

你 知 道 吗 ？

—— 现代科学中的100个问题 ——

〔美〕 I. 阿西莫夫 著



NI ZHIDAO MA

科 学 普 及 出 版 社

你 知 道 吗 ？

——现代科学中的一百个问题——

〔美〕 I. 阿西莫夫 著

暴永宁 陈养正 译
钟元昭 吴伯泽

科 学 普 及 出 版 社

内 容 提 要

本书是美国著名科普作家阿西莫夫的优秀作品之一。作者以通俗的语言，深入浅出地解释了现代科学中的一百个尖端课题。其中，有些是了解现代科学技术所必须具备的基础知识，如科学的研究方法、二进制数、相对论、亚原子粒子、核聚变、熵、晶体、病毒等。有些则是当代科学技术的前沿阵地，如黑洞、统一场论、夸克、快子、金属级等。作者对这些问题的来龙去脉，它们目前处在什么样的状态，有没有希望得到解决等均作了回答。

本书可供具有中等文化水平的青年，也可供中学教师、科技人员、科技管理工作者和科普作家参考。

I. Asimov

PLEASE EXPLAIN

Dell Publishing Co., Inc 1976

* * *

你 知 道 吗 ？

——现代科学中的一百个问题——

〔美〕I. 阿西莫夫 著

暴永宁 陈养正 译

钟元昭 吴伯泽

*

科 学 普 及 出 版 社 出版(北京西郊友谊宾馆)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

江苏新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 6 $\frac{3}{4}$ 字数 143 千字

1980 年 4 月第一版 1980 年 4 月第一次印刷

印数：1—141,000 册 定价：0.51 元

统一书号：13051·1076 本社书号：0082

中译本前言

宇宙间有运动得比光更快的物体吗？

乍一看来，这个问题似乎提得很荒唐。大家知道，按照爱因斯坦的狭义相对论，任何物体的运动速度都不能超越光速，因此，这个问题看来是没有意义，甚至是可笑的。但是，近年来的科学观察却越来越使人认为，比光速更快的运动并不是不可能的。有些科学家不仅承认了这种超光速运动的存在，并且把作这种运动的粒子命名为“快子”，他们认为，快子的存在根本不与相对论抵触。

对于这种状况，你能够加以解释吗？

在自然科学中，不容易解释的问题绝非仅此一例。其中有些经过前人的努力，多少算是解决了，有些却直到今天仍然处在研究探索之中。

那么，这些疑难的问题到底是怎么回事？它们目前处在什么样的状态？有没有希望得到解决？这些问题，就是本书准备回答的。

本书作者阿西莫夫 1920 年 1 月 2 日生于苏联彼得格勒，三岁时随父母移居美国，1939 年在哥伦比亚大学毕业，毕业后原准备留校深造，但第二次世界大战打乱了他的计划，一直到 1946 年，他才回到母校，并在两年后获得博士学位。从 1949 年起，他在波士顿大学医学院任生物化学副教授。

阿西莫夫从九岁起就喜欢科普作品，他在大量阅读的同时，也不断摸索撰写这类读物的技巧。1938 年，他写出自己的第一篇科学幻想小说《被放逐的维斯塔》，第二年发表在《惊

险故事》杂志上，从此，他走上了创作的道路。但是，第二次世界大战以及战后期间他在大学里担任的工作，大大限制了他的创作活动。一直到五十年代后期，当他认识到自己在这方面可以大有作为，并决定献身于普及文化知识的事业以后，这种状况才发生了根本的变化。据国外杂志介绍，他近年来每周工作七天（一般美国人只工作四天半），每年出书 12 种，即平均每月一种。到今年初，他写成出版的书正好达到二百种（要是把各种各样的文集计入，那就远远不止此数了）。如果说他是当代最多产的作家，那是一点也不过分的。

阿西莫夫的作品涉及许多知识领域，包括自然科学、文学、宗教、历史等等，而以自然科学为主。除了大量科学幻想小说外，他还有许多其他形式的作品，其中如《阿西莫夫科学导游》^①，《阿西莫夫莎士比亚作品导游》，《阿西莫夫圣经导游》，《古今科学技术名人小传》，都是很有分量的。他的作品材料丰富，说理严密，语言生动，叙述明确，即使是在介绍比较专深的课题，读来也全无生硬之感。因此，他的作品深受各国读者的欢迎。他本人也由于在普及科学知识方面做出巨大贡献，而在 1965 年获得美国化学学会的格拉第奖。

《你知道吗？》这本书，是阿西莫夫的又一种形式的作品，它以回答问题的方式，介绍了自然科学中的许多尖端课题。这些课题的内容，从目录就可一目了然，无须多谈。不过，这里应该说明两点。第一，本书所涉及的许多课题，比如前面提到的快子，目前正在研究探索之中，因此，作者在本书中所给出的并不是详尽无遗的，更不是最终的答案，但无论如何，本

^① 这本书的中译本分为《宇宙、地球和大气》，《从元素到基本粒子》，《生命的起源》和《人体和思维》等四分册，冠以《自然科学基础知识》的总名，已由科学出版社出版。

书至少能够使读者了解这些问题的来龙去脉，并引导对它们感兴趣的读者进一步去阅读有关的书刊，寻找更新的答案。第二，本书中所提到的“宇宙”，并不是唯物主义所说的那个无限的，即在时间中无始无终、在空间中无穷无尽的宇宙，而是指目前科学技术所能观察到的那一部分宇宙。只有在这个前提下，才能够讨论“宇宙的年龄”、“宇宙的大小”、“宇宙的质量”等问题；否则，这些概念就是没有意义的。关于这一点，希望读者能牢牢记住，我们以后就不再说明了。

在接受本书的翻译任务时，由于希望尽快让中译本同读者见面，我又约请暴永宁、陈养正、钟元昭等同志合作，每人翻译若干题目，最后由我集中整理。我们的分工是：第 1 至 18 题——钟元昭，第 19 至 47 题——暴永宁，第 48 至 75 题——吴伯泽，第 76 至 100 题——陈养正。这样做固然加快了翻译的速度，但也带来了全书译文风格不一的缺点。好在本书是一个个问题分开叙述的，对于连贯性的要求，不像一般书那么严格，估计不致因此而使读者感到太多不便。另外，尽管我们都想把本书译好，但由于受我们各自的中外文水平和科学知识的限制，译文中仍可能有欠妥或错译之处，欢迎读者批评指正。

吴伯泽

1979年9月

目 录

1. 什么是科学的研究方法? 1
2. 你认为谁是最伟大的科学家? 3
3. 两个或两个以上彼此并不知道对方所做工作的科学家, 为什么时常会提出同样的理论? 5
4. 什么是戈德尔证明? 戈德尔证明是否说明真理是不可得知的? 7
5. 普通数和二进制数有什么区别? 它们各有什么优点? 9
6. 什么是虚数? 11
7. 什么是素数? 数学家为什么对它们感兴趣? 14
8. 当一个不可抗拒的力遇到一个什么力都不能使之运动的物体时, 将会发生什么情况? 16
9. 宇宙中到底有多少粒子? 18
10. 宇宙中的物质是从哪里来的? 宇宙外面又是什么东西呢? 20
11. 为什么人们说“宇宙空间的低温?” 一个空虚的宇宙空间怎么会 有温度呢? 23
12. 什么是宇宙尘? 它们是从哪里来的? 25
13. 什么是脉冲星? 27
14. 有人说中子星上每一立方厘米的物质重达十多亿吨。这怎么可能呢? 30
15. 什么是黑洞? 32
16. 恒星的温度能达到多少度? 34

17. 在一颗恒星上, 聚变反应可以进行到什么程度? 36
18. 所有恒星发出的全部能量都到哪里去了? 38
19. 什么是太阳风? 40
20. 太阳还能使地球上的生命维持多久? 42
21. 如果太阳的表面温度是白热的, 太阳黑子为什么又是黑的呢? 如果黑子真是黑的, 它们就该也是冷的。太阳上的东西怎么会是冷的呢? 44
22. 为什么所有行星的轨道都近似地位于同一个平面上? 46
23. 冥王星与其它各行星有什么不同? 为什么会有这些不同? 48
24. 彗星为什么有尾巴? 50
25. 为什么月球总是以固定的一面对地球? 52
26. 在月球上发现的“质集”现象是怎么回事? 54
27. 人们已经先后六次登上月球, 在那里都发现了些什么呢? 56
28. 火星上有生命吗? 58
29. 如果火星上存在着简单生命, 是否真正值得跑这么远的路去看上一趟? 60
30. 海洋是什么时候形成的? 又是怎样形成的? 62
31. 海洋是不是越变越咸? 它们会不会变得咸到把所有生物都给咸死? 64
32. 海洋里真的有金子吗? 66
33. 如果冰冠融化了, 将会发生什么情况? 68
34. 供我们呼吸的空气是从哪里来的? 70
35. 什么叫温室效应? 72
36. 行星探测器在飞越行星上空以后会怎样? 它们会飞

| | |
|--|-----|
| 到哪里去? | 74 |
| 37. 地球将会有怎样的归宿? | 76 |
| 38. 什么是理论物理学家?他们都干些什么? | 78 |
| 39. 时间是一种幻觉呢,还是确实存在的东西?怎么来 描述时间呢? | 80 |
| 40. 时间的最小可能单位是什么? | 82 |
| 41. “第四维”是什么? | 84 |
| 42. “弯曲空间”是什么意思? | 86 |
| 43. 许多科学幻想小说里都提到“力场”和“超空间”,这 都是一些什么东西?它们真的存在吗? | 88 |
| 44. 什么是“反引力”?怎样才能研究它? | 90 |
| 45. 什么是引力的速度? | 92 |
| 46. “统一场论”是什么? | 94 |
| 47. 简单扼要地讲,爱因斯坦的相对论是怎么一回事? | 96 |
| 48. 为什么物质行进的速度不能快于光速?(一) | 98 |
| 49. 为什么物质行进的速度不能快于光速?(二) | 100 |
| 50. 光是由运动得比光更快的粒子发出的。那么,既然 没有任何东西能运动得比光更快,又怎么可能有光 呢? | 102 |
| 51. 既然没有任何东西能超过光速,人们所假定的那种 运动得比光更快的快子又是什么玩艺儿呢? | 104 |
| 52. 能量为零的快子会以无限大的速度运动。这样说 来,确实有可能实现无限大的速度吗? | 107 |
| 53. 海森堡的测不准原理是怎么回事? | 109 |
| 54. 宇称是什么? | 111 |
| 55. 为什么我们总是说某一同位素的半衰期,而不谈它 的总寿命呢? | 114 |

| | |
|---|-----|
| 56. 为什么科学家一直在寻找这么多新的亚原子粒子,它们有什么重要性呢? | 116 |
| 57. 夸克是什么东西? | 118 |
| 58. 人们老是说质子是由三个夸克结合成的,又说一个夸克的质量等于一个质子的三十倍。这两种说法怎能同时成立呢? | 120 |
| 59. 在原子弹爆炸时,有些物质转化成能量。有没有可能反其道而行之,把能量转化成物质呢? | 122 |
| 60. 反粒子会产生反能量吗? | 124 |
| 61. 宇宙线与中微子的性质有什么不同? | 126 |
| 62. 宇宙线对于在空间旅行的人有多大的危险性? | 128 |
| 63. 中微子是物质还是能量? | 130 |
| 64. 气泡室是怎样工作的? | 132 |
| 65. 增殖反应堆是什么东西? | 134 |
| 66. 我们得把氢加热到多高的温度和保持这个温度多长的时间,才能使聚变反应持续进行下去? | 136 |
| 67. 电子显微镜是怎样工作的? | 138 |
| 68. 熵是什么? | 140 |
| 69. 宇宙是在不断衰亡吗? | 142 |
| 70. 熵和秩序之间有什么关系? | 144 |
| 71. 熵和时间之间有什么关系? | 146 |
| 72. 既然宇宙在不断衰亡,那它开始时是怎样兴起的? | 148 |
| 73. 无线电波和光波都被用来“观看”空间中的东西。此外,还有别种可用来“观看”东西的波吗? | 150 |
| 74. 当物质被加热时,它会发出红光,然后由橙变黄。但是,此后它就变成发白光。为什么它不按照光谱 | |

| | |
|---|-----|
| 的顺序变成“青热”呢? | 152 |
| 75. 什么是偏振光? | 154 |
| 76. 光能够对物质施加力吗? | 156 |
| 77. 红光通过棱镜时的变化最小, 而在通过衍射光栅时 变化最大, 为什么会有这种差别? | 158 |
| 78. 当两道光束互相干涉并产生暗区时, 能量发生了什 么变化? | 160 |
| 79. 什么是科里奥利效应? | 162 |
| 80. 声音在密度高的物质中(例如在水或钢中)要比在 空气中传播得快; 但它在暖空气中又比在冷空气中 传播得快, 而暖空气的密度却比冷空气低。这不是 是自相矛盾呢? | 164 |
| 81. 船下沉时是一直沉到海底, 还是当它们下沉到一定 深度时压力就会将它们保持在深水中? | 166 |
| 82. 哪些是最活泼的化学元素, 为什么? | 167 |
| 83. “贵”气体贵在何处? | 169 |
| 84. 为什么会形成晶体? 为什么晶体总有一定的 形状? | 171 |
| 85. 水能够压缩吗? | 173 |
| 86. 什么是金属氢? 氢怎么能成为金属? | 175 |
| 87. 我们所读到的“聚水”是什么? 它仍然是 H_2O , 那么 有什么不同呢? | 177 |
| 88. 水冻结时会什么会膨胀? | 179 |
| 89. 什么是燃料电池? 它们在发电上有什么优点? | 181 |
| 90. 什么是维生素? 我们为什么需要维生素? | 183 |
| 91. 生命是怎样开始的? | 185 |
| 92. 有可能形成以硅为基础的生命吗? | 187 |

| | |
|---|-----|
| 93. 为什么恐龙会灭绝? | 189 |
| 94. 人脑同计算机有什么差别?计算机能思考吗? | 191 |
| 95. 思考的速度有多快? | 193 |
| 96. “生物钟”指的是什么?它们是怎样工作的? | 195 |
| 96. 细菌、微生物、菌株和病毒有什么不同? | 197 |
| 97. 病毒是怎样发现的? | 199 |
| 98. 为什么红血细胞每隔几个月就更换一次,而大多数 脑细胞却可以活一辈子? | 201 |
| 100. 衰老的目的是什么? | 203 |

1

什么是科学的研究方法？

所谓科学的研究方法，很明显就是科学工作者在从事某项科学发现时所采用的方法。但是，这个过于简单的说明对我们没有多大帮助。能不能对这个问题做出更详细的说明呢？

好吧！我们可以描述一下这个问题的一个理想答案。

(1) 在进行科学研究时，应当首先认识到问题的存在。例如，在研究物体的运动时，首先应当注意到物体为什么会像它所发生的那样进行运动，亦即物体为什么在某种条件下会运动得越来越快（加速运动），而在另一种条件下则会运动得越来越慢（减速运动）。

(2) 要把问题的非本质方面找出来，加以剔除。例如，一个物体的味道对物体的运动是不起任何作用的。

(3) 要把你能够找到的、同这个问题有关的全部数据都收集起来。在古代和中世纪，这一点仅仅意味着如实地对自然现象进行敏锐观察。但是进入近代以后，情况就有所不同了，因为人们从那时起已经学会去模仿各种自然现象，也就是说，人们已经能够有意地设计出种种不同的条件来迫使物体按一定的方式运动，以便取得与该问题有关的各种数据。例如，可以有意地让一些球从一些斜面上滚下来；这样做时，既可以用各种大小不同的球，也可以改变球的表面性质或者改变斜面的倾斜度，等等。这种有意设计出来的情况就是实验，而实验对近代科学起的作用是如此之大，以致人们常常把它

称为“实验科学”，以区别于古希腊的科学。

(4) 有了这些收集起来的数据，就可以做出某种初步的概括，以便尽可能简明地对它们加以说明，亦即用某种简明扼要的语言或者某种数学关系式来加以概括。这也就是假设或假说。

(5) 有了假说以后，你就可以对你以前未打算进行的实验的结果做出推测。下一步，你便可以着手进行这些实验，看看你的假说是否成立。

(6) 如果实验获得了预期的结果，那么，你的假说便得到了强有力的事实依据，并可能成为一种理论，甚至成为一条“自然定律”。

当然，任何理论或自然定律都不是最后定论。这一过程会一次又一次地重复下去。新的数据，新的观察和新的实验结果将不断出现，旧的自然定律将不断为更普遍的自然定律所替代，因为这些新的定律将不但能说明旧定律所能解释的各种现象，而且还能说明旧定律所不能解释的一些现象。

以上这些，正如我已经说过的，是一种理想的科学研究方法。但是在真正的实践中，科学工作者并不需要像做一套柔软体操那样一步一步地进行下去，而且他们通常也不这样做。

比起旁的事情来，像直觉、洞察力甚至运气这一类因素常常更起作用。在整部科学史中充满了这样的例子。有不少科学家仅仅根据很不充分的数据和很少一点实验结果（有时甚至一点实验结果也没有），便突然灵机一动，得出了有用的、合乎事实的论断。这样的论断，如果按部就班地通过上述理想的科学研究方法进行，就可能要用好几年的时间才能得到。

例如，凯库勒就是在邮车上打瞌睡的时候，突然领悟到苯的化学结构的。洛维则在半夜醒来的时候，突然得到了关

于神经刺激的化学传导问题的答案。格拉泽却由于无聊地凝视着一杯啤酒，才得到了气泡室的想法。

然而这是不是说，一切都是凭好运气得来的，根本不需要动脑筋去思考呢？不，绝对不是的。这样的“好运气”只有那些具有最好领悟力的人才会碰上，换句话说，有些人之所以会碰上这样的“好运气”，只是因为他们具有十分敏锐的直觉，而这种敏锐的直觉则是依靠他们丰富的经验、深刻的理解力和平时爱动脑筋换来的。

2

你认为谁是迄今最伟大的科学家？

如果所提出的问题是“谁是第二伟大的科学家”，那就很难回答来。因为，据我看来，至少有十来位科学家可以看作是第二伟大的科学家。例如，爱因斯坦、卢瑟福、玻尔、巴斯德、达尔文、伽利略、麦克斯韦、阿基米得等，都可以算得上。

事实上，世界上很可能根本没有第二伟大的科学家。既然有那么多科学家都能如此合适地看作第二伟大的科学家，既然在上面列举的科学家中很难区别出到底谁更伟大，我们只好停止进行这项评选，干脆说他们都是名列前茅的选手。

但是，由于我们所提出的问题是：“谁是**最伟大的**科学家？”所以，要回答这个问题是没有多大困难的。我认为大多数科学史家都会立刻异口同声地说，牛顿是世界上从未有过的最伟大的科学家。尽管他也有他自己的一些缺点，例如，他是一个很糟糕的演讲者，还或多或少是个胆小怕事的人，是一

个喜欢自我怜悯的好哭的人，而且有时还容易灰心丧气，但是作为一个科学家来说，那是没有人能够和他相比的。

他由于研究出微积分而为高等数学奠定了基础。他由于进行了把阳光分解为光谱色的实验而奠定了现代光学的基础。他由于发现了力学上的三大定律并推导出这些定律所起的作用而奠定了现代物理学的基础。他由于研究出万有引力定律而奠定了现代天文学的基础。

任何一位科学家只要具有这四项功绩中的一项，就足以成为一位显赫的科学家，如果所有这四项贡献都是他一个人做出的话，那他就会毫无疑问成为名列首位的科学家。

当然，牛顿的伟大还不只限于他的这些发现。更重要的是他做出这些发现时所采取的方式。

古希腊人曾把大量科学思想和哲学思想汇集在一起。柏拉图、亚里斯多德、欧几里得、阿基米得和托勒密等伟大人物，在两千年当中一直像巨人一样屹立在后代人的心目之中。后来阿拉伯和欧洲的许多伟大思想家都没有能够越过古希腊人一步，在不引证古人的见解来支持其想法的情形下，都不敢提出自己的新见解。尤其是亚里斯多德，更是他们心目中的泰斗。

到了十六和十七世纪，才有一些实验家，如伽利略和波义耳等，敢于提出古希腊人的见解并非全是正确的。伽利略推翻了亚里斯多德在物理学上的某些论断，并作了不少工作（牛顿后来的三大运动定律就是对伽利略这些工作所进行的概括）。尽管如此，欧洲当时的知识界仍然不敢背离他们长期以来所崇拜的希腊人。

到了1687年，牛顿出版了他用拉丁文写的名著《数学原理》。根据大多数科学家的看法，这是自古以来第一部最伟

大的著作。在这部著作中，他提出了他的物体运动三大定律，他的万有引力理论以及许多其他问题。他以严格的希腊风格应用了数学，并以最完美的方式把各种现象联系在一起。凡是读过这部书的人，都不得不承认世界上终于出现了一位不但可与任何一个古代思想家并驾齐驱，甚至胜过他们的伟大思想家，不得不承认他所提出的宇宙图案不仅是无懈可击十分完善的，而且从它的合理性和必然性方面来说，都大大胜过希腊文献中所提到的东西。

随着这个伟大人物和这部伟大著作的出现，古希腊人加在人们思想上的枷锁终于被打碎了，现代人在智慧上的全部自卑感永远被打破了。

在牛顿逝世以后，亚历山大教皇用以下几句话谈到了他：

自然和自然规律隐藏在黑夜之中，
上帝差遣牛顿来到我们当中，
于是，他揭开了自然之谜，创业立功。^①

3

两个或两个以上彼此并不知道对方所做工作的科学家，为什么时常会提出同样的理论？

回答这个问题的一个最简便办法，是直截了当地说：这是因为科学家并不是在真空中工作的。这也就是说，他们全都深深地卷入到当时的科学结构和科学进步之中，并同时

^① 上述译文有误，这几句话的作者是一位名叫亚历山大·蒲柏(Alexander Pope)的英国诗人，并非教皇。——碧声注

面对着同样一些问题。

例如，在十九世纪上半叶，物种进化的问题在很大程度上仍然是个悬而未决的问题。有一些生物学家曾经激烈反对这种看法，然而另外一些生物学家则在那里积极地推测这种进化可能引起的后果，并竭力寻找物种进化的证据。尽管他们当中既有人反对，也有人支持这种看法，但几乎每一个生物学家都在思考这个问题，这是当时的实际情况。当时的主要问题是：

如果确实发生了物种进化，那么，到底是什么因素导致这种进化的呢？

在英国的达尔文当时正在思考这个问题。在东印度群岛的另一个英国人华莱士也在思考着同样的问题。这两个人都是周游世界的旅行家，都进行了类似的观察；而且在思考这个问题的关键时刻又都同时阅读了马尔萨斯的一本著作。马尔萨斯在这本著作中谈到了人口不断增长对人类所发生的影响。当时，达尔文和华莱士两人都开始思考这样一个问题：生物数量的增加对所有物种所造成的压力。哪一些个体将会生存下去，而哪一些个体将不能生存下去？结果，他们两人都得出了通过生物的自然淘汰而进行物种进化的新理论。

但是，上面所说的这些还不算是最令人惊讶的。因为这两个人都以同样的方式研究同样一个问题，都对同一一些事实进行观察，而又都阅读了同一本由另一个人所写的书，因此就很可能得出相同的答案。

到了十九世纪后半叶，许多生物学家都试图弄清生物的遗传机理。有三个分别住在三个不同国家的人，竟在同一时期以同样的方式研究了这个问题，并得出了相同的结论。而且这三个人在查阅过去的文献时，又都不约而同地发现了另

一个人（孟德尔）早在三十四年前就已经发现的、但一直没有引起人们注意的遗传规律。

十九世纪八十年代对科学工作者所提出的一项巨大任务，是如何能够以低成本生产出铝。当时，人们虽然已经知道了铝的特性和用途，但却很难从铝矿石中把它提炼出来。要从这项发现中发财致富，完全取决于能否研究出一种容易实现的技术。我们很难查明，到底有多少化学工作者当时曾经以另一些化学工作者已经取得的同一些经验为依据来研究这个问题。但是我们已经知道，有两个人在同一年——1886年——得出了同样的答案。其中一个美国的霍尔，另一个是法国的赫鲁特。这一点，似乎并不使人感到十分奇怪，令人感到惊讶的倒是：这两个人不但姓氏的第一个字母都是 H，并且两人既都生于 1863 年，又都死于 1914 年。

4

什么是戈德尔证明？戈德尔证明是否说明真理是不可得知的？

从欧几里得（2200 年前）以来，数学家一般都是从某些称为“公理”的陈述出发，推导出各种有用的结论。

从某种意义上说，这几乎就像是一种必须遵守两条规则的游戏。第一，公理应当尽量少。如果你能从某一条公理推导出另一条公理，那么，所推导出的那条公理就不能作为公理。

第二，公理必须是没有内在矛盾的。绝不允许从某一公理推导出两个相互矛盾的结论。

任何一本中学几何课本都要先列出一组公理：通过两点只能作一条直线；整体等于各个部分之和，等等。在很长一段时间内，人们都把欧几里得的公理看作是唯一可用来建立没有内在矛盾的几何学的公理，从而把这些公理看作是“真公理”。

但是，到了十九世纪，有人证明了欧几里得的公理是可以某些方式来加以改变的，因而可以建立另外一种不同的几何学，即“非欧几里得几何学”。这两种几何学虽然各不相同，但每一种几何学都不具有内在矛盾。从此以后，人们如果要问哪一种几何学是真几何学，就没有意义了。如果要问，就只能问哪一种几何学更有用些。

事实上，我们可以用许多组公理来建立几种各不相同但又各自并不具有内在矛盾的数学体系。

在任何一种这样的数学体系中，你都必定不可能根据它的公理推导出**既是如此又非如此**的结论，因为如果这样的话，这个数学体系就不可能不具有内在矛盾，就会遭到淘汰。但是，倘若你能做出一种陈述，并且发现你不能证明它既是如此又非如此的话，又将怎么样呢？

假如我说：“我现在所说的是假话”。

是假话吗？如果是假话，那么，我在说假话这件事就是假的了，因此，我必定在说真话。如果我在说真话，那么我在说假话这件事就是真的了，因此，我确实在说假话。我可以永无休止地来回这样说，结果，将永远无法证明我所说的到底是**如此**，还是**并非如此**。

假如你能对这些逻辑公理进行调整，以排除上面所说的

这种可能性，那么，你能不能找到另外的方法来做出这样一种既是如此，又非如此的说法？

1931年，一位奥地利数学家戈德尔终于提出一个有力的证明，他指出，对于任何一组公理，你都能做出既不能根据这些公理来证明事实确是如此，也不能根据这些公理来证明事实确非如此的说法。从这个意义上讲，任何人都不可能建立出一种可以凭此推导出一个**完美无缺**的数学体系的公理。

这是不是意味着我们永远不可能找到“真理”呢？当然不是的。

第一，因为一种数学体系不完美，并不意味着它所包含的东西是“假的”。如果我们不想超出这样的数学体系的限度来应用它，它就仍然是极其有用的。

第二，戈德尔证明只适用于数学中所应用的那几种演绎体系。但是演绎并不是发现“真理”的唯一办法。任何公理都不能帮助我们去推导出太阳系的大小。太阳系的大小是通过观察和测量而得出的——观测是得到“真理”的另一途径。

5

普通数和二进制数有什么区别？它们各有什么优点？

我们通常所用的数都是十进制数。这就是说，它们是按10的幂来进位的。我们写7291时，实际上就是 7×10^3 加上 2×10^2 加上 9×10^1 加上 1×100 。应当记住， $10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$ ； $10^2 = 10 \times 10 = 100$ ； $10^1 = 10$ ； $10^0 = 1$ 。因此，

7291 就是 7×1000 加上 2×100 加上 9×10 再加上 1。读出声的时候，就是七千二百九十一。

由于我们对应用 10 的各次幂已经非常习惯，所以我们只须写出他们所乘的数（如 7291），其余的都可以略去。

其实，10 的幂次并不是什么神秘的东西。任何一个比一大的数的幂次都可以起到这样的效果。例如，假定我们现在想用 8 的幂来写出 7291 这个数，这时应当记住 $8^0=1$ ； $8^1=8$ ； $8^2=8 \times 8=64$ ； $8^3=8 \times 8 \times 8=512$ ； $8^4=8 \times 8 \times 8 \times 8=4096$ 。这样，我们就可以把 7291 写为 1×8^4 加上 6×8^3 加上 1×8^2 加上 7×8^1 再加上 3×8^0 。（请你们自己把这个数算出来，并看看所得出的答数。）如果只写出各次幂所要乘的数字，它就应当是 16173。因此，我们可以说 16173 （八进制） $=7291$ （十进制）。

八进制的优点在于除了 0 以外，你只需记住七个数字。如果你想用数字 8，那你可以写出 8×8^3 ，而这就等于 1×8^4 ，因此，不管任何时候，你都可以用 1 来代替 8。所以十进制的 8 等于八进制的 10；十进制的 89 等于八进制的 131，依次类推。但是，用八进制时，一个数所用的总字数要比用十进制时多。由此可见，基数越小，所用的不同数字越少，但总字数则越多。

当你用二十进制时，7291 这个数将成为 18×20^2 加上 4×20^1 再加上 11×20^0 。在这种情形下，如果你把 18 写为 #，并把 11 写为 %，你就可以说 $\#4\%$ （二十进制） $=7291$ （十进制）。用二十进制时你将不得不用 19 个不同的数字，但是每一个数所用的总字数就会少些。

十进制是一种很方便的进位制。用这种进位制时，既不必记住过多的数字，而且在写一个数时，又可不必用过多的

字数。

什么是二进制数呢？在二进制的情况下，7291 这个数等于 1×2^{12} 加上 1×2^{11} 加上 1×2^{10} 加上 0×2^9 加上 0×2^8 加上 0×2^7 加上 1×2^6 加上 1×2^5 加上 1×2^4 加上 1×2^3 加上 0×2^2 加上 1×2^1 再加上 1×2^0 。（请你们自己把这个数算出来，看看得出什么结果。但要记住 2^9 是 9 个 2 的乘积，亦即 $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 512$ 。）如果只写出数字，那就是 1110001111011（二进制）=7291（十进制）。

由于二进制数只需要用两个数字，即 1 和 0，所以做加法和乘法演算特别简单。但是即使一个很小的数，例如 7291，也要用很多位数表示，因而很容易在我们头脑中造成混乱。

但是，电子计算机则可以使用一个双向开关。把开关拨向某一方向，即把电流接通时，它就代表 1。把开关拨向另一方向，即把电流断开时，它就代表 0。这样，通过操纵电路，使它根据二进制的加法和乘法规则接通和断开，计算机就能以非常快的速度进行算术演算。同按十进制原理设计、用标有 0 到 9 的齿轮来进行演算的普通台式计算器相比，它的演算速度要快得多。

6

什么是虚数？

大多数人最为熟悉的数有两种，即正数（+5，+17.5）和负数（-5，-17.5）。负数是在中世纪出现的，它用来处理 3-5 这类问题。从古代人看来，要从三个苹果中减去五个苹

果似乎是不可能的。但是，中世纪的商人却已经清楚地认识到欠款的概念。“请你给我五个苹果，可是我只有三个苹果的钱，这样我还欠你两个苹果的钱。”这就等于说： $(+3) - (+5) = (-2)$ 。

正数及负数可以根据某些严格的规则彼此相乘。正数乘正数，其乘积为正。正数乘负数，其乘积为负。最重要的是，负数乘负数，其乘积为正。

因此， $(+1) \times (+1) = (+1)$ ； $(+1) \times (-1) = (-1)$ ； $(-1) \times (-1) = (+1)$ 。

现在假定我们自问：什么数自乘将会得出+1？或者用数学语言来说，+1的平方根是多少？

这一问题有两个答案。一个答案是+1，因为 $(+1) \times (+1) = (+1)$ ；另一个答案则是-1，因为 $(-1) \times (-1) = (+1)$ 。数学家是用 $\sqrt{+1} = \pm 1$ 来表示这一答案的。

现在让我们进一步提出这样一个问题：-1的平方根是多少？

对于这个问题，我们感到有点为难。答案不是+1，因为+1的自乘是+1；答案也不是-1，因为-1的自乘同样是+1。当然， $(+1) \times (-1) = (-1)$ ，但这是两个不同的数的相乘，而不是一个数的自乘。

这样，我们可以创造出一个数，并给它一个专门的符号，譬如说 #1，而且给它以如下的定义：#1 是自乘时会得出 (-1) 的数，即 $(\#1) \times (\#1) = (-1)$ 。当这种想法刚提出时，数学家都把这种数称为“虚数”，这只是因为这种数在他们所习惯的数系中并不存在。实际上，这种数一点也不比普通的“实数”更为虚幻。这种所谓“虚数”具有一些严格限定的属性，而且和一般实数一样，也很容易处理。

但是，正因为数学家感到这种数多少有点“虚幻”，所以给这种数一个专门的符号“ i ”^①。我们可以把正虚数写为 $(+i)$ ，把负虚数写为 $(-i)$ ，而把 $+1$ 看作是一个正实数，把 (-1) 看作是一个负实数。因此我们可以说 $\sqrt{-1} = \pm i$ 。

实数系统可以完全和虚数系统相对应。正如有 $+5$ ， -17.32 ， $+3/10$ 等实数一样，我们也可以有 $+5i$ ， $-17.32i$ ， $+3i/10$ 等虚数。

我们甚至还可以在作图时把虚数系统画出来。

假如你用一条以 0 点作为中点的直线来表示一个正实数系统，那么，位于 0 点某一侧的是正实数，位于 0 点另一侧的就是负实数。

这样，当你通过 0 点再作一条与该直线直角相交的直线时，你便可以沿第二条直线把虚数系统表示出来。第二条直线上 0 点的一侧的数是正虚数， 0 点另一侧的数是负虚数。这样一来，同时使用这两种数系，就可以在这个平面上把所有的数都表示出来。例如 $(+2) + (+3i)$ 或 $(+3) + (-2i)$ 。这些数就是“复数”。

数学家和物理学家发现，把一个平面上的所有各点同数字系统彼此联系起来是非常有用的。如果没有所谓虚数，他们就无法做到这一点了。

① i 是英文 imaginary（虚幻的）的第一个字母，故有此说。——译者

7

什么是素数？数学家为什么对它们感兴趣？

素数是这样的整数，它除了能表示为它自己和 1 的乘积以外，不能表示为任何其它两个整数的乘积。例如， $15=3 \times 5$ ，所以 15 不是素数；又如， $12=6 \times 2=4 \times 3$ ，所以 12 也不是素数。另一方面，13 除了等于 13×1 以外，不能表示为其它任何两个整数的乘积，所以 13 是一个素数。

有的数，如果单凭印象去捉摸，是无法确定它到底是不是素数的。有些数则可以马上说出它不是素数。一个数，不管它有多大，只要它的个位数是 2、4、5、6、8 或 0，就不可能是素数。此外，一个数的各位数字之和要是可以被 3 整除的话，它也不可能是素数。但如果它的个位数是 1、3、7 或 9，而且它的各位数字之和不能被 3 整除，那么，它就可能是素数（但也可能不是素数）。没有任何现成的公式可以告诉你一个数是不是素数。你只能试试看能不能将这个数表示为两个比它小的数的乘积。

找素数的一种方法是从 2 开始用“是则留下，不是则去掉”的方法把所有的数列出来（一直列到你不想再往下列为止，比方说，一直列到 10000）。第一个数是 2，它是一个素数，所以应当把它留下来，然后继续往下数，每隔一个数删去一个数，这样就能把所有能被 2 整除、因而不是素数的数都去掉。在留下的最小的数当中，排在 2 后面的是 3，这是第

二个素数，因此应该把它留下，然后从它开始往后数，每隔两个数删去一个，这样就能把所有能被 3 整除的数全都去掉。下一个未去掉的数是 5，然后往后每隔 4 个数删去一个，以除去所有能被 5 整除的数。再下一个数是 7，往后每隔 6 个数删去一个；再下一个数是 11，往后每隔 10 个数删一个；再下一个是 13，往后每隔 12 个数删一个。……就这样依法做下去。

你也许会认为，照这样删下去，随着删去的数越来越多，最后将会出现这样的情况；某一个数后面的数会统统被删去因此在某一个最大的素数后面，再也不会再有素数了。但是实际上，这样的情况是不会出现的。不管你取的数是多大，百万也好，万万也好，总还会有没有被删去的、比它大的素数。

事实上，早在公元前 300 年，希腊数学家欧几里得就已证明过，不论你取的数是多大，肯定还会有比它大的素数，假设你取出前 6 个素数，并把它们乘在一起： $2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11 \times 13 = 30030$ ，然后再加上 1，得 30031。这个数不能被 2、3、5、7、11、13 整除，因为除的结果，每次都会余 1。如果 30031 除了自己以外不能被任何数整除，它就是素数。如果能被其它数整除，那么，30031 所分解成的几个数，一定都大于 13。事实上， $30031 = 59 \times 509$ 。

对于前一百个、前一亿个或前任意多个素数，都可以这样做。如果算出了它们的乘积后再加上 1，那么，所得的数或者是一个素数，或者是比所列出的素数还要大的几个素数的乘积。不论所取的数有多大，总有比它大的素数，因此，素数的数目是无限的。

随着数的增大，我们会一次又一次地遇到两个都是素数

的奇数对，如 5, 7; 11, 13; 17, 19; 29, 31; 41, 43; 等等。就数学家所能及的数来说，他们总是能找到这样的素数对。这样的素数对到底是不是有无限个呢？**谁也不知道**。数学家认为是无限的，但他们从来没能证明它。这就是数学家为什么对素数感兴趣的原因。素数为数学家提供了一些看起来很容易、但事实却非常难以解决的问题，他们目前还没能对付这个挑战哩。

这个问题到底有什么用处呢？它除了似乎可以增添一些趣味以外，**什么用处也没有**。^①

8

当一个不可抗拒的力遇到
一个什么力都不能使之运动的
物体时，将会发生什么情况？

这是一个经过无数次反复辩论的古典难题。

在我把答案告诉你之前，有必要先明确以下几点。凡是按合理的技巧来探索宇宙秘密的“游戏”，也和其他游戏一样，必须遵循一定的规则来进行。当两个人要在一起进行有意义的讨论时，他们首先必须就以下两点取得一致：第一，双方所使用的符号（字眼或其它）都应当代表一定的涵义；第二，双方都必须按照这种涵义来表达自己的意见。

凡是按一致同意的定义讲不清的问题，都应当扔在一边。这样的问题是没有任何答案的，因为这样的问题根本就不应

① 一点用处也没有吗？……听说在密码方面很有用哩。——碧声注。

该提出来。

例如，假定我提出这样一个问题：“正义有多重？”也许我正在想象一个手里拿着秤的瞎眼审判官的形象。

但是，重量是质量的一种性质，只有物质才有质量。确实，如果要给物质下一个最简单的定义，可以把它定义为“有质量的东西”。

正义并不是一种物质，而是一种抽象的东西。根据定义，质量并不是正义的一个特性，所以问正义有多重，是提出一个无意义的问题。这是一个没有答案的问题。

又如，通过一系列非常简单的代数运算，我们有可能证明 $1=2$ 。唯一的麻烦是，在证明的过程中，我们必须除以 0。为了避免这类会引起麻烦的等式（更不用说其他一些会把数学的有用性毁掉的证明了），数学家曾规定在任何数学运算中都不允许应用“除以零”这个算式。因此，“分数 $2/0$ 的值是多少”这个问题，也违背了“游戏”的规则，因而也是没有意义的。这个问题也没有答案。

