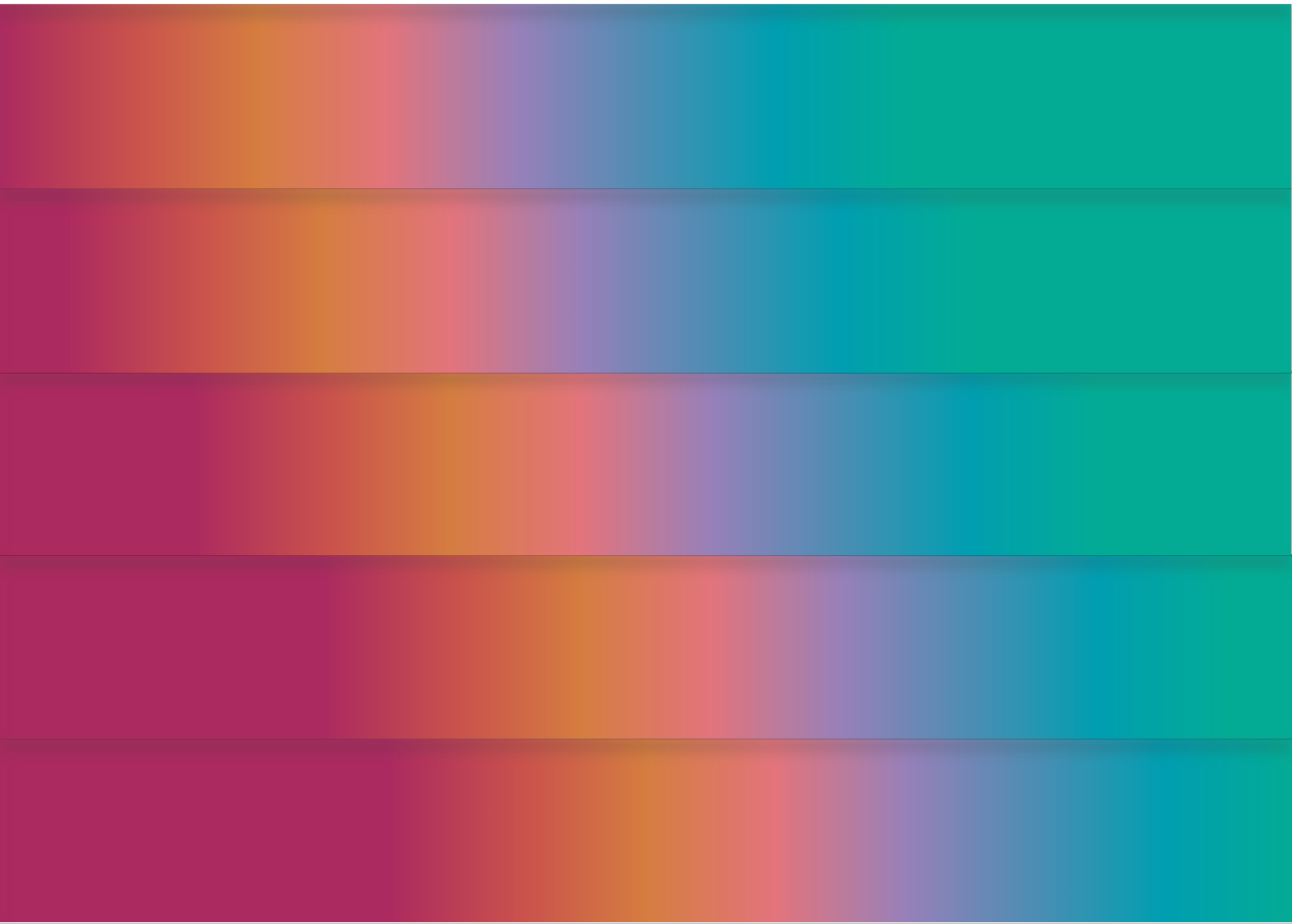


与自然对话 中文版



版本: ver2.1
编者: Jwx Myr

更新内容：

1. 修改了ver2.0中，通过扫描获得中文版文本中的翻译错误。修改显著的包括以下几篇：

- Text4: 《DNA：生命的秘密》
- Text7: 《中国科技文明史》

2. 更改了ver2.0和ver1.x中

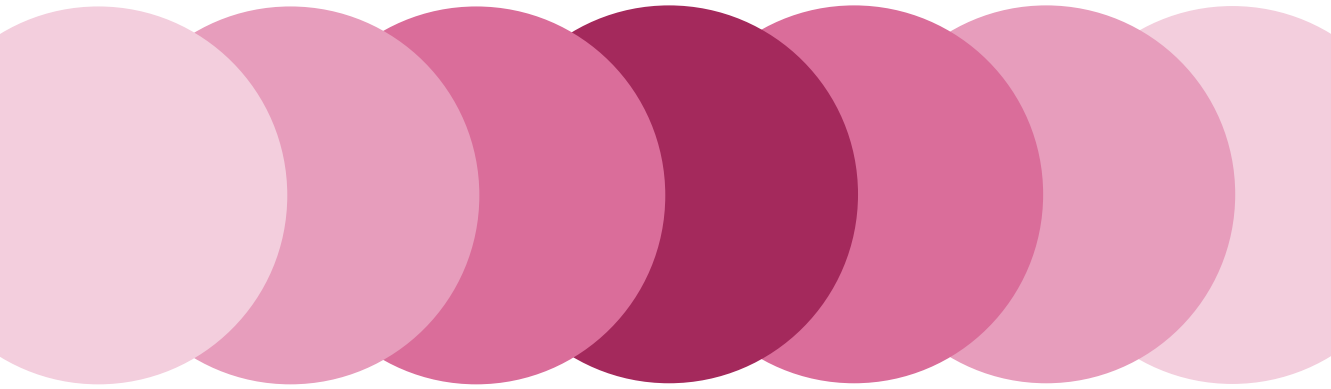
Text2: 《自然哲学之数学原理》的中文翻译，换为更好理解的版本。

3. 增加了反馈途径，方便纠错：

<https://docs.qq.com/form/page/DVUJjTktNc2xiWnVX> 或扫描下方二维码：



《理想国》 柏拉图



BOOK 6

[...]

格：但是，苏格拉底，快到目的地了，你可别折回去呀。你不是曾给正义、节制等等作过一个解释吗？你现在也只要给善作一个同样的解释，我们也就满意了。 1

苏：须知，这样我自己也至少和你们一样满意，我的朋友。但是我担心我的能力办不到；单凭热情，画虎不成，反惹笑话。我亲爱的朋友们，眼下我们还是别去解释善到底是什么的问题吧。因为要把我现在心里揣摩到的解释清楚，我觉得眼下还是太难，是我怎么努力也办不到的。但是关于善的儿子，就是那个看上去很像善的东西，我倒很乐意谈一谈，假如你们爱听一听的话。要是不爱听，就算了。 2

格：行，你就讲儿子吧；反正你下次还要还债，给我们讲父亲的。

苏：我倒真希望我能偿清债务一下子就讲父亲，而不是像现在这样只付利息讲儿子，让你也可以连本带利两个方面都听到。但是不管怎么样，你还是先收下利息，这个善的儿子吧。不过还得请你们小心，别让我无意间讲错了，误了你们的视听。

格：好，我们尽量当心。你只管讲吧。

苏：好；但是我必须先和你取得一致看法，让你回想一下我在这一讨论过程中提到过的也曾在这别的地方多次提到过的那个说法。

格：什么说法？

苏：就是一方面我们说有多种美的东西、善的东西存在，并且说每一种美的、善的东西又都有多个，我们在给它们下定义时也是用复数形式的词语表达的。

格：我们是这样做的。

苏：另一方面，我们又曾说过，有一个美本身、善本身，以及一切诸如此类者本身；相应于上述每一组多个的东西，我们又都假定了一个单一的理念，假定它是一个统一者，而称它为每一个体的实在。

