

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

再创未来——科学人文



代序——聆听生命不朽的细语

李国伟

我的脑海中有一幕景象总是那么的鲜明：

25年前受军训，某次夜间教育的场所是附近的坟地，当教官滔滔不绝地讲解时，席地而坐的我，却早已不自觉地将视线扫向了满天星光。在那片小小的土岗上，四野没有房舍的阻拦，天际也没有光害的遮掩，大把大把的星子就在苍穹中烂漫地蹦跃出来，呢啾着宇宙邃远的谜语，而我的心脉也在一阵赞叹中悸动。

我感佩的不仅是宇宙的宏大古老，更心折于在广袤无垠中，居然有这么渺小的一个地球，充满了千变万化的有生之物。再进一步想想，又不得不惊异如此繁茂的生命里，怎么就会出现一种叫“人”的奇妙动物？在朽睡到坟莹前的短暂岁月中，他可以运用心智的能力，去探索自己存身宇宙的奥秘。我所赞叹的最底层是，人的脑除了用来解密外在天地，居然还能反转过来，剖析自我心灵与认知的宇宙。那一晚的夜间教育使我如此贴切地感悟到，宇宙——生命——心智是一圈外而内、大复小的神秘回环，真正是令人震铄的全方位无限。最近我贪婪地咀嚼着弗里曼·戴森（Freeman J. Dyson）所写的《全方位的无限》（*Infinite in All Directions*），当思绪跟着他灵巧的笔锋游走时，感觉在当年那种悟境里，再次勾勒出鲜明的图样，而有了更深一层的认识。

戴森本人就是全方位发展的俊秀，他出生于英国，从1953年起便担任美国普林斯顿高等研究院的物理学教授。他不仅在理论物理与数学上成就非凡，更关心人类终极的命运，特别是战争与和平的问题。他广泛地发表言论，检讨核子时代道德与伦理的困境。戴森拥有高超的智慧与勇气，能跨出学科所设下的门槛，思索学究们不愿思索的问题，想象正统派不敢想象的前景。在《全方位的无限》中，他更是扬弃一般科学家知性的怯懦，游刃于科学和科幻之际，架构生命科学与宇宙论的桥梁，凸显人类无可旁贷护卫生命的天责。

宇宙与生命的多样性

《全方位的无限》内容包括两大部分：第一部分讨论“生命为什么如此复杂”，第二部分讨论“核子冬天到又见蝴蝶”。所谓“全方位的无限”，在第一部分中主要是说，通过生命与心智的活动，宇宙有无穷尽的可能来知觉自我，宇宙与生命的多样性，是一桩我们想用科学来了解的事实。在第二部分中，多样性变成了一种标的，因为我们既然从宇宙传承了珍贵的生命，通过科技与政治的功能，在满足人类社会各种需求和欲望的同时，更要维护地球上所有的生命，并把生命拓展向无限的星空。

在“生命为什么如此复杂”这部分，戴森尝试想象一个生命起源的架构。他逐步摊开的蓝图，涵蕴着精彩绝伦的构思。他所偏好的观点：重视生命的生理平衡（homeostasis）胜于自我复制（replication），重视多样性胜于均匀性，重视细胞的弹性胜于基因的宰制，重视整体对错误的容忍胜于零件

对精准的苛求。在讨论过生命的起源后，戴森进而推想无穷扩张宇宙中生命的终极未来。宇宙不断膨胀会使温度日益降低，但是生命可以调整适应存身的环境，而心智更是永无休止地向物质宇宙中扩散。若要思索心智对宇宙的影响，就不再是人类当下科学所能导航的了，这几乎已经要跨入宗教的境域里。戴森虽然没有多表示意见，但是他说让我们的想象力在星际中漫步，我们会听到生命不朽的细语。

在戴森书出版后的二三年间，世界局势丕变，《全方位的无限》后半部讨论德国的奥地利化、核冬天、星球大战计划等话题，似乎损失不少紧迫性。但今年4月28日美国升空的“发现号”航天飞机，正是从事有关星球大战计划的试验。可见全球战略的基本构思，还没有过渡到一个崭新的局面。而且戴森对军力平衡、核武器销毁的一些基本道理，有迥异于寻常的思考，仍然值得学习运用在别的权力竞技场上。

在“从核冬天到又见蝴蝶”这部分最发人深省的是，戴森提醒我们从历史上看来，对人类生活发生极深远影响的技术，经常是非常简单的技术。例如囤积干草使得阿尔卑斯山以北的城市，能在冬日维持牲畜的动力，而让高度的文明得以由地中海扩展到北欧、西欧。那些工程师梦寐以求的宏伟、精致、复杂的机具，到后来反而愈来愈缺乏变异的弹性，终必在文明的演化中遭到淘汰。

“小、巧、轻、快”的科技哲理

戴森说，让我们以生命演化的历史作借镜，多向大自然学习。譬如鸟与恐龙是近亲，鸟小而敏捷，恐龙大而笨拙。当外在环境发生巨大变动时，虽然恐龙的构造非常有利于它原来的生存，却无法快速适应新的生态环境。当五光十色的鸟儿仍在大地欢唱繁衍时，巨无霸的恐龙于今安在哉？戴森以为大电脑、核电厂、航天飞机都好比迟钝的恐龙，最终只能成为工程师的宠物，却会在历史中三振出局。

在具体技术发展的建议上，我实在很佩服戴森的想象力所创造的“太空鸡”（Astrochicken）。利用遗传工程和人工智慧的技术，一公斤重的“太空鸡”将是植物、动物、电子元件整合的共生体，分别提供维生、知觉与地球通讯的功能。廉价的“太空鸡”可以多量地制造，不断地放射出去游走在太空中，为人类收集有用的知识，并且把生命与文明拓展向大宇宙。

戴森这本书充满了智慧的豁达与博爱的包容，精彩灵巧的语束遍地皆是，而且不需要通晓专门知识，便可掌握他立论的思想。好久以来，未曾读过这么让人精神上畅快的讨论科技与文明的书。戴森在事实的细节上容或不精准的地方，对未来的预言上也必然有难以实现的误差，但是他对生命毫无保留的乐观与信心，会鼓舞起我们心灵上莫大的解放力量，朝全方位无限进发。

——1991年4月

全方位的无限

上卷 生命为什么如此复杂

第一章 赞美造化无穷

科学与宗教拥有一些共同的特点，
其中最显著的是一致性与多样性。
如果少了一致性，宇宙就毫无伟大之处
如果缺乏多样性，世界也就失去了自由。
这种相生共存的特质创造了科学与宗教的历史。

参与这项讲座的讲员无须通过任何检试；他们可以隶属于任何宗派或是毫无宗派，可以奉行任何宗教或思想，也可以是没有宗教信仰的人、怀疑论者、不可知论者或是自由的思想家。只要他们是虔敬的人，是真正的思想家，并挚切渴慕真理即可。

——吉弗德 (Adam Gifford)

1887年《遗嘱》

我的儿子三岁时，常喜欢一大清早爬到我的床上来，和我谈论生命的问题。有天早晨，他忽然蹦出来一句话：“上帝有两位。”我吓了一跳，然后问他：“它们叫什么名字呢？”他回答说：“一位是创造人的耶稣，而另一位则是酿造酒的酒神 (Bacchus)。”我猜想，他一定是从外界人与事的变化中看出了多神教的倾向，才会说出这番话。任何人读过或观赏过欧里庇德斯 (Euripides) 的宗教剧《酒神》(Bacchae)，都知道酒神是位可怕的神祇，对他的子民有无上的权威。在今天这种药物泛滥的时代里，我们仍可感觉到酒神在支配许多人的生活。我怀疑三岁大的小孩对此懂得多少？可能和他所了解的耶稣基督差不多。在我的想法里，他这样说是来自与生俱来的宗教感。身为“物理学家之子”，自然会用相关的语言表达出来。

一窥世界之美的两扇窗

本书大部分是根据我在“吉弗德讲座”(Gifford Lectures)中的讲稿写成的。吉弗德在遗嘱中设立了“吉弗德讲座”，其讲座内容则设定为“自然神学”(Natural Theology)。自然神学这个名词有其技术上的意义。基督教的教义告诉我们，上帝在两本书上记录了他的言行，一本是圣经，而另一本则是被称为“自然”的这本大书。不论我们是否读圣经，只要好好阅读自然这本书，就能了解上帝的工作。这也正是吉弗德写下这份遗嘱的真正心意：“自然神学”就是经由对自然的研究，来了解上帝的旨意。

我对宗教的态度和我那三岁大的儿子比较接近，当我进行一项科学计划时，我并不认为自己在解读自然这本书；而当我在谈论耶稣和吉弗德时，我也不认为自己是追求真理的狂热分子。科学和宗教是两扇窗，我们可探头一窥周遭世界之美，而每个人都可以自由选择一扇窗。

“吉弗德讲座”被认为是较年长的神学家或科学家表现一生智慧心血的机会。像威廉·詹姆士 (William James)、怀海德 (Alfred North Whitehead) 和许多其他著名的哲学家，都曾参加几次讲座。其中詹姆士的讲稿以书名《宗教经验的差异》(The Varieties of Religious Experience) 发表，而怀海德的讲稿则以《程序和真理》(Process and Reality) 为书

名出版。在詹姆士的自传中曾写道，他为了准备吉弗德讲座的资料，曾离开他在哈佛的工作两年，以搜集资料及集中精神思考。这项准备工作十分繁重，以致他整个人都累倒了。后来他恢复健康，把他的杰作放进公事包，来到爱丁堡（Edinburgh）。天啊！我可不是这样。我的公事包中没有杰作；我是个科学家，无意成为哲学思想家；我也不会离开教职来准备讲稿；甚至于自己偶而思考哲学方面的问题，也都是片段的，不值得记录的。综合以上的事实，我知道我不是詹姆士，也不是怀海德，因此我只想谈谈自己感兴趣的事，不想将这些事情套上什么冠冕堂皇的意义和价值。

我的讲稿是分两个系列准备的，因此本书也就随之分成上、下两部分——上卷是将生命当成一种科学现象来讨论，并论及我们为了解生命本质及生命在宇宙中的地位所做的努力；下卷则是关于道德和政治，看看生活在这个星球上的人类，到底带来些什么问题。这两部分并未依照逻辑顺序排列，我也不必高言了解生命现象，会有助于解决政治问题。但无论如何，这两部分彼此并非完全无关：我在看待科学及人类问题时，都是出于一份对丰富多样性（diversity）的热爱。多样性是生命赠予这个星球的一份大礼物；在未来，则会是个给整个宇宙的礼物。而我希望在道德原则和政治活动中，看出多样性的体现。

一致性与多样性

本章是讨论科学和宗教之间的关系，至于在本书的其他部分，只会偶尔提及宗教。当我谈到宗教时，完全只是我个人的想法和作法。任何试图找出科学家对宗教及哲学之共识的努力，都是没有意义的，在我们科学家之间根本没有事情是一致的。科学的声音包含了语言及文化的丰富多样性，这也正是科学迷人的地方。科学是一种人类意志的自由产物，它跨越了疆界及人种的藩篱。许多最优秀的科学家是基督徒、伊斯兰教徒、佛教徒或犹太教徒，许多人是马克思主义者，许多人是好战的无神论者，更有许多人和我一样，因习惯或家庭背景，断断续续和基督教有接触，却算不上教徒。

科学和宗教是人类的两种活动，它们和其他艺术、文学和音乐等活动，拥有一些共同的特点。其中最显著的特质是一致性（discipline）与多样性。一致性使许多令人赞叹的事物合成大自然，而多样性则赋予人类各种各样的想法和气质。如果少了一致性，那么这个宇宙就毫无伟大之处可言；然而如果缺了多样性，则这个世界也就失去了自由。这种一致性与多样性共存的特质创造了科学与宗教的历史。

至于我所从事的物理研究领域，是经过相当自由的变革，才演变成今天这种情形。有时我和普林斯顿年轻的同事谈话时，我觉得自己好像迷失在雨林中似的，周围都是昆虫、花鸟，对我这个60岁的老头脑来说实在是吃不消！但是这些年轻的物理学家可没有迷失自己的方向，他们正循着对我来说已是模糊不清的足迹，走自己的路。以所受的训练而言，现在和40年前当然是大不相同，但其主要的精神仍然非常一致。这些年轻人并非漫无目的地游走，他们是探险家、发现者，试图找出离开雨林的道路上，而登上世界的颠峰。

在这里，物理发展史和地理大发现，有许多相似而平行的发展。当人类的眼光看向世界的顶峰时，组织印度探险队的埃佛勒斯（George Everest）就成为世界最高峰（即珠穆朗玛峰）的名字；而在物理上，马克斯韦尔

(Maxwell)的电磁场方程式和爱因斯坦的广义相对论,也都代表着过去数百年来人类科学的里程碑。但是上帝不仅创造高山,他也创造了丛林,而直到最近我们才了解,丛林是上帝最丰富的杰作。探索南美和非洲的现代探险家要寻找的不是高山,而是想了解丛林及生活其中的生物。我们自己在几百万年前离开了丛林,而现在我们也了解到:如果想要继续健康地活在这个地球上,我们就必须研究及保护丛林。

复杂多变的宇宙

而在物理上,上帝创造力之丰富,也远非马克斯韦尔和爱因斯坦所能想象。在20到30年代,物理的领域似乎已经完全被探索殆尽。而物理世界似乎很简单,其中有被马克斯韦尔、爱因斯坦、卢斯福(Rutherford)和波耳(Niels Bohr)等人探索的高山峻岭,相对论和量子论则像是伟大的路标,清楚而冷酷地矗立在阳光下。在它们之间,似乎只剩下几座小山谷还未经探测。现在我们的了解就比较多了:当50年代人们开始探测那些未知的小山谷时,发现其中存在着一大堆奇奇怪怪的生物。20年代只知道3种基本粒子,而我们现在总共已有61种基本粒子;以往认为物质有三态——固态、液态、气态,现在则有六种状态或更多;当年用几个方程式就可以描述已知的宇宙,而现在的数学结构愈趋复杂,其程度和所要描述的物理现象相仿。因此我们应该回到雨林中,除了地理上的探测外,还有智慧上的探索。

近年来在物理上的发现,带给我们什么哲学上的课题呢?我们主要学到的是“自然是复杂的”,根本没有“简单的物质宇宙”这件事。爱因斯坦终其一生都相信,客观的宇宙包含时间、空间和物质,独立于人类思想和观察之外、但这已经不是我们今天的想法了。爱因斯坦希望能找到一个“客观真实”的宇宙,而这个宇宙是由许多高山组成,他们可以登上峰顶,并以几个简单的方程式加以描述。然而,自然不是生活在峰顶,而是在山谷里。

科学与宗教间的矛盾关系

我最近听了一位著名生物学家的演讲,在会中他讨论了两个分别称为“科学的物质主义”(Scientific materialism)及“宗教的超越性”(religious transcendentalism)的哲学观点。他说:“基本上,这两个观点是互不相容且互相排斥的。”这似乎是被生物学家和基督教基本教义派所广泛接受的论点。我并不清楚所谓“物质主义”指的是什么。以物理学家的说法,所谓“物质”,是当大量粒子聚集在一起时所表现的行为。当我们以粒子物理实验对物质做最微细的检验时,它的行为是无法预测的。它似乎是在不同的可能性中,随意挑选自己要走的路。它们像是活的东西,而不是死硬的石头。因此,在实验室中所观察到的物质,和由人类知觉所观察出的心智表现之间,好像只有程度上的差别,而非本质上的差别。如果上帝真的存在,并且我们感受得到的话,那么他的心智和我们的心智,可能也只是程度上的差别,而非本质上的差别。因此,我们人类正好位在物质的不确定性,和上帝的不确定性之间,而我们的心智可以接受来自物质与上帝的讯息。这种看法可能是错的,但它至少和在粒子物理中所观察到物质活动性的本质,是不谋而合的。所以,我以物理学家的身份说:“科学的物质主义”和“宗教的超越性”,彼此之

间既不矛盾也不排斥。我们已经知道物质本身是十分怪异的，而也就是这种足够怪异的特性，给上帝足够的自由来做事。

基本教义派另一种常见的说法，是所谓“科学人本主义”（scientific humanism），而这种人本主义基本上是被认为和基督教信仰对立的。基本教义派的人常假设我们只有两种选择，如果不是人本主义，就必须是他们眼中的基督教，但是就和“科学的物质主义”一样，所谓“科学人本主义”也有许多不同的意义。一般来说，一个科学人本主义者，就是一位相信科学、相信人性，但却不相信上帝的人。如果这个定义是正确的，那么我并不是科学人本主义者，我并没有将人性当成是上帝造物的终极目标。人性对我而言像是一个伟大的开始，而不是一个结束。对这些问题，小孩子常比大人要容易领悟。我太太在和我结婚时已有一个女儿，她五岁时才第一次见到我；在这之前，她和母亲单独住在一起。在我搬去与她们同住没多久，有一天，她第一次看到我的裸体，她有些惊讶地问道：“上帝真的把你造成这个样子啊？难道他不能把你弄得好看一点吗？”这个问题应该是每一位科学人本主义者在这辈子，至少要面对一次的问题，而最诚实的答案是：“当然可以。”

威尔斯的“科学人本主义”

我个人对科学人本主义的看法主要是受到威尔斯（H.G.Wells）作品的影响，特别是他的《历史略说》（Outline of History），该书写于1920年，是关于人类历史的生动描述。在书首的两句话，就点出了他对历史的看法：

由生命及人性观点来看，空间是空的，甚至时间本身也是空无所有的。生命在这

些广大无垠的时空中只是一点小人花，到现在还未熊熊燃烧。

对威尔斯和我都很重要的观点是：宇宙是广大的，而生命是渺小的。了解自身的渺小，有助于我们摆脱傲慢，而傲慢则是物理学家最不可饶恕的罪过。

在他这本书的中间部分，威尔斯谈到了有关基督的生涯和教诲。在此他有一段文字清楚地讨论了科学与宗教之间的关系：

虽然有许多文章愚蠢地讨论了科学与宗教的敌对关系，然而，这些敌意事实上并不存在。在这个世界上，宗教的阐扬、历史的发展及科学的广泛证明，都指出一个合理而单纯的事实，那就是：人类本是一家。他们来自一个根源；他们的个体、国家和种族，最后终究会合并成这个星球上一个大的人类社区。而心理学家可以与传道者同心携手，向我们保证：除非丧失生命的人们找回生命，并且依据各人的兴趣及意愿来教育和训练，超越愤恨、害怕、偏见及歧视的捆绑，否则不可能有合理的想法，不可能有和平，也不可能安全。我们种族的历史和个人的宗教经验之间，关系非常密切，对一个现代的观察来说，几乎可以看成同一回事。这两者都告诉我们：人最初都是散乱、盲目，并且心中充满困惑的，然后他慢慢摸索出自己的路来，而找到有秩序及一致的目标。以最简单的方式说，这就是历史的梗概。不论一个人是否抱有宗教的目的，这整个过程基本上是相同的。

也许由于威尔斯本身是位艺术家而非科学家，因此他更能与宗教和平相处。他受的是生物学的训练，而其主要的生涯却是作家。他比较关心人类心灵的混乱和辛酸，而较不在意物种的生物学。就一位科学家而言，他知道人类的情感及对上帝的喜爱与敬畏，比科学更早深植于人类的意志里。

我引用威尔斯的话，是因为他是第一位同情基督教义的科学人本主义

者。所谓“同情”指的是他的科学留下空间给宗教的超越性。威尔斯本身算得上是位传道者，他宣扬经由教育的方式来重建人类的道德；他是一位革命家，认为地球上的国家都应该消失不见；他坚持着基督教的千禧年传统，向世人宣称美丽的未来即将来临，就好像当初耶稣基督向世人宣扬天国一样。

威尔斯所表达出来的科学人本主义，让我有相见恨晚的感觉。这世上还有许多其他的科学人本主义版本，有些对宗教很友善，有些是漠不关心，有些则是充满敌意。科学并不是一言堂，科学是一种不断成长及改变的文化。今天的科学已经脱离了 19 世纪传统科学的束缚，就像毕加索已经脱离了 19 世纪艺术的形式一般。科学和绘画、诗歌一样，百家争鸣，百花齐放。

多样性也可以在宗教中找到。当我还是个小孩的时候，有一次我和妈妈走过一个属于英国国教的小镇。我问她：“为什么有那么多不同的教派？”她很聪明地回答我：“因为上帝喜欢这样。如果他希望我们都去同一间教会赞美他，那么他就不会造出那么多不同的人了。”这个回答可以满足一个 5 岁小孩的好奇心，但在 60 年后，这其中仍然回响着真理的声音。上帝和人类的多样本质不是任何一个教派所能容纳的，就像宇宙的本质中这么复杂的结构和行为，都不是任何一门科学所能全盘兼顾的。

道德基础在于开放的心灵

只要彼此互相尊重，宗教和科学可以和谐地共存在人类的心灵里。而当有组织的科学或有组织的宗教垄断真理时，纠纷才会发生。科学的道德基础就在于开放的心灵，是愿意将任何假设或理论来加以验证的精神。1660 年伦敦皇家学会骄傲地将“Nullius in Verba”当做会词，意即“没有任何人的话是最终的真理”（“No man's word shall be final.”）。虽然信仰和心灵上的问题和科学并无关系，然而当时天主教所主张的“教皇无谬论”，对科学家而言，仍然十分刺耳。我们科学家基于训练及与生俱来的本质，向来异常珍视所拥有的自由，任何叙述都必须容许我们怀疑！

另一方面，我也听到生物学家和创造论者争论有关美国高中的生物教学问题，而一些科学家所说出的话，竟然和创造论者说的一样自大，这使我感到震惊！在这些争论中，学生家长抱怨：公立学校使用纳税人的钱，来摧毁他们小孩的宗教信仰。他们的抱怨非常合理，不幸的是，宗教信仰和近代生物学中的进化论有所抵触，而这些科学家也完全不尊重、不了解这些家长的感受。

对基督教基本教义和生物进化事实之间的争执，目前仍然没有简单的解决方法。我并没有说能完全避免这种争执，我只是说，由于科学家自己认为对的就是对的，会使情况变得更糟，到头来双方都痛苦。我们所需要的是一点人类的关心，多一点倾听，多一点人性，而非设下法律限制。科学家同样需要这些基督教的道德观的支持，这一点并不亚于传道者。这些心灵交战的儿童需要了解，两边都有好处，对他们父母的信仰及对科学广博的视野，都必须加以尊重。

幸运的是，这些争论只存在于少部分的教徒和科学家之间。而更重要的是，政治及社会的广大领域中，宗教和政治发现彼此有共同的兴趣及合作的机会。宗教和科学有一件事是互通的：它们都是国际性的事业，不仅在精神上是如此，在日常工作及组织上也莫不是如此；它们都反对狭隘的国家主义；

它们都把人类视为一体；它们都将凯撒的东西归给凯撒（编按：语出圣经福音书，意指财物是属世的，与真理无关），但当它们传遍地球时，其人类成就和人类尊严的核心，却和凯撒没什么关系。

近几年来，科学与宗教愈来愈能和平相处了。在本书的下卷第 11 章到第 15 章将讨论有关核武器和军事战略的道德问题。科学家曾写过许多有关核战略方面的文章，但还没有一个人写出像美国天主教主教团所写的“对战争与和平的公开信”（the Pastoral Letter on War and Peace）：“和平的挑战：上帝的应许和我们的回应”（The Challenge of Peace: God's Promise and Our Response）那么深入。这封信是在 1983 年发表，它真的是个挑战，不仅是对我们科学家，对其他社会大众也是一样。它根本反对核子武器可以保障地球安全的论调，它认为科学家应该把技术用在对人类有益的方面，朝着和平的方向走，以了解来代替恐怖势力的均衡。

我将以本书上卷的简介做为本章的结束。第二章是个一小时的宇宙之旅，主要是强调观察宇宙角度及其所包含物体的多样性。第三章则是讨论科学的历史，其中描述了两种互相抵触的科学形式，其中一种欢迎多样性的存在，另一种则是根本的排斥。我用两个城市的名字——“曼彻斯特”和“雅典”，来表示这两种探索宇宙的方式。当第三章结束时，读者就会了解：为什么“蝴蝶”属于曼彻斯特，而“超弦”则属于雅典。第四章则是讨论生命的起源，描述了六位试图用不同观点来看这个问题的科学家。第五章继续对生命本质及演化过程的讨论；而生命为什么趋向复杂，仍然是生命在宇宙中地位的核心问题。第六章则是尝试找出人类和宇宙的未来，看看从现在到恒久会发生什么事。我会试着跨越科学和科幻小说间的藩篱。而在最后，为了尊重吉弗德爵士的心愿，我加了一点个人神学上的浅见进去。

第二章 蝴蝶与超弦

蝴蝶与超弦是人类探索之旅的极点，
蝴蝶是具体实物的极限，
超弦则是抽象概念的极限，
它们各代表着科学所能涵盖的两种领域，
同样神秘，也同样美丽。

我们将由“超弦”（superstrings）开始，进行一次快速的宇宙之旅。这个旅程中有几个休息站，而以“蝴蝶”作为结束。这和但丁的地狱之旅一样，我会在每站停靠时找些多彩多姿的事，来提高读者的兴趣，否则站旁的“景色”看起来会有些吓人。

由于每个人都看过蝴蝶，因此不需要解释蝴蝶是什么；也由于没有人见过超弦，因此不可能解释超弦是什么。在此我不会解释蝴蝶与超弦，但请不要以为我故作神秘。超弦与蝴蝶是以不同观点来看宇宙的两个例子，也是两种不同概念的美。我选择超弦与蝴蝶做为旅程起点及终点的理由是：它们是两种极端的典型——蝴蝶是具体实物的极限，而超弦则是抽象概念的极限，它们代表着科学领域所能涵盖的两种范围。这两者以它们自己的方式表达了美，而以科学的角度来说，我们目前对这两者的了解都十分贫乏；但是，至少蝴蝶和超弦一样神秘。当一件事不再神秘时，科学家也就失去兴趣了。可以说，所有科学家思索与梦想的事情都是神秘而未知的。

神秘抽象的超弦理论

这个旅程中的每一站都是取材自我在普林斯顿的研究生涯。我由初次听到“超弦”理论时出发吧。

1985年春天，普林斯顿大学中最聪明的年轻物理学家维敦（Ed Witten）宣称他将举办一场演讲。这时谣言四起，有些人说他们风闻维敦已建立了关于宇宙的新理论；另一些人则对这个说法抱持怀疑的态度。但不论相信与否，这次演讲显然极不寻常，说不定它会成为一场留名青史的演讲也未可知。当演讲的时间一到，不论是年纪较长的知名科学家，或是年纪较轻的后生晚辈，都满怀期望地挤在演讲厅中。

维敦滔滔不绝地谈了一个半小时。其中的数学技巧让人眼花缭乱，而正如维敦在最后以平静的语气所下的注脚，这是一个新的宇宙理论。在他演讲时，我回想起35年前施温格（Julian Schwinger）的一次演讲。施温格是原子弹之父奥本海默（Robert Oppenheimer）最聪明的学生，也是40年代物理界的奇葩。我记得奥本海默在那场演讲中曾说过的一段话：“一般人演讲时，是告诉你如何做某件事；而当施温格演讲时，他是告诉你只有他能做这件事。”当维敦结束演讲时，在场的听众没有人像当年奥本海默一样，做出扼要的评论，所有人都静静坐着。一会儿之后，会场主持人请大家提出问题，但大家仍然默默不语，提不出问题。我们之中没有人有勇气站起来发言，以免泄露自己是多么无知。当人们快地走出演讲厅时，才听到许多声音悄悄地问着刚才不敢大声提出来的问题：“这只是另一个时髦的玩意儿，还是事实真是如此？”“到底什么是超弦？”“超弦和现实世界中有任何关联吗？”

有许多问题被提出来，但没有任何答案。

为什么我要描述当时的情形呢？因为这正是以最抽象的概念来描述宇宙时，所遭遇的情形。维敦冒的风险很大，他的概念已经太过于抽象，以致于即使是他的知交，也只有极少数人能了解其内容。然而他并不孤独，在普林斯顿有一群年轻人和其他地方的一些人一样，正探索着超弦的世界。超弦是由加州和伦敦的两位年轻物理学家所发明的理论，并不是维敦的创见。维敦的贡献是建立了超弦的数学架构，并深刻反映出有关宇宙问粒子与场（field）的结构及内涵。在听完演讲后，许多听众回到书桌前做一些以前就该做的作业，并且开始研读维敦的论文，及学习他所使用的语言。下一次维敦演讲时，我们应该更能了解其内容，那时我们也应该敢于提出问题。我记得在 1949 年薛文格当时的演讲内容似乎难以理解，然而事后证明他是正确的。维敦的理论比薛文格的企图心更大，但仍可能有机会证明其正确。

现在我可以试着解释何谓“超弦”了。在这里我碰到 2200 年前几何学家欧几里德（Euclid）所遇到相同的问题——欧几里德试图将几何中“点”的概念传达给他的读者，因此他做了以下著名的定义：“点不占空间，也没有大小。”这项定义对那些不懂几何学，而想了解“点”到底是什么的人帮助不大。欧几里德对点的定义，只有在人们超越这项定义，直接观察点与线、平面、圆弧及球这些几何图形的关系时，才会变得更清楚。“点”本身不能单独存在，它只能以欧氏几何结构中某一部分的形式存在，这正是我们所谓“点是以数学形式成立的抽象概念”的意义。“什么是点？”这个问题没有令人满意的答案。正确的问法应该是：“欧几里德的几何结构如何运用点的概念？”这个问题可以经由了解欧氏几何的公理及定理后，才能获得圆满的解答，而不能直接凭定义来解释。

如果我仿照欧几里德的方法，尝试对超弦下个定义，这个定义会是：“超弦是一条在具有特殊对称性的十维（或译十度）空间—时间中移动的蠕动曲线。”这和欧几里德对点的定义并无二致，对我们的了解并没有什么帮助。这只会给我们一个错误的印象，认为超弦只是一条在黑房间中摇来晃去的蠕动曲线罢了。实际上正如同点不能单独存在，超弦也不能单独存在。超弦理论所描述的是个挤满了动来动去之超弦的十度空间—时间，其处理的对象并不是单独的一条超弦，而是超弦所可能分布的对称状态（symmetry - groups of states）。对称状态是可以观察的，因此若超弦理论成立的话，由其数学所推导出的对称群，可以和实验室中所观测出关于粒子与场的对称群，互相关联；不过其关系的详细架构，近期内尚无法得知。令人兴奋的是，维敦的超弦理论已经通过了其他理论无法通过的几项严格考验。以目前的研究成果而言，能找到一个在数学上不会自相矛盾的宇宙理论，就已经是一项了不起的成就。

“超弦”这个名词是由一些物理史上的专有名词类比而得来的。1915 年的重力理论，是爱因斯坦毕生最伟大的成就。60 年后，人们改进了爱因斯坦的理论，而这个新的、修正过的重力理论就称为“超重力”（supergravity）。大约在发明超重力理论的同时，另一个解释粒子间交互关系的理论也被提了出来；由于这个新理论将粒子以称为“弦”（string）的一维空间曲线来表示，因此被称为“弦理论”（String Theory）。最后，以类似将“重力”变成“超重力”的数学技巧将“弦”变成了“超弦”——这就是“超弦”这个名称的由来。这和超弦本身一样，都是数学上的抽象概念。

超弦的极微小特质

超弦有一项特质，用文字很容易就能表达出来：它很小，而且小得离谱。这种特质使我们永远无法直接观察它们。为了要说明超弦有多小，让我们把它和一些不是那么微小的东西比较看看。想象四个不同大小的东西：首先是整个可观测的宇宙，其次是我们的地球，第三个是原子内部的原子核，第四个则是超弦。这其中前后两个东西的相对大小都是差不

多的；地球的大小约是整个可观测宇宙大小的 $\frac{1}{10^{12}}$ ；原子核的大约占

地球大小的 $\frac{1}{10^{12}}$ ；而超弦的大小也约为原子核的 $\frac{1}{10^{12}}$ 。这可给大

家一个概念：探索超弦时我们必须进入极微小的世界。

前述讨论的主要目的，是要说明超弦与我们所观察及接触的世界距离多么遥远！即使对理论物理的专家而言，超弦也是极难掌握的概念。理论物理学家习惯将实体进行两种不同层次的抽象化：第一，他们以看不到的场及粒子这种抽象概念，来取代可观测的原子；而第二个层次的抽象化则是以场及粒子间的对称群关系，来取代场及粒子本身。超弦理论则是将对称群的抽象概念再提高两个层次：第三个层次的抽象化是以十维空间—时间来解释对称群状态；第四个层次则是超弦的世界，经由超弦，我们可将这些对称群状态的动态行为界定出来。也难怪我们这些尝试跟随维敦一起跳到第四层次的人，会感到这么吃力了。

从超弦这么抽象的学说中，我们可以得到什么结论呢？我们的结论可能和金斯爵士 (Sir James Jeans) 在多年前所获致的结论相同：创造宇宙万有的造物者如今已愈来愈像个纯数学家了，如果我们对数学下的工夫够深的话，我们应当可以了解他的心意。当然结论也可能是：这种太抽象的处理方式，会将人们带离真实的世界。而以人类的观点来说，真实世界才是我们最感兴趣的部分。目前要下结论还嫌太早，我们至少应该等到专家们决定超弦理论到底和宇宙有无关联之后再说。如果这个理论是错的，那么在几年之内我们就应该可以证明它是错的；如果它是对的，那么就需要多一点时间才能证明它是对的。在等待的过程中，让我们先去下一站。下一站的站名是“黑洞”。

“黑洞”理论

我是几年前在伟大的英国物理学家霍金 (Stephen Hawking) 拜访普林斯顿时，才接触黑洞这个概念的，霍金是极少数和维敦一样拥有许多深奥及原创性想法的科学家，然而在其他方面，霍金和维敦有极大的不同。由于他得了一种肌肉萎缩症，不良于行，平日必须以轮椅代步。而那时他说话已经相当困难，只有他的朋友才能勉强了解他的意思；现在他更已经完全不能说话了。当你初次与某人见面，却看到对方正处在这种情况下，想必会大吃一惊！然而只要和他谈几分钟，他那强盛的精神力量很快就会把你所有的怜悯一扫而空，你会忘记他的病痛，而将霍金当成正常人看待。他不仅是一位科学家，也是一位聪明而富幽默感的人类行为观察者。对他有了足够的了解之后，你

会把他当成一位出类拔萃的科学家，而不是一个行动不便的人。由于霍金无视自己的残疾，继续积极地从事科学研究，他已经成为许多残疾人士的精神支柱。

霍金是2月来普林斯顿的，而普林斯顿的2月并非是宜人的时节。当时我曾对此感到十分忧虑。2月是我们这儿平均气温最低的月份，有时还会下大雪：而在大雪过后，人行道不是结冰了，就是彼溶雪后的烂泥深深地盖住。想到霍金坐着轮椅陷在积雪烂泥中动弹不得的情形，我就为之烦恼不已。我当然是过虑了——霍金到达的当天是个阳光普照的好日子，和煦的南风吹干了街道；而且之后他在这儿的每一天，都是这样的好天气。只见他轻松地坐着电动轮椅在普林斯顿逛来逛去，同时还不忘嘲笑我们一下，说我们想得太多。

爱因斯坦的古典理论

霍金告诉我们他刚完成的黑洞新理论。黑洞的概念，是依据爱因斯坦重力理论所推论出的最神奇的结果之一。根据爱因斯坦的理论，当一个质量很大的星球耗尽了核燃料而走到生命尽头时，它会因自身重力的影响而不断地缩小，其密度也就不断地变大。此时这个星球处在重力坍缩（gravitational collapse）的状态下，该星球的每个部分都是以自由落体的方式向中心掉落下去。一般人可能认为，向下掉落的物质在一段短时间里就会到达星球的中心，因此这种自由落体的过程不可能持续太久。然而爱因斯坦的方程式有个很特别的结果，那就是：这个星球可以一直保持自由落体的状态，而永远到不了底部。我们称这种永远处在自由落体状态下的星球为“黑洞”。

星球怎么可能永远以自由落体的方式掉落，而不碰到底部呢？这是由于黑洞所存在的空间被强大的力量扭曲，以至于该处的时间与空间开始互换。当你掉进黑洞中的时候，你的时间就变成了空间，而空间也变成了时间。更精确的说法是：如果你从外界观察一个坍缩中的星球，则由于黑洞内部的时间流动方向与你的时间流动方向互相垂直，因此，许多人觉得，这个星球的坍缩将会逐渐变慢，终至停止。当然我们很难观察到这种景象，但这似乎就是自然界运作的方式。重力坍缩中的星球，由于其时间流动的方向与我们互相垂直，因此爱因斯坦觉得，它可以永远自由地掉落下去。

以上就是所谓“古典理论”所描述的黑洞景象。古典理论是从爱因斯坦方程式直接导出来的结果。在霍金完成进一步的理论之前，一般都认为古典理论是对的；即使是在霍金的理论推出之后，于实际应用上，古典理论仍然被认为是个很好的近似结果。古典理论认为，黑洞永远存在而不会消灭，同时黑洞也永远是“黑的”。假想中的黑洞会吞噬任何掉进去的东西而不留下一丝痕迹，其表面也不会发射出光或任何形式的辐射波（因此它永远是“黑的”）。我们已握有相当的证据可以证明黑洞的确存在，而其实在可观测的宇宙之中，黑洞的存在是十分平常的。而就目前来说，古典理论可以圆满地解释所观测到有关于黑洞的所有事实。

霍金的新黑洞理论

然而霍金认为古典理论还是不够好。他在几个方向上超越了古典理论，

他成功地建立了同时包含重力与热力学定律的黑洞理论架构。在他的新构想中，黑洞不仅是一个无底的深渊，也同时是一个实体；黑洞在某些温度下会放射出辐射波，因此它并不全然是“黑”的；而黑洞最后终究会完全蒸发成热辐射而消失，因此它不能永远地存在。因此，霍金把黑洞完全数学化的抽象概念，带回到我们可测量、可认知的真实世界中来。

我不希望给大家一个印象，以为霍金的新理论已经完全揭开了黑洞的神秘面纱。事实上这个新理论在数学上不够严谨，更别提以实验来验证它的真伪了。它所留下的谜团比以往都深得多。而如今，霍金仍然在摸索着要如何才能使他的理论更为合理。事情往往是这样的：当一个深奥的新理论诞生时，都是先有方程式，然后大家才慢慢地对这些方程式的物理意义有所了解。让我们看看过去的一个例子：1900年普朗克写下了方程式 $E=h\nu$ ， E 是指光波的能量， ν 是光波频率，而 h 则是普朗克常数。普朗克方程式是量子理论的滥觞，它说明能量与频率是以不同单位测量同一种光波的结果。如果我们以尔格 (erg) 为单位来测量光波的能量，同时又以周 (cycle) 为单位来测量光波的频率时，普朗克常数告诉我们将频率转换成能量的比例，是每周为 6×10^{-27} 尔格。但是在 1900 年当时，这项转换并不具任何物理意义，即使是普朗克本人，也只知道他的方程式可以正确地解决辐射理论中的一些问题而已。但是“能量与频率是同一回事”这个说法到底有什么意义？一直到普朗克方程式发表 25 年之后，建立了量子力学学说，其意义方明。

现在霍金写下与普朗克方程式极为相像的方程式： $S=kA$ ，其中 S 为黑洞的熵 (entropy)， A 为黑洞的面积，而 k 为不变的常数，我称之为“霍金常数”。熵的意义大致和物体的比热相同，其测量单位是以每度 (degree) 有多少卡 (calory) 来计算； A 的测量单位则为平方米。就霍金的方程式，熵即其面积，而其转换比例就是“霍金常数”。霍金常数大约是每度每平方米为 10^{41} 卡；从 10^{41} 卡这个数字，就可以了解黑洞和我们习见的常用单位间距离多么遥远。但是“熵即其面积”到底有什么意义？我们现在对这个问题无知的程度，和当年普朗克对量子力学无知的程度相同。我们惟一能确定的是，霍金的方程式提供了解决黑洞之谜的线索；同时基于一些理由，我们相信这个方程式将是未来这类理论发展的中心思想，而这些即将出现的新理论，将把重力、量子力学及热力学紧紧地结合在一起。

海森堡 (Heisenberg) 和普朗克方程式于同一年诞生，而他在 25 岁时就发明了量子力学。霍金的方程式至今才 12 岁；我希望还有一些聪明而又热爱科学的 12 岁少年，切勿让这些孩子浪费生命中最宝贵的时光去准备考试，而失去对科学的热爱与兴趣。只要不扼杀他们的兴趣，说不定他们之中就会有人像海森堡一样，为霍金方程式建立起完整的黑洞数学理论。这些 12 岁的小孩子将在公元 2000 年满 25 岁，而那时也正是新宇宙理论诞生的最好时机。

奥尔特星云的奥秘

这个宇宙之旅的第三站比较接近我们的真实世界，叫做奥尔特星云 (Oort Cloud)。奥尔特 (Jan Oort) 是一位著名的丹麦天文学家，目前已经 86 岁了，却仍然定期地访问普林斯顿。我们在普林斯顿的学校中常举行“散弹枪讨论会” (shotgun Seminar)。“散弹枪讨论会”是由一名学院中的成员向一群志愿的听众发表演讲，会议的主题在一周前公布，而演说者则随机

选择。在演讲开始前，所有与会者都要将自己的名字写在纸片上，这些纸片被放进一个箱子，然后行礼如仪地摇晃之后，随意从箱中取出一个名字，这个人就是雀屏中选的演讲者。这个讨论会有个不可破坏的规定，那就是名字不在箱中的人不能听这次演讲。这个规定是要确保每个人都做了必要的事前准备。听众的准备至少会和演讲的人一样好，听众也随时准备好在演讲者犯错时提出争议与反驳。未对会议主题深入思考的人，最好不要来参加这个讨论会。

几年以前，那时奥尔特只有 82 岁，他出乎意料地在“散弹枪讨论会”开始前几分钟出现在会场上。他为自己倒了杯咖啡，然后就和我们坐在一起，热切地想要听到最新的、有关天文学的评论。这是一个很尴尬的场面。从一方面来说，奥尔特是我们的贵宾，因此我们不能请他离开；另一方面，我们不能打破规矩让他留下，而不将他的名字放进箱子中，所以我们非常抱歉地解释整个情况给他听。他问当天会议的主题为何，我们告诉他是有关最近一些星球环绕银河中心运行轨道的稳定性研究，他说：“没问题，我留下，把我的名字放进去。”因此他留了下来。虽然他并未中选，但是他在讨论会中十分积极，并且和其他听众一起诘问演讲者。在会议结束前，他站起来走到黑板前，以十分钟的时间将讨论做了总结，其内容比我们在当天早上所听到的任何高见都要清楚得多。

奥尔特在大约 40 年前开始研究“奥尔特星云”，这个星云是由一大群游走于太阳系边缘的彗星所组成。他认为在太阳系外面一定有亿万个彗星正缓慢而随意地运动着，这些彗星是一些大小如同内陆高山的石块和冰块。当有一个冰块不小心太过接近太阳时，太阳的热能会使冰块表面沸腾，而沸腾出来的气体和烟尘形成明亮的长尾巴，即成为空中可见的彗星。奥尔特的计算结果显示，这群星云可以解答为什么平均每年会出现一个新彗星。这些彗星可能是在约 40 亿年前，由一个瓦解的星际间尘云所形成，时间大约在地球和太阳诞生的同时。由月球上一大堆古老的陨石坑洞来研判，在月球年轻的时候，彗星撞击其表面的速率要比现在高得多，因此奥尔特星云在古代的陨石密度一定大于现在的密度。即使在 40 亿年后，其密度仍然足以使得一些彗星继续接近太阳，拖曳着明亮的尾巴，提供迷信的人们判断吉凶的天象。

彗星阵雨周期造成坑洞群

每隔一段时间就有彗星击中地球。当巨大的物体撞击地球时，就会形成类似我们在月球上所看见的坑洞。在月球上因撞击形成的坑洞，其时期可以一直追溯到太阳系形成之初；而在地球上，这些较古老的坑洞已被侵蚀毁损及被沉积物覆盖，但地质学家仍然可以由一些遗迹辨认出来。地球上已找到约 50 个大的陨石坑洞，其年代可经由检验其下方的岩石及上方的沉积物而测量出来。研究这些大坑洞的年代即可发现，这些坑洞有成群出现的趋势，其年代并非随意分布。我们发现在数百万年之间有几个坑洞出现，接着很长的一段时间内极少有坑洞，然后又是另一群坑洞出现，这个过程不断重复。

最接近阿伯丁 (Aberdeen) 的坑洞是在德国的莱斯卡索 (Reiskessel)。那是一处非常值得游览的地方。正好在它的中央是一个美丽而古老叫做诺灵根 (Nördlingen) 的德国小镇。诺灵根仍然保存着中世纪的城墙，如果你登上城墙上的高塔，就可以看见小镇四周的景色。在周围的每个方向，都是平

缓起伏的乡村景致，一直延伸到山丘为止。这些山丘以距离该镇水平距离约五英里的半径，围成一个完整的圆。如果你站在塔上，假想这些花草树木、房子及人群都不存在，这些地平线上的小丘看起来，就和你站在月球坑洞的中央所看到的相同，只因为这些树木和房子的遮蔽，这个坑洞的边缘才不明显。莱斯卡索的坑洞是 1500 万年前形成的，在坑洞中算是年纪最轻的一群。

以天文学的标准来说，莱斯卡索并不是一个大坑洞。有些在地球及月球上的坑洞要比它大得多。粗略来说，彗星撞击地球时，会形成比它自己大 10 倍左右的坑洞。莱斯卡索的直径约 10 英里，因此撞击的彗星直径约 1 英里；如果大约直径 10 英里的哈雷彗星 (Halley) 撞击地球时，则会形成 100 英里大小的坑洞。

巨大撞击造成集体灭绝

即使是像莱斯卡索这种普通大小的彗星撞击地球时，都对不幸生活在该时期的生物造成极大的生态变化。大量的碎石和灰尘必定遮蔽了天空，这可能造成整个地球天气形态的巨大变化，不难想见许多动植物因无法适应当时的情形而灭绝。事实上在化石中有明确的证据显示，这种突然灭绝曾经发生过。像这样许多种类生物同时由化石纪录中消失的情形，在古生物学家称之为“集体灭绝”(mass-extinction)。最有名的一次集体灭绝发生在 6500 万年前，所有的恐龙完全绝种；而差不多同时，许多海洋中的微小动植物也忽然死光了。至少在这个例子中有证据显示，在海中生物灭绝的同时，有来自太空的物体撞击地球。我们发觉，在石灰石中的微生物化石被一层粘土隔开，而这层粘土拥有在巨大撞击后沉降尘土的所有化学性质。该粘土层的位置恰好符合大多数生物化石消失的时期，在该粘土层之上，新的生物化石取代了旧有的生物化石。

我们并没有找到符合 6500 万年前集体灭绝的陨石坑洞。这种事在科学上常常发生，那就是找不到所有证据中最重要的证据。也许导致恐龙灭绝的坑洞正在海底的某处等着我们去发掘，也可能它已变成了某条海沟而消失无踪。我们现在已经知道，从 6500 万年前发生集体灭绝以来，大约已有一半的海底自中洋脊中新生出来，另有一半的海底在海沟中隐没。因此，没有发现 6500 万年前的坑洞，并不表示恐龙因撞击而灭绝的理论是错的。远古时期各类特殊事件之间，永远无法找到显示其因果关系的确实证据。

当我们不看单独事件，而是纵观整个生物灭绝与地球上撞击坑洞的历史时，可以窥见其梗概。这在化石纪录及因撞击而产生的灰砾层中，都可以看到。在这两项纪录中，我们都看见成群的事件产生。集体灭绝并非瞬间发生，而是分布在约一到两百万年之间；灰砾层是三或四层地成群集中在 100 万年内；在群与群之间则是一段长时期，其间极少发生陨石坑洞及主要灭绝。而灭绝与坑洞群发生的时期，在测量误差范围内是相互吻合的。由这些事件发生的模式推断，地球曾被一阵一阵的“彗星阵雨”轰击，每阵彗星雨显然都维持了 100 万年，并几次重重地撞击了地球表面。如果我们生存在发生彗星雨的年代，我们将会看见，每年有 10 个到 100 个新彗星出现，而不是像现在的每年一个；而我们被直接撞击的机会，也以相同的比例增加。

“无彗星圆锥区域”的庇护

要了解彗星阵雨的成因，让我们先回到奥尔特星云。目前在罗萨拉摩斯（Los Alamos）的美国物理学家希尔斯（Jack Hills）曾对此星云进行研究。他发现，这些在奥尔特星云中的彗星并非是完全随意移动的。星云中的彗星一般而言，是以任意方向运动，但是如果有一个彗星恰好循着对准太阳的轨道运动时，它的生命就不长了。一个轨道靠近太阳的彗星可能被太阳灼沸而分解掉，或者它可能被某个行星吸引摆动，而获得足够的额外速度使它摆脱太阳系。不论是上述中的哪种情形，奥尔特星云都会损失一些彗星，因此在其中会有一个狭长而没有彗星的圆锥区域，称为“无彗星圆锥区域”（loss cone）。除了那些速度在这个圆锥区域中的彗星之外，星云中彗星的速度是随意不一的。这个空的圆锥区域正好含有那些运行速度几乎恰好指向太阳的彗星，而由于地球很靠近太阳，任何可能靠得够近而撞击地球的彗星必须进入这个圆锥区域中，这正是我们至今尚能幸存的原因。地球一直坐落在彗星阵雨的中间，其之所以未被击中，是因为地球正好处于无彗星圆锥区域中。这个圆锥区域像一把小雨伞在彗星雨中遮着我们，而根据希尔斯所计算此区域的面积显示，其大小正足以遮蔽地球。

但是太阳和奥尔特星云并不是一直静止在宇宙间的。太阳与其他星体一样，围绕银河系的中心运动，有时其他的星体会太靠近太阳，扰乱了星云中的彗星轨道。而外来的星体不必靠得很近，也不必制造太多的骚动，只要让这些彗星轨道的角度稍为偏一点，太阳和地球就会离开圆锥区域。那时，遮蔽的伞消失了，地球将暴露在强烈的彗星雨中，直到外来星体离开，太阳热能和行星互相作用，重新建立无彗星圆锥区域为止。在那 100 万年之间，地球将会经历一场彗星雨，而当新的圆锥区域形成后，地球会受到保护直到下一个星体靠近，然后整个程序不断地重复。

“彗星阵雨周期”理论仍未确立

有关奥尔特星云及彗星雨的理论，是建构在天文学的事实上。而彗星阵雨造成的陨石坑洞群与生物灭绝之间的关系，则是稳固地建立在地质学与古生物学上的。但是，彗星阵雨的理论中有一部分的基础不是那么稳固。有些古生物学家宣称集体灭绝大约是每 2600 万年密集发生一次，他们发现大量的物种约在 1300 万年、3900 万年、6500 万年，及 9100 万年时灭绝，其周期为规则的 2600 万年；而其他的古生物学家在看到相同证据时，却认为这些灭绝发生的时间非常不规则，没有明确的周期可言。一些地质学家发现令人信服的证据，显示大坑洞以规则的周期形式发生；而其他的地质学家在面对相同证据时，却不同意这种说法。总结他们之间长期而复杂的争论可知，彗星阵雨的周期性是一个建议性而非结论性的说法。我们已知彗星阵雨曾经发生过，但不确定他们是否以一定的周期出现。

“复仇女神”的双星理论

荷特（Piet Hut）是一位比奥尔特年轻 50 岁的丹麦天文学家，他决定认真探究“彗星阵雨周期”的真相。如果它们是周期性的，则“彗星雨是由随机接近的外来星球所引起”的理论必定是错的。荷特和他的朋友穆勒（Rich

Muller)找到了另一个理论以解释周期性的假定是对的。这个新理论称为“复仇女神”(Nemesis)。复仇女神是一个想象中属于太阳系的一颗星球,她以重力和太阳相系而形成双星。如果这个想象之星真的存在的话,我们可以确知其距离有多远——约在 2.5 光年之外的地方。但我们对她的方向毫无所知,也不知道她是否够亮,可否用望远镜观察。有几位天文学家曾试图找寻她,但仍一无所获。也许她只是一个由梦想和旅人的传说中所创造出来的神话怪物(chimera)罢了。

荷特的理论假设,“复仇女神”有一个延长的轨道;许多双星系统也都是如此。在大部分的时间里,她和太阳的距离很遥远,而对奥尔特星云中的彗星并不产生影响;但每隔 2600 万年,她会很快地到达距太阳很近的轨道上。当她与太阳擦身而过时,会和外来星球一样扰动彗星的轨道,造成彗星阵雨。由于“复仇女神”是以周期性的方式经过太阳附近,因此彗星阵雨也就以周期性出现。

由于上一次的生物灭绝与陨石坑洞群发生在约 1300 万年前,我们现在正好在这个周期的中间。这意味着“复仇女神”如果真的存在的话,现在正好处于轨道上距离我们最远的地方。因为我们一旦知道她的轨道周期,就能找出“复仇女神”与太阳间的最大距离,因此可以判断她目前正好距离我们 2.5 光年。另一件可知的事是:如果“复仇女神”真的存在,她相较于太阳的移动速度一定很慢,她续行轨道的速度必定只有每秒数百米而已。和她邻近星体的散乱运动比较起来,大约只有其速度大小的 1%。

以下是关于“复仇女神”理论中的种种矛盾之一。我们要求这个双星系统结合不强又有很大的轨道,而差不多每 100 万年就有其他的星体会蹭地一声通过她的轨道,在“复仇女神”环绕太阳一圈之间,有 20 到 30 个外来星体会通过她的轨道,而这些星球也许在 2600 万年之内,就会完全扰乱她的轨道而使“复仇女神”和太阳脱离关系。许多人批评“复仇女神”理论,认为我们的银河系不可能拥有这么大轨道的双星系统至上亿年之久。但是荷特明确计算了这些星球通过轨道的效应,发觉这个双星系统可以生存得很好。由于“复仇女神”和太阳移动得很慢,因此她们感受不到那些飞越星体所造成的快速重力变化。当然,“复仇女神”不会永远和太阳系在一起,但是靠外来星球瓦解这个系统所需要的时间,会远超过 2600 万年。

新行星理论命运未卜

在过去,理论派的天文学家曾经三次以非直接的环境证据,预测新行星的存在。第一次是在 1845 年亚当斯(Adams)和赖弗瑞(Leverrier)分别由天王星轨道所受的扰乱预测海王星的存在;一年后,海王星在预测的天空区域中被发现。这次对不可见行星存在的预测,是 19 世纪科学的伟大成就之一,它向当时的知识分子展示了人类智慧在探索未知的自然奥秘上的能力。第二次对新行星的预测是在 1859 年,因预测海王星而成为世界名人的赖弗瑞,将注意力转向水星。他注意到水星的运动及其理论上的轨道间,有无法解释的偏差,于是他预测:在水星轨道的内侧,还存在一个或多个行星围绕着太阳。这一次故事的结局并不圆满,这个未被发现的行星已被命名为“火山之神”(Vulcan),许多人为了观测其存在,试图找寻日出或日落时接近地平线的亮点,或找寻白天时太阳轮廓上的黑点。不幸的是,各种观测均无

法建立符合牛顿定律的轨道。当观测技术逐渐改良之后，相信此行星存在的说法也逐渐式微。最后，在 1915 年，爱因斯坦说明水星运动的偏差，只是广义相对论的自然结果，而不需借助“火山之神”的存在来解释这种现象。第三次对行星的预测也出现在 1915 年，劳渥(Lowe11)将天王星轨道偏差扣除海王星的影响后仍有偏差，因而认为在海王星之外还有行星存在。这一次冥王星在预测区域中被找到，但是接下来的观测结果显示：冥王星本身太小，难以对天王星产生可测量的扰动。因此冥王星的发现变成意外惊喜，不像发现天王星那样让人印象深刻，能够一展人类智慧的伟大。将这几项加加减减之后，可以说：这三个新行星的理论预测一个是对的，一个是错的，而另一个则完全是碰运气。

现在来看看关于“复仇女神”的预测。它是否能像预测海王星时一样地正确？还是像预测“火山之神”一般地错误呢？亦或是像预测冥王星一样地侥幸？只有时间及耐心的观察可以回答这个问题。如果碰巧这个预测是对的，“复仇女神”真的存在，那么这会是比发现海王星更伟大的成就。海王星只不过是在庞大的行星家庭中加入一个行星罢了；而“复仇女神”则更为重要，她是独一无二的，太阳的姐妹星。她会大幅度扭转我们对太阳系历史和结构的看法。荷特和穆勒建议以“复仇女神”来命名这颗伴星，是因为这位女神是“残忍地迫害那些太富有、太骄傲或是太有权力者的希腊女神”。和古希腊神话一样，“复仇女神”毁掉原有生物的统治权，而留下空间，重新开始。这是一项美丽的理论，也可能是正确的。然而除非真能找到她，否则我们永远无法确定这一点。