现在，我们可以回过头来回答上面所提出的问题了：当一个不可抗拒的力遇到一个什么力都不能使之运动的物体时，将会发生什么情况？

所谓“不可抗拒的力”，按定义（如果这些字确实有一定涵义的话），就是一种无法抗拒的力，也就是任何物体（不管这个物体有多大）遇到它都会发生运动或遭到毁灭，但其本身则不会发生可觉察到的削弱或偏转的力。因此，宇宙中只要有这种不可抗拒的力，就不可能有一个什么力都不能使之发生运动的物体，因为我们刚才已经把不可抗拒的力定义为能使一切东西发生运动的力了。

所谓“什么力都不能使之运动的物体”，按定义（即如果

这些字确实有一定涵义的话)，无非就是任何力（不管这个力有多大）遇到它都将被它所吸收、而它则不会因为这个力而发生可觉察的变化或损伤的物体。在任何一个存在这样一个物体的宇宙中，就不可能同时存在不可抗拒的力这类东西，因为我们刚才已经把什么力都不能使之运动的物体定义为一个能抵抗任何力的物体了。

由此可见，如果我们所提的问题是说这两样东西（不可抗拒的力和什么力都不能使之运动的物体）同时存在的话，那么，我们所提的问题显然已经背离了这两个词本身所包含的定义，而这是这种推理游戏的规则所不允许的。因此，这个问题是一个没有意义的问题，它是没有答案的。

你也许会提出一个疑问：定义既然可以被定得如此严密，那么，岂非任何人都不能提出无法回答的问题了吗？正如我们在回答上面第四个问题^①时所解释的，事实当然并不是这样。

9

宇宙中究竟有多少粒子？

实际上，这个问题不可能有肯定的答案，这首先是因为没有人能确切地知道宇宙有多大。但是，我们可以作一些假设。

有人曾作过一个估计，认为在我们这个宇宙中大约有100,000,000,000（亦即 10^{11} ）个星系。这些星系，平均来说，每一个的质量都比太阳的质量大100,000,000,000（亦即 10^{11} ）倍。

^① 关于戈德尔证明的问题。——碧声注。

这就等于说，宇宙间物质总量等于太阳质量的 $10^{11} \times 10^{11}$ （亦即 10^{22} ）倍。换句话说，宇宙间的全部物质足够形成 10,000,000,000,000,000,000,000,000（亦即 10^{22} ）个太阳。

太阳的质量是 2×10^{33} 克。这就等于说，宇宙间的全部物质的质量是 $10^{22} \times 2 \times 10^{33}$ （或者说 2×10^{55} ）克。这个数字可以写为 20,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000 克。

现在让我们再从另一个方面来看一看。宇宙的质量几乎完全集中在它所含有的核子中（核子是组成原子核的主要粒子）。核子是很小很小的东西，需要有 6×10^{23} 个核子才能构成一克物质。

既然需要有 6×10^{23} 个核子才能构成一克物质，既然宇宙中含有 2×10^{55} 克物质，那么宇宙间总共就应该有 $6 \times 10^{23} \times 2 \times 10^{55}$ （或者说 12×10^{78} ）个核子。为方便起见，可以把这个数字写为 1.2×10^{79} 。

天文学家认为，宇宙间有 90% 的原子是氢，9% 的原子是氦，其余 1% 则是各种更为复杂的元素。就是说，在含有 100 个原子的一个典型样本中应当含有 90 个氢原子，9 个氦原子和 1 个别的原子（比方说一个氧原子）。我们知道，每个氢原子的原子核有一个核子，即质子。每个氦原子核含有四个核子，即两个质子和两个中子。每个氧原子核含有 16 个核子，即 8 个质子和 8 个中子。

因此，这 100 个原子总共应当含有 142 个核子，亦即 116 个质子和 26 个中子。

这两类核子有一个区别。中子不带电荷，因此不必去考虑同它相伴随的粒子（电子）。质子带正电荷，因此，既然整个宇宙被认为是电中性的，所以只要有一个质子存在，就应

然而，即使如此，我们仍然可以作一些推测。我自己就曾经想过，在宇宙间可能存在有某种称为“负能量”的东西，这种“负能量”和普通的“正能量”完全一样，所不同的仅仅是：同等数量的“负能量”和“正能量”加在一起，将会成为“**乌有**”（正如+1和-1相加等于零一样）。

反之，“乌有”则可能突然转变为一团“正能量”和一团等量的“负能量”。如果事情确是如此，那么，这一团“正能量”就可能发展成为我们现在所知道的这个宇宙，与此同时，还可能在别的什么地方存在一个相应的“负宇宙”。

但是“乌有”又怎么会突然变成两团相反的能量呢？

为什么不会呢？如果 $0 = (+1) + (-1)$ ，那么，这个零所代表的东西就完全有可能变成 +1 和 -1。也许在一个“乌有”的无限海洋中，会经常不断地形成大小相等的一对对正能量团和负能量团，以后，在它们经历了进化演变之后，又一次相互结合在一起而成为“乌有”。而我们现在则正好处在“乌有”与“乌有”之间的一个时期内的一个能量团中，并在对它感到奇怪。

当然，上面所说的仅仅是一种推测。迄今为止，科学工作者既未探测到任何像“负能量”这样的东西，也未找到任何理由来使他们设想宇宙间可能存在有这样的负能量。因此，除非他们有朝一日终于发现了这样的负能量，否则我的设想将是毫无意义的。

至于第二个问题，即宇宙之外是什么这个问题，我的回答是：宇宙之外是一个非宇宙。

你们看了这个答案，也许会说“你的这个答案丝毫也不说明什么问题”。你的话也许是对的，但是从另一方面讲，在实际生活中往往就有许多问题是得不到有意义的回答的（例

如“天到底有多高?”)。所以，这一类问题都是“没有意义的问题”。一般说来，科学工作者甚至根本不愿去思考这类毫无意义的问题。

然而，我们是不是可以从另一个角度来想一想这个问题呢？

假定你是北美大陆中部的一只具有高度智慧的蚂蚁，而且还是一只一辈子都在“旅行”的蚂蚁。在这种情形下，在你不断向前走的过程中，你已经走过了一平方米又一平方米的地面，同时你还发明了一个小望远镜，使你能看到你前方几公里以外的地面。在这种情况下，你一定会认为这块地面是无边无际的。

但是你也也许会提出一个疑问：这块地面是否有一个尽头呢？这样一来，就会进一步产生一个使你感到困惑的问题：“如果这块地面是有尽头的，那么，在尽头的那一边将是什么东西呢？”

当然，你所以会提出这个问题，是因为你唯一体验到的仅仅是地面。你从来没有见到过海洋，对海洋一无所知，因此，你除了陆地以外，不可能想象出别的什么东西。在这种情况下，你就很可能会这样回答：“如果陆地真是有尽头的话，那么，在陆地的那一边一定是一块非陆地，不管这块非陆地到底是什么东西。”看来，这样的回答应该说是的吧！

既然如此，如果我们把宇宙定义为物质、能量及由这些物质和能量所充填的空间这三者的总和，并且宇宙真是有尽头的话，那么，在宇宙尽头之外的就应该是散布在这个非空间的非物质和非能量，总之，是一个非宇宙，不管这个非宇宙到底是个什么东西。

如果这个宇宙是起源于一团正能量，而这团正能量是和

一团负能量一起由“乌有”形成的，那么，这个宇宙尽头之外的就应当是“乌有”，而这个所谓的“乌有”也许就是非宇宙的另一一种叫法。

11

为什么人们说“宇宙空间的低温”？一个空虚的宇宙空间怎么会有温度呢？

其实，既不应该这样说，也不能这样说。温度是一定数量的物质中每一个原子的平均含热量，因此，只有物质才能有温度。

假定宇宙空间存在一个像月球那样的天体，而这个天体距离它最近的恒星有好几光年，在这样的条件下，如果这个“月球”表面的初始温度是 25°C 的话，那么，这个“月球”一方面将会由于辐射而不断地失去热量，而另一方面则会从遥远的恒星的辐射而获得热量。但是由于从这些恒星到达这个“月球”的辐射很少，因此不可能抵偿“月球”本身的辐射而失去的热量，结果，这个“月球”的表面温度就会立即开始下降。

随着这个“月球”表面温度的不断下降，因它本身的辐射而失去热量的速率将会越来越少，到最后将出现这样一种情况，这时，它的表面温度已经如此之低，以致因它本身的辐射而失去的热量将会小到足可以和它从遥远恒星所吸收的辐射相平衡。这时，这个“月球”的表面温度确实是很低很低的，只

稍稍超过绝对零度。

人们在谈到“宇宙空间的低温”时，他们想到的例子正是这种离开所有恒星都很遥远的“月球”的极低表面温度。

实际上，我们的月球离开恒星并不太远，它离其中一个恒星——太阳——的距离很近，还不到 1.5 亿公里。假定我们的月球仍然处在它现在的位置上，但它永远只有一面向着太阳，那么，这一面将不断地吸收太阳的热，直到面向太阳的这一面中心的温度大大超过水的沸点。只有在这样高的温度下，由它本身的辐射而失去的热量才会和来自太阳的巨大热流相平衡。

但是，来自太阳的热只能以非常慢的速度透过月球本身的绝热物质，所以，背着太阳的那一面几乎不会获得热量，它所得到的一点点热量也会辐射到宇宙空间中去。这样，永远背离太阳的一面就将处于“宇宙空间的低温”状态。

然而，我们的月球是相对于太阳进行自转的，所以每自转一次其表面的各个部分平均只能从太阳那里得到相当于两个星期的辐射热。在这种只能从太阳获得时间有限的辐射的情况下，月球上只有个别地方的表面温度才勉强达到水的沸点。而在长夜中，其温度在任何时候都不会低于绝对温标 120 度（从我们地球上的标准来说，这个温度是相当低的），这是因为温度尚未下降到比这更低的时候，太阳就又升上来了。

但是，地球上的情况则与此大不相同，因为地球上有大气和海洋。海洋同光秃秃的岩石相比，能够更有效地吸收热，而且散热的速度也慢得多。它所起的作用就像一个热褥垫那样，当太阳晒的时候，它的温度不会上升得像陆地那样快，没有太阳的时候，它的温度也不会下降得像陆地那样快。此外，地球的自转速度很快，所以地球上的大多数地方每次只经历十

来小时的白天和黑夜的变化。同时，地球的大气所造成的风也会将热量从向阳的一面带到背阴的一面，以及从热带带到两极。

正因为如此，尽管地球和月球离太阳的距离大致相等，地球所经受的温度变化范围却比月球小得多。

一个处在比南极还要低的温度下的人如果被放到月球的背阴处，那将会发生什么情况呢？情况不会像你可能想象的那么严重。在地球上，即使穿着绝热服，我们的体温也会相当快地散发到大气层和大气层的风中去——它们会把我们的体热迅速带走。在月球上，情况就大不相同了。在那里，一个身穿保温宇宙服和宇宙靴的人，几乎一点也不会失去体热，因为在那里，体热既不会靠传导传到体外，也没有风通过对流现象把它带到空虚的空间中。他将会如同一个被放置在真空中的保温瓶那样，只可能辐射出极少量的红外线。在这种情况下，冷却将是一个十分缓慢的过程。当然他的身体本身会不断地产生热量，所以他将会更容易感到太热，而不会感到太冷。

12

什么是宇宙尘？它们是从哪里来的？

根据最新的天文学理论，星系最初是一团团巨大的气尘凝聚体，这些气尘凝聚体缓慢地旋转，分裂成为湍动的涡流，最后凝结成为恒星。在大量形成恒星的天区，所有的气尘实际上都会分别和其中某一颗恒星结成一体，因而气尘很少会

或者完全不会留在星系空间中。在球状星团中，在椭圆星系中以及在旋涡星系的中心部分，情况确实是这样。

但是在旋涡星系的外缘，这种过程就不会进行得这样彻底。由于所形成的星星为数较少，所以留下的气尘就会多一些。正因为我们处在银河系的旋臂上，所以我们能看到尘云在银河的辉光中形成一些暗斑。银河系的中心也正是被这些尘云遮住，才显得模糊不清。

形成宇宙的物质，绝大部分是氢和氦。氦原子一般是不会彼此结合的。氢原子虽然会彼此结合，但一般只彼此结合成对而形成氢分子（ H_2 ）。这就意味着，处于恒星与恒星之间的绝大多数物质是由一个个很小的氦原子和一个个很小的氢原子和氢分子所组成。这些物质形成了大量散布在恒星与恒星之间的星际气体。

星际尘（或者宇宙尘）的数量比星际气体少得多，它们是由粒子组成的。这些粒子虽然也很小，但却比单个原子或分子大得多，因此它们一定含有除了氢和氦以外的其他原子。

除了氢和氦以外，宇宙间另一种最普通的原子是氧。氧原子能和氢结合而形成氢氧基（OH）和水分子（ H_2O ）。氢氧基和水分子具有能够同它们所遇到的任何其它基团及分子相结合的倾向。正因为如此，宇宙间会逐步形成由许许多多这样的分子所组成的微粒。绝大部分宇宙尘很可能就是由氢氧基和水分子所组成。一直到1965年，天文学家才在宇宙空间探测到氢氧基，并开始研究它们的分布情况。从这以后，不断有报道说，宇宙空间存在既含有氢和氧、也含有碳原子的更复杂的分子。

由此看来，宇宙尘中一定也含有不及氢、氧和碳那么普通的原子所组成的原子团。科学工作者已经在星际空间探测

到钙原子、碘原子、钾原子和铁原子，他们是通过这些原子所能吸收的光而探测到它们的。

在我们的太阳系内，也存在类似的宇宙尘，这些宇宙尘很可能是由彗星造成的。在太阳系可见范围以外，可能有一个由大量彗星所组成的彗星壳，其中有一些彗星（也许是由于附近恒星的引力作用）向太阳的方向掉落。彗星是一团金属和岩石小碎片，这些碎片由冰加上冻结的甲烷、氦和其它这类物质结合成松散的团块。每当彗星走近太阳时，彗星中的某些物质便会因受热而融化，结果，其中的微小固体颗粒便获得了自由，并以一条长长的尾巴的形式散布在宇宙空间中。最后，这个彗星将完全崩解。

在太阳系的历史中已经有无数彗星发生了这样的崩解，正因为如此，太阳系的内圈才会到处散布有这样的宇宙尘，每天都有数十亿这样的宇宙尘粒子（“微陨石”）落到地球上。从事宇宙研究的科学家都对这些“微陨石”感兴趣，他们所以对此很感兴趣，固然有种种原因，其中的原因之一，是因为有一些较大的微陨石可能会给未来的宇航员或登月移民造成危害。

13

什么是脉冲星？

1967年夏天，剑桥大学的赫维什和他的合作者，在十分偶然的情况下，探测到来自天空的一种从未探测到的射电辐射。这种射电辐射是非常有规则的、每隔 $1\frac{1}{3}$ 秒出现一次

的脉冲。更确切地说，这种脉冲每隔 1.33730109 秒出现一次。发出这种脉冲的辐射源后来就被称为脉冲星。

接着，在这以后的几年中，天文学家又陆续发现了很多这样的脉冲星。说到这里，你们也许会提出一个疑问：脉冲星为什么未能更早发现呢？这是因为每一颗脉冲星虽然在每一次脉冲当中都会辐射出大量的能量，但这些脉冲是如此短暂，因此，射电波的平均强度是很低的。这就是天文学家为什么一直没有发现他们的原因。此外，由于天文学家在这以前都认为射电源是以稳定的水平辐射发出能量的，因此他们都没有去认真寻找这样的脉冲。

后来，在蟹状星云中发现了一颗脉动得特别快的脉冲星，同时还发现这颗脉冲星能在可见光的范围内发出辐射，而且光的闪烁正好和射电辐射的时间相一致。天文学家以前虽然曾多次观测到这颗脉冲星，但都以为它只不过是一颗普通的恒星，因此从未有人试图用足够灵敏的、能发现它每秒钟会闪烁三十次的这样一种观测仪器去对它进行观测。一颗脉动得这样快的脉冲星，如果单凭肉眼或者仅仅依靠普通的仪器来进行观察，它的光就似乎是很稳定的。

然而，脉冲星**到底**是一种什么样的星呢？一个天体如果会以周期性的间歇发射出能量的话，那么，在这间歇的时间内，它一定正在发生某种物理现象。例如，它也许是一个正在一会膨胀一会儿收缩的天体，并在每一次收缩时发射出一股能量。或者它也许正绕着自己的轴或围绕着另一个天体运转，并且每绕一周，就发射出一股能量。

难以解决的一个问题是：这种脉动为什么会进行得这样快，长的是每 4 秒钟脉动一次，短的则是每隔 1/30 秒就脉动一次。第一，这种脉冲星必定是一个非常炽热的物体，否则

它就不可能发射出这样大的能量。第二，它必定是一个很小的天体，否则它绝不可能脉动得这样快。

科学工作者以往所观测到的最小天体是白矮星。白矮星的质量可以和太阳的质量一样大（其炽热程度也可能和太阳差不多或者更大），但它的体积则不会比地球大。既然如此，这样的白矮星是否可能通过膨胀或收缩或者通过自转而发出脉冲来呢？会不会是两颗白矮星在那里彼此绕着转动呢？但是，不论天文学家用什么样的理论来解释这种现象，他们都无法想象出白矮星为什么会运动得这样快。

既然不可能是白矮星，那么，有没有可能是更小一点的天体呢？天文学家曾经根据理论做出了一个预测，认为恒星在引力的作用下可能坍缩到非常致密的程度，以致恒星里的所有原子核都被挤压而彼此紧挨在一起。在这种情况下，电子和质子将会相互作用而形成中子，结果，这个恒星将会成为一团“中子浆”。这样的“中子星”的质量可能有太阳那样大，但直径却只有十来公里。

不过，还没有人探测到中子星；由于中子星是如此之小，所以有些天文学家担心宇宙间即使有中子星存在，人们也无法探测到它。

可是，这样小的天体应当会飞快地自转，因而就会产生这样的脉冲。这是因为在这样的天体上可能会出现这样一些条件，使得其中的电子只能通过该中子星表面的某些点而逃逸出来。这样，当中子星自转时，电子就会像一个旋转着的喷头中喷出的水那样从其中喷射出来，每旋转一周，就会朝地球的方向喷射出一些电子，从而产生射电波和可见光。

美国康奈尔大学的戈尔德曾经指出，如果情况果真是这样，那么，中子星将会逐渐失去能量，因此，它的脉动率就应当

会逐渐减慢。他的推论经过了检验，并发现实际情况确是如此。因此，就目前看来，脉冲星很可能就是天文学家曾经担心永远无法探测到的中子星。

14

有人说中子星上每一立方厘米物质重达十亿多吨。这怎么可能呢？

一个原子的直径，大体上说，约为 10^{-8} 厘米。在普通的固体和液体中，原子与原子之间靠得很近。实际上是相互接触的。因此，普通固体和普通液体的密度取决于以下三个因素：一是原子的大小；二是原子在其中的密集程度；三是单个原子的重量。

在普通的固体当中，密度最小的是固态氢，它的密度是每立方厘米 0.076 克。密度最大的是稀有金属钷，它的密度为每立方厘米 22.48 克。

如果原子是一个不可压缩的固态小球，那么钷应当是所有物质当中密度最大的了。这样，一立方厘米物质的重量绝不可能超过一公斤，当然就更谈不上会有几吨重了。

但是原子并不是固态的，新西兰出生的物理学家卢瑟福早在 1909 年就曾经证明，原子中的大部分空间是空的。原子的外围只含有非常轻的电子，原子的 99.9% 的质量都集中在其中心的原子核内。

原子核的直径约为 10^{-13} 厘米（或者说约为原子本身直径的 $1/100,000$ ）。如果一团物质中的原子能被很紧很紧地挤压到一起，以致其中的电子都被推开，原子核被迫相互接触，那么，这团物质的直径就会缩小到只有原来直径的 $1/100,000$ 。

如果我们的地球被压缩成为一团原子核，其中的所有物质就将被挤压成一个直径只有 128 米的球体。太阳如果也受到这样的挤压，它将成为一个直径只有 13.92 公里的球体。如果宇宙的全部已知物质都被转换为相互接触的原子核，那么，它们将会成为一个直径为几亿公里的球体，可以绰绰有余地纳入太阳系的小行星带中。

恒星中心的热和压力能够破坏原子的结构并使原子核开始挤压到一起。太阳中心的密度要比铁原子的密度大得多，但是其中的一个个原子核仍然可以不受阻碍地自由运动，其中的物质仍然呈气体状态。有一些恒星却几乎完全由这样一些已被破坏的原子所组成。例如，天狼星的伴星就是一颗并不比天王星大的“白矮星”，但是它的质量却和太阳一样大。

原子核是由质子和中子所组成。所有质子都带有正电荷并会相互排斥，因此不可能把一百个以上的质子集合在一处。然而中子是不带电荷的，在适当的条件下，无数中子能够积聚在一起而形成一颗中子星。人们认为脉冲星就是这样的中子星。

如果太阳一旦变为一颗中子星，它的全部质量将会被挤压成一个直径只有现有直径的 $1/100,000$ 的球体，或者说将成为一个体积只有现有体积的 $1/1,000,000,000,000,000$ 的球体。这样一来，它的密度将会是其现在密度的 $1,000,000,000,000,000$ 倍。

太阳目前的总密度是每立方厘米 1.4 克。如果它一旦变

为中子星，它的密度就将成为每立方厘米重 1,400,000,000,000,000,000 克。

这就等于说，中子星上的每一立方厘米物质重达 1,400,000,000 吨（14 亿吨）。

15

什么是黑洞？

为了了解什么是黑洞，让我们先从太阳这样的恒星谈起。我们知道，太阳的直径为 1,392,000 公里，它的质量为地球质量的 330,000 倍。在这样大的质量，从表面到中心的距离这样长的情况下，位于太阳表面的任何东西所受到的引力大约相当于地球表面引力的 28 倍。

任何一颗普通的恒星都会由于下述两种因素的相互平衡而保持其通常的大小。其中一个因素是恒星中心有非常高的温度，因而会使恒星的物质经常处于膨胀的状态。另一个因素就是它本身具有很大的引力，从而会使恒星的物质倾向于收缩而挤压在一起。

但是在恒星生存期的某一阶段，其内部温度将会降低，这样一来，引力将会成为一个主导的因素，结果，这颗恒星就会开始坍缩，在这个过程中，恒星内部物质的原子结构会遭到破坏。这样一来，原子将不复存在，替代它的将是一个个电子、质子和中子。这颗恒星将会坍缩到这样一种程度，这时电子的相互排斥力将使该恒星不能够再进一步坍缩。

这颗恒星于是就成为一颗“白矮星”。像太阳这样的恒星

一旦坍缩成为一颗白矮星，它的全部物质将被挤压成为一个直径只有大约 16,000 公里的球体，它的表面引力将变成地球表面引力的 210,000 倍（因为它的质量虽然没有变，但是从表面到中心的距离则大大缩短了）。

在某些条件下，引力将变得如此之大，甚至能战胜电子之间的排斥力。结果，这颗恒星将会再度坍缩，并迫使其全部电子和质子彼此结合为中子，这样一来，这颗恒星将一直收缩到所有的中子都彼此接触为止。到了这一步，这个中子结构物又将会抵制进一步的坍缩，这颗星于是成为一颗中子星。这样的中子星将把太阳的全部质量压缩在一个直径只有 16 公里的球体内。结果，它的表面引力将是地球引力的 210,000,000,000 倍。

在某些条件下，引力甚至能进一步战胜中子结构的抗拒。这时候，再也没有任何东西能够抵抗得住它的进一步坍缩了。结果，这颗恒星就会坍缩到体积等于零，而它的表面引力就会无限地增大。

根据相对论，一颗恒星所发射出来的光，当它克服该恒星的引力场而向外射出的时候，将会失去一定的能量。引力场越大，所失去的能量也越大。这一点已经由科学工作者经过天文观测和实验室实验得到证实。

由太阳这样的普通恒星发射出的光，它失去的能量是很有限的。由白矮星发射出的光会失去较多的能量；由中子星发射出的光会失去比这更多的能量。当这颗中子星进一步坍缩时，就会出现这样一种情况：从它的表面向外射出的光将会失去它的全部能量，从而根本不可能逃逸出去。

一个比中子星坍缩得更厉害的天体，它的引力场将是如此之强，以致任何靠近它的东西都将被它所捕获，并且再也

不能从它里面逃逸出去。这就如同被捕获的物体落进一个无底洞的情况一样。而且，正如上面所说，甚至连光也不能逃逸出去，因此，这个坍缩了的天体将是黑的。正因为它既像个无底洞，而且又是黑的，所以天文学家就把它叫做“黑洞”。

天文学家目前正在宇宙的各个角落寻找可证明确有这种黑洞存在的证据。

16

恒星的温度能达到多少度？

这个问题的答案取决于你所说的是什么样的恒星，以及你所指的是恒星的哪一个部位。

在我们能观测到的恒星中，99%以上都和太阳一样，属于称为“主序星”的一类。至于恒星的温度，我们一般是指恒星的表面温度。下面我们就从这里谈起。

任何恒星都具有一种在其自身的引力作用下发生坍缩的倾向，但是当它坍缩时，它的内部会变得越来越热。而当它的内部温度越来越高时，这颗恒星就有一种发生膨胀的倾向。最后，两种倾向会达到平衡。结果，这颗恒星便达到了某种固定的大小。一颗恒星的质量越大，为了平衡这种坍缩所需要的内部温度就越大，因而它的表面温度也就越高。

太阳是一颗中等大小的恒星，它的表面温度为 $6,000^{\circ}\text{C}$ 。质量比它小的恒星，其表面温度也比它低，有一些恒星的表面温度只有 $2,500^{\circ}\text{C}$ 左右。

质量比太阳大的恒星，其表面温度也比太阳高，可达

10,000℃、20,000℃，甚至更高。在所有已知的恒星中，质量最大、因而温度最高、亮度最大的恒星，其稳定的表面温度至少可达 50,000℃，甚至可能更高。也许可以大胆地说，主序星的最高的稳定表面温度可以达到 80,000℃。

为什么不能再高呢？质量再大的恒星，其表面温度会不会比这还要高呢？到这里，我们不得不停下来。因为，一颗普通恒星，如果具有这样大的质量，以致它的表面温度竟高达 80,000℃以上，那么，这颗恒星内部的极高温度就会使它发生爆炸。在爆炸时，也许在瞬间会发出比这高得多的温度，然而当它爆炸之后，剩下的将是一颗更小和更冷的恒星。

但是恒星的表面并不是温度最高的部分。热会从它的表面向外传播到该恒星周围的一层很薄的大气层（亦即它的“日冕”）。这里的热量从总量上说虽然不算大，但是，由于这里的原子数量同该恒星本身的原子数量相比是很少很少的，以致每一个原子可以获得大量的热供应。又因为我们以每一个原子的热能作为测量温度的标准，所以，日冕的温度高达 1,000,000℃。

此外，恒星的内部温度也比其表面温度高得多。要使恒星的外层能够战胜巨大的向里拉的引力，就必须是这样。已经查明，太阳中心的温度大约为 15,000,000℃。

自然，那些质量比太阳大的恒星，它们不但表面温度更高，中心温度也同样会更高。同时，对于具有一定质量的恒星来说，其核心的温度一般总是随着它的年龄的增长而越来越高的。有一些天文学家曾试图计算出，在整个恒星爆炸的前夕，其核心的温度可以达到多少度。我所看到的其中一种估算，认为最高可达到 6,000,000,000℃。

那些不属于主序星的天体，其温度有多高呢？尤其是那

些在六十年代新发现的天体，其温度可达到多少度呢？例如脉冲星的温度可能达到多少度呢？有些天文学家认为，脉冲星实际上就是非常致密的“中子星”，这种中子星的质量虽然和一颗普通恒星一样大，但是它的直径只有十几公里。这样的中子星的核心温度会不会超过 $6,000,000,000^{\circ}\text{C}$ 这个“最大值”呢？此外，还有类星体，有人认为类星体可能是由数百万颗普通恒星坍缩而成的，既然如此，这种类星体的核心温度又有多高呢？

所有这些问题，迄今为止，还没有人能够回答。

17

在一颗恒星上，聚变反应 可以进行到什么程度？

我们知道，当质子和中子相互结合而形成原子核时，这样的结合不但是—种较稳定的结合，而且所含有的质量要比同样一些质子和中子单独存在时所含有的质量少。因此，在发生这样的结合时，多余的质量就会转变为能量而被发射出去。

—千吨氢(氢核由单个质子组成)可以转变为 993 吨氦(氦核由两个质子和两个中子结合而成)。失去的这 7 吨质量将作为同它等效的能量而被释放出来。

凡是像太阳这样的恒星都会辐射出以这种方式形成的能量，太阳每秒钟会把大约 $630,000,000$ 吨氢转变为略少于 $625,400,000$ 吨氦。换句话说，它每秒钟会失去 $4,600,000$ 吨

质量，然而即使在这种惊人的速率下，太阳仍然含有足够多的氢，以保证这种过程继续不断地进行数十亿年之久。

不过，太阳的氢供应量总有一天会消耗殆尽。这是不是说，到了那一天，这样的聚变过程将会终止，太阳从那时起将会成为一颗冷星呢？

情况并非如此，因为氦核并不是质子和中子的一种最“节约”的组合方式。氦核还可以经过聚变转化为更加复杂的原子核，例如可以经过聚变而成为像铁原子等一类很复杂的原子核，同时发射出更大的能量。

由此可见，前面所说的那1,000吨氢聚变为993吨氦之后，还可以进一步聚变为991.5吨铁。也就是说，当氢聚变成氦时会有7吨质量转变为能量，而当氦聚变为铁时，只有1.5吨的质量转变为能量。

然而，到了氢原子都聚变为铁原子，聚变过程就到头了。因为在铁原子核中，质子和中子是最稳定的形式组合在一起的。铁原子的任何转化，不论是转化为较简单的原子，还是转化为更复杂的原子，总是吸收能量、而不是放出能量。

因此可以说，当一颗恒星发展到“氦阶段”时，它已经用掉了五分之四可资利用的聚变能，而当朝着“铁的阶段”发展时，它放出剩下的那五分之一的聚变能，全部聚变能到此就用完了。

但是再往后又将发生什么情况呢？

在一颗恒星超过氦阶段继续向前发展的过程中，该恒星核心的温度将会变得越来越高。有人提出一种理论说，当恒星发展到铁阶段时，其核心的温度将会高到足以引起产生大量中微子的核反应。由于中微子不会被星体物质所吸收，所以它们一旦形成，就会以光速向四面八方飞奔，并把能量一

起带走。这样一来，该恒星的核心就会失去能量，并且很快就突然冷却下来，结果，这颗恒星就会坍缩成一颗白矮星。

在坍缩过程中，它的外层，由于仍然含有许多没有铁原子那么复杂的各种原子，因而将会全部立即发生聚变，并爆炸而成为一颗“新星”。由此产生的能量将会形成一些比铁更为复杂的原子，即周期表中位于铁以后的各种原子——一直到铀原子和超铀原子为止。

含有重原子的这种“新星”的碎屑将和星际气体混合在一起。由这类气体所形成的恒星就是“第二代恒星”，正因为如此，所以在“第二代恒星”中才含有少量在恒星本身的聚变反应中绝不可能形成的各种复杂原子，太阳就是这样的第二代恒星，而这也正是地球中为什么会有金和铀这类元素的原因。

18

所有恒星所发出的全部能量都到哪里去了？

恒星可以通过以下几种不同的方式发射出能量。

第一，恒星会发射出无质量的电磁辐射——光子，这种电磁辐射包括从能量最大的 γ 射线到能量最小的射电波（甚至一个冷的物体也会发射出光子；物质的温度越低，光子也越弱）。可见光就是这类辐射的一部分。

第二，恒星还会发射出中微子和引力子等无质量的粒子。

第三，恒星还会发射出各种具有质量的带电高能粒子，

主要是质子，但同时也包括数量较少的各种原子核及其它各种粒子。它们就是宇宙射线。

恒星发射的所有这些粒子（光子、中微子、引力子、质子等等），只要当它们是单独出现在宇宙空间的时候，它们将是稳定的。就我们所知，它们可以在数十亿年的时间内不发生任何变化地通过数十亿光年的真空。

由此可见，恒星所发射的一切粒子只要没有遇到任何会把它们吸收掉的物体，就会一直存在下去。拿光子来说，几乎任何东西都能把它们吸收掉。能量很大的质子就较难被别的东西阻挡和吸收，至于中微子，那就更难被别的什么东西阻挡和吸收了。关于引力子的情况，直到目前为止，人们尚未弄清。

假如我们的宇宙中，除了以固定不变的位形分布的恒星以外，什么东西也没有的话，那么，由某一颗恒星所发射出的每一粒子，除非它遇到了另一颗恒星并被它吸收掉，否则，都一定会在宇宙空间“旅行”。在这种情况下，所有的粒子将只会从一颗恒星“旅行”到另一颗恒星，这样，总的说来，每一颗恒星都应当能够收回它所发射出去的全部能量。从这种假定出发，宇宙似乎应当会永远不变地继续下去。

但是以下三个事实的存在、使实际情况不会像上面所说的那样。

第一，宇宙并不是单由恒星所组成，而是包含有大量的冷物质，从巨大的行星直到星际尘，当这些粒子遇到冷物质时，粒子就被吸收，冷物质则发射出能量较小的粒子以作为交换。这就意味着，总的来说，冷物质的温度会逐渐上升，而恒星所含的能量会逐渐减少。

第二，恒星以及其他天体发射出来的某些粒子（如中微

子和引力子)被物质吸收的几率是如此之小,以致在宇宙整个生存期间,业已被吸收的只占其中很小的一部分。这就意味着,在恒星发射出来的全部能量中,有很大一部分仍在宇宙空间中“旅行”,而这同样也等于说,恒星所含有的能量正在逐渐减少。

第三,宇宙正在膨胀。这就意味着星系与星系之间的空间正在逐年扩大,因此甚至像质子和光子等一类能被其他物体吸收的粒子,平均说来,也要旅行更长的路程才遇到其他物体而被吸收掉。正因为如此,恒星所吸收的能量抵偿不了它所发射的能量的倾向正在逐年加大。同时,为了填补因宇宙膨胀而增大的这部分宇宙空间,就一定会有额外的能量(亦即快速的高能的、但尚未被吸收的粒子)进入到这部分宇宙空间。事实上,这个道理是很明显的,只要宇宙还在继续膨胀,总的来说,它将会继续变得越来越冷。

当然,如果宇宙有朝一日开始再一次从膨胀转为收缩的话,情况就会倒转过来,到那时,宇宙将会开始再一次逐渐变热起来。

19

什么是太阳风?