格：我们是这样说的。

苏：我们说，作为多个的东西，是看见的对象，不是思想的对象，理念则是思想的对象，不是看见的对象。

格：确乎是这样。

苏：那么，我们是用我们的什么来看可以看见的东西的呢？

格：用视觉。

苏：我们不是还用听觉来听可以听见的东西，用其他的感官来感觉其他可以感觉的东西的吗？

格：当然是这样。

苏：但是你是否注意到过，感觉的创造者在使我们的眼睛能够看见和使事物能够被看见这件事情上，花费了多大的力气吗？

格：我完全没有注意过这一点。

苏：那么就以此来研究这个问题吧。听觉和声音是否需要另一东西，才能够使其一听见和另一被听见，而没有这第三者，则其一便不能听见另一就不能被听见呢？ 11

格：完全不需要。

苏：我想，许多其他的感受—我们不说所有其他的感受—都是不需要这种东西的。然而你知道有什么感受是需要这种东西的吗？ 12

格：我不知道。

苏：你没有注意到视觉和可见的东西有此需要吗？ 13

格：怎么有此需要的？

苏：你知道，虽然眼睛里面有视觉能力，具有眼睛的人也企图利用这一视觉能力，虽然有颜色存在，但是，如果没有一种自然而特别适合这一目的的第三种东西存在，那么你知道，人的视觉就会什么也看不见，颜色也不能被看见。 14

格：你说的这种东西是什么呀？

苏：我所说的就是你叫做光的那种东西。 15

格：你说得很对。

苏：因此，如果光是可敬的，那么把视觉和可见性联结起来的这条纽带比起联结别的感受和可感觉性的纽带来，就不是可敬一点点的问题啦！ 16

格：应该是大可敬的。

苏：你能说出是天上的哪个神，他的光使我们的眼睛能够很好地看见，使事物能够很好地被看见的吗？ 17

格：大家都会一致认为，你的意思指的显然是太阳。

苏：那么视觉和这个神的关系是不是这样呢？ 18

格：怎样？

苏：不管是视觉本身也好，或者是视觉所在的那个被我们叫做眼睛的器官也好，都不等于就是太阳。 19

格：当然不是。

苏：但是我想，在所有的感觉器官中，眼睛最是太阳一类的东西。 20

格：是的，它最像太阳。

苏：眼睛所具有的能力作为一种射流，乃取自太阳所放出的射流，是吗？ 21

格：是的。

苏：因此，太阳一方面不是视觉；另一方面是视觉的原因，又是被视觉所看见的，这些不也是事实吗？ 22

格：是的。

苏：因此我们说善在可见世界中所产生的儿子—那个很像它的东西—所指的的就是太阳。 23
太阳跟视觉和可见事物的关系正好像可理知世界里面善本身跟理智和可理知事物的关系一样。

格：何以是这样的呢？请你再给我解释一下。

苏：你知道，当事物的颜色不再被白天的阳光所照耀而只被夜晚的微光所照的时候，你用眼睛去看它们，你的眼睛就会很模糊差不多像瞎的一样，就好像你的眼睛里根本没有清楚的视觉一样。 24

格：的确是这样。

苏：但是我想，当你的眼睛朝太阳所照耀的东西看的时候，你的眼睛就会看得很清楚，同是这双眼睛，却显得有了视觉。 25

格：是的。

苏：人的灵魂就好像眼睛一样。当他注视被真理与实在所照耀的对象时，它便能知道它们了解它们，显然是有了理智。但是当它转而去看不那暗淡的生灭世界时，它便只有意见了，模糊起来了，只有变动不定的意见了，又显得好像是没有理智了。 26

格：是这样。

苏：好了，现在你必须承认，这个给予知识的对象以真理给予知识的主体以认识能力的东西，就是善的理念。它乃是知识和认识中的真理的原因。真理和知识都是美的，但善的理念比这两者更美—你承认这一点是不会错的。正如我们前面的比喻可以把光和视觉看成好像太阳而不就是太阳一样，在这里我们也可以把真理和知识看成好像善，但是却不能把它们看成就是善。善是更可敬得多的。

27

格：如果善是知识和真理的源泉，又在美方面超过这二者，那么你所说的是一种多么美不可言的东西啊！你当然不可能是想说它是快乐吧？

苏：我绝没有这个意思。还是请你再这样来研讨一下这个比喻吧！

28

格：怎么研讨？

苏：我想你会说，太阳不仅使看见的对象能被看见，并且还使它们产生、成长和得到营养，虽然太阳本身不是产生。

29

格：当然不是。

苏：同样，你也会说，知识的对象不仅从善得到它们的可知性，而且从善得到它们自己的存在和实在，虽然善本身不是实在，而是在地位和能力上都高于实在的东西。

30

格：〔非常滑稽地〕：呀！太阳神阿波罗作证！夸张不能再超过这个啦！

- 苏：** 责任在你，是你逼着我把我对这个问题的想法说出来的呀！ 31
- 格：** 请你继续讲你的想法吧；关于太阳喻如果还有什么话要讲，无论如何请不要漏了。
- 苏：** 是的，还有很多话要说。 32
- 格：** 那么请别漏了什么，哪怕一点点。
- 苏：** 我将尽力而为；但是我想，有许多东西将不得不略去。 33
- 格：** 别省略。
- 苏：** 那么请你设想，正如我所说的，有两个王，一个统治着可知世界，另一个统治着可见世界—我不说“天界”，免得你以为我在玩弄术语——你一定懂得两种东西的：可见世界和可知世界。 34
- 格：** 是的，我懂得。
- 苏：** 那么请你用一条线来代表它们：把这条线分成不相等的两部分，然后把这两部分的每一部分按同样的比例再分成两个部分。假定第一次分的两个部分中，一个部分相当于可见世界，另一个部分相当于可知世界；然后再比较第二次分成的部分，以表示清楚与不清楚的程度，你就会发现，可见世界区间内的第一部分可以代表影像。所谓影像我指的首先是阴影，其次是在水里或平滑固体上反射出来的影子或其他类似的东西，你懂我的意思吗？ 35
- 格：** 我懂你的意思。
- 苏：** 再说第二部分：第一部分是它的影像，它是第一部分的实物，它就是我们周围的动物以及一切自然物和全部人造物。 36
- 格：** 好，就是这样吧。

苏：你是否愿意说，可见世界的这两个部分的比例表示真实性或不真实性程度的比例呢，影像与实物之比正如意见世界与知识世界之比呢？ 37

格：非常愿意这么说。

苏：请你再进而考察可知世界划分的方法吧。 38

格：它是怎样划分的呢？

苏：是这样划分的。这个世界划分成两个部分，在第一部分里面，灵魂把可见世界中的那些本身也有自己的影像的实物作为影像；研究只能由假定出发，而且不是由假定上升到原理，而是由假定下降到结论；在第二部分里，灵魂相反，是从假定上升到高于假定的原理；不像在前一部分中那样使用影像，而只用理念，完全用理念来进行研究。 39

格：我不完全懂你的意思。

苏：既然如此，我们再来试一试，等我作了一点序文式的解释，你就会更明白我的意思的。我想你知道，研究几何学、算学以及这一类学问的人，首先要假定偶数与奇数、各种图形、三种角以及其他诸如此类的东西。他们把这些东西看成已知的，看成绝对假设，他们假定关于这些东西是不需要对他们自己或别人作任何说明的，这些东西是任何人都明白的。他们就从这些假设出发，通过首尾一贯的推理最后达到他们所追求的结论。 40

格：是的，这我知道。

苏：你也知道，虽然他们利用各种可见的图形，讨论它们，但是处于他们思考中的实际上并不是这些图形，而是这些图形所模仿的那些东西。他们所讨论的并不是他们所画的某个特的正方形或某个特殊的对角线等等，而是正方形本身，对角线本身等等。他们所作的图形乃是实物，有其水中的影子或影像。但是现在他们又把这些东西当作影像，而他们实际要求看到的则是只有用思想才能“看到”的那些实在。 41