彗星阵雨与地球生命历史息息相关

如果仅就地球上的生命而言，“复仇女神”的存在与否并不重要，重要的是彗星阵雨的存在。如果彗星阵雨有周期性，则或许可以由“复仇女神”存在的角度来解释；如果彗星阵雨没有周期性，则它们也许可以由随机通过太阳的其他星球的角度来解释。不论是哪种情形，这一亿年之间，差不多可观测到有四次彗星阵雨会发生。最令我振奋的是，彗星阵雨学说不只是一个理论天文学的习题，也不仅是一个关于太阳和星星的理论——它同时也是个关于地球上生命历史的理论。如果这个理论是正确的，它会改变我们对生命及其演化方式的观念。这个理论暗示，生命在规则或不规则的时间间隔里，暴露在剧烈的删减力量下——大约每隔 2600 万年，环境就会发生一次巨大的变化，其剧变的程度，足够把那些主宰世界的生物从宝座上赶下来，而让位给那些温顺的生物。那些太适应当时稳定环境的生物，可能在环境突变时灭绝；那些生活习惯不特殊而且懂得随机应变的生物，在世界末日来临时，较有机会生存。在所有现存的生物中，我们人类大概是习惯最不特殊而且最会随机应变的，能够在冰河时期及环境巨变中兴盛起来。因此，彗星阵雨想必曾经是推动人类进化，及塑造今日人类的主要力量之一。

“神奇”的大红斑蝶幼虫

这个宇宙之旅的最后一站，则回到我在普林斯顿的家。我们已经由空中降回地球，由抽象及推测的理论回到真实的世界里来。我最小的女儿刚从麻

省的一个音乐营回来，并且带回来一个装着一些大红斑蝶幼虫的广口瓶。她在音乐营附近的乳草（milkweed）上发现它们在吃东西，由于在普林斯顿也有这种乳草生长，因此她可以养活它们。几天之后，它们停止进食并且蜷曲起来，渐渐变成蛹。形成蛹的过程非常好看，它们挤压进一个丝做的茧当中，就像一个胖小子想把自己挤进尺寸小三号的睡袋一样。刚开始的时候，简直无法相信这些毛虫可以进得去，但到最后，睡袋的大小恰好合适。

两三个星期后，这些蝴蝶开始破茧而出。破茧而出的过程要比形成蛹的过程更为奇妙。爬出睡袋后的小虫像是堆被污泥弄湿的破布，尺寸缩小了许多，而且有着黑黑湿湿的像是残枝败叶的翅膀，然后在几分钟之内，身体干了，脚和触须硬挺了起来，翅膀也张开了，这个脏兮兮的小东西，忽然变成了闪亮着橙、黑及白色的美丽生命。我们在附近的草地上放它自由，它高高地飞过树梢，消失在天际。我们希望，把它由麻省移到普林斯顿并不会扰乱它秋天的迁徙形式。如果够幸运的话，它可以找到同伴，一起分享这段到西南部的长途旅程——它有很长的一段路要走，而大部分的旅程必须顶着季风飞行呢。

生物的世界充满了奇迹，但我从未见过如大红斑蝶幼虫蜕变这么神奇的事。它的脑子只是几毫米长的神经元所组成的一个小点，其大小只有人类头脑的百万分之一。然而仅靠着这一点神经细胞，它就知道如何掌握新的腿和翅膀，如何走路及飞翔，如何以我们不明白的导航方式由马萨诸塞州飞越数千英里到达墨西哥。它是怎么办到的？它的行为模式起初是如何设定在幼虫的基因中，然后传译进入蝴蝶的神经网络中的？这些都是我们的生物界同仁仍无法了解的谜。

然而，科学家有信心，我们正在朝解惑之路而行。像生物化学、基因学、胚胎学、细胞学及神经生理学等，这些必要的学科进步都非常迅速，在 20 或 50 年内，也许我们可以解读幼虫身上的 DNA 所携带的信息，然后我们就可以详析，这个信息如何指挥蛹的形成，如何指挥腿和翅膀的形成，及如何指挥能够进行长程导航的大脑之形成。这些生物化学的神奇技术终究会在我们的掌握中，只要我们愿意，应该可以应用这些技术，依着我们的目的及要求随心所欲。

这就是本旅程的终点站。你已经快速浏览了一下我以科学家身分探索过的宇宙之四个小部分。首先是超弦，那是我们以统一的数学方式加诸物理定律上，是一个极为深刻的最新尝试；第二站是黑洞，是我们把玩空间与时间观念的实验室；第三站是奥尔特星云，由我们想像中的彗星阵雨引导，探索地球上生命的演化；第四站是大红斑蝶，飞入夏季的天空里，飞过树梢，渐行渐远，是一种昙花一现的美丽符号——这说明了大自然所拥有的想像力比我们丰富得多。

第三章 曼彻斯特与雅典

曼彻斯特这种反学术、反制度的趋势，
形成了科学发展的温床。
其发展形态与雅典的科学南辕北辙，
就好像两百年后利物浦附近兴起的披头音乐与莫扎特大不相同一样。

在第二章中，我以印象派的手法介绍了现今科学上几个活跃的领域；而于本章中我将采取较深入的作法，以讨论科学历史来拉长我们看科学的景深。自由研究科学的过往，也许能使我们更清楚地看出科学发展的方向。我并不是一个专业的历史学家。我也不敢说我对历史的看法是完全的或是独创的。我所感兴趣的是历史上一些特殊的人物，而非社会或经济上的统计数字。在选择本章的出场角色时，我丝毫不想保持超然中立，而是怀着极深的偏见：我将偏向于选择那些不墨守成规而且思想清晰的人。

头两位上场的角色是德国物理学家魏彻特（Emil Wiechert）和英国政治家迪斯瑞立（Benjamin Disraeli）。他们都曾针对科学发表过重要的谈话；他们都是对抗所谓“正统”说法的青年才俊；他们也都花了很长的时间才功成名就。我将由魏彻特的一篇演说谈起。

魏彻特的无限宇宙观

这篇演说是 1896 年在东普鲁士古尼斯堡（Königsberg）的物理与经济学会中发表的，时间正是伦琴发现 X 射线的第二年。当时是 19 世纪，和魏彻特同时代的人还无法想象 20 世纪中许多革命性的发现。他说：

我们认为宇宙是由一些称为“原子”的小单元所构成的。然而应该强调的是，“原子”这个词的现代意义已经远远偏离了古时候的哲学推想。我们非常确定，原子绝不是宇宙中最简单的成分；相反地，由光谱的研究及一些其他的现象可以发现，原子具有非常复杂的结构。就目前科学的进展看来，我们可能必须放弃一些想法，不要认为往更微小的世界进展就能获得宇宙最基本的真理。我相信我们可以毫不后悔地放弃这种想法。不论在比我们大或是比我们小的世界里，宇宙都是“全方位的无限”。如果仅凭人类经验与认知的范畴，开始不断地探索宇宙，那么，不论是往更巨大或更微小的方向，都会到达一个我们的认知和观念都不再适用的模糊世界中。

这是魏彻特在 1896 年说的话，但他的观点从未被物理学家所普遍接受。他那种无边无际且无限延伸的宇宙观，与后来主宰物理学界近 50 年的爱因斯坦的宇宙观，大相径庭。直到今天，科学家中仍然有两派意见：一类是像爱因斯坦的统合论者，认为自然的现象活动能被简化成一组方程式；另一类则是如魏彻特的多样论者，认为宇宙是无穷尽的。由于魏彻特是少数派的代表，我就借用他的话作为本书的书名。

另一种观察科学史上统合论与多样论差异的方法，是以社会的角度来看。长久以来，学术与工业是壁垒分明的；科学同时属于这两个世界，但学术形式的科学和工业形式的科学则大不相同。学术世界的科学倾向于统合论，而工业世界的科学则为多样论的天下。世界上第一个学术城市是雅典；而世界上第一个工业城市则为曼彻斯特，所以我用“雅典”与“曼彻斯特”作为两类科学观点的代表记号。

迪斯瑞立对曼彻斯特的推崇

就我所知，迪斯瑞立是第一位胆敢将曼彻斯特比成雅典在人类文化史上强劲竞争对手的人。他是大英帝国的首相，也是维多利亚女皇后期帝国之梦的主要建构者。他不仅是一个犹太人，也同时是一个好炫耀、骄傲而夸张的犹太人。他将维多利亚女皇玩弄于股掌之上，并使她成为那个时代的象征。

在当上首相的 30 年前，迪斯瑞立写了一部名为《康宁丝比》(Coningsby) 的小说。它使选民有机会了解迪斯瑞立到底是什么样的人。对他们而言，迪斯瑞立能很自然地将政治信仰写进浪漫小说中。在小说的中间部分，有一段提到故事中的英雄在曼彻斯特待了几天，而以下就是 1844 年的曼彻斯特在他心中的地位：

一个能长久存在于人们记忆中的伟大城市，必须代表某种伟大的思想。罗马代表着征服；耶路撒冷代表着信仰；而雅典则代表了古代艺术世界的卓越特质。……艺术对古代世界的意义，就如同科学对现代世界的意义。在人们的想法中，事物“有用”已经继承了“美丽”的地位。风景优美的紫罗兰花冠市 (Violet Crown) 并未兴盛，反倒是曼彻斯特——这个兰开夏 (Lancashire) 郡的小村庄——已经扩张成充斥工厂和房舍的重镇了。然而，正确的看法应该是：以人类的成就而言，曼彻斯特和雅典一样伟大。

事实上，曼彻斯特的居民并不像雅典政治家培里克利斯 (Pericles) 和雕刻家费迪雅斯 (Phidias) 及当时的雅典居民那样了解本城的独特，他们也并不理解自己的地位。只有哲学家能意会曼彻斯特的伟大，与它未来无可限量的发展潜力。如果我们有足够的勇气大声宣告，或是有足够的雅量可以接受，曼彻斯特还有很多伟大的真理可以歌颂。

曼彻斯特有些什么地方令人那么兴奋呢？迪斯瑞立以他正确的政治与历史直觉判断，曼彻斯特完成了一些独特与革命性的事情，只是他将其错误地称呼为“科学”。曼彻斯特所完成的是工业革命，这是一种新的生活与工作形式，在 200 年前由这个乡下小镇发轫之后，就以惊人的速度席卷全世界，甚至彻底改变了全世界。迪斯瑞立是第一位重视工业革命的政治家，他认为以历史的角度来说，工业革命对社会觉醒的重要性，正如同 2300 年前雅典对知识觉醒的重要性。他觉得将这两个世界在英国结合起来是他的职责——其中包括在女皇身边位于伦敦的封建旧世界，及由曼彻斯特发展出来满布着工厂的新世界。他成功地建立了维多利亚时代，而这个时代也成为迪斯瑞立成就的代名词。

工业革命刚开始的时候，曼彻斯特的科学发展的确十分兴盛，但是科学与工业之间的关系并不像迪斯瑞立的想法，也不是后来马克思的想法。科学的发展并不是应工业发展的要求而产生的，在曼彻斯特，科学进步的动力来源并不是技术或应用的需求，而是文化与审美观。

扬弃传统的曼彻斯特

最近历史学家泰克瑞 (Arnold Thackray) 正好在普林斯顿，所以我有机会向他请教 18 世纪末期曼彻斯特的情形。真正影响曼彻斯特科学发展的是城市医院 (成立于 1752 年) 及十字街的一神教派礼拜堂 (Cross Street Unitarian Chapel)。这些医生和教徒都是这个迅速发展城市中的精英，他们在 1781 年合力建立了一个符合当时需求的机构，这个机构的名称是曼彻斯特

文哲学会 (Manchester Literary and Philosophical Society)。这个学会经过精心设计，成为曼彻斯特的文化中心，得以提升市民的水准，从单纯的财富追求，进而学习更高层次的东西。这个学会从一开始就非常成功，它吸引了包括普瑞斯特利 (Priestly)、道尔顿 (Dalton) 及焦耳 (Joule) 等第一流科学家，并且支持他们的科学研究；它发行了一份期刊；它建立了一座图书馆、一所艺术与科学学院、一所机械学校，及一所专校；它促成了欧文斯学院 (Owens College) 的诞生，后来这所学校发展成曼彻斯特大学；还对大英高等科学学会 (British Association for the Advancement of Science) 的建立也有极大的贡献。在它成立的前 70 年之间 (1781 到 1851 年)，这个学会共有 588 位会员，其中至少有 31 位会员，由于表现突出而获选为伦敦皇家学会的会员，这对一群乡下小镇的业余科学爱好者来说，是项了不起的成就。

有一个历史上的问题必须找到答案：为什么这一群医生和教徒要为这个城市找出新的文化特质？为什么这种文化特质要经由物理及化学的研究才能找到？学会的名称——文哲学会——显示创建这个机构的原始目的是指一般的文化，而非专业性的科学。亨利 (Thomas Henry) 是一位物理学家、一神教派教友、也是该学会的创始会员之一，他将学会创立的目的说得很清楚：“优美的文学品味及研究自然与艺术的成就，是成为一位绅士的必要条件。”换句话说，这些创立者希望证明：生活在曼彻斯特仍然能够成为一位绅士。然而，是什么原因使他们如此肯定，可以从科学研究中找到高尚的品味？

泰克瑞认为他们选择科学有两个主要原因：首先，一神教派的教徒是不能进入牛津或剑桥大学的，当时的曼彻斯特也弥漫着一股轻蔑这些古老大学的风气。因此，文哲学会的创始者基本上是反学术的，他们也不使用当时大学里所谓“传统教育”的拉丁文及希腊文。其次，由于国会中并无曼彻斯特的居民代表，因此其政治态度都倾向于激进派，这种倾向在法国大革命前至为明显。激进派认为公众教育是非常重要的课题，而科学则是比拉丁文更好的公众教育课题。激进派的英雄化学家普瑞斯特利，就认为科学是改造社会的媒介，他说：“如果英国的贵族制度体质有任何缺陷的话，就会害怕面对现代工业文明的挑战。”

因此，曼彻斯特这种反学术、反制度而不顾一切的趋势，形成了科学发展的温床，而此地科学发展的形态与雅典的科学大不相同，就好像两百年后利物浦附近兴起的披头音乐与莫扎特大不相同，是一样的情形。雅典的科学强调想法和理论，试图以统合的理论解释整个宇宙间发生的所有事件；曼彻斯特的科学则强调事实与实物，试图拓展我们对自然多样性的知识。当然，科学的统合论在雅典之后仍然存在，而多样论也并非由曼彻斯特开始。科学史学者通常分别称这两种看法为笛卡儿派 (Cartesian) 和培根派 (Baconian)，这是由于笛卡儿 (Descartes) 和培根 (Bacon) 在 17 世纪近代科学萌芽的时候，就分别是伟大的统合论与多样论者。这两类论点在科学的发展史中一直存在着。迪斯瑞立认为曼彻斯特的伟大成就中，还包括促使多样论的再度兴盛。曼彻斯特的科学跳出了学术的窠臼，并使之大众化、平民化，如当年柏拉图曾铭刻在雅典学院门口“不懂几何者不得进入此门！”这种古老的禁忌，已完全被曼彻斯特所扬弃。

“曼彻斯特式”的科学家：卢瑟福

让我们把时间转回到现代。1907年到1919年，是曼彻斯特物理学发展如日中天的时候，这段时间也正是年轻的卢瑟福（Rutherford）在那里担任教授的时候。当时卢瑟福正处于事业的颠峰状态，开创了后来称为核子物理的新科学。他在曼彻斯特发现了原子核，也在那儿第一次观察到核反应。他是属于曼彻斯特文哲学会那一型的科学家——充满自信，自学成功，轻视传统的教育制度，重事实而轻理论。他曾对理论物理学家做过如下的评论：“他们玩弄符号，我们则发掘自然的真相。”1913年，伟大的理论物理学家波耳将他那篇划时代有关原子的量子理论文稿，送交给当时在曼彻斯特的卢瑟福看，卢瑟福了解波耳研究的重要性，并且自动把它送到《哲学期刊》发表。但是，在卢瑟福写给波耳回信的末尾有一段附注：“如果我删掉论文稿中一些不必要的部分，我想你应该不会反对吧！请回覆”。卢瑟福谁也不怕，甚至连爱因斯坦也不例外。

天文学家程卓斯卡（Subrahmanyan Chandrasekhar）说过一个故事，他在1933年曾听到卢瑟福和天文学家艾丁顿（Arthur Eddington）之间的谈话。艾丁顿在1919年发生日全蚀时，观察光线受到太阳重力而扭曲的现象，并由此证明了爱因斯坦广义相对论的正确性。有一次一位朋友对卢瑟福说：“我不明白为什么爱因斯坦的名声会比你大！不管怎么说，是你证明了原子的模型，而这个模型又是现代物理学的基础。”当时艾丁顿和程卓斯卡都在场，卢瑟福就转过头来对艾丁顿说：“你要为爱因斯坦的名声负责！”卢瑟福并非轻视爱因斯坦的成就，而是认为爱因斯坦的名动一时，是由当时观测日蚀的远征队，及艾丁顿在伦敦宣布观测结果的戏剧性效果所造成的。很明显地，卢瑟福认为爱因斯坦有些名过其实，而且他说这些话时也毫不避讳。

爱因斯坦与卢瑟福的差异

我说这个故事的目的是并不是想要贬抑爱因斯坦的伟大地位。程卓斯卡说完这个故事时还特别强调，爱因斯坦最了不起的地方，是其广义相对论本身拥有不可思议的丰富内涵。爱因斯坦第一次向柏林学会发表这个理论时曾说：“任何完全了解这个理论的人，都深感奇妙。”这个故事的重点是：由于卢瑟福不了解广义相对论，因此他拒绝接受其中的奥妙。卢瑟福的科学和爱因斯坦的科学是如此地不同，以致他们无法完全了解彼此的想法，而其间的鸿沟，也比一般实验家与理论家之间的鸿沟要深。问题不只是爱因斯坦不关心粒子，而卢瑟福不理睬曲率张量，真正的问题是他们对自然现象及科学目的之看法，有根本上的差异。爱因斯坦说：“宇宙的真理隐藏在数学之中，因此在一定的程度上，我认为纯粹的思考就可以得到事实的真相，这也正是自古以来人类的梦想，”卢瑟福则说：“在欧陆的人们对以物理现象作为理论基础的尝试，并不感兴趣，他们喜欢在一些假设下解释所有的事情，而不愿花脑筋找出事情的真正原因。我必须说还是英国人的观点比较好，我们比较看重物理现象本身，而这种想法值得鼓励。”还有一次，艾丁顿在晚餐聚会中说他认为“电子”是非常有用的观念，虽然“电子”本身可能根本就不存在。卢瑟福的反应是：“不存在！不存在！那我为什么可以看到你们这些小家伙坐在我的面前，而且和这些汤匙看得一样清楚？”

因此，科学有两种形式，我们可以说它们是雅典式和曼彻斯特式，爱因

斯坦式和卢瑟福式，或是统合式及多样式。这两种形式并不对立；相反地，它们彼此互补。这两种观点都是正确的。但你不能同时用这两种观点来看世界。在此处所谓的“互补”，有技术层面的意义，而波耳对量子力学的解释是个极好的例子。根据波耳的理论，电子不能单纯地看成是个粒子，而是必须同时具有粒子及波动双重特性的“互补”观点。爱因斯坦和卢瑟福提供给我们科学上互补的两种观点，但也因为他们太过坚持自己的意见而无法彼此了解。对波耳糅合两种看法而得到的量子理论，他们也根据不同的理由而加以反对。对爱因斯坦而言，电子就是在非线性场论中一群波的集合；而对卢瑟福而言，电子就是粒子，这和他能清楚地看见我们这些小家伙一样是显而易见的事。

对称性破坏与生命的本质

近几十年粒子物理的发展，使得对称性破坏 (symmetry-breaking) 的概念相当受到重视，而我们认为，宇宙由混沌初开就是一连串的对称性破坏过程。宇宙从大爆炸 (Big Bang) 中诞生时，它是完全对称的，而且没有任何可以用来描述的特征；当宇宙逐渐冷却，它的对称性就不断地被破坏，而结构也就愈来愈复杂。生命现象的演化和这种情形类似，也是一种对称性破坏的连续过程。最初的海洋是没有生命的，然后其中产生了细胞和微生物，掠食者和被掠食者。而原本是同种的人猿，后来又细分成不同的文化与语言，然后又有不同的艺术、科学及宗教。每次对称被破坏的时候，就是更复杂结构可能产生的时候。宇宙和生命的本质，可能就是一个无穷尽的分化过程。

“雅典式”对应“曼彻斯特式”

如果宇宙的本质就是个不断持续的对称性破坏过程，那么雅典式与曼彻斯特式的看法就都是正确的，雅典式的科学（或说是爱因斯坦的科学），试图找寻宇宙中隐藏的对称性，以统一解释所有的事情；而爱因斯坦的广义相对论也首次展现了数学对称性在探索真理时的惊人能力。如果我们能追溯到极远古的时代，应该很容易就能掌握宇宙的对称性及其定律。粒子物理学目前正处于突破阶段。学界可能即将提出连结强相互作用力与弱相互作用力的统合模型 (Grand Unified Model)，而这个模型的细节，是由研究宇宙产生后极短时间内的组成及动态行为而得到的。姑且不论模型正确与否，可以确定的是：根据这种观点所产生的统合论来探索，成果应是十分丰硕的。这对于过去的世界而言是正确的，就是更大胆地探索宇宙隐晦的过去。而雅典式的科学观——也正是爱因斯坦所说，是人类自古以来的梦想——认为思考可以得到事实真象。

类似的情形，曼彻斯特的科学（也就是卢瑟福的科学）是着重在宇宙的未来，而当我们愈走进未来，宇宙的结构应该会愈复杂，而我们所发明的科技也愈多样化。由此便很容易了解，为什么我们有两种不同的科学观点。统合论者向里及向过去看，而多样论者则向外及向未来看。统合论者希望找出能解释任何事情的一般性原则，如果经由努力而能使宇宙看起来更简单些，他们会很高兴；多样论者则希望能找出事物的细节，他们喜爱宇宙的多样性，如果经由努力而能使宇宙看起来更复杂些，他们才会高兴。

就目前而言，各个领域的顶尖人物都是统合论者，这在物理学界尤其明显。物理上的伟大成就大多属于统合论，因此一般都认为，物理界的成就是把愈来愈多的现象，以一些基本原理统合起来。像爱因斯坦终其一生都相信这个论点，以至于对当时开始改变物理学界的实验工作缺乏兴趣，而在学界中也鲜少有人反对统合论的论点。其中一个反对的声音来自前面提过的魏彻特：“如果仅凭人类经验与认知范畴，开始不断地探索宇宙，那么，不论是往更巨大或更微小的方向，最后都会到达一个我们的认知和观念都不再适用的模糊世界中。”

这段话显示魏彻特确有远见。当时德国的顶尖科学家还在为原子的存在问题伤透脑筋，而卢瑟福也只是一个刚从新西兰到达英国的年轻人，正开始其发现 粒子及原子核存在证据的研究生涯。由于还要过半世纪，这些粒子物理学的实验才会开花结果，魏彻特的话就完全被忽略了，对他们那个时代而言，他的看法实在过于先进。

生物学界研究的趋势

在生物学界这种情形就反过来了，伟大的生物学家中很少有人是统合论者。达尔文是位统合论者，他对生物学的处理方式和牛顿在物理学上的做法非常类似：把整个有机世界用他的演化理论来涵盖。但是，无论如何，有机世界基本上仍然是多样的。多样性是生命的本质，而达尔文的伟大成就则是找出这些多样化现象彼此的共通点。而 99%的生物学家都在研究生命的多样细节，探讨某一物种的复杂行为模式，或是某类生命现象惊人的内在架构。因此，生物学是多样论者的天地，就好比物理是统合论者的天地一样。而达尔文和魏彻特相同，在自己的研究领域都是“稀有动物”，很难找到与达尔文志同道合的同伴。

也许我该说，其实达尔文还是有一位“继承人”，他的名字叫做克里克（Francis Crick）。这句话并不是在评判克里克与其他生物学家的成就，也不是在衡量分子生物学与动物学、植物学之间的分量，只是克里克的风格和达尔文十分类似而已。

克里克的“中心定则”

在达尔文发表他的“物种起源论”后 98 年，克里克宣布了他称为分子生物学的中心定则（the Central bogma）：

中心定则——只要信息传进了蛋白质，它就再也不可能被传送出来。也就是说，信息由核酸传给核酸，或是由核酸传给蛋白质都是可能的，但由蛋白质传给蛋白质，或是由蛋白质传给核酸则是不可能的。

克里克大部分的时间都在研究生物特殊结构的细节，而提出某些定则，对他、对大多数生物学家而言，是极不寻常的举动。然而克里克的内心深处是一位统合论者，而在以后，人们会记得这位在 20 世纪曾简单叙述过生物学法则的人，就像我们至今都还记得 19 世纪的达尔文一样。

二元发展分庭抗礼

现在把以上这些讨论做个总结。我所要说的是，任何科学如果想要全面地发展，都需要多样论者和统合论者双方面的努力。近百年来的物理界已经出了太多的统合论者，而像 19 世纪 90 年代的魏彻特及现代的惠勒（John Wheeler）都被摒弃于主流之外。惠勒是普林斯顿的教授，相当特立独行。他多半将想法在书中发表，而不在一般的期刊上发表。惠勒对宇宙多样性的看法相当坚持。以下是惠勒在他的书《时间的边界》（Frontier of Time）中的一段话：

宇宙中都是独立的现象，这些现象超越了定律，这些现象如此地繁多，无从捉摸，

因此并不受方程式的限制，却制造出不易改变的假相。

这种对自然的看法，似乎太过诗意而不像科学。然而，惠勒的同事虽爱戴他，却不愿听听他说的话，这些统合论者的物理世界里，容不下这种浪漫的想法。

生物学的情形就要健康多了。生物学的主流是多样论者的天下，充满了各种各样无法统一解释的事。但当像达尔文或克里克这些统合论者出现时，他们并没有被忽视，他们的成就一样受到推崇和赞美，而其思想也进入了主流中。我认为总有一天，物理学界会愿意向生物学界学习，就好像生物学界向物理学界学习一样；而总有一天，物理学界会将宇宙无尽的多样性当作中心思想，就好像生物学已经接受基因密码是其中心法则之一。

惠更斯与牛顿的宇宙观

科学的历史中充满了这类二元发展的例子。像雅典与曼彻斯特、过去与未来、统合论与多样论、宇宙学家眼中的宇宙与生物学家眼中的宇宙等等。宇宙学探讨宇宙极大的抽象结构，生物学则研究宇宙中各种细节。在科学发展史中，这两类发展各有被过分强调的时候，有时统合论和抽象结构说占了上风，那么我们就把宇宙看成是一组方程式的解，一旦方程式是正确的，那么其他问题也就迎刃而解。有时候多样论和事物的细节占了上风，则宇宙看起来就是全方位的无限，其中没有任何数学架构可将它们统一起来。

在历史上曾有一段时期，统合论和多样论分庭抗礼，时间是在 17 世纪近代科学刚刚萌芽的时候。那时，人们同时尊崇笛卡儿及培根的作法，而宇宙学及生物学之间并没有严格的界限，即使是最正统最受尊重的物理学家，也接受宇宙中充满生命这种概念。光波动说的创始人惠更斯（Christian Huygens）曾写了一本有关宇宙学的书，书中写道：“要是你和哥白尼一样，认为地球只是一颗环绕太阳的行星，那么你不可避免地就会想到，其他行星上可能也有像我们地球上的居民居住着，有他们的服装和用具。”而和他同处于启蒙时代的伟大科学家牛顿，则有更深入的见解：

世间所有的地方都充满了生物（像陆地上的野兽，海中有鱼，空中有鸟和昆虫，就是在静水中，在醋里面，甚至在动物的身体和血液里，都有数不清的微小生物，需要靠放大镜的协助才能看得见）。因此，在上面的天空中，可能也充满了我们所不了解的生物。上帝对这一切必定早就有了安排，对他来说这也不是困难的事。只要这些行星都留在它们的轨道上，生物就可能拥有足够自行移动的能力，四处游荡或停留，并在宇宙中任意驻足。

这段话是从最近曼纽尔（Frank Manuel）的一本书《牛顿的宗》（The Religion of Issac Newton）中所节录出来的。惠更斯和牛顿是最后一代

有这种想法的宇宙学家，而科学的形式及品味早已改变，不能接受这种自由思想了。惠更斯和牛顿都没有足够的勇气把他们的想法在生前公诸于世。像惠更斯是安排在他死后才发表；牛顿则更为害羞，根本就不把这些东西拿出来，但他很小心地保存他的手稿，直到 300 年后人们发现这些稿件时，它们仍然被尘封着，并未发表。正如曼纽尔所作的评论：“这份内容丰富的手稿毫无疑问地说明了当牛顿在发表其‘原理’一书时，他的宇宙观是个充满了生命的宇宙，这和当时的物理学家及 19 世纪的一神教派说法有很大的不同。”牛顿的手稿藏得很好，以至于 18 世纪的人们并不知道它们的存在。而从那时开始，宇宙就被认为是个广大而死寂的世界，宇宙学家也认为这是一个空旷而死寂的宇宙。牛顿之所以将自己对宇宙的活泼看法压制下来，是因为他自认做了一件好科学家应该做的事——放弃任何无法以实验来证实的美丽理论。

因此，我们从牛顿那个时代开始，就生活在一个与生命无关的宇宙中，只有像曼纽尔和惠勒这种异议分子，胆敢向物理学的殿堂挑战。而也只有几个浪漫主义者继续抱着希望，认为宇宙学和生物学之间的鸿沟有一天能被填平。

架构宇宙学与生物学间的桥

现在我们能对这道鸿沟做些什么呢？至少有两件事可以做。第一件是仔细地探测太空，以找寻其中生命及智慧存在的证据。如果我们够幸运，我们也许能找到当年牛顿轻易放弃探索的太空生命，而从此之后，宇宙就不再是像外表看起来那么空洞和死寂。已经有许多聪明的专家参与找寻外太空智慧生物的努力，但这种任务主要是观测者的职责，而不是理论家的工作。理论家能参与其中的，实在很有限。

建构起宇宙学与生物学之间桥梁的第二条途径，是比较适合理论工作者的任务，那就是建立宇宙中生物存在潜力的一般性理论。克里克在这个领域里也十分活跃，几年前我收到他的一封信，上面说：“我现在仍然对所谓孢子泛生论 (Directed Panspermia) 很感兴趣。我们的口号是‘甲虫飞得比较远’。”他这段话的意思，是指有许多理由指出，孢子在宇宙中的行为，能像它在地球上散布生命一般，将生命遍撒整个宇宙。孢子是将生物及遗传物质包装起来，以进行星际旅行的自然方式。而“孢子泛生论”是一个很古老的学说，由魏彻特同时期的化学家阿瑞尼斯 (Svante Arrhenius) 所提出。阿瑞尼斯想象整个宇宙中都充满这种生命的孢子，它们可以自由前往想去的地方，从而繁衍生命。这个学说只是一个大胆的假设，既不是科学，也不是科幻小说。它符合牛顿的猜想，并结合了科学及神话。通常这类未来学很容易就会变成瞎猜及幻想小说，而牛顿害怕公开的羞怯心灵，则撤退到传统科学及神学的安全地带中，不敢出头。幸运的是，今天这个时代要比牛顿那个年代开明多了，对未来学的态度，也因为结合了生物学与宇宙学的资源而赢得尊崇。当这个新科学成长到完全摆脱神话和小说的阴影时，我们就可以称之为“宇宙生态学”，它是探讨生命和整体宇宙之间互动关系的科学。宇宙生态学主要是讨论未来而非过去的事，它同时承认生命、智慧，而且承认广义相对论在宇宙进化上具有相当重要的地位。我将在第六章中讨论宇宙生态及生命未来的发展。

物理定律无法一成不变

本世纪中，有一位建构宇宙学与生物学间桥梁的人，他的名字叫做波兰依 (Michael Polanyi)。波兰依在 1951 年到 1952 年之间参加吉弗德讲座，他的讲稿以《个人知识》(Personal Knowledge) 为书名发表。波兰依的职业是化学家，他具有哲学家气质，对科学持多样论的看法。波兰依优游于工业界与学术界之间，以解决化学工业上的问题来支持自己的生活，并能轻松地在化学与哲学中找到平衡。因此，当他 42 岁时以难民身份到达曼彻斯特，很快就能入境随俗。同时，他发现曼彻斯特要比纯学术的剑桥或哈佛更适合他。我个人在吉弗德讲座的主题，可用他的一句话来概括：“这个宇宙至今仍然是死寂的，但它已经有了迎接生命的能力。”

在当代的物理学家中，惠勒是唯一认真考虑过“物理定律可能只是宇宙生命的偶然真理”的科学家，惠勒说：“自从我们知道宇宙是由‘大爆炸’开始之后，再要认为物理定律是由无限久之前直到无限久之后都保持不变，就显得十分荒谬了。这些定律不断在变化着；因此，它们不可能 100% 地正确。这意味着物理定律是衍生而来的，而非最根本原始的……在宇宙所有的奇异特质中，以下这些特质最令人瞠目结舌：时间是能被超越的，定律是不断变化的，而观察者参与的程度也与结论息息相关。”根据惠勒的说法，物理定律的演进，不过是更方便人来观察宇宙。

宇宙是全方位的无限

50 年前，爱因斯坦最密切的朋友之一的高德 (Kurt Gödel) 证明纯数学世界是无止境的，我们不能以任何一组的公理和推理定律导出所有的数学。任意提出一组公理，我们都能找出这些公理无法回答的数学问题。高德的这个发现对许多科学家而言是一大打击，它彻底击碎了人们想要找出解决一切数学问题之系统的期望。在震惊平复后，数学家了解到，高德的定理虽然否定了找到解决问题通用法则的可能性，然而数学家却永远走不到尽头。不论数学如何进步，也不论解决多少问题，永远都还有更多的问题产生，更多的想法出现来解决问题。这真要感谢高德！

我希望物理学界证明物理学也是没有止境的。一些进行粒子物理研究的同僚认为，他们已经接近完全了解物理基本定律本质的地步了！他们在近 10 年来的确成就斐然，但我希望，到头来物理定律最后的叙述会和数学界的情形类似。如果终究发现物理现象真的能被一组方程式所描述，那我会非常失望。我会认为，造物主显然太缺乏想象力了！我会说一句和爱因斯坦所说过的非常类似的话：“那么我会为亲爱的造物主感到非常地遗憾。”

幸运的是，近年来粒子物理及宇宙学的成就，并未扼杀物理有毫无止境的可能性。波兰依说：“这个宇宙至今仍是死寂的，但它已经有了迎接生命的能力。”惠勒说：“宇宙是个自发的电路。”魏彻特则说：“宇宙是全方位的无限。”大哉其言！

第四章 生命是如何开始的？

如果以电脑来比喻活细胞的两大要素，
蛋白质的功能就好像是硬件，
能使其他的化学物质以特定的方式反应；
而核酸的功能就像软件一样
能组织蛋白质，并指挥其行事。

我把生命的起源看成一种科学问题，而不是哲学或玄学上的问题，而主要的课题是找出到底发生了什么事。目前科学家所考虑的方向，是试图找出一条从无生命的荒凉地球到今天世界的合理途径。至于在这条变化途径中，生命与无生命的分野何在，就不是科学家所考虑的问题。基本上，在进化刚开始的时候，生命与无生命的分界是很难定于一的，就好比在进化末期时，人类与非人类的分界也是模糊不清的。在这两种情形中，科学家的任务是去了解进化如何发生，而非设立分界线。因此，在这里我不对“生命”下任何文字上的定义。

在 100 年前，达尔文就能以通俗而精确的方式，来讨论生物学的重要问题。当时，生物学所处理的对象是植物和动物。达尔文的说法对专家和一般人而言，很容易就能接受，这是因为当时的人对其周遭的环境都很熟悉，所以达尔文的读者能轻易地了解其书中所描述的自然和世界。

不幸的是，今天当我们描述现代科学时，达尔文的做法并不适用。物理学家不再以机械模型描述自然，而代之以无限维度空间及其他更抽象的数学概念；生物学家则使用一大堆化学术语。在过去 50 年中，生物学家在了解生命的基本程序上有极大的成就。由于这些基本程序都是化学反应，这使得在生物学的领域中如“氨基酸”、“核苷”(nu-cleotide)、“蛋白质”及“核酸”等变成常用名词；而“合成”(synthesize)、“催化”(catalyze)、“聚合”(polymerize)变成常用的动词。活细胞的化学是生命的基础，因此我们了解得愈深入，原本美丽的生命，也就不得不以愈丑陋的化学用语来形容。

生命的“硬件”与“软件”

任何想要让大众了解现代科学的人，都会面临一个抉择：要不就写一本严谨的教科书，否则就得以比喻的方式来说明。如果读者想要一本教科书，坊间已有很多关于物理及分子生物学的专书出版；因此我选择用比喻的方式来进行说明，这样我可以用电脑来比喻生命化学。在今天这个时代里，我们也许可以假设，任何一个工业社会中的普通公民对电脑都有起码的认识，因此用电脑来比喻是很自然的想法。电脑是透过可记忆及执行的程序来处理信息的装置，一个活细胞要在不断变动的环境中维持生命机能，就必须能够记忆及执行有关化学反应的程序，使控制系统得以处理及储存大量信息，并维持一大堆复杂的化学反应，使其彼此平衡。

每个懂电脑的人都了解，电脑包含了硬件及软件两部分。所谓硬件是指电脑本身，里面都是进行逻辑及数学运算的电子电路；软件则是指储存在磁盘上的指令及信息而言。我们需要将软件载入硬件中，以指导硬件工作。同

样地，每个活细胞也有两个重要的部分，即是称为蛋白质及核酸的两种巨大分子。过去 50 年的研究显示，蛋白质的功能好比是硬件，它们能使其他的化学物质以特定的方式反应；而核酸的功能就像软件一般，能组织蛋白质，并告诉它们做些什么事。开启现代生物学大门的关键是艾弗瑞 (Oswald Avery) 在 1944 年于纽约进行的实验，艾弗瑞将由细菌 A 中抽取出的核酸注入细菌 B 中，结果发现：被注入核酸的细菌 B，转变成为核酸供给者的菌种 A。如果电脑和磁盘在 1944 年就已经存在的话，艾弗瑞可能会说，改变细菌中的核酸就好像抽换电脑中的磁盘一样。

用电脑来比喻，有助于了解生命程序，但无论如何，比喻终究是比喻。我们不能因此以为核酸真的只是一张没有变化的磁盘；事实上，核酸分子可以做很多其他的事情。最近的实验结果也显示，在某些情况下，核酸也和蛋白质一样可以进行催化反应。在有生命的细胞中，硬件和软件的划分并不是绝对的，自然界并没有规定，禁止蛋白质携带信息，及核酸执行命令。在大多数时间里蛋白质都在忙着切割及重组分子，而核酸则悄悄地指挥蛋白质的工作。

活细胞的两项主要功能

活细胞有两个主要的功能，称为“新陈代谢” (metabolism) 和“复制” (replication)。所谓“新陈代谢”，指的是摄取食物、消化及排泄，这个功能不断地运输化学成分进出细胞，并将细胞外的原料转变成为细胞本身所需的物质，从而维持细胞的生存。“复制”则指的是，细胞能产生完全相同的分子，以复制它自己。这个功能使细胞能将自己的特征资料传给下一代。新陈代谢是蛋白质的事，由于需要维持一定的活力，因此是一种硬件；复制则是核酸的工作，由于必须具有稳定性及可辨识性，因此是一种软件。核酸和磁盘一样，很容易辨识和复制；蛋白质则和电脑类似，必须以一定顺序的指令才能制造，而不能任意复制。

我以电脑做比喻，来讨论生命起源之主要架构，并介绍 6 位对这个问题思考颇有贡献的人。头两位出场的是物理学家薛定谔 (Erwin Schrödinger) 和数学家冯诺曼 (John von Neumann)。

生命究竟是什么？

1943 年，也就是艾弗瑞发现细菌因核酸而变种的前一年，薛定谔在三一学院 (Trinity College) 对一般听众开了一门生物学的课。薛定谔当时对艾弗瑞的实验毫无所知，在他的演讲中也从未提过核酸这个名词。在这种情形下，他还能够正确地猜测出基因的特性及本质，教人不得不佩服他的成就。

1943 年在人类历史上是悲惨的一年。爱尔兰是当时欧洲少数还能自由地进行科学研究的地方，那儿庇护了许多学者和社会中的精英分子。薛定谔在出版演讲稿时很自豪地在上面注明着：这些讲稿是讲给“约 400 位还没有堕落的听众”听的。讲稿在 1944 年出版，是一本不足 100 页的小书，书名是《生命是什么？》 (What is Life?) 许多人阅读这本书，并对今后的分子生物学发展起了重大的影响。书中内容写得既简单又清楚，其引用的技术性文献仅有 5 篇，而从头到尾方程式不超过 10 个。

由于薛定谔提出的问题一针见血，所以此书深具前瞻性。他的问题是：当细胞分裂增殖时，被复制分子的物理结构为何？要如何才能了解复制的过程？每一代的分子都还保有它们自己的特性吗？细胞如何能控制自己的新陈代谢？细胞如何组织起来而构成具有功能的器官？他并没有回答这些问题，但经由这些问题所构成的轨迹，使得生物学在接下来的 40 年发展中成就非凡，包括：基因的双螺旋结构鉴定，遗传密码的解读，精确的分析基因及合成基因，以及物种进化变异的数量化测量等等。

薛定谔不仅在这些问题上表现出过人的智慧，就连他没有问的问题，也显示其思虑的周密。薛定谔并没有问任何有关生命起源的问题，他知道除非我们能先了解生命中基本的化学程序，否则对生命起源的物理基础进行任何讨论都毫无意义。他很聪明地将问题留给下一代——也就是我们这一代——来设法解决。

40 年后的。今天，我们必须面对生命起源这个重大的课题。如同 40 年前对于生命结构的问题，已经能由实验来验证一般，有关生命起源的问题在今天也已能由实验来加以阐明。在 30 到 40 年代，戴卜克 (Max Delbrück) 是探讨生命结构的先驱，薛定谔能问出一针见血的问题，主要即是由前者的实验所得而来。戴卜克能在当时独领风骚的原因，是他发现噬菌体是一项理想的生物学实验材料。它在生物学中的地位，就好像氢原子在物理学中的地位一样重要。而在 70 年代，艾真 (Manfred Eigen) 由于使用 RNA 作为实验材料而成为探讨生命起源的先驱。RNA 是常见的一种核酸，本质上是未加任何保护的基因，因此可以在试管中进行分子进化的研究。艾真的 RNA 实验比戴卜克的噬菌体实验要更进一步，由于基因是完全裸露的，我们可以在不受其他环境条件的干扰下研究其复制的情形。

薛定谔理论忽略“新陈代谢”

在详细讨论这方面的实验之前，我希望能先说明对薛定谔的一些看法。虽然这样做有些冒险，但我必须指出，薛定谔在讨论生命本质时遗漏了一个重点——在薛定谔的书中有四章详细讨论了复制的现象，但却只以一章粗略带过了新陈代谢的部分。他发现了不论对复制或新陈代谢都适用的物理观念基础，其中复制是以分子结构在量子力学的稳定性 (quantum-mechanical stability) 来解释；而新陈代谢部分，则以细胞根据热力学定律由周遭环境吸取自由能的能力来说明。然而，薛定谔显然对复制比较有兴趣。造成这种情形的原因有二：首先，他是量子力学的几个主要创始人之一，所以自然会运用熟悉的知识领域解释事情；其次，薛定谔的想法主要是基于戴卜克的实验，而戴卜克实验中所使用的噬菌体完全是一种寄生性的生物，只能复制而根本不具有任何的代谢功能。也正因如此，戴卜克才能找出生物复制功能的物理基础，而不会被其他代谢方面的功能所干扰。薛定谔透过戴卜克的眼睛来看世界，因此在他的书中讨论噬菌体要比讨论其他生物多得多。唯一讨论代谢功能的章节应该是事后才想到的，他加进这一章的目的应该是为了顾及书本身涵盖范围之完整性，架构主要是将生物复制的事实引导到基因的量子一机械稳定性上面去。这种想法不仅正确，而且影响极其深远，它设定了日后分子生物学一连串发展的形式。至于被忽视的新陈代谢功能，则显然并没有为薛定谔本人及追随他的生物学家带来任何困扰。

经过这 40 年的进步，我们回头再来看这份 1943 年的讲稿时，也许会怀疑当时薛定谔为什么没有提出一些非常基本的问题：生命是一项单纯的功能还是两项？复制和新陈代谢之间有任何合逻辑的关联性吗？我们能想像出一种只具代谢功能而不能复制的生物吗？或是一种只能复制但却不能代谢的生物？这些问题没有受到重视的原因，是由于薛定谔和他的信徒认为复制是主要的功能，而代谢则是次要的事。当他们对复制功能愈来愈了解，代谢功能也就被打入冷宫而乏人问津。一般人对分子生物学的认知是，生命与复制功能几乎是等义的，学校也是如此教育学生。在近代讨论生命起源的时候，大家多半将生命的起源与复制功能的起源混为一谈，认为两者是同一回事。艾真是这个潮流中最极端的例子，他选择不具代谢功能的 RNA 做为实验材料，而他的生命起源理论实际上就是复制功能的起源理论。

现在我们需要将复制与增殖 (reproduction) 做个明显的划分。我要提出一个假设：最早的生命结构可以进行增殖，但不能进行复制。这是什么意思呢？对一个细胞而言，所谓增殖就是细胞分裂成两个大小差不多的细胞；对一个分子而言，所谓复制指的是制造一个和它完全相同的化学结构物。细胞可以增殖，但只有分子可以进行复制。现在的细胞增殖一定伴随着分子的复制，但这并不担保过去也是如此。另一方面，也常有分子进行复制，而细胞却不发生增殖的情形。

复制与代谢的逻辑关系

仅仅在薛定谔演讲的 5 年后，数学家冯诺曼就已经厘清了复制与代谢之间的逻辑关系。在 1948 年普林斯顿的一次课堂上，冯诺曼以电脑来比喻活细胞，他描述了活细胞的功能与机器之间的类比关系，并且建立了称为“自生组织的一般逻辑学说” (The General and Logical Theory of Au-tomata)。其中包含两个主要的部分，后来他的观点被电脑业界吸收，而这两个主要的部分被命名为“硬件”及“软件”。硬件处理信息，而软件则构成信息的系统。以前的硬件是机器，软件则是纸张；现在所谓硬件指的是硅晶片，而软件则是磁盘。

冯诺曼以抽象的方式精确地描述了软、硬件之间的逻辑关系，而对一个能完全自我增殖的组织而言，这两部分是最基本的。不过我们通常直觉上以为，硬件应该比软件更早出现才对。比方说，应该先有计算机然后才有磁盘；一个只有硬件而没有软件的自生组织可以存在，并且维持其代谢功能，只要能找到食物，它就能独立生存下去；而一个仅有软件却没有硬件的自生组织就只能是个寄生性的生物，它只能借用其他自生组织的硬件生存，也只有在它找到寄主之后才能复制自己，这种情形和噬菌体非常类似。

让我把故事总结一下：薛定谔这位前辈写了一本名为《生命是什么？》的书，但却忘了考虑复制和代谢两种生命的基本功能可否分离开来的问题。另一位前辈冯诺曼则提出了这个问题，并且给了一个暂时的答案。冯诺曼观察复制与代谢这两种功能发觉，不论它们在生物世界中的结合是多么紧密，在逻辑上它们是可以彼此分离的。因此在逻辑上可以假设，有一种只包含硬件的生命体，它只能代谢而不能复制；同时我们也可以合理假设，有一种只有软件的生命体存在，它可以复制但却不能代谢。如果生命的功能用这种方式来区分的话，我们可以预期，后者必须寄生于前者这种形式的生物。这种

对生命功能的逻辑分析，可以解释及扭转显然存在于薛定谔及整个分子生物历史中的偏见。擅长于复制的有机体易成为寄生者，而也正因为这些寄生者的结构比它们的寄主简单得多，分子生物学家喜欢利用它们来做研究。为了自然界平衡起见，应该有另一派的偏见存在。寄主一定比寄生者更早就存在了，寄主的生存是寄生者生存的前提，正如人们必须进食、成长，然后才建立家庭养一些只进行复制功能的人。在真实世界中，不论是人的社会或在经济上，我们不能全是寄生者。

“单起源论”与“双起源论”

当我们开始思索生命起源这个问题时，所面临的的就是薛定谔没有问的问题：生命是一项还是两项单纯的功能所组成的？我们的答案应与冯诺曼的一样：生命的功能包含复制和代谢。因此，生命的起源就有两种合乎逻辑的可能性：一是从生命刚开始时就同时拥有复制和代谢这两种功能，这是单起源论；或者是生命发生了两次，一次出现了有复制功能而无代谢功能的生物，另一次则出现了有代谢功能而无复制功能的生物，这是双起源论。如果生命是分两次发生的，那么第一次出现的必定是蛋白质生物，然后才是核酸生物，并且逐渐演化出愈来愈有效率的代谢方式。而核酸生物从一开始的时候，应该就是蛋白质生物的寄生者，利用其代谢以完成自己的复制功能。

本章和下一章的主要目的，就是仔细验证生命双起源论的可能性，这只是个假说而非理论，理论必须详细描述整个过程所发生的事情。而藉着检验这个假说的结果，可以不必求助于任何特殊理论，来探讨这个可能性。

我并没有说这个假说是真实的，或是有任何可支持它的实验证据。事实上，我的目的恰好相反，我希望能刺激一些实验化学家或生物学家去找验证这个假说的方式。如果它能被验证并且证明是错的，那么它的目的也就达到了，也许在生命的单起源论上就有了更稳固的基础。如果这个假说能通过验证而不能说它是错的，那么我们也许就该付出更多的努力来建立生命起源的理论。目前这个假说的功能，只是提示进行一些新的实验工作之必要性。

由于缺乏新的实验，我们无法判断应该相信单起源还是双起源的看法。我必须承认自己偏好双起源论，但我的偏好只是根据一般事实而得到的学理上的直觉。而我也了解，在历史上，许多像这样的直觉，后来都证明是错的。为了说明它的价值，我可以把我的直觉陈述如下：由生命中学到最让人讶异的事情是：生命都以双结构形式存在，可以分成软件及硬件成分，也就是蛋白质及核酸两种组织。我把生命的双结构当做是生命双起源论的初步证据。如果各位承认，在一片混沌中，要同时出现蛋白质及核酸两种结构是不太可能的，那么我们也可以预期：蛋白质及核酸是在很长久的一段时间中，分别逐渐形成的。而由于无法进行数量上的机率计算，这一点会引起很大的争论。

探讨生命起源的化学实验

本章中第三位及第四位出场的人物是艾真和奥格 (Leslie Orgel)。他们是实验家，这一点和薛定谔及冯诺曼不同。他们是探索生命起源问题的顶尖实验化学家，而生命起源正是适合化学家处理的问题。艾真本来是从事较传统的物理化学研究，在他获得诺贝尔奖之后，才把研究兴趣转到生命起源

的问题上。在当今世界上，艾真是这方面的权威人物。

艾真和他在德国的同事，已经能从试管中自发地制造出生物结构。组成 RNA 分子的结构是由四种基本的建筑单元，以一定化学键组合而成，这种基本建筑单元称为核苷。他们把这种核苷溶解在水里，再加入蛋白质作为催化剂，可以催化 RNA 复制反应。实验开始时，试管中加入少许 RNA，蛋白质会开始收集水中的核苷并将它们连接在一起。如果我们测量水中 RNA 的含量，可以发现 RNA 的量每二至三分钟就增加一倍。只要试管中有一些 RNA 存在着，这个复制程序就会进行得非常快速而且极有效率。这个实验不断重复，使用愈来愈少量的 RNA，到最后发现，只要有一个 RNA 分子，复制程序就会工作得很好。在一到二小时之内，一个 RNA 分子可以制造出 10^{14} 个复制品，而且这个复制程序具有再现性，并可加以预测。

接下来，艾真尝试一组新的实验，他不放入任何 RNA 分子到试管中，以使蛋白质没有复制的原始版本。然后发生了什么事呢？你也许会猜没有任何事发生，事实上有一大堆有趣的事发生了，RNA 分子仍然会出现在试管中，但每次结果都不尽相同。一般说来，第一个 RNA 分子约需二至三小时才会出现，而每次实验中 RNA 出现的时间都不相同。而一旦第一个 RNA 分子出现后，整个复制程序就会以非常有效率的方式进行。因此，实验由零个 RNA 分子开始，增加到 10^{14} 个 RNA 分子为止，只是到达 10^{14} 个分子的时间，各组实验都不相同。此外，构成 RNA 分子的核苷顺序，在各组实验中也都不相同。艾真在他的 RNA 实验中还发现变种 RNA 的出现，有时第一个出现的 RNA，会被后来出现而能更有效率复制自己的 RNA 所取代。

艾真的实验显示，在适当的情况下核苷溶液可以自发地产生核酸分子，而这个核酸分子可以复制及产生变种，并和自己的子孙为生存而竞争。以某些观点来看，我们可以说这些实验已经由无生命制造出了生命，其结果也使我们能够了解核酸进行合成及组织自己的能力。不幸的是，艾真的实验中并不是真正全然“无生物性”的。要使这个实验进行的先决条件，是放进从其他生物体中取出的蛋白质做为催化剂。而核酸的合成及复制就取决于蛋白质本身的构造，目前如果不借助其他生物体取出的物质，仍无法由实验得到生物结构。但无论如何，艾真已经提供了探讨生命起源的工具，他也将生命起源这个问题由纯猜测带入实验验证的领域中。

奥格和艾真一样，都是实验化学家，我有关于生命的化学知识都是他所教导的。奥格所做的实验正好补足艾真实验的不足，艾真能够从不包含 RNA 分子的溶液中，提供蛋白质催化剂，由核苷组成核酸分子，奥格则从相反的方向着手，但其重要性则无二致。奥格发现，如果不供给任何蛋白质，在适当的情况下，就算只有 RNA 分子，也可以组成核酸分子。奥格发现溶液中的锌离子是合成 RNA 分子的极佳催化剂，而许多生物催化剂在它们的活化位置上，都有锌离子的存在。总结来说，艾真在没有 RNA 存在的条件下，以蛋白质分子制造出 RNA；奥格则在没有蛋白质存在的条件下，以 RNA 分子制造出 RNA。在活细胞中，目前是以 RNA 及蛋白质一起制造 RNA；如果我们假设 RNA 分子是原始的生命形态，那么想要了解生命起源，就必须不使用 RNA 及蛋白质才行，这一点艾真和奥格都没有做到。

艾真和奥格的实验，很自然地符合了双起源论的假设。根据这项假设，RNA 并不是生命开始的分子形态，而应该是蛋白质分子较早出现。艾真和奥格的实验显示，在一定的条件下，RNA 分子可以产生并进行演化，这说明了

生命第二次发生的可能性。但对于生命第一次的发生，也就是蛋白质及其代谢功能的起源，艾真和奥格却鲜少提及。代谢功能的起源是等候实验化学家去发掘的处女地。

玛格莉丝的早期细胞演化理论

在我的名单上第五位上场的前辈是玛格莉丝 (LynnMargulis)，她是一位生态学家，也是一位作家。虽然她仍然十分活跃，并且比我年轻得多，但是她建立了我对早期生命演化的思考方式。

玛格莉丝是现代生物学主要的建构者之一，她建立了细胞解剖学及分子基因之间的桥梁，她认为寄生和共生是造成细胞复杂性的驱动力。玛格莉丝并不是这个想法的创始人，但却是最积极地将这个想法系统化的人。她搜集了许多证据来支持自己的看法，认为绝大部分的细胞内部组织并不是由细胞自己所产生，而是其他不相干的生物侵入细胞组织，以类似传染的方式把组织植入细胞中。她的著作《细胞进化中的共生现象》(Symbiosis in Cell Evolution)，概括了直到1981年为止的证据。根据玛格莉丝的讲法，这些传染性的生物和它们的寄主逐渐演变成为彼此依存的关系，而侵入的组织则由纯粹寄生者变成共生的伙伴，最后成为寄主的一部分。

玛格莉丝所描绘出有关早期细胞演化的情形，已有相当强的证据予以支持：一些存在于植物及动物细胞中的分子结构，和细菌间有极密切的关系；此外，一个细胞为了想要存活下去，它必须具有调整得很好的分子组织，它也必须有能力摧毁那些不照计划出现或行动分子，所以在这个细胞中出现的任何新组织应该都是不受欢迎的。以这个观点出发，任何细胞中出现的新组织对这个细胞而言，都是一种病变，情况就和高等生物得了癌症类似。因此，如果这个新组织是由外界细菌所植入的，可能这个新组织已经具有抵御细胞破坏它们的本领，因而居住下来。

寄生传染可能造成细胞的演化

我支持生命双起源论的主要原因，就是基于玛格莉丝的学说。根据她的说法，绝大部分的细胞进化都是由寄生性的传染而造成，而双起源论则暗示核酸是最古老、也是最成功的寄生物，这将玛格莉丝的想法延伸至更古老的年代。这项假设认为：最原始的生命不具任何基因结构，而仅能行代谢功能，这种细胞缺乏完全复制自己的能力，但它能生长，并且可以分裂增殖。经过了多少万年，它们的种类逐渐分化，并且改良自己的代谢能力，而在某些情况下，这些细胞发现了合成ATP (adenosine triphosphate)的方法。ATP是一种神奇的分子，它存在于目前所有的细胞中，担任携带能量的工作。带有ATP的细胞，工作能更有效率，在物竞天择的世界中更具竞争力，此时细胞不仅拥有ATP，并且也带有其他相关的分子，如AMP (adenosinemonophosphate)等。

