在。但是随着时间的推移，许多类似的神秘现象可以被自然地解释了。当然，解释自然界的各种现象并不意味着排除宗教信仰。但假如开始人们相信上帝是由于无法解释各种各样的谜，后来随着时间的推移这些谜又被逐一自然地解释了，那么一定程度上信仰的减弱就是可预期的。随着 17 世纪现代科学的诞生，在 18 世纪有教养的人群中，传播甚广的无神论、不可知论和自然神论[③]的出现就绝非偶然。

科学的解释能力从一开始就使得那些看重宗教的人士感到不安。柏

① 所谓教堂王子，实际就是指天主教中的红衣大主教，他们在历史上曾享有世俗王子般的待遇和地位。——译者注

② 1265～1321 年，意大利著名诗人。——译者注

③ 自然神论（Deism）是 17～18 世纪欧洲出现的一个哲学流派。自然神论认为虽然上帝创造了宇宙和它的演变规则，但在创世后上帝将不再影响这个世界的发展。——译者注

拉图对德谟克里特（Democritus）[1] 和留基伯（Leucippus）[2] 用原子来解释自然，而不是诉诸上帝感到恐慌（尽管两人其实背离神学并没有多远）。柏拉图在《论法律第十卷》（*Book Ten of the Laws*）中极力主张对那些否认神的存在或神在关护着凡人的人处以五年监禁，如果他们还不思悔改就处死他们。牛顿很反感笛卡儿的自然主义，也拒绝世界可以不靠上帝而解释的想法。例如，他在给理查德·本特利（Richard Bentley）[3] 的信中辩称，只有上帝才能解释我们看到的发光物体（如星星和太阳）和不发光的物体（如地球）的差别。这真让人有些哭笑不得，因为当然是牛顿，而不是笛卡儿得出了正确的运动定律。应该没有人比牛顿更可能对我们看到的天空做出完全无神论的解释了，但牛顿本人在这种意义下却不是个信奉牛顿学说的人。

当然，并不是所有的事情都被解释了，也永远不会。重要的是，我们还没有看到有什么事情似乎需要超自然力的介入才能解释的。今天仍有人固执于把我们认识上的不足（比如我们对生命起源的无知）作为神存在的依据。但随着时代的进步和越来越多的认识不足被弥补，这种立场使他们看起来更像是顽固守旧的一族。

宗教信仰出现的问题还不仅仅在于科学已经解释了世上各种各样的事情，宗教和科学关系紧张的第二个根源在于这些解释越来越对人的特殊地位提出了挑战。在宗教中，上帝创造的人是在他所编导的宇宙大戏中唱主角的。我们必须承认，我们所居住的地球，不过是某一个绕着太阳旋转的星球而已；我们的太阳也不过是银河系百千亿个恒星中的一个；而银河也不过是可观测到的宇宙中数十亿星系中的一个。也许不断膨胀的星系团只是更大的宇宙中的一小部分，而其中大部分空间又完全不适合生命存在。正像理查德·费曼所说：“（如果说）一切安排只是为了上帝考察人类向善还是向恶，这样的理论是站不住脚的。”

迄今，最重要的发现是达尔文和华莱士关于人类在自然选择对随机遗传变异的作用下，由早期动物进化而来，而不需要神的运作。这个发现导致包括达尔文在内的一些人不再迷信。毫无疑问，这是所有科学发现中最持续困扰宗教保守人士的一个。我可以想象，当有一天科学家通过大脑的物理化学过程了解了人类行为的根源后，他们将是何等的困扰，那时就没有需要神灵来解释的余地了。

注意，这里我用的是行为，而不是意识。对于纯粹主观事务，如我

① 古希腊伟大的唯物主义哲学家，原子唯物论学说的创始人之一，率先提出原子论，认为万物由原子构成。——译者注

② 古希腊唯物主义哲学家，原子论的奠基人之一，德谟克里特的老师。——译者注

③ 牧师，著名哲学家，曾与牛顿就宇宙的本质等问题有过许多交流。——译者注

们看到红色或发明了一个物理理论后的感觉，似乎与科学描述的客观世界有很大的不同，很难预期这两者会统一起来。正像柯林·麦吉恩（Colin McGinn）[①] 所说："关键是如何把思维意识和大脑物质统一起来——揭示纷呈表象后的统一。这是一个非常困难的问题，我不相信有人会有好的解决办法。"此外，人的大脑活动和行为（包括我们所说的感觉）同属客观现象范畴，就我所知把他们都纳入科学理论范畴并没有本质困难，尽管这显然不是一件容易做的事情。这并不意味着我们应该或能够不考虑意识，就如伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳（B. F. Skinner）[②] 和他的鸽子一样，只顾及我们的行为[③]。我们知道，就像我们懂得的任何事情一样，我们的行为部分地受我们的意识所左右，所以要理解人的行为就必须首先得到客观行为和主观意识之间的精确关系。这或许并不能告诉我们怎么由一个得到另一个，但至少会证实我们的思维中并不存在超自然的东西。