格：是的。

苏：因此这种东西虽然确实属于我所说的可知的东西一类，但是有两点除外：第一，在研究它们的过程中必须要用假设，灵魂由于不能突破与超出这些假设，因此不能向上活动而达到原理；第二，在研究它们的过程中利用了它们在它们下面一部分中的那些实物作影像——虽然这些实物也有自己的影像，并且是比自己的影像来得更清楚的更重要的。

42

格：我懂得你说的是几何学和同几何学相近的学科。

苏：至于讲到可知世界的另一部分，你要明白，我指的是逻各斯本身凭着辩证的力量而达到的那种知识。在这里假设不是被用作原理，而是仅仅被用作假设，即，被用作一定阶段的起点，以便从这个起点一直上升到一个高于假设的世界，上升到绝对原理，并且在达到绝对原理之后，又回过头来把握那些以绝对原理为根据提出来的东西，最后下降到结论。在这过程中不靠使用任何感性事物，而只使用理念，从一个理念到另一个理念，并且最后归结到理念。

43

格：我懂得你的意思了；但是懂得不完全，因为你所描述的这个过程在我看来不是一件简单的事情。不过无论如何我总算懂得了，你的意思是要把辩证法所研究的可知的实在和那些把假设当作原理的所谓技术的对象区别开来，认为前者比后者更实在；虽然研究技术的人〔在从假设出发研究时〕也不得不用理智而不用感觉，但是由于他们的研究是从假设出发而不上升到绝对原理的，因此你不认为他们具有真正的理性，虽然这些对象在和绝对原理联系起来时是可知的。我想你会把几何学家和研究这类学问的人的心理状态叫做理智而不叫做理性，把理智看成是介乎理性和意见之间的东西的。

苏：你很懂得我的意思了。现在你得承认，相应于这四个部分有四种灵魂状态：相当于最高一部分的是理性，相当于第二部分的是理智，相当于第三部分的是信念，相当于最后一部分的是想象。请你把它们按比例排列起来，给予每一个以和各部分相当程度的真实性。

44

格：我懂你的意思，也同意你的意见，并且愿意按照你的意见把它们排列起来。

BOOK 7

苏：接下来让我们把受过教育与没受过教育的人的本质比作下述情形。让我们想象一个洞穴式的地下室，它有一长长通道通向外面，可让和洞穴一样宽的一路亮光照进来。有一些人从小就住在这洞穴里，头颈和腿脚都绑着，不能走动也不能转头，只能向前看着洞穴后壁。让我们再想象在他们背后远处高些的地方有东西燃烧着发出火光。在火光和这些被囚禁者之间，在洞外上面有一条路。沿着路边已筑有一带矮墙。矮墙的作用像傀儡戏演员在自己和观众之间设的一道屏障，他们把木偶举到屏障上头去表演。

格：我看见了。

苏：接下来让我们想象有一些人拿着各种器物举过墙头，从墙后面走过，有的还举着用木料、石料或其他材料制作的假人和假兽。而这些过路人，你可以料到有的在说话，有的不在说话。

格：你说的是一个奇特的比喻和一些奇特的囚徒。

苏：不，他们是一些和我们一样的人。你且说说看，你认为这些囚徒除了火光投射到他们对面洞壁上的阴影而外，他们还能看到自己的或同伴们的什么呢？

格：如果他们一辈子头颈被限制了不能转动，他们又怎样能看到别的什么呢？

苏：那么，后面路上人举着过去的东西，除了它们的明影而外，囚徒们能看到它们别的什么吗？

格：当然不能。

苏：那么，如果囚徒们能彼此交谈，你不认为，他们会断定，他们在讲自己所看到的阴影时是在讲真物本身吗？

格：必定如此。

苏：又，如果一个过路人发出声音，引起囚徒对面洞壁的回声，你不认为，囚徒们会断定，这是他们对面洞壁上移动的阴影发出的吗？ 6

格：他们一定会这样断定的。

苏：因此无疑，这种人不会想到，上述事物除阴影而外还有什么别的实在。 7

格：无疑的。

苏：那么，请设想一下，如果他们被解除禁锢，矫正迷误，你认为这时他们会怎样呢？ 8
如果真的发生如下的事情：其中有一人被解除了桎梏，被迫突然站了起来，转头环视，走动，抬头看望火光，你认为这时他会怎样呢？他在做这些动作时会感觉痛苦的，并且，由于眼花缭乱，他无法看见那些他原来只看见其阴影的实物。如果有人告诉他，说他过去惯常看到的全然是虚假，如今他由于被扭向了比较真实的器物，比较地接近了实在，所见比较真实了，你认为他听了这话会说些什么呢？如果再有人把墙头上过去的每一器物指给他看，并且逼他说出那是些什么，你不认为，这时他会不知说什么是好，并且认为他过去所看到的阴影比现在所看到的实物更真实吗？

格：更真实得多呀！

苏：如果他被迫看火光本身，他的眼睛会感到痛苦，他会转身走开，仍旧逃向那些他能够看清而且确实认为比人家所指示的实物还更清楚更实在的影像的。不是吗？ 9

格：会这样的。

苏：再说，如果有人硬拉他走上一条陡峭崎岖的坡道，直到把他拉出洞穴见到了外面的阳光，不让他中途退回去，他会觉得这样被强迫着走很痛苦，并且感到恼火；当他来到阳光下时，他会觉得眼前金星乱蹦金蛇乱串，以致无法看见任何一个现在被称为真实的事物的。你不认为会这样吗？ 10

格：噢，的确不是一下子就能看得见的。

苏：因此我认为，要他能在洞穴外面的高处看得见东西，大概需要有一个逐渐习惯的过程。首先大概看阴影是最容易，其次要数看人和其他东西在水中的倒影容易，再次是看东西本身；经过这些之后他大概会觉得在夜里观察天象和天空本身，看月光和星光比白天看太阳和太阳光容易。 11

格：当然啰。

苏：这样一来，我认为，他大概终于就能直接观看太阳本身，看见他的真相了，就可以不必通过水中的倒影或影像，或任何其他媒介中显示出的影像看它了，就可以在它本来的地方就其本身看见其本相了。 12

格：这是一定的。

苏：接着他大概对此已经可以得出结论了：造成四季交替和年岁周期，主宰可见世界一切事物的正是这个太阳，它也就是他们过去通过某种曲折看见的所有那些事物的原因。 13

格：显然，他大概会接着得出这样的结论。

苏：如果他回想自己当初的穴居、那个时候的智力水平，以及禁锢中的伙伴们，你不认为，他会庆幸自己的这一变迁，而替伙伴们遗憾吗？ 14

格：确实会的。

苏：如果囚徒们之间曾有过某种选举，也有人在其中赢得过尊荣，而那些敏于辨别而且最能记住过往影像的惯常次序，因而最能预言后面还有什么影像会跟上来的人还得到过奖励，你认为这个既已解放了的人他会再热衷于这种奖赏吗？对那些受到囚徒们尊重并成了他们领袖的人，他会心怀嫉妒，和他们争夺那里的权力地位吗？或者，还是会像荷马所说的那样，他宁愿活在人世上做一个穷人的奴隶，受苦受难，也不愿和囚徒们有共同意见，再过他们那种生活呢？ 15

格：我想，他会宁愿忍受任何苦楚也不愿再过囚徒生活的。

苏：如果他又回到地穴中坐在他原来的位置上，你认为会怎么样呢？他由于突然地离开阳光走进地穴，他的眼睛不会因黑暗而变得什么也看不见吗？

16

格：一定是这样的。

苏：这时他的视力还很模糊，还没来得及习惯于黑暗—再习惯于黑暗所需的时间也不会是很短的。如果有人趁这时就要他和那些始终禁锢在地穴中的人们较量一下“评价影像”，他不会遭到笑话吗？人家不会说他到上面去走了一趟，回来眼睛就坏了，不会说甚至连起一个往上去的念头都是不值得的吗？要是把那个打算释放他们并把他们带到上面去的人逮住杀掉是可以的话，他们不会杀掉他吗？