早在1850年,一位名叫卡林顿的英国天文学家在观察太阳黑子时,发现在太阳表面上出现了一道小小的闪光,它持续了约5分钟。卡林顿认为自己碰巧看到一颗大陨石落在太阳上。

到了二十世纪二十年代，由于有了更精致的研究太阳的仪器。人们发现这种“太阳闪光”是普通的事情，它的出现往往与太阳黑子有关。例如，1899年，美国天文学家霍尔发明了一种“太阳摄谱仪”，能够用来观察太阳发出的某一种波长的光。这样，人们就能够靠太阳大气中发光的氢、钙元素等的光，拍摄到太阳的照片。结果查明，太阳的闪光和什么陨石毫不相干，那不过是炽热的氢的短暂爆炸而已。

小型的闪光是十分普通的事情，在太阳黑子密集的部位，一天能观察到一百次之多，特别是当黑子在“生长”的过程中时更是如此。像卡林顿所看到的那种巨大的闪光是很罕见的，一年只发生很少几次。

有时候，闪光正好发生在太阳表面的中心，这样，它爆发的方向正冲着地球。在这样的爆发过后，地球上会一再出现奇怪的事情。一连几天，极光都会很强烈，有时甚至在温带地区都能看到。罗盘的指针也会不安分起来，发狂似地摆动，因此这种效应有时被称为“磁暴”。

在本世纪之前，这类情况对人类并没有发生什么影响。但是，到了二十世纪，人们发现，磁暴会影响无线电接收，各种电子设备也会受到影响。由于人类越来越依赖于这些设备，磁暴也就变得越来越事关重大了。比如说，在磁暴期内，无线电和电视传播会中断，雷达也不能工作。

天文学家更加仔细地研究了太阳的闪光，发现在这些爆发中显然有炽热的氢被抛得远远的，其中有一些会克服太阳的巨大引力射入空间。氢的原子核就是质子，因此，太阳的周围有一层质子云（还有少量的复杂原子核）。1958年，美国物理学家帕克把这种向外涌的质子云叫做“太阳风”。

向地球方向涌来的质子在抵达地球时，大部分会被地球

自身的磁场推开。不过，还是有一些会进入大气层，从而引起极光和各种电现象。向地球方向射来的强大质子云的一次特大爆发，会产生可以称为“太阳风暴”的现象，这时，磁暴效应就会出现。

使彗星产生尾巴的也正是太阳风。彗星在靠近太阳时，星体周围的尘埃和气体被太阳风吹到后面去。这一效应也已在人造卫星上得到了证实。像“回声一号”那样又大又轻的卫星，就会被太阳风显著吹离事先计算好的轨道。

20

太阳还能使地球上的生命维持多久？

据我们所知，只要太阳保持着目前的能量辐射状态，就能使地球上的生命存在下去。我们可以确定出这个状态能持续多久的上下限。

太阳的辐射是在氢聚变成氦的过程中产生的。太阳要产生这么强烈的辐射，聚变物质的数量一定也该是很大的。实际上也是如此。在每一秒钟里，就有 630,000,000 吨氢聚变成 625,400,000 吨氦；其余的 4,600,000 吨则转化为辐射能，永远不再属于太阳了。这些能量中有一小部分射到地球，就足以维持我们这个星球上的生命了。

从太阳每秒钟消耗的氢的数量来看，它似乎不会维持很久。但是，这是由于没有考虑到太阳的巨大质量的缘故。太阳的质量为 2,200,000,000,000,000,000,000,000 吨（即二千二百亿亿亿吨）。这个质量当中大约有百分之五十三是氢，

这就是说，太阳目前约含有 1,160,000,000,000,000,000,000,000 吨氢。

如果你想知道的话，不妨告诉你：太阳质量的其余部分几乎全都是氦。比氦更复杂的原子，占太阳质量的百分之零点一弱。氦比氢更致密些。在相同的条件下，氦原子的质量是同量氢原子的质量的四倍。如果换算成体积——所占据的空间，太阳大约有百分之八十是氦。

如果假设太阳最初全部由氢组成，而且它一直以每秒钟六亿三千万吨的速率把氢转变成氦，并将保持这种速率的话，那么，我们就可以计算出：太阳已经辐射了大约四百亿年，并将继续辐射六百亿年。

实际上，事情并不如此简单。太阳是一颗“第二代的恒星”，它是由在好几十亿年前就已燃烧光、并已爆炸掉的恒星所留下的尘埃和气体所组成的。因此，在一开始时，太阳的组分中就含有大量的氦，几乎跟现在一样多。这就是说，用天文学的尺度来衡量，太阳只辐射了一段很短的时间，它的氢储量减少得不多。太阳可能还不到六十亿岁。

此外，太阳也不会一直保持目前这种辐射速率。氢和氦在太阳里并不是均匀地混合着的，氦集中在太阳的核心部分，而聚变反应则发生在这个核心的表层。

随着太阳不断辐射，氦所构成的核心会越来越大，在它的中心，温度也会越来越高，最后，这个温度会高到足以使氦原子变成其他复杂原子的地步。到那个时候，太阳将放出比目前更强的辐射来。不过，随着氦聚变的开始，太阳就会开始膨胀，并逐渐变成一颗红巨星。那时地球上将热得无法忍受，海洋就会煮干。据我们所知，这颗行星就不复是生命的适宜住所了。

据天文学家估计，太阳将在从现在算起的八十亿年后进入这一新阶段。不过，八十亿年也还是一个相当长的时间，因此眼下还没有必要惊慌。

21

如果太阳的表面温度是白热的，太阳黑子为什么又是黑的呢？如果黑子真是黑的，它们就该也是冷的。太阳上的东西怎么会是冷的呢？

这个问题看来确实像是一个难题。事实上，在十九世纪初期，就有一位伟大的天文学家赫歇耳曾断言说，既然黑子是黑的，它们就必定是冷的。为了解释这一点，他只能说，太阳并不是里里外外都很热。不错，它有一个白热的大气层，但在大气层的下面，则是太阳那冷的固体部分，人们可以透过太阳大气层的缝隙看到这个固体部分。这些缝隙就是我们所说的黑子。赫歇耳甚至认为，太阳内部的固体表面上冷到可以允许生物在那里生存。

但是，这种看法是错误的。现在，我们很清楚地知道，太阳通体都是热的。事实上，我们看到的太阳表面是太阳上最冷的区域，但即使在那里，对生物来说，也肯定是太热了。

辐射和温度是密切相关的。1894年，德国物理学家维恩研究了在不同温度下发射出来的各种光辐射。他的结论是：在

理想的情况中，在每个特定的温度下，每一个物体都会辐射出特定波长范围内的光，而与物体本身的化学组成无关。

随着温度的升高，峰值辐射的波长会变得越来越短，对于任何物体都是如此。在摄氏六百度左右，就会有相当多的辐射进入可见光的频率范围，于是物体就会呈现暗红色。当温度再升高时，物体就变为鲜红色，然后变为橙红色、白色和蓝白色。如果温度足够高，辐射频率就会大部分位于紫外区，甚至比这还要高。

仔细地测量了太阳峰值辐射的波长（它位于黄光区域内），我们就可以计算出太阳表面的温度，这个温度大约是 $6,000^{\circ}\text{C}$ 。

太阳黑子并不处于这一温度上。它们比这个温度要低不少，我们认为，在黑子的中心部分，温度只有 $4,000^{\circ}\text{C}$ 。太阳黑子很可能是一团膨胀的巨大气体。这种膨胀在太阳上造成了一定的温度降，正像电冰箱里的情形一样。要使一个巨大的黑子能抵御住从四下里温度更高的地方传递进来的热量，保持住数日或数周的低温，需要有一个巨大的热泵才行。不过，关于太阳黑子生成的机制，天文学家至今仍未找到完全满意的解释。

即使是摄氏四千度，太阳黑子也应该很明亮。它应该比地球上的弧光灯还要亮许多，而弧光灯已是亮得不能用眼睛去直视它了。

其实，太阳黑子也确实比弧光灯亮，这一点已经用仪器检测出来了。问题出在这里：我们的眼睛是不能看出光的绝对强度的。我们在判断亮度时，靠的是与四周环境的比较。太阳表面上那些温度较高的正常区域的亮度，是黑子中心低温区域亮度的四至五倍，与前者相比，后者在人眼中就显得是

黑的了。这种黑只是光学上的错觉。

这一点有时在日蚀时可以看出来。在太阳明亮的圆面上，掩蚀太阳的月亮朝向我们的一面的确是黑的。当月球的边缘掩过一个巨大的太阳黑子，使我们能在月亮的衬托下来观察黑子的“黑”时，我们就能够看出，黑子实际上并不黑。

22

为什么所有行星的轨道都 近似地位于一个平面上？

对于行星都在同一个轨道平面内这一点，最合理的天文学推测是：它们是由同一薄层物质生成的。

目前流行的理论认为，太阳系原先是一团巨大的尘埃和气体，最开始时是旋转的球体。在它本身所具有的重力影响下，它逐渐凝聚起来，因此旋转会加快，以保持角动量的守恒。

随着这团星云越来越凝聚，转得也越来越快，由于离心力的作用，一部分物质会被从赤道平面上甩出去。这部分被甩出去的物质只占整体的百分之几，它们在星云中心的主体位置外围形成一个巨大的薄层。由于某种原因（至于具体是什么原因，大家还没有一致的看法），从这一薄层物质中，又凝聚出各个行星，而星云的中心主体则变成了太阳，各行星在原来的薄层的位置上继续运转。正因为如此，它们几乎都在同一个平面——太阳的赤道平面上旋转。

由于同一个原因，各行星在凝聚的过程中所形成的各个

卫星，一般也都在同一个平面上，它们也与各个行星的赤道平面相合。

至于例外的情况，则被认为是整个太阳系形成许久以后发生的剧烈变故造成的。冥王星在与地球运转平面成十七度角的平面上运行（其它各行星都没有这样倾斜的轨道）。有些天文学家认为，冥王星原先可能是海王星的一颗卫星，后来有某种大变故使它摆脱了海王星。海王星目前的一颗最大的卫星“特瑞敦”并不在海王星的赤道平面上运行，这也是这颗行星发生过大灾变的另一个证据。

木星有七颗位于外围的小卫星不在它的赤道平面上。土星的最外面一颗卫星也是这样。这些卫星可能在形成太阳系时都不是在它们目前所处的位置上形成的，而是很久以后才被这些大行星俘获过来的小行星。

在火星和木星之间运行的小行星当中，有许多小行星的轨道平面都有很大的倾角，这也同样是发生过灾变的迹象。这些小行星原先很可能是一颗和各行星在同一个平面里运行的较小的行星。在太阳系形成后许久，可能是一次爆炸或一系列爆炸使这颗苦命的行星裂成许多小块，走上各自的轨道，其中有许多和原先的轨道大不相同。

彗星有各种各样的运行平面。对此，有些天文学家认为，在太阳系的边远处——离太阳大约有一光年上下——存在着一个延伸得很远的彗星星云。它们很可能是在发生普遍的收缩和赤道平面上出现薄层物质之前、就由原先的球状星云的外层凝聚成的星体。

当一颗彗星由于偶然的机，从这个球层上掉了下来，落入太阳系内部时（这可能是由于遥远恒星的引力影响），它就会在任何一个平面上绕太阳运行起来。

23

冥王星与其它各行星有什么 不同？为什么会有这些不同？

冥王星因为是离太阳最远的一颗行星而引人注目（它离太阳的平均距离约 58 亿公里）。不过，总得有那么一颗行星是最远的，冥王星不过刚好处在这个位置上而已。

然而，事情还不止这样，冥王星具有一些不寻常的特性，因而与其他八大行星很不相同，这使它引起了天文学家很大的好奇心。例如：

(1) 冥王星有比其他各大行星形状更扁长的椭圆轨道。正圆的偏心率为零，地球轨道的偏心率只有 0.017，这使它近于是个正圆。然而冥王星的偏心率却为 0.25。有的时候，它离太阳会近到 43 亿公里；有的时候却远达 72 亿公里。事实上，当冥王星离太阳最近时，它要比海王星还接近太阳，因此有一段时间它不再是最远的一颗行星。现在，它正在向比海王星还靠近太阳的位置运动，它将把这种地位保持四十年上下。

(2) 冥王星的轨道在所有大行星当中是最倾斜的。如果在太阳的一侧把所有的行星在它们的轨道上排成一列的话，它们差不多刚好一个挨着一个，只有冥王星是例外。冥王星的轨道平面与我们的地球轨道平面成 17 度角，因此，它既可能高踞于其它行星的总平面之上，也可能远远落在它们的总平面之下。因此，它从来不会在跨越海王星轨道时与海王星碰

撞——离海王星远着呐。

(3) 除冥王星外，八大行星可分成两类。第一类是靠近太阳的四颗行星：水星、金星、地球和火星，这些行星都比较小，密度比较大，相对来说没有多少大气。此外，还有四颗较远的行星：木星、土星、天王星和海王星，它们是大行星，密度小，大气层很厚，冥王星不属这些“气儿吹成的大块头”之列，但却像内行星一样，是一个小小的致密世界。它所处的位置确实有些不相称。

(4) 除水星和金星外——它们离太阳太近了，万有引力效应会使它们的运动减慢——其他行星都可以说是绕着自己的轴心迅速转动着的。它们的运转周期从 10 小时到 25 小时。但是，冥王星的自转周期是 153 小时——差不多是七天。

为什么一切都是这样地走极端呢？冥王星这样与众不同，是什么原因呢？

有人提出了一个特别有意思的设想。这种设想认为：冥王星在一开始并不是颗行星，而是海王星的一颗卫星，而在某种宇宙灾变中，它从自己的卫星轨道上被抛了出来，成了独立的行星。

这样的爆炸（如果真的是爆炸的话）完全能够把它送上一个倾斜的、不匀称的轨道，但这个轨道还会把它带回自己原来从海王星抛出去的地方。

作为一颗卫星，它可以是小而致密的，无须像真正的外行星那样一定得是那种气儿吹成的大块头。而且，它还能以自己在海王星重力作用下绕海王星运行时所具有的旋转速度自转下去（卫星一般都是这样的，我们的月亮就是如此）。这时，冥王星就很容易以七天为自己的自转周期了（月亮的自转周期是四个星期）。当冥王星从海王星那里被甩出去时，它可

以保持自己的自转周期，同时以最特殊的身份成了一颗行星。

不过，糟糕的是，所有这一切都只是臆测。对于冥王星是否曾是海王星的卫星，我们并没有过硬的证据。即使算是说对了的话，我们也还不知道冥王星是被什么灾变把它搞成现在这个样子的。

24

彗星为什么有尾巴？

彗星把人类吓怕了许多年代。偶尔，天空中会莫名其妙地出现一颗彗星。它的形状和其他任何天体都不相同。它模模糊糊，轮廓并不清晰，而且还拖着一个不甚分明的尾巴。在某些富于想象的人看来，这个尾巴很像是一个哭泣着的妇女的散乱头发（“彗星”一词就是从拉丁文的“头发”一词变来的），因此，人们认为它预示着大难将临。

到了十八世纪，人们终于确认出，某些彗星在固定的轨道上绕着太阳转动，不过，这些轨道一般都是非常扁长的。当彗星在轨道的远端时，人们看不到它们。只有当它们位于近端时——这在几十年中才有一次（也许是上百或上千年）——它们才成为可以看见的天体。

1950年，一位名叫奥尔特的荷兰天文学家提出，有一团巨大的星云，其中可能包含着几十亿颗小行星，在距离太阳一光年或甚至更远的地方运行。它们比冥王星这颗最远的行星还要远一千倍，而且，尽管它们为数甚众，我们却全然看不见

它们。每隔那么一段时间，可能在邻近恒星的引力作用下，一些小行星在轨道上的运动会放慢下来，并开始朝太阳的方向落下。偶尔会有某个小行星深深地钻进太阳系的内部，在离太阳几百万公里的近处翱翔，自此之后，它就将保持自己的新轨道，成为我们所看到的彗星。

几乎与此同时，美国天文学家惠普勒也提出，彗星主要是由低沸点的物质（如氨和甲烷）构成的，同时也包含有细碎的石砾。这团彗星云在远离太阳的时候，氨、甲烷和其他物质都凝固成为坚硬的“冰块”。

这种冰冷的彗星结构，在外层空间迅速运行时是稳定的。但是，一旦它们慢了下来，向太阳靠近时，又会出现什么情况呢？当它进入太阳系内层时，会从太阳接受到越来越多的热量，使得冰块开始变成蒸汽，原先被凝在冰块表层的石砾颗粒得到了自由，结果，彗星的核心就被一团尘埃和蒸汽所形成的云雾包围起来。越靠近太阳，这团云雾就越稠密。

太阳朝四面八方刮着太阳风——一种向外奔涌的亚原子粒子云。太阳风对彗星有一股作用力，这种力超过了彗星本身的微弱引力，彗星内的尘雾云就开始被太阳风吹出来，向背离太阳的方向伸展。随着彗星接近太阳，太阳风加强了，尘雾云就成了背离太阳方向的一条长尾。离太阳越近，尾巴就越长，然而，这种尾巴是由极其稀薄的分散物质构成的。

自然，彗星一旦进入太阳系的内层空间，就不会长期存在下去。每靠近太阳一次，就造成一次物质损失。这样，转了几十次以后，彗星就变成了很小的石头核，或者干脆碎裂成小陨石团。有一些这样的陨石团正在确定的轨道上围绕太阳运行。当它们在地球的大气层里穿过时，就会出现壮观的“流星雨”。这些流星雨无疑是彗星的遗骸。

25

为什么月球总是以固定的一面对着地球？

月球的引力造成地球两侧海水的升涨，形成每日两次的大涨潮。随着地球从西向东自转，这两次涨潮——一次永远冲着月亮，另一次则背着月亮——在地球上从东向西移动。

潮水在地球上运动时，会在白令海和爱尔兰海这样的浅海海底掠过。这样会造成摩擦，把转动的能量变成热。由于地球的转动能就这样慢慢地消耗着，我们这颗星球的绕轴自转就会放慢。潮汐对地球旋转所起的作用就像一副车闸，结果，每隔一千年，地球上的一天就会延长一秒钟。

在月球引力影响下位置升高的不只是海洋。地球的固态地壳也相应发生变化，不过不那么容易注意到就是了。岩层会沿着地球产生两次轻微的凸起，一次朝着月亮，一次在地球的另一面。在岩石绕着地球凸起的过程中，岩层之间的摩擦力也消耗着地球的转动能量。当然，这种凸起并不造成岩石环绕地核的转动，但是，当我们这个行星运动而使各个不同的部分在月亮下面经过时，这种凸起会此起彼伏。

月球上没有大海，没有潮汐。然而，它的固体表面层会对地球的引力发生反应——地球的引潮力比月球对地球的引潮力大八十倍，因此，月面凸起的程度要比地面大得多。同时，如果月球也是以二十四小时为周期自转的话，月球上所受到的潮汐摩擦力就要比地球上强烈。此外，由于月球的质量比地球

小许多倍，要是它的自转周期与地球相同，它在开始时所具有的总能量就要小得多。

随着月球上较小的初始转动能量在地球所引起的较大凸起中迅速消耗掉，它的自转周期相对说来就会以很快的速率变长。它的自转速度一定早在几百万年之前就减慢到月球的一天等于地球的一个月那么长的地步了。到了这时，月亮就会永远用同一面对着地球。

这时，月面的凸起就被“冻结”起来，有一处凸起就在我们所看到的这一面的正中央，永远对着我们。另一处就在我们所看不到的那一面的正中央，永远背着我们。在月球运行时，这两处都不再变动位置，于是不再有升降变动，也就没有摩擦效应来改变月球的自转周期了。因此，月球将永远保持着以同一面朝向我们的状态。你瞧，这并不是出于巧合，而是引力和摩擦作用的必然结果。

月球的情况是较为简单的。在一定条件下，潮汐摩擦力可以造成更复杂的稳定条件。例如，近八十年来，人们一直认为水星（离太阳最近的行星，受太阳引力的影响最强烈）也像月球以一面朝向地球一样，总是以一面对着太阳。实际上人们已经发现，在水星的情况下，摩擦效应能造成周期为 58 天的稳定自转，这刚好是水星绕太阳公转周期——88 天——的三分之二。

26

在月球上发现的“质集”现象是怎么一回事？

只要能够假设宇宙间所有各个物体的质量都集中在一点，牛顿的万有引力定律就可以用十分简单的公式表达出来。如果物体是在很远的地方，我们就可以作这种假设。但是，物体彼此离得越近，就越需要把质量是分布在一个大区域里这一点考虑进去。

即使在这种情况下，只要能保证如下两点，结果也还是很简单：（1）物体是一个圆球；（2）它的密度沿半径方向对称分布。所谓“沿半径方向对称分布”，是指这样的情况：如果物体在中心上密度很大，而在离开中心时密度变得越来越小，那么，无论我们从中心点沿哪一条半径向外走，它的密度都以同样方式减小。即使密度有什么突变，也没有什么关系，只要这种变化在从中心向各个方向走时都同样发生就行。

所有天体，只要它们足够大，就几乎都满足这两个条件。它们在形状上一般都很接近于球体，密度也差不多总是沿半径对称的；当然，在天体彼此相隔十分近的时候，应该允许出现一定的偏差。在研究月球和地球间的引力效应时，就要考虑到地球不是个正球体，它在赤道区域内有些隆起。隆起部分的多余物质产生了自己的微小的引力效应，这是必须考虑进去的。

二十世纪六十年代，美国把几只空间容器（“月球轨道探

测器”)发射到围绕月球运行的轨道。由于详细地掌握了月球的大小和形状,火箭专家相信自己能够精确地计算出这些容器环绕月球的速度该有多大。然而,使他们惊讶的是,他们发现这些空间容器在轨道的某些地方走得太快了一点。

人们对这些轨道进行了详细研究,结果发现,空间容器在飞越月球上广大的叫做“海”的地区——这是一些平坦的地区,几乎没有火山——时,速度会稍稍变快一些,这只能是由于月球的密度沿半径并不十分对称而造成的。在这些“海”中,一定存在着太多的质量,所以产生了事先没有预料到的附加引力效应。于是,天文学家开始谈起“质量集中”,或者简称为“质集”的现象来了。

质集是什么原因造成的呢?

现在有两种理论。有些天文学家认为,这些平原地区是由极大的陨石在月球上碰撞出来的特大号环形山,这些陨石可能埋入地下,至今仍在那里。它们的主要成分可能是铁,比普通月面物质的比重大得多,因此会呈现出质量高度集中的异常现象。

第二种理论认为,在月球的早期,月面上的“海”真的是海洋。在海水被蒸发到星际空间之前,海底积聚了厚厚的沉积物,这些物质现在还在那里,造成了多余质量的集中。

将来进一步对月球进行探索,准会确定出这两种理论是否有一个是正确的,以及是哪一个是正确的。一旦知道了真情,它又会再告诉人们许许多多关于月球(以及地球)的早期历史。

27

人们已经先后六次登上月球，在那里都发现了些什么呢？

从某种角度来看，由于人们已做的工作毕竟有限，因此，不应对这些月球探险抱有过多的指望。我们已做到的，充其量只是在相当于南北美洲总面积那样大的月球上，从相隔很远的六个地点挖得了一些月面物质而已。宇航员每次来到月面上，都会有一些惊人的发现，但是，这离解答月球之谜，可以说还相隔十万八千里呢？

何况，天文学家和地质学家也只不过刚刚着手工作。对月球上岩石的研究需要进行好几年。这一课题可能会有很大的用处，因为在这些岩石中，有一些是在太阳系开始存在的最初几亿年里生成的，它们已有四十亿岁上下了。在地球上，迄今仍没有找到这种早期生成、并且无变化地保留了下来的物质。

由于人们对月面物质化学成分进行研究的结果，有一点已经很清楚，这就是：月球上各种元素的分布与地球上有着显著的不同。同地球相比，月面岩石中那些倾向于形成低熔点化合物的元素——如氢、碳、钠、铅等等——的含量很少；而生成高熔点化合物的元素——如锆、钛和各种稀土金属——在月壳中的含量则比地球多。

用推理的方法对这一现象进行解释时，我们可以假设月球表面曾有过很高的温度，而且这一高温时期相当长，以致

低熔点化合物大部分蒸发散逸掉了，高熔点成分则原封不动地留了下来。由于在月球上发现大量的玻璃状物质——这似乎表明月面大部分曾熔化过，后来又重新凝固起来——这种推论就得到了进一步的支持。

但是，这些热量是从哪里来的呢？可能来自早期大陨石对月球的撞击，也可能来自火山的大喷发。如果热源是这两者，熔凝效应会是区域性的。但是，到目前为止，人们得到的证据表明这一现象在月球上是普遍存在的。

也许，这一效应的产生是由于太阳曾有过一段很长的高热时期。如果真是这样，地球过去也会处于同样的高温之中。尽管地球与月球不同，有大气层和海洋保护着它，但也应该能在地球上找到这一高热时期的证据。目前尚未发现这种证据，不过，这可能是由于地球上没有一块岩石能从太阳系历史的最初几亿年就一直无变化地保存下来的缘故。

第三种可能性是月球曾一度比现在离太阳近得多。起先，它可能是具有狭长椭圆轨道的行星，轨道的一端离太阳就像水星离太阳那样近。这时，月球表面就会受到太阳的强烈焙灼。

在轨道的另一端，它可能离地球的轨道比较近。在过去的某个时候，也许就在十亿年前，这种状况使得它被地球俘获过来，因而把它从行星变成了卫星。

不管是什么原因，月球的这种被烘烤过的表面有一点使人们很失望：它增大了在月球表层几公里深度内不会有水分存在的可能性，这意味着在月球上建立移民点要比有水源时困难得多。

火星上有生命吗？

说真的，对这个问题，我们现在还回答不出来，除非科学家登上火星并进行研究，否则，我们可能永远不会知道。

不过，根据目前我们所掌握的知识来看，火星上是有希望存在生命的。诚然，火星探测器“水手九号”从火星上方1600公里的位置上，对火星的所有区域进行了观察，并没有发现什么生命迹象。但是，如果用同样的方法，在同样的高度向地球窥探，也同样不会发现地球上的生命迹象。

火星的大气十分稀薄，只有地球上大气密度的百分之一，而且，它的成分几乎都是二氧化碳。还有，火星离开太阳的距离是地球的一倍半，那里的温度会像地球南极洲地区夜间的温度那样低。而在它的两极地带，低温会使二氧化碳冻结成为固体。

如果没有特殊的保护措施，人类是无法在这种环境里生存的。事实上，地球上的任何动物都无法在那里生存。到火星上去的“地球人”只能在室内或地下洞穴里生活，然而，这是不是就意味着火星上不存在能适应火星条件的高级生命形态呢？应该说，存在的机会是很小的，但不能完全排除。

那么，简单的生命形态——像地衣一类的植物和细菌一类的微生物——会不会存在呢？它们存在的机会要大得多，或许，火星上的环境对它们还是相当不错的哩。

大家知道，过去人们曾希望月球上有可能存在着简单的

生命形态，这种希望现在正在逐渐破灭，但火星上的条件要比月球上好得多。火星离开太阳比月亮离太阳远，又有一层可以起一些保护作用的大气，因此，火星所受到的会把形成生命所必须的复杂分子破坏掉的强烈太阳辐射会少一些。

还有，由于火星比月球冷，又比月球大，它就更能成功地把造成生命起源的挥发性物质保留下来。火星上有丰富的二氧化碳，肯定还含有水分。有了这些东西，生命就能够形成，既然地球上有些十分简单的生命形态可以在类似火星的条件下继续生存下去，那么，从一开始就适应于火星上的条件的生命形态，就更应当如此了。

“水手九号”所拍摄的照片表明，火星上的条件不一定总像目前那样严酷：火星上有火山地带，有一座大火山叫尼克斯·奥林匹亚，这座山的直径比地球上的任何一座火山都要大上两倍。这表明火星从地质学上说是一个活跃的世界，它正处在变化之中。

火星上有一些曲折的线条，大家都觉得这些东西看起来像是河道，有的天文学家甚至认为，这些线条的外表就能说明，不久以前（从地质学上说），这里有水流过。还有一点，火星两极的冰冠看起来似乎有周期性的消长变化。

可能火星会交替着经历两种状态。一种是漫长的冬天，这时候，大部分大气都冻结了，只剩下极其稀薄的一点儿（目前正是如此）；另一种是漫长的夏季，这时候，全部大气都将化为气体，大气层会跟地球的一样稠密。

也许，火星上的生命目前正在火星的土壤里休眠，一到长夏来临，大气浓厚起来，水也流动起来时，那里的生命就会比我们目前所想象的更加欣欣向荣地生长起来。

29

如果火星上生存着简单生命，是否真正值得跑这么远的路去看上一趟？

对这个问题，科学家会毫不迟疑地用最大的嗓门回答：“那还用说！”

地球上所有的生命形态，都毫无例外地是在蛋白质和核酸的巨大分子的基础上形成的。它们全都借助于同一类化学反应，起控制作用的也是同一类的酶。地球上的所有生命，都是由一条线上发展下来的各个变种。

如果火星上有生命，无论它们是何等的简单，都有可能是另一条线上的一系列变种。这一来，我们一下子就把生命的种类扩大了两倍^①，还有可能立刻获得对生命本质的更为根本的了解。

即使火星上的生命被证明是建立在与地球上相同的那一条线上，在细微之处也会存在着有趣的不同。比如说，地球上所有的蛋白质分子都是氨基酸构成的，所有的氨基酸（除一种外）都可以是左旋的，或是右旋的。在所有与生命无关的现象中，这两类氨基酸都是同样稳定的，也以同样的数量存在着。

然而，在地球上的蛋白质中，所有的氨基酸，除了最无关紧要的最稀少的例外几种，都是左旋的。这就是说，蛋白

^① 疑此处有错，当为扩大一倍、达到原来的两倍。——碧声注

质分子能够形成纯净的一串；而如果有些氨基酸是左旋的，另一些是右旋的，那就不可能形成这种纯净的蛋白质。然而，如果这一串都是由右旋氨基酸所组成，那也同样是纯净的。

那么，为什么生命出现在左旋系统中，而不出现在右旋系统中呢？这是不是纯属偶然呢？地球上的第一息生命是偶然地成为左旋物体的呢，还是由于这里面有什么本质上的不对称性，使得左旋系统成为必然呢？火星上的生命有可能解答这个问题，以及其它类似的问题。

就算火星上的生命确实和地球上的生命属于同一条线，在各个细节上也相同，单凭能知道这一点，去火星走一走也是值得的。这个事实本身就是有意思的证据。它表明地球上所存在的这些生命，可能是任何一颗行星——哪怕它们与地球很少有相似之处——所能具有的唯一生命形态。

除此之外，从生物化学的角度来看，如果火星生命也和地球生命一样，是以碳元素为基础的，它们的生命物质的分子结构可能要比世代代生长在地球这个环境更为适宜之处的任何生命都原始得多。如果是这样，火星就成了一座实验室，我们在那里可以观察到（可能）曾经在地球上存在过的生命的雏形。我们甚至可以用它们来做实验——在地球上，我们也可以这样做，但会多花掉许多时间——以探索潜藏在复杂的地球生命内部的基本真理。

纵然火星上根本就不存在生命，在那里的土壤中，也很可能存在着有机物的分子。它们虽然并没有生命，但却可能正在向生命之路迈进。它们可能会说明在地球上出现第一个足够复杂的、可以被称为是生命的东西之前，地球所经历过的所谓“化学进化”这一阶段的本质。

无论我们对于火星生命能了解到什么，都非常有可能帮

助我们对地球上的生命有更为清楚的理解（就像学了拉丁语和法语，会有助于使我们对英语了解得更清楚些一样）。肯定地说，如果我们去火星是为了比在地球上更多地了解地球本身的话，这就足以使我们尽力去这样做了。

30

海洋是什么时候形成的？ 又是怎样形成的？

二十世纪初，人们曾认为地球和其他行星是由太阳所抛出的物质生成的。在人们的想象中，地球是逐渐冷却下来的，从白热到红热，再到一般的温度，最后降到水的沸点。当它冷却到一定程度时，地球那炽热的大气层中的水分就开始凝结起来，于是开始下雨了——下了又下，接着还是下。滚开的大雨降到滚烫的地面上，嘶嘶响着，向四处迸溅，这种令人难以置信的雨下了许许多多，我们这个星球的高低不平的地面终于冷却得可以容纳这些雨水了，这就出现了海洋。

这种说法戏剧性十足，然而却几乎完全是错的。

现在，科学家相信，地球和其他行星不是由太阳生成的，而是在太阳自身开始生成那个时期内，由物质微粒聚集而成的。地球从来没有达到太阳那样的温度。但是，由于形成地球的这些微粒互相撞击的能量，它会达到相当高的温度。这个温度足以使得原先所有的大气和水蒸汽跑掉，因为地球的相对小的质量无法把它们留住。

换句话说，新生成的地球是个固体块，既没有大气，也没

有海洋。那么，大气和海洋又从何而来呢？

在构成地球的岩石物质中，会有水分（还有气体）与岩石松散地结合在一起。在地球重力的作用下，这些岩石越来越紧密地重叠在一起，温度也越来越高，于是，水蒸汽和气体就从岩石中嘶嘶地被赶了出来。

这些气泡不断生成、汇集，使新生的地球发生大量的地震。逃逸的热量造成猛烈的火山喷发。在数不清的年月里，水不是从天而降，反过来，倒是从地壳里呼啸而出，然后冷凝下来。海洋不是从上方，而是从下部生成的。

现在，地质学家还有争论的问题，主要是海洋生成的速度有多大。水蒸汽是不是在十亿年或更短的时间里就全部跑了出来，因此，海洋从开始有生命以来就是现在这个样子呢？或者，这个过程进行得十分缓慢，因而海洋在各个地质年代一直在扩展，直到现在也仍在扩展？

那些认为海洋早已形成，并且它的大小长久以来一直是稳定的人们指出：陆地的大小一直是目前的样子，它们在过去——即假设海洋比现在小得多的年代——也似乎并不比现在大多少。

与此相反，那些坚持海洋一直在增长的人们则指出，即使到了现在，火山在喷发时也仍然把大量的水蒸汽散布到空气中来，这些水蒸汽不是来自海洋，而是来自深处的岩石。此外，在太平洋里有一些平顶的海底山峦，它们的顶部原先可能和海面一样高，现在却在海面以下三百米处了。

还有一种折衷的看法认为，海洋一直在持续增长，但是，由于水量不断增加，它的重量把海洋的底部压了下去。简单地说，海洋越长越深，而不是越长越宽。这种说法既可以解释海底山峦的下降，又能说明大陆并没有改变。

31

海洋是不是越变越咸？它们会不会变得咸到把所有生物都给咸死？

地球上存在着水的循环。每年大约有 12.5 万立方公里的水从海洋表面蒸发掉。这些水会以雨的方式落下来。再以各种方式回到海洋里。

循环的这两个分支——蒸发和回降——在一个方面是不平衡的：在海水的各种成分中，只有水本身能够蒸发掉，所以，雨水几乎是纯净的水。然而，降回地球的雨水先是降到陆地上，它们从土地上流过，从中带走了一些可溶性物质，一直带到大海。以河水为例，它会含有万分之一的盐。这是尝不出来的，但已是足够重要的了。

这样，海洋似乎会不断地从陆地上得到微量的盐类和其他化学物质，但在蒸发过程中却根本不会把它们丢失掉。我们有理由认为，海洋一定是在变得越来越咸，当然，这是很慢的过程，但是在经历过上百万年的地质年代后，积累起来的盐就很可观了，比方说，现在的海洋中确实就含有 3.5% 的可溶性物质，其中大部分是食盐。

河水也会将盐类带入内陆湖泊，这些湖泊与海洋不相通。在这里，可溶性物质也像在海洋中一样地积聚起来。如果湖泊位于炎热地带，平均蒸发率比海洋还高的话，可溶性物质

就积聚得更快。结果，这些湖泊会变得比海洋还要咸。位于以色列和约旦边境的死海含有 25% 的溶解物。那里的水是如此的咸，以致一切生命都不能在里面生存。

海洋是不是也不可避免地面临着这种没有生命的结局呢？

如果没有什么能减少海洋中含盐成分的过程，结果可能就会如此。不过，这类过程是存在的。比如，狂风巨浪会把海水卷到陆地上，溶解的盐类也随着海水上岸，散布在陆地上。

更为重要的是，当有些溶解物质达到一定的浓度以后，就会互相结合成不溶性化合物，沉入海洋的底部：还有一些物质，虽然本身不是不溶性的，却能与海底的物质结合起来。还有，一些物质能够被海洋生物的细胞所摄取。

这样，现在海洋中含有的可溶性物质就远远少于过去几十亿年里被河流携带进来的物质。而在另一方面，海洋的底部还有很丰富的各种物质，比如，在海底分布着大量各种金属结核，它们一定都来自陆地。

此外，随着年代的变迁，海洋的浅湾地带有可能由于地壳的升高而与海洋隔断。这一部分的水逐渐蒸发掉，留下大量的溶解物质，于是，它们又回归到陆地上。岩盐矿——从这里可以得到大量食盐以及少量其他物质——就是这类干涸掉的小块海洋的残迹。

那么，总的结果是什么呢？归根结底，在长远的历程中，海洋是在一点点地咸起来呢？还是在渐渐变得淡些呢？或者它是向这方面发展，有时又向另一方面变化，而总的说来又保持平衡呢？对于这个问题，地质学家现在还不能肯定。

海洋里真的有金子吗？

当然有的，为什么不呢？

雨水在不断从陆地向大海汇流的过程中，会把它所遇到的所有物质都溶解掉一些。所溶解的物质总量不大。其中有一些物质比另一些物质难于溶解，这些溶解物进入海洋后，有一些沉降到了海底。

然而，自海洋出现后的几十亿年里，已经有很多很多的溶解物质被倾倒入大海。因此，每一种元素都以化合物的形式在海水中大量存在着，并和海中的水分子混合在一起。

海水中约有 3.25% 是溶解了的固态物质。海水共有 13.6 亿立方公里，总重量达一百五十亿亿吨。如果把所有的固体物质从其中分离出来，会有五亿亿（50,000,000,000,000）吨。当然，这里面有四分之三是食盐，但在其余的四分之一中，每样东西都有一些。

例如，这里存在着许多镁化合物，足以从中获得一千九百万亿（1,900,000,000,000,000）吨金属镁。海洋中的这一储备足以满足我们相当长期的需要、特别是因为我们提取出来应用的东西，最终又都会被冲洗到海水中去。

不过，海洋中的镁并不像陆地上那样以富含镁的矿藏的形式不均匀地分布在海洋各处，它是均匀地散布在整个海洋里的。这就是说，即使提取的效率达到百分之百，从一立方米海水中也只能得到一公斤镁。从海水中经济地提取镁的

方法已被发现了，现在，人们正很合算地从海水中按自己的需要来取得它。

另一种以可观的数量存在于海水中的元素是溴（这是氯的一门亲戚，不过不像氯那么普遍）。从海洋里溶解的溴化物中，可以提取出一百万亿（100,000,000,000,000）吨溴。这差不多是镁含量的二十分之一，所以，要从二十吨的海水——大约二十立方米——才能得到一公斤溴（以百分之百的效率）。这样做也是有利可图的，而海洋也正是世界上溴的主要来源。

氯和溴的第三门亲属是碘。它比前两者更为稀少，在整个世界上是这样，在海洋里也是如此——它在海水中的含量还不及溴含量的千分之一，其总数达八百六十亿吨。这个数字听起来仍显得不小，但这意味着在两万多立方米海水中才有一公斤碘。这一含量太低了，无法以合算的方法直接提取。幸而，海藻类植物替我们做了这件工作，从海藻的灰里；就能便宜地得到相当数量的碘。

海水也给我们带来了黄金。海水中的黄金总量大约在六百万吨到一千二百万吨之间。如果我们在这段文字的开始就把这个数字告诉大家，那它听起来会显得挺多。至少有六百万吨呢！而且还可能是它的两倍，可不得了？

但是，现在我们可以懂得这个数字并不很大。既然要从二百到四百立方公里海水里才能捞到一公斤黄金，那么，为了得到一公斤黄金所要付出的费用会远远超过一公斤黄金的价格。所以，黄金还是被人们留在海里了。

如果冰冠融化了，将会发生什么情况？

地球的陆地上承载着近 3,800 万立方公里冰（约有百分之八十五在南极洲）。由于水比冰的密度大些，这些冰融化以后，会变成大约 3,400 万立方公里的水。

自然，如果这些冰融化了，它们大部分会从陆地流到大海。海洋总表面积是 3.62 亿平方公里。如果海洋的面积不变，这 3,400 万立方公里融化了的冰将会均匀地铺盖在海洋上，这就是说，海平面会升高约 100 米。

不过，海洋的表面积不是一个不变的数字。如果海平面上涨的话，海水会沿着海岸上的低平地势漫过来，占领成百万平方公里的陆地。这意味着海洋面积会增大，而新的水层不会有原来那么厚。而且，新增加的重量会把海洋的底面压下去一些。然而，即使是这样，海平面仍可能会上升六、七十米，这足以漫到纽约帝国大厦的第二十层，同时把地球上人口最密集的地区淹没。

在地质史上，陆地上的积冰曾有过很大的变化。在冰河时期的鼎盛阶段，高达千百米的冰川曾向前推进，而覆盖了成百万平方公里的土地，海平面则大大下降，使目前的大陆架地区都见了天日，成为干燥的地面。

另一方面，当陆地上的积冰融化殆尽的时候——融化过程每次持续千百万年——海平面就升高了，这时陆地的面积

就缩小了。

这两种局面都未必是什么灾难。在冰河盛期，千百万平方公里的土地被冰所覆盖，使陆上生物无法生存。而另一方面，千百万平方公里的大陆架露了出来，成了可居住的地方。

反过来说，当冰消融后，千百万平方公里的土地会被水淹没，使陆上生物无法生存；而在另一方面，由于不再有冰，又由于陆地面积的减小使陆地上的气候更为稳定，沙漠也减少了。因此，在剩下的陆地上，可供生活的土地的百分比也增加了。至于海洋的体积变化，相对来说是很小的（至多为百分之六或百分之七），所以，海洋生命不会受到多大的影响）。

如果海面的升降过程是在几千年或几万年内发生的——过去一直就是这样的——人类是能够应付这种变化的。然而，麻烦有可能出在这里：人类的工业技术活动一直在把灰尘和二氧化碳吐到大气中去。灰尘会挡住一部分太阳辐射，使地球降温；而二氧化碳却会把热量留下来，使地球变暖。在这两种效应中，如果有一种在未来的时间里大大占了上风，地球的温度就有可能相对迅速地上升或下降。那样，或许大陆上将出现冰川，或许冰冠会融化入海。这两者都可能在一百年左右发生。

因此，造成灾难的将是变化的迅速程度，而不是变化本身。

供我们呼吸的空气是从哪里来的？

据天文学家推测，行星是由一些巨大的气体和尘埃旋转形成的，而构成这些气尘云的各种元素，其比例一般等于它们在宇宙中通常占有的百分比。行星中约有百分之九十的原子是氢，还有百分之九是氦，剩下的则包括其他所有元素——主要是氧、碳、氮、氩、硫、硅、镁、铁和铝。