一些不懂科学的人抓住现代物理学中关于自然现象不可准确预知的某些理论发展，如量子力学的出现或混沌理论，当作对决定论背离和神灵有介入通道的迹象。这些物理学理论提升了我们对决定论的理解，但我绝不认为会对人的生命有什么影响。

科学和宗教信仰之间关系紧张的第三个根源在伊斯兰教表现得要比基督教更甚。大约1100年前，苏菲（Sufi）[④] 哲学家阿布·哈米德·阿伽扎利（Abu Hamid al-Ghazali）[⑤] 就反对自然规律，认为那些自然规律束缚了上帝的手脚。按照阿伽扎利的观点，将一团棉花放入火中，并不是由于火焰的热量使得棉花变焦燃烧，而是上帝让棉花成了那个样子。如果不是阿伽扎利采取那样的态度，自然规律很可能就与伊斯兰教相容，进而被归结为上帝就喜欢这么干了。

当然，阿伽扎利也并非认为因果间没有丝毫联系，我想他不会把手伸到火里，只是他觉得探索这种关系不是一件好事。他把天文学和数学与酒相比，认为酒也可以增强人的身体，却是需要禁止的；类似地，天文学和数学也可增强人的智力，但"我们还是担心人们会被它

① 1950～，英国哲学家，曾在英国牛津大学和美国迈阿密大学等学校任教。——译者注

② 1904～1990年，美国著名心理学家，哈佛大学教授，新行为主义学习理论的创始人和新行为主义的主要代表。——译者注

③ 伯尔赫斯·弗雷德里克·斯金纳（Burrhus Frederic Skinner，1904～1990年），美国心理学家，新行为主义学习理论的创始人，经常使用鸽子等动物做实验，观测它们的行为。——译者注

④ 苏菲即伊斯兰神秘主义派别的总称。——译者注

⑤ 1058～1111年，最有名的伊斯兰思想家、哲学家之一，伊斯兰教的圣者。——译者注

们带坏了”。

人们通常认为阿伽扎利是最具影响力的伊斯兰哲学家。但愿我了解得足够多，能够判断他反对科学的态度在伊斯兰世界造成了多大的影响。的确，许多伊斯兰学者强调过他的影响，包括12世纪的伊本·路世德（Ibn Rushd）[①] 及20世纪的赛义德·阿米尔·阿里（Syed Ameer Ali）[②] 和佩尔韦兹·胡德拜尔（Pervez Hoodbhoy）[③]。不管怎么说，阿伽扎利之后的一两个世纪，科学在伊斯兰国家衰落了，而其文明在公元9～10世纪时曾领先于世界。在1194年，科尔多瓦长老会（Ulama of Cordoba）[④] 焚烧了所有科学和医学书籍就是科学衰落的一个先兆。

至今科学在伊斯兰世界还没有复兴。有些天才的科学家从伊斯兰国家来到西方后，做出了有巨大价值的工作。其中，巴基斯坦伊斯兰科学家阿布达斯·萨拉姆（Abdus Salam）[⑤] 由于其在英国和意大利的工作，于1979年成为第一个获得诺贝尔奖的伊斯兰科学家。但在过去的40年里，在我所从事的物理和天文学领域，我没有看到一篇有价值的文章出自伊斯兰国家。这些国家产出了成千上万的科研论文，也许是我遗漏了某些有价值的。另外，《自然》杂志2002年在伊斯兰国家做过一项科学调查，发现伊斯兰世界在科技方面只有三个方向表现不俗。这三个方向全都属于应用领域，而不是基础科学，它们是：脱盐、猎鹰驯养和骆驼繁殖。

类似阿伽扎利所关心的上帝的自主性问题也曾在基督教盛行的欧洲出现过，但结果却迥然不同。在13世纪的巴黎和坎特伯雷（Canterbury）[⑥] 存在谴责教授亚里士多德理论的思潮，认为亚里士多德限制了上帝做事的自由，比如创造一个真空，或造出多个世界，或将圣境排成直线。托马斯·阿奎纳（Thomas Aquinas）[⑦] 和艾尔伯图斯·麦格努斯（Albertus