17

格：他们一定会的。

苏：亲爱的格劳孔，现在我们必须把这个比喻整个儿地应用到前面讲过的事情上去，把地穴囚室比喻可见世界，把火光比喻太阳的能力。如果你把从地穴到上面世界并在上面看见东西的上升过程和灵魂上升到可知世界的上升过程联想起来，你就领会对了我的这一解释了，既然你急于要听我的解释。至于这一解释本身是不是对，这是只有神知道的。但是无论如何，我觉得，在可知世界中最后看见的，而且是要花很大的努力才能最后看见的东西乃是善的理念。我们一旦看见了它，就必定能得出下述结论：它的确就是一切事物中一切正确者和美者的原因，就是可见世界中创造光和光源者，在可理知世界中它本身就是真理和理性的决定性源泉；任何人凡能在私人生活或公共生活中行事合乎理性的，必定是看见了善的理念的。

18

格：就我所能了解的而言，我都同意。

苏：那么来吧，你也来同意我下述的看法吧，而且在看到下述情形时别感到奇怪吧：那些已达到这一高度的人不愿意做那些琐碎俗事，他们的心灵永远渴望逗留在高处的真实之境。如果我们的比喻是合适的话，这种情形应该是不奇怪的。

19

格：是不足为怪的。

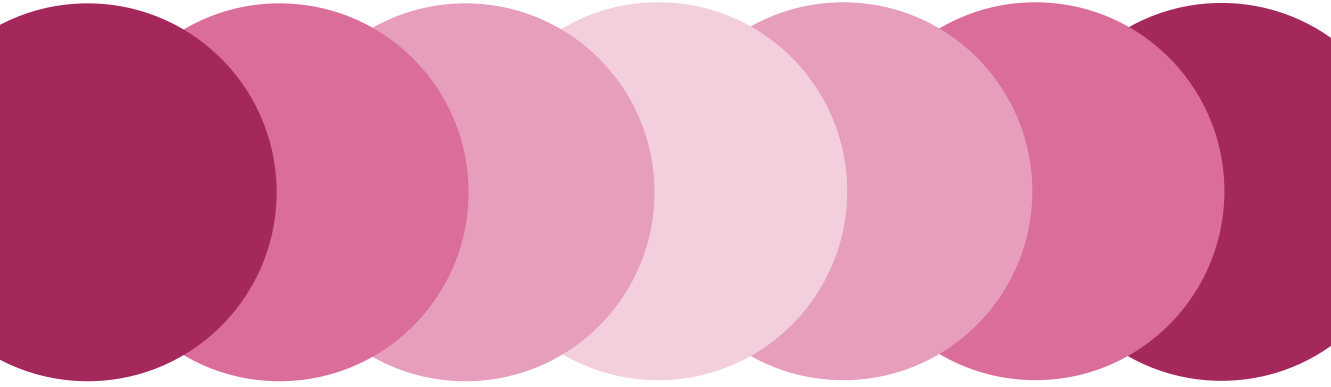
苏：再说，如果有人从神圣的观察再回到人事；他在还看不见东西还没有变得足够地习惯于黑暗环境时，就被迫在法庭上或其他什么地方同人家争论关于正义的影子或产生影子的偶像，辩论从未见过正义本身的人头脑里关于正义的观念。如果他在这样做时显得样子很难看举止极可笑，你认为值得奇怪吗？

20

格：一点儿也不值得奇怪。

[...]

《自然哲学之数学原理》 牛顿



作者致读者的序言

由于古代人（如帕普斯^①告诉我们的那样）在研究自然事物方面，把力学看得最为重要，而现代人则抛弃实体形式与隐秘的质，力图将自然现象诉诸数学定律，所以我将本书中致力于发展与哲学相关的数学。古代人从两方面考察力学，其一是理性的，讲究精确地演算，再就是实用的。实用力学包括一切手工技艺，力学也由此而得名。但由于人们的工作不十分精确，于是力学便这样从几何学中分离出来，那些相当精确的即称为几何学，而不那么精确的即称为力学。然而，误差不能归因于技艺，而应归因于匠人。其工作精确性差的人就是有缺陷的技工，而能以完善的精确性工作的人，才是所有技工中最完美的，因为画直线和圆虽是几何学的基础，却属于力学。几何学并不告诉我们怎样画这些线条，却需要先画好它们，因为初学者在进入几何学之前需要先学会精确作图，然后才能学会怎样运用这种操作去解决问题。画直线与圆是问题，但不是几何学问题。这些问题需要力学来解决，而在解决了以后，则需要几何学来说明它的应用。几何学的荣耀在于，它从别处借用很少的原理，就能产生如此众多的成就。所以，几何学以力学的应用为基础，它不是别的，而是普适的力学中能够精确地提出并演示其技巧的那一部分。不过，由于手工技艺主要在物体运动中用到，通常似乎将几何学与物体的量相联系，而力学则与其运动相联系。在此意义上，理性的力学是一门精确地提出问题并加以演示

的科学，旨在研究某种力所产生的运动，以及某种运动所需要的力。古代人曾研究过部分力学问题，涉及与手工技艺有关的五种力。他们认为较之于这些力，重力（纵非人手之力）也只能表现在以人手之力来搬动重物的过程中。但我考虑的是哲学而不是技艺，所研究的不是人手之力而是自然之力，主要是与重力、浮力、弹力、流体阻力以及其他无论是吸引力抑或推斥力相联系的问题。因此，我的这部著作论述哲学的数学原理，因为哲学的全部困难在于：由运动现象去研究自然力，再由这些力去推演其他现象；为此，我在本书第一和第二编中推导出若干普适命题。在第三编中，我示范了把它们应用于宇宙体系，用前两编中数学证明的命题由天文现象推演出使物体倾向于太阳和行星的重力，再运用其他数学命题由这些力推算出行星、彗星、月球和海洋的运动。我希望其他的自然现象也同样能由力学原理推导出来，有许多理由使我猜测它们都与某些力有关，这些力以某些迄今未知的原因驱使物体的粒子相互接近，凝聚成规则形状，或者相互排斥离散。哲学家们对这些力一无所知，所以他们对自然的研究迄今劳而无功，但我期待本书所确立的原理能于此或真正的哲学方法有所助益。

埃德蒙德·哈雷（Edmund Halley）先生是最机敏渊博的学者，他在本书出版中不仅帮助我校正排版错误和制备几何插图，而且正是由于他的推动本书才得以发表。因为他在得知我对天体轨道形状的证明之后，一直敦促我把它提交皇家学会。此后，在他们善意的鼓励和请求下，我才决定把它们发表出来。但在开始考虑月球运动的均差，与重力及别的力的规律和度量有关的某些其他情形，以及物体按照已知定律受吸引的轨迹形状，若干物体相互间的运动，在阻滞介质中的物体运动、介质的力、密度和运动，彗星的轨道等等诸如此类的问题之后，我延迟了这项出版，直到我对这些问题都做了研究，并能将它们放到一起提出之时。与月球运动有关的内容（由于不太完备）我都囊括在命题 66 的推论中，以免此先就得提出并阐明一些势必牵扯到某种过于繁冗而与本书的宗旨不相合的方法的问题，从而打乱其他命题的连贯性。至于事后所发现的遗漏问题，我只好安排在不恰当的地方，免得再改变命题和引证的序号。恳望读者耐心阅读本书，对我就此困难课题所付之劳作给予评判，并在纠正其缺陷时勿太过苛求。