地球的固态球体本身是各种岩石的混合物，由通过化学力结合成紧密分子的镁、铁、铝的硅酸盐和硫化物所组成。多余的铁则慢慢地沉到岩层下面，形成炽热的金属核心。

当地球的这些固体成分聚拢在一起时，也会捕集到一些气态物质，这些气体会存在于固体微粒之间，或者与固体形成松散的化学结合。这些气体中有氮、氖、氩的原子——它们不与其他元素化合。此外还有氢原子。氢或自己成对地结合成氢分子(H_2)，或与其他原子化合。它能与氧化合生成水(H_2O)，与氮化合生成氨(NH_3)，或与碳化合生成甲烷(CH_4)。

随着构成地球的物质不断堆积，压力就会越来越大，火山喷发也会越来越猛烈，这些气体就会被挤压出来。氢、氦和氖的分子由于太轻，地球留不住，就迅速地逃逸掉了。

剩下来的就组成了大气。它们是水蒸汽、氨、甲烷，再加上一点儿氩。水蒸汽的大部分（不是全部）后来冷凝下来，就形成了海洋。

木星和土星等行星所具有的也是这种大气，不过，由于

它们的质量相当大，能够把氢、氦和氖保留下来。

但是，内行星的大气层已开始进入化学进化阶段了。来自离得很近的太阳的紫外线，把水蒸汽的分子破坏成氢和氧的分子。氢逃逸掉了，而氧却留了下来。它们越聚越多，并且与氨和甲烷发生化合。氧与氨化合时，生成氮和水；氧与甲烷化合时，生成二氧化碳和水。渐渐地，内行星大气层的成分就从氨加甲烷变成了氮加二氧化碳。今天，火星和金星仍然具有这种氮加二氧化碳的大气层、地球在几十亿年前开始出现生命的时候，一定也是有这种大气层的。

而且，这种大气是稳定的。它一旦形成，总有一部分当紫外线分解水蒸汽时生成的自由氧（其分子式为 O_2 ，由两个氧原子组成）积聚起来。紫外线还会进一步把这种氧变为臭氧（其分子式为 O_3 ，由三个氧原子组成）。臭氧会吸收紫外线，并把它截住，使它几乎不能穿过臭氧层进入上层大气层去分解下层的水分子，因此，大气层的化学进化即告终止——直到后来又出现了新情况时为止。

在地球上，这种新情况已经出现过了。在偶然的情况下，有一些生命萌发了，它们能利用可见光来分解水分子。臭氧层并不阻挡可见光的通过，因此，上述过程（即光合作用）会无限地进行下去。在光合作用下，二氧化碳被吸收，而氧气则被释放出来。这大概是五亿年前开始的。从那时候起，大气层就被转变为今天这种氮气加氧气的结构。

什么叫温室效应？

当提到某种物体是“透明的”时，我们是说透过它能看到东西，而并不一定是说所有的光都能穿过这个物体。比如说，我们可以透过红玻璃看东西，因此它是透明的，但是，蓝光并不能穿过它，一般的玻璃对各种颜色的光都是透明的，但是，它对紫外线和红外线就很不透明。

设想在阳光下有一幢玻璃房子。太阳光中的可见光部分都透过了玻璃，并被这幢房屋里的东西所吸收掉。房间里的物体因此而变暖，正像它们在户外受到阳光的直接照射下会变暖一样。

因阳光而变暖的物体又会以辐射的形式把这些热量送出去。不过，这些物体的温度并没有太阳那样高。所以，它们并不发出能量很高的可见光，而是发出能量弱得多的红外线。经过一段时间后，它们以红外线形式辐射出去的能量，就会等于它们以可见光形式吸收进来的能量。这时，温度就不再变化（当然，这些物体这时要比太阳不照射它们时热一些）。

处于露天环境中的物体在给出自己的红外辐射时不会有什么困难。但是，在玻璃屋子里受阳光照射的物体的处境大不相同。在它们所释放的红外辐射中，只有很少一部分会透过玻璃散发出去，大部分则被反射回来。结果，能量便在里面积聚起来。这样，室内物体的温度就会比室外物体的温度高出不少来。室内温度要高到能有足够多的红外辐射经过玻

璃透射出去，以达到平衡状态为止。

正因为如此，植物能在户外温度足以把它们冻死的季节中在玻璃房屋里生长。这种效应使玻璃房屋得名为“温室”。这种由于玻璃对可见光十分透明、而对红外线很不透明的事实而得到多余热量的效应，则称为“温室效应”。

我们的大气层几乎完全是由氧气、氮气和氩气组成的。这些气体对于可见光和地球表面变暖时所释放出的红外辐射都是十分透明的。但是，大气里还含有 0.03% 的二氧化碳，它对可见光是透明的，但是对于红外线却不怎么透明。大气中二氧化碳的作用正像温室的玻璃一样。

由于二氧化碳在大气层中的含量很少，相对地说，温室效应是次要的。不过，这已经使得地球比根本没有二氧化碳时要热了一点了。而且，如果大气层中的二氧化碳含量翻上一番，温室效应就会增强，地球会再暖上几度。这就足以使两极的冰冠逐渐融化。

金星就是具有巨大温室效应的例子。它的厚厚的大气层似乎大部分是二氧化碳。由于金星比地球离太阳近，天文学家倒是预料到它的温度会比地球高。但是，由于原来不晓得金星大气层的成分，他们没有考虑到温室效应的附加效果。因此，当他们发现金星表面的温度竟远远超过水的沸点（这比他们的预料要高出上百度）时，真是十分惊讶。

36

行星探测器在飞越行星上空以后会怎么样？它们会飞到哪里去？

美国和苏联所发射的卫星，绝大多数被送到了环绕地球的轨道上。

当然，卫星的轨道有可能与地球表面相交。这样，它在转了一圈之后，就又回到了地球上。向水星进发的头两次飞行就属于这一类型。有时，卫星的轨道围绕地球绕一个很大的圈子，它可以超越过月球的位置。给月球“背面”拍摄照片的“月球三号”就是这样的—一个。

如果卫星以超过每秒 11.2 公里的速度向上发射，地球的引力场就无法留住它。这时，它将进入围绕太阳运行的独立轨道——太阳的引力场要比地球的引力场强大，它能系留住运动速度更大的物体。这种环绕太阳的轨道，有时会与某个天体相交。撞到月球上（当然是有意这样做）的“流浪者七号”、“流浪者八号”和“流浪者九号”正属于这种情况。

绕太阳飞行的卫星，如果不与任何天体相遇，它们就会在椭圆的轨道上无限地飞行下去。各种各样的“月球探测器”和“行星探测器”都是如此。

对于围绕太阳运行的探测器，可以预先计算出它们的轨道，使它们在运转第一圈时就接近月球（如“先驱者四号”）、金

星（如“水手二号”）或火星（如“水手四号”）。在接近过程中，探测器会把有关自己所靠近的星体以及它周围的空間的情报发送给地球。接着，探测器会撇下这些天体，继续绕着太阳运行。

如果探测器不受它所飞越的行星引力场的影响，它最终将回到发射时在空間的位置（不过地球在同一时期内已经沿着自己的轨道走开，不再呆在原来的位置了）。

如果探测器受到它所穿越的行星引力场的影响，那么，在这个引力的牵制下，探测器会进入一条新轨道。事实上，每当探测器十分靠近某个大质量物体时，轨道就会有所变化。因此，人们不可能精确地预料到某个探测器在绕太阳转过一、两周后，会处在什么轨道上。表达这种运动的方程组太复杂了，根本无法求解。

当然，如果探测器能不断发出信号，我们就能够追踪出它的轨道——特别是当它离地球较近时。

但是，一旦探测器中的电池用竭，航天器即告失踪：它们无法发出信号，而且又小得观测不到；所有的探测器最终都会失踪，这是我们早已料到的事情。

不过，它们还将绕着太阳运行，大概还会处在原来的空間区域内。它们不会长途跋涉去漫游其它行星。既然我们接收不到它们的信号，它们就成了没有用处的东西，可以被人们当作“星际垃圾”而从名单中划去。如果它将来在围绕太阳运转时不撞到地球、月球、火星或金星的话，大概会永远在自己的轨道上转下去。

地球将会有怎样的归宿？

第一个试图不靠神学去详细研究地球的历史（即它的过去及可能会有的未来）的人，是苏格兰的地质学家赫顿。他在1785年发表了第一本现代地质学著作，他在书中承认自己在研究地球本身的过程中，并没有能够看出它有开始和终结的迹象。

从那时以来，我们已经迈进了一大步。我们现在可以相当确定地说，地球目前的这种形态大约是在四十七亿年前就已经获得了的。大约就在那个时期，从形成太阳系的原始星云的尘埃和气体产生了我们今天所知道的地球。地球一旦形成，那么，如果听任它作为表面覆盖着一层水和空气的金属和岩石的集合体存在的话，它就会这样存在下去，而且，据我们所知，还会永远这样存在下去。

但是，是否会有什么外来的因素对它进行干扰呢？

离地球最近的、并且有足够大的能量来显著影响地球的天体是太阳。只要太阳能维持目前这种活动水平（它已经处于这种状态达几十亿年了），地球基本上就不会有变化。但是，太阳能把目前的这种状态维持下去吗？如果不能，将会发生什么变化？这种变化又会给地球带来什么影响？

直到本世纪三十年代之前，人们都觉得太阳也像其他炽热的天体一样，总归是会冷却下去的，它会不断地向空间倾

泻能量。由于这样，这种巨大的能流总会枯竭，渐渐地变成涓涓细流。随着这种情况的发生，太阳也会冷却成橙色，再变成红色，光度也越来越昏暗，最后终于熄灭。

与此同时，地球也会缓慢地冷却下来。越来越多的水将冻结起来，两极地区也会扩展出去，最后，就连赤道地区都会缺少足以维持生命的热量了。整个海洋将冻结成一块坚冰；空气也会液化，随后还会冻结成固体。在此以后，冰冻了的地球（还有它那些行星伙伴）还会绕着死去的太阳运转数不清的年头。

不过，即使真的是如此，地球还是会作为太阳的行星而存在着。

但是，到了三十年代，核物理学家第一次揣摩出在太阳和其他恒星中所发生的核反应。他们发现，尽管太阳总有一天会冷下来，但在这之前，还要有温度极高的时期。一旦大部分氢燃料消耗殆尽，其他核反应就会发生，使太阳变热，并使它大大膨胀起来。总的来说，太阳发出的热量是比以前多了，但在它那变得很巨大的表面上，每一块地方所发生的热量却会减少。因此，它会变得冷一些。这时太阳就变成了一颗红巨星。

在这种情况下，地球有可能先被焙成灰烬，最后又会挥发掉。这时，地球作为一颗固体行星的历史就算到了头。可是，我们对这一点倒不必过分担忧，这大概是八十亿年以后的事情了。

38

什么是理论物理学家？他们都干些什么？

物理学家主要研究各种形式的能量，同时还研究能量与物质的相互作用。物理学家对于支配运动的各种定律是很感兴趣的，因为任何运动的物质都具有“动能”。他对热、声、光、电、磁以及放射性都会感到兴趣，因为这些都是能量的存在形式。到了二十世纪，连质量看来都明显地是能量的一种形式了。

物理学家还对能量从一种形式转变为另一种形式的方式，以及控制这类转化的规律感兴趣。

自然，物理学家可以有所侧重。如果有人对于能量和亚原子粒子的相互作用特别感兴趣，他就是一位“核物理学家”（原子核是原子中的主要结构）。如果他对恒星中能量和物质的相互作用感兴趣，他就是一位“天体物理学家”。

同样地，对化学反应中有关能量的问题特别感兴趣的人是“物理化学家”。而主要关心生命组织使用和产生能量的方式的人，则是“生物物理学家”。

有的物理学家会致力于在特定条件下进行精确的测量。或许，他打算测定在某些化学反应中所释放出来的热量的精确数量；或许，他打算度量某一种亚原子粒子在分裂成其他粒子、并释放出能量时的精确方式；或许，他打算知道大脑的微弱电势在某些药物作用下的精确变化。在这些工作中，

他都可以称得上是位“实验物理学家”。

另一方面，一位物理学家也可能特别有兴趣去仔细钻研早已得到的测量结果，希望从中发现具有普遍意义的思想。或许，他能推导出某些数学关系式来，这些公式能够解释这些测量结果为什么是这样的，而且，如果他找出了这些关系，就能用它们来预言某些还没进行过的测量结果。而一旦进行了这些测量，其结果又和所预言的相一致的话，他很可能就发现了一条被称作“自然法则”的东西。

试图用这种方法来获得自然法则的物理学家，就是“理论物理学家”。

有一些物理学家对理论并不特别感兴趣。他们是极有天赋的实验物理学家。曾经发明了干涉仪、并精确地测量了光速的迈克耳孙就是这样的一位。也有人是对实验毫无兴趣的天才的理论物理学家，相对论的发现者爱因斯坦即属此例^①。

虽然实验物理学家把自己框在测量的圈子里，而理论物理学家又拘泥于数学论证，但这两种人对于科学都是极端宝贵的。不过，人们总还是希望找到一位既是第一流实验家，又是第一流理论家的人物。费米就是这种“双料”物理学家的突出代表（他还是一位杰出的教师，因此，他大概可以说是“三料”的人物了）。

① 爱因斯坦早年对实验是很感兴趣的。——译者

时间是一种幻觉呢，还是确实存在的东西？怎么来描述时间呢？

首先要指出的一点是，时间是一种心理学方面的事物。这是对时间长度的感觉。你吃过了东西，而过了一会儿，你又感到饥饿了。现在是白天，而过了一会儿，就成了黑夜。

这种对时间长度的感觉是什么？究竟是什么东西使你意识到某件事情“过了一会儿”才发生？一般说来，这些问题属于思维机理的范畴，是有待今后解决的课题。

每个人都会意识到，他对时间长度的感觉随环境而变。干一天活，好像要比同好朋友在一起呆一天长得多，听一个小时枯燥的报告，似乎也比打一个钟头扑克显得长。这就是说，我们所提到的“一天”或“一小时”在某些场合下可能要比在其他场合下长一些。不过，这里面有一桩麻烦事：一段时间在某个人看来可能显得长些，在另一个人看来又会显得短些，而对于第三者来说，却既不长也不短。

要使时间观念对一群人都适用，就一定得找到一种普遍适用的、并不因人而异的衡量方法。如果有一些人商定在“六个星期后”准时会面，那么，靠每人自己觉得六个星期已过，然后来到会面地点，这是没有用的。大家必须全都同意在数过四十二个白天和黑夜后前来践约，而不管每个人心里的

时间感到底如何。

当我们选择好某个客观的物理现象作为代替我们对时间的本能感觉的一种手段时，我们就有了一种可以称之为“时间”的东西。从这种意义上来说，我们一定不要试图把时间定义为某种东西，而只能把它定义为某种度量系统。

对时间的最早量度涉及到周期性的天文现象：正午（太阳升到最高处）的一再出现，标志着天数；新月的一再出现，标志着月数；春分节气（寒冷季节过后，太阳跨过赤道的一天）的一再重复，标志着年数。把一天划分为相等的小单位，就得到了小时、分和秒。

然而，在我们设法利用比正午的重复更为迅速的周期性运动之前，这些很小的时间单位是无法精确地测量出来的。等振幅摆和等摆游丝使得十六世纪出现了现代的时间量具。从那时起，对时间的量度才成为精确可信的。现在，对于更精确的时间，我们用原子的振动来量度。

我们怎样能保证这些周期性现象真的是“均匀的”呢？难道它们不会像人对时间的心理感觉那样也是不可靠的吗？

有可能。不过，我们可以用几种方法独立地测量时间，并把测量结果加以比较。如果某种方法有显著的不均匀因素，那么，在和其他方法进行比较时，这种不均匀性就会表现出来。如果**所有**的方法都不均匀，它们也很难是恰巧同样地不均匀。因此，如果各种测量结果十分相近——**实际结果也正是如此**——我们就只能得出结论说，我们所应用的各种周期性现象从根本上来说都是均匀的。不过不都是完全均匀的，比如，一天的长短就稍有变化。

物理学所量度的是“物理时间”。各种生物，包括人在内，都参加了周期性活动（如睡眠和清醒），而且，这些活动无需

依赖外界的变化（如白天和黑夜）。不过，这种“生物时间”并不像物理时间那样严格。

此外，当然还存在着一种对时间长度的感觉，或者说“心理时间”。即使看着一只钟，干一天活仍然显得比同好朋友在一起呆一天要长得多。

40

时间的最小可能单位是什么？

1800年刚过不久，就有人提出一种见解，物质是以某种叫做“原子”的小单位存在着的。1900年过后不久，人们又接受了能量是以某种叫做“量子”的小单位存在着的看法。那么，有没有别的什么常用的量也是以确定的小单位存在着呢？比如说，时间是不是这样呢？

有两种寻求“最小的可能单位”的方法。直接的方法是把某个要测量的量一直分下去。直到不能再分为止——把要测量的质量一直分下去，直到获得一个单个的原子为止；把被测的能量分到获得一个单个量子为止。另一种是间接的方法，这就是去发现某种如果不假设有最小的可能单位存在就无法解释的现象。

在物质的场合下，大量的化学观察，包括“定比定律”和“倍比定律”的发现在内，使得原子理论的出现成为必然；在能量的场合下，黑体辐射和光电效应使得量子理论必定问世。

就时间而论，间接的方法是失败了——至少在目前是如此。人们没有观察到什么非得用存在着时间的最小可能单

位的假设来解释的现象。

用直接的方法行不行呢？我们能不能观测到越来越短的时间周期，直到某个不能再短的地步呢？

在发现了放射性之后，物理学家开始与极其短暂的时间间隔打起交道来了，有些原子有极短的半衰期。例如，钋 212 的半衰期不到百万分之一（ 10^{-6} ）秒，就是说，在地球以每秒约十二公里的速度绕着太阳走一厘米时，这种原子就会衰变掉。不过，尽管物理学家详细地研究了这一类过程，却没有发现时间不是以连续的方式，而是以“一下一下”的方式流逝的情况。

然而，我们还能继续往下走。有一些亚原子粒子能够在更为短暂得多的时间里发生变化。某些粒子在气泡室里以接近光速的速度行进，它们能在从出生到衰变的时间里形成三厘米长的径迹。这相当于一百亿分之一（ 10^{-10} ）秒的寿命。

不过，这还不是我们最出色的成绩。在本世纪六十年代，人们又发现了寿命特别短的粒子。它们是如此地短命，即便以接近光速的速度行进，也留不下一条能够进行量度的径迹。它们存在的时间只能用间接的方法计算出来。已经查明，这些超短寿命的“共振态粒子”只能存在一千万亿亿分之一（ 10^{-23} ）秒。

这样短的时间是无法想象的。共振态粒子的寿命与一百万分之一秒相比，正像一百万分之一秒与三千年相比一样。

不妨换个方式来想象这段时间。光在真空里的速度接近每秒钟 300,000 公里，这是已知的最大速度。在一个共振态粒子出生到消灭这段时间里，光能传播多远呢？答案是 10^{-13} 厘米，即只有一个质子的直径那么长？

可是，我们仍然没有理由认为共振态粒子的寿命一定就

是最小的时间单位，人们现在还看不出时间是否有一个下限。

41

“第四维”是什么？

“维”这个字来源于拉丁文，意思是“完全地加以量度”。那么，现在就让我们做几次量度。

假如有一条线，你打算确定这条线上某一个固定点 X 的位置，使别人能够根据你的描述找到这个点。一开始，你在这条线上随便确定一个点，把它算作“零点”。这样，你就能够进行一番测量，发现 X 离开零点有两厘米远。如果 X 在零点的某一侧，不妨把这段距离叫做+2，如果在另一侧，那就是-2。

这样，只要大家都同意这些“规定”——零点的位置，以及哪一侧为正，哪一侧为负——那么，只要用一个数，就能确定一个位置。

既然在确定一条线上的一个点时，只需要用一个数字，所以，这条线或这条线上的任意一段，就是“一维的”——“用一个数字就能完全加以量度的”。

再假定有一大张纸，现在打算确定这张纸上某个点 X 的位置。你也从零点开始测量，发现它在离零点 5 厘米远的地方。但是，它是在哪个方向上呢？可以把它分成两个方向：向北三厘米，向东四厘米。如果规定朝北为正，朝南为负；朝东为正，朝西为负，那么，你就能用两个数字来确定这个点了：

+3 和+4。

或许，你可以这样说：这个点离开零点有 5 厘米远，并且与东西方向成 36.87° 的夹角。这时还是需要两个数字：5 和 36.87° 。无论你怎么干，总得有两个数字，才能在平面上确定一个点。因此，平面或平面的任意一部分都是二维的。

现在，假设有一个像房间内部那样的空间。一个固定点 X 可以这样确定：它在某个零点以北 5 厘米，以东 2 厘米，**以上** 15 厘米。你也可以用一个长度数字和两个角度数字来确定这个位置。不过，无论用什么方法，都需要有三个数字，才能确定房间里（或者是宇宙里）一个点的位置。

因此，房间也好，宇宙也好，都是三维的。

假设有这样一种空间，要想确定其中的某个确定的点，必须用四个（或是五个，或者是十八个）数字才行，那么，它就是一个四维的（或五维的，或十八维的）空间。在我们这个普通的宇宙里，并不存在这样的空间，但是，数学家却能够想象出这种“超空间”，并且还能推断出这种空间里的数学图形会有什么性质。他们甚至还研究出在任意维空间中的数学图形所具有的性质。这就是“n 维几何学”。

但是，如果我们所研究的不是固定的点，而是位置随时间而变化的点，又该怎么办呢？如果你打算确定的是在房间里飞着的一只蚊子，那么，就需要给出三个普通的数字：南—北、东—西、还有上—下。**接着**你还得给出第四个数字来表示时间。因为这只蚊子只在某个瞬间才会位于空间的某个位置。你必须把这个瞬间也判断出来。

宇宙间的任何事物都是如此。我们占有空间——它是三维的；此外，一定还要加上时间，才能得到一个四维的“时空”。不过，对时间和其他三个“空间维”不能同样看待，在某些关

键的方程组中，三个空间维带有正号，而时间维则必须带有负号。

因此，我们一定不要说时间是**第四个维**，而只能说时间是**某个**第四维，而且它与其他三维不同。

42

“弯曲空间”是什么意思？

当你第一次在爱因斯坦的相对论里见到“弯曲空间”这个字眼时，恐怕是会感到困惑的，真空怎么能是弯曲的呢？你怎样能使它弯曲起来呢？

为了弄明白这是怎么一回事，先让我们这样想象：在一艘宇宙飞船里，有人在仔细观察附近的一颗行星。这颗行星的表面完全被深深的海洋覆盖着，因此有着像台球那样的光滑表面。再假设有一条船在那个行星的海洋上沿赤道线朝正东方向行驶着。

现在再进一步设想一下，这位观察者根本看不见这颗行星，而只能看到这条船。当他研究这条船的运动路线时，他会惊讶地发现这条船走的是一条圆弧。它最后会回到自己的出发点，从而描绘出一个完整的圆周。

如果这条船改变路线，航道就会变得弯弯折折的，不再是个简单的圆周。但是，不管它怎么改道，无论它怎么行进，它的航线总是在一个球面上。

根据所有这些事实，这位观察者可能会推断出，这条船被束缚在一个看不见的球体的表面上，而束缚它的力正是指向

球体中心的重力。要不，他就可能会认为，这条船被限制在一块特殊的空间里面。这块空间是弯曲的，而且弯曲成一个球形，从而迫使这条船走出这样的路线来。换句话说，我们必须在一个力和一种空间几何形态之间做出选择。

你大概会认为这是一种想象出来的局面，但实际上并非如此。地球这颗行星是沿着椭圆路线绕着太阳运行的，正像一条船在某个看不见的曲面上行驶一样。至于这条椭圆路线，我们是假设太阳和地球之间有一种引力来解释的，正是这种引力使地球保持在它的轨道上。

不过，我们也可以从空间几何形态来考虑问题。我们不是通过观察空间本身——空间是看不见的——而是通过考察物体在这种空间里的运动方式，来确定这种空间的几何形态。如果空间是“平坦的”，各种物体就会走直线从这个空间中通过，如果空间是“弯曲的”，各种物体就会走出弯曲的路线来。

一个具有确定质量和速度的物体，如果在离开其他质量都很远的地方运动，那么，它的路径真的可以说是一条直线。而当它走近另一个质量的时候，它的路径就会变得越来越弯曲，显然，是质量把空间弯曲了。质量越大，离质量越近，空间弯曲的曲率就越大。

把万有引力看作是一个力，看来要比用空间几何形态去解释它方便得多，也自然得多。但是，如果在考虑光的行进时，情形就会颠倒过来。按照比较旧的观点，光是不受重力影响的，因为它没有质量。然而，当光在弯曲空间里穿过时，它的路径也会弯曲起来。把光的速度考虑进来，它在太阳这个巨大质量的附近经过时路径的弯曲就能计算出来了。

1919年，爱因斯坦的这一理论（发表于三年之前）在一次

日蚀期间受到了检验，人们把太阳位于空间某处时靠近太阳的某些恒星的位置，与太阳不在此处时这些恒星的位置进行了比较。结果，爱因斯坦的理论站住脚了。用弯曲空间来讨论万有引力，看来要比用力学术语更为精确。

不过，我们还应该提一下，1967年，人们对太阳的形状所进行的精密测量，发现爱因斯坦的引力理论出了问题，今后将会发生些什么情况？还得等着瞧。

43

许多科学幻想小说里都提到“力场”和“超空间”，这都是些什么东西？它们真的存在吗？

每一种亚原子粒子都会产生下列四种不同作用中的一种或几种。这四种作用是：引力作用、电磁作用、弱相互作用和强相互作用。每一种作用都从它的发源处散播出来，成为一种“场”，而且在理论上是弥散在整个宇宙之中的。大量粒子所产生的同一种场可以叠加起来，产生极其强大的合成场。因此，尽管引力场是这四种场里最弱的一种，太阳——由大量粒子构成的物体——的引力场却是很强大的。

位于这样一种场中的两个粒子将被场所推动，或者互相靠近，或者互相离开，这要看粒子与场的本性是怎样的，粒子的加速度则取决于这两个粒子之间的距离。这种加速度往往又被解释成是“力”所引起的，所以我们就要谈到“力场”。从

这种意义上说，场的确是存在的。

不过，我们所知道的力场总是有物质作为它们的起源；一旦物质没有了，力场也不复存在了。但在科学幻想小说中，总有某些无需物质存在的强大力场被想象了出来。因此就会出现那么一段真空，它对粒子和辐射能起到阻拦作用，正好像这段真空竟是一块两米厚的钢块一样。真空中会出现各种原子间的作用力，但却根本不存在产生这些力的原子。这种“无物质力场”作为一种科学幻想的手法倒是颇为方便的，但是，老天在上，根据我们今天所掌握的科学知识来看，这种手段是太缺乏依据了。

“超空间”是科学幻想作品中的又一个挺方便的手法，这是作者用来绕过光速这个障碍的。

为了弄清楚这是怎么回事，设想有平摊开来的很大的一张纸，纸上面有相距六米的两个点，再设想有一只行动极缓慢的蜗牛，它一小时只能走一米，显然，它要用六个小时，才能从一个点走到另一个点。

不过，如果我们把这个两维的纸片在第三个维上弯曲一下，就会使这两个点靠近起来。如果这时这两个点只相隔一毫米，而且不知怎么一来，那只蜗牛也能跨越过这两个点之间的空间，那么，只消几秒钟，它就能从一个点到达另一个点了。

现在可以来类比一下：如果有两颗恒星彼此相距五十光年。那么，一艘飞船以最大的速度——光速——飞行，从一颗恒星飞到另一颗恒星，也得花五十年的时间（从这两颗恒星中的任意一颗上来看），这会产生许多麻烦事来。因此，科学幻想小说家想出一个使情节简化的法子：他们假设具有三维结构的空间能够在第四个空间维上弯一下，这一来，两个恒星间就只有一个很小的四维距离了，于是，飞船就会越过这个

小间隙，只用很短的一点时间，就从一颗恒星跑到了另一颗恒星。

数学家经常说起与 3 维物体类似的四维物体，只是在前面加了一个“超”字。一个表面距中心在四维上等远的物体叫做“超球”。同样，还有所谓“超正四面体”、“超立方体”和“超椭球”。使用这套表达方法，我们就能把两颗恒星间的四维距离叫做“超空间”。

不过，无论这种超空间对科学幻想小说家是多么方便，据我们所知，科学现实中并不存在这个东西，它只是一种数学上的抽象而已。

44

什么是“反引力”？怎样才能研究它？

强度随距离平方而减小的场有两种：电磁场和引力场。这种减小是比较缓慢的，因此，即使在很远的地方，也能发现这两种场的存在。地球离开太阳有一亿五千万公里远，但仍被太阳的引力场紧紧地抓住不放。

但是，在这两种场当中，引力场又比电磁场弱得多。一个电子所产生的电磁场要比它所产生的引力场大约强四百亿亿亿倍。

当然，引力场似乎是挺强大的，每一次我们从高处跌落下来时，都会痛苦地体验到这一点。但这只是地球太大了的缘故。地球的每个小块都对引力场有所贡献，结果，总的引力场就变得很可观了。

然而，如果我们拿出一亿个电子（这个数量是太微不足道了，如果把它们集中到一点上，那么，即使用显微镜也无法看到它们），并让它们散布在地球那么大的空间里。这时，这些电子所产生的电磁场，就会和整个巨大的地球所建立的引力场一样强大。

为什么我们对电磁场的感觉不像对引力场那样明显呢？

这是由于它们有一点不同的缘故，电荷有两种，分别叫做正电荷与负电荷，因此，电磁场既可产生吸引作用（在正电荷与负电荷之间），也可产生排斥作用（在两个正电荷或两个负电荷之间）。事实上，如果在像地球那么大的体积内除了一亿个电子之外别无他物的话，这些电子就会互相排斥，远远地散布开来。

由于电磁吸引力和排斥力的作用，会使正电荷与负电荷均匀地混和起来，这样，两种电荷的效应就趋于互相抵消。至于电荷数目的极其微小的差别，则是有可能存在的。我们所研究的正是这种多了一点或少了一点某种电荷时的电磁场。

然而，引力场看来**仅仅**产生吸引力。每一种具有质量的物体都会吸引其他具有质量的物体，而当质量增加时，引力场也会增大，它们是不会抵消的。

如果某个具有质量的物体，能够**排斥**另一个具有质量的物体——其强度和排斥方式正好与一般情况下它们互相吸引时一样，那么，我们就得到了“反引力”，或叫“负引力”。

人们还从未发现这种引力排斥作用。不过，这很可能是由于我们所能研究的一切物体都是由普通的物质微粒构成的缘故。

世界上存在着——一类“反粒子”，它们在各方面都与普通的

粒子相同，只是它们所产生的电磁场恰好同普通粒子相反。例如，如果某一种粒子具有负电荷：相应的反粒子就会有正电荷。也许，反粒子也会具有相反的引力场。两个反粒子会像两个普通粒子一样地以引力互相吸引，但是，一个反粒子却会排斥一个普通粒子。

麻烦的是，引力场是太微弱了，只有在相当大的质量下，才能发现引力场，而单个粒子或反粒子的引力场，则是无法发现的。我们能够得到普通粒子构成的大质量，但是，迄今仍未能把足够多的反粒子搜罗到一起。而且，时至今日，也没有哪个人能够提出一种能够发现反引力效应的切实可行的办法来。

45

什么是引力的速度？

关于这个问题，有另外一个比较长，然而也比较明白的提法。这就是：假若太阳突然不复存在，并且消失得无影无踪的话，地球要在多久以后才不再受到太阳引力场的吸引呢？

还可以提出一个类似的问题：当太阳消失以后，地球什么时候才不复得到它的光？

对于第二个问题，答案是大家熟知的。我们都知道，太阳离开地球有一亿五千万公里。我们还知道，光在真空中以每秒 300,000 公里的速度传播。太阳消失前的最后一束光线在离开太阳后，要用 8.3 分钟的时间才到达地球。换句话说，

我们将在太阳消失 8.3 分钟后才会知道这件事。

这第二个问题之所以容易回答，是因为我们有好多种测量光速的方法。由于人们能够察觉自遥远星体射来的微弱光线的变化，也由于人们自己能发射出很强大的光束，这些测量方法就成了切实可行的事情。

在与引力场打交道时，我们就没有这些有利条件了。研究微弱的引力场的微小变化是十分困难的，而且，我们也无法在地球上产生强大的引力作用，让它们传播很远的距离。

因此，我们只好局限于从理论上进行探讨了。目前，已知宇宙间有四种相互作用：（1）强相互作用；（2）弱相互作用；（3）电磁相互作用；（4）引力相互作用。前两种是短程作用，随距离的增大而迅速减小，到了超过原子核直径的地方，它们已经微弱得可以忽略不计了。电磁作用和万有引力作用是远程的，它们反比于距离的平方而减弱。这就是说，即使是在天文距离上，也能感觉到这两种作用。

物理学家相信，两个物体间的任何一种相互作用都是通过交换亚原子粒子来实现的。所交换的粒子质量越大，相应的作用范围就越小。例如，强相互作用是由于交换质量比电子大二百七十倍的 π 介子而产生的，弱相互作用是由于交换质量更大的 W 粒子而产生的（顺便说一下，这个粒子还未被发现）。^①

如果所交换的粒子根本就没有质量，那么，相应的作用范围就是无限大的，这正是电磁相互作用的情况。这时所交换的粒子是没有质量的光子。这样一束没有质量的光子就是一束光线，或一束辐射。引力相互作用也像电磁作用一样是远程的，因此，它也应该交换一种没有质量的粒子——人们称之为“引力子”。

① 1983年在欧洲核子中心的质子-反质子碰撞中发现了 W 粒子。——ken777注

而且，物理学家有十分充足的理由假设，在真空中，没有质量的粒子只能以光速运动。这就是说，速度约为每秒300,000公里，既不能大，也不会小。

如果是这样的话，引力子就是以光子的速度前进的。这就意味着，如果太阳消失的话，它所放出的最后的引力子将与最后的光子同时抵达地球。在我们最后看见太阳的一瞬间，也同时失掉了它的吸引力。

换句话说，引力是以光速传播的。

46

“统一场论”是什么？

在十九世纪中期，人们就已经知道了四种能越过真空发生作用的现象。它们是：（1）引力；（2）光；（3）电吸引和电排斥；（4）磁吸引和磁排斥。

乍一看来，这四种现象彼此之间似乎根本无关，似乎没有什么必然联系。然而，在1864年到1873年这段期间内，苏格兰理论物理学家麦克斯韦从数学角度分析了电与磁的现象。他发现自己得出了一些带有根本性的关系式——麦克斯韦方程组，它们既可以用来描述电现象，又可以用来描述磁现象，这证明两者是互相关联的。只要发生某种电现象，就不可避免地要发生某种确定的磁现象，反过来也是这样。换句话说，我们可以提出一种叫做“电磁场”的提法。这种电磁场存在于真空中，并在接触到空间中的一个物体时，就按照它自己在接触点上的场强来影响这个物体。

不仅如此，麦克斯韦还证明，如果设法使电磁场以规则的方式发生振动，它就会从这个振动中心向各个方向送出一种辐射，辐射的速度等于光的速度。光本身就是这样的一种“电磁辐射”。麦克斯韦还预言存在着其他形式的光，不过它们的波长分别要比普通光长得多或短得多。二十多年以后，这两种光都被人们发现了。现在我们总是说整个“电磁波谱”。

因此，本节开始时所提到的四种现象中，有三种（电、磁、光）已经结合成为一种场了。但还有引力场没有被考虑到。这样，我们就还有：（1）电磁场；（2）引力场。它们看起来似乎是两种无关的场。

然而，物理学家认为，如果只存在一种场（这就是“统一场”），事情就会简单得多，因此，他们一直在寻找一种既能描述电磁效应，又能描述引力效应的理论，以便能够用一种场的存在去描述另一种场存在的本性。

不过，现在看来，即使发现了这种能把电磁效应和引力效应结合起来考虑的方程组、我们也还是没有找到真正的统一场：自1935年以来，又发现了两种新的场。这两种场都只对亚原子粒子才有影响，而且只在不大于原子核直径的距离内才起作用，它们就是“强相互作用”和“弱相互作用”。

真正的统一场论必须能把已知的这四种场都解释清楚才行。

47

简单扼要地讲，爱因斯坦的相对论是怎么一回事？

牛顿在十七世纪八十年代首次总结出了物体的运动定律。根据这些定律，不同的运动可以按照简单的算术法则相加起来。假设有一列火车以每小时二十公里的速度从你身边驶过，而车上又有孩子以每小时二十公里的速度向列车行进方向抛掷一只小球。在和列车一起前进的这个孩子看来，小球的速度是每小时二十公里。而在你看来，火车的运动和小球的运动加在一起，结果，小球就以每小时四十公里的速度运动了。

所以，你能够看出，不能单单就小球来确定它的速度。速度是**相对于**某个特定观察者而言的。任何一种试图解释速度（及有关的其它现象）在不同观察者看来之变化情况的运动理论，都是一种“相对论”。

爱因斯坦的与众不同的相对论起源于这样一事实：在火车上扔小球的这种做法，似乎对于光就不再适用了。光是能够顺着或逆着地球的运动方向运动的。在前一种情况下，它似乎会传播得比后一种情况下快。这正像飞机在顺风飞行时相对于地面的速度要比逆风飞行时高一些一样。然而，对光速所进行的最精密的测量表明，无论发光的光源如何运动，光速永远是不变的。

因此，爱因斯坦宣称：假设光在真空里的速度已经测得，

那么，它将永远保持这个速度不变（大约每秒 30,000 公里），在任何情况下都是如此。对于这一设想，宇宙间的各种定律相应地又该怎样安排呢？

爱因斯坦发现，为了保证光速是一个恒量，人们必须接受许许多多出乎意料的事情。

他发现，随着物体运动速度的增加，物体在运动方向上会越来越短，直到在达到光速时，长度变到零为止；与此同时，物体的质量会变得越来越大会，在达到光速时，质量会变为无穷大。他还发现，当物体的运动速度越来越小时，在运动物体上时间流逝的速度也会不断减小，而在达到光速时，时间就会完全停止。他又发现，质量等价于一定的能量，能量也等价于一定的质量，等等。

他把上述对匀速运动物体的所有规律归纳起来，并于 1905 年以“狭义相对论”的名称予以发表。1915 年，他又在讨论变速运动物体的规律方面得出了更为深奥的结果，同时还对引力作用进行了一番新的表述。这些成果被称为“广义相对论”。

只有当物体有很大的运动速度时，爱因斯坦所预言的某些变化才能被人们所察觉。亚原子粒子就有这样的速度。人们对亚原子粒子进行观测，发现爱因斯坦的预言是正确的，而且还是十分正确的。老实说，如果爱因斯坦的相对论是错误的，我们那些轰击原子的装置就无法运转，原子弹也不会爆炸，某些天文观测也无法进行了。

不过，在通常的速度下，爱因斯坦所预言的各种效应都是极小的，因此可以被忽略掉。这时，牛顿定律的简单的算术加法就起作用了。由于在我们所处的环境中，牛顿定律总是适用的，因此，它们被我们看作是一种“常识”。而爱因斯坦的

定律却被看成“不可思议的”。

48

为什么物质的行进速度不能快于光速？

(一)