---

① 1126～1198年，生于西班牙科尔多瓦，阿拉伯哲学家、教法学家、医学家，拉丁名阿威罗伊。——译者注

② 1849～1928年，伊朗著名的政治家、法学家，出版了多部有关穆斯林历史的名著。——译者注

③ 1950～，巴基斯坦著名核物理学家。——译者注

④ 科尔多瓦（CORDOBA）是西班牙南部一座城市，至11世纪初是伊斯兰教主要都市之一。长老会也译作乌里玛（Ulama），指精通古兰经注学、圣训学、教义学、教法学，并有系统的宗教知识的学者，泛指伊斯兰知识阶层，包括毛拉、阿訇、大毛拉等。——译者注

⑤ 1926～1996年，巴基斯坦理论物理学家，因其与美国物理学家格拉肖（Sheldon L. Glashow，1932～）和本书作者温伯格（Steven Weinberg，1933～）在发展粒子物理中的弱电统一理论中的贡献，而共同获得了1979年诺贝尔物理学奖。——译者注

⑥ 坎特伯雷市位于英国英格兰东南区域的肯特郡，是英国重要的宗教城市，坎特伯雷大主教所在地。——译者注

⑦ 1225～1274年，托马斯·阿奎纳是中世纪经院哲学的哲学家和神学家，他把理性引进神学，用“自然法则”来论证“君权神圣”说。——译者注

Magnus)[1] 的影响为欧洲拯救了亚里士多德哲学及其自然法则的理念。尽管亚里士多德不再被谴责，但其权威性还是受到了质疑。这也是幸事，因为基于他的物理学什么也发展不了。也许正是保守的宗教人士削弱了亚里士多德的权威，才为 14 世纪在巴黎和牛津向着寻找真正的自然法则迈出第一小步打开了大门。

导致科学和宗教间关系紧张的还有也许是最关键的第四个根源。传统宗教通常靠的是权威，而不是英明的领袖，如先知、教皇，或伊玛目(Imam)[2]，或是一本神圣的著作，如《圣经》或《可兰经》。也许伽利略没有陷入麻烦不仅是因为他只表达了与圣训不同的观点，重要的是他是独自这么做的，而不是作为神职人员在教堂中的行为。

当然，科学家也依赖权威，但情况完全不同。如果我想了解广义相对论中的某些细节，我会查看这方面专家最近的文章；但同时我也知道，专家也可能会出错。我可能不会去做的一件事是查看爱因斯坦最初的文章，因为现今任何一个不错的研究生对广义相对论的理解都要好过爱因斯坦。社会进步了。的确，爱因斯坦所给出的理论形式，今天在业内一般认为是一个有效理论，也就是说，它只是一个近似，观测发现适合于大尺度范围，但对紧致空间的情况，如宇宙早期大爆炸情况并不适用。

在科学上我们也有我们的伟人，如爱因斯坦，他毫无疑问是 20 世纪最伟大的物理学家，但我们并不会将他们视作永远正确的圣人。对于那些平时尊重独立思想和正视矛盾，即特别是在涉及宗教问题时爱默生所推崇的人格的人来说，科学上的例子对传统宗教中的权威会产生负面影响。这个世界需要有偶像，但圣人可以少些。

现今宗教信仰在欧洲显然正在衰落，但在美国说这个似乎还是有些奇怪的。宣称不相信上帝存在的人在美国还不可能当选总统。尽管许多美国人固执地认为宗教是个好东西，当别人批评它时会变得非常生气，但我觉得即便有这种想法的人，通常也并非有一个清晰的宗教信仰。关于这点，我并没有科学证据，只是基于个人的感觉。有时与我谈话的朋友是有宗教信仰的，他们把自己归诸某个认同人死后的状况，或上帝，或罪恶的本质的宗教组织。他们经常告诉我，他们对这些问题也没有答案，重要的不是你信什么，而是你怎么活。我甚至听到天主教祭司也这么说。我很接受这种态度，它是宗教信仰上的巨大让步。