在这里可以观察到一个奇怪的现象：ATP和AMP这两种分子的化学构造几乎完全相同，但是ATP是硬件，而AMP则是软件；ATP是所有细胞的能量携带者，而AMP则是构成RNA的核苷之一；ATP是一种由盐基(adenine.base)、糖及三个磷酸根构成的化合物，AMP则除了少掉两个

磷酸根之外，其他都和 ATP 相同。因此要从 ATP 得到 AMP 只需拿掉两个磷酸根就可以。

由此我提出以下的想法：早期的细胞并不具备基因结构，但却充满了由 ATP 衍生而来的 AMP 分子，而这是个随时可能引爆的状况。如果某个细胞一不小心携带了过多的核苷，则意外就发生了，这些核苷开始进行和艾真实验相同的程序：在细胞中藉助一些蛋白质的帮助，核苷组成了 RNA 分子并开始复制自己。以这种方式，RNA 分子首次以病变的形式出现在细胞中，这个突变的细胞可能因此而生病死亡，然后根据类似玛格莉丝的想法，某些受感染的细胞开始学习过着以 RNA 为基础的生活，这些 RNA 分子变成了细胞的共生伙伴，然后在百万年的缓慢进化后，这些以蛋白质为基础的生命学会了如何正确复制 RNA 结构，而原本是共生的 RNA 变成了细胞的一部分，成为基因组。

RNA 可能是生命最古老的“寄生性疾病”

把 RNA 的产生，看成是一种生命最古老且不能治愈的寄生性疾病，在目前还不能成为科学理论；但对我个人而言，有几点原因使得这个看法深具吸引力。首先，就人类的经验而言，硬件的发生应该比软件早，现代的细胞就好像一个以蛋白质为硬件，以核酸为软件的电脑控制化学工厂；而在电脑的进步当中，我们都是先开发硬件，然后才考虑软件的问题。我认为自然的演化，也是遵循相同的路线来进行。第二个原因是化学上的考量：由于化学研究的成果，我们发觉一个充满氨基酸的池子要比一个充满核苷的池子更容易存在，而核苷如果包含在某个活细胞中，其生存机率就会加大。我的第三个理由是：这个寄生的假设是可以用来测试其真伪的，如果这个理论是真实的，活细胞可能在核酸入侵前很久就已经存在了。在化石中常存在着 30 亿年前的微小生物残骸，也许其中有一些生物是生存在 RNA 出现之前，而仍然保留了上古细胞的化学结构证据。比方说，如果我们发现上古细胞中有大量的磷化合物存在，那么这就是上古细胞已具有某些基因结构的证据；不过据我所知，到目前为止还没有发现类似的证据。我并不知道生物在形成化石的过程中，能否不损伤核酸的结构，但只要这种机会存在，我们就可以直接观察并验证双起源论的假设。

“随机扰动”与“基因漂移”

最后一位出场的人物是基因学家木村 (Motoo Kimura)。他住在日本，在东京和京都的乡下拥有一所生物学院。木村发展出分子演化统计处理的数学基础，而他也是有关中性演化理论的主要倡导者。中性理论认为，在整个生命的历史中，造成物种进化的原因主要是随机的扰动，而不是达尔文的物竞天择说。由随机扰动而造成的演化，我们称为“基因漂移”(genetic drift)，木村认为这种“基因漂移”是比物竞天择更强的驱动力。

我在两方面欠了木村的人情。首先，我使用木村的数学工具来分析分子族群的行为，不论我相信他的中性理论与否，这个数学工具是正确而有效的。其次，虽然我不能完全同意木村的看法，但他的理论确实非常有用。就我的意见来说，木村的主张并不尽然正确。我认为基因漂移和物竞天择的相对重

要性，要视情况而定。特别是在生命初期的时候，正确复制基因的机制尚未发展，因此基因漂移可能是最重要的演化驱动力。然而，即使中性理论不是完全正确，它仍然是用来建构生命起源模型很好的假说。

我们对生命的起源可以说是一无所知，我们甚至不知道生命是逐渐演化或是突然发生的。它可能是持续数百万年的缓慢过程，那么一般人必定觉得生命是物竞天择的结果；如果认为生命的发生是个快速的过程，那么木村的随机扰动理论可能是比较合理。事实上，生命的起源必定非常复杂，可能是长时期的缓慢过程之中，夹杂着快速变化。要进行完整的描述，就必须同时考虑物竞天择和基因漂移两种因素。如果我们认真探讨双起源论，那么在生命初期，基因漂移应该是比物竞天择强很多的因素。

除了上述我提到的六位先进之外，还有许多人贡献卓著。我之所以选择薛定谔、冯诺曼、艾真、奥格、玛格莉丝和木村做为本章的出场人物，主要是由于他（她）们不只是科学家，在某些角度来看，他（她）们甚至是哲学家。这些人不仅为生物学提供了新的技术和知识，也向全世界的科学界提供了个人的哲学观——我自己的观点就完全是借用他（她）们的观点而来的。生命起源是少数要用到所有科学领域的问题，薛定谔带进物理观念；冯诺曼加进数学逻辑；艾真和奥格加进化学；玛格莉丝加进生态学；而木村则加进族群生物学。我会在下一章中，尝试找出它们之间的关系，并且看看由数理及族群生物学中所提出的问题，能否由化学来解答。

第五章 生命为什么如此复杂？

生命的本质与人类社会的本质相似：
生理平衡比复制重要，
复杂比简单重要，
细胞的适应力比基因的独裁重要，
整体容忍误差的能力比每部分的精确重要。

不论生命的起源为何，在发生之前必定有一段漫长而复杂的准备过程，这段生命来临前的准备时期，我们称之为“生命前进化期”。要探讨生命前进化期，主要分成地球物理、化学和生物等三种不同领域。地球物理方面的研究，着重在地球早期的历史，特别是原始大气的成分；化学方面的研究，则考虑在模拟原始大气和海洋的情况下，设法合成生命的基本组成单元，这里的组成单元是指构成蛋白质及核酸所需的氨基酸和核苷而言；而生物方面的研究，则是希望能由一大堆杂乱无章的小分子单元，组合出井然有序的蛋白质及核酸来。

从混沌中建立生命秩序

有关地球物理及化学的研究，可以说已对生命前进化期有了深入的了解，目前也有许多优秀的专家正从事这方面工作。地球物理方面的理论，可由地球化学、陨石化学及射电天文学的许多证据来加以检验；化学方面的理论，则可以在实验室中做实验来加以检验。虽然还有很多问题存在，但在这两方面已经初露曙光，因此我把注意力完全集中在生物方面的研究上——也就是生命如何从一片混沌当中，建立起生物组织的秩序来，这是生物研究上仍然未解的谜。我工作的目的，是试图以数学的方式来描述所观察到的生物秩序，使生物方面的研究能进行实验测试。

在早期的地球表面，似乎存在着许多简单的有机分子、有的溶解在上古海洋中，有的以油沫的形式存在陆地上。这种分子可以由射电天文学家在宇宙间观测到，也可以由地球化学家在陨石中找到。因此，这些地球物理方面的研究告诉我们，可以选择做为上古化学反应的原料有很多，包括富含氢原子的气体和液体在内。

核苷与氨基酸是决定因素

对生命前进化期的化学研究是由米勒（Stanley Miller）在1953年所做的长期实验而开始的。米勒制作了一个逼真的小型大气模型，里面放有甲烷、氨、氢分子和水，然后在里面放电，再搜集反应的产品，结果他发现里面有一堆有机物的混合物，而其中有相当高的比例是氨基酸！其他许多人都曾重做米勒的实验，只是换了一些东西，比方说以紫外线或游离辐射来替代放电作为能量来源，其结果都相当符合。米勒实验所带来的冲击是：我们可以靠上古时代的地球环境，自行创造出氨基酸来。因此只要存在着这样的大气，再加上来自太阳的紫外线照射，氨基酸的量应该很多才对。它们会被雨水从大气中冲刷下来，并在洼地中聚集起来，当雨水蒸发之后，这些化学物

质就被留在那儿形成有机池沼。这是一个大家都很熟悉的故事，池沼中的氨基酸和其他有机物质正等待着某种生命的产生，把它们组织起来。以目前对地球物理及化学的研究显示，这个故事可能和事实相去不远。

另一方面，要从无生命的地球产生核苷就不是那么容易的事，直接用元素来合成核苷的实验从来没有成功过。核苷是不稳定的物质，其结构也比氨基酸要精致得多。因此在上古时代的地球表面，核苷是极稀有的品种，它们很难被合成，合成后也很容易就分解掉了。目前没有人找到一个够快的方法来从元素合成核苷，也因此我们认为，这些核苷要在分解之前找到同伴合成核酸的机会，实在很低。

过去 30 年来，广泛的化学研究显示，在生命前进化期中，很容易形成氨基酸，但核苷就要难得多。我们并不能说核苷的合成是不可能的，只是如果真的发生了，那一定是使用了某种现代化学家都不了解的神秘方法。这个结论可以说是支持双起源论而反对单起源论的，单起源论必须在生命开始之前，所有的氨基酸和核苷都已经自然准备妥当；而双起源论则在开始时只需要氨基酸存在即可，核苷只是后来生成的副产物。由化学模拟出来的结果虽然并没有否定单起源论，但至少是一个很强的不利因素。

对生命发生前后的许多事情，已经有许多实验及观察的证据可加以说明。在生命发生前的情形，可以由地球岩石及宇宙中的许多现象寻求蛛丝马迹；而要得知生命发生之后情形，可以观察化石。但对于生命起源本身，如何由无生命的有机池沼变成生命组织，就完全找不到任何证据。当我们尝试去了解其中的本质时，就必须不管实验证据，而求助于理论。

生命起源的三种理论

生命起源的理论有三大类，我以各类理论中最有名的提倡者命名，它们是欧帕林 (Alexander Oparin)、艾真和凯恩—史密斯 (Graham Cairns-smith)。我并不知道是谁先想到这些理论的，其中欧帕林的理论是出现在 1924 年他的书中，书名就是《生命的起源》(The Origin of Life)，当时还完全不清楚有关基因的结构和化学性质这些事情。欧帕林假设生命发生的次序是：先有细胞，蛋白质次之，最后才出现基因。欧帕林在观察中发现，当适合的油性液体和水混合时，会出现一种稳定的油水混合物，其中油性液体形成许多小油滴并悬浮在那儿。许多非生物过程都会形成这种油滴，而在活细胞中也存在着许多类似的东西。欧帕林假设，生命是由许多复杂的化学物质聚集成分散油滴而产生的，其物理架构是：先有细胞（也就是油滴），再有蛋白质的出现，蛋白质将乱七八糟的分子在油滴中组织成代谢循环，最后出现基因。由于欧帕林对基因的功能只有模糊的概念，因此他认为基因比蛋白质有更高层次的组织程度。

欧帕林的理论在半个世纪以来，广被生物学家所接受，因为这似乎是创造论的唯一替代方案。然后在过去 20 年中，艾真提出了另一个和欧帕林理论完全颠倒的想法。他把事情发生的顺序完全倒过来：先有基因，再有蛋白质，最后才是细胞。现在这已经变成最时髦也是最被广为接受的理论了。它受欢迎的原因有两个：首先，由于艾弗瑞发现基因是由核酸所构成的，这使得基因比蛋白质容易进行研究；其次，艾真和欧帕林的实验，都使用 RNA 为实验材料，这使得 RNA 复制过程成为许多生物学家争相研究的材料。而一旦基因

密码的谜被解读之后，我们很自然地就会认为，核酸比蛋白质更基本也更重要。艾真的理论认为，先有能复制自己的 RNA，然后蛋白质很快地出现以构成现代的基因结构，最后再形成细胞把所有质素连结起来。

生命起源的第三个理论是凯恩—史密斯理论。这个理论认为，在核酸形成之前，一些存在于粘土上的矿物质微结晶可能是原始的基因材料。粘土的微细结构中含有规则的原子排列位置，但这些位置上所含的金属种类并不相同。这些金属原子可以看成是 RNA 中的核苷一样，能携带信息。这些微结晶通常有两面暴露在周遭环境中，如果有一滴溶了许多有机物质的水吸收了这些微结晶，那些不规则分布的金属可能吸附住特定分子到表面上，并以金属原子分布顺序进行催化反应。

以这种方式相互作用，包含在金属排列顺序中的信息，也许就能传给溶解在水中的化学物质。这些微结晶可能和 RNA 一样，具有指挥氨基酸和蛋白质进行新陈代谢的功能。此外，这些微结晶也能复制藏在金属原子中的信息。当微结晶因吸收溶解在水里的原子而逐渐变大时，新形成的粘土层易形成和其下方的粘土层相同的结构。如果我们将新旧两层粘土层切开，那么新暴露出来的表面会具有和原来相同的排列形式。因此，粘土晶体在理论上可以具有基因组织的两种基本功能：它们能复制所携带的信息，也能将信息传给其他的分子。这里所谓“理论上可以具有基因组织的两种基本功能”，指的是它们可能有这种功能。但效率可能非常低。目前没有任何证据显示，粘土可以像个催化剂或是有效的复制器，作为生命的基础。凯恩—史密斯认为，粘土可以达成这些目的，但目前还没有人做实验来验证他的对错。

凯恩—史密斯的生命起源理论是：粘土第一，其次是蛋白质，细胞第三，最后才是基因。生命的发生，是先由粘土结晶指挥吸附到其表面的蛋白质进行合成，然后粘土和蛋白质学习如何制造细胞膜，把自己包进细胞膜中；而这些包含粘土结晶的细胞，能发挥含有核酸的现代细胞的类似功能（当然要粗略得多）。这种以粘土为基础的早期生命可能真的存在过，而且也进化了数百万年。直到有一天，某个细胞发觉 RNA 是比粘土好得多的基因材料。而一旦 RNA 被创造出来之后，因为 RNA 是比粘土好得多的基因材料，所以使用 RNA 的细胞，就比使用粘土的细胞在代谢的精确程度上，占了极大的优势，最后以粘土为基础的生物就被以 RNA 为基础的生物所取代。

直到目前为止，没有任何决定性的因素让我们接受或否决这三种理论中的任何一种。它们之中可能有一个是正确的，当然也可能三个都是错的。而我们也还不知道应该设计怎样的实验，来分辨它们的真伪。我个人比较偏好欧帕林的理论，并不是因为我觉得它应该是正确的，而是由于这个理论并不时髦。近年来的研究主要集中在艾真理论的探讨上，而欧帕林的理论则几乎完全被忽略了。但藉着近代的许多发现，我们可以对欧帕林的理论做更有系统的分析。我个人对生命起源的研究，就是试图利用木村的数学工具，把欧帕林理论放进现代的理论架构中。

我发现如果用第四章中所问的问题来看，能帮助我们了解这些理论。比方说，生命到底是一次发生的还是分成两次发生的？代谢和复制功能是同时出现的，还是个别分开出现的？凯恩—史密斯理论看起来就不折不扣是一个双起源理论。首先，生命主要是建构蛋白质代谢组织，加在这个组织上的粘土成为复制的工具；而生命的第二个起源，凯恩—史密斯称之为“基因取代”的过程，是由核酸组成的基因组织取代粘土组织的过程。在凯恩—史密斯的

想象中，生命的两个起源间隔了很久的生物演化时间，因此核酸出现的时候，细胞中已具有高度组织化的蛋白质和细胞膜。欧帕林和艾真的理论看起来就像单起源论了，因为他们都假设生命的起源是由单一的程序所完成。欧帕林把重点放在代谢上，很少讨论复制；艾真则把重点放在复制上，认为代谢功能是在复制功能一出现后随即发生。我认为如果把欧帕林和艾真的理论放在一起，并把它们看成双起源理论的两个组成部分，会更为合理。如此一来，欧帕林和艾真可能都是正确的，欧帕林是描述生命第一次的发生情形，而艾真则是讨论第二次的发生；这样我们可以合并两个理论的优点，而除去它们的弱点，而合并后的欧、艾两氏的理论会和凯恩—史密斯的理论十分类似。简单地讲，后者的理论是欧氏理论加上艾氏理论，再加上一点粘土而已。

逐代累积造成“错误剧变”

艾真的理论有其困难处。任何有关复制功能起源所碰到的主要问题就是；如果一个复制组织想要工作的话，它必须进行完美无缺的完全复制。如果复制功能不够完美，那么在复制自己的时候就会有错误产生，而这些错误就会一代一代地累积下去。这种错误的累积能使系统愈来愈乱，到最后完全失去秩序，称为“错误剧变”（error catastrophe）。同样的困难也存在于凯恩—史密斯的理论中，由于凯恩—史密斯的理论认为，粘土结晶是一代代传递信息的工具，那么这种晶体的复制就必须异常地精确，以保存住正确的信息。

在艾真理论及凯恩—史密斯理论中，如果要避免“错误剧变”的产生，我们必须假设，在复制的分子间有强烈的物竞天择效应存在，而那些错误的复制品都在选择的过程中被筛除掉了。换句话说，那些正确的 RNA 分子应该不断增长，而其他不正确的分子则以不同的速率死亡。然而如果有很强的物竞天择效应，除非错误发生的机率很低，否则错误剧变还是会发生。艾真曾经为错误剧变建立了一个数学理论，其结论大致如下：如果有一个自我复制的系统，其中含有 N 个独立的单元，在艾真理论中是含有 N 个核苷的 RNA 分子，而在凯恩—史密斯理论中是表面上含有 N 个金属原子的粘土微结晶，则除非在复制过程中误差发生的比例在 $\frac{1}{N}$ 以下，否则错误剧变就会发生。

避免错误剧变发生的要求是非常严苛的。在现代较高等的组织中， N 的级数约为 10^8 ，而误差机率必须在 10^{-8} 左右，这个条件很难成立。为了达到 10^{-8} 的低误差要求，现代的生物组织已经拥有极精确的双重检查系统，并能在复制系统中修正错误。但是在这种系统建立之前，可以想见误差机率一定要高得多。因此艾真的要求，成为所有把复制当成生命起源主要部分之理论的严酷考验。

所有在无生命状态下进行的 RNA 复制实验，最佳的误差率都在 10^{-2} 左右；如果我们想要在没有其他预先存在生命的帮助下，要让艾真提出的条件成立，那么这个复制系统最多不能复制超过一百个位元的资料。而一百个位元的资料要用来描述任何有趣的蛋白质化学都太不够了！这并不是说艾真的理论是不可行的，而是说艾真的理论需要一种极其简单而又极端精确的信息处理系统；而我们并不知道在生命刚刚发生时，情况究竟如何。

早期生命应该容许较高误差率

我选择欧帕林理论做为研究方向的原因，是因为藉由它的帮助，可以跳出错误剧变的限制。在他的理论中，生命的起源和复制功能的起源是两码事。第一个活的细胞并没有精确的复制系统，因此它可以容忍较高的误差率。欧氏理论最主要的优点，在于能接受高误差率，而容许早期生命进化的进行。由于他认为最早出现的生物只是一堆松散的分子结构，并且不具备任何基因结构，因此在只要分子具有活性就可以进行代谢功能的前提下，这个生物不必太精确，而能忍受较大的误差率。纵使有些分子改变或不发生作用，整个代谢功能仍然可以照常进行。由于此时分子族群的扰动一定很大，我认为基因漂移有可能成为演化过程的主要驱动力。

在过去几年中，我试图将欧帕林的理论放进数学架构中以计算其结果，这个简单的模型带给我很大的乐趣。我假设一项简单而随意的分子互动机率的规则，把整个理论简化成一个玩具模型，整个杂乱的生化程序被一个方程式所取代。这类建立玩具模型的方式是理论物理学家常玩的把戏，当真实世界复杂得无法解析时，我们就为自己建立一个方程式足够简单的玩具模型；而有时这个玩具模型，能将真实世界的内涵凸显出来。而更常见的是，正如其名，它是物理学家的数学玩具。在这个例子中，玩具模型和真实世界可能有、也可能没有任何关系；然而不论其前提是否合理，至少其结论是明确的。由给定的起始条件，这个模型的表现，正如我们希望上古生物中的分子群所表现的行为：以合理可计算的机率，在具有代谢行为及不具代谢行为的两种状况之间游移。

较大扰动带来“生”与“死”的跳跃

在此我们遇上一个和生物系统中“生”与“死”的分野相当类似的情况。由于有秩序分子群能彼此合作，而能维持一个使大家都保持活化状态的催化周期，因此我称这些有秩序分子群是“活”的；而那些没有秩序分子群通常都不具有活性，因此我称之为“死”的。一个分子群不管是“活”的还是“死”的，都会在此状态下保持相当长的一段时间。虽然同时有许多小扰动存在，但不会偏离稳定状态太远。然而，细胞中的分子群中所含的分子数目相当多，因此整个分子群必然有机会发生很大的扰动，而从一个稳定状态“跳跃”到另一个稳定状态上。当一个“活”细胞跳到较低的状态时，我们称这个跳跃为“死亡”；当一个“死”细胞跃至较高的状态时，我们称这个跳跃是“生命的起源”。

在这个模型中有三项要件：第一项是将生物族群应用到分子族群的基本方程式；其次，是以基本的热力学提供各种化学成分的反应速率程式；第三项则是使用处理化学混沌到化学秩序的统计方法，这和物理学上常用有序一无序转移的处理方法很类似。

现在我们已经有了模型，接下来该看看它的结果是否会发生一些有趣的现象。这里所指的“有趣现象”是：在合理的范围内，能否发生由无序跳跃到有序状态的转移现象？目前发现，在总共包含一万个单元分子群中，发生了这种有趣的跳跃现象。一个拥有数千个单元分子族群，可以连结成数百种大的分子结构，这正足够形成有趣的催化周期；而虽然拥有一万个单元

的分子群，已经大到足够形成一些复杂的生命基本反应，但仍然可能从无序状态跳至有序状态。

放弃精确复制克服错误剧变

这个模型会成功的基本原因，是由于它能容忍高误差率。放弃精确复制的要求后，就能克服发生错误剧变的困难。也正是这种不需要太精确的特色，使得包含一万个单元的族群，能在没有奇迹发生的情况下，由“死”跳跃到“生”。在其他假设具有精确复制的生命起源理论中，由于能容忍的误差机率很小，因此能发生跳跃现象的族群不能包含超过一百个单元！相反地，不要求精确复制的理论，则包含一万个单元的族群中也能有跳跃的现象。在我们的模型中，有序状态的误差机率大约在 20% 到 30% 之间；所谓 25% 的误差机率指的是在分子中，每四个单元有三个是放在正确的位置上，而催化剂的活化位置若是由五个单元所构成，则它有四分之一的机会可以完全具有活性。这种程序的效能，在不要求精确复制的系统中是可以容忍的，但在要求精确复制的系统中就完全不能接受。所以能在 25% 的误差机率下发挥功能，是我的模型能被接受的原因。

这个模型有一种奇异的特性，那就是生与死的对称性，这在现代的生物组织上是完全看不到的。在这个模型中，有序和无序状态彼此两两相对，由有序转变到无序的机率，和无序转变到有序的机率，是完全相同的，而死亡和再生的频率也完全一样。以这个观点来看，生命的发生和死亡都是再普通不过的事。

在生命的进化中，为什么死亡仍然是件普通的事，而再生变得稀罕了呢？当细胞中的催化反应愈来愈精细，而且愈来愈不能忍受误差时，会发生什么事呢？在现代细胞的代谢组织中，其误差机率大约是 10^{-4} ，而当环境的变化——比方说照射 X 光——使得误差机率到达 10^{-3} 时，细胞的精细组织就会被破坏而死亡。造成“死亡容易再生难”的主要原因，是由于致命的误差机率已经太接近有序的状态，而远离无序状态。当生命要发生时，基本上是一个能高度容忍误差机率的有序组织；而一旦生命已经发生之后，整个进化过程就朝着只容许低误差程度的方向进行，而分化出许多具特殊功能的组织。

活细胞的基本功能：“生理平衡”

这个模型还有许多不切实际的地方，它并不包含任何现代生物中所拥有的精细结构及设计。然而，这可能为生物学的中心问题：“生命为什么如此复杂？”带来一些启示。活细胞的基本功能是“生理平衡”（homeostasis），所谓“生理平衡”，就是在变动的环境中维持稳定及恒定化学平衡状态的能力。生理平衡是一种化学控制及回馈循环，这项功能可以让细胞中每种成分都以正确的比例产生，不会太多也不会太少。如果失去这个平衡，就根本没有规律的代谢，也就没有生命的存在。“生命为什么如此复杂？”换句话来问，如果有一个分子族群能够稳定代谢、生理平衡，这个族群必须包含多少不同种类的分子？

如果我们是讨论现代细胞的情形的话，一个平衡系统需要的分子数目，可以从生物学上的证据中找到答案。细菌的种类很多，而大多数的细菌所包

含的化学物质有几千种。如果现代细胞需要几千种物质来维持生理平衡，那么上古时代的细胞需要多少呢？严格来讲，我们不知道。由于缺少基因组织，上古细胞要维持生理平衡的结构，必然与现代细胞有极大的不同。在我根据欧帕林理论所做的模型中，其数学计算的结果暗示，一个刚发生的原始生命应该拥有约一万个组成单元，并且构成约数百种化学分子。然而问题还是存在着：到底真实世界中的上古时代细胞，能不能只用几百种化学分子，而非现代细胞所使用的数千种分子，来达成生理平衡呢？在我们对生命起源能建立更完整的理论之前，必须解决这个问题。但解决这个问题的唯一方式是做实验。40年前，薛定愕建议生物学家进行基因分子结构的实验，这个建议在当时提出正是时候！我现在建议生物学家进行生理平衡系统分子族群的实验探讨，希望这个建议正合其时。

我现在回到模型上，并试着查考由它所衍生出来的其他问题。这些问题不见得只出现在这个模型中，其他认为在复制功能发生前就能达成代谢功能及维持平衡的生命起源理论，都会产生这些问题。以下将一一列举问题，并提出我个人的看法。在20年以后，生物学应该进步到可以看出其对错。

1. 分子生物学中的中心定则(the Central Dogma)能否应用于生命产生之初？

生物学中的中心定则说，基因的信息是由核酸传递而不是由蛋白质来传递。除了一两个特例之外，对所有的现代组织而言，这个定律都是对的。我的理论模型则暗示，在生命刚发生的时候，这个定律是不正确的。根据这个模型，第一个细胞传递信息给后代子孙的方式，是经由蛋白质而非核酸。我认为一群可以互相催化合成的蛋白质群体，毫无任何逻辑上的理由说它们不能携带信息。

而一群不能精确复制的分子到底能携带多少信息，这个问题就和生理平衡的本质相关。生理平衡是指：无论环境或分子数目如何变化，都还能保持化学架构的机能。遗传信息是由整个架构所携带，而非由单一种类的分子来携带。但是目前并不知道要如何定义这种架构，或如何将生理平衡进行量化处理。由于缺乏对生理平衡的深入了解，无法计算一个细胞中维持生理平衡的结构能携带多少遗传信息。

然而在细胞化学及生态学的研究中，有个趋势好像是正确的，那就是：生理平衡机制喜欢复杂，而不喜欢简单。

生理平衡在许多彼此牵连的周期中，会进行得比在少数几个独立的小周期中顺利。我们并不知道原因，而又兜回了“生命为什么如此复杂？”的问题上。然而，无论如何，高复杂度生理平衡系统的存在是事实。这可能是大量遗传信息可以在没有核酸软件及没有精确复制组织存在下传递的证据。

2. 所有生物的最后一位共同祖先最晚是什么时候出现的？

现存所有的细胞都具有类似的化学架构，因此可以证明：所有的生物都是由同一个祖先演变而来的；但这个证据无法说明我们最后一位共同祖先出现在什么时候。遗传上的证据给了我们每棵演化树分枝的相对时间，但不是绝对时间。如果要决定绝对时间，则必须求助于化石的证据。以化石证据来找寻早期生命绝对时间的先驱是巴儒(ElosBarghoom)。微生物化石在岩石中保存得最好的是燧石，这是一种细颗粒的硅岩。这种硅岩是由水中溶解的硅化物慢慢沉积而成，这个程序对任何埋入其中的小生物不会构成什么压力。燧石一旦形成之后就变得很硬，而且不产生化学变化，因此埋在其中的

生物体就可以受到良好的保护。巴儒和其他人所搜集的化石是一些小小的黑色斑点，其内部结构很难辨认，而且并不是全部的化石都能确定是有机物。我自己并不试着判断这些细微的斑点是细胞的化石，或只是一般的沙尘，我只接受那些专家的意见，他们说大部分的斑点其实就是化石。

对细微化石的观察结果，可以总结如下：主要在南非出土，而确定其年代在 30 亿年前的化石中，我们发现了聚集着具有现代细菌形体及大小的化石；主要在加拿大出土，而其年代确定为 20 亿年前的化石中，我们发现了一些类似藻类的物体，其中包含成串的细胞及其他多细胞的组织；主要在澳洲出土，而其年代确定约在 10 亿年前的化石中，我们发现了具有一些内部构造痕迹类似现代细胞的生物。

地质学家测量不同化石的年龄，是非常准确可靠的。不幸的是，目前并不知道这些被判定了年龄的化石原为何物，也不知道如何判定不同的化石在演化树上扮演何种角色。除了形体和大小的相似之外，没有证据可以说明那些 30 亿年前的细胞和今天的细菌有任何亲属关系；没有证据可以看出 30 亿年前的细胞有任何遗传功能的组织；也没有任何证据显示化石中含有核酸。就目前所有的证据来看，30 亿年前的细胞可能具有现代的遗传组织，也可能是缺少核酸的品种，或是介于两者之间的任何组合。所有生物的最后一位共同祖先可能出现在 30 亿年前，20 亿到 30 亿年之间，甚至是在 20 亿年以内，这是因为直到 10 亿年前的化石中才出现称得上是“现代”的细胞。要找出最后一位共同祖先出现的时间，必须能将演化树上各个分枝点和化石证据连结起来。演化遗传学家最要紧的工作，就是把由遗传建立的相对年代与地质学家所决定的绝对年代连结起来。除非这个问题先解决，否则遗传证据和化石证据都不足以决定我们最后一位共同祖先出现的年代。

现代遗传组织的演化，可能需要数十亿年才能完成；而古代的微生物化石，可能在基因存在前就已经存在了。基因遗传方式的建立也许加速了演化的脚步，而我们最后一位共同祖先可能出现得很晚，甚至可能晚到从生命发展至今的半途上才出现。

3. 能否以化学方法来实验我的玩具模型？比方说，一个以数千个氨基酸形成的蛋白质族群可能以 80% 的正确性来催化彼此的合成反应吗？这样一群分子可能存在于一滴液体中，而以外界供应的能量及原料达成生理平衡的状态吗？

这些都是只能用实验才能回答的问题。

4. 如果最后有关生命起源的问题已经解决了，我的模型又如何呢？

这是由玩具模型衍生出来的最后一个问题。答案非常简单，它已经由两百年前我喜欢的诗人威廉·布雷克 (William Blake) 回答了：

成为一个错误及被抛弃也是上帝精心设计的一部分。

在《生命是什么？》这本书的结尾，薛定谔写了四页的结论，标题是“有关决定论及自由意志”。他在那儿描述他个人的哲学观，以及用他主观的自由意志来考虑客观上对生命起源结构的了解。薛定谔的词汇精简无比，我并不想和他比较，看能不能以四页做个总结；相反地，我会以更广泛的讨论来作为本章的结尾。我希望不仅谈个人的哲学观，同时也能涉及其他的科学范畴。我使用“科学”这个词汇是一种广义的说法，它包含了社会科学和自然科学在内，而我特别注意的是生态学、经济学及文化历史方面的科学。在这些科学领域中，我们都会碰到类似的问题，那就是了解生命起源的根本问题：

生命为什么如此复杂？而每个学科都可能从其他学科那儿学到一些东西。

复杂开放的生命更强韧

生理平衡的概念，可以毫无困难地由分子转移到生态学、经济学及文化历史的内容中，而在每个领域里我们都可以发现一项无法解释的事实，那就是：较复杂的生理平衡结构比简单的要占优势，同时也更有效率。这在生态学上看得特别清楚，比方说一个稳定的族群——几亩的森林或是几平方英尺的杂草地——都包含有数千种不同的品种，它们彼此之间有高度的关连性及许多特殊的功能。而同样的事情，也可以在经济或文化上看到。一个自由经济体制或是文化开放的社会，纵使有缺失，总是比那些中央计划经济及文化封闭的社会要强韧得多。如果是由统一的经济计划或以政治来控制文化，所建立的生理平衡并不能使这个经济体制或社会更稳定。相反地，由中央控制所构成的简单生理平衡系统一般比较脆弱，而不太能克服历史潮流的冲击。由自由经济及开放政治所构成的社会，其耐冲击性就要强得多。

但是这一章并不是为自由经济辩护的政治性谈话，我的目的是指出，细胞和社会上生理平衡的相似性，并由生态及社会历史找出生物学的精神，而非反过来从生物学上找出政治上的意义。幸运的是，其实许多支配科学界的大师是顺着这条路而行的。科学史的专家都知道，达尔文在研究物种的演化时，受到所读的政治经济学家著作的影响非常深，这些著作包括亚当·斯密（Adam Smith）、马尔萨斯（Malthus）和马库卢（McCullough）的作品。达尔文说自己的理论是：“将马尔萨斯的教诲用到整个动植物王国”。而我所提出来的，是把现代生态学上的教诲，应用到上古细胞的分子程序而已。

以我们目前无知的程度来说，对生命刚开始时的生物结构，可以有两种截然不同的看法：一种是艾真的复制模型，其中分子结构是紧密连接的中央控制系统，能精确地复制自己，并能以一定的结构达成生理平衡；另一种看法则是达尔文在《物种起源论》一书中的末尾，所提出来对“生命是什么？”这个问题的看法。他认为所有的花草、蜜蜂、蝴蝶都是由不具特定形式的松散结构所发展出来的，而其生理平衡则是以一大堆互相关连的复杂结构所完成，其复杂程度至今我们还不能完全了解。

容许误差的松散结构

当我在构想第一个出现的细胞到底是什么样子时，在我心中出现的画面是这类的松散结构：其中有一堆分子，它们互相缠绕、连结，就像达尔文世界中的植物和昆虫之间的关系。也正是这个画面让我认为，一堆分子要踏出生命第一步的首要需求，就是必须能容忍误差的发生。而能容忍误差，则是自然生态体系或自由经济体系具有良好体质的保证书。我相信从生命一开始后，这就已经是生命的本质了。但是复制和对误差的容忍，在根本上是无法兼顾的两回事；也正是这个原因使我认为，在生命刚开始时，复制功能不可能存在，而第一个细胞应该无复制功能，并且是可以容忍误差的松散结构。而复制本身，则是后来经外在感染的结果。也只有当外来的入侵者逐渐融入，能调合复制功能与容忍误差这两者间的矛盾，最后经由遗传密码及现代遗传组织的演化，整个系统才会变成今天这种样子。

现代的系统以建立软件及硬件的分工，达到调和复制与误差容忍之间矛盾为目的。在现代的细胞中，其遗传组织——也就是硬件——是被严密控制，且不能容许任何误差。这种硬件上的要求是为了确保复制的正确性；但是，我认为它并未失去在生命起初就存在的容许误差特性，只是这个特质已经被传给了软件。在现代的细胞中，虽然硬件具有特定的组织并被严密控制，其中的软件却仍然具有一定程度的自由，它们常常犯错，而有时发生的错误产生了新形式的生命。这种由硬件传到软件的结构设计，使得分子架构和它们的祖先一样，能在一定范围内拥有创造的能力。

人类社会的“自私基因”

道金斯(Richard Dawkins)在他的书《自私的基因》(The Selfish Gene)中，已经清楚指出：生物遗传组织的进化，与人类社会中文化的进化非常类似。这本书主要是谈生物的演化，而文化方面的类比只在最后一章中出现。他的主要论点是：那些对所有生物必须拥有遗传复制组织的要求，是演化过程中硬加上去的，每种生物都是它们自己基因的俘虏，而以最可能生存的方式发展下去。只有基因本身有这样的自由，试试看新的生命形式是什么样子的，每个组织都必须听从基因的命令而行事。这种基因唯我独尊的时代持续了30亿年之久，直到近几十万年才被唯一的种族——灵长类——打破这种情况。我们发明了语言、文字和文化，现在人类的行为模式主要是由文化决定，而不是纯粹由遗传来决定，我们已经悄悄偷回了原为基因所控制的选择与犯错的自由。

在道金斯著作最后一章中，他描述了一种由人类文化所产生的新暴君，这位新独裁者的名字叫做“双我”(meme)，如果做个类比的话，双我是文化的基因；它将人类的行为模式以文化的方式一代代地复制下去。双我的例子有：宗教信仰、语言习惯、艺术及科学的时尚，食物和衣着的潮流。如果把双我看成是文化上的基因的话，那么几乎在遗传演化上看到的所有现象，在文化演变的过程中都可以看到。双我和基因一样，是一种行为自我复制的单元，而双我也和基因一样自私。人类文化史也告诉我们，双我是和基因相同的暴君。但是道金斯在结束这一章时做了呼吁，他认为我们如果能好好思想，应该有能力超越双我的影响，就好像我们的文化给我们力量，超越基因的影响一般。他说，独处在地球上的人类应该可以对抗这种自私的复制暴君。

道金斯认为，人类的情况和火神普罗米修斯反抗天命(复制功能)很像，确实有几分道理。我们的确被自然所厌恶，他的看法也真的可以解释一些文化中看起来非常神秘的事情。但是道金斯的描述仍然缺了一半，就像艾真一样，他们都把复制功能的历史就当成了生命的历史，并相信复制功能的起源就是生命的发轫！在他的历史观中，复制功能永远控制着一切，而他认为在生命开始时一切都十分简单。而以我在本书中所一直阐明的观点看来，却恰恰相反，我认为在生命刚开始时情况是十分复杂的，而刚开始的生命是以复杂分子结构所形成的生理平衡为基础。因此，不论是单一分子，一个生态系统，或是一个人类社会，自然界都是趋向复杂的，生命只有在将分子的复杂性传给软件之后，才能接受一个完全精确的复制系统。而在复杂性由硬件传给软件之后，生命仍然是一堆复杂且互相连结的分子结构，其中复制功能只是诸多组成的单元之一而已。

事实上，复制功能从未像道金斯所想象的那么受严密控制过。我认为整部生命史是一首二重奏的音乐，其中复制的声音希望能运用自私的天性，来控制整个网络；而生理平衡的声音，则试图使系统愈来愈复杂，也愈来愈有弹性。复制功能的暴君天性，通常都被从远古时代就存在于每个组织中的生理平衡所调和。

“垃圾 DNA”的存在

现代遗传组织的发展过程中，最有趣的一件事就是发现了“垃圾 DNA”，这是一堆存在于细胞中却没有任何生物功能的分子。这些垃圾 DNA 对我们既没好处，却也没有坏处，它们只是搭个便车，并且利用一下我们有效率的复制功能。我们无从得知身上的 DNA 有多少是具有功能，而又有多少是完全没有功能的；然而有几个证据显示，我们身上的 DNA 至少有一半都是垃圾！这些垃圾 DNA 的存在，是生命形式时常变化的重要证据，而在人类的文化中，也可以看到类似垃圾 DNA 的成分存在。文化中有许多垃圾，和双我暴君一起被复制下去，就好比垃圾 DNA 被基因一起复制一样。垃圾文化是我们文明中的渣滓，像电视广告、占星术、老式唱片点唱机和政治宣传；而容忍这些垃圾，是生命最基本的特质。在生命的每种形式中，不论是文化、经济、生态或是细胞，最能生存的系统，必然都是那些尚未精密调整以至于携带了一堆垃圾的系统。如果第一个细胞中的垃圾少于 25% 的话，我会感到非常惊讶。

我试图由个人的哲学观出发，来考虑生命的起源：我认为生命的本质中，生理平衡比复制重要，复杂比简单重要，细胞的适应力比基因的独裁重要，而整体容忍误差的能力比每部分的精确重要。我所找到的架构，是一个简单到几乎不可能的抽象数学模型；但是这个模型却具有我认为生命具有的粗糙本质：松散的结构及容忍误差的能力。这个模型比以往的看法要更能符合生命的总体行为。

最近已有许多分子生物学的证据，证实了这种新的演化过程。爱德华·威尔森 (Edward Wilson) 描述细胞中的基因像是：“一个由各种生物组成而又生机盎然的雨林，其中每一部分都在变化的动态中。”以雨林做为比喻，是以前在粒子物理学中常使用的，而现在却在分子生物学中重新出现。我个人的偏好让我相信：威尔森的比喻不仅是描述现代细胞，同时也是描述从生命初始的演化过程。我认为这种随机跳跃的结构，是比达尔文物竞天择更强的演化驱动力。但如果不能由实验来加以证明的话，这些看法都只是空话而已。我建议应该进行新的实验，而这项工作要看实验家愿不愿意去完成。

第六章 生命的终极是什么？

如果人类不选择主导地位，
其他生物就会做出选择，取而代之。
如果人类不幸走上灭亡的道路，
还会有更聪明、更幸运的物种延续下去，
因为心智是永恒的，愿意耐心等待。

在前两章中，主要是讨论自然界与生命起源。在这里，我遵循一个所有学科学的学生都知道的规则：局部事件以局部原因来加以解释。因此，我把生命起源和宇宙起源分开来看。生命起源是在特定星球上特定时间发生的事情，所以我们可以假设它是个局部事件。目前已知地球的年龄比宇宙年龄的一半还要小，那么生命的发生就应该和宇宙年轻时的情况没有太大的关系。因此，依据上述处理原则，在我们找寻生命起源的解释方式时，可以将之看成在地球发生的一连串物理及化学过程，这些过程不受很久以前及很久以后事件的影响。

如果说某个生命起源理论是成功的，即指某项假设的一连串局部事件，可促使生命发生；然而宇宙起源则是另一个领域中一群专家所关心的事。这种将宇宙学和生物学分开来的做法是颇让人遗憾的，但这的确是当前科学的架构。所有天文学理论都假设宇宙早期的演化是纯粹的物理过程，这其中生命没有任何地位。

我并不打算详细讨论有关我们对宇宙早期历史的认识。原因之一是宇宙早期历史似乎对生物学没什么价值，与我的主题也没什么关系。另一个原因是温伯格（Steven Weinberg）已经写了一本精彩绝伦的书《最初三分钟》（The First Three Minutes），他以通俗的文字介绍了目前对宇宙早期的最新了解。虽然温伯格的书在 1977 年发表，但书中所说的到目前为止都还是正确的。我不太同意温伯格的哲学观，但我完全同意他所写的事实。

科学家的胆怯延误对宇宙的了解

温伯格所提出的事实之一，是科学家本身的胆怯。在潘佳斯（Arno Penzias）和罗伯·威尔森（Robert Wilson）于 1965 年发现宇宙中的背景辐射之前，没有人把有关早期宇宙的理论真的当一回事，甚至就连发明这些理论的人本身也是如此。加莫（George Gamow）在 1948 年正确地预测了宇宙背景辐射的存在，但一般认为他是个科学推广者而不是真正的科学家。正如同温伯格所说的，科学家的胆怯延误了对宇宙的观察与了解，他说：

这在物理界是常有的事，我们的错误并不是对理论太认真，而是太不够认真。通常我们很难真的相信，在书桌上写的数字或方程式和这个世界有什么关系。更糟的是，大家通常认为有些现象是理论或实验无论如何也无法做到的……在 1965 年发现的背景辐射，迫使我们正视早期宇宙存在这个想法，这是这项发现中最重要的事。

由于潘佳斯、罗伯·威尔森、温伯格及其他人的努力，现在研究宇宙起源是一件受人尊敬的事，而那些研究宇宙最初三分钟或甚至最初一微秒（百万分之一秒）的专业物理学家，在谈起自己的工作时，也用不着觉得不好意思了。但是讨论宇宙的死亡则是另一回事。我曾经找寻有关宇宙末日的论文，

结果能找到的非常少；而让人震惊的是，这些论文是以一种抱歉或滑稽的形式写出，好像那些作者在恳求我们不要把这些论文当一回事！现在讨论未来的研究，其情况和 30 年前讨论过去的研究差不多。我特别感谢一位物理学同事伊思澜 (Jamal Islam)，是他一篇 1977 年的论文使我开始思考宇宙未来的事。伊思澜和我希望能使宇宙末日学成为受尊敬学科的日子早些到来，而不会永远只是神学的一支而已。

温伯格并不能免于我一直试图避免的偏见。在他书中的最后有短短的一章是谈到未来的，他花了 150 页的篇幅谈宇宙最初的三分钟，然后以五页把未来一笔带过。在不讨论任何技术性细节的情况下，他写下了值得纪念的一段话：“当我们似乎更了解宇宙时，宇宙也就更难掌握。”

生命目的价值成为科学禁地

温伯格在此也许不经意提出真正的问题所在：如果不考虑生命和知识的影响，我们根本不可能对宇宙的未来做详细的讨论。而如果不触及哲学上的问题，我们也不能计算生命与知识的能力。如果我们想要探求有智能的生命如何引导宇宙的发展，以符合其需求的话，我们也不得不考虑有智能生命的目的和价值。但只要一使用“目的”和“价值”这些字眼，我们就碰到 20 世纪科学中最大的禁忌。听听科学界的教父莫纳德 (Jacques Monod) 在《偶然与必然》(Chance and Necessity) 一书中所讲的话：“任何想把知识和价值混为一谈的作法都是违法且被禁止的。”

莫纳德是使本世纪分子生物学大放异彩的大师级人物，因此要反对他的看法还真需要些勇气才行。但我现在要反对他的看法，并且鼓励大家这么做。这种将知识和价值分开的看法起源于 19 世纪的一场战争，这场战争是由赫胥黎 (Thomas Huxley) 领导的生物学家对抗由韦伯福主教 (Bishop Wilberforce) 领导的宗教人士，最后赫胥黎赢了这场战争。但在 100 年后，莫纳德和温伯格还在和韦伯福的鬼魂奋战。今天的物理学家没有理由再惧怕他的鬼魂，如果我们对未来的分析，可以引出有关生命最高的意义和目的等问题，那么让我们好好地广泛讨论，何须羞怯！纵使我们对这些问题的答案天真而粗浅，也对持续科学本身的生命力大有好处。

我曾经在第三章中提过一个胆怯科学家的例子：牛顿。牛顿是他那个时代中最伟大的理论家，但仍然压抑并隐藏自己对超越科学禁忌范围的研究。虽然他的成就非凡并得到举世崇敬，私底下他却有个胆怯的灵魂。牛顿是位一神教派的信徒，但为了怕影响自己在剑桥大学的教职，他只敢在私底下写下看法，而不敢当众表示意见；他也是位“地下”的天文学家，但由于怕同事反对他的看法，牛顿也从不公开说明自己对生命在宇宙中地位的看法。

只是推测“如果怎样，历史将会如何……”对事实是毫无助益的。如果牛顿当初有勇气发表他对天文学作的一些推测，那么对 18、19 世纪的欧洲文化史会有什么影响呢？从他的文件准备情形来看，那是一份改过几次的最后完稿，因此牛顿曾经想发表这篇东西。如果他真的这样做了，以他的无上权威，取代文艺复兴时代对宇宙的浪漫观点，这会造成什么差别？欧洲文化能否避免形成文艺复兴时代狭隘的理性主义和浪漫主义形成的极端非理性主义之间的鸿沟？我们能否避免拿破仑的中央集权主义与国家主义洪流之间的政治对立？我们能否就此避免科学与宗教之间的冲突？而这个冲突曾在 19 世

纪时严重阻碍知识的进步，更对今天的西方文明仍有重大影响。如果说牛顿应该为后来这些不幸负责的话，这是极不公平的；而宇宙最后会变成一片死寂，也不是牛顿的错。

理论家避而不谈宇宙生命起源

也许对每一位伟大的理论家来说，这可能都是无法避免的事：在耗尽心力千辛万苦建立了新的科学架构后，他们对继续探索未知会感到害怕。这种胆怯是人类的正常反应。在一个伟大发现之后，发明者会希望安定一下，好好地巩固这个新王国。因此人们很自然地就会设定界限，并划下不再逾越的范围。如果说牛顿主导了18世纪的科学发展，那么达尔文就是19世纪的领导者。但是达尔文在许多事情上和牛顿一样害羞。达尔文的个性不像牛顿那么保守，但他在发表想法时也是犹豫不决。有趣的是：达尔文在发表其《物种起源论》前，拖了20年，牛顿在发表《原理》一书前也拖延了20年；而牛顿拒绝发表他对宇宙的推测，同样地，达尔文也不讨论有关生命起源的问题。

如果我们能了解生命在宇宙中所占的地位，我们也一定能够了解生命的起源。达尔文很明显地把生命起源踢出演化理论的范围之外。他于1839年第一次提出演化理论后不久，他写道：“我的理论内容与生命起源、成长、生殖与思想（或任何试图找出是否由某种形式产生，及该种形态究竟属什么样的努力）毫无关系。”他知道只有大量正确的证据才能说服别人接受这个理论，而他根本找不到任何生命发生的证据，因此达尔文也就不曾宣称这个理论对了解生命起源会有任何帮助。而任何这类的宣称都会暴露出其论证基础的最大弱点。事实上，达尔文可以，而且确实曾私下和朋友讨论过生命起源的问题，但由于他害怕会被人攻击，而自己又提不出证据，因此，达尔文从不在公开场合谈这个问题。所以，达尔文和牛顿一样，把自己更有活力的思想隐藏起来，而留给世人一个具有坚实基础但限制范围的科学架构，而“不谈假说”也成为他的座右铭。达尔文的限制所造成的影响和牛顿类似，两者都建立了划有清楚界限的新科学，而任何想要逾越这些界限的推测都是不被鼓励的。存在于生物学和宇宙学之间的鸿沟，也就随着各自的疆界而愈挖愈深；而像生命起源这种应该由两方面的人合力发掘的问题，反而成为双方都不管的真空地带。

幸好现在情况已有了改变。几年前在剑桥举行了一次会议，其中有像贝瑞纳(Sydney Brenner)这样大牌的生物学家，也有像霍金这样伟大的天文学家与会。会议的主题是“由物质到生命”，会中的讨论值得大书特书的，不只是那些当场就解决的问题，还有那些提出却无法解决的问题。现在我们已经开辟了一片新天地，其中从粘土的晶相学到神经物理学，包罗万象。而在这些领域里有一连串的问题要解决，甚至发展成新科学。而许多人力也正源源不绝地投入这片新天地中。

在剑桥的会议中，艾真和凯恩—史密斯曾论及我在第五章所说有关生命起源的争论，其中化学家谈实验，而数学家则谈电脑模拟。这门生命起源的新科学至少已经受到了尊重，而且进步极其快速，只不过那些天文学家在会议中很少发言。当生命起源似乎已经愈来愈接近实验验证阶段时，它与天文学的距离也愈远。到最后，测试各种理论成为化学家的工作，而不是天文学

家的工作。

我在会后返家时，心中的感觉十分复杂。一方面，这个会议成功地将不同领域的科学家集合起来，其不同的观点有助于对生命起源的了解，而生物学家、化学家、物理学家及数学家都说从彼此之间学到了不少；但在另一方面，这个会议对整合生物学和天文学的努力是失败的。生物学家、化学家、物理学家和数学家都发掘到一些有关生命起源的问题，但在此天文学家帮不上什么忙。这次会议更坚定了我的看法，那就是如果我们想把生物学和天文学整合起来，我们应该看宇宙的未来，而不是过去。

从生命起源到散布生命

一往未来看，我们不得不放下身段，无言以对。因此，我不得不混合运用科学与科幻小说来陈述我的理念。科幻小说只是以科学为工具来猜测未来罢了。不幸的是，现代的科幻小说乏善可陈：其原因在于它们大部分不仅是拙劣的小说，其科学的背景更差。我在此将试着写一部可读性高，而其科学背景正确的科幻小说。

对生命起源的了解，和对现代生物结构的了解是齐头并进的；而生物化学的进步和遗传工程的进步也具有极密切的关系。牛顿曾打消他认为宇宙充满生命的年轻梦想，但当有一天我们能掌握一切时，牛顿的梦想也许能经由我们的努力而完成。如果我们无法接收到任何来自外太空的智慧文明的无线电波信号，如果我们也无法在地球以外的地方找到生命的痕迹，那么至少有哪些部分是人类可以加以改进，以弥补自然的缺憾呢？由于目前遗传工程的快速进步，我们相信：重新设计出能在太空中或其他星球上生存的生物是可能的。一旦我们成功地将各种生物植入太空，并提供它们散布种子的机制后，单单靠着自古传下来的生殖及天择作用，就能处理接下来的演化过程。而不论我们在最初的殖入过程中有什么不当之处，其缺点都会被物种繁衍产生的多样化变异弥补过来。

要使生命在太空中生存，必须使它克服三个主要障碍，那就是：零重力、零温度及零压力的环境。三者之中，零重力可能是最容易克服的障碍，当然我们仍然不清楚这对生理系统会造成什么伤害；要克服零温度的问题，在原理上很简单，而在实践上可能极为困难。毛皮在真空中，要比在空气中或水中更能发挥隔热的效果，要在太空中生存的生物，必须学习如何将新陈代谢产生及由吸收太阳光或星光所获得的能量，和从表面散失的辐射能达成平衡。它们可能需要一种能自行控制辐射量大小的身体表面。但由于周遭环境的温度极低，这使得组织调节温度更为容易，而非更难。生命想在土星上保持温暖，要比在金星上保持冷却容易得多。一旦某种生物能学会在土星上保持温暖，那么它很快就可以学会在宇宙的任何角落保持温暖了。生命要适应零温度前，必须完成的一项重要变革，那就是：不论动植物，都必须是温血生物。地球上的生命演化过程之所以先产生温血动物，可能不过是碰巧而已，也正因为如此，在北冰洋畔我们只看到北极熊，而不是遍地的草木。当温血植物学会和北极熊一样长出厚重的皮毛来御寒后，它们很快就可以散布在土星的平野。

在太空中生存的最大障碍

对想要适应宇宙生活的生物来说，最困难的部分是适应零压力的环境。只有在学习如何生活在真空中之后，生命才可能脱离太空船或太空装而生存。从空气中移居到真空中，就好像我们的祖先在 5 亿年前由水中移居到陆地上一样。我不能假装自己懂得这种适应的细节，我也不能界定遗传学家要如何重组 DNA 才能产生所需的生命，我顶多只能重复一位老前辈丘可夫斯基 (Konstantin Tsi-olkovsky) 的话，他在 1895 年以俄文印行一本书《天地之梦》(Dreams of Earth and sky) 时就已指出生命在面对零压力时所遭遇的基本问题。我所摘录的这段文字是丘可夫斯基假想自己与带领他参观太阳系向导之间的对话：

“这些了不起的生物具有动物和植物两者的特质，所以我称之为动植物 (animal-plants)……”

“好吧，请解释一下这些生物如何避免像木乃伊一样整个干掉？”

“简单得很，它们的皮肤是由一层像玻璃的物质所组成，超薄，有弹性，并且任何气体、液体和粒子都穿不透，因此不会损失任何成分。……它们的身体有一些像翅膀的附属品，并向着太阳张开，好比是制造能量和食物的化学工厂——这样的附属品对地球上的生物而言是太笨重了些，但对零重力的环境而言，纵使其表面积高达数千平方米，也不会对生物造成负担。”

“等一下，这些动植物彼此之间要如何交谈？太空中完全没有空气的存在！”

“它们的通讯方法既自然又完美。其身体的一部分皮肤是透明的。其下层则是像电影萤光幕，能随着思想的进行放映出连续的画面，这些画面则是由皮肤下方一些微小通道中所具有不同颜色的流体所构成的。”

我引述丘可夫斯基的话到这里为止，让大家去想像那些用彩色信号互相沟通的生物到底长得什么样子。由于丘可夫斯基本身耳聋，因此视觉沟通对他而言要比听觉还自然得多。

丘可夫斯基可能曾经对自己说过类似以下的话，那时坎宁 (George Canning) 是英国的外交部长，并且刚脱离了欧洲君主独裁政府保守的联合势力，及了解拉丁美洲新独立国家所成的民主政体。他说：“我看着西印度群岛，并呼唤新世界重新建立和旧世界之间的均衡。”丘可夫斯基预言了宇宙生物学新世界的存在，藉此发明作为踏脚石，他能重建宇宙学旧世界中生命与无生命之间的均衡——也重建了牛顿所放弃建立的均衡。牛顿把生命赶出了宇宙太空，而丘可夫斯基则把它们带了回来；牛顿是统合论者，丘可夫斯基则是多样论者，如果我们也想要对宇宙有均衡的看法的话，两边的话我们都得听。

生命的抽象化假说

在本章剩下的部分，我假设生命已克服了零重力、零温度及零压力的问题，也假设生命已能像在地球上一样，生存在宇宙的任何角落。我希望在此开始能进行一些定量的讨论，而不仅仅是定性地谈生命在宇宙中生存的潜能。即使是最初步的定量处理，也都需要某种程度的抽象观念。为了使量化处理能与局部的意外事件不发生关连，我们必须不讨论任何机械及化学细节，只介绍生命的抽象概念。这个讨论将基于生命本质的基本假设：生命是组织的存在，而非物质的存在。在此假设知觉是来自头脑中分子的组织形态，