艾·牛顿

剑桥，圣三一学院

1686 年 5 月 8 日

定义

定义 I

I

物质的量是物质的度量，可由其密度和体积共同求出。

所以空气的密度加倍，体积加倍，它的量就增加到四倍；体积加三倍，它的量就增加到六倍。因挤紧或液化而压缩起来的雪、微尘或粉末，以及由任何原因而无论怎样不同地压缩起来的所有物体，也都可以作同样的理解。我在此没有考虑可以自由穿透物体各部分间隙的介质，如果有这种物质的话。此后我不论在何处提到物体或质量这一名称，指的就是这个量。从每一物体的重量可推知这个量，因为它正比于重量，正如我在很精确的单摆实验中所发现的那样，后面我将加以详述。

定义 II

II

运动的量是运动的度量，可由速度和物质的量共同求出。

整体的运动是所有部分运动的总和。因此，速度相等而物质量加倍的物体，其运动量加倍；若其速度也加倍，则运动量加到四倍。

定义 III

III

vis insita，或物质固有的力，是一种起抵抗作用的力，它存在于每一物体当中，大小与该物体相当，并使之保持其现有的状态，或是静止，或是匀速直线运动。

这个力总是正比于物体，它来自于物体的惯性，与之没有什么区别，在此按我们的想法来研究它。一个物体，由于物质的惯性，要改变其静止或运动的状态不是没有困难的。由此看来，这个固有的力可以用最恰当不过的名称，惯性或惯性力来称呼它。但是，物体只有当有其他力作用于它，或者要改变它的状态时，才会产生这种力。这种力的作用既可以看做是抵抗力，也可以看做是推斥力。当物体维持现有状态，反抗外来力的时候，即表现为抵抗力；当物体不易于向外来力屈服，并要改变外来力的状态时，即表现为推斥力，抵抗力通常属于静止物体，而推斥力通常属于运动物体。不过正如通常所说的那样，运动与静止只能作相对的区别，一般认为是静止的物体，并不总是真的静止。

定义 IV

IV

外力是一种对物体的推动作用，使其改变静止的或匀速直线运动的状态。

这种力只存在于作用之时，作用消失后并不存留于物体中，因为物体只靠其惯性维持它所获得的状态。不过外力有多种来源，如来自撞击、来自挤压、来自向心力。

定义 V

V

向心力使物体受到指向一个中心点的吸引、或排斥或任何倾向于该点的作用。

属于这种力的有：重力，它使物体倾向于落向地球中心；磁力，它使铁趋向于磁石；以及那种使得行星不断偏离直线运动（否则它们将沿直线运动）而进入沿曲线轨道环行运动的力，不论它是什么力。系于投石器上旋转的石块，企图飞离使之旋转的手，这种企图张紧投石器，旋转越快，张紧的力越大；一旦将石块放开，它就飞离而去。那种反抗这种企图的力，使投石器不断把石块拉向人手，把石块维持在其环行轨道上。由于它指向轨道的中心（人手），我称为向心力。所有环行于任何轨道上的物体都可作相同的理解，它们都企图离开其轨道中心；如果没有一个与之对抗的力来遏制其企图，把它们约束在轨道上，它们将沿直线以匀速飞去。因此，我称这种力为向心力。一个抛射物体，如果没有引力牵制，将不会回落到地球上，而是沿直线向天空飞去；如果没有空气阻力，飞行速度是匀速的。正是引力使其不断偏离直线轨道，向地球偏转，偏转的强弱取决于引力和抛射物的运动速度。引力越小，或其物质的量越小，或它被抛出的速度越大，它对直线轨道的偏离就越小，它就飞得越远。如果用火药力从山顶上发射铅弹，给定其速度，方向与地平线平行，铅弹将沿曲线在落地前飞行 2 英里；同样，如果没有空气阻力，发射速度加倍或加到十倍，则铅弹飞行距离也加倍或加十倍。通过增大发射速度，即可以随意增加它的抛射距离，减轻它的轨迹的弯曲度，直至它最终落在 10 度、30 度或 90 度的距离处^①，甚至在落地之前环绕地球一周；或者，使它再也不返回地球，直入苍穹太空而去，作 *infinitem*（无限的）运动。运用同样的方法，抛射物在引力作用下，可以沿环绕整个地球的轨道运转。月球也是被引力（如果它有引力的话），或者别的力不断拉向地球，偏离其惯性力所遵循的直线路径，沿着其现在的轨道运转。如果没有这样的力，月球将不能保持在其轨道上。如果这个力太小，就将不足以使月球偏离直线路径；如果它太大，则将偏转太多，把月球由其轨道上拉向地球。这个力必须是一个适当的量，数学家的职责在于求出使一个物体以给定速度精确地沿着给定的轨道运转的力。反之，必须求出从一个给定处所、以给定速度抛射的物体，在给定力的作用下偏离其原来的直线路径所进入的曲线路径。

可以认为，任何一个向心力均有以下三种度量：绝对度量、加速度度量和运动度量

[...]

我谈到吸引与推斥，正如我在同一意义上使用加速力和运动的力一样，对于吸引、推斥或任何趋向于中心的倾向这些词，我在使用时不作区分.因为我对这些力不从物理上而只从数学上加以考虑：所以，读者不要望文生义，以为我要划分作用的种类和方式，说明其物理原因或理由，或者当我说到吸引力中心，或者谈到吸引力的时候，以为我要在真实和物理的意义上，把力归因于某个中心（它只不过是数学点而已）。

运动的公理或定律

定律 I

I

每个物体都保持其静止、或匀速直线运动的状态，除非有外力作用于它迫使它改变那个状态。

抛射体如果没有空气阻力的阻碍或重力向下牵引，将维持射出时的运动。陀螺各部分的凝聚力不断使之偏离直线运动，如果没有空气的阻碍，就不会停止旋转。行星和彗星一类较大物体，在自由空间中没有什么阻力，可以在很长时间里保持其向前的和圆周的运动。

定律 II

II

运动的变化正比于外力，变化的方向沿外力作用的直线方向。

如果某力产生一种运动，则加倍的力产生加倍的运动，三倍的力产生三倍的运动，无论这力是一次还是逐次施加的。而且如果物体原先是运动的，则它应加上原先的运动或是从中减去，这由它的方向与原先运动一致或相反来决定。如果它是斜向加入的，则它们之间有夹角，由二者的方向产生出新的复合运动。

定律 III

III

每一种作用都有一个相等的反作用；或者，两个物体间的相互作用总是相等的，而且指向相反。

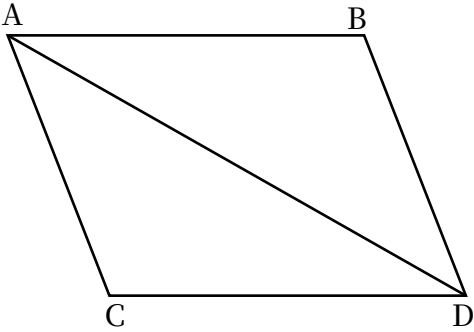
不论是拉或是压另一个物体，都会受到该物体同等的拉或是压。如果用手指压一块石头，则手指也受到石头的压。如果马拉一系于绳索上的石头，则马（如果可以这样说的话）也同等地被拉向石头，因为绷紧的绳索同样企图使自身放松，将像它把石头拉向马一样同样强地把马拉向石头，它阻碍马前进就像它拉石头前进一样强。如果某个物体撞击另一物体，并以其撞击力使后者的运动改变，则该物体的运动也（由于互压等同性）发生一个同等的变化，变化方向相反。这些作用造成的变化是相等的，但不是速度变化，而是指物体的运动变化，如果物体不受到任何其他阻碍的话。因为，由于运动是同等变化的，向相反方向速度的变化反比于物体。本定律在吸引力情形也成立，我们将在附注中证明。

推论 I

I

物体同时受两个力作用时，其运动将沿平行四边形对角线进行，所用时间等于二力分别沿两个边所需。

如果物体在给定的时刻受力M 作用离开处所 A，应以均匀速度由 A 运动到 B，如果受力 N 作用离开 A，则应由 A 到 C，做出平行四边形 ABDC，使两个力共同作用，则物体在同一时间沿对角线由 A 运动到 D。因为力N 沿 AC 线方向作用，它平行于 BD，（由第二定律）将完全不改变使物体到达线 BD 的力M 所产生的速度，所以物体将在同时到达 BD, 不论力N 是否产生作用。所以在给定时间终了时物体将处于线 BD 某处；同理，在同一时间终了时物体也处于线 CD 上某处。因此，它处于 D 点，两条线交会处。但由定律 I，它将沿直线由 A 到 D。



[...]