① 约 1200～1280 年，德国天主教多明我会主教和哲学家，著有内容丰富的《物理学》。——译者注

② 伊玛目在阿拉伯语中意为领袖、师表、表率、楷模、祈祷主持等，也指伊斯兰教集体礼拜时的领拜者。——译者注

虽然我无法证明，但我想如果在美国人中做民意调查，问他们是否相信上帝、天使、天堂或地狱，不管他们是否真信，他们会出于虔诚的考虑回答“是的”。在《神圣和世俗：宗教与国际政治》（*Sacred and Secular*：*Religion and Politics Worldwide*）一书中，皮帕·诺里斯（Pippa Norris）和罗纳德·英格哈特（Ronald Inglehart）通过实际计算人数发现，“由于美国文化中有关去教堂问题社会期望上的偏见”，美国人有夸大出席教堂活动的倾向。如果说调查具体事情，如去教堂，还有这些（夸大）问题的话，那么对信仰调查带来的干扰又会多到什么地步呢？当然还有，今天的西方几乎没有任何人对重大的争议问题还有哪怕一丝一毫的兴趣，如阿利乌斯派（Arians）对达修教派（Athanasians）[①]、一性论教派（Monophysites）对一志论教派（Monothelitism）[②]、因信称义说（justification by faith）还是因行称义说（justification by works）[③] 等，这些问题曾经被非常严肃地对待过，让基督徒们争执不休。

我强调了宗教信仰，有关上帝或来生的信仰，尽管我很清楚这只是宗教生活中的一个方面，对许多人来说都不是最重要的方面。也许我强调信仰是因为作为物理学家，我职业性地更关心发现事实真相，而不是什么会让我们快乐或更好。对许多人来说，宗教对他们的重要性不在于若干信条，而是许多其他事情，例如，一套伦理道德；性行为、节食、宗教节日仪式等的规范；婚姻和丧葬仪式；与有共同信仰的人在一起的欢愉。这种欢愉在极端情况下会使人乐意杀死不同宗教团体的人。

对有些人来说，还有一种爱默生提到的灵修，这个我并不是很了解。它通常被描绘成与自然或整个人类融合的一种感觉，不涉及任何具体的超自然信仰。灵修是佛教的核心，不要求信仰上帝。虽然如此，佛教传统上有赖于对超自然的崇拜，具体来说就是对转世轮回的信仰。脱离轮回的愿望，让人们努力追求觉悟。佛教中的偶像是菩萨，他们已经觉悟了，但为了拯救黑暗笼罩着的世界又回归了人世。也许佛教也面临着信仰的衰落，达赖喇嘛最近的一本书中几乎不提转世了。当今佛教在日本这个在科学技术与西方最接近的亚洲国家也在衰落。

---

① 阿利乌斯派和达修教派是基督教早期的两个教派，它们对“三位一体”的本质问题有不同的认识。阿利乌斯教派不认同基督可以等同于上帝的观点，认为二者的本质是不同的。达修教派认为即便基督是上帝的儿子，他也同上帝一样全能。圣父、圣子和圣灵三者之间是平等的，在本质上是相同的。——译者注

② 早期基督教不同教派对神耶稣基督有不同的认识。——译者注

③ 基督教中对人如何得到神的救赎成为义人有不同的认识。有认为只靠信仰耶稣基督就够了，也有认为需要善行。——译者注

即使在对任何超自然的崇拜消失后，宗教的各种功用仍旧会让它继续存在若干世纪。但我们很好奇没有了对超自然信仰的核心，彼时宗教也只是人世间的事了，宗教还能延续多久。打个小比方：人们去看大学足球比赛很大程度上是因为喜欢啦啦队和仪仗队，但如果没有足球比赛，只有啦啦队和仪仗队的话，我不信人们周六下午还会再去体育场，那样的话，啦啦队和乐队也就没有任何意义了。

第二部分

我并无意在此争辩说宗教的衰落是件好事（尽管我如此认为），或如最近理查德·道金斯（Richard Dawkins）[①]、萨姆·哈里斯（Sam Harris）[②] 和克里斯托弗·希钦斯（Christopher Hitchens）[③] 的雄文一样，劝说人们背弃宗教信仰。在我的人生经历中，在争论需给高等教育和科学研究更多的投入，或反对投资弹道导弹防御系统，或支持送人上火星等方面，我想我保持着一项完美的记录，那就是从没有做到过改变别人的想法。我只想对那些已经丧失宗教信仰，或将会丧失，或担心没有信仰后怎么活的人们，提供一点也只是非专业水准的看法。

首先是一个忠告：我们需要特别关注那些改头换面的替代品。通常认为，20 世纪最令人恐惧的事情是来自政治体制的危害，像希特勒时期的德国、斯大林时期的苏联等，那时它们部分或完全禁止宗教传授，但却拷贝了宗教中最坏的特质：永远正确的领袖，神圣的著作，集体仪式，处决叛徒，可理直气壮消灭外人的集体认同感。