而不是分子本身。如果这个假设是正确的，那么生命就是一种组织，而不是一种物质；而由此，生命即可脱离血肉的形态，而存在于超导体电路网络中，或是在星际间的尘云里。

我现在把假设以正确的量化方式说一遍。我假设生命可以用一种抽象的假说来描述，这个假说认为每个活生物都可以用一个数字 Q 来界定， Q 代表这个生物复杂的程度。要测量 Q 值，我们不需要知道其内部的任何构造， Q 可以从生物本身的行为及其与周遭环境之间的关系求得。事实上， Q 值只是生物在接受刺激后，于产生“基本反应”期间，经由代谢作用而产生的。“基本反应”不过是一种称呼而已，它代表废热除以温度得到的值。这里我所谓“基本反应”，指的是一些简单动作，如碰一下会动，或受伤时会退缩等反应。当值以信息的位元来表示时， Q 值就变成一个实数。

对人类而言， Q 值的大小在 10^{23} 附近，这是由我们要做任何事所产生的废热所估计出来的值，它测量了人活着所必须处理的信息位元数。 Q 值同时也和人身上大分子总数差不多，这可能不止是巧合而已。但是我们的假设认为，可以只由外部测量 Q 值，而不必理会任何内部结构，就能抽象地得到其中隐藏的复杂度。复杂度是一种显性性质，换句话说，一群生物的复杂度是其中各生物复杂度的总和；而对一定环境下的生命而言，其所能到达的复杂程度，事实上和其所能使用的物质数量成正比。

生命的适应性假说

除了上述的抽象假说之外，我另外还作了一个强得多的假设，这个假设我称之为适应性假说。适应性假说认为，在充分的时间中，生命能适应任何环境。这当然是言过其实了，但是让我们先来看看，这种完美的适应性会带来什么有趣的结果，其他实际上的限制和价值的判断，都可以稍后再说。适应性假说的正式说法如下：假设现在我们有两个环境 A 与 B ，其中能量和物质的供应都很充裕，但两者的温度、压力、化学条件等等都不相同，如果具有复杂度 Q 的生物能在环境 A 中生存，则具有相同复杂度 Q 的“相当”生物也能在环境 B 中生存。此处所谓的“相当”生物，指的是在 B 中的生物 B 具有和在 A 中的生物 A 相同的行为模式。如果 A 很聪明，那么 B 也一样聪明；如果前者有知觉，那么后者也同样具有知觉；如果前者能和它的朋友谈起自己的感受，那么后者也能以主观的相当语言表达自己的想法。

抽象化和适应性这两个假说，和热力学第一及第二定律有相似之处。它们都是对自然的简单定性描述，它们也提供宇宙生物学定量化理论的基础。但这儿我将不会描述烦人的数学细节。

宇宙生物学的主要理论是说，对具有固定复杂度的生命形式适应各种不同环境时，能量的代谢速率随温度的平方而变化。这个事实有其重要的结果：这意味着冷的环境要比热的环境更适合复杂的生命形态发展。无论如何，生命是具有一定秩序的物质，而在低温下，有秩序的状态比较占优势。以长远的眼光来看，生命对丰富能源供给的需求，远不如高信号对杂讯比例的要求；而当环境愈冷，系统的背景就愈安静，而生命在使用能源时也就愈节省。

有限的宇宙注定是悲剧

生命能生存多久，不仅要看生物的适应性，同时也要看宇宙学的物理限制。如果宇宙在空间及时间上都是有限的，则生命的可能范畴也是有限的。在这种情况下，宇宙将如惠勒所描述的：由“大爆炸”开始而结束于“大崩溃”！所谓“大崩溃”指的是天空愈来愈热，直到向我们崩塌下来，再把我们一起带到具无限温度的空间一时间奇异点去，此时宇宙崩溃至“热死”（hot-death）状态。没有生命能在大崩溃中存活。如果宇宙是有限的，那么生命只能在巨大崩溃发生前散布出去；如果这就是我们的命运，那么生命就会像诗人休斯曼（Housman）所描述的：

在这平坦的沙滩上，在海洋与陆地之间，
我该筑起或写下什么——在夜幕垂落之前？
告诉我该镌刻什么样的诗句，
可以经得起浪花的冲激；
或设计什么样的梭堡，
能支撑比我更长久的岁月？

有限的宇宙本身就注定是个悲剧。它的生命力逐渐耗尽，随着时光流逝，一天天数着毁灭前剩下多少日子。当我们之中最后一位诗人，不论他是人类或是异星人，注视着星星逐渐群集，并且不断互相靠近的景象时，他会咏唱什么诗句呢？也许在毁灭前的最后一刻，他们会想起当代诗人格尼（Ivor Gurney）的诗：

我曾拥有的诗歌都凋萎或消失殆尽了，
然而我履及之处却烙下了鲜明的轨迹，
又有花朵绽放给他人欣赏。
好好思量啊，歌者，
夜晚很快就会降临。

生命宁要酷寒不要炽热

另一方面来说，如果我们的宇宙是开放的，在时间及空间上都无尽延伸，并永无止尽地膨胀下去，那么生命所面临的问题就将不是“热死”，而是缓慢地冷却下来。宇宙膨胀时，其温度会持续地下降，而自由能的供给也会不断地减少。对很多人而言，这种无尽寒冷的未来要比炽热炼狱还要可怕。但宇宙生物学的定律看待这两种情况的方法并不相同。如果适应性假说是正确的，那么生命宁可选择酷寒而不要炽热。在膨胀的宇宙中，生命可以不断地调整新陈代谢的速率，以适应周遭环境温度的下降。因此，在膨胀中的宇宙里，具有任何复杂程度的生命都可以在储存有限能量的情况下永远活下去。生命的脚步会随着温度的下降而愈走愈慢，但却永不停止。

物质逐渐衰变消失

我的理论物理学同侪最近发现一些颇为可信的理由，认为所有的物质可能都是不稳定的。根据最新的统合模型显示，所有原子核都会在 10^{33} 年的时间中转变成正子、光子和无重量的中性粒子而消失不见！这种物质逐渐衰变成辐射的理论正在进行实验验证，几年内我们就能确定物质究竟是永恒不变还是暂时存在。如果实验证明物质只是暂时存在的，那么生命在距今 10^{33} 年

后将面临一些严重的问题。以人类的眼光来看， 10^{33} 年是很长的时间；但以永恒来看，这不过是一瞬而已。如果宇宙是开放的，那么当物质的消灭威胁生命的存在时，生命的历史才算真正开始。

这会是对生命适应性最大的考验。我不知道我们在没有质子的世界中能否生存下去，但我也不认为至此就绝望了。如果抽象化和适应性这两个假说是正确的，则生命形式与知觉在介质间传送时，应不致引起损耗。一旦质子消失了，我们仍然还有电子、正子、光子和一大堆电浆，它们也许能像血肉一样携带我们的思考形式。也许最可能的宇宙形态是一个充满挑战的宇宙，在其中生存永远是可能却困难重重的。如果说乐观是那些迎接挑战者的哲学观，那么我们应该都成为乐观的人。

阻扰人类进步的三大敌人

本世纪最伟大的科学家之一，是晶相学家伯诺（Desmond Bernal），他是在DNA成为时髦课题很久前，就用X射线研究核酸结晶结构的第一人；同时也是一位天才作家和哲学家。1929年他写了一本小书：《世界、肉体 and 魔鬼：对理性灵魂三大敌人的探索》（The World, the Flesh and the Devil: an Inquiry into the Three Enemies of the Rational Souls），他以超乎寻常的视野广度探讨人类的未来及我们可能击败三位阻碍人类进步大敌的方法。这三位敌人是：世界——如饥荒、水灾和贫穷这类物质上的障碍；肉体——我们身体脆弱、生老病死的限制；和魔鬼——存在我们心灵深处那种害怕、嫉妒及疯狂这类的非理性黑暗力量。他的想法深远，他并在书末描述宇宙中生命最后转化的个人看法。伯诺预言了一些生物学家和物理学家在50年后才发现的事情；最特别的是，如果统合模型是对的，他预期生命会由物质升华成精神的层次，而这将使质子的衰变对生命不造成影响：

我们可以想象这些生物是短短一组精神单位，每个精神单位使用的能量都很少，并以复杂的精神通讯互相联络。它们可以使用一些距离遥远的感应器官，将自己散布在广大的空间与时间中。由于宇宙中冷而空的空间要远比地球上热而厚密的大气层多得多，故不包含任何有机物质；而不受上述两种情况影响的好处，也就愈来愈明显……

最初生命出现在地球上，留在人类身上的遗传成分，会一点点地消耗，最后则会完全消失。此时新的生命将不包含任何物质，而所有旧的精神将会取代物质的地位，并且继续发展。这种变化和生命的发生一样重要，而其过程可能也是一样缓慢而无法察觉。最后，知觉本身完全脱离人类的躯壳，抛弃器官，而成为一堆以辐射互相通讯的原子，并且可能将自己完全化为光。这可能是个结束，或是另一个开始，而从此生命就已超越我们的想象范围了。这是伯诺在1929年写的。也许你认为他的描述在今天这种充满毁灭和悲伤的世界中是太乐观了些。好吧，我们也有另一位广为流传的悲观型代表人物，生物学家霍登（J.B.S.Haldane）。霍登是曾在第一次世界大战的战壕中作战的愤怒青年，从此以后，他说话都带着讽刺的意味。他在伯诺写书的前6年（1923年）写下对人类处境的看法，书名是《狄德勒斯，或科学与未来》（Daedalus, or science and the Future），以下就是霍登书中对宇宙中生命的未来所做的判决：

人类的智慧是薄弱的，有时候它无法坚持它自许的无限。

但即使是那样——

虽然在黑色的嘲弄中它弯腰又点头，

我却深知它正对着众神咆哮，
等待最后的晦暗。

生命、智慧与星际通讯的未来

当我在《现代物理评论》(Reviews of Modern Physics)这个专业期刊上发表我对宇宙未来的猜测时，曾加入一些文学的语句来修饰整个主要的讨论架构；这个主要架构是一连串从方程式 1 到方程式 137 的数学计算。而在本章中我们只有文学修饰而没有任何方程式，这使得此处的讨论看起来完全只是浪漫文学，而和科学无关。不过，数学讨论的核心部分已被专业期刊的专家检查过，我可以向各位保证这些方程式是正确的。在这里我无法解释方程式中的每一个细节，而是简单地解释最后出来的结果。

我将以开放且无限膨胀的宇宙为基础，尝试解释以下三个问题：

1. 当宇宙不断膨胀及冷却下去时，最后是否会冻结在一种物理上永远静止的状态？
2. 生命和智慧有没有可能永远存活下去？
3. 在以恒定速度互相膨胀远离的星系间，可不可能维持通讯？

我暂时的答案是：一个“不”，一个“是”，及一个“也许”。我对第一个问题回答“不”的原因，是物理定律并未预测任何最后的静止状态；相反地，它告诉我们的是，事情不断地发生，物理程序也一直持续进行下去。我对第二个问题回答“是”的原因在于：生命和智慧在温度不断下降、自由能不断耗尽时，其知识与记忆的资源却不断累积；因此，生命和智慧是有潜力能永恒存在的。至于第三个答案“也许”，是因为从宇宙各个角落所产生的智慧生命，可以永远维持一个通讯网络，并藉以交换意见及持续增强它们的知识领域。第三个答案不确定，是因为：它假设通讯的发射器和接收器可以接近理想的理论效率来操作，这种理论上的理想效率可由物理和信息的定律来计算。而要找出实际发射器和接收器是否能具有理想效率，是电机工程师而不是物理学家的责任。

我的计算结果发现，永久生存和通讯所需要的能量出人意外地少。对地球上的人类社会而言，使这样复杂度的群体，由现在开始直到永远所需要的能量，差不多是太阳辐射 8 小时的能量，而太阳中的总能量，能够充分维持一个复杂度比我们高 10 兆倍的社会永远生存下去。维持一个高速的银河星系间通讯频道永远畅通的能量，一年约为 100 万千瓦，这在大空的标准看来是极小的量。太阳所含的能量足够永远维持许多频道，使我们能和宇宙中可见的每一个星球保持联系。这些数字都是粗略估算出来的，因此和真实的情况可能差上十倍、百倍不等。然而，它们对生命乐观的未来，是一项很强的支持证据，这暗示在物理和天文学的世界中，是取之不尽、用之不竭的。不论我们走进未来多远，永远都有新事物发生，新信息进来，新世界需要去探索，这是一个生命、知觉和记忆永远膨胀下去的领域。

无限宇宙中的渺小人类

当我写下这些文字时，我已经违背了莫纳德的禁忌，将知识和价值混为一谈。但我有许多伙伴也是如此。在达尔文、赫胥黎和韦伯福大主教的年代

之前，科学家并不介意把科学和价值混在一起，当银河的发现者瑞特（Thomas Wright）在 1750 年宣布他的发现时，他并不畏惧使用神学的说法来支持一个天文学理论。他说：

因为宇宙的本质是如此广大，而这也正是造物主所刻意强调的，我们可以获致一个无限的结论：在可观察的宇宙中充满了星球和星系，而宇宙本身则是无限广大的……这很可能是真实的情形，天空中有许多模糊的光点存在，在无垠的宇宙中除了自己星系的区域外，我们根本不可能一一分辨远方的星球，这些应该都是用望远镜也看不到的外宇宙世界。

35 年后，瑞特的猜测由赫雪（William Herschel）的正确观察加以证实了。瑞特计算了在我们的银河系中有多少星球适合我们居住：“统统加起来，我想一亿七千万是个保守的估计，而且这只是我们周围的世界，并未把那些距离极为遥远的外宇宙算进来，而那些才是宇宙的绝大部分。”虽然瑞特并未说明如何估计适合我们生存的星球总数，但他的估计可能也是正确的。对他而言，存在这么多人类能居住的世界，不仅是科学上的假说，也是其个人道德观的反射：

在这个伟大的宇宙中，某个世界如果发生了剧变，比如我们这个世界，或甚至某个星球系统完全解体，对伟大的造物主而言，可能只和我们生命中一些小意外一样稀松平常；而那些所谓世界末日的发生，甚至于我们所谓的创世纪，可能也是常常发生的事。这个想法使我深受鼓舞，而每当我仰望星空时，都不禁怀疑为什么这世上的人没有全变成天文学家。具有感性与理性天赋的人们应该忽视那些过去感兴趣的科学，并深入了解宇宙。如此可使人们感到自己的不朽，并能毫不焦虑，克服生命中遭遇的各种小小挫折。

那么我们应该避免做什么事，以保守我们在其中应享的天赋权利与应得的遗产？我们竟以为这一切全是为了我们这种虚妄自大的伟大生物而设，而事实上我们完全局限在这个世界里，就如一颗沙粒中链住的众多原子一样。

这些是在 18 世纪说的话。但是温伯格说过：“当我们似乎愈了解宇宙时，宇宙也就更难掌握。”如果温伯格说的是 20 世纪，我反而比较喜欢 18 世纪的话。

当吉弗德爵士设立讲座时，他希望主题是有关“自然神学”的课程。而我从瑞特的文章中节录出来的片段，则和吉弗德爵士所建构的大纲完全吻合。我并不知道当他在谈“自然神学”时心里在想些什么，但可以想象的是他在鼓励大家把科学和在瑞特心中那种心灵的呼喊结合起来。如果瑞特今天还活着的话，也会是理想的吉弗德讲座人选。

但是我希望读者不要错以为 瑞特的神学观只是 18 世纪古怪且可笑的遗产，和现代科学没有任何关系；也不希望使各位以为：温伯格的看法能代表所有 20 世纪科学家的想法。我在本书中对宇宙所做的粗浅讨论，事实上和温伯格所谓无止境的宇宙有极大的不同。我发现宇宙会愈来愈丰富，其差异程度也愈来愈大，在其间生存的生物能永远存活下去，并能和它的邻居透过遥远的时空距离而互通信息。不论我的计算正确与否，都有极佳的科学理由来认真考虑，生命与智慧能依需要来改造宇宙的可能性。往未来看，20 世纪的科学提供了乐观的基础；而一个了解我们对宇宙认知程度的理性人类，没有理由认为像伯诺和瑞特所描述的梦想不可能实现。

心智发展终能控制宇宙

在本章的末尾，我想把瑞特的神学思想作进一步的延伸。对我而言，这个宇宙中最让我惊讶的事情，是指挥我的手指写下这些文字的心智。经由某种神秘的自然程序，一个比蝴蝶大脑重百万倍的人脑就能梦想、计算、看东西、听声音、说话及将思想与感觉以别的头脑无法了解的方式，化为纸上的符号。经过长时间的生物演化，心智本身已经成为我们所居住小小世界的推动力量，并控制了这个世界。

对我个人而言，心智能包含并进而控制物质世界，是自然的法则。单独的心智和单独的星球可以毁灭，但正如瑞特所说的：“某个世界如果发生了剧变，比如我们这个世界，或甚至某个星球系统的完全解体，对伟大的造物主而言，可能只和我们生命中一些小意外一样稀松平常。”心智渗进宇宙的过程，不会被任何所能想象的剧变或障碍永远阻挡。如果人类不选择主导地位，别的生物也会作这样的选择，它们甚至于已经这样做了。如果人类灭亡了，还会有更聪明也更幸运的物种延续下去，因为心智是永恒的。心智在这个星球上弹奏出美丽乐章前，等待了30亿年，也许在它散布到整个银河系之前，还需要再等个30亿年。而我认为这次不会等待那么久。宇宙就像是围绕我们的肥沃土地，正等着心智的种子发芽滋长，而早晚心智也会走进宇宙这条命定之路。

宇宙本身的伟大在其多样性

当心智控制宇宙后，它会如何呢？这是个不能期待会有答案的问题。当心智以百万倍人类智慧的力量，扩展其物理及生物的组织时，我们很难猜测它的想法，就好像大红斑蝶无法猜测我们的思想一样。当我们注视着心智在宇宙中的发展时，将会发觉现代科学根本不足以回答许多最基本的问题，因此就目前来说这也正是科学与神学的分野。

和本世纪的许多科学家一样，我并没有认真考虑过神学的问题。神学对我们来说，就像是种尚未好好学习的外国语言一样，只是业余兴趣而已。有一次我与一位神学家谈起自己的看法时，他倒是帮我厘清了一些思绪。我是在偶然的场合碰到哈特修(Charles Hartshorne)的，我们曾进行非常正式的谈话。他说我个人对神的观念是索西纳斯派(Socinus)的想法。索西纳斯是一位16世纪的意大利异教徒，如果我的记忆不错的话，哈特修说索西纳斯认为上帝并非全能全知，上帝是随着宇宙的开展而学习及成长。如果好好分析这些论点的话，我会承认自己并不真的了解这些神学上的问题。我只觉得这种想法蛮合胃口，而且也符合一般的科学认知。对我个人而言，上帝和心智颇为接近，当心智超越我们理解范围之外时，那就是上帝。而我认为上帝是一种普世的灵魂或一堆精神体的集合体。在上帝目前的状态下，我们是地球上它主要的追随者，我们可能可以随它一起成长，也可能被丢在后面；就像伯诺所说的：“这可能是个结束，或是另一个开始，而从此生命就已超越我们的想像范围了。”如果我们被甩在后面，那这就是结束；如果我们跟着成长，这就是开始。

我的索西纳斯神学版本中最伟大的能力，是它在最顶端留下了空间。就像宇宙本身的伟大在于其多样性，造物主的伟大也在其多样性。许多灵魂比一个灵魂要好，当心智成长并充满宇宙后，它将不仅是个分化论者也是个统合论者。

另一位我较熟悉的神学论者是使徒保罗。保罗对分化作了一些不错的解释：“恩赐原有分别，圣灵却是一位。职事也有分别，主却是一位。功用也有分别，上帝却是一位。”如果我去教堂布道的话，我会引用这段摘自哥林多前书的文字。但我在此并非要传教，而是试图以科学家和关心政治的市民身份来描述宇宙。保罗的观点事实上是认为，造物主的统合性比宇宙分化的多样性重要，这一点我们之间的看法则不大相同，但对我而言这并不重要。我并不关心是否由同一位上帝自始至终掌管并参与每件事，我所真正在意的是他作为的深奥奇妙。

聆听宇宙永恒的低语

大约在 35 年前我去看了一出安姆林·威廉斯 (Emlyn Williams) 写的戏剧《1600 年的春天》(Spring 1600)，我后来没有再去看过，我也不知道它是否算得上出佳作，只是它留给我的印象十分深刻。剧中的男主角是一位男演员伯贝基 (Richard Burbage)，是一位具有高尚心灵的人物。他有位太太，简直就像莎士比亚在《亨利四世》中创造出的快可莉夫人 (Mistress Quickly)。在剧中，舞台后充满了噪音。在伯贝基住家的对面正在盖一座剧场，而这个剧场是他在未来十年中饰演哈姆雷特、麦克白等角色的地方。但在当时——1600 年的春天，这些都还是遥远的未来。在剧中，他们刚演出《亨利四世》获得极大的赞誉，并且正准备下一出戏《第十二夜》(Twelfth Night) 的演出。莎士比亚本人从未出现在舞台上，他只是忙着照顾新剧场及与皇宫中皇后的随员协调。公司的人员不断地自由进出伯贝基的家，这群毫无组织的人基于对伯贝基夫人和莎士比亚的尊敬，一起工作。

最后一幕是新剧院开幕首映《第十二夜》的情形。我们并没有看到整出戏，只看到开幕时的一些即兴演出。当然这出戏获得极大的成功，而皇后本人也在现场。当戏中戏结束，皇后及群众都散去之后，伯贝基独自走进黑暗而空寂的剧场中冥想，一会儿之后他走向舞台，他太太问：“你听到了什么吗？”伯贝基回答：“有的，我听到了永恒的低语。”

以现代的品味来看，这样的结束似乎太感性了些，但我仍然非常喜欢。我也用相同的结尾作为我宇宙学讨论的结束。我们对宇宙中生命分布的密度和潜力所知有限，但在看向未来时，我们并不孤独，有伯诺、牛顿、丘可夫斯基和瑞特这些前辈为伴。让想象力遨游众星宿之间，那么我们也可能听到永恒的低语。

下卷 核冬天到又见蝴蝶

第七章 寻根

人类的命定责任并非是扩张某个国家或种族，
而是让生命脱离这个小小星球表面的束缚。
这个伟大的宇宙不会永远保持沉默，
终有一天，蜜蜂会鼓动着嗡嗡作响的小翅膀，
跟随人类的脚步声，充满整个宇宙。

当我环视这个房间时，看看床、看看床罩、看看书、椅及小茶壶，想到这些东西是用机器做出来的，我心中就非常高兴。我看到床架觉得高兴，看到黄铜栏杆的涂珐琅白铁我也感到高兴。当床摆在那里，我不禁为它简单的造型而惊叹不已。它的线条都是平行的直线，角度也都是直角，这种种都给我一种稳固不移的感觉。它只有基本所需要的部分，而我的需求就可以完全满足，没有东西会伤害我或妨碍我……我要向机器和它的发明人致上最崇高的敬意。

“哈定研究” (Study of Thomas Hardy)

——D·H·劳伦斯 (D.H. Lawrence)

本书的标题“全方位的无限”有两个意义。在上卷中它意指经由生命和智慧的作用，宇宙将具有无限的发展潜力；在下卷里则是指身为这个小星球管理者的人类之无限责任。在上卷中是将分化的复杂性当成一件事实，是我们以科学方法观察宇宙所得到的结果；下卷则是将这种复杂多样性当成目标，是我们的科学技术和政治运作必须满足的人类需求。在上卷中我将宇宙中的生命当成需要解释的现象，而在下卷中则是将宇宙中的生命看成是我们需要珍爱的遗产，和我们必须征服的命运。

下卷主要是针对科技带给人们的利弊加以讨论。前四章讨论科技在经济成长和科学探索方面的和平用途。接下来的五章则讨论武器，尤其是核子武器和我们对核武的畏惧。我也会讨论三个最近很热门的题目：“核子冬天”、“德国政治的未来”和“星战计划”。最后两章我尝试把眼光看向更宽广的人类未来。

我对人类未来的观点完全是个人的看法，凭什么大家要在意一位不务正业的数学物理学家的看法呢？为什么我们应该认真探讨这些问题呢？要回答上述这些疑问，必须在下卷中先探讨智慧的根源。这里的看法和说法都不是我发明的，而是远在我出生之前就留下来的文化遗产所带来的。追溯过往，我们可以从祖先那儿寻到根源。

追寻智慧的根源

两百年对整个人类历史来说只是一瞬间；因此，我们和那些在文艺复兴和美国建国时代大放异彩的学者，如莱特 (Thomas Wright) 和富兰克林 (Benjamin Franklin) 等人距离并不遥远。海利 (Alexander Haley) 在他的书《根》 (Roots) 中，以探索他自己家族在 18 世纪的根源，提供给我们很好的例子。他找到当年曾曾曾祖父金特 (Kunta Kinte) 是如何羞辱而

无辜地来到美洲，并以心灵去体会存在于 18 世纪光鲜外观下的暗流；海利描绘了金特的后代子孙如何以坚强的毅力和骄傲，从奴隶转变成今天美国生活的主流。由于海利例子的激发，我也开始寻找自己的根源。

我是在英国一个纯正血统的中等家庭里长大，在很年轻的时候来到了美国。那时我想象自己将要生活在一堆陌生人中间。最近我发现自己错了，事实上我的曾曾曾祖父托马斯·奥立佛（Thomas Oliver）曾经是波士顿的居民，他在 1753 年由哈佛毕业，而那时金特正自由自在地生活在非洲的村庄中。在金特充满羞辱地来到安那波里斯（Annapolis）的数年后，奥立佛在差不多相同程度的耻辱下离开了波士顿。

奥立佛不幸身为一位保皇党员，他被驱逐出境，财产也被麻省公共财产部没收，而像难民一样地回到英国。根据他的传记作者的说法，家祖是一位温文儒雅的翩翩君子，他被卷进政治中是由于伦敦殖民地管理部门的严重错误所造成的。这个管理部门想要提供家祖的堂亲彼得·奥立佛（Peter Oliver）一个工作，但这两位先生的名字却不小心搞错了，彼得也是位哈佛毕业生，后来当上了麻省的最高法官，而家祖的名字则被提报英王。这在其他时候可能是件好事，但 1774 年可不是个好时间，马萨诸塞州政府约谈了家祖，而成为彼得的代罪羔羊。但是家祖和金特一样是浩劫余生的勇者，他知道如何调适自己以生存下去。他和金特相同，在被放逐的同伴中找到自己的妻子，而在六代之后，他的子孙又回到了波士顿，就像金特的子孙海利后来又踏上了冈比亚河畔的土地一样。我现在能代替我的先人，原谅马萨诸塞州公共财产部在 210 年前对他的不公平待遇，而我也同时希望，马萨诸塞州公共财产部能原谅他在那个人人噤若寒蝉的时代，勇敢地接受英王的任命。

本章所要讨论的不是生物学上的根源，而是这种向外探求的智慧根源。我这个智慧的寻根之旅将超越家祖而一直追溯到美国的根源。美国新世界和超越地球的宇宙新世界，在人类的想象中常是连结在一起的。我不止是奥立佛血缘上的后裔，也是海克路特（Richard Hakluyt）和凡尔纳（Jules Verne）等人智慧上的继承人。前者是美国移民的精神导师，而后者则是美国人进入太空的启蒙之父。他们都没有机会看到自己的梦想成真，但他们两个人的成就都将流芳百世，永志人心。

向外探索的殖民精神

海克路特是学术工作者的典范。在 16 世纪时，探索工作主要操在两种人手中：一种是探险家，他们都很富有，并将钱投资在探险上；另一种则是垦殖者，他们仍很贫穷，是用生命来投资。海克路特并不属于这两类人，他在牛津大学有舒适的学术工作，并写书表扬探险家和移民的伟大功勋，鼓励他们继续努力。他虽然不参与投身民族主义的人群，却大加赞扬这些同胞的勇气和牺牲奉献的精神，他同时也是伊莉莎白女王的私人顾问，并以“西方移民的特殊评论”为题写了一份机密报告。报告中他力请女王应将公众金钱大量投资在美国的开拓上。然而，所有的专制政府都是一样，女王赞扬海克路特的成就，而将他的建议搁在一边，而这份“特殊评论”也在皇室中消失，直到 293 年后才由缅因历史协会（Maine Historical society）出版问世。

在海克路特所列要务的首项，是对高等教育的支持，而这也是后来许多学术顾问认为极重要的项目。在他的伟大著作中，我们找到这样的句子：

大家都知道，如果没有熟练的水手，船就无法行驶；而熟练的水手则要经过漫长的学习过程才能养成。一般的水手都过着艰苦的生活，很少有人能贻养天年；由此可以了解他们多么需要更好的教育，让那些应该受教育的人得到更好的教导……这些建议最早并不是我提出的。各位也许会高兴听到，去世的查理五世国王就已经这样做了。他考虑到，那些必须经常往来于西班牙及西印度的水手知识程度十分低，而这些航程又十分危险，因此他不仅严格检验船只，甚至设立了航海技能的讲座，这些资料沿用至今。当时不仅要求大家阅读这份讲义，也在西班牙航海学校中口授，并且还将其有关航海部分的精要印刷出版，以指引及鼓励后世子孙。

由海克路特的报告中我们不难发现：当时支持科技教育主张已逐渐高涨。在美国及英国，这种呼声从那时一直持续到现在。

海克路特不仅相信教育的功能，也相信行动的重要性。他对英语系的北美洲抱着很大的期望，认为北美洲不但能与西班牙竞争，最后甚至能超越西班牙的财富。他写道：“先不要管爱尔兰和圭亚那的事，我们眼前就是富饶的维吉尼亚，她能提供所有意大利、西班牙和法国能提供的生活用品，而西班牙人在他们自己的作品里也承认，北美洲比墨西哥或新西班牙本身都富饶得多。”结果只花了两百年，就证明海克路特是对的。

从英国、美国到探索太空

我认为自己是海克路特在智慧上的继承人，是因为我今天对宇宙的看法和当年他对美国的立场非常类似；而我也和他一样是位鼓吹学术探索的人，在普林斯顿舒适的家中著书，向大众宣扬我对人类探索宇宙远景的看法，及对其间各种互动的预测；同时，我和海克路特都自向政府提出建议中赚取顾问费，而我的建议也从未被采纳；我和他一样，都将自己的听众定位在社会大众而非政府本身，就像当年他 16 岁时被他舅舅搜集的天文图片及书籍迷住了一样，我也被航海家太空船传送回喷射推进实验室的天王星卫星照片迷住了。

妮可苏(Marjorie Hope Nicolson)曾在一本名为“航向月球”(Voyages to the Moon)的书中，收集了宇宙探索新世纪中一些文学先驱者。她由开普勒(Kepler)想象月球上的生命开始，而以 300 年后凡尔纳所写的美法联合远征月球的任务做为结束。她并没有提到本世纪中海克路特真正的继承人丘可夫斯基，这个人引发了苏联对星际殖民的想象力，并且直接对苏联的太空计划起了重大影响。她所写的内容局限在西方的文学传统中，而在西方文化里，凡尔纳最接近海克路特的地位。凡尔纳对有关太空旅行的文学有原创性的贡献，并且建立了太空探索英雄故事以喜剧收场的传统。他没有办法保持严肃，而创造出来的角色一个个都颇不正经，其结果是一群滑稽的人完成了了不起的太空探索。当我八岁读了凡尔纳的书之后，我的人生起了很大的变化。我可能不了解书中那些技术性的细节，但我已很能体会其中有关人类的问题。我知道这些疯狂的美国人掌握了未来，因此聪明的我应该快快加入他们。所以，应该说是凡尔纳指引我到了美国，到了天王星。

诗人布雷克的美国梦

另一位美国的探索智慧启蒙者出现在海克路特和凡尔纳之间，那就是诗

人兼画家威廉·布雷克 (William Blake)。美国人向外探索的重要根源可以在布雷克的作品中找到。他是生活在 18 世纪 70 年代伦敦的愤怒年轻人，虽然距离遥远，但仍非常赞赏美国的革命行动。而虽然他自己从未离开过伦敦周围的百里方圆，但却对美国充满了幻想，并曾一度想移民美国。由于当时公开发表煽动性的言论是被严厉禁止的，他在私人的笔记本上写下了几行诗句：

我为何要喜欢泰晤士河畔的人，
或是被包租的河流里欺人的浪花，
为何要因些许的恐惧而畏缩，
当工头在我耳际吼叫时？
虽然我出生在充满欺骗的泰晤士河畔，
虽然它的水浸染过我婴孩时的肢体，
俄亥俄河却将洗去它在我身上留下的污点：
我生为奴隶，却将追求自由。

以今天的眼光来看，把俄亥俄河当成纯净的象征是非常奇怪的说法，而想象布雷克成为匹兹堡的公民则更为奇怪。但匹兹堡从布雷克那个时代一直到 19 世纪中叶，都是一个极美丽而又极富道德感的地方，也许有人认为今天的匹兹堡仍是一个极美丽而又有道德的城市。布雷克本人可能把自己当成匹兹堡而非伦敦的市民。如果他真的住在那儿，就不需要以隐讳的方法来表达自己的对美国的看法了。

布雷克主要一首关于美国的诗发表在 1793 年，诗名是《美国，一个预言》(America, a Prophecy)。他写道：

以现代的观点来说，预言家从未真正存在过。以现代的观点来看，圣经中的约拿并不是一位预言家，因为他对尼尼微城即将倾覆的预言并未应验。每一个正直的人都是一位预言家，将自己的看法以私下及公开的形式表达出来，只要这样做，结果也就会是如此。他从不说只要做某件事，事情就会变成想象中的样子。预言家只是一位幻想家，而不是一个霸道的独裁者。

在他的诗中，布雷克以我们在两百年后仍能辨别的形象描述美国。其中有关政治方面的讯息都被隐藏起来，但他对美国革命的赞美之声则是既响亮又清楚的。

华盛顿说：“美国的盟友们！望向大西洋此岸来吧；
天上一个弯下的腰挺起来了，
一条重重的铁链垂下，环环相接，
从艾尔比恩的悬崖岸边横过海来，系缚住
美国的兄弟子孙，直到我们的面容转为苍白蜡黄，
头低垂，声音羸弱，眼光消沉，双手因工作而磨破，
流血的脚踩在发烫的沙地上，条条鞭痕
流传到无法记忆的后代。”
纽约的市民们合上他们的书，锁上他们的箱柜；
波士顿的船员们抛下锚开始卸货；
宾州的抄写员掷笔于地；
维吉尼亚的建筑工在恐惧中丢下他的铁锤。
我知道你，我发现了你，我不会让你溜走，
你是住在非洲的黑暗中的上帝影像，

你沉落到漆黑的死亡中来赐我生命。
在美洲的原野上我感受到
树根缠绞入地底深处所经历的苦痛。
在加拿大我遇见一只巨蟒向我求爱，
在墨西哥有只老鹰，在秘鲁有只狮子；
在南海我看见一条巨鲸，啜饮着我的灵魂。

这些只是我从布雷克的诗中摘出来的一些片段。对 18 世纪的布雷克及 16 世纪的海克路特而言，所谓南海指的是太平洋。布雷克和海克路特不同，他并不是从事学术研究而支领薪水的人。海克路特称自己为传道者，而布雷克则称自己是预言家。对进行移民美国或将生命散播进宇宙这种大型事业时，我们同时需要传道者及预言家这两种人。像海克路特这种传道者常可生享殊荣，死极富贵；然而像布雷克这种预言家大抵上都是穷困潦倒，惨淡一生。

将生命散布至无垠宇宙

由于我必须支付五个女儿的大学学费，因此我选择做一位传道者。我向所有愿意聆听有关美国命定责任的人布道。我所宣告的并不是某个国家或种族的扩张，而是尽可能让生命脱离这个小小星球表面的束缚，散布到无垠的宇宙中。这个我们只占了微不足道一小块领土的伟大宇宙，不会永远保持沉默，终有一天，嗡嗡作响的蜜蜂会鼓动着小小的翅膀，跟随人类的脚步声充满整个宇宙。而由地球移向太空的生命开拓，是比由英国横越美国的开拓更伟大的画面。海克路特曾说，在我们眼前就有富饶的维吉尼亚；而我则要说，在我们的眼前，有九个行星，四十个月亮，一万个小行星，及亿万个星云在等着我们。

我想我说教该告一段落了。现在我们需要一位新的传道者注入热情。也许，要将布雷克的想法转到更宽广的宇宙学上，还得再花两百年：

在“艾彼特斯”（Iapetus）我遇见一只巨蟒向我求爱；
在“甘尼米德”（Ganymede）有只老鹰，在“米兰达”（Miranda）有只狮子；
在“吴尔特星云”我看见一条巨鲸，啜饮着我的灵魂。

就像布雷克以他预言家的眼睛所看到的美国革命一样，宇宙的鲜活青春将是一个永不休止的故事。（编注：“艾彼特斯”、“甘尼米德”、“米兰达”各为土星、木星、天王星的卫星。）

第八章 快即是美

自然界的效率与弹性远胜于工业界：

当一只臭鼬在森林里死掉时，

几星期之后只剩下一堆骨头。

然而如果是一部汽车报销后弃置在废车厂，

十年之后它却仍然“健在”。

对人类生活最有影响力的一些技术，通常都很简单。在此提出一个对人类历史具有极大影响的例子，就是“干草堆制作技术”。这个概念很简单，就是在秋天的时候，把青草切割后大量地储存，使马匹与牛只在冬天食物不虞匮乏。没有人知道到底是谁发明了这种技术，根据目前的资料，我们知道迟至罗马帝国，这种技术尚未为人所知；但是，在中欧每个村庄的每个人，都懂得如何应用这项技术。此外另有很多其他的重要技术，与“干草堆制作技术”类似。而干草堆的制作方法，是在所谓的“黑暗时期”出现的。而根据“干草堆的历史理论”来说，干草堆的技术发明，是把文明重心从地中海盆地移到北欧及西欧的一项决定性的因素。因为地中海的气候温和，所以该盆地的青草，即使在冬天也生长得十分茂盛，所以导致罗马帝国并不需要制作干草堆；但是在阿尔卑斯山的北部，有许多大城市需要马匹与牛只来运输，所以，在冬天若没有干草堆，马匹与牛只将无法生存。因此，我们可以下这种结论：因为干草堆的出现，使得人们可以在北欧的森林内生活，并且产生了文化。干草堆把罗马帝国的伟大光荣传到了法国巴黎，后来，陆续传到了柏林、莫斯科、纽约。

另一个对人类历史有深远影响的技术是“编织”。编织技术出现在干草堆之后，它在历史上的重要性，可以由一篇文章来解释。这篇文章是怀特(Lynn White)在《美国历史评论》(American Historical Review) 1974年2月号中所撰写的。这篇文章的标题是：《以一个研究中古时代的历史学家角度来评论技术》。编织技术出现的第一个证据是在一幅10世纪末的古画所描绘的。这幅画现在收藏在汉堡，画中显示了圣母玛利亚用四枝针替婴孩耶稣编织上衣。怀特搜集了许多证据指出：编织技术的发明，使小孩子能忍受北方寒冷的气候。因为小孩能保持温暖，使得幼儿的夭折率大幅降低。而死亡率的降低，使得父母多花了些时间在小孩的身上，于是渐渐由古代以父母为中心的家庭制度，转变至今日以小孩为中心的家庭制度。这一连串的事件，从编织针一直到小孩游戏间的证据，都是一些环境证据，就像怀特在他的结论中所说的：“在中古时代末期的母亲或祖母，当她们在使用编织针的时候，无疑地希望能保持小孩身体健康，让他们觉得温暖舒适。而以长期来看，这对家庭内一种新关系建立的影响，是不容忽视的。”

此外，他在中国的一些绘画上看到“纺车”，而这种“纺车”差不多在13世纪时传到欧洲，并且使得纺织技术迅速的扩展开来，尤其使得亚麻的纺织技术与交易成长得特别快速。因为价格的大幅滑落，造成了如亚麻外套等亚麻制品的使用增加迅速，形成妇女所追寻的时尚。以上便是这些新技术所造成的直接影响，但事实上，这些技术所造成的间接影响却比直接影响大得多。由于亚麻的价钱便宜，大量应用后留下许多碎屑，这使得以亚麻为原料做成的纸张，比一般的羊皮纸更为便宜。因此，到了13世纪末，大部分的文

章、文件均使用亚麻纸书写。在欧洲，当时书籍的抄写员无法负荷因文化发达而产生的大量书籍需求；有一位出版商发觉了这方面的发展空间，他开始利用打字机，并且用机器直接印刷到纸上，以代替人工抄写。以这种方法来看，我们知道纺车的发明间接带动了印刷术的发明。这些新技术的发明——纺车、印刷术、编织和干草堆制作技术——后来都形成了现代生活中永恒的一部分，我们也不可能再应用那些老方法。这些被新技术所替代的事物，后来都已经消失；而在这技术的革命当中，人类到底付出了多少代价，又得到了多少利益？我们也无法计算。在历史的变迁中，人们的幸与不幸，到底何者居多？对科技功过的评定，目前仍然不算一门科学，而是一种“艺术”，就如同怀特在他文章中所做的总结：“如果不想严重误导的话，那么我们评论科技时必须以一种小心的态度、全盘的探讨为基础，旁征博引，研究一些可观察、可测量的事物。”

科技对人类社会影响深远

本章中我试着在怀特所限制的范围内，讨论近代科技发展出来的技术。科技评论本身的功能并不是为了测量与估计，而是对现代生活提出一些预警，我们不能定量地预测一种新科技的价值或是必须支付的代价，但是我们可以做的是：看看未来有没有一些障碍、陷阱来阻挠进步。幸运的是，若是能预先看到阻碍，便可以避免。像干草堆或者是印刷这些伟大的发明，不管它们当时所带来的社会成本是什么，它们都在历史上、社会上造成了一种永久而具开创性的影响，有一方新天地等待人类去发掘。浦平（Michael Pupin）是我心目中的英雄之一，他在近代来到美国，原本是一文不名的移民者，却成为一位伟大的发明家。浦平因为发明了长距离电力传送的方法，使得他名利双收。我自己是一个纯科学家，从发明家浦平等人所建立美国社会的风气中，得到了许多帮助。不管是知识或物质方面，我并不认为纯科学家要比发明家具有更高的文化地位。一般来说，高层次的文化及人类的知识，可由纯科学家建立，但有时也常由发明家建立。浦平的成就主要来自于他的高度理想，以及他对人类完美与科学万能深具信心。他的自传《由移民到发明家》（From Immigrant to Inventor），可说是他独特心灵境界的自述。他喜欢他家乡那种村庄的宁静，喜欢 19 世纪的一些美国喜剧，也喜欢马克斯韦尔方程式的魅力。以下是我为他自传所撰写的序文中的一段：

浦平他坚决相信：科学的主要目的，纯粹是为了解自然；至于科学的应用方面一定都是次要的。而由他的发明所造成的影响，一直不断促进美国基础科学的进步。在这种情况下，可以发现一些矛盾：浦平是个务实的发明家，他比当时其他人更努力去说服美国民众：科学的‘发现’比‘发明’更重要。浦平可说是完全胜利了，他死后 25 年，纯科学家要比发明家更具影响力，而且能得到前所未有的巨额资助。也许在偏向基础研究的风气中，对于像浦平这样的发明家来说，可能会造成一些不公平的现象。现在的情形是：第一流的发明家要比第一流的科学家少得多。而发明家在大部分的大学已不再受到欢迎。甚至在工业研究室中，纯科学的研究也已形成风尚。也许一群科学家结合为一个组织，并保障发明家不被消灭的时代已经来临。

这些文字是我在 25 年前写的。的确，这些年来，可以看到民众对于发明的重视已有增加的趋势。也许科学界已经愈来愈了解科学的生存必须站在一个“健康的平衡”——“纯科学与发明的平衡”上；更或者，发明家的风光

岁月已经来临了。但是我们必须先得到两个问题的答案。第一个问题是：为什么这些年来我们试图把科学应用到人类的需要时，做得并不成功？其次是：我们能够改进吗？

核物理应用上的教训

我们常听见这样的说法 现在的生化与生物学家和 40 年前的核物理学家很像。事实上，虽然核物理学与微生物学之间存在不少的差异，但是这个比喻却很贴切。我们现在已经到了一个阶段——我们已进行了相当深入的生物研究，而且在不断设想有关遗传工程的应用方向。也许物理学家在历史上的经验，可以给我们一些实际应用的智慧，而这可以帮助遗传工程的工业，避免像当初核能工业所遭遇的困难。我在此试着记录下 40 年来身为应用物理学家的经验，然而所得却十分有限。我先写出我要回答的两个问题：第一，核物理学家做错了什么？第二，遗传工程师可从我们的错误中学到什么？我会叙述几个在我物理学生涯中发生的故事、让各位读者判断，这些故事会不会变成遗传工程学的一些问题。

第一个故事我要谈的是有关于通用原子公司 (General Atomic) 在加州一个实验室的情形。通用原子公司专门制造核反应堆，这家公司一开始原本是通用动力公司 (General Dynamics) 其中的一个部门，在 1956 年的夏天，公司召集了一群顾问，有些是专家，而有些并不是专家，但他们对反应堆工程多少有些经验，然后公司付钱，让他们好好思考了 3 个月——我是其中的一个非专家顾问——于是成立了公司。没有实验室，没有设备，没有产品，而那些顾问只能思考、说话，以及在黑板前辩论。这个公司答应顾问，若能得到反应堆的专利，将付一大笔钱给发明者。我尽了我的责任，而其他的人也都各尽其能。接下来，公司总结了夏天的工作成果，得到了 3 个新型反应堆的蓝图。这些反应堆都具有经济获利的能力，其中一个被选为立即进行发展及量产的工作，它的名字是 TRIGA，意义是“训练、研究与同位素制造、通用原子” (Training, Research and Isotope production, General Atomic)。第一个 TRIGA 被拿去测试并取得执照，在我们发明后 3 年内就已卖出，这家公司目前还在生产 TRIGA 反应堆，并从中获利。TRIGA 并不是一个发电的反应装置，它主要是用来生产同位素以帮助医学研究与诊断，而不是产生电力。

完美的核子反应堆：HTGR

接着 TRIGA 之后，通用原子公司决定发展一种大型的核反应堆 HTGR (高温气体冷却反应堆，HTGR: High Temperature Gas-Cooled Reactor) HTGR 在理论上是一个非常完美的反应堆，它在高温时的效率远比一般水冷式反应堆来得大，它的热含量很大，因此安全性极高，而且它比在美国运转的各种反应堆更容易操作，不容易因执行错误而引发危险。它以氦气冷却而不使用水冷却，因此不会像三哩岛那样因水产生不稳定现象而酿成巨灾。但不幸的是，HTGR 从未在核能反应堆中占一席之地，通用原子公司生产的 HTGR 有两种形式，第一种形式能产生 40 百万瓦 (megawatt) 的电力，是在宾州一家公司生产制造，但是这家公司很早就关门了，因为这个公司认为生产这型

反应堆只产生 40 百万瓦电力，事实上是很划不来的。

第二种 HTGR 比前一种强至 8 倍之多，能产生 300 百万瓦电力的，现在正在科罗拉多州运转。然而这个反应堆有一个技术上的问题：以满载状况运转的话，堆心的温度并不会保持稳定，也许是因为堆心中石墨的热膨胀与冷却气体间复杂的关联造成的。这种温度的变动看来并不危险，但是为了安全起见，这个反应堆被规定运转时负载只能达到满载时的 70%，在这种情况下运转显得十分顺畅平稳。然而 HTGR 的技术并不算发展得非常成功，也不敢希望其他的公司会来洽购这一型的反应堆，除非我们能解决上述问题才行。事实上这个问题最后解决了，但是为时已晚，市场早已被其他形式的反应堆侵入，以致没有任何一部 HT-GR 卖出去。而在同时，通用原子公司被转手了 3 次，这些剧烈变动给了其他公司很大的刺激。通用原子公司仍然存在市场中，其中部分成员仍然想要卖 HTGR，目前这家公司的总裁决定要找回当年那些顾问（如果他们还活着的话），请他们再回来帮忙。然而我们早已垂垂老矣，社会地位也较高了，每个人都太忙，不可能再花 3 个月去构想新发明；我们只能回去两天，缅怀旧事而已。

通用原子的干部告诉我们有关大型 HTGR 核反应堆的两组安全分析。他们所谓的大型是：1000 百万瓦电力的大小，也就是比他们以前做的还要大两倍半。这些年来他们一直努力地改善这种大型 HTGR 的细部结构，至今尚未建造出这型反应堆。同时，另有两组人对 HTGR 做安全分析，其中一组由美国的专家主持，另一组则由德国的专家进行，这些专家跟通用原子公司毫无关系，因此无图利他人之嫌。这两组专家所得到的研究结果都十分类似：在一定的条件之下，上述的反应堆大约比一般的轻水反应堆安全 1000 倍。

以上叙述的意义，可由这方面来看：这些专家分析的是所谓 10 亿年意外（a billion-year accident），必须遇上比三哩岛及切尔诺贝利意外更愚蠢、更不幸的状况才可能发生。一个 10 亿年意外，我们估计在反应堆运转 10 亿年才会发生一次，而这样一个意外的发生，会产生比三哩岛和切尔诺贝利坏 100 倍的结果，就是反应堆心被挥发，外面的水泥包封容器裂开，而大气层在某个最糟糕的高度有个逆转层，所以气流将流向人口密度极高的区域。在这几种情况下的总和，才是我们所谓的意外。你可以不相信这个计算的准确性，只要相信所应用这种分析意外的规律是可信的。也就是说，对于一个轻水反应堆和一个大型 HTGR 的 10 亿年意外分析，结果偏向于 HTGR。一个轻水反应堆的 10 亿年意外马上杀死 3300 人，在以后的辐射效应下会杀死 45000 人；但一个大型 HTGR 的 10 亿年意外分析，瞬间杀死的人数是零，辐射效应将杀死 70 个人。这个数据并不一定正确，但其意义甚明：HTGR 如果出意外，它也会杀死人，但不致酿成极大的惨剧。

进展迟滞无法适应需求

因此下个问题便产生了，如果 HTGR 要比轻水反应堆安全 1000 倍的话，而且社会大众对于每个存在的核能电厂都非常忧惧，那为什么没有一大群人跑到通用原子公司的销售部门，要求把轻水反应堆换成这样完善的 HTGR 反应堆？这个问题的答案非常简单，即使这些人想买一个又新又先进的反应堆的话，通用原子目前尚无能力去贩卖，这种 HTGR 根本还没造出来，而这些零件也还没开始生产，这个工程发展的最后阶段并不完整。如果一个客人想到通

用原子订购一个 HTGR，通用原子只能告诉对方说：“好吧，请稍等。如果你能帮助我们拿到 5 亿美元的政府补助来完成工程上的最后发展，而且能解决我们所碰到的困难，如果运气够好，便可以在未来几年内制造。若能很顺利地取得执照，你就可以拥有我们的 HTGR 反应堆，大约在 12 年后便可以交货。”这个并不是一个想使用 HTGR 的人所想听到的答案，脑筋正常的人都不会把那么大笔资金投资在一个发展中的东西，而回收的前提必须是一切都很顺利，在 12 年后才能取得。只有政府才有能力负担这种研究工作，而政府如果够聪明，也不会尝试做这种事。

由此我们可以看出美国核能工业的悲剧。就在此时，有核能反应堆的市场需求，而且有家公司有一群有能力的人去设计更安全的反应堆，并希望能继续建造；但除非在 12 年后所有条件都能配合，否则他们什么都不能做。这也就是为什么我将本章的标题定为“快即是美”的主要原因。

关于这两种反应堆，其中 TRIGA 将在 3 年内完成而且运转，另一个是 HTGR，在 12 年内不可能制造完成。相似的故事在其他工业中都存在，而核能工业并不是唯一在初期发展就很困难的工业，许多工业也都无法快速反应市场的需求，调整它的操作条件。3 年与 12 年的差别，事实上是非常重要的。游戏规则是由大众的生活来控制，不管是在美国或是全世界，10 年内部会发生不可预测的巨大变化。此处所说的游戏规则指的是：价格、利率、人口的迁移和技术的革新，还有人民的看法与政府的法规。因为游戏规则的改变，使得汽车工业付出了代价；而这种忽然的改变，事实上随时都会发生，没有人具有足够的智慧，能够预见未来的一切。

由过去 50 年的经验可以判断，差不多每 10 年就有一项巨变发生。而在这种情况下，使得 3 年与 12 年之间差别非常大。如果一个工业在 3 年中能适应改变，整个大环境的“游戏”将变得十分有趣，员工也会乐于工作。如果说一个工业必须要 12 年才能相应变化，显然为时已晚，员工必定会沮丧失望。因此，5 年的适应时间可说是底线，如果可以在 5 年内掌握先机，再加上好运，就可以做得很好；但如果反应时间超过 5 年，再加上一点坏运气，那可就完了。

政治情势影响核能工业

我们再回到核能反应堆工业的例子。到底在 1956 年到 1987 年之间发生了什么事情，使得时间延迟这么久？弹性消失的原因，部分要怪政府的法规，部分要怪某些人脑筋的僵化。在这工业中的许多人已不复年轻，但是法规与年龄并不算主要原因，还有很多是政策上的错误，使得反应过迟。依我的看法，有二个主要的原因：一个是政治情势的迅速变迁，另一个是销售的策略错误。政治情势的迅速变迁并不永远是坏事。当然政治在转变时，你应该看看这整个政治情势是否转变至你期待的方面；如果你有所怀疑，那么最好按兵不动。以美国的核能发电工业来说，这种政治势力主要始自瑞考夫上将（Admiral Rickover），他力倡尽速发展反应堆来驱动核潜艇，他的反应堆是一种轻水的压力反应堆，开始生产后，促使这种工业突飞猛进，而“轻水派”的政治势力也就日益壮大。而当建造公共核能发电厂的时机来临时，除了通用原子公司之外，每一个人都倒向瑞考夫的政治势力。不幸的是，他们忽略了一个事实：潜艇中并没有足够的空间，因此，潜艇的反应堆愈小愈好，

以便在很小的空间中得到很大的动力，但是在建造一座公共使用的反应堆时，最重要的是安全问题。如果反应堆愈小，而且在一定的体积下能得到更多的能量，在意外时，它会更快熔解挥发；而反应堆熔解的时间愈短，若有一些糊涂虫按错了控制键，它很可能马上发生意外。

因此，结构变小与安全性并非成正比。而 HTGR 之所以比轻水反应堆更安全，主要原因就是构造较大。所以，对潜艇好的事，对公共安全不一定好；但一旦大多数人都倒向了瑞考夫的势力，就很难自外于潮流。正因为一面倒的情势，因此，核能工业被导到另一个方向。而当公众知道轻水反应堆不太好时，瑞考夫这几股势力就由盛转衰，跌到了谷底。而这整条路就闭塞不通，没有人能再走过去。

经济规模的选择错误

这种政治情势对核能工业的影响已经够糟坏了，但是第二项因素使得情况变得更坏——那就是经济规模的选择错误。我并不想要否认经济规模这个事实的存在，我也并不主张：“小即是美”。直到目前，大厂永远比小厂更经济，大的核能反应堆只要在某个程度以上就能产生比小型反应堆更便宜的电力，但是当大厂需要很长的时间建造时，这种经济规模的意义就已消失。如果一个工厂需要 10 年来建造，那就实在太久了，经济规模很容易因利益与弹性的损失，而失去意义。因为大环境游戏规则的改变，而使得大厂的反应变得非常迟钝，甚至在开始作业前就已经一文不值了。因此经济规模顶多只能花 5 年的时间来建立，绝对不能拖长，否则便是错误。这种轻水反应堆的工业，如果想制造大型（如 1000 百万瓦电力）反应堆，就是犯了基本的错误：根本不可能达成期望中的经济规模。不幸的是，通用原子公司在 HTGR 的发展上犯了相同的错误，他们把努力放在研究一个能发出 1000 百万瓦电力的“怪物”上面，而当我们需要它时，却迟迟造不出来。

目前以美国来说，核能发电厂的市场已经不存在了，也没有人知道这个市场会不会再“重生”。这个工业的希望是：以后若再发生石油危机，或政治上一些不可预测的变化，使得大家又非常需要核能电力，那么那时我们所需要的反应堆是安全的、有弹性的、而且是马上就能建造出来的。一个 1000 百万瓦的 HTGR 很安全，但它并不快，因此，通用原子最后若想要分到市场，那 HTGR 必须是个中型反应堆，通过所有安全测试，排除所有困难，而且能够马上批量生产。

在各样工业中，我所看过最美丽的景象，就是参观西雅图波音公司制造波音 747 的工厂。工厂很大，波音 747 也并不小，那个工厂的作业极快，我去访问时，他们生产 747 的速度是每星期一架——这就是在我心中所设想的理想的操作状况，也是我心目中的“快即是美”。

像我这个年纪的人都经历过第二次世界大战，对于当时的混乱留下了鲜明的印象。我们都记得，很多东西都是在大战快结束时才发明出来，邱吉尔在 1940 年担任英国首相时，英国可说是双手空空，缺船，缺飞机、坦克、枪炮，还缺任何可以用来打仗的东西。我曾经在学校中看到：小孩在练习打靶时所用的老旧来福枪还被拿去给军队使用——很可能上一次使用的时间，是在 1856 年的克里米亚战争。在 1940 年，邱吉尔在广播上演说：“我很抱歉，我不能在 3 年内为你们做任何事情。我已经下令建立一座工厂，在第二年什

么都没有，在第三年也只是小有成绩然而从第四年开始成果丰硕，从第五年起你们会得到所有想要的东西。”他是正确的，在 5 年内确实可以得到所有的东西，而 5 年内战争就结束了。