施加给一个物体的能量可以通过多种途径对这个物体产生作用。如果，铁锤敲在悬空的钉子上，钉子就会得到动能，也就是得到运动的能量，而向外飞去。如果铁锤敲在嵌入硬木里的钉子上，那么，钉子就不会运动，这时，它仍然会得到能量，但这个能量表现为热的形式。

阿尔伯特·爱因斯坦在他的相对论中指出，质量可以看作是能量的一种形式（原子弹的发明已经确凿地证明他这种说法是正确的）。这样一来，如果对一个物体施加能量，那么，这个能量不但可以通过其他形式表现出来，也可以表现为质量的形式。

在一般条件下，物体所获得的表现为质量的能量实在微乎其微。因此，过去从来没有人能够把这样小的质量测量出来。一直到二十世纪，当人们观察到亚原子粒子以每秒数万公里的速度运动时，才找到了质量的增加大到能够探测出的事例。一个以每秒约 256,000 公里速度相对于我们而运动的物体，当我们对它进行测量时，它的质量将是它相对于我们静止不动时的质量的两倍。

如果对任何一个正在自由运动的物体施加能量，那么能量可以通过下列两种途径之一进入物体内部：（1）所施加的能量表现为速度，结果，物体的运动速度就增大了；（2）所施加的能量表现为质量，结果，物体就变得“重一些”。当我们对这个物体进行测量时，它所得到的这两种能量形式之间的区别，决定于我们所测量到的这个物体的起始运动速度。

要是这个物体以一般速度运动，那么，所施加的能量实际上会全部以速度的形式进入物体内部，这时，它会运动得越来越快，而它的质量几乎丝毫不变。

随着运动物体速度的增大（也就是随着我们所想象的附加能量不断地施加到物体中去）；以速度的形式进入物体内部的能量将越来越少，而以质量的形式进入物体内部的能量则不断增加。我们会发现，尽管这个物体仍然在不断加快它的运动，但是，它的速度提高率却一直在降低，此外，我们还会发现，这个物体变重的速率正在渐渐增大。

当物体的速度继续不断增大，并且非常接近于光在真空中的速度即每秒约 300,000 公里时，所施加的能量几乎全部以质量的形式进入物体内部。换句话说，物体的运动速度现在增长得非常慢，但是，它的质量却极快地向上增长。到它达到光速的时候，所施加的能量就全部表现为增加的质量。

物体运动速度之所以不能超过光速，是因为当我们要它超过光速时，就得不断对它施加能量，而在它达到光速时，不管给它的能量有多大，都会统统转变成增加的质量，因此，物体的速度就丝毫也不会增大了。

其实，这种“恰好达到光速的理论”也是不成立的。多年以来，科学家一直非常细致地对被加速的亚原子粒子进行观察。宇宙线粒子所含的能量高到无法想象，但是，尽管它们

的质量确实升高了，它们的速度却从来没有达到光在真空中的速度。已经查明，亚原子粒子的质量和速度正好同相对论所预言的一样，因此，光速是最大速度这一点，已经是一个观察到的事实，而**不仅仅**是一种推测。

49

为什么物质的行进速度不能快于光速？

(二)

前面的解释并没有完全说明问题。正好相反，它会使人产生一些疑问，并且来信进一步提出一些问题。有些人问道：“为什么能量会变成质量，而不是变成速度？”也有人问道：“为什么光的传播速度是每秒约 300,000 公里，而不是其他别的速度呢？”

就目前来说，这类问题只能够这样回答：“因为宇宙就是这么安排的嘛！”

还有些人问道：“质量是怎样增大的？”这个问题比较容易回答。质量的增大并不靠原子数目增多。原子的数目是保持不变的。但是，每一个原子——实际上是原子中的每一个粒子——的质量都增大了。

有人提出过这样的问题：我们究竟能不能通过使物质的运动快到它的质量增大一倍的办法，来增加我们的各种资源呢？要是能够这样做，我们的资源就会翻一番了。

事实上这是办不到的。质量并不是“真正”增大了。这只是测量的问题。速度只有在相对于某种别的物体，比方说相对于测量它的那个人来进行测量时，它才是有意义的。只有那种能够计量的东西，才可以对它进行测量。跑得比光还要快的物质，你是不可能对它进行测量的。

但是，假定你曾经测得某种物质的质量比它的正常质量大一倍，而现在你抓住了它，想利用它达到某种目的。这时，如果你同它一起运动，那么，它相对于你的速度就等于零，因此，它的质量就会突然变成正常质量了。

如果你的一个朋友以接近光速的速度从你身边掠过，你会测出他有非常大的质量，他也会测出你有非常大的质量。而你们各自都认为自己的质量是正常的。

你可能会问：“那么，到底谁的质量真正增大了？”答案是：“这要看是谁在进行测量。”这里根本不存在“真正”这种东西。每一件东西都只是由某个人相对于某种别的东西测量出来的。正因为这样，才产生了“相对论”这个理论。

你会认为，你是脑袋朝上站着的，而澳大利亚人却脑袋朝下。但是，澳大利亚人则认为他们脑袋朝上，脑袋朝下的是你。谁的看法是“真正”正确的呢？谁也不“真正”正确。这里不存在“真正”这种东西。这要看你是站在地球的什么地方，一切都是相对的。

有人曾经问道：“既然质量随着速度而增大，那么，如果一个物体处在绝对静止的状态，它的质量不会减小到零吗？”可是，“绝对静止”这种玩艺儿是根本不存在的。这里只有“相对的静止”。某个东西相对于另一个东西可以处在静止的状态中。当一个物体相对于进行测量的人静止不动时，它具有一定的最小质量，即所谓“静质量”。质量不能小于这个值。

很高的相对速度不仅仅使所测得的物体质量增大，它还会使物体在它运动方向上的长度减小，并使在这个物体上测得的时间流逝得慢一些。

如果你还要再问个“为什么”，那么，我的答案是：“要是事情不是这样的话，光速就不会是物质的最大速度了。”

50

光是由运动得比光更快的粒子发出的。那么，既然没有任何东西能运动得比光更快，又怎么可能有光呢？

我们常常说，粒子不能够运动得“比光快”，“光速”是速度的上限。

实际上，如果我们单单这样说，那是说得不够完全的，因为光在通过不同媒质时，它的传播速度并不相同，光在真空中的行进速度最快。在这种场合下，它以每秒 300,000 公里的速度运动。这个速度就是终极速度。

因此，如果想把话说得确切一些。我们就应该这样说：粒子的运动速度不能够“快于真空中的光速”。

光在通过真空以外的任何其他透明媒质时，它的传播速度总是小于真空中的光速，有时甚至要慢很多。光在某一特定的媒质中行进得越慢，当它从真空中以倾斜的角度进入这种媒质时，它受到偏折（折射）的角度就越大。偏折的大小是

由一个称为“折射率”的物理量决定的。

把真空中的光速除以某一特定媒质的折射率，就得出光在这种媒质中的速度。在一般的压力和温度下，空气的折射率约为 1.0003，所以光在空气中的速度等于 300,000 除以 1.0003，即每秒约 299,910 公里。这比真空中的光速小 90 公里/秒。

水的折射率是 1.33，普通玻璃的折射率是 1.7，而钻石的折射率是 2.42。这就是说，光在水中的传播速度为每秒约 224,000 公里，在玻璃中为每秒约 176,000 公里，在钻石中只有每秒约 123,200 公里。

粒子的运动速度不能快于每秒约 300,000 公里，但是，即使在水中，它们也确实能够以每秒约 256,000 公里的速度运动。当它们的速度这样大时，它们在水中的行进速度就超过水中的光速了。事实上，除了真空中以外，粒子在任何一种媒质中的运动速度都有可能超过那种媒质中的光速。

在非真空媒质中运动得比光快的粒子，会发出一种蓝光作为它的尾迹。这种尾迹的角度大小，取决于这个粒子在媒质中的速度比光在同一媒质中的速度快多少。

最先观察到比光快的粒子所发射出的这种蓝光的，是一个名叫巴维尔·切伦科夫的俄国物理学家，他在 1934 年报道了这件事。因此，这种光就被称为“切伦科夫辐射”。1937 年，另外两个俄国物理学家——伊利亚·弗兰克和伊戈尔·塔姆——把这种光同粒子和光在那种媒质中的相对速度联系起来，从而解释了为什么会有这种光。结果，这三个人获得了 1958 年的诺贝尔物理学奖。

人们已经设计出一种特殊的仪器——切伦科夫计数器，用来探测这种辐射，并测定它的强度和发射方向。

切伦科夫计数器特别有用，因为它只对速度非常高的粒子才起作用，并且很容易根据这种光的发射角度估计出这些粒子的速度。能量极高的宇宙线的运动速度已经非常接近真空中的光速，因此，它们就是在空气中也会产生切伦科夫辐射。

快子——这是人们所假设的一种只能以超过真空中光速的速度运动的粒子——即使在真空中也应该会留下一道非常短暂的闪光。因此，物理学家希望能依靠探测这种切伦科夫辐射，来证明快子是确实存在的（如果它真的存在的话）。

51

既然没有任何东西能超过光速，人们所假定的那种运动得比光快的快子又是什么玩意儿呢？

爱因斯坦的狭义相对论有一个要求：我们宇宙中所存在的一切物体，都无法以超过真空中的光速的相对速度运动。单是为了迫使物体达到光速，就得花费无限多的能量，而要把它推动到超过光速，就需要花费比无限多还要多的能量，这简直是无法思议的了。

不过，让我们暂时假定有一个物体正在以超过光速的速度运动。

光的速度是每秒约 300,000 公里，那么，要是某个质量

为 1 公斤、长度为 1 厘米的物体以每秒约 424,000 公里的速度运动，会发生什么情况呢？如果我们应用爱因斯坦的方程，它就会告诉我们说，这时物体的质量将等于 $-\sqrt{-1}$ 公斤，它的长度将变成 $+\sqrt{-1}$ 厘米。

换句话说，任何一个运动得比光还快的物体，都会具有必须用数学上所谓“虚数”（参看问题 6）来表示的质量和长度。我们没有任何办法把用虚数表示的质量和长度具体化，所以，大家就很容易认为，这样的东西既然是无法想象的，它们就不会存在了。

但是，1967 年，美国哥伦比亚大学的杰拉尔德·范伯格却认为很有希望把那样的质量和长度具体化（范伯格并不是最先提出快子的人，这种粒子是比拉纽克和苏达珊最先假定的，但是，范伯格推广了这种概念）。也许，由“虚数”表示的质量和长度只不过是一种描述具有（让我们说是）负重力的物体的办法——这种物体同我们这个宇宙中的物质并不是靠万有引力互相吸引，而是互相排斥。

范伯格把这种比光还要快的、具有虚质量和虚长度的粒子称为“快子”。要是我们假定这种快子能够存在，那么，它是不是能够按另一种方式来遵循爱因斯坦方程的要求呢？

显然，快子是会这样的。我们可以描绘出比光跑得还要快，但却遵循相对论要求的快子所构成的整个宇宙。不过，为了使快子能够做到这一点，在涉及能量和速度的时候，情况就会同我们通常所习惯的情况相反。

在我们这个“慢宇宙”中，不运动的物体的能量等于零，但是，当它获得能量时，它就运动得越来越快，如果它得到的能量无限大，它就会被加速而达到光的速度。在“快宇宙”中，能量等于零的快子以无限大的速度进行运动，它所得到的能

量越大，它的运动就越慢，到能量为无限大时，它的速度就降低到光速。

在我们这个慢宇宙中，一个物体在任何条件下都不能运动得比光快。而在快宇宙中，一个快子在任何条件下都不能运动得比光慢。光速是这两个宇宙之间的界线，它是不能超越的。

但是，快子是不是真的存在呢？我们可以断言说，有可能存在着一个并不违反爱因斯坦理论的快宇宙，不过，有可能存在并不一定就等于存在。

探测快宇宙的一种可能的途径，就是要考虑到如果有一个快子以超光速通过真空而运动，那么，在它飞过时就必定会留下一道有可能探测到的光尾迹。当然，大多数快子都飞得非常快——比光还要快几百万倍（正像大多数普通物体都运动得非常慢，只达到光速的几百万分之一那样）。

一般的快子和它们的闪光在我们能够发现它们之前，早就一瞬即逝了。只有那种非常罕有的高能快子，才会以慢到接近光速的速度从我们眼前飞过。即使在这种场合下，它们飞过一公里也只需要三十万分之一秒左右的时间，所以，要发现它们也是一桩极伤脑筋的任务！

52

能量为零的快子会以无限大的速度运动，这样说来，确实有可能实现无限大的速度啰？

粒子以无限大的速度运动这种想法本身，看来似乎有一些荒谬的地方，它不需要花任何时间，就会从 A 点跑到 B 点，这就是说，它将不仅同时处在 A 点和 B 点上，而且也同时处在 A、B 两点之间的各点上，它还会继续跑到 C、D、E 等点上去，并且再进一步走过无限大的距离，而且这一切都不用花费任何时间。这样一来，一个以无限大速度运动的粒子，就会具有一根无限长的固体棒的各种性质。

如果空间像爱因斯坦相对论所指出的那样发生弯曲，那么，这根固体棒实际上会成为一个巨大的圆或螺旋，要不然，就是某种形状还要更加复杂的、变幻不定的曲线。

不过，现在让我们先来设想一个由快子构成的宇宙，在这个宇宙中，所有粒子的速度全都大于光速。当这种粒子所获得的能量越来越多时，它们的运动速度就变得越来越慢，到它们得到无限大的能量时，它们的速度就降低到等于光速。当它们失去的能量越来越多时，它们就运动得越来越快，到它们的能量等于零的时候，它们的运动速度就达到无限大。

我们可以想象到，在这样的宇宙中，粒子的能量范围是很宽广的：有些粒子的能量非常高，有些粒子的能量非常低，有

些粒子的能量则介于这两者之间（就像我们这个宇宙中粒子的实际情况那样）。

在这样的宇宙中（就像在我们这个宇宙中一样），能量必须通过某种相互作用才能从一个粒子转移给另一个粒子，比如说，要通过两个粒子的碰撞，如果低能粒子 A 同高能粒子 B 发生碰撞，那么，粒子 A 获得能量而粒子 B 损失能量的机会是非常大的，所以，一般的趋势是形成两个具有中等能量的粒子。

当然，也会有一些例外的情形。如果是两个能量相等的粒子发生相互作用，那么，其中的一个粒子可能获得能量，另一个粒子则损失能量，从而把能量范围拉大了。甚至还有可能（尽管可能性不大）发生这样的情形：一个高能粒子通过同一个低能粒子相碰撞而获得更多的能量，而那个低能粒子所剩下的能量却比原来还要少。

考虑到这种碰撞的随机性和能量转移的随机性，我们就会得出结论说，这些粒子的能量分布必定是大多数粒子具有中等能量，有些粒子具有较高（或较低）的能量，少数粒子具有非常高（或非常低）的能量，非常少的粒子具有极高极高（或极低极低）的能量，只有痕量的粒子才具有极高极高极高（或极低极低极低）的能量。

在某一个范围内的能量分布可以用数学方法表示出来，并且我们会看到，实际上既没有任何粒子具有无限大的能量，也没有一个粒子的能量等于零，粒子只能非常接近这两个能量值，但永远不能达到它们。快子有时会以稍稍大于光速的速度运动，但它的速度永远不会正好等于光速；快子也可能以确实非常巨大的速度运动，比光速还要快上百万倍（或者上亿倍或万亿倍），但它永远不会达到真正是无限大的速度。

假定有两个能量正好相同的快子非常准确地发生对头碰撞。这时，它们的动能难道不会正好互相抵消掉，从而使两者以真正无限大的速度离开碰撞地点而飞开吗？这同样是个只能逼近而无法达到的想法。两个快子具有**正好**相同的能量，并且**非常准确**地对头碰撞的机会，那是小到等于零的。

换句话说吧，在快子的宇宙中，真正无限大的速度是只能逼近、但无法达到的——在这种情况下，我们就不必去为无限大总是要引起的种种似乎荒谬绝伦的事情多伤脑筋了。

53

海森堡的测不准原理是怎么回事？

要解释测不准的问题，我们先得问一问：什么叫做测准了？当你深信你精确地了解到某种物体的某种性质时，那么，不管你得到的数据怎么样，你都确信它没有问题。

但是，你怎样才能了解到那个物体的某种性质呢？无论用什么方法，你都必定要同那个物体发生相互作用。你必须把它称一称，看看它有多重；或者把它敲一敲，看看它的硬度有多大；再不然，你就得直盯着它，看看它在什么地方。而这时就必定有相互作用，不过这些相互作用是比较缓和的。

现在我可以争辩说，这种相互作用总是会给你所力求测定的那种性质本身带来一些变化。换句话说，在了解某种事物时会由于了解它那个动作本身而使那种事物发生改变，因此，归根结蒂，你根本没有精确地了解到这种事物。

举个例子吧，假定你想测量出澡盆里热水的温度。于是，

你把一根温度计放入水中，对水的温度进行测量。可是温度计是凉的，它放入水中就会使水的温度稍稍降低。这时，你仍然可以得到热水温度的很好的近似值，但是它不会**精确**到一万亿分之一度。温度计已经改变了它所要测量的那个温度，而这种变化几乎是无法测出的。

再举个例子，假定你想测量轮胎中的空气压力，你就要让轮胎逸出极小量的空气来推动测压计的活塞。但是，有空气逸出这个事实就说明，空气的压力已经由于测量它这一动作而稍稍降低了。

有没有可能发明一些非常微小、非常灵敏，而又不直接同所要测量的性质发生关系的测量器件和方法，因而也就根本不会给所要测量的性质带来丝毫变化呢？

德国物理学家维尔纳·海森堡在1927年断言说，这是不可能做到的。一个测量器件只能小到这种程度：它可以小到同一个亚原子粒子一样小，但却不能小于亚原子粒子。它所使用的能量可以小到等于一个能量子，但再小就不行了。然而，只要有一个粒子和一个能量子就已经足以带来一定的变化了。即使你只不过为了看到某种东西而瞧它，你也得靠从这个物体上弹回来的光子才能看到它，而这就已经使它发生变化了。

这样的变化是极其微小的，在日常生活中我们可以把它们忽略掉，而且我们也正是这样做的——但是，这种变化仍然存在。不过，要是你所碰到的是极其微小的物体，这时就连极其微小的变化也显得挺大，那又会出现什么情况呢？

例如，如果你想要说出某个电子的位置，那么，为了“看到”这个电子，你就得让一个光子（更可能是一个 γ 射线光子）从它上面弹回来。这样一来，那个光子就会使电子的位置

发生变化。

具体地说吧，海森堡成功地证明了，我们不可能设想出任何一种办法，把任何一种物体的位置和动量两者同时**精确**地测量下来。你把位置测定得越准确，你所能测得的动量就越不准确，你测得的动量越准确，你所能测定的位置就越不准确。他还计算出这两种性质的不准确度（即“测不准度”）应该是多大，这就是他的“测不准原理”。

这个原理指出，宇宙具有某种“微粒性”。你要是尽力把报纸上的图像放大，最后，你就会把它放大到这样一个程度：你会看到许多细小的颗粒或是斑点，而根本看不到图像的详细结构。如果你想细致地观察宇宙，你也会碰到同样的情形。

这一点使某些人感到失望，他们把这个原理看作是人类永远无知的自供状。但事情根本不是如此。我们感兴趣的是想知道宇宙是怎样工作，而测不准原理正好是宇宙的工作的一个关键性因素，宇宙存在着“微粒性”，问题就在这里。海森堡为我们指出了这一点，对此，物理学家是非常感激的。

54

宇称是什么？

假定我们把每一个亚原子粒子都挂上标签：要嘛是 A，要嘛是 B，二者必居其一。现在再进一步假定，一个 A 粒子只要分裂成两个粒子，这两个粒子要不是统统属于 A 类，就必定统统属于 B 类。这时我们可以写出 $A=A+A$ 或 $A=B+B$ 。

一个 B 粒子如果分裂成两个粒子，这两个粒子当中总是有一个属于 A 类，另一个则属于 B 类，所以我们可以写出 $B=A+B$ 。

你还会发现另一种情形：如果两个粒子互相碰撞而分裂成三个粒子，这时你就可能发现 $A+A=A+B+B$ 或 $A+B=B+B+B$ 。

但是，有些情形却是观察不到的。例如，你 **不会** 发现 $A+B=A+A$ 或 $A+B+A=B+A+B$ 。

这一切是什么意思呢？好吧，让我们把 A 看作 2, 4, 6 这类偶数中的一个，而把 B 看作 3, 5, 7 这类奇数。两个偶数相加总是等于偶数 ($6=2+4$)，所以 $A=A+A$ 。两个奇数相加也总是等于偶数 ($8=3+5$)，所以 $A=B+B$ 。但是，一个奇数和一个偶数之和却总是等于奇数 ($7=3+4$)，所以 $B=A+B$ 。

换句话说，有些亚原子粒子可以称为“奇粒子”，另一些亚原子粒子可以称为“偶粒子”，因为它们所能结合成的粒子或分裂成的粒子正好与奇数和偶数相加时的情况相同。

当两个整数都是偶数或者都是奇数时，数学家就说这两个整数具有“相同的奇偶性(宇称)”; 如果一个是奇数，一个是偶数，它们就具有“不同的奇偶性(宇称)”。这样一来，当有些亚原子粒子的行为像是奇数，有些像是偶数，并且奇数和偶数的相加法则永远不被破坏时，那就是过去所说的“宇称守恒”了。

1927 年，物理学家魏格纳指出，亚原子粒子的宇称是守恒的，因为这些粒子可以看作是具有“左右对称性”。真有这种对称性的东西与它们在镜子里所成的像(镜像)完全相同。数字 0 和 8 以及字母 H 和 X 都具有这样的对称性。如果你把 8,

0, H 和 X 转一下, 让它们的右边变成左边, 左边变成右边, 那么, 你仍旧会得到 8, 0, H 和 X。字母 b 和 p 就没有这种左右对称性。要是你把它们转个 180° , b 就会变成 d, p 就变成 q——成为完全不同的字母了。

1956 年, 物理学家李政道和杨振宁指出, 在某些类型的亚原子事件中宇称应该不守恒, 并且实验很快就证明他们的说法是对的。这就是说, 有些亚原子粒子的行为好像它们在某些条件下是不对称似的。

由于这个原因, 人们研究出了一个更普遍的守恒律。在一个特定粒子不对称的地方, 它的反粒子 (即具有相反的电荷或磁场) 也是不对称的, 但两者的模样相反。因此, 如果粒子的形状像 p, 它的反粒子的形状就像 q。

如果把电荷 (C) 和宇称 (P) 放在一起, 就能建立一条简单的法则, 来说明哪些亚原子事件能够发生, 哪些亚原子事件不能够发生。这个法则称为“CP 守恒”。

后来, 人们又明白了, 为了使这个法则真正保险, 还必须考虑到时间 (T) 的方向; 因为一个亚原子事件看起来既可以是在时间中向前推进, 也可以是在时间中向后倒退。添上时间以后的法则称为“CPT 守恒”。

近来, 就连 CPT 守恒也成问题了^①, 不过到底怎么样, 目前还没有得出最后的结论。

① 到目前为止, 所有的实验仍证明 CPT 是守恒的。——译者

55

为什么我们总是说某一同位素的半衰期，而不谈它的总寿命呢？

有些原子是不稳定的，这样的原子如果听其自然，早晚必定会自发地发生变化。那时就会有一个高能粒子或 γ 射线光子从它的原子核里飞出，因而它就变成另一种原子（属于同一种元素的原子可以称为这种元素的同位素）。如果在某个地方有大量的不稳定原子，它们就会朝四面八方辐射出粒子或 γ 射线，所以我们说，这样的原子是放射性的。

我们无法说一个特定的放射性原子什么时候会发生变化。这可能在一秒钟内发生，也可能过了一年还不发生，甚至可能过一千万亿年还不发生。因此，你无法测定放射性原子的“总寿命”（即它保持不变的时间）。这种“总寿命”可以具有任意值，所以，谈“总寿命”是没有用的。

不过，假定在某个地方有很多很多某种特定放射性同位素的原子。在任何一个指定的时刻，其中都有一些原子在发生变化。这时你会发现，尽管你在任何条件下都不能够说某个特定的原子将在什么时候发生变化，但你却可以预言说，在（比方说）一百万亿亿亿个原子当中，有多少个原子在多少秒钟以后会发生变化。

这是个统计学的问题。你完全不可能说出某个特定的美

国人在某一年会不会死于车祸，但你却有可能相当精确地预言说，在某一年内会有某一数量的美国人在车祸中丧命。

只要给出大量某一特定同位素的原子，我们就可以测出它们在某一指定时刻的辐射量，因而就能够预言在将来任何时刻会有多大的辐射量（会有多少个原子在发生变化）。已经查明，只要把原子发生变化的方式规定下来，那么，不管在开始时有多少原子，在原子总数中有 $1/10$ 发生变化所需要的时间总是相同的，事实上，这些原子当中的 $2/10$ （或 $4/17$ ， $19/573$ 还是任何别的特定的分数）发生变化所需要的时间总是固定不变的，不管最初有多少个原子。

因此，我们不说某一特定同位素原子的“总寿命”有多长（这是没有什么用处的），却说其中某一部分发生变化所需要的时间有多长，因为这个时间长度比较容易测量出来。但是，这个某一部分到底应该是多大呢？在所有分数当中最简单的是 $1/2$ ，所以通常就用某一特定同位素原子的一半发生变化所需要的时间来作标准，这就是这种同位素的“半衰期”。

某种特定的同位素越稳定，它的原子就越不容易发生变化，因而在你开始进行观察以后的（比方说）一个钟头内，某一特定数量的原子发生变化的可能性也越小，这就是说，其中一半原子发生变化所需要的时间也越长。

换句话说，某种特定同位素的半衰期越长，它就越稳定；半衰期越短，它就越不稳定。

有些同位素的半衰期确实很长。钍 232 这种同位素的半衰期为 140 亿年，任何一个数量的钍 232 ，都要经过这样长的时间，才有一半发生衰变。这就是为什么钍 232 在地壳中尽管已经呆了将近 50 亿年的时间（而且在不断衰变着），至今蕴藏量还非常丰富的原因了。

但是，有些同位素的半衰期却确实非常短。氦 5 这种同位素的半衰期大约只有一千亿亿亿分之一秒。

56

为什么科学家一直在寻找这么多新的亚原子粒子，它们有什么重要性呢？

这个问题的答案主要是一句话：“为了更多的能量。”

物理学家用一种非常粗鲁的办法去研究原子核的内部结构。他们全力以赴地用亚原子粒子去撞击原子核，把原子核粉碎成碎片，然后研究这些碎片。

最近三十年来所发生的变化，一直是在提高那些轰击原子核的微小的亚原子“炮弹”的能量。本世纪三十年代，这类炮弹的能量是几百万电子伏；四十年代是几亿电子伏；五十年代是几十亿电子伏；到六十年代，已提高到几百亿电子伏。看来，在七十年代大概会有能量达到几千亿电子伏的炮弹了。

轰击原子核的能量越大，击碎后所产生的粒子的数量就越多，并且这些粒子也越不稳定。你可能会想到，随着冲击力量的加强，所出现的粒子会变得越来越小（不是吗，狠狠的一击可以把一块岩石分裂成两大块，而更猛烈地一击却可以把同一块岩石分裂成十多块小碎片呀）。但是，在原子核的场合下，事情却不是这样。击碎后出现的那些粒子都倾向于成为相当重的粒子。

我们知道，能量可以转化成质量。在粉碎原子的过程中出现的那些亚原子粒子，并不是原来在原子核中就一直存在、后来才被击出的。它们是在原子核被击碎的瞬间由入射粒子的能量形成的。所以，入射粒子的能量越大，所能产生的粒子的质量就越大，并且这些粒子一般也越不稳定。

从某种意义上说，从被击碎的原子核飞出的亚原子粒子，就像火石打击钢铁时飞出的火花一样。钢铁中本来并没有火花，火花是由撞击的能量产生的。

但是，如果这样的话，所有这些亚原子粒子还有什么重要性？它们不可能就像火花那样，也只不过是能量的一些偶然的产物吗？

物理学家并不这样想，因为这些粒子所遵循的法则太多了。所形成的粒子都具有一定的特性，这些特性要服从一些相当错综复杂的法则。这就是说，各种不同的粒子都可以用一些被称为“同位旋”、“奇异性”、“宇称”等等的数字来表示，这些数字的本性受到某些严格的限制因素的支配。

可见，在这些限制因素的后面必然隐藏着某种东西。

美国物理学家盖尔曼已经研究出了一种按照这些数字逐渐增大的次序把各种亚原子粒子排列成表的体系，由于这样做，他就能预言一些迄今未知的新粒子。具体地说，他曾经预言了负 ω 粒子的存在，这种粒子应该具有某些看来不太可能的特性，但是，当人们去寻找这种粒子时，它果然被发现了，并且还正好具有盖尔曼所预言的那些特性。

盖尔曼还提出，如果目前已知的几百种粒子全都是由很少几种更简单的粒子（他把这些粒子称为“夸克”）构成的，那么，已知的粒子就会很自然地按照他所指出的方式排列成一个表。目前，许多物理学家正在搜索这种夸克。如果夸克真

的被发现了，那么，它们可能为我们提供一幅有关物质的根本性质的崭新图景，那对我们很可能是极其有用的。

57

夸克是什么东西？

夸克这个概念，是由于最近 25 年来发现了一百多种不同的亚原子粒子才产生出来的。确实，其中只有很少几种粒子能够维持到十亿分之一秒才发生衰变，但是，仅仅存在着这些粒子的事实本身，就够物理学家伤脑筋了。

为什么会有这么许多粒子，而且每一种粒子都与别种粒子不相同呢？

事情会不会是这样：这些不同的粒子可能组成几个大家族，并且每个家族内的许多粒子可能按照非常有规律的方式彼此有些差异？要是这样的话，就只需要考虑到少数几个粒子家族的存在，而无需把每一种粒子一一分别考虑了。这时，在看来似乎杂乱无章的亚原子丛林里，就会建之起某种秩序来了。

1961 年，美国物理学家盖尔曼和以色列物理学家尼门分别研究出一种把粒子归入这样一些家族的办法。盖尔曼甚至还提出，有一个粒子族应该包括一种他称之为负 ω 粒子的东西——这是一种具有非常奇特的、极不寻常的性质的粒子，但人们从来没有碰到过它。不过，物理学家只要知道它按照假设应该会有什么样的性质，他们就知道该怎样去寻找它了。结果，他们在 1964 年发现了这种粒子，并且发现它的性质正好与

盖尔曼对它的描绘一模一样。

盖尔曼在研究他那些粒子家族时想到，说不定所有各种不同的亚原子粒子会是由很少几种更为简单的粒子结合而成的。如果真是这样，那可就会把我们对宇宙的看法大大简化。在他看来，只要假定存在着三种不同的、具有特定性质的亚原子粒子，就可以按不同的方式把它们组合起来，得出已知的所有各种亚原子粒子。

由于要用三个这种假设的粒子结合起来，才能构成一个已知的粒子，盖尔曼就想起了作家乔伊斯的《芬尼根斯·韦克》中的一句话（作者为耍弄文学技巧，故意在这本书中玩文字游戏）：“三个夸克才顶得上一个马克。”因此，盖尔曼就把这些假设中的粒子命名为“夸克”。

夸克的二个令人惊奇之处，就是它们应该带有非整数电荷。所有已知的电荷不外以下几种情况：或者等于电子的电荷（-1），或者等于质子的电荷（+1），再不然，就是正好等于这两种电荷的若干倍。但是，p 夸克的电荷只有+2/3，n 夸克和 λ 夸克的电荷只有-1/3。这样，一个质子将由一个 n 夸克和两个 p 夸克构成，一个中子则由两个 n 夸克和一个 p 夸克构成，余者依此类推。

但是，夸克是真的存在呢，还是仅仅是一种数学上的臆想？

为了让你明白我的意思，请你考虑一张五角的钞票。一张五角的钞票可以看作等于 10 个五分的硬币。但是，这仅仅是一道算式呢，还是你真的有可能把这张五角的钞票撕成十份，并且发现每一份都是一个实实在在的五分硬币？

自从盖尔曼第一次提出存在夸克粒子以来，物理学家就一直千方百计想找到夸克存在的迹象，但却没有成功。1969

年，澳大利亚有人报道说，已经在宇宙线碰撞所产生的粒子簇射中，找到了带非整数电荷的粒子的径迹。不过，它的证据看起来非常玄，所以，大多数物理学家对这个报道都持怀疑态度。^①

58

人们老是说质子是由三个夸克结合成的，又说一个夸克的质量等于一个质子的三十倍。这两种说法怎能同时成立呢？

这两种说法都可以成立。至少，这两种说法并不一定是自相矛盾的。要解开这个表面上的矛盾，关键问题是得注意到质量是能量的一种表现形式这个事实。

我们可以认为，每一个物体相对于某个合适的参考系都具有某一动能。这个动能等于物体的质量乘以物体速度的平方的二分之一。当物体的能量增大时，它的质量和速度两者都增大了（在低能量时主要是速度增大，在能量非常高时主要是质量增大）。

其次，我们来考虑一些比较小的物体。这些物体结合得越紧，（一般说来）把它们维持在一起的力就越大，像太阳和地球这类确实很大的物体，是靠万有引力场维持在一起的。万有引力是目前已知的各种力当中最弱的一种。

原子和分子是靠强得多的电磁场维持在一起的。由于这

^① 2000年2月，欧洲核子中心（CERN）的科学家宣布，他们成功地在实验室中模拟微型的“宇宙大爆炸”，从中获得证据表明，存在一种新的物质形态——“夸克胶子浆”。——碧声注

种场的作用，分子和分子通常十分牢固地结合在一起，分子中各个原子的结合还要更牢固，而原子中电子和原子核的结合就更牢固得多了。

原子核中的各个粒子是靠核力场维持在一起的。核力场比电磁场强一百多倍，事实上，核力是已经知道的最强的力。这就是原子弹爆炸为什么比普通炸药爆炸猛烈那么多的原因之一。

假如处在原子核中的质子（和中子）本身是由一些还要更基本的粒子（夸克）所组成，那么，把各个夸克维持在一起的结合力很可能要比把质子和中子维持在一起的力强得多，这大概就会牵涉到一种比现在已知的各种场强得多的新力场了。

要把单个质子或单个中子分裂成构成它的几个夸克，必须对质子或中子“灌进”极巨大的能量——这个能量要比在把构成原子核的质子、中子团块成功地切开时所需要的能量大得多。

当质子或中子分裂时，那些在这时出现的夸克就会“拣起”原先输入的能量，这个能量有些会表现成巨大的速度，有些则表现为巨大的质量。换句话说，由于输入了非常巨大的能量，本来在质子中只占质子质量三分之一的一个夸克，一旦被分离开，它的质量就会变得比质子大许多倍。

夸克一旦被分离开，由于它们之间相互吸引的力场具有空前未有的强度，它们就极其倾向于重新结合起来。这种重新结合会释放出极其巨大的能量，而这种能量损失就会引起质量的损失。这时，夸克在质量上就会大大缩减，以致当三个夸克结合起来时，质量也不会比一个质子大。

到目前为止，物理学家还完全没有具备把亚原子粒子分

裂成夸克所必需的这种能量，所以，他们就不容易检验夸克的假说是不是真正有价值。不过，有些宇宙线粒子具有这样的能量。因此，它们在同原子碰撞时所产生的粒子簇射，现在正受到物理学家的密切注意，他们希望在这里找到夸克呢！

59

在原子弹爆炸时，有些物质转化成能量。有没有可能反其道而行之，把能量转化成物质呢？

能量是肯定有可能转变成物质的，不过，要想大量做到这一点，在实践上却办不到。现在我们就来看看这是为什么。

按照爱因斯坦的狭义相对论， $E=mc^2$ 。这里 E 代表能量，以尔格为单位； m 代表质量，以克为单位； c 代表光的速度，以每秒厘米为单位。

光在真空中行进的速度非常接近于每秒 300 亿 (3×10^{10}) 厘米。 c^2 这个量代表 $c \times c$ 的乘积，即等于 $3 \times 10^{10} \times 3 \times 10^{10} = 9 \times 10^{20}$ 。这就是说， c^2 等于

900,000,000,000,000,000。

因此，从理论上说 1 克的质量 ($m=1$) 可以转化成 9×10^{20} 尔格的能量。

尔格是个非常小的能量单位。我们比较熟悉的单位是千卡 (大卡): 1 千卡大致等于 420 亿尔格。1 克质量在转化成能量时大约产生 2.2×10^{11} (即 2200 亿) 千卡。你每天只要从你吃下

的食物得到 2,500 千卡的能量，就可以生活得很舒服了。要是你有 1 克物质所代表的能量可以利用，你就有了一个够你维持 240,000 年的能源，这不管是用什么人的标准来衡量，都是一个巨大的数目。

换一种表示方法吧！如果 1 克物质所代表的能量能够完全变成电能，那么，它可以供一盏 100 瓦的电灯泡连续点燃大约 280,000 年。

再换一种说法，那就是，1 克物质所蕴含的能量相当于燃烧 7 千万加仑汽油所得到的能量。

因此，既然原子弹里有数量相当可观的物质变成能量，那么，原子弹爆炸时会造成那么巨大的破坏作用，也就不足为奇了。

这种转化可以朝两个方向进行。如果说物质能够转化成能量的话，那么，能量也可以转化成物质。这是任何时候都可以在实验室里参观的：一种能量非常高的粒子—— γ 射线光子——能够不太费劲地转化成电子和一个正电子。这时，物质转化成能量的过程就颠倒过来了：现在是能量通过这种方式转化成物质。

但是，这时形成的物质只包含两种非常轻的粒子，它们的质量小到几乎等于零。用这样的原理能够产生更多的物质——多到甚至看得见的物质吗？

可是，这一来你可就用得上算术了：既然 1 克物质可以转化成燃烧 7 千万加仑汽油所产生的能量，那么，燃烧 7 千万加仑汽油所产生的全部能量，也仅仅能够产生 1 克物质。

即使有人想作一次表演，不惜倾家荡产去积集只能够产生 1 克物质的全部能量（并且这能量可能要比所需要的能量多好几倍，因为总会有一些必不可少的消耗），也还是无法做

到这一点。事情很简单：所需要的能量既不可能足够快地全部产生出物质来，也不可能全部集中在一个一下子能产生出1克物质的充分小的体积里。

可见，这种转化在理论上虽然有可能实现，但在实践中却完全做不到。不错，据科学家们推断，宇宙中的物质过去一度是由能量形成的，但是，形成这些物质的任何一组条件肯定是我们现在在实验室里无法再现的。

60

反粒子会产生反能量吗？

二十世纪初，物理学家开始明白，一切物质都是由某几种不同的粒子组成的。1930年，英国物理学家狄拉克在研究这些粒子的数学理论时断言说，每一种粒子都应该会有它的对立面。

举个例子说吧！电子具有负电荷，而质子具有大小正好相同的正电荷，但这两种粒子并不是对立面。质子的质量显然比电子大得多。

按照狄拉克的意见，应该存在着一种具有与电子同样大的质量、但却带有一个正电荷的粒子，也应该有一种具有与质子同样大的质量、但却带一个负电荷的粒子。这两种粒子后来确实被人们探测到了，因此，我们现在知道有一种“反电子”（即“正电子”）和一种“反质子”。