当我还是个大学生的时候，我认识一个神学家，威尔·赫伯格（Will Herberg），他对我缺乏宗教信仰很着急。他告诫我，人们必须崇拜上帝，否则就会相互崇拜。他的担心是对的，但我建议用别的办法来消除这种危险，那就是我们应该改掉任何崇拜的习惯。

别担心，我不会说没有上帝也会过得很好，只要有科学就行了的话。作为物理学家，学会通过美妙的数学来理解现实世界是一件很快意

① 1941～，英国著名演化生物学家、动物行为学家和科普作家，英国皇家科学院院士，牛津大学教授，直言不讳的无神论者和进化论拥护者。——译者注

② 1967～，美国作家、哲学家、神经科学家，无神论者，著有《信仰的终结》（*The End of Faith*）等作品。——译者注

③ 1949～2011 年，犹太裔美国人，才华横溢的新闻媒体人，专栏作家、记者、评论员，代表作有《人之将死》（*Mortality*）。——译者注

的事情。人们努力了解和认识自然，从亚历山大博物馆（Museum of Alexandria）[①] 和巴格达的智慧宫（House of Wisdom）[②] 到今天的欧洲核子研究中心（CERN）[③] 和费米国家实验室（Fermilab）[④]，建立了一系列研究所。但很显然，我们永远也不可能彻底知道自然的真相，因为即便有什么理论统一描述了所有观测到的粒子和相互作用力，我们仍然永远不可能知道为什么是这个理论解释了现实世界，而不是其他理论。

糟糕的是，科学的世界观相当令人灰心。我们不仅没发现自然界为我们展示出任何生命的意义，也没有找到道德标准的基础，没有找到人与人之间有关道德法则和自然规律认知的联系，就是那种从哲学家阿那克西曼德（Anaximander）[⑤] 和柏拉图到爱默生所想象的道德和规律。我们甚至知道，我们最珍视的感情，如对妻子、丈夫和孩子的爱，也可能是我们大脑中的化学过程造成的，这是自然选择经过数百万年对机会突变作用的结果。但是，我们不能陷入虚无主义，或抑制我们的感情，最好我们生活在一面是希望一面是绝望的刀锋之上。

那我们还能做些什么？一件有益的事情就是幽默，它是一种在爱默生那儿缺乏的素质。就像看到一岁的孩子刚刚学步要努力站起来时的样子，我们的笑充满了善意而不是嘲讽，对努力生活在刀锋上的自身，我们也会怀有同情的喜悦。在莎士比亚的几大悲剧中，每当剧情发展到让人难以忍受的顶点时，可悲的主角就会遇上一些“粗笨的人”，如盗墓贼、看门人、花匠或提着一篮无花果的人，给他些滑稽有趣的评论。虽然悲剧成分并没有因此而减少，但幽默使得事情变得可理解了。

还有就是生命中最普通的欢乐。这些欢乐为极端宗教人士所鄙视，从埃及大沙漠中不知名的基督教人士到今天的塔利班（Taliban）和迈

① 亚历山大博物馆是由古埃及人建立的教育研究机构，包含有著名的图书馆等。——译者注

② 智慧宫是中世纪阿拉伯阿巴斯王朝在巴格达建立的全国性综合学术机构，由科学院、图书馆、翻译局等机构组成。——译者注

③ 欧洲核子研究中心，也称欧洲核子研究机构，成立于1954年，通常被简称为CERN，是目前世界上最大的粒子物理学实验室，也是全球资讯网的发祥地。整个机构位于瑞士日内瓦西部接壤法国的边境，聘有大约3000名的全职员工，还有来自80余个国家的数千位科学家和工程师也在那里开展实验研究。——译者注

④ 费米实验室（Fermilab）以著名的理论物理学家恩利克·费米（Enrico Fermi）的名字命名，始建立于1967年，位于美国伊利诺伊州巴达维亚附近的草原上，是美国最重要的高能物理学研究中心之一。——译者注

⑤ 公元前610～前546年，古希腊天文学家、自然哲学家，也译作安纳西曼德。——译者注

赫迪军（Mahdi Army）[1] 都是如此。六月初去新英格兰地区[2]，到处都是绽放的杜鹃花，让我们感到春天是如此美丽。我们没必要拒绝肉体的欢愉，我们不是极端宗教人士，当面包和美酒不再是圣物的时候，对我们来说，面包还是面包，美酒也还是美酒，我们仍能享受。