推论 VI

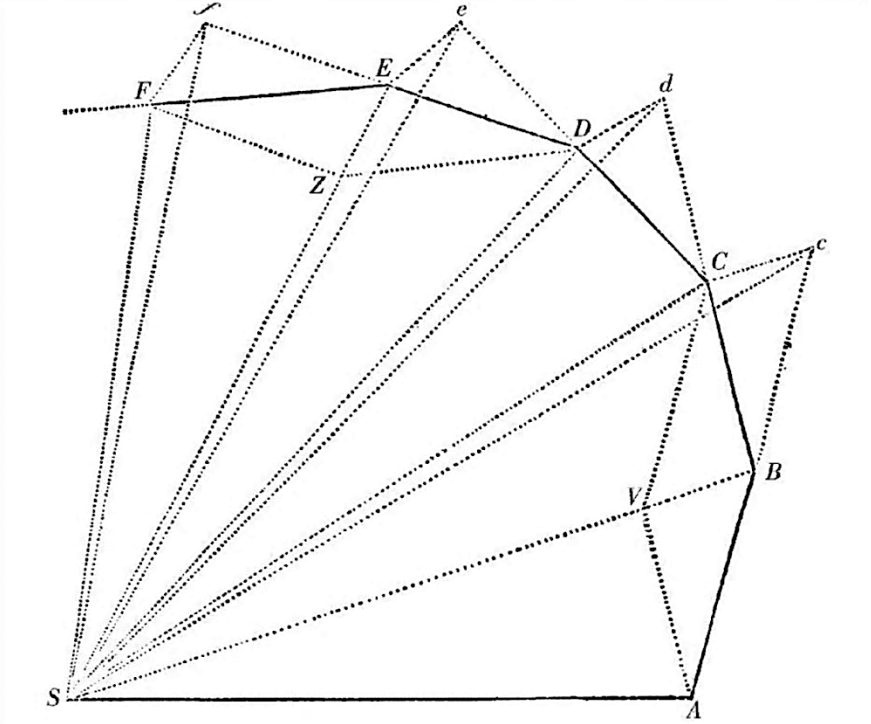
VI

相互间以任何方式运动着的物体，在都受到相同的加速力在平行方向上被加速时，都将保持它们相互间原有的运动，如同加速力不存在一样。

因为这些力同等作用（其运动与物体的量有关）并且是在平行线方向上，则（根据定律 II）所有物体都受到同等的运动（就速度而言），因此它们相互间的位置和运动不发生改变。

第二部分：论求向心力

作环绕运动的物体，其指向力的不动中心的半径所掠过的面积位于同一不动的平面上，而且正比于画出该面积所用的时间。



设时间分为相等的间隔，在第一时间间隔里物体在其惯性力作用下扫过直线 AB。在第二时间间隔里，物体将（由定律 I）沿直线 BC 一直运动到 C，如果没阻碍的话，BC 等于 AB，所以由指向中心的半径 AS, BS, cS，可以得到相等的面积 ASB, BSc。但当物体到达 B 时，设向心力立即对它施以巨大推斥作用，使它偏离直线 BC，迫使它沿直线 BC 继续运动。作 cC 平行 BS，与 BC 相交于 C，在第二时间间隔最后，物体（由定律推论 I）将出现在 C，与三角形 ASB 处于同一平面，连接 SC，由于 SB 与 Cc 平行，三角形 SBC 等于三角形 SBc，所以也等于三角形 SAB，由于同样理由，向心力依次作用于 C, D, E 等点，并使物体在每一个时间间隔内画出直线 CD, DE, EF 等，它们都处于同一平面。而且三角形 SCD 等于三角形 SBC, SDE 等于 SCD, SEF 等于 SDE。所以，在相同时间里，在不动平面上画出相等面积；而且由命题，这些面积的任意的和 SADS, SAFS 都分别正比于它们的时间。现在，令这些三角形的数目增加，它们的底宽无限减少；（由引理 3 推论 IV）它们的边界 ADF 将成为一条曲线：所以向心力连续使物体偏离该曲线的切线；而且，任意扫出的面积 SADS, SAFS 原先是正比于扫出它们所用时间的，在此情形下仍正比于所用时间。证毕。

研究哲学的规则

规则 I

I

寻求自然事物的原因，不得超出真实和足以解释其现象者。

为达此目的，哲学家们说，自然不做徒劳的事，解释多了白费口舌，言简意赅才见真谛；因为自然喜欢简单性，不会响应于多余原因的侈谈。

规则 II

II

因此对于相同的自然现象，必须尽可能地寻求相同的原因。

例如人与野兽的呼吸；欧洲与美洲的石头下落；炊事用火的光亮与阳光；地球反光与行星反光。

规则 III

III

物体的特性，若其程度既不能增加也不能减少，且在实验所及范围内为所有物体所共有；则应视均一切物体的普遍属性。

因为，物体的特性只能通过实验为我们所了解，我们认为是普适的属性只能是实验上普适的；只能是既不会减少又绝不会消失的。我们当然不会因为梦幻和凭空臆想而放弃实验证据；也不会背弃自然的相似性，这种相似性应是简单的，首尾一致的。我们无法逾越感官而了解物体的广延，也无法由此而深入物体内部；但是，因为我们假设所有物体的广延是可感知的，所以也把这一属性普遍地赋予所有物体。我们由经验知道许多物体是硬的；而全体的硬度是由部分的硬度所产生的，所以我们恰当地推断，不仅我们感知的物体的粒子是硬的，而且所有其他粒子都是硬的。说所有物体都是不可穿透的，这不是推理而来的结论，而是感知的。我们发现拿着的物体是不可穿透的，由此推断出不可穿透性是一切物体的普遍性质。说所有物体都能运动，并赋予它们在运动时或静止时具有某种保持其状态的能力（我们称之为惯性），只不过是曾见到过的物体中所发现的类似特性而推断出来的。全体的广延、硬度、不可穿透性、可运动性和惯性，都是由部分的广延、硬度、不可穿透性、可运动性和惯性所造成的；因而我们推断所有物体的最小粒子也都具有广延、硬度、不可穿透性、可运动性，并赋予它们以惯性性质。这是一切哲学的基础。此外，物体分离的但又相邻接的粒子可以相互分开，是观测事实；在未被分开的粒子内，我们的思维能区分出更小的部分，正如数学所证明的那样。但如此区分开的，以及未被分开的部分，

能否确实由自然力分割并加以分离，我们尚不得而知。然而，只要有哪怕是一例实验验证，由坚硬的物体上取下的任何未分开的小粒子被分割开来了，我们就可以沿用本规则得出结论，已分开的和未分开的粒子实际上都可以分割为无限小。

最后，如果实验和天文观测普遍发现，地球附近的物体都被吸引向地球，吸引力正比于物体所各自包含的物质；月球也根据其物质量被吸引向地球；而另一方面，我们的海洋被吸引向月球；所有的行星相互吸引；彗星以类似方式被吸引向太阳；则我们必须沿用本规则赋予一切物体以普遍相互吸引的原理。因为一切物体的普遍吸引是由现象得到的结论，它比物体的不可穿透性显得有说服力；后者在天体活动范围内无法由实验或任何别的观测手段加以验证。我肯定重力不是物体的基本属性；我说到固有的力时，只是指它们的惯性。这才是不会变更的。物体的重力会随其远离地球而减小。