游戏规则瞬息万变

这些二次大战的经验，在这一代心里留下了不可磨灭的印象。在我们的内心深处依然相信：如果你真的想要在 5 年内得到什么，只要能清除因为犹豫不决所造成的障碍，梦想定会成真。有些人甚至于相信，那些失业的百万群众会忽然进行流血的政变，应该可以改变社会的工作结构，可以在 5 年内建立人尽其才的社会。这种想法与目前广为政治学家和经济学家所接受的理念背道而驰。他们的观念是：无论我们如何努力要解决经济问题，都无法在公元 2000 年前看到任何实际成果。如果我们继续因循大环境的规则来玩这个游戏的话，上述看法自然无误；然而任何经历过第二次世界大战的人都知道：如果必要，游戏规则其实是瞬息万变。

是什么使我们今天整个政治与经济体系变得如此糟糕而且欠缺效率？是什么使得我们认为：不管做什么，在 10 年内都不会有效果？显然有很多原因。我相信这种事发生的主要原因是：整个社会都陷入了类似核能工业的困境当中，而不论是核能工业、其他工业或是公众的一般态度，都已被误导至一种错误的经济规模上。最主要的错误是城市的过分膨胀，某些时候看起来十分经济——把几百万人聚集起来，在许多大楼中，让他们集体工作，是非常经济的事；然而，这些大城市后来都产生许多社会问题——这也表示说，这是一个错误的经济规模。

当我们从社会学转至生物学，我们可以看到同样的历史重演。徜徉 100 万个夏天后，恐龙达到了经济规模，它们生长快速，躯体庞大，身体的结构渐趋分化，只能适应某种生态环境。根据伯克利的学者艾弗瑞兹（Luis Alvarez）等人的研究，当时有一颗彗星从天上掉下来打中地球，扬起满天尘埃，使得生态界的游戏规则一夕数变。幸而我们的生物先祖仍然微小，并不是分化得十分专精，所以能迅速适应，于是可以继续生存在地球上。

现在来谈点令人振奋的事。在普林斯顿，我们正在进行两项计划，各有一套独特的方法来解决能源问题。这两项工作都是在普林斯顿的校园内进行，其一叫 TFTR 融合测试反应器（the Tokamak Fusion Test Reactor），这是希望能以磁场控制融合的计划，是由美国能源部支持的，价值约 3 亿美元，现在已运转了好几年，希望在 15 或 20 年后可以开始供应电力。

普林斯顿的“冰池塘”能源研究

另外有个计划是我有幸参与的——是普林斯顿冰池塘（the Princeton Ice Pond），这个所谓的冰池塘是在地上挖一个方形的洞，四周辟了一条泥土路，在洞底垫了一片塑胶片。这是在 1980 年 1 月，有两个家伙用怪手挖了这个洞，然后我们租了一部市面上买得到的造雪机器，把雪在 2 月的冷天气中灌入这个洞。造雪工程进行至中途，发现我们并不需要那么好的造雪机器，其实我们的池塘里并不需要滑雪用的雪，我们只需要一个消防用的喷嘴，大

约只花 300 美元即可。雪堆造得很高，看起来非常壮观。到了 3 月，太阳使它融化了一些；到了 4 月，雨水把雪变成一池烂泥。我们在上面盖了一层隔热的塑胶片和草，在顶端我们设法使草干燥。到 6 月时，大风暴弄湿整个上层设备，因此，我们只有用湿草做为隔热层。我认为自己不应居功，这个计划由苏可罗(RobSocolow)、寇克派屈克(DonKirkpatrick)、泰勒(TedTaylor)和他们在普林斯顿环境工程中心的学生共同研究，我只是一个笨拙的助手，偶尔去帮帮忙而已。在 6 月时，我们测量这个池塘后发现，大约有 450 吨的冰，在底下有些水。

在整个炎热的普林斯顿夏天当中，我们成功地以清水循环利用池塘底部，供应一幢大楼的空调。我们差不多每天用掉 7 吨的冰，在普林斯顿炎热的太阳下，这些冰就如同阿尔卑斯山，真是赏心乐事！当 10 月初炎热天气结束时，我们还有 150 吨的冰存量。

1980 年的“冰池塘”证明了当初的想法是可行的。但是这是一项十分繁重的工作，我觉得很适合普林斯顿的学生，但并不见得适合一般的市民、商人。我们一直想让冰池塘更美观些，我们也希望能改用较持久的素材，不需要做太多的维护工作；在理想状态下，能让这个系统能逐年运作，而拥有者可以完全忘掉它的存在。这个池塘不能为它的拥有者带来任何困扰，因为每个人的麻烦够多了。我们必须证明这项工作简易可行，形态也必须合乎房屋设计与建筑法规。

这个冰池塘计划并非由能源部所支持，我们几次向能源部要求经济上的援助，但他们多半叫我们向建筑与都市开发部申请；而当我们向其他部申请时，他们却请我们回去向能源部申请。这个计划从 1980 年的 1 月开始进行。保德信人寿(Prudential Insurance Company)认为这也许是个很好的投资计划，于是准备花 30 万美元，看看我们到底有多行。

为什么保德信有兴趣支持像我们这样的技术性计划呢？这家公司正好在建筑数幢办公大楼，地点是在普林斯顿附近的工业区中，如果使用太阳能空调动力，就能节省不少成本。假使这个疯狂的主意能够实现的话，我们就可以用相当于两年的燃料与电力的使用费，来建造这座系统；换句话说，只要我们的系统运作顺利，保德信不但可省下建造太阳能发电系统的经费，还可以享受免费的空调。当然这项计划到目前为止尚未成功，冰池塘仍然是个实验性的、不可信赖的、不方便的设备。想让它成为标准的商业产品，还有很多工作要做。

要得到便宜又可靠的太阳能，主要关键是：必须有很便宜、能大量储存冷及热的装置，这个装置要大到能克服一年内的天气变化。在夏天收集热，在冬天使用；在冬天收集冷，在夏天使用。我们想为保德信设计两座池子，热池储存了 10 万吨的热水（大小约 2 英亩大，30 英尺深）。冷池内含 1 万吨的冰（大小约 1/4 英亩，30 英尺深），我们之所以先做冰池塘的实验，主要是因为 1980 年 1 月时经费充裕，那时也正是造雪的好时机。而急着在冬天造雪，总要比在夏天造热水要容易些。

这个太阳池的好处是：容不得出一点错，非得马上修正不可。在一开始时，隔热层的构造发生了错误，在两个月内，台风把它吹翻，所以我们准备要试用其他材料。然后我们在做“热机”时又犯了另一个错误，我们原始设计的最重要部分是使用一个热机来产生家庭用电，使用冰池塘及热池塘做为“热源”与“热井”，这样子结合成一个热机，其理想效率在华氏 140 度(140

°F)与冰点之间应为 20%；我们如果用—个真正的引擎来发电，大约可达到 10%的效率。我们找到了一家位于佛罗里达的制造商，他们卖我们 12000 美元—台热机，可以发出 10 个千瓦的电力，也就是每千瓦需要 1200 美元，不需任何燃料费用，这台机器就可以跟任何中央发电系统竞争。

能源部对这台机器嗤之以鼻，他们认为佛罗里达的机器只是一台废物。但这使我们更发奋要证明他们是错的。我们向佛罗里达的某设计师租—台机器，租期 3 个月，他自己开车到普林斯顿来，很自傲地把机器交给我们说：“这台机器好得很，绝不—台废物！”这位设计师告诉我们，在佛罗里达时，是在—个充满青蛙的池塘中操作这些机器，这台机器丝毫不受干扰，运作十分顺畅；所以我们就付了 3 个月的租金，看看使用情况究竟如何。我们把机器交给—位学生，小心测量它的效能。结果发现：这个设计师似乎不太了解三相电流的真正意义，因此，所有对于电力的数据都太高了。看来他处理青蛙问题的能力，似乎比处理复数的要强得多。这台机器的效率是 6%而非 10%，所以我们很遗憾的把机器送还给他。

保德信人寿从来就对热水池与热机这部分不感兴趣，他们都是向电力及瓦斯公司付费使用电力，而他们自己并不想发展这些设施。所以我们必须只进行冰池塘实验，而放弃了热机的实验。如果所有冰池塘实验的过程都很完美，我们才会再继续研究“热机”。

“冰池塘”技术的实际应用

在普林斯顿的—个实验完成之后，我的朋友泰勒建立—家公司发展冰池塘。这家公司并不赚钱，倒是困难重重。直到如今，他—共只卖了—个冰池塘，他的—个客户是—家乳酪公司，这是—个在纽约州西部农村的小公司。食物处理工厂对冰池塘而言，是较容易开发的市场，至少比空调及热处理要简单得多。制造乳酪的工厂需要全年的冷却，工厂也不需要多美观，因此这家乳酪公司对冰池塘感到很满意，节省了大笔冰冻费用。

泰勒的第二项商业计划是在长岛上建造冰池塘，这个冰池塘和其他冰池塘不同，这是由大西洋抽上来的盐水来冷冻做成冰块。—段时间后盐分都集中在池塘底部，余下的都是极纯冰块；特别是中间的冰块，甚至可以达到纽约州公共饮用水的标准。正好长岛附近发生了饮用水缺乏问题，这也是当地会对冰池塘感兴趣的原因。希望不用太久，这个冰池塘就能满足长岛西部饮用水的需要。“快速冷冻、缓慢解冻”是从海水中滤去盐分的好方法，而且这在大部分化学品中，也是“去脂”的好方法；说不定最后会发现：冰池塘技术在水纯化上比冷冻上更重要。当然，—项新科技在发展当中最严重的阻碍，是制度上的困难，而非技术发展上的困难；比方说，如何使冰池塘符合政府方面饮用水的法规，也是—个问题。在几年内，看看对新科技的需求是否能克服制度上的障碍。

这是普林斯顿冰池塘的故事。每当我在评估—项技术是否能迅速应变时，脑海中就会浮现这个故事。我并不是说，冰池塘可以解决什么重大的社会问题；而是说，这项小技术已经证明其具有经济价值，我也只能说，冰池塘本身是—个很好的例子——这是—个不需要严谨技术，就能很快地加以运用的例子。那么，冰池塘可能变成—种便宜又有效率的提供能源的方法吗？如果不行，很快就会知道，绝对不需要花大半辈子的时间去证明它有没有用。

如果成功的话，冰池塘和太阳能热池塘会被大量应用，可以在任何地方依不同的需要来建立。这些塑胶衬底、管件、还有太阳能集中器都可以在工厂内大量生产。一个全新的工业即将和在二次大战中兴起的工业一样，很快地建立起来。

现在一切都还像是痴人说梦，顶多只有极小的可能性罢了。我们没有理由说一项新科技一定要像核融合或核分裂，得花 30 年才能发展成功；如果我们希望它能够很快地发展，最好是针对较小的规模、简单的设计、大量生产和广大的市场来发展。当我在普林斯顿的园区看到这二台机器：一个花费 3 亿美元的 TFTR，和我们那个小小的冰池塘时，就好像看到恐龙和人类始祖的雏型，真不知距离下一个彗星掉落地球还需多少时间！

自然界的速率弹性远胜工业界

最后我想谈谈遗传工程。当我比较生物世界和机器工业的世界时，我被生物程序的效率与弹性深深感动了：当一只臭鼬在森林里死掉时，只要几天，一大群蚂蚁、甲虫和细菌就开始工作，几星期后只剩一堆骨头。然而如果一部汽车报销了，被弃置废车场，10 年后它仍然“健在”。任何工业上机器能够做的事情，不管是挖矿、建筑或是拆房子，自然界的生物也在做同样的事情，只不过更有效率，更安静，而且通常更快！这就是为什么研究遗传工程的人前景不可限量，因为他们有机会把自然界的速率与弹性，应用在工业发展上。

现在很难说到底有哪些事情，是遗传工程学能够帮我们做的。某些特殊的例子听起来像科幻小说中的主角。长远来看，有三个可能性：第一是培植出“能源树”，能将光合作用所产生的纤维素转变成可用的液体燃料；其次，就是“采矿虫”，发展一种像蚯蚓的机器，用来挖开黏土以取得金属矿，带回地面；第三个是“清道龟”，这种生物拥有金刚钻头的牙齿，用来分解人类的废弃物、废车等。这些生物的功能其实和蜜蜂也差不到哪里去；可是如果要进行如此伟大的理想，一定要长期计划，那就可能需要 20 年的发展才能够达成目标。这样就跟核能工业一样，失去了弹性，这种生物技术所有的优点就一文不值了。

我希望我们以踏实的脚步来研究遗传工程，所选择的计划必须能很快达成短期目标，也必须符合既有的化学或制药工业的一些计划。这也就是 1956 年 TRIGA 反应堆能进入核能工业这一行的原因，这也应该是继续从事核能工业的方式。总之，我们应该尝试发展小规模而精密的方法，来建立一套可灵活应变的生产设备。绝对不要牺牲经济上的“速度”来完成经济的“规模”，绝对不要花上 10 年的时间后，才知道这些东西可用或不可用。如果我们能遵守这些简单的规则，就能与遗传工程界携手合作，建立更清洁、更适合人类居住的世界——这个目标是核能工业想做、但却做不到的。

核能科学家最大的错误

前文在讨论核能时，只谈到反应堆而并未论及炸弹；我的看法是：核能科学家最大的错误是把他们的热情投注于核弹上，而非反应堆。我并不认为“三哩岛事件”与“轰炸广岛”有任何类似的地方。我们必须面对的问题是：

到底遗传工程发展带给我们的危险，可否与核武器的危险相提并论？我相信这个问题的答案是否定的，因为目前法律限制这些实验的进行；换句话说，遗传工程必须停止灵长类动物的实验。只要情况维持如此，我不认为遗传工程学会带给我们比旧式化学武器或生物武器还糟的结果。我们只要特别注意会带来什么危险；如果发现状况，就必须提出警告，并且看看是否还有其他路可以走。如果遭遇了最坏的情形，至少还有生路可走。

我个人并不认为遗传工程的发展会带来危险，我认为它所带来的好处反而会愈来愈多。我衷心祝福这些年轻的科学家，能够像我们在处理 TRIGA 反应堆和普林斯顿的冰池塘时一样乐在其中。要发展一项新科技是件很困难的事，但同时也十分有趣。幸运的话，他们会和浦平一样发现：发明和科学上的发现同样具有创造性，而且是一种非常刺激的生活方式。当他们年华老大时，或许也会像浦平一样觉得：发明家的生命也可以引发哲学上的遐思，并且与人类基本的命运息息相关。

第九章 太空与科学

科学和太空各有各的目的与设计，
它们并不相互依存。
而当太空科学意义奠基于人类的冒险精神时，
就最具意义——
勇敢的人类居然敢驾着登月小艇，
降落在宁静海上。

太空科学刚好是我个人的专长，虽然它只是这科学王国内容中的一小部分，但是却浩瀚丰美，所以我假设各位读者都能分享我对太空科学的这份热情。在此主要谈的是美国的经验与所面临的问题。“科学”是国际性的，是人类文化的一小部分；而美国的太空科学也只是太空科学的一部分；所以在此我只能提出一隅之见而已。

对美国的太空计划而言，科学从来不是主要的驱动力，而且太空计划也从来不是科学的主要驱动力。理由非常明显：科学和太空各有各的目的与设计，并不相互依存，科学最具创造性的地方，是它能够从一颗沙粒看到整个世界，或者从一朵野花看到整个天堂。当然，大型机器也是科学的一部分，但并不是最重要的。当美国的太空科学计划意义奠基于人类的冒险精神时，就最具创造性——勇敢的人类居然敢驾着登月小艇，降落在宁静海上。对月球岩石的正确观察与年龄鉴定，也是科学探索的一部分，但也不是最重要的部分。太空计划的主要驱动力是政治、军事和经济，从来就不是科学。如果我们以所投注的心力与总预算来估量这个计划的规模，大约有 10% 的太空计划是科学计划，而差不多 10% 的科学计划是太空计划；也就是说，在太空与科学间有 10% 是相通的。对这两者而言；这些都是非常重要的。既然我是个科学家，我将专注在这相通的部分，回顾过去 30 年来太空科学的发现中最受瞩目的部分，并希望能自其中学到教训，以利未来发展。

“任务导向”与“科学导向”

有两种方法可以用来探索太空科学，我们可以从太空或科学的角度来看。如果你从太空的角度观察，一定属于“任务导向”，我们以这个任务的成功与否来判定它的价值。如果以“任务导向”的观念来观察过去 30 年的太空科学发展，你可以看到许多非常出色的成就，当然，也有小部分令人悲伤的结果。这是太空科学家的观点，也是大部分民众的看法。我并不想说“任务导向”的看法是错的，但是，这并不是它的全貌。我是从科学的角度来看——这是很自然的——我想知道，如果以“科学”为导向的话，会有什么结果。

以科学为导向，在判定任务成功或失败之前，必须看看这些任务对科学有多少贡献，以更广泛的科学背景来探索太空科学。它问的问题不像：“这个有用吗？”这类的简单问题，而是更困难的问题，比方说：“那又怎么样？”“我们从其中到底学到什么？”“这些真的是我们要观测的目标吗？”“如果我们要进行这项观测，哪些是最快、最便宜、最有效率的方法？”如果从科学的观点，没有一件事情是完全成功的，但是绝对有些事是完全失败的。

完成一项任务，通常在解决了旧问题的同时，会引发一些新的问题。

“哥白尼号”：不算成功的“科学”任务

我比较喜欢举一些个案来说明，而不喜欢广泛的空谈。现在我要谈一个特殊的例子，这是在普林斯顿执行的一项计划，算是一项成功的太空任务。这是一个环绕地球轨道的紫外线摄影机，叫做“哥白尼号”（Copernicus），它是在1972年开始计划，刚好是庆祝哥白尼的500岁冥诞。从任务导向的观点来看，“哥白尼号”是一项极伟大的成就，它确实达成了最初的设计目的，照了很多高解析度炽热星球的紫外光谱，并且测量了星际间一些气体中原子与离子的吸收谱线。这项设备当初只计划要执行1年，然而事实上却工作了整整8年，而且它不断产生数据，直到最后，因为它本身朽坏了才停止。普林斯顿有许多人目前还在研究那些数据，而且仍然有人发表论文。这些普林斯顿的天文学家对他们的“哥白尼号”深感自傲，他们发明、设计，为它奋战，为它争取经费，使用它，并且在使用过程中照顾得无微不至。而美国太空总署只帮了一点点忙。这是由一个大学的小系实验所得的伟大成就。

但是我们从“科学导向”的观点来看“哥白尼号”，情况就复杂多了。哥白尼号的最初构想是由50年代斯彼泽（Lyman Spitzer）所提出来的，他一直是探测银河间气体本质与分布的先驱。在50年代，星际间气体的主要化学证据，都是由一些主要星球所含的钠和钙的光谱吸收谱线而得来的。为什么是钠和钙呢？因为地球上的光学望远镜能够看到钠和钙的光谱线，所以钠与钙成为唯一能够证实存在的二种元素；但是钠与钙在气体中含量极微，因此钠与钙的谱线并不能让我们更了解一般气体的行为。气体中主要的原子是一些普通的元素，如碳、氢、氮、氧等，这些吸收线只有在远离紫外光区才看得到。所以斯波泽认为，如果我们把一个远紫外线的望远镜放在卫星上的话，就能记录且精密测量大量星际间的吸收谱线。美国太空总署也认为这是个好主意，斯彼泽所提的计划在1960年通过，称为卫星太空实验室系列的第三个计划。建造的合约在1962年签订，发射升空的时间排在1965年。

因为种种技术和政治的原因，“哥白尼号”的发射时间延迟了7年，这也就是说，原本设计为解决50年代问题的望远镜，却在70年代才发射。在设计与发射“哥白尼号”时，射电天文学有了革命性的进步，这些射电天文学家可以藉着地面上的一些设备，使用微波，就可以观察那些星际间的气体。微波天文学回答了有关气体主要成分的重要问题，建在地球上的微波望远镜也完成了大部分原本“哥白尼号”当初设计要达成的目标，而且更快、更便宜，也更好。这并不是说“哥白尼号”在科学上已经无用了，事实上“哥白尼号”的观察补足了很多微波观察不足的地方，特别是对星际间高温气体的侦测，提供我们许多宝贵资料，而这些是用射电望远镜所看不到的。

所以“哥白尼号”在科学上并不算失败，但它并不是这些天文学家所选择用来解答70年代问题的适当工具。在70年代，我们需要的是一个紫外线的望远镜，才能够让我们观察一些新发现的X射线波源、类星球体以及其他活动频仍的神秘星球。这些新发现都是模糊不清的，而因为“哥白尼号”的设计希望能得到更高解析度的光谱，因而牺牲了搜集光线的能力，所以无法看到那些很模糊不清的天体，所以哥白尼号唯一有表现机会的时候是在1975年8、9月的几个晚上，天鹅座新星（Nova Cygni）在北方天空闪烁时才算

看到了新的天体。

“哥白尼号”只是美国太空计划“科学部分”中，许多成功的计划之一。我之所以详细说明，是因为我相信这显示出了太空科学历史上不断重演的一个问题，这问题是科学与太空任务起步的时差。科学的进步是非常快速的，一个新的发现或想法，常常把整个科学领域在几年内搞得天翻地覆。脉冲星的发现是在1967年，就好像当初发现天鹅座新星一样，在一年之内，完全转变了我们对星球演化最后过程的想法。这种发现的影响不仅改变了整个科学进步的方向，而且也改变了我们原本要探索的一些问题。现在每一个年轻科学家的梦想，都是能像19岁的数学天才伽洛瓦(Evariste Galois)在1830年那样大言不惭：“我已经进行了一些研究，而我的成果将会让很多学者掷笔长叹。”因为科学必须随时准备好改变方向，所以科学的工具就必须非常有弹性，而且是多功能用途。

不幸的是，“有弹性”和“多功能”，在科学环境中很难做得到。在科学计划中，我们要设计仪器与计划任务，通常必须要拖延若干年，像“哥白尼号”从设计到发射共花了12年时间。这也许是个极端的例子，但是一般延迟8年到10年倒也算不上罕见。在大部分主要的太空计划中，其设计通常是为了解答10年前科学家认为非常重要的问题，而当这个任务愈重大、企图心愈来愈强时，愈难让任务的时间表与科学的时间表彼此吻合。太空科学像是一辆双头马车，一匹是赛马，另一匹却是拖车的马。

那么，太空计划应该如何补救，才能重拾活力呢？首先，我希望先回顾过去。我们可以从过去的错误中学习，如何在未来能改进；可以从过去的成果中求突破，努力更上层楼。

“阿波罗时期”与“后阿波罗时期”

由史波尼克(Sputnik)以来的30年，太空计划可以分成两个时期讨论，也就是“阿波罗时期”与“后阿波罗时期”，阿波罗时期的结束是以1972年施密特(Harrison Schmitt)与赛南(Eugene Cernan)从月球离开为止。阿波罗时期是特别具有启发性的，因为我们可以清楚看到：那些年的太空任务是最具科学成果的。在阿波罗时期中，通常预算支出与科学成果之间成强烈的反比，这种关系并不是我们所期望的，也不在我们的计划中。科学成就根本就是无法预期的：通常愈“昂贵”的任务，得到的科学收获愈少；而最“便宜”的任务，通常得到的是令人兴奋的结果。

阿波罗时期的任务通常分成三种形式，第一种是阿波罗太空船载人计划，另一种是探测火星的不载人飞行计划，第三种是一系列的X射线探测计划。X射线任务与火星任务的花费，大约是1比10。我们不能以数值来比较不同任务的科学成果，然而如果想比较这些不同形式科学任务的相对价值，一定多少掺杂着各人品味的在其中。在此，我想要谈谈X射线天文学的发轫，如何开启了一扇新的宇宙天窗。这显示在太空中还有许多新的星体存在，而这是整个科学计划中一项丰硕的果实。

充满剧烈变化物质的新宇宙观

新发现的X射线波源，提供我们宇宙的新景象：它是由一些剧烈的变动

所组成，包括爆炸、震动；而且变化极快。这些由观察 X 射线所做成的结论，推翻了先哲亚里斯多德所认为和谐宇宙的观点——他认为宇宙中包含了很多完美物体，各自安静、和平地运动着。这种由亚里斯多德规划的古老而安静的宇宙，事实上一直未受到主流科学家如哥白尼、牛顿和爱因斯坦等人的质疑。但是一旦开始使用 X 射线望远镜之后，一个新的宇宙观出现了：其中充满了一些崩溃中的物质，到处是剧烈变化。这项观察的任务主要由便宜、小巧的 60 年代火箭所完成。它射出地球大气层，在掉下来之前可以观察几分钟的 X 射线。这种小型研究火箭最大的成就是 1964 年弗里德曼（Herbert Friedman）测量巨蟹星云（Crab Nebula）的 X 射线波源的角度大小，是以月球来做为它的“屏蔽碟”（occulting disk）。

屏蔽碟指的是天文学家在观察日蚀时，所用的一个圆型金属片。可放在望远镜上，将太阳光线遮住以利观察，弗里德曼希望找出这个在巨蟹星云中新发现的 X 射线波源，是扩散在整个星云当中呢？还是只是集中在某一个特殊的星球上？他知道月球只在 1964 年的 7 月 7 日正好可以挡在这个星云的前面，因此他安排它的 X 射线火箭正好在月球遮住星云之前发射，如果 X 射线波源是个点状波源，那么这个火箭会观察到 X 射线，然后 X 射线会忽然消失；如果波源扩散成一片，那么 X 射线是逐渐消失而非忽然消失。这次观察的结果显示出波源是成片存在的，而 X 射线主要是由在这个星云间回旋的电子所产生的。

携带弗里德曼 X 射线探测器的天蜂（Aerobee）火箭只能够在大气层外提供 5 分钟的观察时间，而月球遮盖巨蟹星云的频率是每 9 年发生一次，因此弗里德曼的火箭必须要到这个时间才能发射，所以火箭发射的时间最好与 5 分钟遮蔽时间能符合。弗里德曼不只证明了 X 射线是成片存在，而且还测量它的大小，并发现这个波源的直径大约是 1 光年，比这个星云的直径 3 光年要小得多。弗里德曼的观察是一个经济使用科学资源的很好的例子。在阿波罗时期，X 射线观察的花费，大概占太空计划总预算的不到百分之一。

当年使用最大部分预算的载人太空计划，提供了有关月球的种种资料。各种不同的月球岩石被带回来分析，并标明它的年龄，我们现在已了解月球的地壳上层，还有它早期的历史演化，我们也测量了月球地震与地磁特性——这些都是很好的科学，但它并不是伟大的科学。伟大的科学必须包含了一些令人惊讶的事情。事实上，月球探测并没有为我们带来什么意外的发现，反倒是 X 射线的波源与 X 射线的双波源，提供我们银河中存在“黑洞”的证据。在月球上发现的任何事物，都可用传统的物理化学来解释。

然而当我们在执行阿波罗计划的科学任务时，上帝开了我们一个大玩笑。因为太空总署对于从月球带回来的岩石非常有兴趣，他们也很想知道这些岩石组成之类的科学数据及结果。由于必须拥有很好的设备，以便分析这些月球岩石，所以所有的陨石化学家都得到足够的设备，有很好的质谱仪，有很好的对各种不同种类的微化学分析仪器，就只等着把岩石从月球上拿回来就可以工作了。但就在那时，在墨西哥落下了一块大陨石，这块陨石比当时我们所有的月球岩石还更引人入胜，这个陨石的名字是阿叶德（Al-lende）陨石，它的重量比所有从月球拿回来的岩石还重 2 倍，而且岩石里含有许多有趣的东西：里面有很多同位素，可以给我们一些太阳系生成前的一些组成问题之证据；而且它也给我们一些有关太阳系产生之谜的证据。这么多知识，都来自阿叶德陨石所包含的细微物体，得来全不费功夫。

“阿波罗时期”的科学成果与投资恰成反比

阿波罗时期的无人飞行计划，不论在花费或在科学上的重要性，都介于载人探测计划与探测小火箭之间。它们比阿波罗火箭的花费少，在科学上所得到的比X射线探测计划少。这种星际间飞行计划，最令人兴奋的地方是在技术上，它让我们能像打撞球一样在星际间探索，像水手10号在内太阳系中跑来跑去，来往于金星与水星间，从不同的角度拍摄水星的照片，这是相当了不起的技术。这项任务令人惊喜，金星的大气层内是高温高压，也没有水；火星上有巨大的火山与深峡谷，一些古老的火山口，上面并无运河。但是其令人惊奇与意外的程度，并不足以激起科学上的革命；这些新发现很神秘，但不是完全不可理解。这项计划的观察，为星球的探索带来了长足的进步；但是，这并不算新科学的诞生。

因此，对整个阿波罗时期来说，若是以1972年底停止的太空计划来看，我们可以归纳出一个简单的数学定律——太空科学中的科学效率定律——我们得到的科学成果与我们花下去的金钱成反比。如果这个定律放诸四海皆准，那我们可以说太空科学计划的管理非常简单，我们只要把预算删减，然后就可以看到科学的进步。但不幸的是，这个简单的管理方法并不是一直适用。“后阿波罗时期”的太空科学，情况就要复杂得多。

在70年代，我们继续执行从60年代延续下的3个计划。从阿波罗计划延续下来的是太空实验室与航天飞机计划，从内太阳系探测计划而来的是维京计划(the Viking)与航海家计划(the Voyager)，从“自由计划”(Uhuru)而来的是爱因斯坦X射线观测计划，而X射线观测仍然是太空计划中最重要的。所谓爱因斯坦的观测计划，在它短短的操作期间仍然造成了许多革命性的发现，包含了类星球体X射线之变化，变化的尺度以小时计。这种类星球体的快速变化暗示，有某种“开关”，这“开关”可以把100亿个太阳，在一到两小时的时间里一下子打开，一下子关掉。这是什么样的开关呢？X射线望远镜让我们第一次进入驱动这些剧烈变动物体的核心当中。在70年代来说，即使维京计划与航海家计划仍然带来科学上的意外发现，X射线的发现仍然是最重要的，比星际旅行的发现更重要。在70年代来说，太空实验室的计划仍然是最没有科学价值的。

不过，在70年代，科学效率定律与60年代就不同了。这3种任务的花费都差不多贵，爱因斯坦计划比较便宜，但旅行家计划又更便宜；然而，太空实验室计划才是最便宜的。在70年代末期，我们就不敢说：太空计划中最小、最便宜的投资，能够在科学上获得最好的成果。这个计划的所有部分，无论其科学的精神为何，都必须以大而昂贵的设备来执行，因而所有的计划都失去了阿波罗计划那种小型计划的活力与弹性。

只求“一击中的”之大型计划

大型计划有二个很显著的缺点。第一个缺点是我曾经提过的：大型计划的前置作业时间太长，因此计划本身缺少弹性，而且不能迅速适应一些新想法。第二个缺点是：大型计划的趋势是一次只能做一件事。原因是大型计划必须对政府及公众，加以解释及陈述，因此和当时政治气氛有很大关系。为

了要保证这类大型科学计划有经费，这些主事者被迫把这些科学的重要问题向公众解释，说明这项任务能解决哪些问题；而且为了诚实起见，他们不得不得使这个任务的设计恰好符合他们的承诺。因此，这个任务每次只能做一件事，它的设计必须与向公众所宣布的一样——通常某些大而无当的科学问题的最后答案，也就是这个任务的

目的。其中最让人不快的例子，就是维京计划。这是由于当时的政治环境，迫使维京计划要完成一项不可能成功的任务——那就是只以维京计划本身，来判断火星上到底有没有生命。

如果仔细看看维京计划中的实验，单就实验本身，就很难把所得到的结果用来确定火星上到底有没有生命。除非是我们运气好到——在摄影机前，一株仙人掌或是一只怪兽刚好趴在那边。设定这种所谓“一击中的”的任务，并不是做科学的好办法。如果我们真的想要认真探讨有关火星上生命的问题，最好的方法是计划一系列的火星探测计划，而每一项规模都不大，都比维京计划小，所以可以根据每一次任务所得到的结果，来拟定下一次任务的方向，然后可以从这一次任务所犯的 error，学到如何避免下次再犯同样的 error。在太空科学的大部分领域当中，不管我们是要探索星球、银河、或是我们自己的地球，一连串的小计划要比单一任务的计划要能得到更多的发现。

只做一次大型计划的坏处不仅在维京计划中看得到，而且在光学、天文学与 X 射线观测计划中也看得到。爱因斯坦 X 射线观测计划在进行时，非常具启发性，但它并无后续的计划；因此，想要回答由爱因斯坦计划延伸出的问题，必须再等很多年，一直到进行下一项任务。现在最好有二个或三个较小的爱因斯坦计划持续进行，而非一项庞大的计划。我也必须承认，我对在 1988 年发射进入轨道的大型光学望远镜哈勃（Hubble）的科学价值感到怀疑。科学家如果对哈勃太空望远镜有所怀疑，那这对整个科学界是一种背叛的行为；但是我还是必须要诚实地说：哈勃望远镜的任务太沉重了，应该是由几个 1 米直径的太空望远镜来执行观测，并应以 1/10 秒的精确弧度来观察，而不是就这么一个直径 2.4 米的望远镜。本世纪只剩下 10 年，却只能用这样大小的望远镜！也许我是太悲观了，在 80 年代末期哈勃望远镜开始进行工作后，应该是可以有重大的发现。但是，我还是有些害怕，它在 90 年代末期会与在 70 年代末期的“哥白尼号”一样，在技术上是项非常重大的成就，但科学上却已晚了 20 年。

“国际紫外线探险家”与“红外线天文卫星”

那么，最近我们对于小而经济的太空科学任务做了些什么努力呢？在过去 10 年中我们有二个重要的任务，第一个是 IUE，即国际紫外线探险家（IUE：International Ultraviolet Explorer）和 IRAS，即红外线天文卫星（IRAS：Infra-Red Astronomy Satellite）。这二项都是国际计划，以英国、荷兰两国贡献最多。IUE 是一个环绕地球轨道的紫外线望远镜，它可以比“哥白尼号”看到更多、更远的天体。它并不是以很高的解析度看一些很亮的星体，而是以较低的解析度看一些较模糊的星体。IRAS 是一个环绕地球运行的红外线望远镜，它是首次人类对整个天空所有的红外线波源做完整的研究和扫描。这二项任务在科学成就上都非常杰出，而且成本不高。我希望能出现更多这一类任务，而我们也有此需要。

在马里兰州的高达德太空飞行中心（Goddard SpaceFlight Center），科学家坐在荧光幕前指挥 IUE 望远镜运行。这是非常直接的工作，天文学家坐在那里指挥望远镜指向某处，然后自行取得需要的数据，绝不拖延。他可以决定下一步要做什么，如果发现解析度不够好，可以马上停止这方面的观测，然后转到另一个地方去。这是一套非常好的系统，它够小，却能提供足够的资料，因此科学家很容易操作这个望远镜。根据太空总署的评估——就以每年在专业期刊上发表论文的页数做为评估生产力的标准——其贡献是最高的。当然，以此来衡量科学成就，并不是个好方法；但是好像也没有什么更好的方法。如果说以每年论文发表的页数来看，IUE 是世界上其他望远镜生产力总和的二倍。像 IRAS 只存活了 10 个月，后来它的液态氦就泄光了，但是这也是一项生产力相当高的任务，算是一项成功的“中等成本任务”了。

哈勃望远镜是未来 10 年太空计划中唯一算是太空科学的项目，这项计划在政治上有很大的不确定性，很多不同委员会中的科学家，已提过许多具有企图心的计划，但是只有少数被当局接受，并且得到经费援助。我们现在正饱受“委员会”流弊之苦——委员会之存在，本身就是种伤害。他们都陷入同样的泥淖中，不管是讨论有关天文学、高能物理或电脑、核能、电浆物理，他们的注意力只放在大型计划上，讨论也都集中在最花钱的计划上。不管内容如何，大计划永远备受瞩目，而且在最后的报告中占了最重要的部分。领域委员会（The Field Committee）是由美国太空科学家为美国未来 10 年的太空计划所建立的。这个委员会认为：我们需要小型任务，而不是一些大型任务。然而这些大型任务常被过分强调。当专家到了会议桌旁要经费时，所有的讨论都集中在大项目上。以前任务很多，我们有较小的仪器与较多的飞行次数时，通常没有那么多政治上的困难。我想我们应该向日本学习，他们每一年进行一次太空科学任务，虽然资源非常有限，太空船也非常小，但他们的科学成果都相当出色。

哈勃、伽利略与希帕可斯计划

目前三项美国与欧洲的太空研究任务已经排好行程，陆续开始执行，那就是：哈勃望远镜、伽利略计划（Galileo）、希帕可斯计划（Hipparcos）（编按：希帕可斯是第 2 世纪的天文学家）。哈勃与伽利略都是航天飞机的任务，它们都受预算及政治因素的影响，而这二项计划也都拖延上一段长时间，技术上也都不太能确定，原因是来自于发展航天飞机的困难。哈勃望远镜是一个一般的光学仪器，它主要的设计目的，是为了能够得到比在地面观测还清楚 20 倍的影像，它可以探测一些非常细微的天体。伽利略是一项星际任务，可以探测木星，把探测器送到木星的大气层，可以得到木星完整的地形图片和所有卫星的详细情形。伽利略与哈勃一样，都是独一无二的任务。直到本世纪末，没有任何对木星探测的大型计划，所以，如果伽利略引发了一些新的问题，就要等很久才能得到答案。

希帕可斯则完全不同。它是属于欧洲太空总署的计划，这个总署是由法国的拉克卢（Pierre Lacroute）教授提倡建立的。这项计划与航天飞机无关，它的体积很小，所以可以安置在法国的阿里亚娜一号（Ariane 1）发射系统中进入地球轨道。这项计划所费不多，可以成为一连串任务的先驱。如果第一项希帕可斯计划任务进行顺利，那就可以继续发射火箭，以便取得更多

而且更广泛的讯息；如果第一项行动失败了，也不致受到严重的打击。

小型且所费不高的“希帕可斯”计划

希帕可斯是一个天文卫星，它的设计主要是为了测量星球精确的角度及位置。它可以标出位置，比地面上望远镜所测量的准确 10 倍以上。听起来没什么了不起，而且不会形成什么革命性的影响；但事实上，这对于天文学家极为重要。如果说我们能改善测量星球角度的准确性达 10 倍，就可以把用视差方法测量星球距离的准确性提高 10 倍，那么也就可以将星球距离准确测量的范围提高 1000 倍。准确的位置可以提供一个三度空间内数百万星球的视野，而不是局限在目前距离近到可以用视差测量距离的几百个星球而已。知道这些星球与我们之间的距离后，也就可以知道它的绝对亮度了；而星球的绝对亮度，事实上是关于这个星球结构与生命最重要的物理量。

增加观察能力 10 倍，在定性及定量上都非常重要。目前我们可以准确测量出距离的几百个星星，距离算是很近，差不多都是最普通的星星，无法提供我们所感兴趣的星球演化过程的任何资料。当我们知道几百万个星球的亮度后，样本中就会包含一些很稀有的星球种类——比方说在不同形式变动中的星球——我们就可以观察其生命的一些变化。由希帕可斯提供的数据，给予我们许多星球与银河动态行为资料，及许多关于组成与演化之新信息。其任务还包含了一个完整的数据自动分析系统，并不是去测量个别星球的位置，而是一起计算数千个星球。这个数据处理系统对于天文学来说，是一项革命性的进步。

我希望我没有过分夸大希帕可斯的优点，我也不希望由于过分赞美这项计划，而使我们的欧洲朋友感到脸红。但是有二件关于希帕可斯计划的事实，对我来说是很重要的问题。首先，它是自从史波尼克以来，在 1957 年以后，第一个在美国以外所发展的太空计划；其次，它是自从自由计划之后第一项小型且花费不多的任务，这个任务可以反复进行，而不致花费太多。我相信，如果能够不再做类似哈勃太空望远镜与伽利略这种只求“一击中的”的大型计划，太空科学会更加繁荣。我们要做的是较小、更有弹性的计划，就像希帕可斯一样——而这可能只是日本与欧洲许多精良的太空计划之一。苏联的太空计划可能已经开始，而且正在进行，这会刺激我们的竞争心。

除了希帕可斯之外，还有很多机会，让那些第一流的科学家进行一些较小的太空任务。眼前有许多待开发的新方向，说不定会带来一次科学上的“文艺复兴”。在这些新方向中，有些必须马上着手，而其他可能需要用 10 年或 20 年发展一些科技。这并非痴人说梦，我只想谈一谈在未来 25 年中可能实现的计划。

待开发的太空科学新方向

首先我想把最近就可以进行的计划列出四项。第一，如果我们在考虑科学的优先发展顺序时，不掺杂其他的因素，那么应该马上起而行的是由加州喷射推进实验室（JPL：Jet Propulsion Laboratory）所设计的，叫做环绕地球 VLBI 观测站。VLBI 观测计划指的是极长基线干涉术（Very Long Baseline Interferometry），在过去 25 年当中，VLBI 技术已经发展成功，

许多国家的无线电天文学家，使用建筑在地面上的望远镜来改良这种技术。

VLBI 是天文学历史上最重要的一项成就，这个观测站可以让我们观测遥远的无线电波源，其角度解析度比任何在地面上的光学望远镜好 1000 倍以上，而且比哈勃望远镜的最佳功能还要强 50 倍。目前光学天文学家一直在改良建筑在地面上的 VLBI 的性能。科学成功的秘诀，就是赶快把钱下注在那些会跑赢的赛马上。而这项计划也不例外，环绕地球轨道的 VLBI 观测站是一个中等大小的无线电天线，它以延长的轨道环绕地球，并把信号传至地面上建好的 VLBI 望远镜的网络上。加入这个太空天线，可以使地面上系统的能力增强 10 倍；然而这还不是这项发展的最后结果。就像希帕可斯一样，环绕地球的 VLBI 小到可以装在其他具有更重要任务的太空船上，带入太空，再加上所费又不高，因此如果成效不错，可以不断发射使用。在 10 年之内，就能在不同轨道上，建立一座环绕地球的 VLBI 观测网络，而把无线电天文学的观测角度之精确度推至极限。这些都可以边学边做，而并非“不成功，便成仁”的任务。

未来最佳的第二项太空计划，是使用并扩展希帕可斯的技术。美国不需要把科学领域拱手让给欧洲，如果我们能把光学与天文学的观测范围加以推展，前景相当可观。我们可以改善希帕可斯光学系统的精确度，或者我们可以发射装载希帕可斯的太空船到极远处，甚至到达土星，以便得到以 10 倍基线长度的视差。如果用红外线型的希帕可斯，就可以观察微细红外线波源，这可能比标准型的还能发挥更大的功用。更让人兴奋的是，它可以高速来观察附近的星球，可以发现很多小行星，也有机会发现假设中太阳的伴星——复仇女神。

第三项是重复以前所做过的事。美国太空总署的人有个奇怪想法，也就是做过的事，便永不再碰。这当然是因为他们都不是科学家，如果是天文学家的话，就会希望重复进行观察。有很多任务都是如此，如果我们能多进行几次的话，花费便不致太高。那为什么我们不重复 IUE 呢？我们为什么不继续做 IRAS 呢？我们为什么不重复进行爱因斯坦的 X 射线卫星计划呢？不断地观察，就可以从不同的来源学习到更多。很多天空中的有趣星体，都是一直不断变化的。

第四项是“光学干涉术”(optical interferometry)。所谓“光学干涉术”就是从几个接收器一起接收光或无线电波，然后把它合成同一个信号，再来侦测它。这种由一个阵列接收器而来的合成信号，把它放进现代的资料处理系统当中时，就可以重新建立观测物的影像。角度的精确性由整个阵列的大小决定，而非取决于单一接收器大小。无线电干涉器工作时，通常以好几公里长的大阵列来做，其角度的精确度，可以达到用一个 10 公里大的碟子所达成的精密度。如果要建一个 10 公里大的碟子，会非常贵，而且结构上也不可能负荷，但是假使我们把这个光学干涉术的系统建在太空中的话，成果必然可观；那么光学干涉术就不需要很大的望远镜，也不需要很强的结构。其早期任务都是中等规模，所使用的基线差不多有几十公尺，望远镜的大小只有几英寸而已，但这已经可以让我们得到一些很亮的星体的光学结构，而它的角度精确度比哈勃望远镜强 10 倍。在这之后，我们更可以发展出一些技术来探测比较黯淡的星体，得到更高的解析度。无线电天文学家可能需要 25 年的时间来学习“极长基线干涉术”，也许那些光学干涉术的操作员需要更长的时间赶上他们。

新时代太空科学应具备弹性

我所提出的建议，都是针对天文学，这是因为天文学是我最熟悉的一部分。而其他太空科学的领域也都可以此类推来发展；像太阳物理、星际探索，与研究星球间粒子及作用场等。我并不是说以上所列事项是目前最需要、而且必须马上进行的；我只是觉得，这四项计划可以挽救目前所有深陷泥淖的太空科学企业，提供一种新的运作方式。

这种新方式的优点在天文学中特别明显。光学天文学可以像无线电天文学一样，从单独碟子的老技术而进步到用大型阵列、灵敏探测器与复杂数据处理的新技术。我们在 1988 年所发射的哈勃望远镜是 19 世纪的技术，它是一面大镜子，因此它所代表的是旧时代的结束，而不是新时代的开始。太空科学的新时代不论在机械上或是心理上，都会非常具有弹性。如果我们现在开始慢慢发展具有弹性的光学阵列技术，就可能在 2010 年能发展出不同的设备。它的能力远远超过哈勃望远镜，就好像现在的无线电阵列，远远超过 50 年代的无线电望远镜一样。

超越传统的太空科学梦想

我所提到的这四个计划都是非常传统的，我现在想谈一些比较不传统、比较特殊的东西。这些可能是 20 年以后才会发生的事情；当然，如果希望快点进步，而不必等待委员会同意，那么应该会比预期要早些。以下我提出四个对长期科技发展的看法：首先是加州喷射推进实验室所研究的东西，我们称它为“微型太空船”（microspacecraft）。在过去 25 年中，数据处理系统最大的进步，主要是因为线路的微型化。所谓微型太空船就是把所有东西都微型化，包括感测器、飞行设备、通讯系统、天线与其他所有配备都微型化，所以整个设备的重量，会减少到像现代掌上型计算机一样大小。这仍然需要一定大小的天线，但是非常的轻、薄，目前并没有任何定律规定，一个高效能的太空船必须重达 1 吨；我们也许可以制造出具有相同能力的太空船，却只有 1 公斤重。

我对未来科技发展的第二个梦想是：目前科学界正在研究中，试图以“太阳帆”（solar sails）作为在太阳系内的简便运输工具——至少要在内行星或小行星区航行。美国太空总署人员认为“太阳帆”不切实际，是因为任何载具所需的太阳帆都太大了。一个 1 吨重的载具需要 1 平方公里的帆来驱动它，这种面积对于首次实验而言，不管在装载或运输上，都嫌过大。没有任何一位太空旅行者希望自己的太空船如此的庞大、笨重。但是，如果发展微型太空船，就对太阳帆的发展非常有利：一个 1 公斤重的微型太空船，只需要 30 平方米的帆就可以自在而行，而 30 平方米的太阳帆对实验而言，是很合理的，这样一来，航行管理与载具的问题可以迎刃而解。

第三项理想离我们尚远——“迷你激光推进器”（mini-laser propulsion）。我很久以前就是激光推进的拥护者，激光推进是由坎卓维兹（Arthur Kantrowitz）所发明。这是第一个使用激光光束做为能量来源的火箭发射系统，因此，火箭可用激光光束把它送入天空，推进用的燃料可以用水，水由激光光束加热至很高的温度，以很高的速度冲出火箭，使得火箭

能到达轨道或脱离地球引力。一个坎卓维兹的典型激光推进系统，需要 1000 个百万瓦的激光来提供能量；如果一般任务的平均重量是 1 吨，它所需要的推进药剂大约只要 1 吨，所以整个载具可以非常的小，差不多是一辆大众汽车（Volkswagon）的大小，它比传统 3 节化学火箭便宜得多；但麻烦的是得先制造 1000 个百万瓦的激光，造价非常昂贵。

这整个计划的限制就是激光的大小，我们可能要花 10 年的时间来制造这个激光，到那时，所有过去科学家感兴趣的科学都已经过时了。然而，如果能先制造出这种小型的东西，就可能使用几个百万瓦的迷你激光推进器系统——这种激光大小比较可行，我们也知道这种引擎目前还不存在，还没有人设计过利用激光能量发动的引擎。

这个时机，就好像 1928 年高达德发明化学火箭的时候。如果这个引擎能运转，就可以发射一些小型的太空船，大概只需要每小时 100 个千瓦的电力，就可以把这些小火箭送进地球轨道或脱离地球引力。这能量的成本非常低，如果真有这样—个系统，那么可以便宜到让一般人使用无虞。

最后一项是“太空蝴蝶”（space butterfly）。这是发展太空科学生物技术的一种方式，也就是说：让一个丑陋的幼虫变成蛹，3 星期后变成具有漂亮翅膀的蝴蝶。我曾在第二章提过蝴蝶，任何人都很容易看到大黄斑蝶的幼虫爬进蛹内再爬出来，这是一幅震撼我们心灵的景象。不久的将来，我们会了解这到底是怎么回事。无论如何，这些都是设定在 DNA 内部的一些密码，我们很快就会知道如何设定；也许就在未来的 20 年中，我们能完全了解这种技术，而且可以复制这项功能。所以以下的景象可能不再是梦想：在 2010 年时，“微型太空船”的结构不再由金属、玻璃或硅构成，而是活的生物，就像在地球上的幼虫，发射进天空时就像茧—样，藉着“激光推进器”的力量进入轨道，在太空中就像只蝴蝶—样。—旦到了太空，“太空蝴蝶”就以“太阳帆”—当做它的翅膀——这就很容易地解决了帆的携带问题。它会长出望远镜的眼睛来观察；它有一对非常好的触角——天线—用来接收与传送信号；它有很长的腿可以降落，并且在小行星上行走；它有化学感应器可以尝尝小行星上的矿产和太阳风；它有产生电力的组织，以便在宇宙磁场内调整它翅膀的方向；它有极佳的头脑，可协调自己的各种活动，可以导航，并把观察心得传回地球。

我不知道在公元 2010 年，是否可以真正拥有这种太空蝴蝶；但是到时一定会出现—些同样新奇的东西——如果我们忘记背后的一切，并且竭力寻求所有迈进 21 世纪的良机，梦想必定成真。

第十章 工程师之梦

我们应该将生命演化历史中学到的教训，
应用到科技的发展上；
鸟小而灵活，就像是微电脑、太空鸡等发明；
恐龙大而迟钝，就像是核电厂、航天飞机等装置。
然而，未来是属于鸟的世界。

有两种方法可以预测科技的进步：一种是经济预测，另一种是科幻小说。经济的预测，是以过去的资料预测未来的情形；而科幻小说，是天马行空的猜测，而将它的可能性转给读者去判断。经济预测对于 10 年内的事还蛮有用的，但是预测 10 年以后的事，很快就失去意义。因为 10 年以后，通常整个社会的游戏规则都会发生本质上的变化，而使得经济预测无法发生效用。本质上的变化，通常是由人类的智慧或愚昧所造成的。比方说，发明掌上型计算机就毁掉了计算尺的市场，而一些在三哩岛工作的人所犯的的错误，则毁掉了核能电厂的市场。不管是人类的聪明或愚笨，对我们来说，这些都是不可预测的。对超过 10 年以上的情形来说，科幻小说比经济预测有用得多。但是科幻小说并不试图去预测事物，它只是告诉我们有哪些事情也许会发生，而不是告诉我们有哪些事情将会发生，它只是在谈论这些事情发生的可能，但并不是在谈这件事发生的机率有多少。对未来而言，最重要的发展，通常被经济预测专家与科幻小说作家所忽略。经济预测会有误差，是因为它本身预测的时间太短；而科幻小说对未来预测所造成的误差，是因为想象力不足。

工程技术兴衰的共通模式

我选择本章的标题是从我最喜欢的书之一《工程师之梦》(Engineer's Dreams)，它是由雷伊(willy ley)所写的，是关于 1930 年代的梦想，在那时雷伊是个年轻人，原本是一个失意的火箭工程师，后来变成一位成功的作家。在他书中所记录的梦想，主要是有关于土木工程方面的东西：超大型的水坝、隧道、桥梁和人工湖或人工岛等；这些当年让人十分感兴趣的东西，到如今已完全失去它的吸引力了。即使今天我们做得到，也没有人想去建造，这些事物太没有弹性、太慢，而且太浮夸了。从雷伊写这本书到现在，整个政治环境已改变了三四次，而历史的巨轮把这些历史给涂抹掉了：我们不再认为将萨伊一半的森林淹没以提供查德灌溉水是合理的，饮用水和机枪已成为今天中非最热门的商品，而不再是大型的水坝或发电厂；今天在中非或南美洲的人们也发现用轻型飞机或建造小型机场，要比建造运河坐船来得更方便。

也许我们可以找出工程技术起起落落的一种共通模式，这个模式与动植物的繁兴与衰退有些类似。当一项技术成长快速或特别成功时，通常是规模很小，而且进步快速的；当它成长到某一程度，就会渐趋保守，而且因为过于庞大，所以常常对外来的冲击无法迅速回应，此时被灭绝的可能性非常大。它也许还会苟延残喘一时，但是无论如何，这种过分膨胀的技术已无法找回它的春天。而小型而快速的新兴技术，就有机会来取代这项旧有的技术。这种兴替的节奏在物种的进化过程中，已经重复了千百万年；而人类的科学技

术进步速度，则似乎比物种的进化快上千万倍。

电脑技术就是最好的例证。我的年龄老到足够看见电脑的全程发展。我跟电脑差不多是同时诞生的，在 40 年代末期，我到达普林斯顿，而那时正是冯诺曼正在建造非常有名的强尼亚克 (JOHNNIAC) 电脑。冯诺曼是一位伟大的数学家，并且被公认是当时全世界最聪明的人，也是整个电脑发展过程中的一位领袖人物；即使如此，他预测电脑对人类所造成的影响的结论，却是不正确的。

冯诺曼的“电脑之梦”

我还记得冯诺曼在 50 年代时，在普林斯顿做了一场演讲。他在那里描述了电脑在未来所造成的影响与他的伟大计划。他在自己早期的电脑计划中所聘请的人，大部分都是一些气象学家，而气象学在他心中是件大事。他认为只要有好的电脑，就能够把气象分成两部分，一部分是稳定的，另一部分是不稳定的。所谓不稳定的现象，是被一些很小的扰动所引发的现象；而所谓稳定的现象，则是可以忍受那些小扰动的一些状况。他认为只要有足够大的电脑，就能够解决这些气象问题，我们能预测所有稳定的程序，也可以控制所有不稳定的现象。他想象我们只要在时间、空间上找出不稳定程序会在哪里发生，然后派几架飞机，带着烟雾产生器，飞到这些点上，并给它一些小小的扰动，使得这些不稳定的程序能够向我们希望的地方进行。而由电脑专家所组成的中央控制中心会拟定任务目标，像是确定在某一假日的野餐会中不致下雨。这是冯诺曼的梦想，与氢弹一样，都是他认为电脑发展会带来的实质利益。

而那些与冯诺曼一起工作的气象学家，了解得比他深入。他们并不相信这个梦想，他们只希望了解天气，而不是控制天气。他们经历过一段艰苦的时间，最辛苦的一次实验，是研究 1949 年从墨西哥湾扑向普林斯顿的一个飓风。他们在这个飓风发生后的数年中，一次又一次地设定墨西哥湾的天气条件，以便预测飓风发生的时间。就我记忆所及，他们在电脑上所预测的飓风，没有一个如预期般到达普林斯顿。如今过了 35 年，我们也建立了第 4 代的电脑，然而还是没有办法预测飓风，也没有人真正相信我们可以控制天气。

无法预测与控制的“混沌运动”

到底哪里出了错？是什么使得冯诺曼的梦想落空呢？最主要的关键，在于他对流体运动本质上认知的错误，以为我们能将事物清楚地分成可预测与可控制的，这并不正确。自然比我们想象的更为复杂，自然界里有一大堆传统的动力系统，也包括了一些非线性的电路，和流体一样，它们很容易都产生一种“混沌”(chaos)的行为，因为混沌行为是不能预测、也不能控制的。它之所以不可预测，是因为任何一个小扰动都会使它快速成长，而影响整个运动；它之所以不可控制，是因为任何微小的扰动都会变成一种“混沌运动”，而不是一种稳定运动。冯诺曼的错误，是因为他认为：经由微小的控制，能将不稳定的运动拉回至稳定的运动；而这种相同的错误也常发生在经济学家与社会计划家身上，更别提马克思学派的历史论者了。

但这还并不是冯诺曼最严重的错误。他不只错误地预测了电脑能成功应

用的范围，也错估了电脑的演进过程。直到他生命终止时，他还认为电脑是个大型、稀少而昂贵的设备，应该由一组专家照料，由普林斯顿或罗萨拉摩斯中心这种大型机构所拥有，他完全错过了由德州仪器公司加入竞争之后的新浪潮。这种新浪潮使电脑变小、变便宜，而且能为大众所拥有。在所有冯诺曼的著作当中，无法找出任何迹象显示：以几百美元就能买到电脑，年轻人或家庭主妇也能轻易拥有。而他无法想象，当电脑变小，变得更便宜时，电脑变得多么富有弹性，竞争力变得多么强！他也无法想象，电脑游戏可以发展成专业化的游戏。而电脑的不断变化也刺激了许多其他相关工业的发展，他完全没料到软件工业的窜升及电脑软件的买卖，可以帮助家庭主妇整理她们的帐单，并且帮助年轻人修正他们的拼字和做家庭作业。