高水平的艺术同样能给我们带来欢乐。我想，随着宗教信仰的衰落，我们会失去一些东西。过去许多艺术上的杰作、灵感就来自于宗教。例如，我们无法想象没有虔诚的信仰乔治·赫伯特（George Herbert）[3]、亨利·沃恩（Henry Vaughan）[4]，或杰拉德·曼利·霍普金斯（Gerard Manley Hopkins）[5] 能够写出他们的名篇诗作。但没什么能妨碍没有宗教信仰的人去欣赏宗教诗歌（或大教堂的建筑结构，或安魂弥撒仪式），一如虽不是英国人但也不妨碍美国人欣赏《理查二世》或《亨利五世》[6] 中的爱国主义演说。

我们也许为未来将不会再有伟大的宗教诗歌产生而悲哀。我们已经看到，在过去的几十年里，完全是因对上帝的信仰问题导致没有重要的英语诗歌产生。在有些情况下宗教并不出现在诗歌中，像史蒂薇·史密斯（Stevie Smith）[7] 和菲利普·拉金（Philip Larkin）[8] 的诗，恰恰是拒绝宗教为诗人们提供了灵感。当然，伟大的诗歌没有宗教仍能产生，莎士比亚就是一个例子。我觉得没有丝毫迹象显示他的作品真正需要宗教灵感。

莎士比亚当然是在宗教盛行时代写作的，写得也是那个时代，因此牧师、教士不可避免地成为他的戏剧中的角色，剧本也从基督教传统中

---

① 迈赫迪军是伊拉克一个带有宗教色彩的民兵组织。其成员主要为伊拉克什叶派穆斯林，创始人为伊拉克什叶派领导人萨德尔。——译者注

② 新英格兰地区位于美国东北角，濒临大西洋，毗邻加拿大，包括六个州，分别是：缅因州、新罕布什尔州、佛蒙特州、马萨诸塞州、罗得岛州和康涅狄格州。——译者注

③ 1593～1633 年，英国诗人、演说家、牧师、玄学派圣人，出身于富有的艺术之家，接受过良好的教育，在剑桥大学和议会都曾担任高级职务，代表作有《召唤》（*The Call*）。——译者注

④ 1622～1695 年，英国玄学派晚期代表诗人之一。代表作有《闪耀的火石》（*Silex Scintillans*）。——译者注

⑤ 1844～1889，英国诗人，在写作技巧上的变革影响了 20 世纪的很多诗人。霍普金斯最为人所知的是他使用的“跳韵”（sprung rhythm），代表作有《上帝的伟大》（*God's Grandeur*）。——译者注

⑥ 均为英国著名剧作家莎士比亚的作品。——译者注

⑦ 史蒂薇·史密斯（Stevie Smith，1902～1971 年），英国著名女诗人、小说家，无明确、坚定的宗教信仰，其作品中不乏对生死问题的讨论，代表作有《黄纸上的小说》（*Novel on Yellow Paper*）、《我为什么?》（*Why do I?*）等。——译者注

⑧ 菲利普·拉金（Philip Larkin，1922～1985 年），1943 年毕业于牛津大学圣约翰学院，是英国著名诗人，其诗作风格主导了 20 世纪后半叶的英国诗坛。——译者注

借用了许多词汇和思想。但他剧中的牧师、教士多是些鄙俗阴险的人，像《亨利六世》中的温彻斯特（Winchester），《亨利五世》中的坎特伯雷（Canterbury）和伊利（Ely），《亨利八世》中的沃尔西（Wolsey）；要不就是些捣乱破坏者，像劳伦斯神父（Friar Lawrence）[①]；要不就是自以为是者，像那个拒绝把奥菲莉亚（Ophelia）[②] 葬在圣地的教父。更夸张的是，他的剧中人物没有几个是依着宗教信仰行事的。不错，要不是上帝不允许自杀的话，哈姆雷特（Hamlet）决意去自杀；如果国王不是在祈祷他就把克劳迪亚斯（Claudius）[③]（国王）杀了。可这不都是些为推迟行动给出的多余的借口吗？当哈姆雷特在约里克（Yorick）[④] 的遗骨前沉思时他似乎才是最虔诚的，至少是个基督徒。当莎士比亚把超人类的角色引入剧情时，他们都是异教徒：精灵和巫师。阿里尔（Ariel）59）[⑤] 和普洛斯彼罗（Prospero）[⑥] 让我看到，没有天使和先知，同样可以有诗。