中子根本不带任何电荷，但它有一个指向某个方向的磁场。“反中子”也不带电荷，但它的磁场所指的方向同中子的

磁场相反。

似乎存在着这样一条自然规律：一个粒子可以转变为另一个粒子，但是，要是在起先并不存在粒子的情况下产生了一个粒子，就必定会同时产生一个反粒子。

这里可以举一个例子，一个中子可以转变成一个质子，由于这是一个粒子转变成另一个粒子，似乎是不成问题的。不过，在这个转化过程中还形成了一个电子。这就等于说有一个粒子变成了两个粒子。为了抵消掉这第二个粒子，这时还形成了一个非常微小的反粒子，即所谓“反中微子”。

这时，一个粒子（即中子）变成了另一个粒子（即质子）加上一个粒子-反粒子对（即电子和反中微子）。

粒子-反粒子对既可以从能量产生出来，也可以重新全部变为能量。你无法用能量仅仅产生一个粒子，也无法仅仅产生一个反粒子，但是，你可以用能量产生一个粒子-反粒子对。

能量本身是由“光子”构成的，这就产生了一个问题：光子是个粒子呢，还是个反粒子？似乎没有任何办法把一个光子转变成一个电子，所以，它不可能是粒子。但是，同样也没有任何办法把它转变成一个反电子，所以，它也不可能是反粒子。

不过，一个能量充分高的 γ 射线光子可以转变成一个电子-反电子对。这么一来，光子本身似乎既不是粒子，也不是反粒子，而是一下子就代表一个粒子-反粒子对。

每一个光子也都是一个反光子。换句话说，光子就是它自身的对立面。

你可以这样来看待这个问题：假定你把一张纸从当中对折，并把它一分为二。在其中的半张纸上写下所有粒子的名

称，而在另外半张纸上写下所有反粒子的名称。那么，你该把光子写在什么地方呢？当然是该写在折缝里了。

正是由于这个原因，粒子世界所产生的能量是由光子组成的，反粒子世界所产生的能量也是由光子组成的，两者之间毫无差别。能量就是能量，并不存在什么反能量之类的东西（就我们目前所知道的而论）。

61

宇宙线与中微子的性质有什么不同？

宇宙线是由速度不断增大、带有正电荷和质量颇大的亚原子粒子组成的，在这些粒子当中有百分之九十左右是质子（氢原子核），百分之九是 α 粒子（氦原子核）。剩下的百分之一是更复杂的原子核。已经探测到其中有像铁那样复杂的原子核（铁原子核的质量等于单个质子质量的56倍）。

由于宇宙线粒子的质量这样大，并且又以极其巨大的速度运动（很接近光速），它们就带有极大的能量。事实上，它们是我们所知道的、能量最大的粒子，有些宇宙线粒子的能量比用最最大的加速器所能产生的粒子还要高几十亿倍。

宇宙线粒子在迅猛地撞入地球的大气中时，把它们所碰到的任何原子都击得粉碎，从而产生大量的“次级辐射”，这是由包括介子和正电子在内的各种各样粒子组成的。最后，这种辐射猛烈地撞到地球本身，其中有一部分能穿入地下好多米才被吸收掉；这样的粒子会使它们所碰到的任何原子（包括人体中的各种原子）发生变化。可以想到，这样带来的变化

会引起白血球增多症这类疾病。它们还有可能诱发突变。不过，就任何一个特定的个体来说，发生这种情形的机会都是很小的，因为所有碰巧能击中某个特定的人的宇宙线粒子，几乎全都会从他身上穿过去，而不对他造成重大的损害。

宇宙线粒子的确切来源和它们获得巨大能量的办法，都是现在争论不休的问题。

中微子是在产生电子、正电子或 μ 子的任何一种核反应中，随着其中的一种粒子一起产生的。例如，在太阳上进行的那种核反应产生了大量的正电子，因而也产生了大量的中微子。

中微子是以光速运动的，所以它们甚至比宇宙线粒子跑得更快，不过，它们的能量却低得多，因为中微子完全没有质量和电荷。中微子不会被物质所吸收，除非它们正好击中了某个原子核，但这种情况是极其罕有的，所以，平均地说，中微子能够穿过几万亿公里的固体铅块，然后才被吸收掉。

这样，太阳在每秒内产生的无数万亿个中微子就要朝四面八方射出。那些碰巧朝地球射来的中微子将击中我们，然后就像根本不存在地球一样，若无其事地穿过它径直继续向前飞去，它们同样也穿过我们所有的人。我们在一生中，日日夜夜都不断受到中微子的轰击，但是，由于它们在穿过我们的身体时不会受到吸收，所以它们也不会对我们产生任何影响。

当然，也可能有某个特定的中微子正好在我们附近极其幸运地直接击中了某个原子核。那么，我们就可以探测到中微子。本世纪五十年代，物理学家学会了怎样利用这种非常罕见的事例。现在中微子可以为我们提供恒星内部（也就是产生中微子的地方）的情报，那是我们用任何别的方法所无法

得到的。

62

宇宙线对于在空间旅行的人有多大的危险性？

早在 1911 年，奥地利物理学家赫斯就发现地球一直在受到来自外层空间的、穿透能力非常强的辐射的轰击。这种辐射在 1925 年被美国物理学家米利肯命名为“宇宙线”，因为它们是在宇宙中产生的。

经过这些年来，人们已经发现，宇宙线是由一些非常高速的带正电原子核组成的。其中大约有百分之九十是质子（氢的原子核），百分之九是 α 粒子（氦的原子核），剩下的百分之一是一些质量更大、结构更复杂的原子核，有些大的如铁的原子核，质量为质子的 56 倍。

这些撞击地球外层大气的高速原子核是所谓“原辐射”。它们同空气分子相碰撞，并把分子击碎，从而产生各种各样能量同原辐射差不多一样高的粒子。空气分子爆炸而形成的这些新粒子就构成了“次级辐射”。

次级辐射有一部分能到达地面，并穿入地壳好几米深。有一小部分辐射会从人体穿过，这样的辐射会对细胞造成偶然性的损害，而这可能成为使基因产生突变的因素之一。如果这样的辐射足够多，就会使大量的细胞受到损伤以致使人死亡，但是，幸亏在我们这里，即在大气层的下部，这样的辐射并不太多。生物经过宇宙线几十亿年的轰击，终于还是幸存

下来了。

宇宙线的起源是个有争论的问题，不过，它们至少有一部分是由普通的恒星产生的。1942年有人发现，当太阳表面爆发出“太阳耀斑”（这是一种巨大的爆炸）时，它也会产生一些能量不算太高的宇宙线。

我们的高层大气把一般宇宙线粒子的能量吸收掉一大部分，而次级辐射可以在大气中跑得远一些，才受到部分吸收。原来的辐射能只有很少一部分能够不被吸收而到达我们所居住的地面。

但是，在大气层以外的空间中，宇航员可就面临着原辐射的十分猛烈的轰击了。这时，屏蔽也起不了太大的作用。撞击在任何屏蔽物原子上的宇宙线粒子都会产生次级辐射，它们会朝飞船内部像弹片那样向四面八方飞散。如果屏蔽用得合适，那实际上可能造成更坏的后果。

这种危险的大小完全取决于外层空间中宇宙线的活性有多大——特别是取决于那些质量确实很大的粒子的数量，因为大多数损害都是这类粒子造成的。过去美国和苏联已把许多人造卫星发射到外层空间去检测宇宙线的数量，看来在通常的条件下，宇宙线的数量不大，足以保证合理的安全要求。

最可能出危险的机会可能是由太阳所产生的那些中等强度的宇宙线引起的。我们的大气能够把这些辐射差不多全部挡住，但在外层空间中却没有任何大气来为宇航员挡住这些辐射。这种辐射尽管能量不太高，但数量却很多，这就可能使它们变得很危险。太阳的宇宙线只有在出现太阳耀斑时才大量产生。因此，宇航员有幸运的一面：这种耀斑并不太经常出现；但也有不幸的一面：我们还无法预测要出现耀斑的精确时间。

因此，当宇航员登上月球时，我们当然一定会希望在一两个星期的时间内，不要出现那种向他们那里喷出宇宙线粒子的大耀斑。

63

中微子是物质还是能量？

十九世纪的科学家曾经认为，物质和能量是两种截然不同的东西。一切占据某一空间并具有质量的东西都是物质。由于物质具有质量，它也就具有惯性，并且会对万有引力场做出反应。至于能量则既不占地方，也没有质量，但它能够做功。后来人们又进一步感觉到，物质是由粒子（原子）所组成，而能量却往往是由波组成的。

不仅如此，十九世纪的科学家还认为，物质是既不能创造，也不能消灭的，同样，能量也是既不能创造，也不能消灭的。宇宙中物质的总量是不变的，能量的总量也是这样。因此，当时不但有一条物质守恒律，而且还有一条能量守恒律。

后来，爱因斯坦在 1905 年指出，物质是能量的一种非常集中的形态。质量可以转化成能量，能量也可以转化成质量。我们只需要考虑能量守恒律就够了，因为它已把物质包含在内。

事情还不止是这样。到本世纪二十年代，人们开始清楚地知道，不应该把粒子和波当作两种不同的东西而把它们相提并论。我们本来认为是粒子的东西，在某些方面表现得像波一样。而我们本来认为是波的东西，在某些方面却有粒子

的行为。这样，我们可以说有“电子波”，也可以说有“光粒子”——即“光子”。

但是，这里仍然有一个差别。物质粒子相对于某个观察者可以是静止不动的。即使在静止的时候，它们也具有质量：它们具有大于零的“静质量”。

但是，像光子这样的粒子，它们的静质量却等于零。如果它们真的能相对于你静止不动，那么，你根本测量不到任何质量。不过，这纯粹是理论上的说法，因为静质量为零的粒子不管是相对于你还是相对于任何别的观察者来说，都永远不可能是静止不动的。这样的粒子在真空中必定永远以每秒约 300,000 公里的速度运动。它们一旦产生出来，就马上以这个速度急急忙忙地奔驰着。

正是因为光子（在真空中）永远以每秒约 300,000 公里的速度运动，而光又是由光子构成的，所以我们就把这个速度叫做“光速”。

得了，那又关中微子什么事呢？

中微子是在某些原子核反应中产生的，到目前为止，还没有一个原子物理学家能够测出它的质量。看来非常可能，中微子就像光子一样，静质量也等于零。

如果事情真的是这样，中微子在真空中就永远以每秒约 300,000 公里的速度运动，并且在它们刚刚产生时就具有这个速度。

但是，中微子并不是光子，因为这两者具有截然不同的性质。光子非常容易同物质粒子相互作用，因此，当它们通过物质时，速度就会减慢并被吸收掉（有时这发生得很快）。

然而，中微子却根本不怎么同物质粒子相互作用，因此，它们可以通过整整一光年厚的固体铅块，而却不会受到多大

的影响。

这样，似乎显而易见，既然中微子的静质量等于零，它们就不是物质。从另一方面说，它们需要用能量才能产生，而且它们还带着能量离开它们产生的地方，所以，它们是能量的一种形态。

可是，它们在通过任何已知物质时几乎完全不起任何相互作用，所以，它们实质上完全没有做功。这就使它们不同于任何一种别的能量形态。看来，也许我们最好是别去追究它们是物质还是能量，而干脆就把它们叫做中微子吧！^①

64

气泡室是怎样工作的？

气泡室是探测亚原子粒子的一种装置，它是美国物理学家格拉泽在 1952 年发明的，结果，格拉泽获得了 1960 年的诺贝尔物理学奖。

气泡室实质上是一个液体容器，其中液体的温度高于这种液体的沸点。这时，液体处于高压状态，所以它实际上并不沸腾。但是，如果压力降低，液体就会沸腾，并在液体中出现蒸汽的气泡。

假定有一个像质子或介子这样的亚原子粒子冲进这样一个气泡室的液体中，它就会同液体中的原子和分子发生碰撞，并把自己的一部分能量转移给它们。因此，在这个液体中，亚原子粒子经过的路线上的原子和分子就会比其他原子和分子稍稍热一些。这样，如果降低液体所受到的压力，蒸汽的气

^① 目前中微子有静止质量的结论已逐步为科学界大多数所接受，质量范围也已经可以预测，但其精确测量仍然极为困难，探索还在继续。——ken777 注

泡就会先沿着亚原子粒子途径上留下能量的那条路线形成。因此，就会有一条可以见到的气泡径迹指示出那个粒子是从哪里经过的，这种径迹很容易拍成照片。

这种可见的径迹可以告诉物理学家许多情况，要是气泡室放在强磁体的两个磁极之间，就更是如此。那些能够留下气泡径迹的粒子总是带电的——带正电或带负电。如果它们带的是正电，那么，在磁体的影响下，它们的路径就会朝一个方向弯曲；如果它们带负电，它们的路径就朝相反的方向弯曲。物理学家从它们路径弯曲得厉害不厉害，就能确定它们的运动速率。从这一点，以及根据径迹的粗细等等，又能确定出那个粒子的质量。

当一个粒子衰变成两个以上的粒子时，它的径迹就会分叉。在粒子发生碰撞的情况下，径迹也会分叉。在一张特定的气泡室照片中，会出现大量径迹。有粒子相遇的，有粒子分开的，还有些是分叉的。有时在一个径迹图形的几个部分之间还有些空白，这些空白就必定要用某种不带电的粒子来解释，因为不带电粒子在气泡室中运动时不会留下可见的径迹。

各种径迹的这种复杂的组合对于原子核物理学家来说，就像雪地上各种动物留下的足迹对于有经验的猎人那样富有意义。从这些径迹的性质，物理学家就可以辨认出所碰到的是些什么粒子，或者指出他是否发现了某种全新的粒子。

格拉泽最初的气泡室的直径只有几厘米，但是，现在正在建造的气泡室却已成了庞然大物，直径达到几米，能够容纳以立方米计的液体。

气泡室所用的液体可以是各种各样的。有些气泡室里装的是液化的惰性气体，例如氙或氡。有些装的则是液化的有机天然气。

不过，对气泡室来说，最有用的液体却是液态氢。氢是已知的最简单的原子。每一个氢原子含有一个原子核（它只由一个质子构成），还有一个孤零零的电子绕着原子核旋转。因此，液态氢是只由一些孤立的质子和电子构成的。而所有其他液体的原子核，却都是由几个质子和几个中子堆集成的团块。

这样一来，在液态氢中发生的亚原子事件就特别简单，它们全都很容易从气泡所组成的径迹辨认出来。

65

增殖反应堆是什么东西？

铀 235 是实用的核燃料。这就是说，慢中子会使铀 235 原子发生裂变（一分为二），并且产生更多的慢中子，而这些慢中子又会进一步引起其他铀原子裂变，使裂变过程持续下去。由于同样的原因，铀 233 和钷 239 也是实用的核燃料。

遗憾的是，天然存在的铀 233 和钷 239 的数量真是微乎其微，而铀 235 的数量虽然比较可观，但也相当稀少。在任何一块天然铀的标本中，每一千个铀原子当中只有七个是铀 235，其余的都是铀 238。

铀 238 是最常见的一种铀，但它却不是实用的核燃料。铀 238 也能在中子作用下发生裂变，但只有快中子才能做到这一点。那些分裂成两半的铀 238 会产生一些慢中子，而慢中子不足以引起进一步的裂变。铀 238 可以比作潮湿的木头：你可以把它烧着，但它最后还是还是要熄灭的。

但是，假定把铀 235 同铀 238 分离开来（这是一个相当艰巨

的任务), 并且用铀 235 来建造一个原子核反应堆, 这时, 构成反应堆燃料的那些铀 235 原子就会发生裂变, 并向四面八方发射出无数慢中子。如果这个反应堆包着一个用普通铀 (其中绝大部分是铀 238) 制成的外壳, 那么, 射入这个外壳的中子就会被铀 238 所吸收。这些中子不可能迫使铀 238 发生裂变, 但却会使铀 238 发生另外的变化, 最后就会产生钚 239。如果把这些钚 239 从铀里面分离出来(这是个相当容易完成的任务), 它们就可以用作实用的核燃料了。

能够用这种方式产生新燃料去代替用掉的燃料的反应堆就是增殖反应堆。一座设计得当的增殖反应堆所生产的钚 239, 在数量上要多于消耗掉的铀 235。利用这种办法, 就可以使地球上的全部铀——而不仅仅是稀有的铀 235——都变成潜在的燃料来源。

天然存在的钍完全是由钍 232 组成的。钍 232 就像铀 238 一样, 也不是实用的核燃料, 因为要有快中子才能使它发生裂变。

不过, 如果把钍 232 放进包着核反应堆的外壳里, 钍 232 原子就会吸收慢中子, 并且尽管它不发生裂变, 最后却会变成铀 233 原子。由于铀 233 是一种很容易同钍分离开来的实用燃料, 这样做的结果便又实现了另一种增殖反应堆, 它会把地球上现有的钍资源变成潜在的核燃料。

地球上的铀和钍的总量大约比铀 235 一项的蕴藏量多 800 倍。这就是说, 如果适当地利用增殖反应堆, 就可以通过原子核裂变发电厂把地球上的潜在能源增加 800 倍。

66

我们得把氢加热到多高的温度和保持这个温度多长的时间，才能使聚变反应持续进行下去？

当氢被加热到越来越高的温度时，它就会以越来越快的速率通过辐射丧失它的能量。另一方面，随着温度的继续上升，氢原子会失去它们的电子，只剩下裸露的原子核撞击在一起并发生聚变。当发生这样的聚变时，就会产生能量。这时，由于温度继续升高，便会通过聚变产生越来越多的能量。

随着温度的上升，聚变所产生的的能量数量增加的速率，将大于通过辐射损失能量的速率。在某一个临界温度下，聚变所产生的能量正好同通过辐射损失掉的能量一样多。在这种条件下，温度将保持不变，因而聚变反应就会变成自持的。只要有更多的氢不断供给这样一个系统，能量就会源源不绝地产生出来。

发生聚变所要求的温度随着氢的“品种”的不同而改变。最常见的是氢（H），它的原子核是由一个质子构成的。然而还有重氢，即氘（D），它的原子核由一个质子和一个中子构成；还有一种放射性氢，氚（T），它的原子核由一个质子和两个中子构成。

在一定的温度下，氚的聚变所产生的能量比氢的聚变多，而氘的聚变所产生的能量还要更多。

当只有氢发生聚变时，在一定温度下产生的能量太少了，因此，要在实验室中让这种反应持续进行下去，就要求温度超过摄氏十亿度。不错，在太阳的中心是氢在发生聚变，而那里的温度只有 $15,000,000^{\circ}\text{C}$ ，但是，在这样低的温度下，只有很小一部分氢参加聚变。但由于太阳上氢的数量极大，所以，尽管发生聚变的氢只占很小一部分，也已足以使太阳维持现有的辐射了。

当只由氘发生聚变时，为引燃这种反应所需要的温度是最低的，那只需要达到几百万度。遗憾的是，氘是不稳定的，它在自然界中根本就不存在。在需要用到它时，必须在实验室里把它制造出来，因此，仅仅用氘是不可能使聚变反应以地球上所需要的数量持续进行下去的。

氘发生聚变的引燃温度是 $400,000,000^{\circ}\text{C}$ 。氘是稳定的，但数量很少。在 6,700 个氢原子当中，只有一个原子是氘。不过，这就已经不算太少了。一升普通水中的氘发生聚变时，已足以产生出燃烧 300 升汽油所产生的能量了。

达到必要温度的一个办法，是添进适当数量的氘，使它作为诱因去起作用。氘同氘的聚变只要在 $45,000,000^{\circ}\text{C}$ 就可以引燃了。如果这种反应稍稍进行一会儿，其余的混合物就会被加热到足够高的温度，因而可以引燃氘本身的聚变反应。

这个温度所需保持的时间长度取决于氢的密度。每立方厘米中的原子越多，碰撞的次数也越多，引燃就发生得越快。如果每立方厘米有 10^{15} 个原子（约为普通大气每立方厘米所含分子数的万分之一），那么，就必须把这个温度保持 2 秒钟。

当然，密度和温度越高，就越难使氘聚集在一起，尽管

引燃聚变反应所需要的时间非常短暂。正因为这样，这些年来聚变系统一直在取得缓慢的改进，但却仍然没有达到引燃的条件。

67

电子显微镜是怎样工作的？

要回答这个问题，我们先得问一问：我们是怎样判断某个物体有多大的？

从某一物体的两侧射到我们眼中的光线，会对我们的眼睛形成一个角度。根据这个角度的大小，我们就能够判断出那个物体的视大小。

但是，如果这些光线在到达我们的眼睛之前，先通过一个凸透镜，那么，这些光线就会受到某种方式的偏折，从而使它们在我们眼中形成的角度变得大一些。这样一来，我们通过这种透镜所看到的物体似乎变大了，并且它的每一个部分也似乎变大了。这样，我们就有了“放大镜”。

用几个透镜组合起来，就有可能把物体放大几千倍，并且清楚地看到一些小到远非肉眼所能看到的细部。这时，我们所碰到的是一台利用光波来工作的光学显微镜，过这种显微镜，我们可以看见像细菌那样小的物体。

我们能够把透镜一个个叠在一起，最后做成一台能把物体放大得非常大，使我们能够看到比细菌小得多的物体，甚至连原子也看得见的显微镜吗？

很遗憾，这是做不到的。即使我们把一些最完美的透镜

用最完善的方法组合起来，也无法制成这样的显微镜。光是由一定波长的电磁波构成的（波长约 $1/125,000$ 厘米），比它再小的东西就什么也看不清楚了。光波已经大到足以“跳过”一切比它自身小的东西了。

不错，有几种电磁波的波长要比可见光短得多。X 射线的波长就只有可见光波长的万分之一。可惜，X 射线会径直穿过我们所想看到的那些东西。

但是，不是还有电子吗？电子是一种粒子，但它们的行为也像波一样。它们的波长大致和 X 射线差不多，但电子不会径直穿过我们所想看到的那些东西。

假定有一束光投射在某一物体上。这个物体会吸收光，并且投下一个阴影。我们通过比较亮光和阴影，就看到那个物体。如果把一束电子投射到某一物体上，这个物体也将吸收电子，并投下一个“电子阴影”。在使用电子束的情况下，要是我们想用眼睛直接去看它，那是很危险的。但是，我们可以用照相底片把物体拍摄下来。电子阴影可以告诉我们那个物体具有什么形状，要是物体的某些部分对电子的吸收比其他部分强一些或弱一些，那么，这种照片甚至还可以说明物体的一些细节。

但是，要是那个物体非常小，那会怎么样呢？如果我们用的是光束，我们可以利用透镜使光束以某种方式偏折，从而把物体的外观放大。我们不能用普通透镜使电子束偏折，不过，我们还有别的东西可以利用。电子是带有电荷的，这就是说，它们在磁场中将沿着弯曲的路径行进。如果我们所采用的磁场具有适当的强度和形状，就可以用透镜操纵光束那种办法去操纵电子了。

简单地说，这时我们就有了一台“电子显微镜”，它利用

的是电子束，正像“光学显微镜”所利用的是光束那样。

不同的地方在于，电子的波长要比普通光的波长短得多，因此，电子显微镜能够为我们显示出像病毒那样细微的物体，而光学显微镜却做不到这一点。

68

熵 是 什 么 ？

只有当你所使用的那个特定系统中的能量密度参差不齐的时候，能量才能够转化为功，这时，能量倾向于从密度较高的地方流向密度较低的地方，直到一切都达到均匀为止。正是依靠能量的这种流动，你才能从能量得到功。

江河发源地的水位比较高，那里的水的势能也比河口的水的势能来得大。由于这个原因，水就沿着江河向下流入海洋。要不是下雨的话，大陆上所有的水就会全部流入海洋，而海平面将稍稍升高。总势能这时保持不变。但分布得比较均匀。

正是在水往下流的时候，可以使水轮转动起来，因而水就能够做功。处在同一个水平面上的水是无法做功的，即使这些水是处在很高的高原上，因而具有异常高的势能，也同样做不了功。在这里起决定性作用的是能量密度的差异和朝着均匀化方向的流动。

不管对哪一种能量来说，情况都是如此。在蒸汽机中，有一个热库把水变成蒸汽，还有一个冷库把蒸汽冷凝成水。起决定性作用的正是这个温度差。在任何单一的、毫无差别

的温度下——不管这个温度有多高——是不可能得到任何功的。

“熵”是德国物理学家克劳修斯在 1850 年创造的一个术语，他用它来表示任何一种能量在空间中分布的均匀程度。能量分布得越均匀，熵就越大。如果对于我们所考虑的那个系统来说，能量完全均匀地分布，那么，这个系统的熵就达到最大值。

在克劳修斯看来，在一个系统中，如果听任它自然发展，那么，能量差总是倾向于消除的。让一个热物体同一个冷物体相接触，热就会以下面所说的方式流动：热物体将冷却，冷物体将变热，直到两个物体达到相同的温度为止。如果把两个水库连接起来，并且其中一个水库的水平面高于另一个水库，那么，万有引力就会使一个水库的水面降低，而使另一个水面升高，直到两个水库的水面均等，而势能也取平为止。

因此，克劳修斯说，自然界中的一个普遍规律是：能量密度的差异倾向于变成均等。换句话说，“熵将随着时间而增大”。

对于能量从密度较高的地方向密度较低的地方流动的研究，过去主要是对于热这种能量形态进行的。因此，关于能量流动和功—能转换的科学就被称为“热力学”，这是从希腊文“热运动”一词变来的。

人们早已断定，能量既不能创造，也不能消灭。这是一条最基本的定律；所以人们把它称为“热力学第一定律”。

克劳修斯所提出的熵随时间而增大的说法，看来差不多也是非常基本的一条普遍规律，所以它被称为“热力学第二定律”。

宇宙是在不断衰亡吗？

按照“热力学第二定律”，熵总是在不断地增大。这就是说，能量密度的差别一直在减小。当所有能量密度的差别都完全取平的时候，就再也无法从能量榨出任何功来，宇宙也不会再有丝毫变化了。

让我们来考虑一个表。一个表之所以能不断走下去，是因为它的发条或电池中集中着能量。当发条松开或电池发生化学反应时，能量就从密度高的地方流向密度低的地方，由于这种流动的结果，表就会走下去。一旦发条完全松开或电池的化学变化完全结束，整个表里的能量就完全拉平，不再会有能量在流动，因而表也就不再走了。它已经“衰亡”了。与此相似，当宇宙中的所有能量全部拉平时，我们就说宇宙“衰亡”了。

当然，我们可以把表的发条再一次上紧，或者换一个新电池。但为了把表上紧，我们就得使用我们肌肉的力量，从而使我们自己稍稍“衰老”一点。我们也可以买一个新电池，但是，那就得把它制造出来，而为了制造这个电池，人们的工业设备就必定会稍稍“衰老”一些。

我们可以通过吃东西来恢复我们自己肌肉的力量，但是，食物最初是由植物利用太阳的能量产生的。人类的工业设备主要依靠煤和石油工作，而煤和石油也是植物在远古的年代用太阳能产生出来的。当地球上的各种事物“衰老”时，我

们总是可以利用某种东西把它们的“发条”再一次“上紧”。而这类东西通常总要追溯到太阳能的作用，因此，太阳也是在不断“衰老”。

太阳主要是由氢构成的，氢原子中每一个粒子所含的能量要比氦、氧、铁等较为复杂的原子多得多。在太阳内部，由于氢不断转变成比较复杂的原子，能量密度就逐渐取平。在地球上的核动力发电厂中，由于铀原子转变成不那么复杂的原子，也发生同样的情况。今后我们一旦建成了氢聚变电厂，那么，从某种意义上说，我们就将再现太阳上所发生的情况。

就我们目前所知道的情况看，太阳上的能量密度最后会完全取平，而太阳本身则将只含有中等大小的原子。对于宇宙中的所有其他恒星和宇宙中的每一件东西来说，这种说法也同样成立。

如果热力学第二定律是正确的，那么，宇宙中每一个地方的能量密度就都正在不断取平，从这个意义上来说，宇宙是在不断衰亡着。假使情况确实是这样，那么，当宇宙中所有能量都完全均匀分布时，熵就将达到最大值，那时任何现象都不会再发生了。因为尽管所有能量都还全部存在，但它已不再会有任何流动，也不会成为发生某种现象的动力了。

这是一种令人忧虑的前景（假如第二定律确实是一切条件下都成立的话），但我们现在完全毋需恐慌。这个过程需要许多亿年才会终结，因此，不仅是在我们活着的时候，而且在整个人类存在的时候，甚至在地球还存在的时候，宇宙都会像目前这样继续存在下去。

70

熵和秩序之间有什么关系？

试想像有九个人排成一个方阵——三个人一排地排成三行，每行每列都对得整整齐齐。我们可以把这种排列叫做有秩序的排列，因为它又整齐、又对称，描述起来也很容易。

如果这九个人每人都同时向前跨一步，那么，他们将保持原来的队形，这时的排列仍然是有（秩）序的。如果每个人都向后退一步或者向左或向右移一步，情况也是这样。

但是，假定现在命令每个人都走一步，但前后左右都可以，并且每个人可以随意选择他的方向。这时，可能每个人都碰巧独立地决定向前跨一步。在这种情况下，秩序就仍旧保持不变。

不过，其中任何一个特定的人选择向前跨一步的可能性只有四分之一，因为他可以随意朝四个方向当中的任一个方向走那一步，因此，所有九个人全部独立决定向前跨一步的可能性只有 $4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4$ 分之一，即只有 $1/262,144$ 。

如果九个人全部向后退一步或全部向左或向右移一步，他们的秩序也同样保持不变，因此，九个人同时朝同一方向走一步的总的可能性是 $4/262144$ ，即 $1/65538$ 。既然是这样，你就可以看出，保持那种秩序的可能性是多么微小，同时你也知道，如果让那些人能够自由行动，那么，只要有一个人迈出一步，就完全足以破坏那个方阵，从而使有序的程度降低。

尽管他们还是有很小的可能性同时朝同一个方向移一步，但是，下一步就完全有可能把那个方阵破坏掉。

这是个只牵涉到九个人、并且只容许有四个不同的运动方向的情形。在大多数自然过程中，我们却要碰到无数亿个可以用非常多种不同方式自由运动的原子。如果由于某种机会，这些原子在开始时有某种有序的排列，那么以后任何一种自由的无规运动、任何一种自发的变化，都必定会降低那种有序的程度，换句话说，就是会提高无序的程度。

按照热力学第二定律，宇宙的熵总是在不断增大，这就是说，宇宙中的能量分布是在不断地均匀化。可以证明，任何一种能够使能量分布均匀化的过程，同时也会使无序程度增大。因此，由于构成宇宙的粒子可以自由地进行无规运动而使宇宙的无序程度不断增大的这种趋势，正好是热力学第二定律的另一个方面，我们可以把熵看作是衡量宇宙中存在的无序程度的一个量。

如果我们用这种方式来看问题，我们就可以看到第二定律对我们周围一切所起的各种作用了，因为所有自然变化显然都是朝着提高无序程度的方向进行；只有当我们付出一定代价做出特殊努力时，我们才能使秩序得到恢复。我们的零星杂物总是在变乱，我们的房间和我们的衣服也总是在变脏，我们必须经常整理、打扫、洗涤，才能保持整洁。这可能使我们感到最好认为，这一切都是出于那条了不起的宇宙规律在起作用的结果——不过，我自己可一点也不这样想。

熵和时间之间有什么关系？

假定我们从空间中很远的地方，拍下一部地球绕太阳运转的电影，然后把它放映得很快，使我们可以看到地球似乎在沿着它的轨道骨碌骨碌地转动着。再假定我们先把这部影片顺着从头到尾放映一遍，然后又倒过来从尾到头放映一遍。那时，我们能够说出哪一种放映法正好看起来同地球在运动的时候一样吗？

你也许会说，从太阳的北极上方往下看，地球是逆时针方向绕着太阳转的。如果看起来地球是在顺时针方向运转，那么，我们就知道影片是在倒过来放映，因而时间是在向后退。

但是，如果你这时是从太阳南极的上方去观察地球绕太阳的运动，地球就会是顺时针方向绕着太阳运动。这样一来，如果你看到的是顺时针方向的运动，你怎样知道你是在太阳北极上方看到时间在往后退，还是在太阳南极的上方看到时间在向前进呢？

你是无法回答这个问题的。就是在只牵涉到很少几个物体的、非常简单的过程中，也不可能说出时间到底是在前进还是在后退。对于这两种情形，自然规律都是同样成立的。如果你所考虑的是亚原子粒子，情况也是这样。

大家全都都知道，沿着某一弯曲的路径随着向前推移的时间而运动的电子，可以看成沿着同一弯曲的路径随着向后推

移的时间而运动的正电子。如果你所考虑的仅仅是那个粒子，那么，你就不可能确定其中哪一种说法是正确的。

在你无法说出时间究竟是在前进还是在后退的那些非常简单的过程中，熵是不改变的（或者是改变得非常少，因而可以略去不计）。但是，在牵涉到许多粒子的一般过程中，熵总是会增大，换句话说，无序程度总是会增大。一个跳水运动员跳入游泳池而溅起大量水花，一个花瓶掉在地上面碎成片片，许多树叶从树上掉落而散布在地面上——所有这些和我们周围所发生的其他事情，我们都可以证明它们是会使熵增大的。我们习惯于看到熵在增大，并且往往用熵的增大来说明一切都在正常地进行，说明我们在时间中正在向前推进。要是我们突然看到熵在减小，那么，我们唯一能做出的解释就是：我们正在时间中往后退。

例如，假定我们正在看一部由日常生活构成的影片。倘若我们看到了溅起的水滴汇集在一起，而跳水运动员从水里向上升到跳板上；倘若我们看到花瓶的碎片凑成花瓶并通过空气跳回桌子上原来的地方；倘若我们看到地上的落叶自己集中起来并飞回树上各个枝枝桠桠上，那么，由于这一切都表明熵降低了，所以我们就知道，这一切完全同事物的正常次序相反，而那个影片肯定是倒过来放映的。事实上，当时间颠倒过来的时候，各种事件会变得那么古怪，因此，那种场面会使我们发笑。

由于这个缘故，熵有时也被称为“时间的箭头”，因为它的稳步上升可以作为时间的“前进方向”的标志。不过，如果物体中的全部原子都正好以同样的方式运动，那么，所有这些颠倒的事情就是可能发生的。但发生这种事情的机会是如此之小，所以我们完全可以把这种可能性略去不计。

既然宇宙在不断衰亡，那 它开始时是怎样兴起的？

关于这个问题，我们所能给出的最可靠的答案是：谁也不知道。就我们所知道的情况而论，我们只能说，一切变化都朝着熵增大的方向、朝着无序程度增大的方向、朝着无规性升高的方向、朝着衰老的方向进行。然而，宇宙曾经一度占有一个很高的地位，才能使它在几亿亿年里一直这样衰亡下来。但是，它是怎样达到那样高的地位的呢？

我能够想出三个可能的答案，这三个答案都仅仅是猜测而已。

(1) 宇宙中所产生的各种各样的事物，我们并不全都知道。我们所观察到的变化，确实全部是朝着熵增大的方向进行的。不过，也许在宇宙的某些地方，可能有一些变化在我们还无法进行研究的条件下，是朝着熵减小的方向进行的。在这种情况下，宇宙作为一个整体，就有可能一直维持下去了。这就是说，我们所能观察到的、似乎在衰亡的，只是宇宙的一小部分，而在其他地方却在发生着可以抵消这种衰亡的上升运动。

(2) 假定宇宙在任何地方都没有发生熵减小的情况，因而它一直衰亡下去。在熵达到最大值时，宇宙中的所有能量全部均匀分布，因而时间就既不会向未来，也不会向过去推进，但是，所有能量都仍然存在，而宇宙中的所有原子全都占

有这些能量的一部分，所以它们会进行无规运动。

这样一来，通过这种完全无规则的运动，可能有一定数量的能量偶尔集中在宇宙的某一部分，也就是说，通过无规运动，又一次产生了一定的秩序。不过，一旦发生了这种情况，那一部分宇宙就会再一次开始衰亡。

很可能，熵达到最大值是巨大的无限宇宙的正常状况，要经过很久很久的时间（这是指我们通常的时间尺度）才发生一次能量集中，并且每一次又只有很小一部分宇宙获得某种秩序，而我们现在就恰好处在这样一小部分宇宙中。

（3）也许，宇宙中的熵似乎在不断增大的唯一原因，只不过是由于目前宇宙碰巧在膨胀着。在这种条件下，比较可能实现的只能是无序排列，而不是有序排列。

有些天文学家认为宇宙不会永远膨胀下去。最初的一次爆炸使得它四分五裂，但是，宇宙各个部分之间通过万有引力互相吸引，可能会逐渐降低它的膨胀速率，可能让它的膨胀停止下来，然后还可能缓慢地迫使它重新开始收缩。而在收缩着的宇宙中，很可能是比较有序的排列会变得比无序排列更容易实现。这就是说，那时的自然变化将朝着有序程度比较高的方向进行，因而熵就会不断减小。

如果情况真的是这样，那么，当宇宙膨胀时，它就会不断衰老，而当它收缩时，它就会再一次复兴，并且，它可以没完没了地一次又一次这样反复进行下去。

如果我们考虑到“黑洞”的话，就甚至还可以把第一个猜测与第三个猜测结合起来。黑洞是质量极其集中、引力极其强大的区域，因此，每一种东西都会落入黑洞中去，没有任何东西——甚至包括光在内——能够从黑洞中跑出来。它们是收缩宇宙的一个极小的样板；也许，在这些黑洞里，热力学第

二定律被颠倒过来了。因而尽管宇宙的大多数区域是在衰亡，但在黑洞里却在逐渐复兴呢。

73

无线电波和光波都被用来“观看”空间中的东西。此外，还有别种可用来“观看”东西的波吗？

无线电波是光波的亲属，它们的差别主要是波长不一样：无线电波的波长比光波长得多。

存在着很大一族波长各不相同的波，这就是所谓电磁波谱。这个波谱一般划分为七个区域，这七个区域按照波长从长到短的次序是：（1）无线电波，（2）微波，（3）红外线，（4）可见光，（5）紫外线，（6）X射线，（7） γ 射线。

地球的大气只对可见光和微波才是相当透明的。电磁波谱的其他部分远在它们能够通过空气之前，就几乎全部被吸收掉了。因此，如果我们从地面观察天空，就只有可见光和微波才有用处。

由于人类一直有一双眼睛，所以从一开始就一直利用可见光去观察天空。直到1931年，才有位美国工程师扬斯基最先发现他探测到的，是从天体发射来的微波。因为微波有时被看作非常短的无线电波（射电波），所以天文观察的这个分支部门就称为“射电天文学”。

有些能够靠它们发射的微波被探测到的天体，并不发射

出多少可见光。换句话说，有些射电源是我们的视力所看不见的。

可是，人类一旦跑到大气层以外去进行观察，整个电磁波谱就都能用来进行研究了。火箭上的观察清楚地表明，各种天体用各种各样的辐射在轰击着地球。对这些辐射进行研究，就会大大增进我们对宇宙的了解。