规则 IV

IV

在实验哲学中，我们必须将由现象所归纳出的命题视为完全正确的或基本正确的，而不管想像所可能得到的与之相反的种种假说，直到出现了其他的或可排除这些命题、或可使之变得更加精确的现象之时。

我们必须遵从这一规则，使不脱离假说归纳出的结论。

总释 (SCHOLIUM GENERALE)

涡旋假说面临许多困难。每颗行星通过伸向太阳的半径掠过正比于环绕时间的面积，涡旋各部分的周期正比于它们到太阳距离的平方；但要使行星周期获得到太阳距离的 $3/2$ 次幂的关系，涡旋各部分的周期应正比于距离的 $3/2$ 次幂。而要使较小的涡旋关于土星、木星以及其他行星的较小环绕得以维持，并在绕太阳的大涡旋中平稳不受干扰地进行，太阳涡旋各部分的周期则应当相等；但太阳和行星绕其自身的轴的转动，又应当对应于属于它们的涡旋运动，因而与上述这些关系相去甚远。彗星的运动极为规则，是受制于与行星运动相同的规律支配的，但涡旋假说却完全无法解释；因为彗星以极为偏心的运动自由地通过同一天空中的所有部分，绝非涡旋说可以容纳。 1

在我们的空气中抛体只受到空气的阻碍。如果抽去空气，像在波义耳先生所制成的真空中那样，阻力即消失；因为在这种真空中一片羽毛 (a bit of fine) 与一块黄金的下落速度相等。同样的论证必定也适用于地球大气以上的天体空间：在这样的空间里，没有空气阻碍运动，所有的物体都畅通无阻地运动着；行星和彗星都依照上述规律沿着形状和位置已定的轨道进行着规则的环绕运动；然而，即便这些星体沿其轨道维持运动可能仅仅是由引力规律的作用，但它们绝不可能从一开始就由这些规律中自行获得其规则的轨道位置。 2

六个行星在围绕太阳的同心圆上转动，运转方向相同，而且几乎在同一个平面上。有十个卫星分别在围绕地球、木星和土星的同心圆上运动，而且运动方向相同，运动平面也大致在这些行星的运动平面上；鉴于彗星的行程沿着极为偏心的轨道跨越整个天空的所有部分，不能设想单纯力学原因就能导致如此多的规则运动；因为它们以这种运动轻易地穿越了各行星的轨道，而且速度极大；在远日点，它们运动最慢，滞留时间最长，相互间距离也最远，因而相互吸引造成的干扰也最小。

3

这个最为动人的太阳、行星和彗星体系，只能来自一个全能全智的上帝（Being）的设计和统治。如果恒星都是其他类似体系的中心，那么这些体系也必定完全从属于上帝的统治，因为这些体系的产生只可能出自于同一份睿智的设计；尤其是，由于恒星的光与太阳光具有相同的性质，而且来自每个系统的光都可以照耀所有其他的系统；为避免各恒星的系统在引力作用下相互碰撞，他便将这些系统分置在相互很远的距离上。

4

上帝不是作为宇宙之灵而是作为万物的主宰来支配一切的；他统领一切，因而人们惯常称之为“我主上帝”或“宇宙的主宰”；须知 God（上帝）是一个相对词，与仆人相对应，而且 Deity（神性）也是指上帝对仆人的统治权，绝非有如那些认定上帝是宇宙之灵的人们所想象的那样，是指其自治权。至高无上的上帝作为一种存在物必定是永恒的、无限的、绝对完美的，但一种存在物，无论它多么完美，只要它不具有统治权，则不可称之为“我主上帝”；须知我们常说，我的上帝，你的上帝，以色列人的上帝，诸神之神，诸王之王；但我们不说我的永恒者，你的永恒者，以色列人的永恒者，神的永恒者；我们还不说，我的无限者，或我的完美者：所有这些称谓都与仆人一词不构成某种对应关系。上帝这个词一般用以指君主；但并不是每个君主都是上帝。只有拥有统治权的精神存在者才能成其为上帝：一个真实的、至上的或想象的统治才意味着一个真实的、至上的或想象的上帝。他有真实的统治意味着真实的上帝是能动的，全能全智的存在物；而他的其他完美性，意味着他是至上的，最完美的。他是永恒的和无限的，无所不能的，无所不知的：即，他的延续从永恒直达永恒；他的显现从无限直达无限；他支配一切事物，而且知道一切已做的和当做的事情。他不是永恒和无限，但却是永恒的和无限的；他不是延续或空间，但他延续着而且存在着；他永远存在，且无所不在；由此构成了延续和空间。由于空间的每个单元都是永存的，延续的每个不可分的瞬间都无所不在的，因而，万物的缔造者和君主不能是虚无和不存在。

5

每个有知觉的灵魂，虽然分属于不同的时间和不同的感觉与运动器官，仍是同一个不可分割的人。在延续中有相继的部分，在空间中有共存的部分，但这两者都不存在于人的人性和他的思维要素之中；它们更不存在于上帝的思维实体之中。每一个人，只要他是个有知觉的生物，在其整个一生以及其所有感官中，他都是同一个人。上帝也是同一个上帝，永远如此，处处如此。不论就实效而言，还是就本质而言，上帝都是无所不在的，因为没有本质就没有实效。一切事物都包含在他之中并且在他之中运动；但却不相互影响；物体的运动完全无损于上帝；无处不在的上帝也不阻碍物体的运动。

5

所有的人都同意至高无上的上帝的存在是必要的。所有的人也同意上帝必然永远存在而且处处存在。因此，他必是浑然一体的，他浑身是眼，浑身是耳，浑身是脑，浑身是臂，浑身都有能力感觉、理解和行动；但却是以一种完全不属于人类的方式，一种完全不属于物质的方式，一种我们绝对不可知的方式行事。就像盲人对颜色毫无概念一样，我们对全能的上帝感知和理解一切事物的方式一无所知。他绝对超脱于一切躯体和躯体的形状·因而我们看不到他，听不到他，也摸不到他；我们也不应当向任何代表他的物质事物礼拜。我们能知道他的属性，但对任何事物的真正本质却一无所知。我们只能看到物体的形状和颜色，只能听到它们的声音，只能摸到它们的外部表面，只能嗅到它们的气味，尝到它们的滋味；但我们无法运用感官或任何思维反映作用获知它们的内在本质；而对上帝的本质更是一无所知。我们只能通过他对事物的最聪明，最卓越的设计，以及终极的原因来认识他；我们既赞颂他的完美，又敬畏并且崇拜他的统治：因为我们像仆人一样地敬畏他；而没有统治，没有庇佑，没有终极原因的上帝，与命运和自然无异。盲目的形而上学的必然性，当然也是永远存在而且处处存在的，但却不能产生出多种多样的事物。而我们随时随地可以见到的各种自然事物，只能来自一个必然存在着的存在物的观念和意志。无论如何，用一个比喻，我们可以说，上帝能看见，能说话，能笑，能爱，能恨，能盼望，能给予，能接受，能欢乐，能愤怒，能战斗，能设计，能劳作，能营造；因为我们关于上帝的所有见解，都是以人类的方式得自某种类比的，这虽然不完备，但也具有某种可取之处。我们对上帝的谈论就到这里，而要做到通过事物的现象了解上帝，实在是非自然哲学莫属。