有位朋友花了一年的时间在苏联做理论物理的工作，他是一位年轻的美国物理学家，他喜欢到苏联并不是因为那是个研究物理工作的好地方，而是因为那是观察人类悲喜剧的好地方。他告诉我，现在苏联有个很大的地下软件市场，蓝色牛仔裤与录音机已经过时，要显示新时代年轻人的象征是电脑磁片，但是执行这些软件所需要的硬件却十分缺乏，在俄国想买一台 IBM 的个人电脑并不容易。我的朋友认为，我们这些住在西方的人错过了一个控制黑暗帝国经济的大好机会。他认为应该让苏联国内到处都有个人电脑和软件，这将会给所有私人与半公开的产业一剂强心针，使得那些国营企业根本无法竞争。这种国营式的经济仍然存在于冯诺曼的想象中，他认为这种大而昂贵的电脑应处于中央控制之下。我的朋友相信用一大堆麦金塔来淹死僵硬的官僚，要比用技术禁运饿死他们容易得多，这种小型的微电脑与软体将会是推翻中央集权政府最好的工具——这是另一个可能、也可能不会实现的“工程师之梦”。

深具弹性的“航海家”探测计划

现在我将离开电脑这个主题，换到另一个我比较熟悉的领域中：太空探索。在 1986 年 1 月，我和加州喷射推进实验室的太空工程师坐在一起，观赏航海家太空船从天王星传回来的画面。这不仅对科学家来说是重要的一天，对工程师也是重要的一天。最让人印象深刻的是，这项壮举进行得并不是十分顺利，有几次工程师遭遇了严重的困难；然而每当他们碰到问题时，都已经事先考虑过如何解决。如果计划 A 有了问题，计划 B 可以马上取代计划 A。当画面刚开始传回来时，有一个从欧洲太空总署打来的紧急电话，要求寻找他们的吉奥脱 (Giotto) 太空船，这艘太空船正在前往哈雷彗星途中，却偏移了方向，它的高倍率天线并未指向地球，因此欧洲太空总署无法与它保持联系。如果无法很快取得联系，可能整个任务就完全失败了，所以他们求助于喷射推进实验室。

实验室有 3 个世界上灵敏度最高的接收器，整套系统称为深度太空网络 (Deep Space Net)，这个网络是全世界唯一能接收远达天王星所传来的信号的接收系统。在欧洲太空总署打电话来时，在加州金石区的深度太空网络的大型天线，是唯一能指向吉奥脱太空船的天线，但它也是唯一能指向天王星的天线，所以实验室的工程师马上改变计划，将航海家的控制权交给装置在澳洲深度太空网络的大型天线，再将金石区的大型天线指向吉奥脱，金石区收到了从吉奥脱传出来的讯号，再传送命令给吉奥脱，将它的高倍率天

线指向地球，在半小时内，从吉奥脱传送的高倍率信号就清楚的传来了，控制权再交还给欧洲。计划 B 马上付诸实行，重新规划航海家的计划顺序，使吉奥脱所造成的任务中断，不致让我们错过任何科学数据。

喷射推进实验室的工程师试图在天王星做另一个新的尝试，他们从未在其他星球试过。当航海家通过天王星时，太空船会经过行星背面，在背后停留 38 分钟后，再在另一边出现。在这 38 分钟的过程中，航海家的高倍率天线会一直正确地指向天王星的边缘，来看看是否可经由天王星上的大气折射至地球上。这些经由天王星大气传回来的信号，在太空船经过天王星背后的过程中，一直未曾间断，因此，我们可以清楚地知道：天王星的大气压力差不多是 3 倍于地球的大气压力。这是由一个 9 年前发射的太空船在 20 亿英里外做的事情，我们所有坐在喷射推进实验室房间里的人都深受感动，这是工程师之梦的具体实现！我们互相约定，在 1989 年的 10 月 5 日，当航海家探测海王星时，再度齐聚于实验室。

“悲剧英雄式”探险不值得鼓励

在天王星之旅后三天，我搭机返回普林斯顿。机上有电视，我从而得知了航天飞机爆炸的消息，这是一项多么令人伤痛的对比！实验室航海家计划的工作人员获得了极大的成功，而航天飞机自始至终经历了许多挫折，到最后竟是如此悲惨的结局。马上我就想到二位探险家：挪威人艾蒙森（Roald Amundsen）和英国人史考特（Robert Scott），他们在 1911 至 1912 年的夏天，到达了南极的极点。我很喜欢柴利加兰（Apsley Cherry-Garrard）所写的《历劫余生》（The worst Journey in the world），他是史考特那次南极探险队的生还者之一。他在书末谈到了当时艰苦奋斗的情形：

在过去这 10 年间，就我所知的，到南极的探险有二次，而两者的结果刚好相反。艾蒙森是第一个到达目的地的人，回来时没有折损一兵一将。对他自己和伙伴来说，也并没有带来更大的痛苦和劳累，就好像轻松出一趟公差回来。而我们这一队经历了千辛万苦，不但要忍受一些超过人类极限的艰卧，精神上还遭遇极大的折磨。当我们到达极地时，发现这个悲惨的旅程居然是多余的，不必要的，我们最优秀的人才也死在冰上……。任何保守的领队都会坚持用狗，拒绝以车运输、或用小马及人来拖载，以进行史考特的实验。也正因为如此，艾蒙森能够轻松完成任务，他的伙伴和狗并未受苦，也没碰到什么危难。从开始到结束，几乎不费吹灰之力。

简单的说，这就是艾蒙森和史考特的故事。艾蒙森知道自己在做些什么，而史考特则是不了解自己在做什么的悲剧英雄。以上的叙述同样可以应用到航海家和航天飞机上。重要的是，我们要知道探险有两种形式：1913 年英国探险队的灾难使得史考特变成了国家英雄，因此大家忽略了艾蒙森；美国人现在把航天飞机上的七个人当成国家英雄，却忽略了航海家。艾蒙森在 1911 年以狗拉雪橇直接到达极地，就像泰坦火箭（Titan Centaur）在 1977 年发射航海家直接到达天王星；在 1912 年的英国，没有人说：“史考特不用狗来拉雪橇是多么愚笨啊！”而在今天，航天飞机的意外发生后，没有人说：“美国太空总署多么笨！为什么不用泰坦火箭来发射呢？”泰坦火箭是用来发射航天飞机最安全的方式，但是太空总署在航海家发射后，决定停止生产泰坦火箭。虽然泰坦火箭也会爆炸，但不会造成这样的大悲剧。

在一些任务中，人类在太空的活动是主要目的；对这些任务来说，航天

飞机是个适当的工具。但是像这次挑战者号航天飞机的任务，与人本身的活动根本没什么关系。如果要发射一个军事或商业用卫星，最好不要载人。也许当初是希望用太空船把通讯卫星放入不同的太空轨道中，但是由于人必须降落回地球，因此，他们所能到达的轨道就很有限。所以发射载人火箭时，就失去了选择卫星轨道与发射时间的弹性。

“ 顾客需求 ” 重于 “ 工程师之梦 ”

我们应该从航天飞机的不幸事件中学到什么呢？我希望美国的大众不要被盲目地误导，以为这整个事件只错在 型环的不良设计上面，我们所应该学到的教训，和冯诺曼梦想控制天气的失败例子是一样的。冯诺曼把他的电脑应用在浮夸的目的上，忽略了其他方面，这一点是很愚笨的。我们应该学到的正确方向是：找出顾客的需要，再来设计符合需要的电脑，这是发展电脑工业的正确方向。顾客通常有多种需要，所以我们也应该制造各种电脑。大多数顾客的要求也都不高，因此，电脑应该多半是小型且便宜的。这项教训也可以应用在太空探险中，顾客的要求应该是驱动工业的一种动力，工程师的梦想却不是。航天飞机就只是一个工程师的梦想而已。

航天飞机计划的主要错误是：太空总署认为用一个单独的发射系统，就可以满足所有顾客的需求；事实上很少顾客需要航天飞机。对于太空科学家来说，航天飞机计划剥夺了他们许多发射机会，因此，事实上他们憎恨航天飞机；而军事单位也因为类似的理由而排斥航天飞机。不过由于工业上的顾客比较需要航天飞机来发射通讯卫星，因此，他们尚不致强烈反弹，但他们也宁可选择较有弹性的发射系统及多次发射的日程表。航天飞机计划本身的不良天性，必须为 1986 年 1 月的惨剧负责，如果我们有其他的发射系统可以发射这些无人卫星的话，我们就不该让航天飞机在状况不佳的天候中飞行。如果航天飞机只是以人类活动为主要任务，它可以等到天气良好时再发射，如此，挑战者上的乘员现在可能还活得好好的。

我们可以想象，如果今天的太空计划不是由工程师的梦想所主宰，而是由顾客的需求所引导，今天的太空计划会是一番景象？首先，我们会把载人的任务与载货的任务分开。地面的铁路系统在很久以前就学会了不用货运车厢载人，也不在载人车厢中装煤。如果旅客与煤炭不得已必须混在一起，那铁路的情况会比航天飞机还糟！70 年代的发射系统，像斯考特（Scout）、得尔塔（Delta）和泰坦，他们各有适当的大小，用以满足不同顾客对太空飞行的需求。以顾客为主的太空载货生意，并不需任何新型的发射系统，这些客人所要求的太空商务利益，是改善他们所要发射上去的东西，而不是发射系统。对经济效益来说，我们使用技术来增加被发射物每磅的价值，要比试图减少发射系统每磅的费用，来得更有效益。一个以顾客为导向的太空计划，以目前的情况来说，仍然可以用上述三种旧有的发射系统来执行；也许可以再增加一些非常轻的系统，以最便宜的方式来发射太空货物。

“ 顾客导向 ”：轻便、弹性、安全

以顾客为导向的载人卫星计划，应该像什么样子？顾客对于太空中的载

人运输会有什么样的需求呢？在这种情形下的顾客，都是太空人。而什么样的太空船是这些太空人所需要的呢？我们可以再次从过去学到一个有用的例子。我还记得多年前，玛丽女王号和伊莉莎白女王号曾经载运大量的旅客横越大西洋，并且为汽船公司赚取大量的利润，那时这二艘船都是世界上最大、最快的汽船，它们也都是横越大西洋的速度纪录保持者。英国群众对于他们的汽船都非常自豪，而且他们相信这二艘是最大、最快的船，利润也一定很高，但是库纳德（Cunard）爵士（当时汽船公司的主席）宣称这种看法并不是事实，他说他的汽船公司从来就没想过要建造最大、最快的船，事实上这二艘船是设计符合顾客需要的最小、最慢的船，因此，汽船公司所提供的是可信赖的、且最具备横越大西洋能力的船。这两艘船之所以能够创造利润，是因为它们是最慢且最小的船，这与是否破了速度纪录似乎没什么关系，而波音 707 飞机却把前两者都三振出局，原因就是：它比较小，并且更符合需要。

一个以顾客需求为导向的航天飞机，会和玛丽女王号和伊莉莎白女王号一样，应该是最小、最便宜的，而且会是一个保障太空人生命安全的太空载具。它不需要携带货物，也不需要像挑战者号带那么多人；它不必很重，也不需要达到火箭引擎技术的极限。另一方面来说，它的能力将比现有航天飞机强，能够与乘员停留在太空长达一个月，变通弹性较大，可以到较大范围的轨道上，也可以与其他太空船在轨道上连结，合作完成其他任务。一个具有这些特质的航天飞机，才是太空人所需要的，它可以提供比现有航天飞机更快、更便宜的旅行。总结以上所说，太空人所需要的是弹性；没有人能预测 10 年或 20 年后，他们需要些什么。航天飞机应该富有弹性，就好像一架双座高性能飞机一样。它很小、很轻，但可携带大量燃料，在碰到无法预测的偶发事件时，仍能完成使命。

教导太空船玩新把戏

航海家太空船飞越天王星，就是一种弹性。当时航海家计划拍摄天王星的卫星，已不像 5 年前拍摄土星的卫星时那样受重视。在天王星上的太阳光强度，只有土星的 $1/4$ ，因此，若我们需要搜集同样的亮度，则要比较长的曝光时间。在地球上接收从航海家传回的信号也只有 $1/4$ 的强度，但是不论在天王星还是土星上，航海家上的发射装备都是一样的，然而所拍摄到的天王星卫星的相片，角度解析度比土星卫星的相片高二倍。

如何在不改变任何硬件的情况下，使解析度提高二倍？可能的原因是：航海家的操作系统是由内部软件控制，而这个软件可以重新规划。可以由喷射推进实验室在 20 亿英里外重新撰写程序，而工程师可以在天王星与土星二次任务相距的 5 年中，重新规划改良这些软件，新软件可以在照相时，更准确地控制太空船的行动，这就可以取得较好的角度解析度。因此，所谓“弹性”，也就是教导太空船玩些新把戏。当我们在 1986 年 1 月 25 日，坐在喷射推进实验室的房间中，看到天王星的卫星米兰达的原始照片输送进来，非常清楚漂亮，就像是在国家地理杂志上发表的图片一样，那时我们就知道：我们为“弹性”所付出的，已值回票价。

当我们在为挑战者上的乘员哀悼及表示尊敬时，我们不应该忘记设计与建造航海家太空船的工程师。我们应该去表扬那些因为我们的愚蠢而死亡的

英雄，就像我们在表扬探险家史考特一样；但是我们也应该去表扬那些聪明而且生存下来的人，就像是艾蒙森和喷射推进实验室的工程师，他们用智慧让我们看到从未看过的新世界。

电力设备工业的困境

我现在想要谈一些比较实际的问题：在地球上的电力设备工业。在电力设备工业中，我们犯了太空计划与早期电脑工业类似的错误。最主要的错误是我们相信：顾客的需求能配合我们的供应。冯诺曼认为他的顾客需要控制天气及氢弹，但事实上顾客比较喜欢花钱在电动玩具上；在太空工业中，顾客们较喜欢具有弹性的发射系统，但是我们坚持只提供给他们航天飞机。在电力设备的工业中，厂商提供许多昂贵而大型的中央电力系统，而电力的需求远低于供应商的估计，这使得许多设备都弃置不用。在过去 10 年当中，顾客需求的成长率大概只有供应商估计的一半，而没有人能预测这种需求会快速衰退，或是快速增加。要预测电力需求，就如同预测股票市场一样危险。在过去，对于需求的预测总是太高；在未来，由于群众的反应过度，需求预测反而过低。但不管在哪种情况下，电力设备工业都会面对许多问题。

这种工业的困境主要来自两方面的冲击：首先，没有人能预测 10 年后的需求是什么；第二，要盖一个大型现代电厂，不管是火力或核能电厂，从建造至运转发电，差不多都要 10 年才能完成。核能电厂的问题比较显著，也比较受公众注意，但是在财政与环境上的冲击下，再建造一个烧煤的火力发电厂，也好不到哪里去。10 年的建造时间，对于这项工业带来非常沉重的负担，而使得供给及需求永远没办法配合。为什么发电厂的建造时间需要这么久呢？主要原因是其内部主要结构都非常庞大，建造者认为如此才符合所谓“经济规模”，亦即蒸气产生器与蒸气涡轮机，愈大愈经济。因此，不管是核能电厂或火力电厂，都会愈盖愈大。由于本身庞大，他们建造费用高，而且建造日程表也非常没有弹性，这使得这种工业和航天飞机一样，缺乏竞争能力。现在已经有一项新科技可供应用，可以让这个工业再度具有竞争性，这个新科技名称是“STIG”（Steam-Injected Gas Turbines），即蒸气喷射气体涡轮机；改良型称作 ISTIG（In-ter-cooled setam-Injected Gas Turbines）即内部冷却蒸气喷射气体涡轮机，将在未来的三四年内供给工业使用。STIG 技术的优点，是应用了飞机引擎工业的气体涡轮机 40 年来的研究成果，蒸气喷射和内部冷却，使飞机的引擎变成一种便宜、有效率的能源生产工具。STIG 发电单位已经在气电共生工业应用上，获得很好的成绩，而 STIG 对电力设备主要的好处是：它的发电装置非常小，而且可以在二至三年内建造起来，这样就解决了最棘手的问题。STIG 发电单位几乎与大型发电单位一样有效率，并没有所谓“经济规模”的问题，因此绝不会过大。同时它还有其他的优点：由于它们是由飞机工业衍生而来的，因此，损坏时可以很快替换，修护也十分容易；同时因为水分在燃烧的化学反应中之影响，产生的氮氧化物非常低，也很容易符合环保法规之标准。

不幸的是，STIG 技术有个主要的缺点，就是它目前除用在气电共生外，它在美国是非合法的。STIG 使用天然气做为燃料，而在美国 1978 年所订定的“发电厂及工业燃料使用法规”中，明文规定：“新建造的中央发电系统不可以用天然气作为燃料。”因此，除非重新修订这项法规，否则 STIG 在美国

只能生产外销。幸运的是，在这世界上的其他国家并未如此墨守成规，在很多国家，包括一些非常仰赖进口原油的开发中国家，都有很丰富的天然气，对这些国家来说，STIG 会是上帝恩赐的礼物，它能很便宜地制造电力，而且既轻便又小巧。即使在美国，如果法令允许，美国所储藏的丰富天然气，可以让 STIG 足足运转 35 年。因此，我们希望 1978 年的法规应该改变，至少应该以 STIG 取代一些没效率的大型发电设施，以便制造更多的电力，制造较少的废气。

但是我们必须注意，不必过分鼓吹 STIG，我们不能假设工程师喜欢 STIG，则顾客也会喜欢这种设置。我们以合理的价格制造，然后再视情况而定。这和过去许多工程师的梦想一样，到头来，STIG 也许并不是顾客的最爱。

“太空鸡”：梦想中的天王星 2 号

到目前为止，我在本章中扮演的角色，是批评家与怀疑论者。我叙述了一些失败的工程师梦想，而且特别强调那些梦想家的愚蠢；现在，在本章的最后几页，我将改变角色——我要扮演梦想家。我的梦想是一本科幻小说，而非一项科学理论，它的目的只是扩大我们想象的范围，让我们看看未来究竟会如何发展。

在我的想象中，下一次太空任务将会探测天王星，我称这个任务为“天王星 2 号任务”，而且我认为可以在公元 2016 年到达天王星。航海家太空船探测天王星只是一个开始，就像一项好的科学任务应该达成的目标——这次任务必须引发更多的问题。所以，只有一次的飞行任务是不够的，我们需要彻底探测天王星，来探讨这颗星球上的化学、气象学，以及它演化的历史、磁场、光环，以及每个卫星的结构与地形。

这是一个野心很大的任务，因此没有办法以航海家这种载具完成。航海家这种任务，大概已经是 70 年代科技的极限；在我想象中，当我们再次回到天王星时，应该运用 21 世纪的科技回去。由航海家到天王星 2 号是很大的进步，进步的幅度就像我们在 1940 年发射第一枚火箭，到现在的航海家太空船之间进步的幅度一样，从 V-2 火箭到航海家之间大约花了 30 年，从航海家到天王星 2 号可能又是另外一个 30 年。在 1946 年时，我们很难想象，怎么可能会有航海家这种高科技产品；当然，我们现在也很难想象，我们怎么能做出天王星 2 号那种太空船。这种对未来的想象，最大的困难是：我们很难去定量描述这些重要的变化。通常这些重要的变化，都是定性上的，并不是更大或更好的火箭，而是一种新的建造方式，建立一种新的探索游戏规则。比方说，在 1946 年，我们很难想象如何能在 20 亿英里之外重新修订电脑软件；而对今天而言，由生物结构组成的太空船并不存在，因此，我们很难想象天王星 2 号到底是什么样子。

天王星 2 号任务是个非常浪漫的梦想，这对我们现有的技术而言，根本是遥不可及的事，但是对于今天不畏困难的年轻人来说，就不是那么遥远了。我并不是说我想象中的天王星 2 号任务即将产生，或应该产生；未来太空计划的真实面貌可能会完全不同，而我所说的天王星 2 号任务只是一个可能性。从现在开始规划并不算太早，天王星 2 号任务不会像航海家只有一次发射任务。如果说天王星 2 号任务正如我所想象的话，那就会像一大群同族的

小鸟飞翔在太阳系中。天王星 2 号起飞之前，它的“表亲”会先去探索土星、木星等。天王星 2 号很便宜，我们也可以时常发射。携带天王星 2 号的火箭，我将之称为“太空鸡”(As-trochicken)，我希望它正如其名，既平易近人，又不会自命不凡。

太空鸡的基本概念是：这个太空船非常小，而且非常快速。我不相信未来的太空任务会发展得愈来愈大，次数愈来愈少，进展愈来愈慢；我认为我们的方向应朝“小型”与“快速”来迈进。太空鸡的重量也许只有 1 公斤，而不是像航海家太空船重达 1 吨；而它由地球进入天王星轨道，只需要 2 年，而不是像航海家的 9 年。这个太空船必须比航海家更有弹性，必须降落在天王星的每颗卫星上，然后在表面四处游走，探查情况，尝尝它脚下的物质，然后再回到太空，在天王星周围打转，再决定降落在哪里。对于那些局限于今日科技的规划与设计的人而言，要用 1 公斤重的太空船做这些事情，实在很疯狂。但可能不是。在我的想象中，新科技也许会使这个疯狂的梦想变为可能。

推动“太空鸡”发展的三种新科技

我们需要三种新科技，这些科技在 2016 年也许已经发展成熟，这三种科技的名称是：“遗传工程”、“人工智慧”和“太阳电力推进系统”。“遗传工程”是最基本的要件，是设计一个仅重 1 公斤却具有航海家能力的太空船的一项基本工具。太空鸡不是被建造出来，而是自己生长出来的，它是由生物方法组成，整个架构已经界定在 DNA 的数位信息中，其中包括植物、动物和电子等不同的组成单位。植物单位是以太阳为能源，提供基本能源支持系统；动物部分则提供感应器、神经系统及肌肉系统，可以观察、调整方向，并且可以降落。电子部分则用来接收从地球传来的指示讯息，并且将结果传回地球。在未来 30 年当中，我们会有足够的经验，来制作这个生物系统，也学会如何整合这三部分，让它们顺利工作。

“人工智慧”是整合动物及电子部分，使它们成为工作主体之基本工具。如果这种整合是成功的，太空鸡会是一只大脑重量不足 1 克的蜂鸟。处理与掌握信息的部分则由神经与电子装置共同组成，这个部分被设计成如人脑般思考的电脑，这种电脑可以跟一个活的神经系统相互配合，因此，信息可在电子线路与神经系统间自由传送。

天王星 2 号所需的第三项新科技是“太阳电力喷射推进系统”。要在 2 年内从地球到达天王星，需要每秒钟 50 公里的速度，对目前技术可建造的多节式化学引擎来说，这速度是快了些。而对于太阳帆来说，这速度也太快了。而任何种类的核能推进系统，都不可能装在一个 1 公斤的太空船内。太阳电子推进系统是唯一能在很小载具上，以最经济的方法提供极高速度的方式。在这个系统电，太阳能被一个大而细的天线收集，以中等效率转换后再喷射出去。

目前还没有人仔细的进行工程设计，来试验太阳能是否能在 1 公斤载具上，产生 1 千瓦的动力，而这正是天王星 2 号所需要的东西。然而，太阳电力推进系统应该是比人工智慧与遗传工程更容易发展的技术。因此，我可以假设这三种科技已经在 2016 年发展成熟，我就在以下粗略地谈谈天王星 2 号的任務。

“轻、快、小、巧”的工程师之梦

这个任务由一个传统的发射系统，把这台太空船载到轨道上，由于这个太空船重量只有 1 公斤，因此它可以装载在任何便利的发射系统上。在发射过程中，我们把太空船包装得非常紧密，而生物部分忙着组成，以便形成适合在太空生存的生命形态。在这个阶段里，这个太空船好像是一个正在孵化中的蛋，它的外表没有生命，但是它的内部是活的，在等待一个正确的时间破茧而出——成为一只“太空鸡”。当它在低的地球轨道上运转时，会从它的包装内出来，开始驱动生命维持系统，以便在太空中生存。它可以长出一片薄薄的太阳能搜集器，这层“膜”重量只 100 克，但面积广达 100 平方米，这个装置可以提供它的离子驱动引擎 1 千瓦的动力，将这个太空船以几个月的加速时间送往目的地，而这就足够在 2 年内脱离地球重力，到达天王星轨道。这 100 平方米的搜集器，同时也是与地球双向沟通的天线，它的面积比航海家的高功率天线大 10 倍，因此，如果要传送同样的信息，它所需要的能量只要航海家的 1/10：也就是只需 2 瓦的电力，而不是航海家的 20 瓦。

这太空船以每秒 50 公里的速度到达天王星，进入天王星的外部大气层。这个 100 平方米的搜集器就如同—具降落伞，由于它太轻，当它减速时温度不能过高，最高温度只能到摄氏 800 度。这种降落程序大约进行半分钟，以大约 100 倍地球重力的方式降低速度。这个太空船在离开天王星时，时速将降至每秒 20 公里，可以很近的距离到达任何一个卫星，而不致坠毁在天王星表面，因此太空鸡便可自由选择降落地点。这个太阳电力推进系统使用照射在天王星的太阳光，仍然可以提供这个太空船在几年内继续探测天王星上的能量。

现在这个太空船必须使用自己的生物功能，以便补充自己的燃料。首先它降落在其中的一个光环中，吃其间的冰和碳氢化合物，把它转换成自己的燃料。如果其中一个光环味道不好，它可以吃另一个光环。它可以到处移动，直到找到正确化学结构的地方。吃进这些原料后，它可以用自己内部新陈代谢的结构，利用太阳光能把这些东西变成化学燃料，这些化学燃料是它从这个卫星到下个卫星所需的能源。由于太阳电力推进引擎力量大小，这个太空船上还备有另外一套化学火箭，以便轻易脱离卫星表面。我们知道这种化学引擎系统，在生物中是存在的：在地球上有一种甲虫，能够用它的化学引擎将一种热液喷向它的敌人，这种甲虫在它体内制造这种化学燃料，由喷射室内喷出以的伤敌人，而太空鸡也借用这种甲虫的设计来制造自己的喷射引擎。这种甲虫式喷射引擎可以给自己加速能力，快速喷出一些液体以脱离卫星。甚至于这个太空船在这些卫星表面移动时，也可以利用这种喷射系统“跳来跳去”，而不是“爬来爬去”。在卫星表面生活时，太空鸡会一直不断进食，以确保甲虫式喷射系统燃料充足，而且不断地将发现传回地球。

至此，并不是我梦想的开始，而只是本章的结束。我对于天王星 2 号任务已谈得够多了，我想读者已经有点感觉了。在天王星 2 号这个想法的背后，我们应该将自然教导给我们的，也是我们从生命的演化历史中学到的教训，应用到技术的发展上——鸟与恐龙事实上是表亲，鸟非常小而且灵活，恐龙却非常巨大、迟钝。大型的电脑、核电厂与航天飞机就像恐龙的表亲；而微电脑、STIG、旅行家和太空鸡则是鸟的表亲。未来是属于鸟的世界。喷射推

进实验室工程师现在的梦想，是把航海家送到海王星上；我希望下个世代的工程师，能乘着天王星 2 号飞翔在太空中。（编注：1989 年 8 月 25 日，航海家 2 号太空船已掠过海王星的北方最接近处，观测了海王星的崔顿卫星。此后即脱离黄道面，离开太阳系。到了 2015 年时，航海家 2 号的电力耗尽，便无法再与地球交换信息了。）

第十一章 权力的平衡

国家权力是维持国际秩序稳定的基本元素。
因此我们必须回到权力平衡的老路上。
国际力量如果要在稳定的基础上达到平衡，
国家本身必须强到足以防卫自己的领土，
但却不够强到统一世界。

“通往和平与安全只有一条路，那就是建立超越国家的组织。若是只在一个国家的基础上增加军备，只会增加大众的困扰与疑惑，根本无法提供有效的保障。”

这是爱因斯坦说的话。和往常一样，他的话简洁有力。这是他在 1948 年所说的话，当时联合国已无法监督及控制世界各国的核武器，而这种核竞赛才刚开始。爱因斯坦从当时的情形，已预见了无可避免的结果。他说：“国家的主权，将变成人类无法负担的一种奢侈。”

国家、文化的分化深植于人类历史

爱因斯坦的话不啻一响警钟。本章与接下四章的内容，是有关武器控制与国防政治的问题。今天世界的局势，与 1948 年的局势并没什么不同，我们仍然面对着在 1948 年所要做的选择。是以人类为主，合而为一？还是分散成不同的政治团体？国家主权是远古时代人类的传统，这项主权把人类分成独立的邦国，每一国都以此自豪，认为自己不同于别人，而且轻视其邻邦。这种国家与文化的分化，不管我们是否喜欢，都深深地根植在我们的历史当中；而战争，则是我们为分化的结果必须付出的代价。但是只要这场战争有收获、有价值，人类通常愿意为它付出代价。即使像以色列民族这样的特例，在没有军队的情况下曾经维持独立的状态达 2000 年，但是后来一旦选择了国家主权，就必须付出耗费大量军费的代价。爱因斯坦是以色列民族的一分子，他终生反对民族主义，但却不得不支持这种国家主权的争取。当以色列独立战争在 1948 年仍旧在进行时，爱因斯坦说：“我从来不认为‘独立国家’的概念是好的，不管在经济上、军事上或政治上，都是如此。但是现在我们已无法回头，因此我们必须为它奋战。”

爱因斯坦虽然终生反对民族主义，但是他也为 1949 年以色列的胜利感到高兴，他在 1949 年以阿战争后写道：“现在所成就的这些事是值得被称赞的。”但是他对以色列军事上的胜利，从未衷心感到喜悦。他仍然相信，经由增进国家军备以保护国家安全，是一种危险。目睹那时不断升高的民族、国家主义浪潮，他宣扬成立超国际政治组织的必要性，他坚持在一个充满核军备的世界上，唯一避免毁灭的方法是全人类联合成一个整体。

爱因斯坦并不是第一位在政治上赞成统一，而反对各种族分立的人。在过去几世纪当中，这种主张大一统的声音，也曾经占过优势。以下就是英格兰安妮女王（Queen Anne）在 1706 年 7 月 1 日写给苏格兰议会的信中，谈到与英国结合成一个政治联合体的精神所在。

一个完整且完美的联合政体，将会是持续和平的坚实基础。它可以保证宗教、自由及财产的安全，可以除去你们心中的怨恨，以及消除我们两国间存在的差异与敌意。

而这种联合的方式，可以增加你们的力量、财富及贸易往来。这种由所有各种不同阶层组合而成的政体，可以帮助我们抵御外侮。我恳请各位谨慎考虑这个重大的问题、因为我们两国的统一与联合可以带来美满的结局——这是保障我们未来幸福，重挫我们敌人的唯一方式。在这种情况下，我相信我们的敌人，会以各种方式试图阻止我们的联合。

女王终于得偿宿愿。苏格兰议会最后投票，以五分之三的大多数票放弃独立，而加入了联邦共和国。女王付出大量现金，来取悦苏格兰。我把“苏格兰放弃独立”这件事的适当与否，留给苏格兰自己决定，这3世纪以来苏格兰历史的演变，应该是最佳的评判标准。

美国的联邦运动

在安妮女王之后，随之而来的是美国的联邦运动。那时汉弥尔顿（Alexander Hamilton）等人是1787到1788年美国《联邦宪草》（the Federalist Papers）的作者，他们提笔写下全美国统一的联合声明。《联邦宪草》的目的，主要是说服纽约州的选民来认同美国的宪法；而纽约州的主权降服于美国宪法，与当初苏格兰的“归顺”类似。这些鼓吹联邦体制的人说服选民，最后使得美国宪法终于成立。联邦宪草本身虽然是地方性政治战争下的产物，但是它的精神、智慧仍然促成了以后联邦政府的成立。同时它也警告现代人类，许多地方性的政权相互竞争可能会带来的坏处。以下是汉弥尔顿在《联邦宪草》第六章中所说的话：

只有一个充满乌托邦幻想的人才会怀疑以下的事实：不管这些州是完全分立的，还是部分联合，都不可能相安无事、和平共存。人的本质是有野心的，会记仇的，而且贪得无厌。想要找出让许多小政权和平共处于一个大陆上的方法，这根本就是罔顾人类历史的教训。

国与国之间会形成敌意，原因不胜枚举。对于所有的社会群体来说，有些事情是共通的，譬如热爱权力，希望能掌握与控制别人，也就是对权力欲望的渴求，或是对公平与安全的需求。另外还有一些产生敌意的原因，比如说：两国之间贸易的竞争与敌对就是其中之一。其他的原因是基于个人情绪，像领导阶层的好恶，不管是一国之君或是民族领袖，在许多前车之鉴中，可以看到这种人滥用自信，并且自以为代表民意，甚至牺牲国家的利益，以满足个人喜好的恶例……。

我们该醒了吧，该从黄金时代的迷梦中，从寻求充满完美智慧、道德的乌托邦美梦中醒来了吧？

汉弥尔顿不只写得一手好文章，他也是一个伟大的政治思想家；他在美国宪法的草拟期间扮演很重要的角色，同时也成功地把宪法推销给纽约州的选民。这部宪法成功的地方，是因为汉弥尔顿看穿了人性，美国宪法主要是设计给恶人使用的，就好像英国的宪法是给绅士使用的。因为汉弥尔顿相信人性本恶，因此他这部宪法连尼克松总统也能运用裕如。如果真有一个世界性的政府组织，最好设计成由恶人掌权，因为在这世界上，绅士实在少得可怜。

汉弥尔顿与爱因斯坦的“世界政府”理念

在这个世界上，可能再也找不出两个人的个性，比汉弥尔顿和爱因斯坦相差更多的了。汉弥尔顿是位军人及政治家，他目中无人，刚愎自用，并且

喜欢与人争执不休；爱因斯坦则是位科学家及哲学家，他谦虚自抑，而且不爱说话。然而，两个人的中心信仰却完全相同：他们都相信人性本恶。爱因斯坦在 1932 年给朋友的信中写道：“在人类的内心深处，都有愤恨与毁灭的欲望。这在平常是看不出来的，惟有在特殊的状况下才会出现。但一般而言，这种欲望蛮容易被唤醒，并能集合成一股病态的力量。”爱因斯坦也同意汉弥尔顿对人类本性所提出的看法。汉弥尔顿是讨论北美的问题，而爱因斯坦则是讨论全世界的问题，但他们的看法非常一致，认为应该要有一个拥有唯一军事力量的合法统一政权。

汉弥尔顿和爱因斯坦所提出的“世界政府”理念，在逻辑上是合理的；但不知是幸还是不幸，“世界政府”有其致命的缺点，因此没有人愿意采纳。在爱因斯坦最努力推动这项理念时，也正是他被苏联科学家及美国政坛攻击得最厉害的时候。那时苏联科学家说：“由于他坚信自己的理念，因此爱因斯坦事实上已经成为和平及国际合作的最大敌人。”在当时，保守的美国报界则认为爱因斯坦是苏联的同路人。“世界政府”的理念，引起了各国的爱国分子的同声谴责。因此，这个理念在共产党的心目中是资本主义毒素，而在资本主义者的眼里，则是不折不扣的共产党诡计。

在爱因斯坦去世至今的 30 年间，这种“世界政府”理念仍然没有受到多少尊敬。相反地，由于殖民帝国的崩溃，及近百个新的独立国家相继出现，这使得国家主义的声势比以往更强。而那些经过艰苦奋斗才获得独立的国家，当然更不可能加入一个以旧帝国为主的世界政权中；当然，老的欧洲国家也不愿加入以亚洲及非洲成员占大多数的世界政府中。

因此，世界政府并不是获致和平的方法；而这种情形在今后的几世纪中不会有重大改变。这是人类追求多样性的具体例子。所以，我们如果真的想要找到通往和平的道路，就绝不能试图去消灭国家主义。我们必须尝试将国家主义由追求和平的阻力变成助力；也就是说，我们必须建立一个国际秩序，国家自尊与权力在其中扮演建设性的角色。国家权力必定是维持国际秩序稳定的基本元素，因此，我们必须回到权力平衡的老路子上去。国际力量必须在一个稳定的基础上达到平衡，国家本身必须强到足以防卫自己的领土，但不够强到统一世界。国际社会中存在已久的问题是：如何建立一个维持权力平衡的政治架构？几世纪以来，这个问题并没有获得多大的改善。权力平衡的目标不但很难达到，而且就算是达到了，也很难维持长久。欧洲在几世纪以来，是最注重权力平衡的区域，但也是最大、毁灭性最高的几次战争的发生地。欧洲的例子，让我们获得以下的结论，那就是：如果各国仍然维持着过去的行为模式，权力平衡的目标就不可能达成。而所谓过去的行为模式，则包括像拿破仑、俾斯麦、希特勒这些人的例子。汉弥尔顿对这些人的出现，应该感到毫不惊奇。他在这些人搞乱秩序之前，就已经告诉我们，人类是记仇、贪婪的野心分子。如果想要避免第三次世界大战的来临，人类的行为模式必须改变。

核武不能带来权力的平衡稳定

核武器的发明，大概是改变人类行为模式的大冲击。这也正是隐藏在世界核武部署下的希望，那就是经由各种形式的大量核武器部署，世界最后能达到稳定的权力平衡。当自己的国家被超过一万枚核弹瞄准着，传统的侵略

方式已不再可行，就算是拿破仑或是希特勒也束手无策了。的确，从二次大战之后，核武已阻止了这种大型战争的发生。今天，任何人已经不可能挥军直进莫斯科，因为在军队还没有到达苏联边境之前，进攻者的国家已经完全被摧毁了。但不幸的是，并不是所有的大战都像希特勒当年挑起二次大战那样，是一种有计划的预谋行动。像第一次世界大战就是起因于国家元首的昏庸及失策，当时奥地利国王法兰兹·约瑟夫（Franz Josef）和德国的威尔翰（Wilhelm）并无意发动大战，但由于他们不知道应如何避免扩大冲突，而使事情愈演愈烈。第一次大战的例子告诉我们，即使没有像希特勒这种野心家挑起战火，权力平衡的基础也还是不稳定的。因此我们根本不清楚，核武器是否能避免因失策而引发大战的危险。因局部冲突而引发大战的危险性，依旧存在；所以，宣称“核武器能使权力平衡稳定”的说法是错误的。唯一我们能确定的是：核武器的存在，大大提高了失策造成恶果的严重性。我们并不知道现在这种情势到底有多稳定；而也就是这个原因，使得核武器的部署让人无法接受。

如果世界政府的理念不切实际，而这种核武部署下的国际秩序又让人无法接受的话，我们还有其他的选择吗？这在美国天主教主教团 1983 年的“和平的挑战：上帝的应许与我们的回应”信中就已经回答了这个问题。这些主教由基本的道德原则出发，他们反对以核武维持世界秩序的理由，除了有不可预期的高风险之外，还认为在某些情况下，可能犯下一些不能接受的罪行。主教团特别指出目前核武部署中三个不可饶恕的地方：（1）瞄准人烟密集的地方；（2）在适当的情况下愿意率先使用核武器；（3）计划打有限度的核战争。第一项及第二项指责是针对违背教义，这不是为正义而战所应有的行为；第三项则是对实际现势的指责，因为这些主教认为一场核战绝不可能维持其“有限”的规模。

因此，这些主教就回到了核政策的基本问题上，那就是：如果我们认真思考这三项禁忌，那么核武器的功能到底还剩下些什么？他们能了解“拥有核武器以避免战争”这种想法的道德价值；但是，这必须在两项严格限制之下才能成立：第一，核武原只能在被核武攻击之后才能允许使用；其次，核武器的持有只是暂时的现象，它们应该由多边协商来加以清除。对核武器的依赖，只能在了解它不是问题真正答案的情况下，才可以接受。长期的目标还是：应该将它们统统毁掉、抛弃。

“非核世界”：“世界政府”的唯一替代方案

我非常同意这些主教的想法。就长期的人类生存观点来说，世界政府的唯一替代方案，就是一个非核的世界。在这个非核的世界中，有许多独立的主权国家，每个国家都有能力保卫自己的安全与利益，而不必使用核武力。没有人能保证一个非核世界会不会维持稳定、和平与安全，但它至少比目前我们生活的这个世界要来得安全。有一件事情是确定的，那就是一个非核世界的安全，不会建筑在大家的恐惧之上。

下一个问题是：我们要如何把这个世界转变成非核的世界？我的许多朋友都喜欢用汉弥尔顿的话来形容我，说我是一个活在乌托邦的幻想主义者。他们都同意我们真正要的是一个非核的世界，但是那只是个乌托邦的梦想，我们永远也无法实现。无论如何，我仍然相信非核世界是一项可以达到的目

标。

在以下三章中，我会讨论如何使这种转变成为可能的实际方法。我们需要两件工具，一件是核武管制，另一件则是非核的防卫武力。核武管制的需要是很明显的，而且其幅度与范围，都必须比我们目前所有的更大、更广；但我们也同时需要大幅改善非核的防卫能力。要使全球走向非核的世界，我们必须先使各国政府相信：即使没有核武，他们也能保卫自己。改善非核防卫能力，可以增加大家的信心。事实上，许多政府都希望能丢掉核武器，它们不只是难以制造，而且还特别昂贵。世上有 20 到 30 个国家有能力制造核武器，但他们不制造的原因是：核武所造成的麻烦要远比其他价值高得多。那些有能力却不制造核武的国家早就胸有成竹，一个非核的国防系统，是使他们免于麻烦的最佳选择。

非核的防卫体系有两类截然不同的任务。一方面，这个防卫力量必须能抵挡敌人的传统武力攻击。当然这也是传统的国际任务，必须有良好的士兵、枪支、防御工事、飞机和船只等等。另一方面，这个非核的防卫体系必须能抵挡敌人的核武力攻击。很多人认为国防战略不过是个危险的幻想。而普遍存在于我的同侪间的想法是：不论我们是否需要，非核的国防战略都是不切实际的。这种非核的国防战略首次出现在大众面前，是在里根总统的“星球大战计划”演说中，而“星球大战计划”现在对社会大众来说已经变成了事实和幻想掺在一起的混合体。在第 12 章中，我会试着把事实和幻想分开。

星球大战计划远不及传统国防重要

社会大众对于星战计划的热议讨论，已经出现了不良的影响，那就是：它使大家都过分着眼于这个计划的重要性。这个计划已经被支持者推销得太多，而也已被敌人过分高估。事实上，它的重要性远不及传统的国防武力。国际社会的稳定，主要是依靠政治，而非军事力量；在国防上也是依赖传统武力多过核武器。要使一个国家能独立生存，主要是求政治和谐；政治如果不和谐，拥有再强的军事力量也没有用。如果政治能够和谐，又拥有适当的武力来支持，那么也许就不需要杀伤力太强的武器。然而，如今星球大战计划已经成为希望与恐惧集中的焦点；即使这个计划本身还是个空中楼阁，这种希望和恐惧都已经挥之不去。因此，我愿意以一整章来谈谈这个计划目前的情形。我的描述部分是来自内部资料，但这并不是一份官方声明。我对这个计划所抱持的态度一直是善意的批评者，而非参与计划的支持者。

第十二章 星球大战计划

藏在里根“星球大战演讲”下的道德关怀，
很快就被各种有关太空武器技术的讨论所掩盖。
我们应该关心的是道德和政治上的目标，
而非国际战略的技术方法与细节；
无论如何，技术总是为人性服务的。

当里根于1983年2月23日，在发表有关演说之际，国防战略忽然间变成一个热门政治话题。我必须承认，这篇演说让我十分惭愧。和许多其他的学术界朋友一样，我习惯于反对里根的政策；尤其是外交政策方面，我发觉里根总统的作法根本就昧于国际现势。但在1983年3月23日的演说中，他那种颇具见地的说法让我震惊，尤其是当我发觉自己竟然同意他的意见时，我由震惊而变成羞愧。以下就是里根提案中最重要的几句话：

为了继续履行我们对‘反弹道导弹条约’（ABM:Anti-BallisticMissileTreaty）的责任，同时也了解到与盟邦进行更密切磋商的重要，今晚我将踏出重要的第一步。我已下令开始进行一项广泛而深入的长期研究发展计划，以达到我们的终极目标——就是消除核武器所带来的恐惧与威胁。这会开辟通往武器控制，以至于消灭武器本身的道路。

我同意这个说法的原因，是因为长久以来，我就相信：将注意力由攻击性武器转为防御性武器，有助于增进世界的稳定。我由自己道德上的基本坚持开始说起，那就是：我们宁可要那些自我防御的武器，也不要能造成集体毁灭的武器。而我在总统的演说中也听到了同样的回响：“难道救人一命，不比报复别人更好吗？”驱使总统产生这种想法的动力，应该是：“也许有一天在苏联的攻击之后，我必须下令反击，并且为百万人的死亡负责！”的可能性吧！这种恐惧普遍存在于那些曾握有核武指挥权的人心中，事实上，这种恐惧更应该由我们这些生活在核子伞保护下的人来共享。

“星球大战演讲”下的道德关怀迷失

不幸的是，藏在总统直觉下的道德关怀，很快就被接下来的民间辩论给遮盖住了。总统的演说被解释成“星球大战演讲”，而其讨论则集中在各种太空武器的技术细节上。而执行这种防卫计划的武器，被描绘成巨大的作战激光太空站，和其他类似的武器。对反对者而言，很容易便可以证明：这种太空站在军事上是没什么效率的。事实上总统在他的演说中从未出现“太空”这个字眼，他也从来未曾对大众提出“星球大战”这个名词来作为大型激光或任何死光武器的代名词，他只是提出了一个长期发展及研究计划，试试看究竟何者可行、何者不可行。如果发现地面上的设施要比太空站经济，那么最后的配备就不会和我们在“星际大战”的电影中所见到的一样。我个人的猜测是：有效率的防御措施，应该主要是以地面为基地、分散式的、大量部署、及非核武器的。不过，当一项长期研究计划刚要开始时，就试图去猜测结果，我想这是很愚蠢的。如果我们真的想要对其概念下断语，我们应该辩论的是道德和政治上的目标，而非技术性的细节，因为结果要比方法重要多了。我希望有一天，大家的注意力会从国防战略的技术方法，回到人性的讨论上；无论如何，技术总是为人性服务的。

我现在想简单地讨论一下星球大战计划的优缺点，来看看它正确的地方是什么，而弄错的地方又是什么。也只有在能看清什么地方有错误的时候，我们才会更了解什么才是正确的。广泛地来说，星球大战计划中有三点是错的。首先，这个计划的一大部分，特别是建造太空的巨大光学系统，在技术上根本完全不合理；其次，这个计划的另一部分，特别是在 X 射线激光系统上，在军事上根本完全没道理；第三，由于整个计划笼罩在重重迷雾当中，因此让美国公民和苏联政府都不得其门而入。如果是我来执行这项计划的话，我要做的第一件事情是把整个事情界定清楚，并完全公开。公开的收获一定远远超过所付出的代价。把这些神秘的面纱揭开之后，马上就会显示出来：在整个宏伟的计划中，星球大战只占了多么小的一部分！那些支持者的夸大言论得以平息，而反对者的过激反应也能被安抚；最重要的是，苏联政府能真正评估整个计划，他们就会发觉丝毫不受威胁。到最后，把渣滓过滤掉之后，才能有效推动那些真正有价值的部分。

整个星球大战计划的科学部分最让人兴奋的，并不是军事上的用途。我在这儿特别关心的是有关新型激光或 X 射线激光的发展。这些设备可以在完全公开、没有秘密的情况下，做纯科学用途。应该鼓励那些有能力及技术来发展某种尖端科技的年轻人继续努力，而不应该叫他们就此加入某种军事研究中。这些年轻人都是绝佳的科学家，但可能只是平庸的军事战略家。

每个国防战略系统都包括三个主要部分：首先是侦测及识别系统，包括雷达和光学感测器，用来找到目标并加以鉴定；其次是资料处理系统，它把侦测器传过来的信号送进电脑，电脑再发射及导航拦截系统；第三是拦截系统本身，包括火箭或其他更具破坏力的武器，它能直接命中及破坏目标。头两项工作——侦测与资料处理，目前是国防问题上最困难的部分。而第三个工作比较起来就容易多了，只要你知道目标在哪里，然后就发射火箭或用别的方法去摧毁它。但大家的讨论主要都是集中在比较容易的部分，也就是拦截系统的设计及测试，但却忽略了更困难的部分，也就是侦测及资料处理系统。

国防战略与限武谈判应双管齐下

在我们把技术上不合理的地方去掉，并将军事上不合理的部分划分出来后，整个星球大战计划最重要的核心部分，就是一个非常传统的导弹防御研究计划，强调目标侦测及数据处理，而不是杀伤力强的武器。我对这个计划的看法，和空军上将维尔区 (Jasper Welch) 在里根总统发表演说后几星期所做的判断相同。下面这一段维尔区上将的话也是我的立场。我是凭记忆写下这段话，因此只能代表我个人的看法：

比较一下美国今天应有的国防能力，及目前真正拥有的能力，前者大约是后者的 1000 倍。也就是说，如果苏联人今天忽然发射 10000 枚弹头，我们目前的科技只能打下其中 10 枚。现在要以国防战略草案弥补这 10000 与 10 之间的差距，我并不是说这是不可能的，我只是说这看来并不合理。我并不预期单靠任何一种新科技，能把情况改善 1000 倍；我倒是能想象某种新科技可以把情况改善 30 倍；而我也能想象，通过武器裁减再把情况改进 30 倍，如此一来，30 乘以 30 已经很接近 1000 了。国防战略太庞大了，不是单凭某一项科技就能完成的；但如果同时再加上武器裁减的话，情况就会有所不同。

这段评论让我震惊，因为这是由政府内部所传出，唯一有关星球大战计

划的合理看法。我们也许可以运用类似的方式，写下对裁减核武谈判的看法：

免除大众对核灾难的恐惧，要花多少代价？也许有人会说：“我们真正达成协议的部分，距离目标大约还有千倍之遥。我们已经成功地将美国与苏联双方的核子武器总数，都限制在 10000 以下，但对生活在核子恐惧下的人来说，我们真正需要的数目是零。就算有些是隐藏起来，或是未能控制的部分，其总数也不能超过 10。限武谈判试图将数目由 10000 压到 10——我并不是说这是不可能的，我只是说这看来并不合理。我能想象经由美苏双方的双边协定，能把情况改善 30 倍，因此双方只各拥有数百个弹头；但要更进一步，大概就非常困难了。当双方都只有数百个弹头时，问题就不再是双边的，而是多边的了。你必须和中国、英国、法国和苏联取得妥协，而且会愈来愈担心秘密隐藏的武器有多少，及协定被破坏的可能性有多大。另一方面，如果我们能经由谈判将武器裁减为 1/30，同时我们又能建立有效的国防战略，这会给大家足够的信心，放弃最后的核武器。要过渡到非核的世界，对裁减武器来说负担太重，但如果加上防御系统的活，情况就会改观了。”

我这样模拟讨论的目的，是想要突显出国防战略与武器管制之间的对等关系。这两个体系并不是非得二选一不可，它们可以结合起来，相辅相成。如果希望经由国防战略或武器裁减来废掉核武的话，最好的方法是双管齐下。

武器管制的唯一基础在于公平

我这种双管齐下的看法，既不是来自我在专业武器管制学会的朋友，也不是来自支持国防战略的人士。武器管制学会在一本内容丰富的小册子中，很清楚地表达了他们的观点，名称是《里根的国防战略草案：技术面、政治面及武器管制的评估》（The Reagan Strategic Defense Initiative A Technical, Political and Arms Control Assessment）作者是三位斯坦福国际安全与武器管制中心的成员。这些斯坦福的专家对整个国防战略概念十分“感冒”，部分是基于技术性的原因，而主要则是来自政治上的理由。他们认为，这整个架构不符合武器管制的精神。在他们看来，存在于国防战略与武器管制之间的歧见，是绝对无法拉近的。他们对战略的看法可以完全由 1972 年签订的“反弹道导弹条约”看出来，而这也正是他们认为达成武器管制的唯一希望。任何事情如果威胁这个条约的持久性的话，就会被视为威胁世界的稳定及和平。在彼此同意以更好的方式替代核武器之前，我同意“反弹道导弹条约”绝对有价值，并应竭力维护。但我也能轻易想出一个更好的替代方案，比方说，一个既允许建立防御战略体系，又能执行裁减武器的条约。

在另一方面，热烈支持国防战略的人士，其热情也不值得鼓舞。如果说“反弹道导弹条约”是武器管制支持者的瑰宝，那么高科技的太空武器就变成国防战略支持者的最爱。总统的原始讲稿所强调的，是国防战略概念与武器管制之间的联系，他并没有谈到任何有关太空的事。但现在整个话题已经完全扯到技术上的问题去了，大家忘了武器管制的目的，而只强调太空武器是如何如何。目前绝大多数的评论，都把整个计划形容成高科技的武器竞赛，而竞赛的唯一目的，是以科技打垮苏联。如果这真是我们的主要目的，那么斯坦福的专家就说对了——完成武器管制的唯一基础在于公平，苏联不可能在技术挨打的情况下，轻易妥协的。

整个国防战略是架构在双方的平衡上。它能否成为通往世界安全的道路，就完全要看苏联的反应。如果它真能像里根总统第一次声明中阐述的那样，那么我们就要进行一项长期而缓慢的发展计划，其上限则由武器管制谈判来限制。这样一来，就看不出有什么理由会使苏联深受威胁。另一方面，它也可能是另一波武器竞赛的先声，那时地球轨道上到处都布满了各种死光及其他军事设备，这样苏联也会受不了。目前的星球大战计划比较接近总统当初演讲的精神，而不是一般媒体所塑造的形象。不幸的是，苏联除了注意技术细节外，媒体的误导也可能会传进对方的耳朵里去。

“最后防卫”与“先发防卫”

一个国家要防御核武器攻击，基本上有两种方法，专家分别称之为“最后防卫”(terminal phase)与“先发防卫”(boost phase)。所谓“最后防卫”的意思是：当敌人的导弹发射过来后，我们在自己的领空上把它击落；而“先发防卫”则是指当敌人导弹升空时，我们在敌人的领空中就击落它。这两种防卫方法，在政治及技术上，都有着根本的不同。在技术上来说，“最后防卫”就是反弹道导弹系统的延伸，而这在过去30年间，美国及苏联已经发展得很完全。其中使用的元件组成包括：雷达、红外线摄影机、电脑及拦截导弹等，这些东西大家都很熟悉。它们主要是设置在防御国的国土上。

一个“先发防卫系统”就完全不是这么一回事了。组成这套系统的元件都是一些稀奇古怪的东西，像环绕轨道拦截器、高能激光、轨道反射镜、粒子束或X射线束等等。先发防卫系统的大部分硬件设备，都必须部署在太空中，使它们能不断通过敌国的上空。大致说来，最后防卫是试图在自己的国家上空布下防护罩；而先发防卫则是要在敌国的天空建一个反导弹的防护天花板。

就政治上而言，防护罩和天花板的意义大不相同。防护罩是保护我们自己的领土安全，而防护天花板则是要侵占别人的领空。防护罩是要使坏东西不要丢到我家来，而天花板则是要将坏东西留在你自己家里，不准出来。我能想象苏联接受敌我双方都拥有高效率防护罩，来保护自己的国家；但我却不相信，苏联会接受敌国的太空船盘旋在其上空，随时注意及准备突破苏联的防卫网，或实际干扰其心脏地带的军事活动！这就是最后防卫与先发防卫在政治上的基本差异：最后防卫体系并不会使国际间的关系紧张；而先发防卫体系则是入侵者，向敌国的主权及国防直接挑战。

本土主权完整是决定因素

美国的星球大战计划中包含了很多研究项目，有些是直接进行最后防卫，有些则是研究先发防卫。这两类计划的特质迥然不同，最后防卫体系的计划已经付诸实行。它们几乎完全承袭美国陆军以前的弹道导弹防御计划，我们已经稳定推动这类研究近30年了。行政当局就是持续推动星球大战计划，而没有重大的改变。而直接推动先发防卫计划就完全是另一回事了：这是新的构想，规模壮观，却又未能清楚界定。先发防卫计划是使用一批并不存在的、想象中的军事装备，来规划一幅远景；它们是空中楼阁式的承诺。但这些模糊不清的先发防卫计划，居然吸引了一大堆人的注意；真正实在的

最后防卫计划，反而被冷落及忽视了。特别是苏联的反应，苏联的头子们看见美国杂志上的图片，画着巨大的高能激光飞过苏联的上空，然后把苏联的导弹统统打下来。如果一个太空轨道中的激光能在苏联上空把他们的导弹打下来，那么这台激光一定能把在黑海度假的政治局委员烧成焦炭。

苏联的领导人当然不能让这种事情发生。因此他们在 1983 年用一件事情提醒世人注意——把不小心飞越国界的南韩客机给打下来，以强调苏联绝不容许任何意图侵犯领空的事情发生。因此，苏联头子更不可能让杂志上画的事情成真，而对任何试图穿越其国境的装备，苏联都有政治上的理由及军事的能力将之摧毁。星球大战计划中最大的弱点就是：大家对这毫无头绪的先发防卫说得太多了；就算我们能完成，苏联也有本事将之摧毁。