例如，天空有一些区域在发射着紫外线，而且数量相当可观。猎户座星云就是一个紫外线源，一等星室女座 α 星周围的区域也是这样。为什么在这些区域中紫外线会如此大量地产生，这个原因人们至今还不知道。

更为神秘费解的是这样一个事实：人们已经发现，天空中有许多斑点是丰富的 X 射线源。要能够发射出 X 射线，物体必须热到难以置信的程度——达到一百万度以上。任何一颗普通恒星的表面都不会达到这样的温度。但是，有一种中子星，这种恒星中的物质挤压得非常致密，结果，它把像太阳那样大的天体的全部质量都挤在一个直径只有约 16 公里的大球内。这种中子星和其他一些奇异的天体可能发射出 X 射线。

在天文学家能够在大气层以外建立永久性的天文台以前，他们大概是不能够对从空间来到我们这里的各种辐射进行彻底研究的。

月球由于没有大气层，将是建立这样的天文台的理想地点。建立这种天文台和用这种办法大大扩展我们对宇宙的了解的可能性，是最吸引我们努力去研究月球和想在月球上建立居民点的原因。

74

当物质被加热时，它会发出红光，然后由橙变黄。但是，此后它就变成发白光。为什么它不按照光谱的顺序变成“青热”呢？

任何一个物体，只要它的能量比绝对零度高一些，就会辐射出电磁波。如果它的温度非常低，它就只辐射出波长很长、能量非常低的无线电波。随着温度的上升，它所辐射出的这种波就越来越多，但同时也开始辐射出波长比较短（能量比较高）的无线电波。当温度继续升高时，就开始辐射出能量还要更高的微波，然后就是红外线了。

这并不等于说，在某一温度下**只辐射**出长波无线电波，而在某一较高的温度下**只辐射**出短波无线电波，然后只辐射微波，以后又**只辐射**红外线。实际上，整个辐射波长范围都被辐射出来了。不过，存在着一个辐射的峰值——辐射量最大的波长区；在这个峰值的两侧，辐射量都比较小：在低能量的一侧辐射量比峰值少；而在高能的一侧则更少。

当物体的温度达到人的体温（37℃）时，辐射的峰值处在远红外区域。人体同样也在发射着无线电波，但是，波长最短、能量最高的波长总是最容易探测到的，因而也是最引人注目的。

一旦温度达到 600°C 左右，辐射的峰值就处在近红外区域了。不过，这时在峰值高能一侧的小量辐射已经变得特别重要了，因为这些辐射已进入可以看到的红光区域。因此，被加热的物体就会发出暗红色的光。

这种红光在总的辐射量中只占很小的百分比，但是，我们碰巧能够看到它，因而就把全部注意力都集中在这种红光上，并且说那个物体是“红热”了。

当温度再上升时，辐射的峰值继续向波长更短的方向移动，因而就发出数量越来越多、波长越来越短的可见光。这时尽管辐射出的红光更多了，但辐射中又添进了数量不多却很重要的橙光和黄光。当达到 $1,000^{\circ}\text{C}$ 的时候，这些色光的混合使我们的眼睛产生橙光的印象，而到 $2,000^{\circ}\text{C}$ 的时候，则产生黄光的印象。这并不等于说，在 $1,000^{\circ}\text{C}$ 时**只辐射**出橙光，在 $2,000^{\circ}\text{C}$ 时**只辐射**出黄光。要是这样的话，接下去我们确实就会看到“青热”的情形了。但是我们所看到的其实是各种色光的**混合**。

当温度达到 $6,000^{\circ}\text{C}$ （即太阳的表面温度）时，辐射的峰值处在可见的黄光区域内，这时我们看到了大量的可见光——从紫光到红光统统都有。这整个可见光区使我们的眼睛产生白光的印象，结果，太阳就成为“白热”了。

当物体比太阳还要更热时，它继续辐射出各种波长的可见光，并且数量还要更多一些。不过，这时辐射的峰值已移到蓝光区域，因此，我们的眼睛会觉得这些色光的混合不很平衡，在白光中还带点蓝色。

以上所说的是那些被加热时能以很宽的波长范围发出“连续谱”辐射光的物体的情形。有些物质在特定条件下只能辐射出某些波长的光，硝酸钡在被加热时会辐射出绿光，因

而在礼花中利用它来达到发绿光的效果。如果你愿意的话，你不妨管这叫做“青热”。

75

什么是偏振光？

光可以看作是由一些微小的波构成的。这些波可以在任何一个平面上振动。在一个特定的光束中，有些波可以上下振动，有些波左右振动，有些波则沿对角方向振动。它们的振动方向可能均匀地分布在所有各个方向上，没有一个振动平面占优势或者在光波中比其他平面占有更大的份额——普通的太阳光或电灯泡的光都是这样。

可是，现在让我们设想光穿过一块透明的晶体。晶体是由排成规整的行列和平面的原子或原子团构成的。因此，光波会发现，当它的振动平面恰巧能塞进两个原子平面之间时，它就很容易通过这块晶体。要是它的振动平面与原子的平面成一个角度，它就会撞在原子上，因此，光波就要消耗很多能量方能继续振动下去。这样的光会局部或全部被吸收掉。

你可以用下面的办法想到这是一种什么景象：试想像你把一根绳子的一头拴在邻居院子里的树上，另一头拿在你手里。再假定绳子是从篱笆的两根竹子的正当中穿过去的。好了，如果你现在拿绳子上下波动，这些波就会从两根竹子之间通过，并从你的手传到那棵树上。这时，那座篱笆对你的波来说是“透明的”。但是，要是你让绳子左右波动，绳子就会撞在两根竹子上，波就不会通过篱笆了。

有些晶体能够强迫光波把所有能量分成两束分离的光线。这时振动平面就不再均匀分布了。在其中的一个光束中，所有的波都在一个特定的平面上振动；而在另一个光束中，所有的波都在与第一束光的平面成直角的平面上振动：不可能出现任何对角方向的振动。

当光波被迫在某一特定的平面上振动时，我们就说这样的光是“面偏振光”，或简单地称它为“偏振光”。而朝着所有各个方向振动的普通光都是“非偏振光”。西方国家把偏振光称为“极化光”。

为什么叫做“极化光”呢？当这种现象在1908年第一次定名时，那个发明这个名称的法国工程师马吕斯关于光的本性有一个错误的理论。他认为，光是由一些像磁铁那样有南北极的粒子组成的。他想，那种从晶体中穿过的光，可能是南北极的方向全部相同。这种想法后来被证明是错的，但那个名称却已被人们牢牢地记住，无法再改变了。

当一块晶体产生偏振平面各不相同的两束光时，这两束光具有稍稍不同的性质。它们在通过晶体时所受到的偏折的大小可能不一样。因此，我们可以想法设计出一块晶体，让它把一束光完全反射掉，而只让另一束光全部通过它。

在利用某些晶体时只有一束光能通过，是因为另一束光被吸收掉而转化为热。偏振眼镜片（它是在塑料中嵌入许多细小的这类晶体）就是以上述方式吸收掉许多光，由于这种镜片着色，吸收掉的光就更多了。这种镜片就是这样消除眩目的强光的。

当偏振光通过含有某种不对称分子的溶液时，它的振动平面会被扭转一个角度。化学家根据这种扭转的方向和角度的大小，就能够对这种分子的真实结构做出许多推断，特别

是对于有机化合物的分子更是如此。正因为这样，偏振光对于化学理论来说，一直是极其重要的。

76

光能够对物质施加力吗？

光束含有能量，当它投射到一个不透明的物体上并被吸收时，能量就会发生某种变化。其中的大部分转换为热，也就是说，构成不透明物体的粒子在获得光能之后，就开始更加快速地振动。

然而，光束能够对不透明的物体施加直接的力吗？光束能够把它的运动传给那个吸收它的物体吗？一个运动中的大而重的物体对任何阻挡在它前进道路上的东西的影响是明显的。滚木球戏中的滚球击中了一个柱，就会使它飞起来。但光由无质量的粒子所组成，它仍然能够把它的运动传递给物质，并对物质施加力吗？

早在 1873 年，苏格兰物理学家麦克斯韦就从理论上研究了这个问题。他指出，光即使是由无质量的波所组成，也仍然会对物质施加力。这种力的大小取决于运动光束中**每单位长度**所含的能量。有一件令人瞩目的事。假定你有一个手电筒，你将它正好开一秒钟。它在这一秒钟内发射的光含有大量的能量，但就在这一秒钟内，发射出的光的第一部分已经走了约 30 万公里。手电筒在一秒钟内所发出的全部光就分成那样长的一道光束，所以，这道光束中每一米或甚至每一公里长度中的能量确实是很小的。

正是由于这个原因，在通常情况下我们并不觉得光对物质有任何作用力。

不过，假定你取一根轻的横杆，在横杆两端各有一个圆盘，然后用一根细石英丝拴在横杆的中央，把它悬吊起来。在一圆盘上施加极小的一点力，就会使横杆围绕着石英丝扭转。如果一道光束照在一个圆盘上，那么，只要这道光束对圆盘施加了力，这个横杆就会旋转。

当然，如果稍有一点微风推动着圆盘，那么，光束的这种微小的力就会被掩盖起来，所以整个装置必须封闭在一个小室内。就连空气分子碰撞圆盘所产生的力也会比光力大得多。因此，这个小室必须抽成高真空。完成了这样的设施并采取了某些其他的预防措施之后，当一道强烈的光束照射在圆盘上时，就有可能测出圆盘位置的微小移动。

1901年，两位美国物理学家尼科尔斯和赫尔在达特默思学院完成了这样的实验，证明光确实能产生一种力，这种力的大小正好同二十八年前的麦克斯韦所预言的差不多。几乎与此同时，俄国物理学家列别捷夫用稍微复杂一点的装置，也证实了这种情况。

这种“辐射压力”的存在被证实以后，天文学家相信这种压力说明了关于彗星的某种有趣的现象。彗星的尾部总是指着背离太阳的方向，当彗星接近太阳的时候，彗尾就拖在后面。当彗星最接近太阳并绕着太阳运动时，它的尾部就来回摆动。然后，当彗星离开太阳时，它的尾部却跑到它的前面去了。

于是天文学家就这样想：“啊哈，这就是辐射压力！”

大约有半个世纪，他们一直认为这是真实的，但是他们错了。太阳光的辐射压力并不够强，把彗星尾部推向背离太阳的方向的是太阳风。

77

红光通过棱镜时的变化最小，而在通过衍射光栅时变化最大，为什么会有这种差别？

光可以看作是一种波动，普通的太阳光则是几种不同波长的波的集合。不同波长的光在我们的视网膜上产生不同的效应，正是这些效应给我们以颜色的感觉。在可见光中，红光的波长最长，其次是橙光、黄光、绿光、蓝光，最后是波长最短的紫光。

当光离开空气进入玻璃、水或其他透明介质时，它的速度就减慢。如果一道光束从右面以倾斜的角度投在一块玻璃上，那么，最先射在玻璃上的光束的右侧就会先减慢速度。有那么一瞬间，光束的右侧缓慢地运动，而左侧则继续以全速前进，结果，当光束进入玻璃时就会改变方向，这就是“折射”。

如果一队士兵从一条平坦的公路斜着向犁过的田地行进，就会发生同样的情况。队列中靠近田地那一侧的士兵会先到达地里，并且先减慢速度。除非有意识地去防止这种情况，否则这个队列在进入地里时就会改变方向。

地里的减速效应，是由于难以从松土中拔出腿来的缘故。一旦拔出腿来，在地上空气中挥腿的速度就像在公路上一样快了。这就意味着，一个长腿士兵，由于他跨的步子比短腿

士兵的要长些，在给定的距离内与地面接触的次数要少些，因此减速也就少些。一列长腿士兵行进方向的改变要比一列短腿士兵少一些。

在这方面，长波红光类似于长腿士兵，它的减速小于其他任何一种可见光。因此，它的折射最小。紫光当然折射最大。

衍射则涉及完全不同的原理。一种波动能够自由绕过尺寸不大于这种波的一个波长的障碍物继续前进。障碍物越大，波就越难绕过它。

光的波长非常短（约为 $1/125,000$ 厘米），因此，光不能明显地弯曲绕过普通的障碍物，而只能沿直线从它们旁边经过，并产生清晰的阴影。声波要长得多，它的本质与光波完全不同。这就是为什么你绕过拐角也能听到声音，但不能绕过拐角看见东西——至少不用镜子是看不见它的。

衍射光栅是由许多极细的暗线条彼此平行地刻划在透明底板上所组成；这种暗线条非常细，因此，甚至很短的光波在它们附近通过透明区时，也能少量地绕过它们。这就是“衍射”。

很清楚，光的波长越长，暗线的阻碍作用就越小，光也越能绕过它们。长波的红光最能绕过暗线，因此衍射最大。紫光的衍射当然最小。

折射棱镜和衍射光栅都会产生“彩虹”或光谱。然而，折射光谱同衍射光谱相反。从光原来的方向线依次向外看，折射光谱是：红、橙、黄、绿、蓝、紫。衍射光谱是：紫、蓝、绿、黄、橙、红。

78

当两道光束互相干涉并产生暗区时，能量发生了什么变化？

光束可以认为是由一系列波所组成的。如果两道光束以一个小角度相遇，那么，一道光束的各个波可能与另一道光束的各个波以这样的方式相遇，就是：一个波的向上运动恰好碰上另一个波的向下运动，反过来也是这样。这时两个波就相互“干涉”，并且部分或甚至全部相互抵消。结果，两个波以这种方式结合起来所产生的光，其强度小于这两个波中任何一个波单独产生的光的强度。

但是每个波列都代表一定的能量。如果一个波抵消另一个波，在原来存在着光的地方造成暗区，那么，这是不是意味着能量消失了呢？

当然不是！物理学的基本定律之一就是能量**不灭**，这就是“能量守恒定律”。在干涉中、某些能量不再以光的形式存在。这样，就必定有完全相等的能量以某种其他形式存在。

组织得最差的能量形式就是构成物质的粒子的无规则运动，我们把它称为“热”。当能量改变形式的时候，总是倾向于失去组织性，因此，当能量似乎已消失的时候，最好是去寻找热，寻找比以前更高的速度作无规则运动的分子。

光发生干涉时的情况就是如此。从理论上说，你可以这

样安排两道光束，让它们完全干涉。这时，让这两道光束投射到一个屏幕上，屏幕会完全黑暗。但是在这种情况下，屏幕就会变热。能量并没有消失，它只是改变了形式而已。

下面的情况属于同样的问题。假定你给一个钟上紧发条，那么，这个发条就比没有上紧的同样的发条含有更多的能量。现在假定你让这上紧的发条溶化在酸中。这时，能量发生了什么变化呢？

这时能量同样转化为热。如果你在开始时拿出两杯温度相同的酸溶液，然后让未上紧的发条溶化在一杯酸溶液中，而让上紧了的发条溶化在另一杯酸溶液中（把两杯溶液互换也是一样），结果，溶解了上紧发条的溶液的温度会比溶解了未上紧发条的溶液高一些。

一直到1847年，在物理学家彻底了解了热的性质之后，能量守恒定律才被人们所理解。

从那以后，由于坚信这个定律，人们才对一些基本现象有了新的了解。例如，在放射性嬗变中所产生的热比十九世纪物理计算所预料的要多，到爱因斯坦提出了他的著名方程 $E=mc^2$ ，表明物质本身是一种能量形式之后，这个问题才得到解决。

同样，在某些放射性嬗变中所产生的电子的能量太少了。1931年，泡利并不认为这种现象违背了能量守恒定律，而且提出了这样的看法：这时不但产生了电子，还产生了另一种粒子——中微子，中微子带走了其余的能量。他的看法是对的。

什么是科里奥利效应？

如果一个物体是静止的，或者相对于某一固定点作恒速运动，那么，在这个物体上运动是不会出现什么问题的。如果你想从物体一端的 A 点沿着一条直线走到另一端的 B 点，你在走的过程中不会感到有任何困难。

但是，如果一个物体的不同部分以不同的速度运动，那么，情况就大不一样了，假定有一个旋转游戏台或者任何一个绕其中心旋转的平台。整个平台的整体在旋转，但在中心附近的一点画出一个圈，因而在缓慢地运动，而靠近外缘的一点则画出一个大圈，因而在快速地运动。

假定你站在中心附近的那个点上，想要直接从中心出发的一条直线上走向靠近外缘的那个点。在中心附近的出发点上，你取得了该点的速度，缓慢地运动。但是，当你向外走时，惯性效应使你保持缓慢运动，不过，当你越往外走的时候，你脚下的台面转动得越快：你本身的慢速和台面的快速的结合，使你觉得你在被推向与旋转运动相反的那个方向去。如果旋转游戏台是在反时针方向转动，你就会发现，当你向外走时，你的路线越来越明显地顺时针方向弯曲。

如果你从靠近外缘的一点出发向内行进，你就会保持着出发点的快速运动，但你脚下的台面运动得越来越慢。因此，你会觉得你在旋转方向上被越推越远。如果旋转游戏台是反时针方向运动，那么，你的路线会再次越来越明显地顺时针方

向弯曲。

如果你从靠近中心的一点出发，向靠近外缘的一点走去，然后回头向靠近中心的一点走去，而且沿着阻力最小的路径前进，你就会发现，你走的路径大体上是一个圆形。

法国物理学家科里奥利于 1835 年第一次详细地研究了这种现象，因此这种现象称为“科里奥利效应”。有时也把它称为“科里奥利力”，但它并不真是一种力；它只不过是惯性的结果。

科里奥利效应在日常生活最重大的意义，是同旋转着的地球有关。地球表面赤道上的一个点，在 24 小时内划一个大圆圈，因此它是在快速地运动）如果我们从赤道出发，越向北（或向南）走，那么，地面的一个点在一天之内划出的圆圈就越小，它也运动得就越慢。

从热带向北流动的一阵风或一般海流，起初随着地球的旋转，从西向东转动得非常快。当它向北流动时，它保持着它的速度，而地表的运动速度却越来越小。因此，风或海流就会超过地表，并且越来越向东沿着曲线前进。最后，风或海流就在北半球顺时针方向划一个大圆圈，而在南半球则反时针方向划一个大圆圈。

正是这种造成曲线运动的科里奥利效应，在更加集中（因而更加有力）时，就会形成飓风，如果还要更加集中和更加有力，就会形成龙卷风。

80

声音在密度高的物质中（例如在水或钢中）要比在空气中传播得快；但它在暖空气中又比在冷空气中传播得快，而暖空气的密度却比冷空气低。这是不是自相矛盾呢？

我们耳朵听到的声音，是由传播声音的原子或分子构成的媒质的振荡运动带来的振动所引起的。振动把附近的分子推到一起，并压缩这些分子。被压缩的分子在分开时，就在邻近区域引起压缩，这样，这种压缩区似乎是从声源向外传播，压缩波从声源向外传播的速度，就是声音在该媒质中传播的速度。

声速取决于构成物质的分子的固有运动速度。例如，一旦空气的某一部分受到压缩，分子就会由于它们自身固有的无规运动再次分开，如果这种无规运动是快速的，那么受压缩部分的分子就会迅速分开，并快速地压缩邻近部分的分子。邻近部分的分子也快速分开，并快速地压缩下一部分。于是，总的说来，压缩波就很快地向外传播，因此声速就高。

凡是能提高（或降低）空气分子固有速度的东西，都会提高（或降低）空气中的声速。

巧得很，空气分子在较高的温度下比在较低的温度下运动得快些。正是由于这个原因，声音在暖空气中比在冷空气中传播得快些。这同密度没有任何关系。

在 0°C ，也就是水的凝固点时，声音以每小时 1,193 公里的速度传播。温度每升高 1°C ，速度每小时就提高约 2.2 公里。

一般说来，如果构成气体的分子比空气分子轻，那么，这种气体的密度就要比空气低。较轻的分子运动得也较快。声音在这种轻的气体中传播的速度比在空气中快，这不是由于密度的改变，而是由于分子的运动较快。声音在 0°C 的氢气中的传播速度是每小时约 4,667 公里。

当我们说到液体和固体，情况就与气体大不相同了。在气体中，分子彼此相隔很远，几乎不互相干扰。如果分子受到推压而彼此更接近起来，它们仅仅是通过无规运动而彼此分开，但在液体和固体中，原子和分子是相互接触的。如果它们受推压而挤到一起，它们的互斥力就会非常快地迫使它们再次分离。

对于固体来说，尤其是这样。在固体中，原子和分子多少比较稳固地保持在各自的位置上。它们保持得越是稳固，它们被推压到一起时，弹回的速度就越快。因此，声音在液体中的传播速度比在气体中快；在固体中传播得更快；在刚性固体中则传播得最快。密度并不是声音传播快慢的根本原因。

因此，声音在水中以每小时约 5,200 公里的速度传播，在钢中则以大约每小时约 18,000 公里的速度传播。

81

船下沉时是一直沉到海底，还是当它们下沉到一定深度时压力就会将它们保持在深水中？

如果一个物体的密度大于水，它就会在水中下沉。水的密度是每立方厘米一克，岩石和金属这样的物质的密度比水大得多。由大块钢材制成的舰船之所以能浮在水上，是因为船内容纳着大量的空气；钢材和造船用的其他材料加上船内的空气，它们的平均密度低于水的密度；如果发生意外事故，水进入船中，那么，造船的材料加上进入船内的水的平均密度大于水自身的密度时，船就要下沉了。

船下沉时，受到越来越大的压力。在海面上，每平方厘米面积的压力（大气造成的）是1公斤。在海面以下10米处，那个深度的水重又在海面压力上增加了每平方厘米1公斤的压力。深度每增加10米，每平方厘米就又增加1公斤的压力。而在已知的海洋最深部分的海底，压力约为大气压力的1,100倍，即每平方厘米约为1.1吨的压力。

这样高的压力对于能否把下沉的船保持在水中没有任何影响。从各个方向对船所施加的压力是相等的，向下的压力和向上的压力几乎完全相等，因此十分明显，不管压力怎样增大，船还要继续下沉。

但还有另一个因素。压力能压缩水，并增加水的密度。水

的密度是否能变得非常高，以致这种高压使得沉船停止下沉，而悬浮在密度较大的深海中呢？

不！压缩效应是非常小的。甚至在每平方厘米 1.1 吨的压力下，水的密度仅由每立方厘米 1.00 克上升到 1.05 克左右。如果一个固体的密度为每立方厘米 1.02，那么，它确实会沉到水下去，并在约 4.8 公里深度处被浮力止住，不再进一步下沉。然而，普通结构材料的密度大大地大于 1.05。铝和钢的密度分别为每立方厘米 2.7 克和 7.8 克。金属船会一直沉到最深的海底深渊，丝毫没有上浮的机会。

但假定海洋还要更深，那么，一根铝棒是不是会达到最大的深度而不再下沉呢？回答仍然是：“不会的！”

如果海洋大约深 67 公里（而不是最多 11 公里深），洋底的压力就会上升到每平方厘米约 7 吨，水的密度则上升到每立方厘米约 1.3 克。然而，在这个时候，水已不再是液体，而会转化成一种称为“冰 VI”的固体物质（冰 VI 的密度大于水，而“冰 I”——普通冰——的密度则小于水）。

因此，铝和密度大于每立方厘米 1.3 克的任何其他物质，只要海水是液体，就会一直在海里继续沉下去，最后停落在普通海底或冰 VI 的固体表面上。液体水的密度决不会大到足以浮起固体铝，更不用说固体钢了。

82

哪些是最活泼的化学元素，为什么？

电子处在围绕原子核的一些称为“壳层”的同心球上。对

每个元素来说，每个壳层上都有固定数目的电子。当最外面的壳层上有 8 个电子时，这种排列特别稳定。

不过，假定一个元素有这么多个电子，以致当其中的 8 个被安置在某一个外壳层上时，还有少数几个多余的电子必须安置在一个更靠外的外壳层上。这少量最外层的电子（带负电荷的）只受到位于原子中心的带正电荷的原子核的微弱控制。最外面的这些电子很容易转让给其他原子，因此，原来那个原子现在所剩下的就是最外面壳层上 8 个电子的稳定排列。

化学反应关系到电子的转移，因此，一个容易失去一个或多个电子的元素，会容易地发生电子转移的反应，这种元素就是“化学上活泼的”元素。一般来说，超过 8 个的电子数目越少，它们越容易转移：那个元素就越活泼；因此，最活泼的元素，就是电子数比 8 多一个的那些元素，也就是只有一个电子位于最外面壳层上的那些元素。

举例来说，这样的元素有钠，它的电子排列在三个壳层上 (2, 8, 1)；还有钾，它的电子排列在四个壳层上 (2, 8, 8, 1)。

电子的内壳层趋向于把最外面的那个孤零零的电子与带正电荷的原子核隔离开来。中间的壳层越多，原子核对最外层的电子的控制越弱，因此，这种电子也越容易转移。因此，钾比钠活泼，铯 (2, 8, 18, 18, 8, 1) 更加活泼。

比铯还更活泼的是钫 (2, 8, 18, 32, 18, 8, 1)，但一次只能研究它的几个原子，甚至连它的最稳定的同位素的半衰期也只有 21 分钟。因此，铯是最活泼的稳定金属元素。

现在假定一个元素所具有的构成最外面壳层的电子数太少，不够 8 个。这些原子趋向于接受若干个电子来凑成必要的 8 个。因此，它们就容易发生化学反应，因而是很活泼的。

一般来说，凑成 8 个电子所需要的电子数目越少，接受电

子的趋势就越大。因此，在这类元素当中，最活泼的元素就是原子最外面壳层上含有 7 个电子的那些元素，它们仅仅需要一个电子就可以凑成 8 个电子。

举例来说，这样的元素有氯，这种原子的电子排列为 2, 8, 7；还有溴，它的电子排列为 2, 8, 18, 7。

在这样一些元素的情况下，原子核的吸引力越强，把那个失去的电子拉过来的趋势越大。电子的内壳层的数目越少，原子核周围的隔绝作用就越小，那个原子核的拉力就越大，而元素也就越活泼。

在这种类型的元素当中，电子壳层数目最少的是氟，它的电子排列为 2, 7。因此，氟是一切非金属元素中最活泼的。

83

贵气体的“贵”表现在何处？

与其他元素难以发生化学反应或根本不发生化学反应的元素称为“惰性”元素。氮和铂就是惰性元素的例子。

在十九世纪九十年代、在大气中发现了一些似乎根本不发生任何化学反应的气体。这些新发现的气体——氦、氖、氩、氪、氙和氡——比其他任何元素的惰性都强，于是人们把它们都归入“惰性气体”。

惰性元素有时被称为“贵”元素，因为它们不与其他元素发生化学反应，就它们那一方面来说，这似乎是一种贵族式的冷淡。金和铂是“贵金属”的两个例子，而惰性气体有时被称为“贵气体”，也是由于这个原因。1962 年以前，“惰性气

体”是比较通用的术语，也许是因为“贵气体”似乎不适合于民主社会。

惰性气体之所以是惰性的，其原因在于：每一种惰性气体原子所含有的电子数在各壳层中的排列，正好使每个壳层中都有特别稳定的数目，具体地说，即在最外面的壳层中有 8 个电子。因此，氖的电子排列是 2, 8；氩的电子排列是 2, 8, 8。增加或减少电子，都会打破这种稳定的排列，因此，就不会发生任何电子变化。这就意味着不会发生化学反应，所以这样一些元素是惰性的。

然而，惰性的程度取决于原子中心带正电荷的原子核用以拉住最外面壳层上各个电子的强度。最外层与中心之间的电子壳层越多，原子中心的原子核的控制力就越弱。

这就意味着，惰性气体元素中原子结构最复杂的元素，也就是惰性最小的元素。原子结构最复杂的惰性气体是氡。氡的原子所具有的电子排列是 2, 8, 18, 32, 18, 8；但氡仅仅是由放射性同位素所构成，所以它是难以用来进行化学实验的一种元素。仅次于氡的最复杂的气体是氙，它是稳定的。它的原子所具有的电子排列是 2, 8, 18, 8。

氙原子和氡原子中最外面的电子离原子核很远，原子核不能十分有力地抓住它们。当存在着具有吸引电子的强烈倾向的原子时，这些电子就会被放弃。氟的原子具有吸引电子的最强倾向。1962 年，加拿大化学家巴特利特发现有可能形成氙和氟的化合物。

从那以后，还组成了氙的化合物和氡的化合物。鉴于这种情况，化学家们不乐意再使用“惰性气体”这个术语，因为这些原子毕竟不是**完全**惰性的；“贵气体”这个术语现在已逐渐通行起来、而且形成了化学的一个完整的新的分支学科，专

门研究“贵气体化合物”。

当然，贵气体的原子越小，惰性就越强，至今还没有发现任何东西能从这些原子中把电子夺走。氦原子中的电子排列是 2, 8, 8。氖原子中的电子排列是 2, 8。氩和氙仍然完全是惰性的。惰性最强的是氦，它的原子仅有一个带两个电子的电子壳层（所有原子最里面的壳层都有两个电子）。^①

84

为什么会形成晶体？为什么晶体总有一定的形状？

在通常情况下，物质有三态：气态，液态和固态。在气体中，组成气体的原子或（通常为）分子的能量非常高，或者各个分离的分子之间的引力非常低（或者两者兼备）。以致各个分子独立地进行运动。

如果能量降低到一定点，那么，分子就不能再保持独立性，而必定会互相发生接触。但是这时还有足够的能量可供分子进行运动，使分子在其他分子间滑动。这种情况就是液体。

如果能量进一步降低，各个分离的分子就不能再滑动，而会固定在某个方位上（尽管它们也许能够或确实会在它们的固定位置附近振动）。这种物质就是固体。

在固体中，两个相邻的分子（或原子，或离子）的相对位置不是随意的。它们处于某种有规则的排列之中，这种排列取决于不同的粒子具有什么样的比例，大小有怎样的差别，外部压力有多大，等等。在氯化钠中，钠离子和氯离子的数

^① 2000 年，芬兰科学家首次合成了氦的稳定化合物——氟氦化氢（HArF）。
——碧声注

目相等，大小没有太大的差别。在氟化铯中，铯离子和氟离子的数目相等，但铯离子比氟离子大得多。在氯化镁中，镁离子和氯离子的大小没有太大的差别，但是在数目上，氯离子为镁离子的两倍。由于这一原因，每种化合物很自然地以不同的方式进行排列。

如果你得到一块可见物质，它是由全部按有序方式排列的原子、离子或分子所组成，那么，这块可见物质就会有一些光滑的表面，它们以一些固定的角度相交（这就像从空中来看一个军队的队形。你也许看不见各个士兵，但是如果他们排列得很好，你就会看见那个队伍，比如说，呈矩形）。这块可见物质（或者说“晶体”）的整个形状取决于原子的排列。对于在一系列给定条件下的任何给定的物质来说，原子排列是固定的，因此晶体总是具有确定的形状。

固体物质从本质上说几乎总是晶体，即使它们看起来并不像是那样。我们知道，要形成一种理想的晶体，最好从处于溶液状态的纯物质着手（这样，外来的原子就不会滑入和打乱排列）。溶液应该缓慢地冷却，以便让原子有时间排成阵列。在自然界往往存在着由几种物质组成的混合物，因此，我们最后得到的，是互相推撞和互相拥挤的几种不同的晶体。不仅如此，如果冷却非常快，那么，就会有許多晶体开始形成，以致其中任何一个晶体都没有机会生长到超过显微的大小，这些晶体各取各的方向，因此没有确定的形状。

因此，在自然界，我们很少能看到足够大的清澈的晶体。通常我们所遇到的，是一些不规则的物质碎块，它们是由我们未察觉到的微晶体构成的。

有一些固体物质不是结晶状的，因此不真正是固体。玻璃就是一个例子。液态玻璃是很有粘性的，因此它的离子就

难以运动，也难以排成有序阵列。当玻璃冷却时，离子运动得越来越慢，最后完全停止运动，停在哪儿就将它们的位置保持在那儿。

在这种情况下不存在有规则的排列，因此，“固态”玻璃实际上是一种“超冷的液体”。玻璃可以是硬的，摸起来像是固体，但是它没有晶体结构，而且，它没有明显的熔点，这是它最致命的弱点。所以，“固态”玻璃在加热时就只是逐渐软化而已。

85

水能够压缩吗？

关于这个问题，最简单的回答是每种东西都能压缩。

事实上，压缩气态物质比压缩其他任何形态的物质要容易得多。那是因为气体是由相距很远的分子所组成的。例如，在普通的空气中，实际分子所占的空间大约是个体积的千分之一。

在压缩某一气体时，仅仅需要克服分子本身的无规则运动所形成的扩张倾向，将它们更紧密地推压到一起，把分子之间的一些空处挤出，用人的肌肉力量就能够容易地做到这一点。例如，当你挤压一个气球时，你就是在对空气进行压缩。

就液体和固体而言，组成它们的原子和分子只是近于互相接触。借助于每个原子外层区域中的电子的相互斥力，这些原子和分子不再进一步靠拢。这表示液体和固体分子的抗

压力比气体中分子运动的抗压力要强得多。

这意味着人的肌肉不能再做压缩液体和固体的工作，至少没有明显的效果。

假定你把一定量的水倒入一个上边开口的刚性容器里，并把一个密闭的活塞装入开口内，使它与水面接触。如果你用全力把活塞往下压，你就会发现，它不会明显地移动。由于这个原因，人们常说，水是“不可压缩的”，而且它的体积不能够挤得更小。

其实并不是这样。当你把活塞向下推时，你**确实**压缩了水，但压缩的程度不能测量出来。如果能够施加比人的肌肉大得多的压力，那么，水的体积或者任何其他液体或固体的体积的减小量，就会大到能够测量出来的程度。例如用每平方厘米 1.1 吨重的力量压缩 100 升的水，它的体积就会缩小为 96 升。随着压力的进一步增加，体积就会进一步缩小。在这种压缩力下，可以说，电子越来越靠近原子核了。

如果压力更大，比如说，压力相当于在巨大引力作用下成千上万公里厚的物质堆积起来的重量时，静电排斥力就会完全不起作用。电子就不能在轨道上围绕着原子核运动，而会被推开。然后物质就由不带电子的原子核组成，而电子则飞来飞去作无规则的运动。

原子核比原子小得多，因此，这种“退化的物质”大部分还是空的。地球中心的压力或者甚至木星中心的压力都不足以形成退化物质，但是在太阳的中心有退化物质。

一个完全由退化物质构成的恒星，可以像太阳那样重，但是体积却不比地球大。这就是一个“白矮星”。它能够在它自己的重力下进一步地压缩，直到它由互相接触的中子所组成。这样一个“中子星”能够具有太阳的全部质量，但被压缩

成直径为十几公里的球体。

天文学家认为，它还能够进一步地压缩，直到变成体积为零的“黑洞”。^①

86

什么是金属氢？氢怎么能成为金属？

当我们看到一种金属的时候，大家都知道它是金属，因为金属有一些不平常的性质。当金属表面光滑时，它们反射光的效率很高，因此它们具有一种“金属光泽”；但非金属却没有很高的反射能力，因而具有一种“无光泽的颜色”。金属容易变形，能够制成金属板和拉成金属线；而非金属在受到打击时会被打碎，破裂或成为粉末。金属易于导热和导电；非金属却不能。

为什么有这样的差别？

在大多数普通化合物中，例如在我们周围，看得见的海洋里和土壤里的那些化合物分子是由原子所构成的，这些原子由于共同享有电子而紧密地保持在一起。这里的每一电子都紧紧地被束缚在某一个原子或另一个原子上。当出现这种情况时，物质就表现出非金属性质。

根据这种准则，氢是一种非金属。普通的氢分子是由两个氢原子构成的。每个氢原子只有一个电子，构成一个分子的两个氢原子平均共享那两个电子。没有剩下的电子。

当一些电子不是牢固地受到束缚时会发生什么情况呢？例如，我们看一看元素钾吧。每个钾原子都有 19 个电子，它

① 黑洞体积为零吗？这种说法是不是不够严格？请高手指教。——碧声注

们排列在 4 个壳层中，只有最外面壳层中的电子可供共享。在钾原子的情况下，这就意味着它仅仅有一个电子可以为相邻原子所共享。再则，这个最外面的电子被控制得特别松，因为它和吸引它的中心原子核之间有另一些电子壳层，这些中间壳层把最外面的电子同中心引力隔开了。

在固体钾中，原子紧密地结合在一起，就像我们有时在水果店里看到的桔子堆成角锥形那样。每个钾原子有 8 个相邻原子。由于最外面的电子被控制得很松，而且许多相邻原子又如此靠近，因而任何一个最外面的电子都易于从一个相邻原子滑到另一个相邻原子。

可是，正是这些松而活动的电子，使得钾原子有可能这样紧密地结合在一起；使钾有可能易于导热和导电；也就使钾有可能变形。总之，这些松而活动的电子使钾（和其他元素以及含有这些元素的混合物）具有金属性。

现在记住，氢像钾一样，仅仅有一个电子可以为相邻原子所共享。然而，还有一个不同之处。在氢的一个（仅仅是一个）电子和中心原子核之间没有起隔离作用的电子。因此，这个电子被控制得太紧了一些，以致不能进行足够的运动来把氢转变为金属，或者迫使氢原子紧密地结合在一起。

但是，如果氢获得了外力，那会出现什么情况呢？如果氢不是由于本身电子的情况而是外界的压力迫使它们紧密地结合在一起，那又会怎么样呢？假定有足够的压力把氢原子非常紧密地挤在一起，以致各个原子都被 8 个、10 个甚至 12 个近邻原子所包围。于是，每个氢原子的单个电子，不管原子核有异常强的吸引力，就可能开始从一个相邻原子滑到另一个相邻原子。这样你就会得到“金属氢”。

为了迫使氢这样紧密地结合在一起，氢原子必须处在一

种近于纯粹的状态中（其他种原子的存在会产生干扰），并且不是在太高的温度下（高温会使它扩张）。氢原子还必须处在巨大的压力下。在太阳系中最接近于满足这些条件的地方是在木星的中心，因此有些人认为，木星的内部也许是由金属氢所构成的。

87

我们所读到的“聚水”是什么？它仍然是 H_2O ，那么有什么不同呢？

一个水分子通常是被描述为由两个氢原子和一个氧原子所构成（ H_2O ）。如果所有的水分子都是如此，那它就会是低沸点的小分子。硫化氢（ H_2S ）具有相似的但较重的分子（因为硫重于氧），它是一种气体，只要在 -61.8°C 时就液化。如果水只是 H_2O ，那么它就会在更低的温度下，也许在 -80°C 左右液化。

但是，可以看一看水分子的形状。三个原子构成的图形很接近于直角，而氧原子在顶点。氧与每一个氢原子共享两个电子，但这种共享不是平均的。氧对于电子具有较强的吸引力，因此，带负电荷的电子偏向于水分子中氧的那一方。这就意味着，虽然水分子整个来说是不带电的，但是水分子中氧的那一方有小量的负电荷，而两个氢原子则有少量与它平衡的正电荷。

相反的电荷互相吸引。于是两个邻近的水分子有排列起来的倾向，而使一个水分子的负氧端接近于下一个水分子的正氢端，这就构成了一个“氢键”，它的强度只是把分子中氢和氧保持在一起的普通键的二十分之一。这仍然足以使水分子有“粘性”。