我不认为有必要担心没有宗教就会导致道德沦丧。有许许多多的人，他们没有宗教信仰，同样是生活中的道德典范（比如我）。虽然宗教有时能够提升高尚的道德标准，但也经常导致极端的罪恶。不管怎么说，信仰宇宙全能全知的缔造者本身并没有什么道德意味——是否遵从主的旨意还是取决于你。比如，即便信仰上帝，有些人也会觉得，《旧约》（Old Testament）[⑦] 中亚伯拉罕（Abraham）[⑧] 服从上帝牺牲艾萨克（Isaac）[⑨] 是不对的，但亚当（Adam）在失乐园中不听上帝的话，跟着夏娃（Eve）吃了苹果是对的，这样当夏娃被逐出伊甸园（Eden）时他就能与夏娃在一起了。那些驾机撞向美国大楼，或在伦敦、马德里、特拉维夫人群中引爆炸弹的年轻人，不会愚蠢到妄想这些行动是上帝的旨意，认为是上帝要求他们做这些邪恶之事的。

---

① 莎士比亚剧作《罗密欧与朱丽叶》中人物，神父。——译者注

② 莎士比亚剧作《哈姆雷特》中女主人公的名字。——译者注

③ 莎士比亚剧作《哈姆雷特》中篡夺王位者。——译者注

④ 莎士比亚剧作《哈姆雷特》中人物。——译者注

⑤ 莎士比亚剧作《暴风雨》（*The Tempest*）中淘气的精灵。——译者注

⑥ 莎士比亚剧作《暴风雨》中的巫师、术士。——译者注

⑦ 《圣经》（Bible）是犹太教和基督教（包括天主教、东正教和新教）的宗教经典。犹太教的宗教经典指圣经的《旧约》（*Old Testament*）部分，而基督教宗教经典指圣经的《旧约》和《新约》（*New Testament*）两部分。——译者注

⑧ 希伯来族长之族长，为犹太教、基督教和伊斯兰教所崇敬。在犹太教里，亚伯拉罕是美德的典范；在基督教里，他是所有信徒之父；在伊斯兰教里，他是穆罕默德的祖先和宽大仁慈的楷模。——译者注

⑨ 亚伯拉罕的嫡子，当主要求亚伯拉罕牺牲以撒以考验其忠诚时，他也准备遵命，但神后来改变了主意。——译者注

我们越是认真考虑人生的美好，就越是怀念宗教信仰曾经带给我们的巨大慰藉：允诺死后还能有生命，在天国还能见到我们曾经爱过的人。随着宗教信仰的削弱，越来越多的人知道，死后就什么也没有了。

西塞罗（Cicero）[①] 在《论老年》（*De Senectute*）中想使人们宽心，劝诫害怕死亡是愚蠢的。然而两千多年了，他的言辞仍然没有丝毫抚慰我们的功效。还是菲利普·拉金的诗《晨歌》更能表达人们对死亡的恐惧[②]：

这是一种特殊的恐惧，
没有伎俩能消除。宗教曾经尝试过，
那幅巨大的虫蛀锦缎回荡着乐音
制造了一个假象——我们永不死亡。
还有似是而非的废话，“理智的人
不会害怕一件不可感知的事物”，却不知道
这正是我们所畏惧的——无形，无声，
无味，无嗅，无法触摸，思想无法与之共鸣，
无法去爱或发生联系，
无人能从中醒转的麻醉剂。

生活在没有神的世界并不容易。通过幽默而不是上帝，虽然非常难，但可以给予人们其他慰藉——在直面我们没有绝望和妄想的人生时，带来某种荣耀，或苦涩的满足。

① 全名马库斯·图利乌斯·西塞罗（Marcus Tullius Cicero，公元前106年～公元前43年），罗马共和国晚期的哲学家、政治家、律师、作家、雄辩家。——译者注