苏联对星球大战计划的强硬态度是可想而知的。因此不论先发防卫在技术上是否可行，在政治上肯定是困难重重的。即使我们大力鼓吹，即使我们能制作这种不存在、技术上也不可行的先发防卫体系，苏联领导人也会在政治上封杀它。在我看来，苏联对其本土控制权的完整是决定因素。而由于先发防卫系统威胁到这种控制权的完整，使得这种计划完全无法被接受。苏联在莫斯科周围部署了坚强的最后防卫系统，并且对所需要的科技有完善的规划及发展。而苏联在星球大战计划提出之前，也从未对美国的最后防卫系统有过任何意见；因此我相信：如果我们不这么大张旗鼓地宣传先发防卫系统，星球大战计划中的最后防卫部分，应该不会激怒苏联才对。最后防卫系统是苏联的军事传统主流之一，因此我不认为苏联会有任何理由反对。

信息战的优势在于守者

以上就是我对星球大战计划的“政治层面”的意见。现在我把主题转到“技术层面”上，由攻击与防御的长期科技平衡开始讨论。德国在二次世界大战初期的快速军事胜利，让大家有一个印象，那就是进攻比防守要更有利；而以色列在 1956 及 1967 年所发动的闪电战，更加强了这种印象。然而在二次世界大战及最近中东的例子中，我们都发现，当时间一长，攻击所拥有的优势很快就会衰减。而由于科技的进步，使得目前的战争愈来愈倾向于信息战，而不再是火力决定一切。当武器愈来愈准确时，战争的优势是在较清楚对方实力的一方，没有正确信息，武器是没有用处的。当信息的重要性增加时，我们就可以清楚地看到，优势逐渐由攻击的一方转移到防守的一方。在一场信息战中，实力部署在自己国内隐蔽位置的防守国，绝对比入侵而暴露的攻击者要居于有利的地位。

攻击者逐渐失掉优势的明显例子，是芬兰在 1944 年的 6 月及 7 月（也就是二次大战末期）成功抵挡住苏联军队最后的攻击。当时苏联的元帅哥沃洛夫（Govorov）率领配备重装甲车及炮兵的 30 个师及将近 1000 架飞机入侵，想要一举拿下芬兰。斯大林给哥沃洛夫的期限是 6 星期内攻入赫尔辛基，然后这些军队就必须南下加入攻击德国的军队中。于是在芬兰发生了惨烈的战争，大批苏联军队依序突破了芬兰的三道防线。芬兰的火力逊色多了，但他们有很好的信息情报网。芬兰人破解了苏联通讯的密码，因此，他们通常都能事先就知道苏联人攻击发动的时间及地点。而芬兰人也就利用这些信息小心配置大炮轰击，以阻延苏联军队的进度。

在经过 6 星期惨烈的战斗之后，决定性的时刻终于到来。那时芬兰人正

防守着支离破碎的第四道防线，而苏联军队距离赫尔辛基还有 100 英里远。那时芬兰的解码员截获一则斯大林给哥沃洛夫的私人电报，说时限已经到了，其中 5 个苏联师必须立即南移。哥沃洛夫回复说，只要再给他两星期，他一定能攻进赫尔辛基，一小时后，一封愤怒的电报再从斯大林那儿拍发过来，说战争胜负的决定地是柏林，不是在赫尔辛基。所以 5 个师就此南下，而芬兰也就没有受到像爱沙尼亚及拉脱维亚那样的统治。两个月后，一项休战和约签订，规定被苏军占领的领土向苏联投降，而其他部分则纹丝不动。

芬兰战役结束至今已有 40 年，欧洲的军事平衡基本上并没有太大的变化，苏联仍然拥有为数众多的坦克、枪支和许多装备精良的军队。但当任何一个西欧国家面对苏联军队入侵的直接挑战时，也许都像芬兰一样用非核武器就能防御自己。精确的反坦克及反飞机武器发展，使防卫工作比过去更为简单。当然这关系到军队本身的士气问题，这是无法预先加以计算的，因为谁也不知道西欧国家的兵士是否愿意像 1944 年芬兰人作战时那样拼命。我们并不知道这个问题的答案；幸运的是，苏联人也不知道答案。

减少依赖核武才能保卫核武

我由芬兰人及其他为维护国家主权独立而战的成功例证，所获得的重要结论是：防卫者在没有核武器的情况下能做得更好。事实上我很难想象，一个国家在面对苏联军队时，要如何才能有效使用核武器。使用核武器对抗苏联军队的国家，无异是自杀；而在和平时部署核武，又会让防御部队觉得自己的功能只是摆着好看，而没有实际效用。一位被征召进配备核武的陆军服役的聪明年轻人，不太可能认真执行自己的任务。他必定知道：只要开战，自己所属的部队及自己所属的国家，都不再存在。当兵士对所受的训练，连自己都无法真的当一回事，就不能期待他们会有高昂的士气。如果北约盟国真的对军队士气有所怀疑的话，必须的改进步骤是：减少对核武的依赖，然后他们才有可能在不毁掉自己国家的情况下，保卫这些核武器。

当战争火力的重要性降低，而正确信息的重要性相对提升后，军事的优势就逐渐由攻击的一方转移到防御的一方。芬兰在 1944 年的保卫战只是这种趋势中的一个例子而已；西欧可能的非核防卫系统，则是另一个例子；第三个例子则是星球大战计划，也就是美国及苏联预防核攻击的战略问题。在专家的眼中看来，核战占优势的一方必定是攻击者，这是永远不容置疑的。然而，我现在就要针对这一点提出质疑。即使是这种最困难的防卫方式，在长远看来，防卫者仍然因为拥有所有信息而占尽优势。要摧毁一个核弹头，只要在正确的时间及地点，放置半磅重的铁块就可以了，并不需要什么高能激光，或是电磁炮之类的高科技产品。因此，我们需要的是信息。防卫者必须知道弹头的正确位置，并能将这个信息快速地传送给拦截系统指挥中心。然后必须小心隐藏这些系统，以避免敌人找出来加以摧毁。

因此，在侦测器、微电脑及资料处理器技术的进步之下，我们可以想象：能完全利用信息的最后防卫体系，终究会在经济效益上胜过攻击的一方。信息技术的进步之所以对防御者有利，可以从很多方面看出来（当然这里指的防御是指最后防卫体系而言）。防御战完全是在防御者自己领土上打的，而攻击者则必须在千里之外盲目攻击；防御者使用的火箭系统可以做得十分快速而灵巧，而攻击者的火箭则需要非常巨大的装置；防御者的系统能有效地

设置在地面的掩体中，而攻击者则必须暴露在太空中，进入大气层时就完全藏不住行踪了。基于以上种种理由，我觉得最后防卫系统在技术上是可行的。一个防御核武力的非核系统可能无法达到完美的程度，但其功能也许在于推动多边核武器的限武谈判，而这也是星球大战计划的精神所在。要到达这个目标，防御者必须能完全运用所占的优势地位：较易取得信息、对战场充分掌握、通讯网路较短及地面的完美掩护。

先发防卫技术上困难重重

以上所有的优点，都是针对最后防卫体系而言。当我们转向先发防卫之后，这所有优点反而成了缺点。就以信息的取得为例，先发防卫系统就把防御者及攻击者的角色给颠倒过来了。在先发防卫系统中，防御者要去渗透及突破敌方，防御者具有不佳的战场视野及较长的通讯距离，这些缺点似乎是无法避免的，并且和硬件的细节无关。如果说有任何先发防卫系统能避免的话，那一定就是在 50 年代所提出的系统班比（BAMBI）的现代版。这个系统包含有许多散布在地球轨道上的小型自动拦截器，但即使是这种蝗虫式的封锁，也可能被地面装置一个个找出来锁定；而任何更大及更复杂的轨道装置，都更易于遭受攻击。因此，对高能激光是否能有效地摧毁苏联导弹的讨论，都是多余的。不论这些激光是否有效，一个激光光束瞄准西伯利亚的光学设备，会比导弹本身更容易被摧毁。一个装置在西伯利亚地面的简单系统，就能让这个先发防卫装置失去功能。

因此，这段有关国防战略讨论的结论是非常清楚的。而由政治层面得到的结论，和由技术层面得到的结论也是相同的。就算能建造先发防卫系统，政治上还是无法被苏联接受，而在技术上也是困难重重的。信息科技愈来愈进步，先发防卫会愈来愈没有价值。一个最后防卫系统，苏联在情绪上能接受，而在技术上也是可行的。当侦测器及电脑科技不断进步，最后防卫系统也就愈来愈具有吸引力。

所以，只要星球大战计划仍然不断强调先发防卫，就注定是死路一条。它不能带来任何有用的军事收益，反而使苏联反对任何形式的限武谈判。另一方面，一项缩减成最后防卫的星球大战计划，技术上应该可行，在政治上也能达成协议。要挽救这整个计划中真正有用的部分并不容易，而由先发防卫计划所产生的错觉与畏惧也不容易消除。但我仍然希望，我们和苏联领导人都有这种智慧，能将先发防卫和最后防卫分开看待。也许有一天，最后防卫系统的开发及改进可以帮助我们裁撤核武，并进而建立权力平衡的基础。我们也希望，当先发防卫的美梦破灭时，这种机会仍然存在。这些就是我对星球大战计划的看法，其中最后防卫的部分应该将之交给陆军，并继续当成一个军事计划来执行；就像苏联的弹道导弹计划一样，好好地做，而不要过分渲染。而其中先发防卫部分的计划，则应该放弃其军事用途，转而变成科学研究之用。

让核武变得不必要且无吸引力

因此，我们可以将星球大战计划变成苏联能接受的形式。星球大战计划的目的也不应该是使苏联瘫痪，而应该是开启一条他们能追寻的道路。幸运

的是，先发防卫计划是整个星球大战计划中最昂贵的部分，这是美国国会用预算将它由太空转到地球上的好机会。如果这个计划执行时，能尽量不夸大渲染，也尽量注意苏联的反应，那么最后它也许可以达成里根总统演说中揭示的目标。

里根总统建议，如果星球大战计划发展成功了，美苏两国可以分享这个防卫科技。这个建议在大众看起来是极奇怪而又不切实际的；但是，如果我们的计划能不保密的话，总统建议的目的就达到了。不保密可以在避免政治困扰的情况下，达到科技分享的效果。而这还有另一项好处：就是连计划失败时，苏联也能知道。对双方来说，保密常常较能遮掩失败，而无法掩饰成功。

国防战略的目的，并不是让我们在核战中得以幸免于难，这也正是为什么当国防战略不完美时，并不代表没有成效。国防的目的是建立一种观念，让世界上所有的政治及军事首领了解：核武器不是件好东西，使核武器变得不必要且失去吸引力。里根总统说他希望使核武器“失去功能”。我想这个用词是错误的，它承诺得太多，并且要求过高。如果今天是我来写总统的演讲稿的话，我会用“不必要且失去吸引力”这种字眼。只要能使核武器变得不必要且失去吸引力，国防的任务就达成了，也就可以摆脱核武的威胁。

第十三章 “理想国”奥地利

1955年签订的奥地利联邦条约，
使苏联和西方的军队同时撤离，
并让奥地利力排外侮，独立自主。
今天任何人去奥地利都可以看到这项条约的成果：
奥地利已成为经济繁荣、政治安定的亲西方国家。

国防战略并不是今天世界所面临最严重的问题。也许里根总统的星球大战计划所造成的最大害处，就是将世人的注意力从其他更重要的事情，都吸引到战略的部署上了。事实上，政治上的事要比技术上的事重要多了，政治事务考虑的是地面上的人们，而不是天上飞的武器。而这其中最重要的问题，就好像列宁曾经说过的一句话：“是谁下命令，而又是谁去遵守这些命令呢？”因此政治上的因素才是触发军备竞赛的主因，这比武器本身的技术细节重要多了。

我想讨论的政治议题之一，是德国的政治情势。其中一项可能是德国的“奥地利化”（Austrianization）。“奥地利化”是个很难听的名词，但它代表着某种解决问题的希望。就这个名词背后的意义而言，是认为在1955年5月签订的奥地利联邦条约，是自二次世界大战以来，在国际限武上最大的成就，甚至比反弹道导弹条约或其他只重武器而不重人的任何条约，都来得伟大。到1955年为止，奥地利还是和德国一样，分裂成许多占领区，其中苏联军队占住了东边，而美、英、法等国则占领了西边，其间则以维也纳的一条界线分开，就好像过去东西德在柏林的分界线一样。这个1955年签订的条约把情势完全改变了。它使苏联及西方的军队同时撤离，并让奥地利成为一个自由而独立的国家。今天任何人去奥地利，都可以看到这个条约所带来的结果：奥地利已经成为经济繁荣、政治安定的亲西方国家。

不论其他国家的民众对瓦尔德海姆（Kurt Waldheim）个人是多么反感，奥地利人仍然选他做总统，这多少显示：奥地利人有多么抗拒外来的政治压力。奥地利本身位于欧洲的心脏地带，领土延伸到苏联卫星城市及柏林的西方，具有重要的战略地位。而条约签订至今已经30年了，我们并没有看到苏联人对此有任何不满，苏联政府后来从未恐吓过奥地利，或是严重干涉过奥地利的内政。这个快乐的结局引发了几个问题：我们要达到这样的成就必须付出什么代价？应用在其他国家，也能得到类似的结局吗？

奥地利联邦条约的签订

虽然美、英、法在谈判中占了很重要的角色，但是奥地利联邦条约签订的最大功臣，是奥地利人自己。这个条约的主要内容，是奥地利首相瑞柏（Julius Raab）和莫斯科政府双边协议的结果。奥地利人和德国人不同，他们虽然分处四个强权的统治之下，但其内部仍然维持政权的统一，因此瑞柏可以代表整个奥地利说话。而瑞柏也知道自己要的是什么，他希望苏联撤军，而且愿意付出任何合理的代价，而这个代价在日后看起来仍然是值得的。首先，是付出一笔现金以取代苏联政府认为是属于自己的奥国境内之德国资产；其次，奥地利联邦必须在宪法中载明永远保持中立，而这也的确实现了。

这意味着奥地利不能加入北约组织，同时还必须抵御像 1938 年德国希特勒那样的外国的入侵。除了付出现金和保持中立的要求外，还有一些比较次要的条款，像奥地利的军队中不准有希特勒部队中校级以上的军官，不准雇用外籍雇佣兵，但不限制军队的数目。从各方面看来，这对一个在 1938 年被希特勒占领，又曾在 1941 年被苏联占领的国家而言，都是非常理想的条约。

我们并不能确定苏联政府同意这个条约的真正理由。由苏联的观点来看，这个条约所带来的直接利益是：使北约的边界马上由奥地利后退 100 英里到巴伐里亚。但是这中间仍然存在的一个矛盾是，为什么苏联能容许奥地利成为拥有强烈亲西方文化的自由国家，却同时又强力压制捷克和匈牙利的任何举动？为什么一个中立的奥地利要比一个中立的捷克较不具威胁？对于苏联在整个欧洲的举动，我想其关键都可以在德国找到。这种对奥地利的优渥待遇，在当时可能是对西德民众发出的某种信息，认为只要不加入北约组织，德国仍可能有繁荣美好的未来。但当时西德首相艾德诺尔（Konrad Adenauer）本人坚决拒绝苏联的诱惑，而西德在奥地利联邦条约签订的同一个月，加入北约成为正式成员。

然而，奥地利的例子对年轻一代的德国人来说，仍然是德国未来的希望所寄。我的妻子恰好是德国人，我有三位外甥，都是西德的公民，我由他们那儿知道了很多关于德国年轻一代对世界的看法。他们非常清楚有关苏联军队占领了他们国家东部的事实，他们完全不赞成苏联和共产党，但他们更对北约盟国的许多政策感到不满。他们反对在自己的国家中设置核武器，他们对美国政府领导北约的智慧也完全没有信心。他们看看邻居奥地利的情形，自然就会问：“为什么我们不能？”看起来奥地利在没有核武器，没有美国盟友，也没有苏联占领的情况下，过得也蛮好的。我想，当这些年轻人逐渐成为主要的政治势力后，这种疑问会愈来愈强烈。

“奥地利化”与“芬兰化”

认为德国应该保持中立，以作为解决问题方案的想法由来已久。在过去，反对保持中立的人主张以“芬兰化”（Finlandization）来取代中立的方案，这些人认为德国应该在政治上向苏联低头。事实上在这种意义下使用“芬兰化”这个名词，多少有些误解芬兰真正的政治情况，芬兰曾抵挡了苏联军队的入侵，而至今仍然是个像奥地利那样自由及亲西方的独立国家，并不是苏联的附庸。然而，由于芬兰与苏联有绵长的国界相连，其历史上又只有在旧帝俄时代才曾完全独立，这使得苏联残余势力对芬兰的政治生命仍有不可忽视的影响。芬兰外交政策的最高方针，就是绝不做任何会损及和苏联和平共存的事。因此只有在非常狭隘的观点上，才会认为芬兰向苏联卑躬曲膝。而奥地利则不论是在地理位置或是历史渊源来说，情况都要容易得多。奥地利后来成为苏联领土的一部分，而奥地利的军队也从未接近列宁格勒或莫曼斯克。因此基于这些观点，一个中立德国的情势会比较像奥地利，而不像芬兰。所以我将讨论欧洲的“奥地利化”而非“芬兰化”。

一个奥地利化的德国，对欧洲政治平衡的影响，不见得一定能符合我们的利益。但不论我们喜欢与否，都值得思索。也许有一天美国人醒来时，就发现德国人民已经投票赞成奥地利化，而完全无力阻止。因此，如果我们在德国政府采取动作之前，先考虑苏联对奥地利的态度，会是非常有利的一着。

我觉得，现在已经可以开始评估：奥地利化对北约两大目标实现的可行性——苏联军队撤出德国，及苏联核武器撤出欧陆。我们无法预测苏联的反应，但我那些德国外甥必然是非常高兴的。而我们也希望新一代的美国及德国领导人能认为，将美军及核武器撤离德国是对应苏联撤军的合理代价。一个和奥地利条约完全平行的德意志联邦条约，可能是双方同时撤军的好机会。

奥地利和德国之间有个重要的差别，那就是德国曾有两个政府，而德国的奥地利化行动并不需要这两个政府的合并。以许多主客观条件来看，当条约签订完成后，最好让这两个政府同时存在，而政府及柏林市的统一可以日后再说。因为对德国民众而言，可能和挪威及瑞典在 1905 年分裂之后的人民一样，觉得在两个政府下面生活会比在同一个政府之下生活要来得好。事实上阻碍两边人民来往的并不是两个政府的存在，而是通讯与交通的阻绝。

中立德国有助建立国际新秩序

那么德国的奥地利化又指的是什么呢？这里有两个可能的奥地利化的条约版本，其中 A 版本有五项条款，而 B 版本则有六项条款。以下是 A 版本的内容：第一，双方自德国同时撤军；第二，东西德政府分别离开华沙公约与北约组织；第三，宪法中规定东西德政府永远保持中立；第四，禁止在德国境内设置核武器及设施；第五，两个德国政府互相承认独立地位，并不许统一。B 版本的前四条和 A 版本相同，第五条则改为禁止用武力达成统一；而第六条则是，若双方政府同意和平统一，那么统一后的政府必须履行条约中的各项义务。这两种版本最基本的差别，在于 A 版本建立了一个包含两个行政区域的德意志联邦共和国，就像奥地利的情形一样；B 版本则不明确定义其架构细节。当我和一些最近访问普林斯顿的苏联官员谈起这些提议时，他们对 A 版本都表示了浓厚的兴趣。我也发现许多美国及欧洲的友人偏好 A 版本。普林斯顿政治学教授欧曼 (Richard Ullman) 曾对 B 版本的缺失做了生动的描述，他说：“你不能期望把德国放在那儿，就好像一艘颠簸的船，甲板上大炮没绑好一样。”然而在另一方面，西德的公民比较喜欢 B 版本。

这两个版本并非“唯二”的解决方案。在同一个基础上，我们可以轻易地找出许多其他方式出来。比方说，我们可以用两德在 50 或 100 年后和平统一，来取代不准统一的方案，条约中也可订或可不订有关两方政府军队的规模与武器装备数量。聪明的方法是：使条约愈简单愈好。而将统一与中立分开的主要原因就是：统一是件极复杂的事；而中立则相对来讲，是个简单得多的问题。

奥地利化的条约细节，会依无法预知的未来环境决定；因此毋宁看远些，暂时忽略细节，而只看大方向。这项条约会是欧洲政治一次巨大的革命性发展，因为它能将军事上的对立化约为新的国际秩序。其立即效果，就是使数以千计最危险的短程核武器无用武之地。当北约及华沙公约组织互相退让，而不再像现在这样针锋相对的时候，这种短程核武器就不再有用。但更重要的影响，还是在建立新的国际秩序，而不再像过去由两大强权来控制的局面。

逐步达成无核武的中立欧洲

反对奥地利化的人会说，这会使得德国人的生存权利完全控制在苏联人

的良心上。这是对的，就像奥地利人的自由生存权利完全要看苏联人的良心一样。而奥地利的例子也告诉我们，在现在的国际环境下，这种生存权利事实上还蛮牢固的。而“良心”这个字眼，也不能完全说明苏联对奥地利的做法。事实上，苏联承认奥地利的独立，主要是着眼于对法律的承诺及国际关系的秩序上，这和“良心”恐怕关系不大。因此，苏联是否会接受一个中立化后的德国，要看其对欧洲新秩序的观点为何。我曾在我的书《武器与希望》（Weapons and Hope）中写过很长的一章，就是以历史的角度来讨论：如何在现实的权力平衡架构上，实验国际秩序的建立。如果国际秩序想要稳定，权力平衡是最基本的条件。但是欧洲的权力平衡，并不一定需要美苏的军队驻扎在德国。德国中立化之后，权力的平衡依旧存在，因此苏联应该有足够的动机，像对待奥地利一样对待德国。而在英国与法国的支援之下，美国与苏联应该仍享有相同的分量与驱动力。因此，这种权力的平衡，看起来应该是能稳定而持久的。由此就能对两个中立德国联邦所构成的欧洲秩序，提供坚实的基础。而苏联也会了解，如果贸然地进攻奥地利或是德国将会引发大战，这项代价是苏联负担不起的。

假设德国的奥地利化已经完成了，那么接下来的步骤就是使整个东欧都能照这个模式进行。瑞典、芬兰、瑞士及南斯拉夫早就已经尝到了中立的甜头，所以这种奥地利化的风潮也可能改变北约的挪威、丹麦和意大利，以及华沙公约的匈牙利、捷克及波兰。这个过程会十分缓慢，同时也需要各方的耐心；但只要我们能及早开始，这是条有希望的路。要重视整个欧洲的奥地利化的最主要因素，是去除装置了核武器的美国盟国——德国——对苏联的威胁。我们并不知道苏联会不会让我们达到最后的理想，得到一个没有核武的奥地利化欧洲；但是尝试看看至少没有害处。

坚持主权、自由、中立的奥地利

以上这些看法成形于 1985 年。那时我应邀对美国一个地方教会聚会发表演说，而也是从那时起，我开始谈奥地利化的主题。“德国的未来”对那些关心人类战争与和平的团体来说，是很适合的演讲题目。而选择奥地利化为主题的原因，是因为听众已经厌倦了对星球大战计划永无休止的辩论。我并没有料到这个想法会受到专家的欢迎。这个想法来自我那三个德国外甥中最年轻的一位，他在三年前搬来普林斯顿与我们同住。那时他只有 14 岁，但已经比大多数年长的孩子聪明得多，他能以不同的新观点来看世界。由于我觉得他的想法蛮合理的，因此我采用他的想法作为演讲的题目。

令人意外的是，我发现一些普林斯顿的政治专家居然很认真地思索这个观点。几星期后，我应邀在纽约向一群包括奥地利总领事在内的贵宾，发表有关奥地利化的演说，这些贵宾大多数都不同意我所说的，但至少他们听得进去。这位总领事给了我一份史德兹（Gerald Stourzh）所写有关奥地利联邦条约之历史的资料。这项条约在 1955 年签订前，曾断断续续地谈了 8 年之久。在读了史德兹的书后，我没有办法再说自己是专家。所谓“专家”，是指某人在某个领域中，都已经犯过并修正了每个可能的错误，而由他的书中，我发现我演讲中有些叙述是完全错误的。

在仔细阅读奥地利联邦条约的内容后，我最感到惊讶的是：奥地利的中立政策居然没有列在里面。这个条约在 1955 年 5 月 15 日签订，而在 7 月 27

日经过 5 个签约国批准后生效。最后一批离开奥地利的占领军，则是在 10 月 25 日开拔的；而当这一批英国军队撤离时，奥地利人还开了盛大的告别酒会。第二天，也就是 10 月 26 日，奥地利国会通过宪法的中立法案。奥地利人自始至终就坚持事情的先后顺序必须是：先有条约，接着撤军，最后才宣布中立；而他们的确办到了。他们认为，只有在一个拥有自由主权的奥地利的前提下，才能建立持久而庄严的中立法案。而这也正是他们的方式，当奥地利还是个被占领国时，所订定的条约中就完全没有这种规定。

中立法案是份简短的文件，它包括两项条款，以下就是它们的全文：

条款一：为了永远维持主权独立，也为了国土的不可侵犯，奥地利宣布将永远保持中立，并会尽一切所能来维持及保卫这个宣言。为了在未来能永远确保中立，奥地利将不参加任何军事联盟，也不准许任何外国在奥地利国内设置军事基地。

条款二：联邦政府将负责执行此一联邦法律。

这个法律是我推荐给德国政府的模式。当我说奥地利联邦条约简短时，事实上我是错的。这个条约包含了 38 个条款，一个很长的前言，两个附件，及一个附注。其中大部分都是在规定战后德国军事及经济设施的处理问题；而这些复杂的部分，已经连历史学家都不感兴趣了。这个条约并未对奥地利的军队与武器的数量设限，但它对武器的种类设立了某些限制。第 13 条条款明文禁止 10 种武器在奥地利的制造或持有，其中首列核武器，还有导向导弹、鱼雷、潜艇、地雷、射程超过 30 公里的大炮，最后则是生物及化学武器。这 10 项武器限制不见得完全适用于德国的情形，但未来的德国联邦条约中，应该有类似奥地利条约第 13 条这样的条款。

史德兹书中最发人深省的部分，是描述 1955 年 3 月及 4 月的两次奥地利与苏联的双边会议。这次协商订下了主要的条文内容，同时这也是奥地利第一次提出，而苏联也第一次接受的共识：认为宪法中的中立法是奥地利独立的基础。这次会商，双方都建立了备忘录，注明奥地利的中立应该是以瑞士的中立模式为榜样。瑞士的中立是由欧洲各强权在 1815 年于维也纳订立的正式国际法律，瑞士已经在宪法中明定中立条文，欧洲各国也保证不侵犯瑞士的领土。奥地利和苏联在 1955 年同意照瑞士模式进行，这项在莫斯科进行的协商，是在瑞柏和莫洛托夫 (Molotov) 两人会谈后，有了突破性的进展。根据当时在场的奥地利人弗洛斯塔 (Stephen Verosta) 说，莫洛托夫对每个条款细节都发号施令，并几乎不听他顾问团的任何意见。没有人知道这个人是怎么了，他一直都是个不苟言笑、绝不通融的苏联式外交家，居然会忽然转变成一个热心的和平使者。

准备提案耐心等待和平

在 1955 年 9 月，也就是在条约签订后没多久，苏联认为芬兰也能依类似的模式签订条约。直到 1955 年为止，苏联军队一直占领芬兰的两个区域，一个是芬兰湾入口的韩哥 (Hango)，另一处则是距赫尔辛基只有几英里远的波尔加拉 (Porckala)。根据 1955 年的条约，苏联撤出了这些军队，并将两个占领区还给了芬兰；而在另一方面，芬兰只需要延续早就存在的互不侵犯协定，及与苏联的贸易协定即可。当我在 1956 年访问芬兰时，我曾开车到位于波尔加拉的废弃苏联基地。从整洁美丽的赫尔辛基，直接到荒凉肮脏的波尔加拉，两地成为鲜明的对比。但我仍然对决定自波尔加拉撤军的苏联领导人

表示敬意，这种单方面的撤军对一个强权来说，是非常不容易的。美国到今天仍然占住古巴的关塔那摩（Guantanamo）海军基地，而这个基地有许多方面都和 1955 年以前的波尔加拉基地类似。关塔那摩对古巴是一种困扰，而对美国则是一种不必要的浪费，但是美国却缺少撤军的智慧。

苏联的举动永远是不可预知的。1955 年苏联自奥地利和芬兰撤军，这对建立国际秩序和对中欧及北欧的稳定，有相当大的帮助。而这时正好是其国内政治势力在斯大林死后迅速转变的时候。因此当苏联下一次倾向采取和平措施时，这种机会可能还会再来。这也正是奥地利条约这一课所教我们的：耐心的人才有收获。奥地利与西方盟邦妥协谈判了 8 年，才找出一项可接受的条约，然后有一天，莫洛托夫忽然展开了笑颜，在两个月内，就签订了条约。如果我们的脚步够快，而且绝不错过任何一次机会的话，这种事可能还会发生，它可能就会是德国政治的某种妥协，或者它将会是核武器的全面禁绝。而无论是哪种情形，我们都无法强迫苏联行动，也不能预测苏联什么时候会行动。我们所能做的，也是必须做的，是随时准备好齐全的提案，然后静待历史性的一刻到来。（编按：本章定稿于 1988 年。至今，德国情势已不变。“奥地利化”的理想遂不得实现。但是作者对欧洲情势的剖析，所提出解除两大强权组织敌意对峙的可行之道，仍然值得所有关心国际现势的读者参考。一个自由、独立、不受核武威胁的中立国家，仍然是许多世界公民共同的理想。）

第十四章 骆驼与剑

有关制造及使用核武器的决定，
不但包含了军事与政治层面，
更涉及道德上的抉择。
简言之，不能为了捍卫国土等冠冕堂皇的理由，
就采取不道德手段，危及人类社会。

我再回来谈这个遥远但并非遥不可及的目标——也就是“消灭核武器”这个题目。大多数人并不相信我们真能消灭核武器，有许多职业上与核武器有关的人认为，即使可能，大家也不希望消灭核武器。最近我参加了一个在加州举行的科学会议，大部分与会者都是物理学教授，也都是拥有自由思考能力的聪明人，台上的演说者谈到：“在我们举手表决前，让我们想象一下：明天早上醒来时，所有国家的核武器一夕间完全消灭了；你们之中，有多少人会觉得比较安全？有多少人会觉得比较不安全？”我毫不犹豫地举手表示会比较安全；但非常悲哀的是，当场大部分的朋友都投给不安全那方。他们相信，核武器使得这世界更安全。在西欧与美国政府中的大部分专家似乎也是如此。他们把核武器变成保护世界和平的一种工具，而消灭核武器会把这种均势改变，使他们无所适从。

核武器之道绝非长久之计

为了对抗这些“炸弹狂专家”，一些有力的反对声音已开始出现。下面是美国的天主教主教团的“对战争与和平的公开信”中的结论片段：

核时代是在物理、精神上的一个危险时代。这是人类第一次拥有这种能力，并且可以用这种能力毁灭上帝所创造的世界。面对这种危险，我们不再保持沉默，我们为什么要这样极力呼吁呢？我们只是想在当今的世代中，跟随耶稣的呼召，成为一个和平使者。

我们坚决以为，关于核武器的决定，是我们这个时代最迫切需要解决的道德问题。这些决定不但包含了军事与政治层面，也涉及道德上的抉择，简单地说，不能为了达成捍卫国土、保障自由等冠冕堂皇的目标，就采取不道德的手段。使用核武只会滥杀无辜，而且危及整个人类社会。

这封信对于美国政府的政策，并没有任何显著的影响，然而它在核武器发展史上，却是个重要的指标。因为这是第一次代表保守势力的教会站出来，反对美国以核政策保护人民。对于美国的核政策，这些主教支持教皇保罗二世所说的话：“核武器之道，绝不是最终目标，也不是保卫国际和平的适当且安全的方法。”

如果核武器真的能被消灭，也不会是一夕而成的奇迹，而会是逐渐成就的——是由一连串的决定而促成，而非一言定江山。如果我们把时间拉回过去，我们可以发现：事实上核武器曾经被废除过好几次。美国以前曾经有核防空导弹，有中程核导弹，潜艇中也曾经广泛装置核弹，而今安在哉？这些核武器并不只是被其他核武器取代而已，它们是真正地被废除。而被废除的原因是：它们所造成的麻烦，比它们的价值更庞大，这些导弹本身所从事的任务并不合理，为了节省金钱以解决其他问题，所以才被废除。这可能会

是未来我们要走的一条路。我们废除核武器，不会是基于突至的和平盼望，而只会是一连串缓慢的废除程序。当这些武器所担负的任务逐渐无足轻重时，它们就会被弃置不用。虽然耗时费事，十分不容易，但是本该如此。

核武器已深深侵入我们的生活中。不仅在美国国内，在国际关系结构与思考方式上，也与我们紧密结合。因此，我们很难想象：从今天这个时代，直到核武器不再重要的时代，会是怎样一番景象。但是其转变过程虽然难以想象，并不意味着就不会发生。历史上有许多例子，即使深植人心的习惯与信仰，最后都可能发生转变。

造成科技消失的两类原因

一种科技的消失，有时候是被其他更有威力的科技所取代。比如说：航行的船只采用蒸汽动力，运河的运输则屈服于铁路的运输下。有时候，是被一种较不具威力的东西所取代，可能是一些社会或政治的力量促使这些情况发生。我称呼从弱勢力量到强势力量，为第一类转移；从强势力量到弱勢力量，为第二类转移。第一类转移对我们来说十分熟悉，第二类转移则很少且较不为人知。如果我们要转变，成一个没有核武器的世界，就属于第二类转移。因此我们必须详细讨论第二类转移。

第二类转移中很好的例证，可由布利耶特 (Richard Bulliet) 所著的书《骆驼与车轮》(The Camel and the Wheel) 中找到。布利耶特是一个研究早期阿拉伯文化的历史学者，他在此书中叙述：在罗马时代，整个阿拉伯世界把经济生活建立在有轮的载具与铺设的道路上；然而在公元 500 年时，也就是在伊斯兰教发展前几百年，巨变骤生，整个阿拉伯帝国都改用骆驼为载具，其影响扩及所有商业行为。道路消失，使用轮子的车辆也都消失了。再过 1000 年左右，直到欧洲人和铁路、火车头一起进来以后，骆驼的帝国才逐渐没落。布利耶特能够找出巨变的发生原因，他发现：在 5 世纪时，叙利亚北部的一个重要城市实施一种税法，所有行经当地的货物都要缴税。而一车货物所课的税与四头骆驼是一样的。但是根据布利耶特的计算，一头骆驼所要负担的钱少于一辆车，但是一头骆驼平均可以背负 600 磅的货物，一辆车却只能载运 1200 磅的货物。因此，一辆车的载重相当于两头骆驼的载重，所付的税却相当于四头骆驼的税。

这种税率的设定，是为了打压车辆的成长。也许当时设定这种税率的官员与卖骆驼的商人有些许勾结，但不管如何，这种具有偏见的税法，很有效地把骆驼和车辆间贸易平衡的关系打破了。若想要有效使用车辆，则必须有很好的道路，这些道路必须时常维护。然而当车辆运输开始没落时，道路也就逐渐毁坏；道路一旦毁坏，车辆的没落也就愈快，更无法回头了。在大约一至二个世代中，已经无人知道如何建造与修理这些车辆，也就没有任何车辆存在于阿拉伯世界中。在阿拉伯的语言与文化中，有轮的载具消失了将近 1000 年。

另外一种第二类转移的例子，发生在 17 世纪的日本。在培林 (Noel Perrin) 所著的书《放弃枪械》(Giving Up the Gun) 中描述得很清楚。在 16 世纪时，第一艘欧洲船探访过日本后，日本的工匠很快就知道如何制造枪械，他们制造的枪械非常精良，因此日本枪械大量外销，并且日本陆军也时常使用自制的枪械。大约半世纪后，日本人非常憎恨枪械，使用枪械的战争

会伤害许多人命，因此，统治阶层认为枪械会影响他们尊严的生活形态，所以决定回到以刀剑作战的时代，在 250 年间，刀剑又成为陆军的主要力量。到 1879 年，以刀剑为主的陆军仍然存在，直到日本被一些新型陆军所打败，不得不现代化，并且配备欧洲的武器为止。

枪在日本绝迹的历史轨迹，就好像车辆在叙利亚北方消失的情况一样。这二项转变都是因为经济因素，而非政治因素。日本政府使枪械专卖，并且提高价钱促成其消失，虽然仍有人少量制造枪械，但是因为太昂贵了，因此不能够大量生产。

日本人不喜欢枪械的主要原因是：枪械使农夫和贵族的地位相当，当枪械流行于 17 世纪时，就是由配备枪械的农夫来打仗，这使得日本武士所受的训练毫无用武之地。如果农夫可以赢得战争，这些日本武士又有什么尊严可言呢？这些贵族原本是非常轻视农夫的，就好像在阿拉伯世界中，骑骆驼的人要比驾车的人有尊严一样。

专门人才是推动转变的力量

上面这两项“第二类转移”的例子中，有许多值得我们借镜的地方。推动这些转变的力量，都是来自那些具有技术的专门人才，像骑骆驼的阿拉伯人和日本武士，都是这股力量的来源。而在这两个例子中，整个转变的想法是保守的，是试图恢复旧有社会秩序的作法。虽然这些转变都不是永久的变化，但至少在欧洲延续了 1000 年，在日本也持续了 200 年以上。如果我们能消灭核武器，并且在 200 年内不再让它出现，这至少给人类一些时间发展新科技，及处理其他切身的生存问题。

消灭核武器的实际方法，必须基于三项原则，首先，我们不可能单纯地不用任何替代品就淘汰掉核武器；就像要取代轮子，我们必须用骆驼一样。现在我们取代核武器所用的替代品，是具有韧性及灵活的非核武科技，它必须能在不毁灭自己的情况下，保护我们的利益不受损害。其次，要消灭核武器，唯一够强的政治力量，是来自建立军事。想要去除这种集体杀戮武器，必须向大众宣扬这种观念，应该基于对自己军事防卫力量的信心与骄傲，而不是畏惧。第三，苏联的军事力量，必须和我们的军事力量相等。一个非核世界的稳定是非常保守的目标，而其成功的希望，系于各国军事专家对自己军事力量的信心是否足够。我们不仅需要骑骆驼的人，也需要日本武士。

广岛的浓厚反核气氛

想要处理核武器的问题，事实上日本有些地方是值得学习的。不仅 17 世纪的日本是如此，就连现代的日本也不例外。我在 1985 年时曾去日本演讲，这是我第一次到日本，所以参加了一个广岛访问团。当我们以官方客人的身分去广岛时，那种感觉就像去朝圣。到达时，大家都神情肃穆，心中只记得那次大毁灭，及许多书中所描写的景象。这使得我们觉得：自己该为目前还存在的核武器负一部分责任，也让大家心中多少有些罪恶感。在广岛时，我们被当年核爆毁灭所引发的罪恶感，还没有比想到现在的核武发展来得深。如果我们运气不够好的话，以后的毁灭规模要比轰炸广岛大得多了。

广岛市对访问团的官方欢迎活动，都经过良好的设计，这更加深了那种

朝圣的气氛。我和我太太花了许多时间，仔细看那些浩劫后的残余物，那些在 40 年前 8 月的一个早上，死去的儿童的小衣服、小鞋子、课本及午餐盒等。我们和一位当年教过其中一些儿童英文的妇人一起喝茶，她班上的学生有一半存活了下来，她自己则在火球风暴扫过她之前被碎石活埋。这位老妇人目前已经退休，并全力投入和平运动，她对所有愿意听她说话的人，宣扬消除核武器的观念。在去广岛之前，我就相信消灭核武器是个好主意。而那几天的广岛之旅则让我的信念更坚定，也愈认为这个主意可行。

我们曾和几个日本学生及教授的团体举行座谈，并和一个国会议员团体晤谈。这个国会议员团体名叫“二十二人会”，是由一群对外国事务有特殊兴趣的政治家所组成。他们分属各个不同政党，并且有各种不同的意见。透过翻译的协助，我不需要为那些不重要的技术性细节问题而烦心。如果我是和一群类似的美国政治家讨论的话，我们大概会花很多时间在争论 MX 及潘兴二号导弹（Pershing 2）的技术细节上。因此，我很高兴看到，日本政治家注意的是一些更基本、也是最重要的问题上：“日本应该拥有什么样的军事武力？”“日本在国际上依赖美国的程度应该多深？”我们从整个历史观点出发，冷静地进行讨论。对我这种习惯了美国那一套政治运作方式的人来说，这种缓慢有礼的讨论，给人耳目一新的感觉。

日本介于非战与反核之间的困境

日本的政治界非常清楚和美国结盟所必须面对的矛盾。对日本而言，要成为非战主义者，就必须仰赖美国核伞的保护；而反核武，就是要认真考虑重整日本的军事力量。日渐升高的和平运动呼声，使日本必须同时成为非战及反核主义者，而这些政治家知道，日本所面临的抉择并不简单，他们必须在核非战主义者及某种程序的非核军事主义之间做选择。我很高兴看到这个团体关心这样的问题，他们知道每一项消灭核武器的步骤，都会使日本有更大的自主权，但同时对自我防卫的需求也更高。

就目前我所接触过的政治家来说，他们都同意两点：第一，日本传统上对核武的政策——不拥有、不制造、也不在其领土配置——应该继续维持；其次，苏联自 1945 年占领的北方四岛，应该归还日本。我很惊讶地发现，日本对收回北方领土的欲望，要比德国人试图收回东普鲁士的愿望还要强烈。以苏联的观念来说，占领日本四岛的重要性要比德国领土差多了，问题也就由此产生了，那就是如果日本愿意放弃任何与美国的军事协议，来换取苏联自北方四岛撤军，日本有没有可能进行“奥地利化”？这种妥协在苏联与日本之间可不可能成功？

我曾和日本政坛人士讨论这个问题，他们也承认这种想法并不陌生。他们之中有些人说，曾经尝试与苏联代表沟通这种观念，但苏联方面的反应让他们很气馁。然而，如果有一天苏联跟日本真的达成这种协议的话，我也不会感到惊讶，因为在很多方面来说，日本要比德国更容易进行奥地利化。以日本的例子来说，日本如果进行奥地利化，对苏联有利。长久以来，苏联可能更不希望看到日本与中国结盟；而对日本而言，一个奥地利化条约能带来许多长远的利益，它能解除世人对其传统武力的疑惧，它能避免日本卷入美国与第三者之间的纠纷，它还能要回北方四岛领土。

自废墟中神奇复苏

一次广岛之旅让我对日本生活有了多方面进一步的认识。居住在广岛的人并不怎么关心那些已故的人，对今天大多数的居民而言，发生在1945年的浩劫，只是个久远的历史故事，而和平纪念馆也只是给游客玩赏的地方。日本最可爱的公园之一，是藏在广岛中心的“缩影园”（Shukkei-en）小人国花园，它和1945年之后所建立的和平公园毫无关系。缩影园在核爆之前就已经存在，而现在依然安在。它是日本的缩影，里面有山、有湖、有岛屿，还有专供行人使用的步道和小桥，是许多学童和老人早上漫步的好地方。第一次到广岛的访客心中都会有种压力，认为那是个充满悲剧和梦魇的地方；两天之后，这种压迫感就消失了，那场悲剧已经只是个遥远的回忆。

广岛的生活不像其他日本城市那么紧张。一位年轻的物理学家朋友告诉我，他搬到广岛来的原因，是因为这儿的环境适合养育孩子。它拥有好的游泳去处、露营场地，甚至连天气都好得出奇。广岛简直就是日本的圣地亚哥，是闲人在良好天候下徜徉美丽海滨的好地方。在距这个城市不远的海上有个岛，叫做宫岛（Miyajima），那儿有许多鹿自由自在地漫步，许多学生也爱去那儿露营。岛上有一座高山，有缆车可以直上山顶。在缆车中有一个警示板，上面写的标语，我想可以拿来表示我对广岛的印象：“注意！如果遇到紧急煞车，请安静等候。”

我从广岛之旅中学到了什么呢？印象最深的，就是一幅与核武器完全无关的新世界景象，一种对人类本质多样性的重新体认。40年来，世界对广岛一直有先入为主的观念，认为它可以永远成为一个没有过去，也没有未来的历史见证。但对广岛本身而言，过去和未来都比那颗1945年的原子弹要重要了。而今天，原子弹本身，似乎已经愈来愈成为广岛居民生活的包袱。也许广岛从废墟中神奇复苏的主要原因，是那些浩劫余生的广岛人，都遵循着上述告示板标语的相同精神：“如果遇到紧急煞车，请安静等候。”

日本人对“美丽”的坚持

对观光客而言，日本有一项特色让人印象深刻，那就是：日本人喜欢把事情都摆设得很漂亮。去宫岛玩耍的小孩都穿得很漂亮；大学物理学部中待客的茶具都很精致；在筑波建造的高能粒子加速器翠斯坦（Tristan），也装饰得很精美。在东京后街一些廉价商店中，我们逛了许久也没有发现哪样东西是丑怪的；甚至于在最便宜的寿司店里，鱼片都是漂漂亮亮地排在盘子中。由这里我看出了日本人对美丽的坚持，和1941年偷袭珍珠港战役之间的关系。珍珠港行动是一种艺术，是把有限军事资源发挥到极致的行动。以战略的眼光看来，这次行动一点都不合理；但是执行的原因，也许是因为这是一种“美”。在日本，合理与否并不是最重要的问题。

每个国家都很独特，但日本却是其中最特别的国家。日本人坚持保存他们那种不合逻辑的汉字系统，并在电脑时代中将之发扬光大；日本对机械完美的要求，使它能在瑞士的钟表市场打垮瑞士，在美国的汽车市场中吃掉美国。但所有的日本政治家都知道，拥有独特风格是不够的，日本仍然需要在重建的国际新秩序里，找到自己的位置。

日本应成为政治及商业上的“亚洲瑞士”

瑞士的军事中立，提供奥地利进行中立的参考，当然它也可以做为日本军事中立的参考。如果说世界上有哪个国家的精神和日本一样的话，那就非瑞士莫属了。瑞士也非常坚持自己独特的风格；瑞士也经由努力工作和勤俭生活而致富；瑞士人也不论事情本身是否合理，而尽量要求美丽。我对瑞士一份特别鲜明的印象，是某天傍晚，在英格丁山谷(Engadin Valley)的一个小镇药房中，和老板聊天的情形。这位药房老板曾经是瑞士陆军上尉，他给我们看了许多军旅影片。他认为自己最伟大的成就，是率领着 250 名携带雪履和全副武装的山地部队，登上 4000 米高的匹帕卢(Piz Palü)山顶，再回到地面上，而没有损失一兵一卒。他也命令摄影专家随行，以记录下整个过程。这整个行动就运输而言，的确了不起。当他们登上山顶时，景象极其壮观；而下山时，部队终于可以穿上雪履滑下山谷。和珍珠港行动一样，这个登山行动没有什么军事战略的价值，但它是项伟大的艺术工作。幸运的是，我们这位药房老板在执行计划时，遵循瑞士的政治传统，绝不侵犯别人的领土，这和日本的山本大将将有极大的不同。瑞士在战火频仍的欧洲，已维持了安宁与和平近 170 年；为什么日本不能在国际舞台上成为真正“亚洲的瑞士”呢？他们在商业上不是早就以此著称了吗？

日本人和瑞士人在建造复杂机械上，有独特的天赋。当我最近和我太太到纽约去买个家用的缝纫机时，只有两种机型可供选择：一种是瑞士生产的，而另一种则来自日本。同样的，连瑞士和日本的语言，都试图与外人保持距离。一位在京都物理机构工作的秘书告诉我，有一位外国来的物理访问学者，让机构里的每个人都感到不太舒服——因为他的日语太道地了。我在苏黎世也看过类似的场面：有个外国人在那儿研究瑞士人使用的德语，由于太认真了些，也曾激起类似的反应。一个外国人说瑞士的德语和说日本话一样，都是一种对隐私权的侵犯。此外，日本和瑞士还有第三个相同的特质，那就是它们都曾经是向外侵略的军事强权，并且具有长期的军事传统。瑞士的军事传统，可以从他们的国民兵制度看出来，这是世界上最团结的民间组织之一。日本的军事传统，在 1945 年后已经被完全压制下来；但是在日后，它一定会以其他形式再度出现。1904 到 1905 年的日俄战争胜利，仍然是日本人民的骄傲。如果日本不能保持军事中立的话，世界其他国家如何才能放心看到日本武士精神的复苏呢？

日本人的智慧能力应运用于和平途径

在日俄战争中，日本死了 30000 人以上。那场战役中致胜的关键是攻占 203 高地，要先占领该高地才能进攻目标亚瑟港(Port Arthur)。高地上有俄军的坚强防卫，日本付出惨重的代价攻下此地，而这些史实对每个日本学童来说都是耳熟能详的。

我在东京的一位日本同行，是建造及发射无人科学卫星的太空暨太空科学院的负责人。他曾写了一篇名叫《老兵的独白》(An Old soldier's Monologue)的故事。这个故事其实就是第一枚日本 X 射线太空卫星发射的非正式纪录。这次发射的时间是在 1979 年 2 月 21 日，它和其他许多尖端的科学事业相同，发生了一大堆错误。追踪这颗卫星的科学家，有整整 6 星期

不知道这颗卫星的下落。以下节录一段我这位朋友的叙述：“4月9日，村上先生以军情电报的格式传真一封信函，上面说：‘我挖到金矿了。’我立即打电话给他，问他是否真的看到那个东西了，他说：‘我可以清楚地看到。’在那时，我的眼前浮现了一幅大家都非常熟悉的日俄战争中的场面：经过长时间的苦战，终于在1904年12月5日攻占203高地后，儿玉源太郎（Gentaro Kodama）将军立即问一位跑上山顶的军官：‘你看见亚瑟港了吗？’他清楚地回答：‘是的，我可以清楚地看到。’我在当时真的回想起这段谈话，这是不是有点幼稚？”在日俄战争胜利后75年，日本人在X射线卫星天鹅号（Hakucho）上也获得了胜利，只是这次胜利没人流血。当然，这位先生把自己想象成攻占203高地的将军，只是开玩笑而已吧？我不敢确定，我想他自己也不确定。

到最后，有一件事是确定的，那就是：日本人惊人的智慧及组织能力的运用，由军事方面转到和平用途，是全人类的伟大胜利。也许广岛的和平运动者说得对，他们说，日本有个特殊的任务，那就是：将世界带进没有核武器的未来。要面对没有核武器的明天，我们都需要强韧的神经，来面对其不确定性。而这种强韧的神经，也正是日本人、芬兰人及瑞士人所拥有的特质。在核时代的早期，那时美国已经有了核武器，而苏联还没有配备，斯大林就曾对核武器的使用做了正确的注解。他说：“核武器是用来吓唬那些神经衰弱的人。”斯大林并没有神经衰弱，因此他并不害怕。不幸的是，他的神经并没有强到能不理睬核武器的发展。他使尽全力来发展苏联的核武器，以抗拒美国核武器的威胁。

过去40年的历史证明，美国和苏联都没有裁撤核武器所需要的强韧神经。我们甚至于不敢去想“放弃核武器”这个主意，而日本人却曾在17世纪放弃了枪械。因此，日本不仅在过去给世界树立了很好的典范，到今天仍是如此。17世纪的欧洲并没有像日本一样放弃枪械，也许21世纪的欧洲人会聪明些；也许这次，我们能聪明到追随日本的脚踪。

第十五章 核冬天

“核冬天”理论的发明，
对整个世界起了重大的影响——
它让我们肩负人类生存责任意识觉醒，
更让核武器担负起对整个人类或地球本身，
可能造成伤害的道德责任。

“核冬天”是一个科学理论，它试图预测整个世界在经历一场核大战后，气象与生态的变化情形。这个理论的主要结论是：核战争不仅对交战国的人民是致命的打击，就算是那些不介入战争的国家，也不能幸免于难。所谓“核冬天”是指在核战之后，由于大气层中充满了致命的放射线、化学物质以及烟尘，而保持长期的寒冷和黑暗，不论有罪或是无辜，也不论是强者还是弱者，将无一幸存。

当沙根（Carl Sagan）和他的同涛，在1983年开始提到核冬天发生的可能性时，就迅速引起了大众的高度关切！这也使得我们专业科学家的立场十分尴尬。一个专业的科学家，在面对新奇而令人兴奋的理论时，他的职责就是设法证明它是错的——这就是科学运作的方式，这也是为何科学界能保持一种诚实心态的理由。每个新理论都必须与深刻、甚至严苛的批评奋战，才能继续存在。大部分的新理论，最后都被证明是错的，因此批评是绝对必要的，它能剔除不好的理论，让位给较高明的理论。而那些存活下来的理论，则经由批评而更形巩固，最后就逐渐融入科学知识之中。因此，当“核冬天”这个理论出现后，我的立即反应是怀疑，想要找出其弱点，以证明它是错的。这对一个新理论而言，是必然的待遇；我们科学家总想要尽快推翻它。

科学与人性需求冲突的困境

在另一方面，“核冬天”并不仅仅是个理论，它同时也是个具有高尚道德含义的政治宣言。如果人们相信：核武器不仅会威胁到我们及敌人的存在，甚至可能会灭绝整个地球上的人类社会，那么这种想法就有其实际的价值。它能带结所有国家的反核运动强而有力的支持，也能增加那些支持废除核武政治家的影响力。因此，我内心有两种声音在交战着，一种是科学家的声音，另一种则是身为人类一分子的声音。身为科学家，我希望推翻这个理论；而身为人类的一员，我希望相信这个理论。这也是科学需求与人性需求互相矛盾的极少数例子之一。身为一个科学家，我认为“核冬天”这个理论根本不足取，里面充满了错误和未经证实的假设；而身为一个人，我希望它是对的。这儿有个让人极不舒服的问题：当科学与人性方向相反的时候，科学家该怎么办？

这个问题有三个可能的答案。一个是说：我是先成为人类，然后才变成科学家的，因此我应该忘记自己的科学训练，而跳进支持核冬天理论的行列中。我并不是在责怪那些做这种选择的科学家，不论如何，生存终究是比科学的正确性重要。第二种选择，则好像杰佛斯（Robinson Jeffers）的诗中所表达的：

追寻真理胜于善行，胜于保全性命，

比纯真更神圣，比爱更高尚。

由于我是个坚持追寻真理的科学家，我将持着和对其他新理论一样的态度，好好批评这个理论。

很少有科学家胆敢采取第二种反应。我并不是在责怪那些隐藏起自己意见不敢发表的人。不论如何，没有人愿意在公众面前说：事实上核战争并不像大家说得那么惨；而且批评核冬天，好像自己缺乏道德感一样。所以大部分对这个理论存疑的科学家，都只敢私下表示意见，而这也正是大家的第三种反应，那就是：虽然相信一个错误的理论对长期来讲没什么好处，但在短期内至少可以给大众一个刺激，所以干脆保持沉默，直到事情逐渐澄清再来判断。我自己是选择第三种做法，这是个痛苦无奈的妥协作法，但是它应该比其他两种选择要来得好。这也和我们日常生活中常碰到的情形类似，当诚实与友谊的要求互相抵触时，我们应该选择诚实，但常常是以保持沉默为上策。

理论错误反而动摇反核力量

对核冬天这个理论保持谨慎的态度，不仅是为了政治上的理由，也同时是为了科学上的理由。从政治上的层面来看，将大众反对核武器的政策基础，放在可能是错误的理论上，是十分危险的。如果该理论的弱点暴露出来，则对反核运动可能是一记当头棒喝。由于这种顾忌，核冬天这个理论是否需要证明其错处，就让人犹豫不决了。当然，我们也可能证明这个理论是正确的。但只要武器裁减，或是战争的游戏规则有任何改变，都可能使理论的假设基础完全消失；而反对核武器的力量，也可能由于过分强调核冬天，而遭到严重打击。反对核武器的理由当然足够强烈，而核战争所造成的影响是非常巨大的。那些无辜的人已经非常憎恨核武器了，所以一个反核的政治运动，并不需要依赖理论的正确性。

在历史上，50年代的鲍林（Linus Pauling）和80年代的沙根有许多相似之处。鲍林是一位反对核试验的伟大战士，他也因为这些努力而获得了诺贝尔和平奖。他成功地带动全世界反对大量氢弹试爆的风潮；但不幸的是，他反对试爆的主要论点，是因为由其产生的放射性落尘，会造成身体上及遗传上的伤害。从此公众的意见变成反对落尘，而非反对武器本身。所以这个运动在1963年限制核武器测试条约的签订，及试爆改为地下化后，就土崩瓦解了。这个限武条约阻止了落尘的产生，却未能阻止核武器竞赛。鲍林希望能通过完全禁止核武器试爆，但由于他过分强调落尘的危害，以致无法达到最终目的。也由于大众比较关心落尘而非核武器本身，因此他们觉得，有了限武条约，问题就解决了，而军备竞争仍如火如荼地进行着。