由于这种粘性，水分子比没有粘性时容易结合在一起，更难以分开来。为了克服这种粘性，并使之煮沸，必须把水加热到 100°C 。如果温度下降到 0°C ，氢键的优势就是锁定水分子的位置并使之冻结为冰。如果不是因为有氢键的话，要冻结成冰，温度就要比这还要低得多。

对于像 H_2S （硫化氢）这样的一些分子，就不会发生这种情况，因为硫原子和氢原子对于电子具有大致相同的引力。在一方或者另一方都没有电荷累积，因此没有“粘性”。

其次，假定在非常受限制的处所——例如在一个极其细小的玻璃管中存在着水分子。那么，这些水分子便可能自行挤成比通常更密集。一个分子的氧原子可能被迫异常近地靠近相邻分子的氢原子，以致氢键变得像普通的键一样强。这时两个分子变成了一个分子。另一个分子也许会锁定在这个双分子上，然后再锁定一个，接着又锁定一个。

结果可能有许多分子紧密地聚集在一起，将所有的氢和氧形成规则的六角形排列。所产生的复合物是“聚合物”的一个例子。这就是“聚水”。要把这样一种物质（首先是 1965 年由苏联化学家报道的）分解为水蒸气的一个一个的 H_2O 分子，必须加热到 500°C 左右。其次，同样由于分子被推压在一起，比普通水中要紧密得多，所以聚水的密度是普通水的 1.5 倍。

然而，聚水的概念，至今尚未被普遍接受。许多化学家

认为，所谓聚水实际上是吸收了某些杂质的水，或者是溶解了一些玻璃的水。在这种情况下，那就根本不存在聚水了。^①

88

水冻结时为什么会膨胀？

我们可以先问一问：固体为什么会是固体？液体为什么会是液体？

一种物质的各分子之间存在着一定的吸引力，这个吸引力能够把这些分子牢固地保持在某一固定位置上。人们很难把这些分子拉开，这种物质就是固体。

然而分子含有动能，它们会在它们的固定位置附近振动。当温度上升时，这些分子获得越来越多的能量，振动得更加猛烈；最后，它们获得非常多的能量，以致别的分子的引力再也不能抓住它们了。它们摆脱了控制，并且自行跑开，在其他分子周围滑来滑去。于是固体熔化了，它就变成了液体。

大多数固体是结晶状的。那就是说，各分子不仅依然固定在它们的位置上，而且是固定在规则的位置上，排成行列。当分子获得足够的能量而跑开时，这种规则性就被打破，固体就熔化了。

通常结晶状固体中各分子的规则配置是一种紧密的配置。各分子塞满在一起，它们中间几乎没有空隙。不过，一旦这个物质熔化了，彼此之间来回滑动的分子就互相拥挤和推撞。这种推撞的总效应就是迫使所有的分子分开得再远一

① 已经证明“聚水”是子虚乌有。——碧声注

点。这时物质就膨胀，它的密度就减小。于是，一般说来，液体的密度比固体低。

换一个方式来说，固体熔化时就膨胀，而液体冻结时就收缩。

不过，问题有很大一部分取决于分子在固体中是怎样配置的。例如，在冰中，水分子排列成一种异常松的形式。水分子排成三维的图样，这种图样实际上留下了一些“空穴”。

当温度上升时，分子打破了松散的排列，开始独立地运动，进行通常的拥挤和推撞。这种运动会使各分子分开，此外也把它们推到空穴中去。由于填满了空穴，液态水占有的空间比固态冰少，而不管分子如何拥挤。当 1 立方米的冰融化时，仅形成 0.9 立方米的水。

由于冰的密度没有水大，所以它漂浮在水上。1 立方米的冰会在水中下沉，直至 0.9 立方米的冰沉至水面以下为止。这个冰块排开的 0.9 立方米的液态水的重量跟 1 立方米冰的重量一样。现在冰被水浮起来了，剩下 0.1 立方米的冰留在水面以上。对冰来说一般都是这样。任何一块冰将浮在水面上，它大约有十分之一在水面以上，十分之九在水面以下。

一般来说，这对于生命是非常幸运的。由于事情就是如此，所以水形成的冰停留在一片水体的顶部，它把较低的深层隔开，使得从下面逸出的热量有所减少。结果，较深的水通常不冻结，甚至在非常冷的天气条件下也不冻结。同样，漂浮的冰在较暖的气候里接受太阳的全部影响，并且很快融化。

如果冰的密度大于水，那么，当它形成时，它就会沉到水底，结果就有更多的水会冻结。此外，处在水体底部的冰就没有机会吸收太阳的温暖而融化。如果冰的密度大于水，那么，我们地球上的水源就会几乎都是冻结的，即使地球离开太阳

并不比现在更远。

89

什么是燃料电池？它们在发电上有什么优点？

燃料电池是一种用于发电的装置，为了了解它的价值，让我们分别研究一下“燃料”和“电池”这两个词。

为了利用煤或者石油这样的燃料来发电，必须先燃烧煤或者石油。它们燃烧时产生的能量可以对水加热而使之变成蒸汽，蒸汽则可以用来使涡轮发电机在磁场中旋转。这样就产生了电流。换句话说，我们是把燃料的化学能转变为热能，然后把热能转换为电能。

在这种双转换的过程中，许多原来的化学能浪费掉了。然而，燃料非常便宜，虽有这种浪费，也不妨碍我们生产大量的电力，而无需昂贵的费用。

还有可能把化学能直接转换为电能，而无需先转换为热能。为此，我们必须使用电池。这种电池由一种或多种化学溶液组成，其中插入两根称为电极的金属棒。每一电极上都进行特殊的化学反应，电子不是被释出就是被吸收。一个电极上的电势比另一个电极上的大，因此，如果这两个电极用一根导线连接起来，电子就会通过导线从一个电极流向另一个电极。

这样的电子流就是电流，只要电池中进行化学反应，这种电流就会继续下去。手电筒的电池是这种电池的一个例子。

在某些情况下，当一个电池用完了以后，人们迫使电流返回流入这个电池，电池内会反过来发生化学反应，因此，电池能够贮存化学能，并用于再次产生电流。汽车里的蓄电池就是这种可逆电池的一个例子。

在一个电池里，浪费的化学能要少得多，因为其中只通过一个步骤就将化学能转变为电能。然而，电池中的化学物质都是非常昂贵的。锌用来制造手电筒的电池。如果你试图使用足够的锌或类似的金属来为整个城市准备电力，那么，一天就要花成本费数十亿美元。

燃料电池是一种把燃料和电池两种概念结合在一起的装置。它是一种电池，但不需用昂贵的金属而只用便宜的燃料来进行化学反应。这些燃料的化学能也通过一个步骤就变为电能，比通常通过两步方式的能量损失少得多。于是，可以为人类提供的电量就大大地增加了。

问题在于难以制备一种确实能以可靠方式进行工作的燃料电池。已制备了这样的电池，其中是靠氢和氧的结合来产生电能，但氢仍然是很昂贵的。有人用一氧化碳来代替氢，这倒是便宜一些。最近还制备了利用污水与氧的结合在细菌作用的影响下产生电能的电池。无疑，把污水转变为电的想法是令人鼓舞的，并可解决两个问题：便宜的电力和废物的处理。

在燃料电池确实可供实用之前，还有许多工作要做，但它们代表着一种光明的前景。

什么是维生素？我们为什么需要维生素？

要了解维生素，我们必须从酶说起。酶是起着加速人体中某些化学变化的作用的分子。酶有数千种，每种化学变化由单独一种酶来控制。

只要很少量的酶就可以控制一种化学变化。但是，这样少量的酶是必不可少的，人体内的化学机能错综复杂地互相联系着，由于缺少某一种酶而减慢某一种化学变化的速度，就会造成严重疾病，甚至死亡。

大体上来说，人体能够容易地从几乎每种食物中都存在的物质制造出酶分子。如果我们实际上不是在饿着（这是首要条件），就不存在连续缺乏酶分子的危险。

某些酶包含着一定的特殊原子结合体，作为其结构的组成部分。这些原子结合体通常仅仅在酶中存在，因此仅仅需要很少的数量，因为人体对酶本身的需要也只是很少量的。

但人体还是必须有一些这样的原子结合体。如果这些原子结合体中的某一种非常缺乏，那么，使用该原子结合体的各种酶就不会再进行工作了。某些化学变化就开始缓慢而费力地进行。这样就会发生疾病，最后就会死亡。

危险就在于，尽管人体能够制造大部分酶分子，但是不能制造这些特定的原子结合体，而必须完全从食物中吸收。如果人的食物中不含少量的这些特殊的原子结合体，人就会

生病和死亡。

在二十世纪初期首先发现这个事实时，人们并不知道这些原子结合体的性质。当时人们认为，至少某些原子结合体属于一类称为“胺”的物质，因而把它们称为维生素，即“维持生命的胺”的意思。

植物是维生素的基本来源。植物从非常简单的化学物质如二氧化碳、水、硝酸盐等制造植物的一切组织物质。如果植物不能通过吸收制造出每一种维生素，它们就不可能生存下去。

然而，动物能吃植物，并能利用植物组织中已经存在的各种维生素。动物不需要自己来制造维生素。动物把它们吸收的维生素贮存在酶工作时最需要的地方：肌肉、肝、肾、奶等处。肉食动物则从食植物的猎获物取得维生素，这些维生素是猎获物费劲地由植物吸取的。

不需要自己制造维生素有一定的好处。制造维生素时，要求每个细胞里有发挥化学机能的足够大小的空间。如果去掉这个空间，那么可以说，就有较多的空间可供动物去发挥植物所不能胜任的许多机能，这些机能包括神经活动、肌肉收缩、肾脏过滤等等。

然而，偶然缺乏维生素，就会造成不良后果。如果人们选择的饮食较差（或者由于人们愿意这样做，或者只能得到这样的饮食），那么，他们就会患脚气病、坏血病、糙皮病或软骨病这样一些疾病，每种疾病的病因，都是由于一些酶因为缺乏某一种失去的维生素而不能工作，从而使人体的一种化学过程失调，慢慢地停止工作。

生命是怎样开始的？

对于这个问题，现在还不能直截了当地回答，因为当生命开始时，周围还没有人，也就没有见证人。但我们能够对这个问题进行逻辑分析。

天文学家对宇宙的一般构造，已经做出了某些判断。例如，他们发现，宇宙间大约有百分之九十的氢和百分之九的氦。剩下的百分之一主要是由氧、氮、氖、氩、碳、硫、硅和铁所组成。

从这一点开始，并知道了这些元素可能进行结合的方式，我们就有理由得出结论说：地球从一开始就有一个大气层，它富含氢的化合物——水蒸气、氨、甲烷、硫化氢、氰化氢，等等。还可能有一个由液态水组成的海洋，将大气中的各种气体溶解于海水中。

为了在这样的世界上形成生命，在一开始时就存在的一些简单分子必须结合起来，形成复杂分子。一般地说，由只有少量原子的简单分子形成有许多原子的复杂分子，需要有能量的输入。阳光（特别是它的紫外线）照在海洋上，能提供必要的能量，迫使小分子形成较大的分子。

那么是哪些较大的分子呢？

1953年，美国化学家米勒决定设法去发现这样一些较大的分子。他制备了人们认为曾在地球原始大气中存在过的一些物质的混合物，并确信它是完全无菌的。然后，他用放电作

为能源，让这种混合物接受几个星期。在这段时间的最后，他发现这个混合物中含有比他开始时使用的分子稍微复杂一些分子。它们都是生命组织中存在的各种类型的分子，而且包含着一些用于制造重要的化合物（蛋白质）的氨基酸。

从1952年以来，世界上许多研究人员重复做了这个实验，并做得更加细致和精巧。他们用多种方法形成了多种分子，然后用这些分子作为形成更复杂的分子的起点。

这样形成的一些物质都已证明是在直接通向复杂的生命物质——蛋白质和核酸。在这些物质中，没有发现任何一种物质与具有生命组织特征的那些物质大不相同。

然而，即使凭借最宽广的想象力，迄今也还没有形成可以称之为生命的东西，但是科学家目前只是用仅仅几升液体进行研究，每个阶段仅仅几个星期，而在原始地球上，整个海洋的液体接受阳光照射已达数十亿年之久。

在阳光的酷烈照射下，海洋中的分子逐渐地变得越来越复杂，直至最后、由于某种不知道的原因形成了某一个分子，这个分子能够把较简单的分子组成像它自身那样的另一个分子。这样，生命就开始了，并且延续着，渐渐进化为现在的生命状态。“生命”的原始形式甚至比今日最简单的生命形式还要简单得多，但它们已够复杂的了。现在科学家正在努力工作，以便填补上面所说的那个“由于某种不知道的原因”的细节。

但生命的出现并不是一种奇迹，它只不过是各种分子沿着一条阻力最少的线索彼此结合起来而已，这一点似乎是十分肯定的，在原始地球的条件下，必然会形成生命，就像铁在潮湿的空气里必然会生锈那样。在物理性质上和化学成分上与地球相似的任何其他行星，也会不可避免地出现生

命——尽管不一定是有力量的生命。

92

有可能形成以硅为基础的生命吗？

一切有生命的东西，从最简单的细胞到最大的红杉树，都包含着水作为它们的最普通的分子。浸在这种水中的是极复杂的分子，称为蛋白质和核酸，它们似乎具有我们所知道的一切生命的特征。这些复杂的分子具有由碳原子链和环组成的基本结构。几乎所有的碳上都附有一个或多个氢原子。少数的碳则附有包含着像氧、氮、硫和磷等原子的原子结合体。

用最简单的话来表达时，我们可以说，就我们所知，生命是由水中的碳氢化合物的衍生物所构成的。

生命能够由别的东西构成吗？我们能够找到某些其他种类的分子来提供生命的复杂性和多样往吗？除水以外，还有什么东西能提供起着生命基础作用的必要的独特性质吗？

我们能想象有什么像水那样的东西可以代替水吗？液态氨（氨水）在性质上与水最相近。在一个比地球冷一些的行星上（例如在木星上）氨是很普通的东西，它可能是液体，而水却是固体，可以想那里存在着以氨为基础的生命。

还有，氢附着在碳链上的许多地方，因为它很小，所以它适于附在任何地方，附在任何狭窄的角落或缝隙里。氟原子在某些方面像氢原子，几乎跟氢原子一样小。碳氟化合物的组成和化学性质与碳氢化合物的组成和化学性质有些相似，只不过，碳氟化合物比碳氢化合物稳定得多。

然而，也许在一个比地球热一些的行星上存在着以碳氟化合物为基础的生命。

但是，碳原子的情况又是怎样的呢？有什么东西能代替它吗？碳原子能够以四面附着在四个不同的原子上（包括别的碳原子）。由于碳原子非常小，相邻的碳原子非常接近，中心连着中心，形成一种牢固的键。正是这种键使得碳原子的长链和环处于稳定状态。

硅最像碳。硅原子也能以四个不同的方向附着在四个不同的原子上。然而，硅原子大于碳原子，因此，硅原子与硅原子的结合物不如碳原子与碳原子的结合物稳定。硅原子的长链和环存在的可能性远远小于碳原子的长链和环。

可能有一种由硅原子与氧原子交替排列而成的复杂的长原子链；每一硅原子上可能附有两个其他的原子或者原子团，这种分子称为“硅酮”。

碳氢化合物原子团或碳氟化合物原子团可能附着在硅酮分子上，这些结合物可能产生这样的一些分子，它们的大小、精致和灵活性足以形成生命的基础。在这个意义上，可以想象有以硅为基础的生命。

但是，这些其他生命形式实际存在于宇宙中的某些地方吗？是否存在着以某种同我们自己没有任何相似点的、完全异样的化学成分和性质为基础的生命形式呢？我们也许永远也不会知道。

为什么恐龙会灭绝？

一亿五千万年前，某些大的爬行动物是地球上最有生命力的生物。这些生物一般被称为“恐龙”。这类最大的陆地爬行动物的体重可达八十五吨。大鱼龙和蛇环龙统治着海洋，翼龙在天空中飞行，巨型皮翼的翼展达六米。

其后，大约在七千万年前，所有这些大的生物都已灭绝。这不是一夜间发生的事，但的确是在一个非常短的时间内（比如说一百万年内）发生的事。其他形式的动物，如鱼类和原始哺乳动物以及鸟类等，并没有受到影响。植物也没有受到影响。

关于为什么会发生这种情况，曾经有这一些猜想，但猜想只不过是猜想。没有人知道是不是确实。

有人认为是气候变化造成的。曾经是气候温暖、有沼泽和浅海的地方，现在形成了高山。土地干了，海洋加深了，季节冷热悬殊。然而，很难相信某些地区不保持着适宜的气候。并且，海洋是应该不受影响的。

另外有人认为，早期的哺乳动物吃恐龙蛋，这就使恐龙绝种了（但海洋里的爬行动物是会生小爬行动物的）。也许是草蔓延了，覆盖着地球，代替了较早时那的较软而又较多汁的植物。素食的恐龙也许缺乏需要用于磨碎硬草的牙齿。后来，在素食的恐龙开始灭绝后，食肉的恐龙越来越难找到食物，便也灭绝了。

还有人认为，也许恐龙突然开始经历非常大量的变异。由

于大多数变异是往坏的方面变，因此形成了许多有缺陷的恐龙，以致整个恐龙族都灭绝了。

这最后一个解释引起了广泛的兴趣，但为什么变异的数量会突然增加？

变异的原因之一是硬性辐射。地球不断地受到宇宙射线的轰击，这种宇宙射线的轰击可能引起了那些日子经常在生物中出现的变异。今天这种变异率并不是很高的，但可以设想，有时会有强烈的辐射爆发袭击地球。

堪萨斯大学的特里和莱斯大学的塔克指出，如果一颗超新星在离太阳系很近的地方爆炸，那么，地球也许会充满着宇宙射线。他们估算了恒星预计可能爆炸为超新星的频率，和这些超新星离我们的远近，而且还计算了每一千万年左右（平均来说），地球得到的宇宙射线的剂量约为现今的七千倍。也许约在七千万年前，在地球上洒下了这样大量的宇宙射线。

但就算是这样，那为什么它只影响恐龙？为什么对别的动物没有同样的影响呢？也许会有影响，但可能由于恐龙非常特化，以致跟其他特化程度较低的动物比较，无规则的变异对于恐龙更具有致命的影响。

那么，是什么样的变异起决定作用呢？西德波恩大学的厄尔本最近提出了一个看法。他指出，在恐龙生存的最后阶段，它们下的蛋具有非常厚的壳，这可能是一种由于变异造成的出生异常。幼恐龙要脱壳而出是困难的，出生越来越少了。在这种变异和其他变异的交迫中，使得这巨型动物的整个一族都灭绝了。

94

人脑同计算机有什么差别？计算机能思考吗？

人脑同计算机的差别可以用一个词来表述：复杂性。

大哺乳动物的脑，就我们所知道的大小而言，是最复杂的东西。人脑重一千多克，但在这一千多克中，有上百亿个神经细胞和上千亿个较小的细胞。这么多亿的细胞在一种我们现在还无法着手阐明的庞大而复杂的网络中互相联系着。

甚至人类迄今已经制造出来的最复杂的计算机，在复杂程度上也不能同人脑相比。计算机的开关和元件的数目只是以千计，而不是以十亿计。此外，计算机的开关只是一种启闭装置，而脑细胞本身则具有极其复杂的内部结构。

计算机能思考吗？这就看你所说的“思考”是指什么。如果“思考”是指解答一个数学问题，那么，计算机是能“思考”的，而且比人要快得多。当然，大多数数学问题能够完全用机械方法一次又一次地重复某些直接的过程而得到解决，甚至今天最简单的计算机也能进行这种工作。

人们常说，计算机解答问题，仅仅是因为它们被“编成了程序”才能这样做。计算机仅仅能做人们让它们做的事。我们必须记住，人类也仅仅能够做他们被“编成程序”所要做的事情。我们的基因在受精卵形成的瞬间就把我们编了“程序”，而我们的潜力就受到这种“程序”的限制。

然而，我们的“程序”要复杂得多，因此，我们想要把“思

考”定义为写一部大剧本，作一部大交响曲，酝酿一个光辉的科学理论或一个深奥的伦理判断的创造力。在这种意义上，计算机肯定不能思考，大多数人也不能做到这一点。

但可以肯定他说，如果一台计算机做得非常复杂，那么，它也可能像我们一样具有创造力。如果能把它做得像人脑一样复杂，它就可能相当于一个人脑，并且能做一个人脑所能做的任何工作。

此外，还可以设想，人脑比组成人脑的物质有更多的东西。人脑是由具有某种排列方式的细胞所构成，而细胞又是由具有某些排列方式的原子和分子所构成。如果说人脑还有什么别的东西，那么，至今还没检测到这种东西的迹象。因此，复制人脑的物质复杂性，就是复制脑的一切。

但是需要多长时间才能制造出一台在复杂程度上足以复制人脑的计算机呢？这也许不致需要有些人所想象的那样长的时间。远在我们能够制造出一台像人脑那样复杂的计算机之前，也许我们会制造出一台这样的计算机，它的复杂程度至少足以设计出比它自身更复杂的计算机，这种较复杂的计算机能设计出更复杂的计算机，如此发展下去，复杂性越来越高……

换句话说，一旦我们通过了某一临界点，计算机就把人脑接过去，于是出现了“复杂性的爆发”。从那以后，在一个很短的时间内，计算机也许不仅仅能复制人脑，而且远远超过这一点。

再往后又会怎样呢？唉，人类目前还没有把地球管理得很好。总会有一天，我们应该谦恭地退让，而把这个工作交给能够做得更好的某人。如果我们不靠边站，那么，也许超级计算机就会毫不客气地走进来，把我们推到一边。

思考的速度有多快？

这要看你说的“思考”是指什么。

你也许是指想象力。我能想象我自己正处在地球上，一秒钟后，我想象我自己到了火星上或半人马座的 α 星上；或者在某个遥远的类星体附近。如果那就是所指的“思考”，那么你就会争辩说，思考具有任何一种速度，直到无限大的速度。

然而，你并没有真正走过那段距离，对吧？我能够想象我自己在地球形成的时候也在场，但那并不是说，我经历过这个时间历程。我能够想象我自己处在太阳的中心，但那并不是说，我真正能够存在于那样的条件之下。

为了使这个问题具有科学上的意义，你必须以这样一种方法来定义“思考”，即它可能具有的、实际上可用物理方法来测量的速度。

例如，你能够思考的唯一原因，完全是因为存在着从神经细胞突飞到神经细胞的神经冲动，任何依赖于神经系统的行动都取决于这些神经冲动。如果你摸到一个热的东西，你就会把手缩回去。但是，只有当热的感觉从你的手传到你的中枢神经系统，然后另一个神经冲动从你的中枢神经系统传到你的肌肉时，你才能这样做。

这种无意识的“思考”（“我觉得某种东西是热的，我最好把我的手拿开，否则手就会受到严重伤害”），不可能比神经

冲动在手和中枢神经系统之间往返所费的时间快。因此，我们必须懂得，“思考的速度”就是“神经冲动的速度”，否则不可能回答这个问题。

1846年，德国一位大生理学家马勒抱着悲观情绪，他认定决不可能测出神经冲动的速度。六年以后，在1852年，他以前的一位学生赫姆霍兹致力于测量神经冲动的速度。他用仍然接通神经的肌肉进行研究。他在不同的点上刺激神经，并测量引起肌肉收缩所需要的时间。当他刺激离肌肉较远处的神经，肌肉收缩迟缓了。根据迟缓的时间，他测出了神经冲动经历这段额外距离所需的时间。

神经冲动的速度取决于神经的厚度。神经越厚，神经冲动传递得越快。神经冲动的速度还取决于神经是否受到一个脂肪物质的鞘的隔离。一根受到隔离的神经传导神经冲动的速度比未隔离的神经快。

哺乳动物的神经是动物中最细的神经。而最好的哺乳动物神经运载神经冲动的速度每秒约100米，或者说，每小时360公里。

这种速度似乎低得令人失望。思考的速度并不大于旧式螺旋桨飞机的速度。但可以设想，神经冲动能够从人体的任何一点传递到任何另一点并返回来，只需要用少于 $1/25$ 秒的时间（不包括在中枢神经系统处理过程中的延迟）。最长的哺乳动物神经是在30米长的蓝鲸体内，甚至在这里，神经冲动只需用半秒多一点就能完成在该鲸体内的往返旅程，这已是够快的了。

“生物钟”指的是什么？它是怎样工作的？

有时你不必看钟。当你肚子饿的时候，你就知道那是该吃饭的时候了。当你困了的时候，你就知道那是该睡觉的时候了。当然，如果你午饭吃得非常饱，那么，当你感到饿的时候，也许已经过了晚饭时间了。如果你已经睡了一个懒觉，或者正在参加一个令人兴奋的晚会，那么，当你感到困倦的时候，也许已经过了就寝时间。然而，在通常情况下，你感到困、饿的时间总是非常接近于正常的就寝和就餐时间。

在你身上有一种周期变化，使你每隔一定的时间感到饥饿，每隔一定的时间感到困倦。这些周期变化是很有规律的，因此你能够利用这些周期来测量时间（很粗略地）。这些周期就是“生物钟”的一个例子。

在生物的外界存在着稳定的周期。最显著的就是白天和黑夜的交替，但也有一天两次的潮汐节律，这种节律的幅度随着月亮的位相而变化，而温度周期则随着日夜周期和季节的年周期而变化。

生物对于这些变化的反应是有用的。如果它需要在夜间或仅在温暖的季节里找食物，那么，它也就可能在白天睡觉或者在冬天冬眠。如果它要去海岸下蛋，那它在随满月而到来的最高潮时下蛋是最好的。甚至植物对这些节律也有反应，以致叶子在太阳落山时垂下，花或果实在特定的季节开放和成

熟，等等。

我们不能设想生物能自觉地做这一切。它们不会说“是夜间了，我将要睡觉了”，或者“白天越来越短了，我将要落叶了”。在生物体内，的确存在着自动的周期同外界的天文周期相适应。这种适应性是由于自然选择而产生的。适应性强的动物或植物比适应性差的动物或植物生存得更好，并有机会得到较多的后代，这样，这种适应性就一代一代地提高。

甚至分子这一级的东西也存在着这种内周期。体温有规律地升降，血液的某些成分的浓度有规律地增减和身体对某些药物的敏感性的增强和减弱，等等。这些周期大多数需要用大约一天时间来完成一种“升降运动”，这些周期称为“生理节律”。

内周期是由环境节律所控制的吗？不完全是这样。如果一个动物或一个植物被放在一种去掉了外界节律的人为环境里——这里存在着恒定的光照或恒定的温度，那么，这些节律还是会继续下去。

这些节律也许不很明显，也许对于严格的 24 小时周期稍作变化，但是这些节律依然存在。环境节律只不过起一种“精细控制”的作用。

乘喷气式飞机远程旅行的人，会发现他们自己处在极其不同的时区中，这时他们的内节律不再适应这种“日夜周期”了。这就会引起许多不舒服的症状，直到生物钟经过重新调整为止。

至于生物钟是如何工作的，我可以用四个字来告诉你：无人知晓？

人体内是否有某种周期性化学反应？如果是这样，生物钟应该随温度或随药物而变化，但它却不是这样。那么，它是

不是与外界的一些微妙节律发生了连锁关系的某种东西，即使去掉了阳光和温度的变化，这种连锁关系依然存在呢？也许是这样。但如果是这样，那我们也还没有发现这些节律的性质。

97

细菌、微生物、菌株和病毒有什么不同？

细菌是一种单细胞生物体，生物学家把这种生物归入“裂殖菌类”。细菌细胞的细胞壁非常像普通植物细胞的细胞壁，但没有叶绿素。因此，细菌往往与其他缺乏叶绿素的植物结成团块，并被看作属于“真菌”。

细菌因为特别小而区别于其他植物细胞。实际上，细菌也包括存在着的最小的细胞。此外，细菌没有明显的核，而具有分散在整个细胞内的核物质。因此，细菌有时与称为“蓝绿藻”的简单植物细胞结成团块，蓝绿藻也有分散的核物质，但它还有叶绿素。

人们越来越普遍地把细菌和其他大一些的单细胞生物归在一起，形成既不属于植物界也不属于动物界的一类生物，它们组成生命的第三界——“原生物界”。有些细菌是“病原的”细菌，其含义是致病的细菌。然而，大多数类型的细菌不是致病的，而的确常常是非常有用的。例如，土壤的肥沃在很大程度上取决于住在土壤中的细菌的活性。

“微生物”，恰当地说，是指任何一种形式的微观生命。“菌

株”一词用得更加普遍，因为它指的是任何一点小的生命，甚至是一个稍大一点的生物的一部分。例如，包含着实际生命组成部分的一个种子的那个部分就是胚芽，因此我们说“小麦胚芽”。此外，卵细胞和精子（载着最终将发育成一个完整生物的极小生命火花）都称为“生殖细胞”。

然而，在一般情况下，微生物和菌株都用来作为细菌的同义词；而且确实尤其适用于致病的细菌。

“病毒”一词来自拉丁文，其含义是“毒”。这可以追溯到生物学家还不能确切地知道病毒为何物的时候，那时他们只知道某些制剂含有能致病的东西。

病毒不同于细菌，也不同于其他一切生物，因为它不是由细胞所组成。它比一个细胞小得多，仅仅有一个大分子那样大。它是由一个周围被一层蛋白包着的核酸圈所构成。就这点来说，它很像细胞的染色体，因此我们几乎可以把病毒看作是“不受拘束的染色体”。

染色体控制着细胞的化学过程；而病毒一旦进入细胞内，就会建起对它自己的反控制。病毒通常能够使细胞的化学过程屈服于它的意志，把所有的细胞机能都转向执行形成更多病毒的任务。细胞往往在这个过程中被杀死。

病毒不像细菌，它们缺乏独立生活的能力。它们仅仅能够在细胞内繁殖。所有的病毒都是寄生的。在某些情况下，它们造成的损害也许不明显；但在另一些情况下，则会造成严重的疾病。

病毒是怎样发现的？

在十九世纪六十年代，法国化学家巴斯德提出了“细菌致病说”。根据这种学说，每种传染病都是由某种极小的生命形态所造成和传播的，它在患病的生物体内繁殖，从那个患病的生物传染给一个健康的生物，从而使之生病。

然而，在十九世纪六十年代，巴斯德在研究致命的“狂犬病”时，尽管发现了这种病是会传染的，是因被患狂犬病的动物咬伤而得病，但他没有找到与这种病有联系的病菌。巴斯德得出给论说：存在着一种病菌，这是没有问题的，但它太小，以致他手头的显微镜也看不见。

可能由于同样原因，其他疾病似乎也找不到病菌。“烟草花叶病”就是一个例子，烟草植株染上了这种病就会在叶子上形成一种斑点的花叶病图案，构成一种病状。如果叶子烂了，就能排出一种汁液，这种汁液能在健康的烟草植株中造成这种病，但这种汁液并未含有显微镜能看到的任何一种病菌。

显微镜在可见范围内的可信程度有多大呢？一位俄国细菌学家伊凡诺夫斯基在 1892 年用另一种方法研究了这个问题。他使用了一种素烧的瓷过滤器，这种过滤器可以挡往任何大到足以使当时显微镜能看见的东西。他从患病的烟草植株提取出传染性汁液，使之从这个过滤器过滤，他发现经过过滤的汁液还是能感染健康的烟草植株。伊凡诺夫斯基认为，也许是因为过滤器有缺陷，而不敢得出结论说，这里存在有

病菌，但因为大小，以致在显微镜下也看不见。

1898年，荷兰植物学家白杰林克独立地进行了完全相同的实验，而且得到了完全相同的结果。他相信这个试验的真实性，断定不论造成烟草花叶病的是什么东西，它一定是由非常小以致能过滤器滤出的质点所组成。

白杰林克称这种致病液为“病毒”。因为这种液体能通过过滤器而不失去其毒性，所以他把它称为“滤过性病毒”。这个术语终于不适用于这种液体，而适用于液体内致病的质点。后来，又去掉了这个形容词，这种极小的致病质点简称为病毒。

但这种病毒质点到底有多大呢？白杰林克认为：大概比水分子大不了多少。因此，任何能让水通过的东西，也都能让病毒通过。

1913年，英国细菌学家埃尔福德进行了这一试验，他使用了火棉胶（珂珞酊）薄膜，这种薄膜可以制出任何尺寸的微孔。他让含有病毒的流体通过火棉胶薄膜。他发现，他制出的这种微孔薄膜的微孔非常小，只有水分子可以通过，而病毒不能通过。埃尔福德还发现，尽管原来的液体能够传播疾病，但通过那种薄膜滤器之后的液体再也不能传播疾病了。

这样，人们就知道了病毒质点的大小。它比最小的细胞还要小，它只可能由很少几个分子所组成。但这样的分子是大分子。

为什么红血细胞每隔几个月就更换一次，而大多数脑细胞却可以活一辈子？

细胞分裂的机制是极其复杂的。其过程包括许多步骤：核薄膜消失，一种称为中心体的小物体进行分裂，染色体形成染色体本身的复制品，先关在已分裂的中心体形成的心轴中，然后又分开，处在细胞的对侧。然后必须在两侧形成一层新的核薄膜，而细胞则在中间收缩，并分裂为二。

在整个过程中发生的化学变化无疑会更加复杂。一直到近年来我们才开始弄清楚其中的某些化学变化。例如，我们一点也不知道是什么样的直接化学变化在不需要再分裂时使得细胞停止分裂。如果我们知道这个答案，那么，我们也许有可能解决癌的问题，癌是细胞生长的一种失调现象，也就是细胞无能力停止分裂。

像人这样复杂的生物具有（而且必定具有）极其特化的细胞。这种细胞能起到一切细胞都能起到的某些作用，并能把这种作用发挥到极限。肌肉细胞收缩时，神经细胞在传导电脉冲时，肾细胞允许某些化学物质通过而不允许别的东西通过时，都把它们的作用发挥到了极其熟练的程度。这种细胞中必然有许多机制用于发挥某种特殊功能，以使细胞分裂机能投有发挥的余地。这种细胞和一切能获得一定程度特化的细

胞，都不得不放弃分裂。

一般说来，一种生物一旦达到充分成长，就再也没有必要长得更大，因而也不需要更多的细胞。

然而，有些细胞必然会不断地遭到消耗和磨损。皮肤细胞常常要与外界接触，肠膜细胞受到通过肠子的食物的磨损，红血细胞受到毛细血管壁的磨损。在各种情况下，摩擦和其他原因都会使得细胞受到伤亡。就皮肤和肠膜来说，处于深层的细胞必须保持分裂的能力，以便新的细胞能够不断地代替已剥落的老细胞。实际上，在皮肤上，表皮细胞在剥落前就已死去，因此皮肤的最外层是一种死的、不易磨损的，抗气候的保护层。在摩擦特别大的地方，死层就会堆叠成为一种胼胝体。

红血细胞完全没有细胞核，因此，没有细胞分裂机能，这种机能总是集中在核里。但在人体内的许多地方，特别显著地是在某些骨头的骨髓里，有着带核的细胞，这种细胞能分裂并能形成子细胞，这种子细胞则能逐渐失去它的核，并变为红血细胞。

但是，在达到成年后，通常不进行分裂的某些细胞，却保持着分裂的能力，以备突然需要修补。这样，长时间停止生长的骨头，在折断之后能够开始再生长，这种生长正好持续到修补了折损为止，然后又停止生长（很遗憾，神经细胞不能做这样的工作）。

某些细胞在被置换之前能活多长时间，通常取决于它们所受的应力的性质和强度，因此很难说出细胞的准确寿命（曾经发现大鼠爪子底部上的外皮，在某些情况下，在两个星期之内就完全被置换了）。红血细胞是一种例外，它受到一种亘久不变的磨损。人类红血细胞的可预测寿命大约为 125 天。

衰老的目的是什么？

衰老和死亡，这似乎是一种耻辱，但又显然是不可避免的。像人这样的生物实际上注定要变老和死亡，因为我们的细胞似乎由它们的基因“编制了程序”，逐渐地经受着与时俱进的称为衰老的那些变化。

衰老有某种用处吗？衰老有什么益处呢？

生命的最惊人的特性，除了单纯的生存之外，就是它的适应性。在陆地上、海洋里和空气里有生物；在温泉里、咸水里、沙漠上、从林里和两极的荒芜地区里以至各处都有生物。甚至有可能设计出我们认为在火星上和木星上存在着的那样一些环境，并有可能发现在那些条件下生存的简单生命形式。

为了获得这样的适应性，基因结合物和基因性质本身必须发生经常性的变化。

单细胞生物进行分裂，两个子细胞都有着原细胞所具有的基因。如果基因能够作为完善的复制品通过一次次分裂永远传递下去，那么，原细胞的性质就决不会发生变化，不论它的分裂和再分裂有多么频繁。然而，复制品并不总是那么完善；有时会发生无规的变化（“变异”），而且逐渐由母细胞产生不同的品系、不同的变种，最后形成物种（“进化”）。某些物种在某种环境里比其他物种能生存得更好，因此不同的物种占

据着地球上不同的小环境。

有时，各个单细胞生物之间互相交换染色体。这种原始形式的性行为导致基因结合物的改变，而这又进一步加速进化发展。在多细胞动物方面，两个生物互相合作进行有性繁殖变得越来越重要。除了变异能单独造成变种外，不断产生带有基因——一种一些基因来自父方、一些基因来自母方的无规混合物——的幼体，也能形成变种。结果，进化的速度大大地加快了，而新形成的那些物种能更容易地散布到新的小环境，或者能使它们本身更好地适应旧的小环境，从而比从前能更有效地利用小环境。

因此，其关键就是产生带有新的基因结合物的幼体。某些新的基因结合物也许很拙劣，但它们的寿命不长。那些非常有用的新的结合物能够“成功”并排除竞争。然而为了办得最成功，带有“未经改进的”基因结合物的较老的一代不应留在这样的环境里。可以肯定，上了年纪的生物总是会随着时间推移而死去，有的是由于事故造成，有的是由于生命消耗殆尽所致，但可以更有效地促进这个过程。

其早期几代具有预定要衰老的细胞的那些物种会更有效地促进新陈代谢。幼体就会进化得更快而且更成功。我们能看到我们周围的生物长寿所造成的不利因素。能活数千年的红杉树和刺毛松球几乎灭绝了，长寿的象几乎没有短寿的老鼠那样能适应环境；或者说，长寿龟没有寿命短的蜥蜴那样能适应环境。

为物种（甚至人种）着想，似乎最好是老了就死去，而让幼者生存。

这很令人感到遗憾，但事情似乎就是这样。

科技新书目：158—15

统一书号：13051·1076

定 价： 0.51 元

Ken777 校对及文字编辑说明：

| 页码/行 | 说 明 |
|------|--|
| 全文 | 按现行汉语规范修改了下列对应词语： 含有“像”、“象”的相关用词； 作出→做出、做为→作为、称做→称作。 |
| 全文 | 保留了原扫校者碧声所作的注解。 |
| 全文 | 适当加入与内容有关的脚注。 |



珍爱书籍，开卷有益，请支持正式出版物。

《你知道吗？现代科学中的一百个问题》二校版，精确版面还原
文本取自网络，由 [三思网站](#) [碧声](#) 扫校，在此致谢！

全书由 [凡剑](#)（Ken777）二校、修图制作

2010年02月06日二校