② 选自菲利普·拉金的诗《晨歌》，翻译出自网络。——译者注

参考资料

1. "Waiting for a Final Theory", *Time*, 155, 86 (April 10, 2000).
2. "Can Science Explain Everything? Anything?" *New York Review of Books*, 48, no. 9, 47-50 (May 31, 2001); reprinted in *Australian Review* (2001); reprinted in Portuguese in *Folha da S. Paolo* (2001); reprinted in French in *La Recherche* (2001); reprinted in *The Best American Science Writing* 2002, ed. M. Ridley and A. Lightman (Harper Collins, 2002); reprinted in *The Norton Reader* (W. W. Norton, New York, 2003); reprinted in *Explanations—Styles of Explanation in Science*, ed. John Cornwell (Oxford University Press, 2004): 23-38; reprinted in Hungarian in *Akadeemia* 176, No. 8, 1734-1749 (2005).
3. "Peace at Last in the Science Wars", in *The One Culture*? ed. J. A. Labinger and H. Collins (University of Chicago Press, Chicago, 2001): 238-240.
4. "The Future of Science, and the Universe", *New York Review of Books* XLVIII, no. 18, 58-63 (November 15, 2001).
5. "Dark Energy", *Times Higher Education Supplement*, December 21, 2001, VI.
6. "How Great Equations Survive", in *It Must Be Beautiful: Great Equations of Modern Science*, ed. G. Farmelo (Granta Books, London, 2002).
7. "On Missile Defense", *New York Review of Books* 49 no. 2, 41-47 (February 14, 2002); reprinted in *At Issue—Missile Defense* (Thomson-Gale, 2002); as course material by the U. S. Naval War College (2002); in *The Best American Science and Nature Writing* 2003, ed. Richard Dawkins (Houghton-Mifflin, Boston, 2003), 271-286.
8. "The Growing Nuclear Danger", *New York Review of Books* 49, no. 12, 18-20 (July 18, 2002).
9. "Is the Universe a Computer?" review of *A New Kind of Science*, by Stephen Wolfram, *New York Review of Books* 49, no. 16, 43-47 (October 24, 2002); reprinted in Spanish as "Es el universo un ordenador?" *Revista de Libros de la Fundación Caja Madrid*, no. 74, 23-30 (February 2003).
10. "Foreword to *A Century of Nature: Twenty-one Discoveries That Changed the Scientific World*", ed. L. Garwin and T. Lincoln (University of Chicago Press, 2003), ix-x.
11. "Ambling toward Apocalypse", *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences* 56, no. 4, 35-44 (summer 2003); reprinted in *Federation of American Scientists Public Interest Report*, 56, no. 2 (summer 2003).
12. "What Price Glory?" *New York Review of Books* 50, no. 17, 55-60 (November 6, 2003); reply to R. H. Bloch, *New York Review of Books* 50, no. 20, 100-101 (December 18, 2003); reply to H. Lieber, *New York Review of Books* 51, no. 7, 57 (April 29, 2004).
13. "Four Golden Lessons", *Nature* 426, 389 (November 27, 2003).
14. "The Wrong Stuff", *New York Review of Books* 51, no. 6, 12-16 (April 8, 2004).

15. "A Turning Point?" contribution to symposium "The Election and America's Future," *New York Review of Books* 51, no. 17, 16-17 (November 4, 2004).
16. "About Oppenheimer", review of *Oppenheimer: Portrait of an Enigma*, by Jeremy Bernstein, *Physics Today*, January 2005, 51-52.
17. "Einstein's Search for Unification", in *Einstein—A Hundred Years of Relativity*, ed. Andrew Robinson (Palazzo Editions, Bath, England, 2005): 102-108.
18. "Einstein's Mistakes", *Physics Today* 58, no. 11, 31-35 (November 2005); reprinted in *E = Einstein—His Life, His Thought, and His Influence on Our Culture*, ed. D. Goldsmith and M. Bartusiak (Sterling, New York, 2006).
19. "Living in the Multiverse", opening talk, symposium "Expectations of a Final Theory," Trinity College, Cambridge, September 2, 2005; published in *Universe or Multiverse?* ed. B. Carr (Cambridge University Press, 2007), 29-42.
20. "Against the Boycott", invited opinion piece, *Times Higher Education Supplement*, May 26, 2006, 16.
21. "A Deadly Certitude", review of *The God Delusion*, by Richard Dawkins, in *Times Literary Supplement*, no. 5416, 5-6 (January 19, 2007).
22. "To the Postdocs", opinion piece, *Physics Today*, March 2007, 58; reprinted in Japanese, *Parity*, August 2007, 46-47.
23. "Science or Spacemen", *Sky and Telescope* 115, 96 (May 2008).
24. "Israel and the Liberals", *Tikkun*, May/June 2008, 86.
25. "Without God", Phi Beta Kappa Oration, Harvard University, June 3, 2008; *New York Review of Books* 55, 73 (September 25, 2008); excerpted in French in *Philosophie Magazine*, November 2008, 12; reprinted in Spanish in *Letras Libras*, March 2009, 12-17; reprinted in German in *Lettre International*, Spring 2009, 80-82.