从沙根的核冬天理论里，我们似乎也可以找到类似的轨迹。沙根描绘出一幅浩劫后的惨状，并强迫每个人去想象那种景象，因此他和鲍林一样，都是那个时代的英雄。而核冬天理论也和50年代的落尘问题相仿，带给人们反对核武的目标和勇气。围绕着这个简单有力的概念，可以很容易就凝聚起反对核武器的力量来。不幸的是，核武器的建造者，也许能找出像当年限武条约的替代方案出来，使用简单的技术来移除核冬天的危险，而不是移除核战争的可能性。我并不是说这是件容易做到的事，但至少目前我们不能说完全没有这种可能存在。只要这种可能存在，我就只有默默祝福沙根的份，但同

时仍然对他采取的方式有意见。这股由沙根所造成的心灵觉醒的方向，应该带往反对核武本身，而非反对其所造成的后果上。

大气中微粒的湿度影响核冬天后果

我并不希望在这儿讨论核冬天理论的细节，只希望总结一下我自己和这个理论的挣扎过程。在 1985 年，我曾花了数星期的时间想让它“出局”，这里所谓“出局”，在科学家之间是很普通的术语。如果某个新理论预测某事会发生，而你能证明这件事不可能发生，那么你就毁了这个新理论，然后你就可以说这个理论的预测是错的，因此它该“出局”了。在两个星期的工作后，我发现无法让核冬天“出局”，也就是说，我无法证明它是错的。现在我比以前更了解这个理论，但我仍然不相信它是百分之百地正确。我们目前对其基本层面的了解仍然非常初步，因此当我们了解更深入时，这个理论仍然可能会“出局”。

当科学家在争辩一个复杂而具争议性的问题时，通常的情况是：他们的技术性判断，受个人主观经验来左右，而不是完全基于客观的计算分析。对核冬天的争辩，就明显看出个人主观态度在其中的影响。比方说，当我还在怀疑的时候，沙根已经对核冬天理论深信不疑了。我们使用相同的数学技巧及相同的物理定律，为什么会得到不同的结论？也许这个差距的主要由来是：我曾在伦敦住了一大段时间，而沙根却花了大半辈子在研究火星。沙根对核冬天的看法，来自火星的尘暴，而我的看法则来自伦敦大雾的经验。而火星尘暴及伦敦大雾的主要差别是：火星是干的，而伦敦则是湿的。

沙根对航海家 9 号太空船在 1971 年第一次详细观测火星时所产生的横扫火星的尘暴，有着鲜明的印象。他记得，当照射火星地表的阳光被尘暴遮住时，其温度迅速下降。我则对伦敦亚伯厅的一场音乐会印象深刻，当时我坐在前排，听着从浓雾后某处所传来管弦乐的神秘妙音；记得当浓雾覆盖伦敦时，地面是温暖的。沙根对核冬天的想法，是基于干尘土的光学透光性质；而我对核冬天的看法，则是基于湿微粒的光学性质。于尘上的作用就像一个滤光镜，它能阻止太阳光照射到地球，但却不能防止地面的热量经由辐射逸散到太空中；湿尘土则就像一层帘幕，不论向上或向下的辐射都一律挡驾。

如果在一次核战争后，大气层中充满了干尘土，那么地面的温度就逐渐下降，而核冬天也就来临了。如果大气层中充满的是湿尘土，那么它的效果就和伦敦大雾一样，任地面温度保持恒定。因此，核战争的严重程度，要看大气层中的微粒是干的还是湿的。在核冬天里，水蒸汽、云、雨及雪仍然扮演了决定性的角色。我们生活在水分丰富的星球上，而对天气形态的预测，即使是以最大的电脑来进行模拟，也都仍然是一种艺术，而非一门科学。气象学家仍然必须运用直觉和经验来预测。而沙根直觉上以为，当地球经历核战争后，会像是火星在尘暴中一样；我的直觉则告诉我会像伦敦大雾一般。然而电脑还不够聪明，不能判断到底谁是谁非。

这些有关核战争后引起之气象变化的争论，并不需要太认真来研讨。不论气象上的不确定性有多大，最基本的事实是：核战的后果是无法计算，也无法预测的；而核冬天只是再加上了另一项无法计算及预测的事罢了。然而，这项新的不可预测性，是非常重要的。不论技术细节是否确定，核冬天都是一个标记，一个由于人类暴行而伤害地球母亲的标记。核冬天不仅是技术上

的问题，它也同时更是道德上和政治上的问题。它强迫我们自省：不论我们由核武器所获得的利益有多少，都会被其危险给抵消掉；而这种难以挽救的危机，无论如何都是不允许存在的。

核战是极度违反人性的罪行

核冬天和 50 年代的放射性落尘相同，对整个世界起了重大的影响——它让核武力担负起可能对整个人类或地球本身，造成伤害的道德责任。但这种意识的觉醒，不应该依赖核冬天这个理论的对与错。不论有没有这个理论，一场核战争对全人类都会是一场浩劫，同时也是极度违反人性的罪行！核冬天理论的发明，象征着我们必须开始肩负人类生存的责任；但即使没有这项理论的出现，我们仍然必须负起这个责任。

英美两国的人民，深受两种广为流传的说法所影响。第一种是说，核武器是赢得二次世界大战的决定性因素；另一种则认为，如果当年希特勒先拥有核武器，他早就征服世界了。建造核武器的科学家和政治家，对这两种说法都深信不疑，而且大多数的美国人到今天还相信这些话。由于无法让时光倒流，因此我不能证明这些说法是对是错。我们所能确定的只是：这些说法已经塑造了年轻一代的美国人对核武器的印象，而这个印象是没有经过验证的。核武器看起来似乎是战争的决定性因素（因为我们赢了），并且有历史的支持（由于希特勒可能会征服世界）。

我相信这两种说法都是错的。当然我无法加以证明，但以怀疑的眼光来审查这些观点是很重要的。首先我们可以好好想想：如果希特勒真的先拥有核武器，则世人对核武的观感会变得如何。假设英国人及美国人并未认真推动核武器的发展，而让德国人捷足先登的话，希特勒可能在 1943 年制造出第一颗原子弹，然后到了 1945 年，数目可能增加到数十个，这会造成什么差别呢？伦敦和莫斯科毫无疑问地会造成像汉堡和德勒斯登那样的破坏，也许纽约有几平方英里的面积被毁掉，许多人被杀死，但这似乎不会延迟苏军开进柏林，及美军开进东京的时间。我们看到，在二次大战中对英国及德国全面轰炸的结果，是使其人民更团结，使得前线官兵和后方民众同仇敌忾，并在社会中形成坚持到底的决心和共识。这同样的效果，在 25 年后，也在越南看到。因此，如果希特勒先拥有了原子弹，它们的使用既不会改变战争的模式，也不会动摇我们奋战到底的决心；而真正改变的，是我们在战后对核武器的看法。我们将自此永远视核武器为邪恶的象征，是可恶的敌人为了罪恶的理由而使用的工具，而围绕在核武器四周的看法，就会由光荣和成功，转变成不齿与失败了。

这种假想对英美两国人民是很重要的。因为它可以帮助我们更清楚地看到，苏联人民对核武器的观感。对许多的苏联人来说，1945 年投下的原子弹，对他们产生直接的威胁。要了解苏联的情势及苏联的外交，我们需要暂时放弃自己的观点，并走进他们的观点中。而了解苏联人的观点，则是了解目前世界情势的第一步。

技术必须结合道德感

一个政治决策如果想要经得起考验，它就必须同时注重技术层面及人民

的伦理观念。一项没有道德的技术失之粗野，而没有技术支持的道德感则只能流于空谈。但是在美国有关核武器的讨论中，总是过分强调技术，而忽略了道德考虑；而现在，是我们找回平衡，多想想道德原则而少谈些技术细节的时候了。我们对核武器偏见的根源，是来自道德破产，而非来自技术上的失败。我们的想法是来自历史上的迷思，我们倾向于不加思索地接受：核武器是军事决定因素的说法。我们通常以摧毁力来衡量军事效益，但我们却很少仔细考虑核武器的军事目的，及其可能被使用的任务性质为何。如果我们不再那么看重核武器的价值，裁减军备的动机就会比现在强得多。而如果我们能了解，核武器本身的存在就是一种荒谬，那么才会有成功裁减核武器的希望。

在此举一个例子来说明，核武器被过分高估的情形。让我们看看，当美国拥有强大核武器之后，就常有人说美国在战后的政策是很“高尚”的，因为我们既没有消灭苏联，也没有使用核武器来迫使苏联退出东欧。这种认为可以使用核武消灭苏联的想法，是完全不真实的，而以核武器来恐吓苏联的成功率也很低。

美国的政治领袖，常把话说得好像核武器的主要目的，是以最少的军事装备屠杀人群。事实上，绝大多数的核武器部署目的却恰恰相反，是希望在尽量减少死伤的情况下，摧毁敌人的军事武力。因此就军事用途而言，核武器根本不适用于这个目的，我们错估其效益，是因为我们没有弄清楚部署的目的。正是基于这个理由，我们认为核武器不符合国防的利益。如果核武器的目的就是屠杀人民，那么根本就不可能达成国防的目的。如果核武器的部署，是为了不适用的任务及目的——而事实上也真是如此——那么，一点点瑕疵就可能使整个均势完全改观。

这一套美国观点，最严重的问题就是：没有考虑苏联人的想法。奇怪的是，苏联对核武器的看法，比我们还要更接近天主教教团的想法。苏联对核武器的主张和天主教教团一样，禁止瞄准人烟稠密地区，禁止首先使用核武器，并且不把恐吓当成终极目的。苏联曾在 1946 年提出一个裁减核武器的建议，但美国拒绝了这个提议。也许达成裁减协议最好的方法，是在苏联 1946 年的提案上妥协。戈尔巴乔夫在最近针对核武器裁减提出的提案中，再次旧案重提，而美国人却在 1946 年当时及以后的岁月中，都忽略了它的存在；但是苏联人则还牢牢记着。

美国人认为：核武器是一种使人打从心底害怕的致死力量；事实上，对于这一点，斯大林比谁都清楚。单单心里害怕，并不能消灭核武器；我们必须了解，核武器是一种无用的、危险的玩具。这样的话，消灭核武器的机会才比较大。

切勿重蹈“广岛之路”

任何一位像我这样在世界到处旅行，并针对核武器及核战发表演讲的人，一定有时会在道德上深感不安。当我高兴地谈着能使百万人死亡的武器时，我有什么权力接受群众的欢呼及喝彩？同样的疑虑，曾由一位美国年轻诗人凯敏斯基（Mark Kaminsky）的作品中表达出来，其书名叫做《广岛之路》（The Road from Hiroshima）。他的书是由谈广岛原爆的许多散文诗所组合而成的，其中尽可能地引用那些牺牲者的话。在书的最后有一首诗

名叫《见证人》（“The Witness”），其中就表达了我个人深有同感的疑虑：

当我步下讲台
在朗诵过我的诗作之后
我满怀羞惭。
我感到从未有过的羞愧，面对
被我唤起的眼泪和感激
以及我自己对两者的无限饥渴。
突然间，
我无法区分
一个精神黑市中的投机商人
和一个总要把每个人的心都撕成碎片的先知。
当我正写着时，
我觉得仿佛被一些呼求安宁的鬼魂附了身。
现在我犹豫
把我的时日都用来揣想核战争的景象
是否真的那么值得推崇？
可是我又如何放弃这簇火焰
而能不出卖我自己以及我所深爱的一切？

第十六章 21 世纪新科技

21 世纪新科技中最重要的成分是信息，
而信息能够带来新希望：
只要有人、有头脑的地方就能利用信息，
这要比学习煤、铁等重工业科技快得多，
因此，信息科技能够达到平均各地财富的功能。

科技是上帝给我们的礼物。在它给我们生命之后，科技可能是它给我们最贵重的一份礼物，它是文明、艺术及科学的母亲。核武器是科技的一部分，但是科技已经使核武器过分扩张其力量。科技本身仍不断成长，并且继续帮助人们摆脱过去的束缚和限制。如果和科技革命对人类社会带来的冲击相比，美国和苏联的对立在历史的眼中，只是微不足道的小泡沫而已。

科技最具革命性的一点，是它可以转移。任何人都可以学习科技，它轻易超越了种族与语言的隔阂，而这种转移性仍不断增加。微型晶片及电脑科技学习起来，要比那些煤铁等重科技快得多。我们曾花了 3 个世代的时间来学习煤及铁的科技，而现在许多新兴的东亚工业国家，如南韩、新加坡、台湾，都在 1 个世代内掌握了新科技，从而创造大量财富。这也正是为什么我称新科技为科技希望的原因，它提供地球上的穷人短期致富的捷径，提供了靠头脑、而非靠劳力赚钱的机会。新科技中最重要的成分是信息，而信息带来希望。和煤、铁不同的是，只要有人、有头脑的地方，就能利用信息。不止在东亚，信息和科技也在整个地球上达到平均各地财富的功能。如果没有经济美景的期望，人类之间不可能有真正的和平。如果我们以较大的视野来看这个世界，“科技”可能是使我们能在这个拥挤的星球上，和邻居和平共存的“上帝的礼物”。

科技应该共享绝非独占

在过去美国里根政府的想法里，就缺少这种远见。我对这个政府所做、所说的许多事，都不赞成。其中最不喜欢的，是人为地阻止科技的输出及信息的传播。那种认为美国应该使苏联保持技术落后的想法，会使得任何协商都不可能进行。这种措施基本上严重违反人性，自认为美国是世界的保姆，并且将信息流通当成是奖励朋友及惩罚敌人的工具，这在任何方面来说都是愚蠢的作法。科技是上帝赐与全体人类的恩典，而全世界很快就能学会我们想要隐藏的东西，那么我们也很快就会失去其他国家对我们的善意。如果我们希望带领世界走向更具希望的未来，那么我们就必须了解：科技是这个星球环境的一部分，它应该和水及空气一样与会人类共享。试图独占科技，就像试图独占空气一样地愚蠢。

科技对人类而言，是比武器更有力的解放工具，而这也正是为什么科学家在谈论国际政治问题时，能比制造炸弹的人更具权威性。40 年前，科学家忽然开始介入政治事务，原因是他们是惟一懂得如何制造原子弹的人；今天我们介入政治事务，就有更好的理由了：我们是对整个跨国科技事务有真正实际经验的人。我们知道如何与苏联科学家在实务上合作，有哪些官方的障碍需要排除，以及个人接触的可能性和限制。我们知道如何操作一个设在智

利的太空观测站，如何由坦桑尼亚发射一个 X 射线卫星，及如何在埃塞俄比亚推动一个消灭天花的计划。和政治领导阶层不同，我们所从事的工作拥有第一手信息，不仅因为它是跨国性的，也因为它在本质上就是国际性的。我们知道，要使某项设备在苏联或中国大陆运转是多么困难的事；但我们也知道，只要有耐心，事情终究会完成。身为一个科学家，我们工作的环境，本身就是个国际性的环境，这正是我们为何不畏惧限武的技术性困难，排斥领导阶层那种狭隘心态的原因；这也正是我们敢于挺身而出，大声向全人类宣扬我们由科学工作上所得教训的原因。

未来 70 年间新科技的变化

通常一个基础定理的伟大发现，要经过 50 到 100 年的时间，才会在科技上对人类社会形成够大的冲击。我们常听说，现在的技术革命速度，要比过去快得多了；但是这种科技加速进展的现象，可能主要来自认知程度的不同。现在一些事情的发展，我们看得比一世纪前的事要仔细、清楚得多。事实上，从马克斯韦尔方程式的建立，到城市电气化所花的时间，并不比汤普森（Thompson）发现电子，到电视机普及全世界所花的时间更长，而比起巴斯德（Pasteur）发现微生物，到抗生素的广泛使用所花的时间，也相差不多。因此以人类社会的生活来说，一个新的科学理念要进展成为科技革命，大约需要两三个世代的时间。

如果从发现到广泛应用需要 70 年，而这个规律在未来仍然真确的话，那么我们大概可以估计：在 21 世纪中叶，才会有超出目前科学所能了解范围的科技革命发生；而也要到公元 2050 年才会有我们所料想不到的科技能被应用。

这是我对未来 70 年间新科技变化的主要猜测。当我仔细审查目前的科学时，我发现仍有三个未曾完全开发的领域，而这也正是我在第 10 章中描述太空鸡时所提到的领域。首先是分子生物学，是在分子层次探讨遗传及细胞生理的学问；其次是神经生理学，为探讨复杂信息处理网络及头脑的学问；第三项则是太空物理学，为探讨太阳系及地球物理环境的科学。这三种科学领域，在未来都可能形成重大的科技革命，而这些新科技的名称是：遗传工程、人工智能、太空殖民。这个简短的名单当然不够完全，毫无疑问地，许多同等重要的科技也会相继出现；但无论如何，这三种科技革命将会在下个世纪改变人类的生存条件。我现在打算依序对这三种科技，表达一些个人的看法。

遗传工程已经在制药工业中被广泛应用。细菌中能殖入外来的基因，然后这个细菌就会依照外来基因的命令大量生产蛋白质。但目前所谓的“大量”仍然太少，而今日的遗传工程，只有在高售价的药品制造上，才能符合经济的要求；对一般化学品来说；还是用传统工业制造较划得来。因此，遗传工程的限制在于产量，一个以遗传工程改良过的细菌反应器在一天中所生产的，大约相当于一个相同大小的传统燃烧反应器在 1 秒中所产生的。生化反应器反应很慢，并需要很大的体积，因此，如果经由遗传工程改质的生物仍受限于塔槽及蒸馏器装置的容积，那么遗传工程将永远无法取代传统化学工业。

但是为什么生化反应必须受限在塔槽装置中进行呢？其中一个理由是为了环境的安全因素。大部分国家的法律禁止我们让生化反应暴露在空气中进

行，而要修订这种规定，也的确需要特别小心。害怕遗传工程产生的“怪物”会为害地球，这种想法常常被过分渲染；然而其中潜在的危机也真的不容忽视。新产生的生物体，在没有经过彻底研究之前，绝不能让它跑到外界去；但我们终究必须把低风险的遗传工程产品，由塔槽移到户外去。就像农夫在农地中种植了几千年的大麦，这些大麦品种也是一种人工改良过的产品，好比我们今天改良过的大肠菌一样。在许多年之前，农夫就已发现在广大的农田中操作，要比在温室中经济得多；因此，如果遗传工程的产品能在户外大量种植与采收，也许会比较划得来。如此一来，化学工业和农业的分野将会愈来愈模糊，农作物可能在改质之后，就可以在人类的命令下生产食物或化学品。

技术革命可能带来意外副作用

每一种技术革命，都会造成一些意外、而且不受欢迎的副作用，遗传工程可能也不例外。其中有害的副作用之一，也许是工业性的农作物取代了传统农业，这个作用正如目前发展中国家争种赚钱的作物，取代传统农业作物一样。传统农业渐次消失的趋势，在很多方面是令人叹息的。它会造成乡村的没落及都市的过分膨胀，它会减少我们农作物在遗传上的多样性，它也会毁掉传统的田野之美。远在 1924 年，霍登 (J. B. S. Haldane) 就已经预见即将来临的事实，并在他的书“狄德勒斯” (Daedalus) (编按：在希腊神话中建筑克里特岛的迷阵及制飞行翼而闻名的巧匠) 中详细地加以描述。下面就是由这本书中摘录出来的片段。他在书中虚构了一位 21 世纪的大学生，写成一份报告，而报告的内容则是总结了 20 世纪遗传工程的效应：

事实上，直到 1940 年赛柯夫斯基发明了固定氮紫水藻 (Porphyrococcus fixator) 后，才对世界历史产生重大的影响。紫水藻能极有效率地将氮气固定，只要水及泥土中有极微量的钾盐及磷盐，即可生长，因此能从空气中获取氮气。它在 4 天中固定的氮量和一般蔬菜花一年时间固定的氮量相同……食物价格的急剧下降和纯粹传统农业的淘汰，是造成 1943 和 1944 年悲剧的主因之一。当 1942 年紫水藻落入海中并快速增殖时，这种食物过剩的情形也就更为严重。当一些浮游生物逐渐学会消化这种藻类后，海中鱼类也因而大量增加，成为目前最普遍的食物。……当然，由于紫水藻的生长，使得大海成为一片深紫色，现在对我们而言，这已经是十分习惯的事；可是对那些曾目睹这些变化的人而言，是非常令人沮丧的。……我并不需要再仔细讨论 1957 年费固森和瑞玛士拉制造出的地衣植物，它现在已经把世界上所有的沙漠都覆盖起来了——基本上这不过是另一种赛柯夫斯基效应的延伸而已；更不必再讨论在这种剧烈的社会变动下，农业国家所面临的失业问题。

霍登把日期提早了 50 年。他预测遗传工程将在 40 年代产生突破性的进展，事实上这将在 90 年代甚或更晚才会发生，但这种技术革命终究是会来临的。霍登同时也了解，这种革命并不全然是件好事，他在书末说道：

科学工作者是和其他人的道德观一起成长的。也许够幸运的是，他不知道在科学王国中，很容易就能把好的变成坏的；而人类能力的增加，可能会将善变恶。我们的保健卫生知识日益增加，使得我们如果面对流行病时，保持不闻不问的态度，就成了人人皆曰可诛的罪孽。我们已经改良了军事装备，这使得本来只是祭坛上烛火的爱国主义，现在却成为可以吞噬世界的洪水猛兽。

遗传工程革命平均财富

遗传工程革命的一项主要好处是：让我们能在不破坏自然生态的情况下，使大面积的土地能提高生产效率。我们可以不用砍伐森林来提供农地，甚至我们可以教那些树木为我们生产化学制品。如此，大片干燥的土地，都可以用来生产农作物或化学品。没有任何一个物理或化学定律说，树上长不出马铃薯，或是说沙漠中不能生成钻石；而且动物和植物都可以用遗传工程的方法来改质。自然界中也没有定律说，只有绵羊能生产羊毛，或是只有蜜蜂能生产蜂蜜。到最后，遗传工程革命扮演的会是一个财富平均分配者的角色，无论贫国或富国，都能利用其土地进行大量生产。一个经过适当生化处理过的生物社会，能由空气、岩石、水及阳光中制造出任何想要的化学物质。而如果能不浪费水分的话，那么可能连水都不是必需的，因为就算是最干燥的沙漠空气中，也仍然含有足够水分来维持这样的生物社会。从空气中固定水分比固定氮要容易得多，而目前已有许多植物能由空气中固定氮气。

要谈论新科技所造成的一般影响，是件比较容易的事，但如果想要预测某项新科技在某个特定地区所造成的影响就要困难得多。由于现在我是在艾伯汀发表演讲，我就拿艾伯汀做为例子来讨论。艾伯汀和许多欧洲的城市类似，古老、美丽，并能在某些方面做调适，以符合 20 世纪的生活需求。有谁能 在 100 年前预测汽车的出现，会对艾伯汀的市街及成长造成多大的影响？因此，没有人具有足够的智慧，能预测遗传工程革命会对苏格兰的景观产生多大的影响。遗传工程是个可以被聪明地运用，或是愚蠢地滥用的工具；而其影响的好坏，全视我们使用的智慧如何。如果我们够聪明、够小心，在不损伤生态环境的情形下进行，那么我们可以使苏格兰高地更富饶，却不致变得丑陋。

人工智能的科技发展

第二个科技革命是人工智能。这个革命事实上是伴随着电脑近年来的高速发展而来的，我已经看到它在我的学院中，对人际关系造成的影响。一直到最近，到我们这儿来的访问学者通常都被安排为两个人共用一间办公室。这些办公室都相当窄小，而只能容纳两张桌子和两张椅子，这使得办公室中的两个人有机会作朋友，甚至于进行科学合作研究。如果同伴中某位抽烟抽得太凶，或是太多话，那么大家可以经由协商而重新安排房间。但这种快乐的人际关系现在已经被打破了，几年前学院认为我们如果要维持学术上的竞争能力，就必须提供大家电脑终端机。因此现在每间房间的一张桌子上就放着一台终端机，而无法让两个人舒适地在里面工作，所以现在每个办公室中都只有一个人及一台终端机，其他人就都挤到另一栋建筑中去了。

在家里或办公室里的电脑终端机，只是人工智能发展的第一步而已，人工智能是具有更重要目标的一番大事业。在讨论其未来之前，我应该先谈谈我的朋友莱希尔 (James Lighthill) 爵士在 15 年前写的一段话。在 1972 年，莱希尔曾在大英科学委员会的一份正式报告中，对人工智能做过通盘的考虑。这个计划中的要求执行目标，是评估英国人工智能发展直至 1972 年的成就，及预测至公元 2000 年的可能发展。我们现在正处于 1972 和 2000 年之间，而直到目前为止的发展，和莱希尔的预测相去不远。我想也许直到公元

2000年，事情的发展都还会和他的预测相同，但由于我所感兴趣的是更遥远的未来，因此当我在讨论时，我会从莱希尔的说法开始谈起。

莱希尔一开始时，是把人工智能分成A、B及C三个领域。A领域指的是高等自动化（advanced automation），是试图在特定目的上以机器代替人工的努力。在A领域的工作有一大部分都是在做影象处理，以便使电脑能具有阅读文件或听懂人类说话的能力。C领域是以电脑为主的中央神经系统研究（central - nervous - system）。这部分工作的目的是试图了解人类或动物头脑的功能，并使用电脑来探讨及解析实验神经生理学的事实。而其中更进一步的目标，是试图了解头脑的组成方式，以便借用其架构来设计新世代的电脑。最后，B是桥梁（bridge）的意思，是试图建立A领域及C领域之间的联系，使用神经生理学的模型，以设计机器从事实际的操作。领域B中的主要工作是建构机器人。莱希尔主要的结论是，如果领域A及领域C中的工作颇具展望，并值得支持的话，那么领域B的研究就显得毫无必要了。高等自动化及神经生理学这两门学问，都已经有了很大的成就，但连结它们的桥梁事实上是不存在的。到目前为止，人工智能被称为其中的桥梁，但事实上人工智能到目前为止，并未真的存在过。

莱希尔对B领域的贬抑，在英国起了很大的影响，领域B的研究经费被大幅裁减，而领域A及领域C则各自独立发展。但在世界的其他角落，尤其是在美国，领域B在没有莱希尔的影响下，却照常萎缩了，因此我认为他的判断是正确的。

以下就是莱希尔对B领域所做的著名评论：

大部分的机器人，在一般人看来，都是尽可能依照小孩子的世界来设计的，它们能玩游戏，做拼图，建造砖塔，或从绘图书中试辨图形……当机器人的功能还处在这种幼稚的状态下，它们的建造者可能会宣称这只是拟人化的最初步研究，将来可以提升到更高级的功能上去。然而，笔者认为：建造者和机器人之间，已经被误导至近似母子的关系了；然而这是不对的。

就如莱希尔所预料的，近十年来，人工智能的发展主要是在领域A而非领域B。那些成功的计划，都是利用一些没有智能的工具，针对一些特定问题进行探索。这些工具本身并不知道它们自己在做些什么，它们也不试图模拟人类智能的运作。它们的软件处理大量的人类知识，但这些知识是由外界供给，而非由任何内部推理过程自我产生的。人工智能只有在放弃让电脑成为人脑的情况下，才能应用在现实中。

自动化应与神经生理学结合

公元2000年以后的未来又会如何呢？我同意莱希尔的意见，认为自动化及神经生理学仍会各自独立发展。而在这两个领域各自充分发展前，想要建立其间的桥梁根本是不可能的。但是，这两个领域迟早会彼此互相接触与结合，当科学家已能充分了解C领域中的头脑结构细节，而领域A中的程式结构中已能处理人类自然语言到某种复杂程度时，这个结合的时机就已到来。到那时，人类的努力会集中在建构其间的桥梁上，而这两种学问结合在一起所能完成的事，会比各自发展要多出许多。机器制造者能利用神经生理学的架构来进行设计，而神经生理学家则能经由头脑与电脑的某些连结来观察神经传导程序。当人工智能进步到这种程度时，就已经大致达成了主要的任务，

而建造真正具有智能的机器之梦想，也才可能成真。人工智能革命，将会对我们造成全面的影响。

这还要多久才会发生呢？我猜是从现在开始算的 50 年后，也就是大约在公元 2000 到 2050 年之间。那么人工智能对人类到底会造成什么影响呢？事实上，要猜测所造成的影响，比猜测发生的时间来得更危险。我必须说明，我的预测并不是想要启发世人，我也看不出人工智能会对人类智能造成什么危害，人工智能仍然只是一个在人类控制下的工具。要总结我对人工智能未来影响的猜测，我再摘录一段莱希尔的话：

领域 B 中所处理的问题，像解题能力、手—眼合作动作、及影像分析能力等，都只是人类中央神经系统功能的一小部分而已。而就是这种中央神经系统，使人类卓立于世界之上。人类如果有很高的智慧，但却缺乏情感的动力及关系的话，这种人类将不适合生存在这个大世界。因为我们能感觉，并能与其他人建立关系；而许多有价值的成果，就由这种智慧的整合而创造出来。而也只有这种整合产生之后，解题能力才有意义，否则我们根本不知道到底正确的问题是什么。对领域 B 过分乐观，不仅没有看清事情的本质，甚至也忽略了发展中会遇到的阻碍。

我基本上同意莱希尔的话。我相信人工智能将会在 2050 年以前跳越第一道障碍，而人类智慧，在我所能想象的范围里，仍然遥遥地领先着。人类活着不只是在解决问题，人工智能科技不止是能帮助人类解决问题，还能提供我们充裕的时间与自由，来运用电脑所不能触及的人类特质。

地球生命向太空散布

我所预期的第三种科技革命，是使生命由地球扩展到太阳系或更遥远的太空中。这个革命会比其他两种革命花更多的时间，也许甚至要到 100 年后才会实现。要描绘一下这个革命的远景，我选择芬尼 (Ben Finney) 的研究做为引言。芬尼是一位夏威夷大学的人类学家，他曾对太平洋上波利尼西亚人由此岛移民到彼岛的过程，做过详细的研究。波利尼西亚人在迁徙时，把所有有用的动植物都尽可能带着走，而这也正是我们应依循的方式。尤其因为我们是第一批将生命带进无生命宇宙中的人类，就比波利尼西亚人更应该携带各种动植物一起去。

芬尼和他的朋友琼斯 (Eric Jones) 写了一篇名为《由非洲到星际》(From Africa to the Stars) 的文章，其中对人类过去的历史及未来做了整体的评估。琼斯并不是人类学家，他是新墨西哥罗萨拉摩斯国家实验室的太空学家。因此，芬尼是考证过去的专家，而琼斯则是钻研未来的专家。他们将整个人类历史浓缩成四大阶段：第一步是发生在约 400 万年前的东非，这一步使人类由树上降到了地面，而所需的新技术是走路和携带东西；第二步则是由具有温暖晴朗天气的非洲，迁徙到气候多变的其他地区，像亚洲、欧洲、美洲及澳洲，这一步大约在 100 万年前跨出，而所需要的新技术为狩猎、生火，可能还包括语言；第三步则是由陆地移向广阔的海洋，这个步骤发生在约 3000 年前，并且是由波利尼西亚人所开始的，然后欧洲人才追随他们的脚步进行海外探勘。这里所需要的新技术，包括造船、航海术及科学。

第四步则是由地球进展到星际之间。这一步现在才刚开始，并且会持续好几个世纪。其所需的新科技，有一部分是我们已经拥有的，像火箭、无线电通讯及对高空物体的观测及分析技术。但这一步的进展，已远超过目前科

技所能处理的范围。是将生命永久地从地球散布进宇宙之中。这需要一些目前无法提供的技术，例如遗传工程，也许还包括人工智能。遗传工程能容许我们在其他的殖民星球上，豢养动物及栽种植物，这可以把根基打稳；而人工智能则可使机器先到一些地方进行建设，以准备让生命进驻。我并不是说，除非遗传工程及人工智能革命已经完成，第四步才能开始；事实上，这个步骤已经有了一些初期的成就，我们正往宇宙出发中。但是这一步和前三步相同，都无法在一个世纪内完成。

我曾在第6章中，对生命如何适应外来环境，做了一般性的讨论。我把生命看成是个普通而永远的现象，能以宇宙的时间及距离尺度扩展开来，因此，我所考虑的都是非常久远以后的事。现在我把讨论的重点放在最近的未来，看看在下几个世纪中，在这小小的宇宙角落里，生命能做些什么。

寻找当地的经济资源

要考虑太空殖民，所必须碰到的第一个实际问题，就是经济的问题。假设我们乘坐着小太空船降落在某个合适的小行星上，那么当我们到达后，究竟该做些什么呢？我们如何生存？我们能输出些什么，才能换得必需的进口物资？只有在这些问题都有了合理的解答后，太空殖民计划才算说得通。目前我们并不知道该星球的化学组织及物理状况；当然最重要的资源是水，而我们对其可能的水资源也是一无所知。目前没有人对任何小行星做过仔细的观察，因此，我们可以将之和当年早期的北美殖民做比较。早期殖民者对北美的认识，和我们今天对小行星的认识一样少，而他们对经济的预测也几乎总是错的。第一批到达弗吉尼亚的人试图找寻黄金，但后来他们则是靠种植烟草而致富；在麻省的清教徒本来希望靠捕鱼为生，到后来大家都变成农夫或是毛皮商人。产生经济效益最重要的前提是必须有弹性，因此殖民者绝不能相信那些经济预测，必须随时做好准备，视需要来改变自己的求生方式。

在我的朋友当中有个殖民的例子，可以为那些小行星的殖民者带来一些启示。我的朋友是一对夫妻，他们在北太平洋一个无人岛上安居下来。他们为自己建了舒适的房子，并且毫无困难地就能养殖出足够的食用动植物。那位丈夫是位技术很好的铁匠，并建造了一座磨坊和一些有用的机器。因此在绝大多数方面，他们是能自给自足的。然而还是有些必需品是这对夫妻无法制造的，其中最重要的一项就是柴油。因此他们必须每年一到二次驾船到温哥华，用大油桶载着柴油回来以供引擎使用。于是问题就来了，他们能在岛上种什么值钱的农作物，以出口到温哥华呢？这种农作物必须易于在岛上生长，易于以船运输，并能在温哥华进行合法的货物买卖。那么在这个北太平洋的小岛上，什么是方便、合法、又是高价值的作物呢？这个问题的答案并不明确，我的朋友在几次错误的尝试后，意外地找到了答案：纯种罗德西亚小猎犬。这种狗在岛上很容易饲养，因为没有走失的危险，也不需要篱笆。他们通常喂狗吃农田所种植的粮食，而在温哥华的狗店橱窗中，这种小狗每只可以卖上几百美金！

所以那些小行星殖民者的经济问题，应该也是以类似的方法来解决。也就是在当地找寻能出口的高价值产品。当然小猎犬不是这个问题的答案，但答案似乎仍然藏在该地可能培育的特殊动植物身上。每位小行星殖民者，必须由适合当地条件的某种动物或植物的培育计划着手；到后来，大多数的殖

民者都会试着培养各种在其他地方稀有、甚至不存在的动植物。就和北太平洋的无人岛一样，在小行星上正是培育纯种作物的好地方，而每位殖民者不仅是好工匠，也必须是遗传工程的专家。

太空运输推进的新科技

在第9章中，我曾提过两项将在下个世纪实现的太空推进新科技：激光推进与太阳帆。而第三种推进的新科技称为“质量推进”（mass - driver）。我的朋友欧尼尔（Gerard O' Neill）发明了这种科技，并在他普林斯顿的太空研究中心设置了一个工作模型。所谓质量推进系统是一个长的磁力加速器，它能将小型包裹压进一个直管中。只要将东西放进这种小包裹里，其中的东西就会以高速射入太空。就像火箭的原理一样，它们提供连在质量推进系统上的东西一股推进力，只要能提供电力，这个系统就能永远推进。在内太阳系中，太阳可以提供足够的电力，因此使用质量推进系统的太空船，会是一个经济而有效率的工具，能在小行星间往返载运。

就像波利尼西亚人的独木舟一样，装设这个系统的太空船也会是个速度慢、花费不高的工具。而在到达某个小行星后，驾驶员可以用当地的泥土重新装填推进太空船所需的质量，以做为下一站旅程之用。这样使用质量推进所造成的主要缺点是：大量使用泥土后，这些尘土会逐渐充斥在小行星之间，而使整个小行星带变成像土星周围的光环。但这个因尘土而造成的太阳系污染问题，在愈形严重之前，就可以有补救的办法。氧气是所有小行星土壤的主要成分，而其他成分则主要是铁和硅；每位殖民者都会建立一套化学的或是生物的程序，把土壤中的氧气分离出来以供呼吸之用。而每位殖民者都会储存一大堆氧气以供不时之需，因此，液态氧将会是一种无污染的理想推进剂，因为液态氧在丢进太空后很快就会挥发掉，而由太阳造成的太阳风无害地加以吹散。

我们今天实在无法断言，像质量推进、激光推进、太阳帆或是其他尚未发明的技术，在未来是否有竞争的潜力。也许每种方法都能找到合适的应用范围也说不定；但每一种新科技，其花费都可能比现行化学火箭更便宜。今天的太空科技，由于种种原因而贵得离谱，而现行科技却不够努力以减少推进的成本。这是因为大部分任务本身的花费，都要比推进系统贵得多。但是，如果太空旅行仍维持在每磅运费要数千美元的价格上，那么太空殖民就永远只是个梦想。而只有在我们能有更便宜的科技可用时，生命扩展进太空的行动才会真正展开。幸运的是，质量推进、激光及太阳帆系统，给了我们拥有便宜推进系统的希望；而遗传工程及人工智能，则提供较便宜运费的希望。

以酵素和神经为主的明日科技

下个世纪将会由今天以铁和硅为主的科技，转型到以酵素和神经为主的明日科技。以酵素和神经为主的科技，会是结合了遗传工程与人工智能工具的结果；但我们不能预期这种新科技各自单独出现。当我想到明日的太空科技时，我特别想到了三种独特的景象。首先，是一种火星马铃薯（the Martian potato），它能在地下深处存活，将根贯穿地底的冰层，而其嫩芽则在地表自己生成的温室里，收集二氧化碳及阳光；其次，是所谓彗星藤蔓（the Comet

creeper)，是一种能散布在彗星表面的温血藤蔓，其外层由厚厚的绝热毛皮保护着；第三，是我在第 9 章中谈过的太空蝴蝶，是一种真正以太空为家，能像昆虫在花朵间传送花粉那样，在不同的世界间传递信息的生物。我们当然可以想象其他稀奇古怪的生物形态，或是其他即将进入宇宙的生命形式。火星马铃薯、彗星藤蔓及太空蝴蝶，都只是个标记而已，不过是用来引起大家的兴趣，而不是一定要重视的梦想。

我并不想试着去预测超过一百年后的科技世界。在太空蝴蝶之后所进行的革命，会和生命刚开始在地球上出现时，一样地复杂而不可预测。但有一件事是肯定的，那就是：生命在太空中的演化，就会和生命在地球上的演化一样，会是无止尽的丰富及多样化。

当生命散布到宇宙之中，并能适应比星球更宽广的环境后，人类将会面临一个最重要的选择——就好像我们的祖先当年选择走下树木，而猿猴则选择继续留在树上，形成了演化上的极大差距。我们会面临的抉择是：人类应该维持同一种族，同一历史的传统呢？还是应该让我们和其他的动植物一样，演化成各种物种？我们应该永远是同一种人类，或是应该是散布在银河中，在百万个不同地方的百万种智慧生物？这是一个很快就必须面临的问题。而幸运的是，回答这个问题，将不是我们这一代的责任。

第十七章 又见蝴蝶

探索一切事物是人类的本性，
一旦科技进步到能将一个心灵记忆植入另一心灵时，
这个探索心灵的时代就来临了：
我们除了由外在赞美自然界的美丽之外，
还可以直接透过大象、老鹰或巨鲸的眼睛来看世界。

使死者复生
并不是什么了不起的魔木。
很少人是死尽的：
只要对着死者的余烬吹气
一团火焰又会再度升起。

罗伯·葛瑞夫斯（Robert Graves）的诗，用几句话就表达出人类历史上的一个中心架构。我们的文学从古老的史诗到近代的普鲁斯特（Marcel Proust），我们的宗教由古埃及到近世的圣人，我们的政治环境由所罗门的帝国到今天的美国联邦，都是试图给生命一个比过去更宽广的生存空间。先人的经典告诫我们要光宗耀祖，而我们对科学的好奇心让我们徜徉在时空之间。就如同芬尼所观察到的，灵长类不只是一种探索地理的动物，我们也同时发明了历史和考古学。我们的博物馆、图书馆及艺术馆都装满了过去历史的光荣事迹。有一天，伟大的爱因斯坦误闯进一间学校男生的更衣室，里面挂着许多前几代学生的名牌，底下则挂着一大堆运动服。爱因斯坦说：“啊！我了解了：那些已经作古的先人精神，就这样流进今人的心里。”

知古鉴今，我们更体会到生命如蜉蝣，莫不朝生夕死。当接触愈古老的文明时，就愈感慨：生命注定是短暂易逝。葛雷夫斯的诗也描述了死者复生后会发生什么事：

那么就给他生命吧，但是思量一下
那个他曾安身的坟
现在未必是空的：
你必会裹上他斑驳朽坏的衣服
亲尝卧于其中的滋味。

记忆本身就是一种奇迹

近世科技的进步，使我们有更大的能力，可以保存先人的灵魂。首先是书写的发明，使我们能保有他们的文字，而绘画及照相则使我们能保存他们的容颜，唱片的发明使我们能保存他们的声音，而录影机则能保存他们的动作和表情。但这只是个开始，很快地，我们就有足够的技术，可以永远储存他们细胞中 DNA 的密码秩序，而这意味着：只要我们愿意，就能由基因秩序复制一位祖先。也许到那时，科技能读取记录在祖先头脑中的信息。而所谓死者与生者，过去与现在，这些原本对立的名词，其分野都会变得模糊不清。而谁是祖先，谁是后代子孙这种分法，也变得毫无意义了。

人类以为，对过去自我的认知，都保存在我们一生的经验当中。我们也

非常着重个人生命的延续，认为死亡是物体天然秩序的破坏，是需要去解释的特异事件，以为使死者复活是一种神奇的现象。但是如果人类能跳出自己先天的束缚，客观地看看人类的情形，我们会发现：一个人从小到老所累积的记忆，事实上就是一个奇迹，比起死者与活人之间的记忆传递，也毫不逊色。我们自己想想，就能了解这个奇迹正不断有效运作着：在 60 年满布风霜的岁月之后，我仍然记得过去。我在 3 岁时骑的那匹巨大的灰色摇动木马，在我 60 岁的时候回想起来，仍是栩栩如生。这个奇迹是如何发生的呢？我对这匹马的回忆为什么能保存 60 年之久，到今天还是个不可解的谜。但我们会去学习，也会解开这个谜团，然后我们就能了解这个奇迹，从此不再神秘。到那时，记忆只是个等待我们去发掘的新科学而已。

由时空探索进入对知觉的探索

当我眺望人类在 21 世纪以后的发展时，我认为许多即将发生的事，会由客观的科学领域转向主观的知觉与记忆中去。灵长类这种爱探索的动物，不会只满足于物质世界的探索；我们的好奇心会使人类由时空的探索，进入对知觉的探索。有许多拓荒者会去探测没有人到过的小行星或是另一个新星球，而也必定会有另一些有志之士会由人类的内在探索我们的心灵。探索一切事物是我们的本性，不论是活的或是死的，也不论是过去、现在或未来。一旦科技进步到能将一个心灵记忆植入另一个心灵中，这个探索心灵的时代就来临了。我们除了由外在赞美自然界的美丽之外，还可以直接由大象、老鹰或鲸鱼的眼里来看世界。而经由神奇科学的帮助，我们也能够在心中感受到孔雀的骄傲和狮子的愤怒。事实上，这种奇迹比起我们能在 60 年后看见 3 岁时的木马这种记忆，并不会来得更高明。

所有对人类长远发展的臆测，必然仅止于幻想。没有人希望看到由一些历史上的怪异事件，或是某种人类智慧上的特异变化，来决定我们真实的未来。就像柏诺 (Desmond Bernal) 在 1929 年所写的：“人类有两个未来，一个是我们所希望的未来，一个则是我们命运安排的未来，而人类从未学会如何把它们分开。”我在这里所谈的未来，是人类所希望的未来；至于人类命定的未来，是现在很难去辨识及了解的。谈到这方面，没有人比威尔斯 (H.G.Wells) 更富艺术家的想象力了。威尔斯在 1895 年出版了一本名叫《时间机器》(The Time Machine) 的书。在书中，威尔斯想象人类在未来将分化成两类，一类是愚笨的懒惰人种，另一类则是已经失去生存目的，但仍具有理性的人种。这两类人种分别是由维多利亚时代英国中上层社会及下层社会所退化而来的，而其最后的下场也难免是死路一条。其低阶层的人种，像老鼠一样生活在地下，但仍然保持了机敏的手艺，能使机器继续运转；而上阶层的人种则毫无目的地活着，就像等待屠宰的牛一样晃来晃去。这个噩梦可能真的是人类未来的写照。威尔斯写这本书，是为了反映出当时社会存在的丑陋及不公，但对目前社会的种种病态而言，它仍然是一面让我们看清事实的明镜。

人类并不是最后的结局

但是威尔斯并不仅仅报导失败颓丧的一面，他同时也是希望的预言家。

威尔斯认为，建立起各式各样的“镜子”是他的职责，使得人们能从各种角度来观察及评断。在发表《时间机器》的7年后，威尔斯以《发现未来》(The Discovery of the Future)为题，在伦敦皇家学院做了一次演讲，这是他第一次尝试描述我们所希望的未来。以下就是他演说内容的片断，威尔斯所叙述人类的胜利及不幸，在1902年到1987年之间统统都实现了：

当我们把时间回溯千百万年前，看看伟大的生存意志在泥泞中挣扎而出，看生命在不同形式及不同力量之间奋斗，看到生命在地上爬行，然后能满怀自信地走在陆地上。看到生命一代又一代克服呼吸空气的困难，看到生命爬进黑暗的深渊之中；我们看见生命如何调整自己，以适应狂风暴雨及饥饿的威胁，最后形成新生命形式。我们看见这些生命渐渐和我们愈来愈相似，它们扩张，为了一些特定目的而互相合作；最后我们看见这些生命变成了我们脑中的节奏，我们战舰上的炮声，我们城市里的哄笑。他们唱出我们的音乐，并发扬了我们的艺术。正如我们回顾过去，就让我们把眼光转向未来。这样一来，任何认为人类发展有止境，或是会出现任何带来太平盛世的哲人的想法，都会从我们脑海中消失。我们在探索未来时，面对最大的问题是：人类并不是最后的结局。在我的心里，到底在人类之后会发生什么事，才是最令我着迷、也是全世界最不可解的问题。当然目前我们没有任何答案，这种想象是我们一直拒绝拿上台面来讨论的。

威尔斯同时也了解，不论是对个人或是对整体人类而言，人们的生活都是极不安定的：

也许某些巨大的东西，会在没有预警的情况下撞击地球——这个冲击可能会毁掉这个地球上任何生命的火花，而目前也没有任何一门科学说不会发生这样的事情。当然，也可能发生其他巨大的灾害，如新疾病的蔓延杀死所有人类，因而使我们完全灭绝，目前也没有任何科学定律说这种事不会发生。也可能出现一种新的动物，它能在陆地或海上捕食我们；也可能出现某种药物或某种疯癫症会侵入人类的心智。而最后，我们相当确定，太阳总有一天会燃烧殆尽，整个地球的生命将会绝灭，变得死寂而且冻结，这必然就是人类的结局。所有这些末日的噩梦都非常具有说服力，但还是有人不相信它——像我就不相信它！我不相信的原因是：我相信一些其他的东西，那就是普世的合作及共同的目标，还有就是对人类伟大命运的信心。世界可能会冻结起来，太阳也可能会熄灭，但在我们心中有些事情是绝不会被摧毁的。

我们现在正站在人类从未经历过的伟大转折点。这里没有晴天霹雳，也没有划时代的变动；但是正如在每一个多云的破晓天际依旧平静如昔一样，世事仍然难测。我们不敢说一切至此已告终止；更不能断言前一分钟是黑夜，接下来则是白天。但我们现在所看到及所能想象的事情，给了我们思想的梗概，及超越想象的信仰。

威尔斯以“信仰”这个名词结束他的评论。他对未来的看法基本上是很悲观的，但他的内心深处则极力排斥这种想法，因此他发现在他的科学看法中，需要加进一些信仰。就像数学家帕斯卡(Blaise Pascal)在240年前所写的：“所有关心及思索人类未来的人，都需要在科学知识外再加些信仰进去。”因此，学习威尔斯的作法是很好的例子。而在这最后一章的结尾部分，我将总结自己对信仰和理性极限的看法。

信仰与理性的冲突

就像我在第6章中所描述的，我的信仰和威尔斯的信仰十分类似。我相信我们今天存在于此，是为着某些目的而来，而这些目的是和人类的未来有关，并且超越了目前知识与科技的限制。我并不希望走出这个简单的叙述，

而变成一种神学的讨论，我对神学实在是一无所知。如果你愿意，可以称呼这种超越一切的目的为“上帝”。而如果它真的就是上帝，那么一定是和宇宙同时诞生，并在宇宙逐渐开展时，同时增加它的权力与知识。我们人类的意志不仅是它目的之一种表现，也同时是它成长所带来的贡献。

在科学与神学之间的无人地带中，有五点信仰与理性互相冲突的地方，那就是“生命的起源”、“人类自由意志的体验”、“禁止在科学上使用哲学目的论的解释”、“对造物者存在的争论”、“宇宙最终极的目标”。这五个点都可以各自形成独立的一章，但不幸的是，我只有几页的篇幅来谈谈这5件事。

首先是生命的起源。在哲学的观点而言，这并不是最困难的问题。最早期的生命形式，并没有脱离普通化学的范畴，我们至少还可以想象，生命是由一些化学家可以计算出来的普通程序制造出来的。事实上比较严重的哲学问题，是出在意志、知觉及语言发展之后。就像物理学家维格纳（Wigner）有一次写道：“你要把生命的喜悦放进薛定谔方程式的哪一部分？”关于生命起源的问题，事实上只是：你要如何找出一个理论，不但能使生命由一个随机程序产生，而且本身还是上帝旨意的一部分？对这个问题有三个可能的答案。答案一，认为上帝并没有做任何事先的计划，一切的事情都是因为某种偶然而发生的。这是莫纳德的答案，也是大多数生物学家的答案。但如此一来维格纳会问：“难道知觉本身也是个偶然的意外吗？”答案二：认为上帝知道任何事情，生命根本不是偶然发生，而是依照上帝的旨意而产生的。这是爱因斯坦的答案，他相信所谓偶然的“机会”，是因为我们对自然并未能真正了解而产生的概念。但如果真是如此，那么为何统计定律成为物理中最基本的定律呢？答案三，是这种偶然性的存在，是因为上帝和我们一样无知。这是哈特修的答案，认为上帝不是万能的，它和宇宙一起成长，并在宇宙发展的过程中不断地学习，因此机率是它伟大蓝图的一部分，它和我们一样使用机率来达成目标。

机率与自由意志互相关联

第二个信仰与理性的冲突点，是人类对自由意志的体验。这在薛定谔的书《生命是什么》的末尾讲得很清楚。这个问题的根源，是如何使人类对自由意志的体验，与对科学根源的信仰不发生冲突。我们对这种冲突仍然采取同上的三种答案，但现在狭义的科学和狭义的神学仍然反对自由意志之说。莫纳德认为宇宙是由纯粹“偶然与必然”所造成的，这个观点本身就否认自由意志的存在。对于像我们这种既相信上帝、也相信自由意志的人来说，16世纪发展的索西纳斯教义可能是比较好的答案。机率与自由意志之间是互相关联的，而这种宗教则将两者合而为一，自由意志是人类意志的集合体，要不然意志只是脑中的一种随机程序而已；上帝的意志则是宇宙意志的集合体，否则整个大世界也只是个随机程序而已。

我的第三个问题是目的论的禁止，也就是人类做事目的与科学操作规则之间的冲突。科学并不接受亚里斯多德那种形式的解释，认为石头之所以往下落，是因为石头是属于地上的，因此它喜欢在地上；或是认为人类头脑之所以能演进，是因为人本质就是具有智慧的。基本而言，在科学上，目的本身不被接受是造成某种现象的原因，所以在时空上，只要不是直接去探索问

题的尝试，都是被禁止的。特别是绝不能因为某种最后目的，而影响整个现象。我们应该如何来调解这种人类对事物目的之经验，与对宇宙真理信仰之间的冲突呢？我认为只有在限制科学范围的前提下，这种妥协才有可能。“自然定律的选择”及“宇宙初始条件的选择”这种大问题，都不是真正科学的问题。因此，科学应该限制在只解释宇宙中的现象。而当问题超越科学的范围之外的时候，就可以使用目的论了。

这类解释中最有名的例子，就是所谓的“人择原理”（Anthropic Principle）。这个原理以为，如果能建立自然定律的话，它的形式及内涵，一定是以理论物理学家能探索的形式存在。我们知道理论物理学家是存在的，因此，自然定律的形式就必须是物理学家所能了解的，否则定律就无法存在。这种解释方式，彻头彻尾就是目的论的形式，它能得到一连串具有意义的过程，指出宇宙可能建立元素的一些限制。许多科学家并不喜欢这个定律，因为这好像让我们又退回到亚里斯多德时代的推理方式，而以人的观点来描述宇宙。事实上，喜不喜欢这个定律，完全是个人品味的问题，我个人发现这相当具有启发性。这个原则事实上点出了现代科学的精神，那就是我们有互补的两种解释形态，目的论允许目的在宇宙中扮演一些角色，而非目的性的解释则在局部的科学架构中进行现象的解析。

人类只是上帝心灵的一小部分

对造物者的争论是我所列出的第四个哲学问题。也就是对上帝存在与否的争论。钟表的存在暗示有位表匠的存在，而对上帝存在的争论则源于 19 世纪生物学上创造论与演化论之间的战争，最后是演化论打赢了这一仗。靠着基因的随机扰动，再加上达尔文的物竞天择程序，应该就能完成生物演化的程序。由于创造论使用了目的论作为原因，因此一直被排除在科学探讨之外。一百年来，生物学家一直试图把创造论给摆平，然而创造论仍属于一种哲学思想，我认为这个问题和人择原理一样，不应该放在科学的范围内，却可纳入形上科学的领域中。

对造物者存在与否的争论，本质上是目的论，而非真正科学上的争论。因此，想要把目的论挤进科学的框框里是一种错误。我认为只有在以下这种说法下，这类争论才有意义。宇宙的意志以三种不同的层次呈现，第一层是量子力学中的基本物理程序。在量子力学中讨论的物质，并不是一个死硬的物体，而是根据机率定律，能在不同路径中自由选择的有机体。每个量子实验都是在逼自然做某些选择，由于意志本身有能力作选择，因此在某种程度上，意志是和脑中每个电子相互关联的。第二层则是人类的直接经验。我们的头脑好像是个天生的放大器，能将由我们脑中分子所做的量子选择放大来看。因此，我们人类是宇宙意志的第二步。现在来看看对造物者的争论。由自然定律的特质来看，整个宇宙似乎都是由某种意志的成长所控制。而此处的争论，事实上只是把人择原理推广到宇宙那么大的尺度上去而已。因此，我们有理由相信第三层意志的存在，它是宇宙的一种心灵特质。如果我们相信这种心灵特质，并且称其为“上帝”的话，那么我们就可以说：人类只是上帝心灵的一小部分而已。

最后一个问题是所谓宇宙最终极目标的问题。换句话说，就是去了解上帝的意志。以往这类尝试都不是十分成功，其中最深入的一次尝试，记载

在旧约的约伯记中。当时上帝在旋风中给约伯的回答，并不使人振奋。而我今天想再问同样的问题：人类为什么要受苦？这个世界为何有那么多不公平的事？到底这些痛苦和悲剧的目的是什么？我希望得到这些问题的答案，希望这是一个我们的愚钝心灵所能接受的答案，即使那远不及上帝答案的层次。我的答案是基于一个假说，而这个假说则是人择原理及造物者存在论的延伸。我认为：宇宙是根据最大多样性原理（Principle of Maximum Diversity）而建立的。这个原理不仅在物质世界有效，在心灵世界也同样成立。那些自然定律及初始条件之所以是这个样子，是因为这样才能使这个宇宙生趣盎然。由此看来，生存只是个可能，而且充满了艰困。每当一个困难被生命克服之后，马上就会有新的挑战出现，所有这些围绕着我们发生的事情都使得生存极不容易，像彗星的撞击、冰河时代、武器、瘟疫、核分裂、电脑、性、犯罪和死亡等等。并不是所有的挑战都能被生命克服，因此有悲剧的产生。最大多样性通常带来的是最大的压力，到最后生命如果能存活下来的话，只不过是这些挑战中能够幸免于难罢了。

生命的拓展祸福难料

生命和人类拓展至宇宙，带来生态上及文化上巨大的多样性。不论在过去还是未来，这种生命的扩散，都可能会带来幸福或是灾祸。面对这种生长及多样的过程，我无法预见其终点。在目前的阶段，想去了解未来人类可能到达的境界，是没有意义的。为了要表达人类进入无止境宇宙的壮阔景象，我又回到蝴蝶上来，所有能说的都已经在但丁的诗篇中描述得十分清楚：

自矜的教徒啊！
可怜又渺小的灵魂，
藉着曲扭心智的微弱光线
自以为繁荣昌盛——即使正在沉沦途中，
难道你们看不出：我们只是蠕动的虫儿，
生来是为了幻化成天使般的蝴蝶
飞拥向审判的宝座前？