6

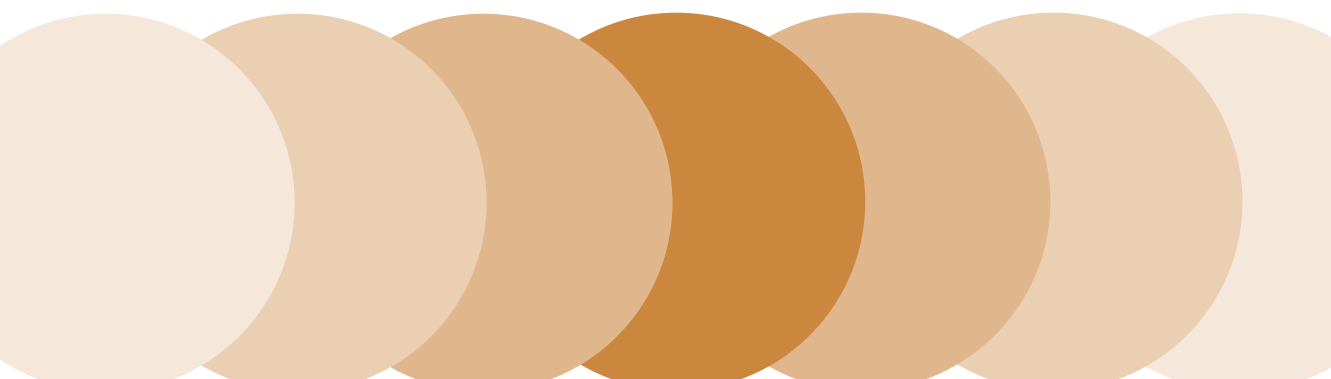
迄此为止我们以引力作用解释了天体及海洋的现象，但还没有找出这种作用的原因。它当然必定产生于一个原因，这个原因穿越太阳与行星的中心，而且它的力不因此而受丝毫影响；它所发生的作用与它所作用着的粒子表面的量（像力学原因所惯常的那样）无关，而是取决于它们所包含的固体物质的量，并可向所有方向传递到极远距离，总是反比于距离的平方减弱。指向太阳的引力是由指向构成太阳的所有粒子的引力所合成的，而且在离开太阳时精确地反比于距离的平方，直到土星轨道，这是由行星的远日点的静止而明白无误地证明了的；而且，如果彗星的远日点也是静止的，这一规律甚至远及最远的彗星远日点。但我迄今为止还无能为力于从现象中找出引力的这些特性的原因，我也不构造假说；因为，凡不是来源于现象的，都应称其为假说；而假说，不论它是形而上学的或物理学的，不论它是关于隐秘的质的或是关于力学性质的，在实验哲学中都没有地位。在这种哲学中，特定命题是由现象推导出来的，然后才用归纳方法做出推广。正是由此才发现了物体的不可穿透性，可运动性和排斥力，以及运动定律和引力定律。对于我们来说，能知道引力的确实存在着，并按我们所解释的规律起作用，并能有效地说明天体和海洋的一切运动，即已足够了。

7

现在我们再补充一些涉及某种最微细的精气的事情，它渗透并隐含在一切大物体之中；这种精气的力和作用使物体粒子在近距离上相互吸引，而且在相互接触时即粘连在一起，使带电物体的作用能延及较远距离，既能排斥也能吸引附近的物体；并使光可以被发射、反射、折射、衍射，并对物体加热；而所有感官之受到刺激；动物肢体在意志的驱使下运动，也是由于这种精气的振动，沿着神经的固体纤维相互传递，由外部感觉器官通达大脑，再由大脑进入肌肉。但这些事情不是寥寥数语可以解释得清的，而要精确地得到和证明这些电的和弹性精气作用的规律，我们还缺乏必要而充分的实验。

8

《物种起源》 达尔文



第四章：自然选择

自然选择——它的力量和人工选择力量的比较——它对于不重要性状的力量——它对于各年龄和雌雄两性的力量——性选择——论同种的个体间杂交的普遍性——对自然选择的结果有利和不利的诸条件，即杂交、隔离、个体数目——缓慢的作用——自然选择所引起的绝灭——性状的分歧，与任何小地区生物的分歧的关联以及与归化的关联——自然选择，通过性状的分歧和绝灭，对于一个共同祖先的后代的作用——一切生物分类的解释——生物体制的进步——下等类型的保存——性状的趋同——物种的无限繁生——提要。

前章简单讨论过的生存斗争，对于变异究竟怎样发生作用呢？在人类手里发生巨大作用的选择原理，能够应用于自然界吗？我想我们将会看到，它是能够极其有效地发生作用的。让我们记住，家养生物有无数轻微变异和个体差异，自然状况下的生物也有

程度较差的无数轻微变异和个体差异；同时也要记住遗传倾向的力量。在家养状况下，可以确切地说，生物的整体制在某种程度上变为可塑性的了。我们几乎普遍遇见的家养生物的变异，正如胡克和阿萨·格雷所说的，不是由人力直接产生出来的；人类不能创造变种，也不能防止它们的发生；他只能把已经发生了的变种加以保存和累积罢了。人类在无意中把生物放在新的和变化中的生活条件下，于是变异发生了；但是生活条件的相似的变化可以而且确实在自然状况下发生。我们还应记住，生物的相互关系及其对于生活的物理条件的关系是何等复杂而密切；因而无穷分歧的构造对于生活在变化的条件下的生物总会有些用处。既然对于人类有用的变异肯定发生过，那么在广大而复杂的生存斗争中，对于每一生物在某些方面有用的其他变异，难道在连续的许多世代过程中就不可能发生吗？如果这样的变异确能发生（必须记住产生的个体比可能生存的为多），那么较其他个体更优越（即使程度是轻微的）的个体具有最好的机会以生存和繁育后代，这还有什么可以怀疑的呢？另一方面，我们可以确定，任何有害的变异，即使程度极轻微，也会严重地遭到毁灭。我把这种有利的个体差异和变异的保存，以及那些有害变异的毁灭，叫作“自然选择”，或“最适者生存”。无用也无害的变异则不受自然选择的作用，它或者成为彷徨的性状，有如我们在某些多形的物种里所看到的，或者终于成为固定的性状，这是由生物的本性和外界条件来决定的。

对正在经历着某些轻微物理变化、如气候变化的一处地方加以研究，我们将会极好地理解自然选择的大致过程。气候一发生变化，那里的生物比例数几乎即刻就要发生变化，有些物种大概会绝灭。从我们所知道的各地生物的密切而复杂的关系看来，可以得出如下的结论：即使撇开气候的变化不谈，生物的比例数如果发生任何变化，也会严重地影响其他生物。如果那地区的边界是开放的，则新类型必然要迁移进去，这就会严重地扰乱某些原有生物间的关系。请记住：从外地引进来一种树或一种哺乳动物的影响是何等有力；对此已有所阐明。但是，在一个岛上，或在一处被障碍物部分环绕的地方，如果善于适应的新类型不能自由移入，则该处的自然组成中就会腾出一些地位，这时如果某些原有生物按照某种途径发生了改变，它们肯定会把那里填充起来；因如果那区域允许自由移入，则外来生物早该取得那里的地位了。在这种情形下，凡轻微的变异，只要在任何方面对任何物种的个体有利，使它们能够更好地去适应改变了的外界条件，就有被保存下来的倾向；于是自然选择在改进生物的工作上就有余地了。

2

3

正如第一章所阐明的，我们有充足的理由可以相信，生活条件的变化，有使变异性增加的倾向；在上节所述的情形中，外界条件既变，有利变异发生的机会便会渐多，这对自然选择显然大大有利。如果没有有利变异发生，自然选择便不能发生作用。切勿忘记，“变异”这一名词所包含的仅仅是个体差异。人类把个体差异按照任何既定的方向积累起来，就能使家养的动物和植物产生巨大的结果，同样地，自然选择也能够这样做，而且容易得多，因为它有不可比拟的长久期间去发生作用。我不相信必须有任何巨大的物理变化，例如气候的变化，或者高度的隔离以阻碍移入，借以腾出一些新的空位，然后自然选择才能改进某些变异着的生物，而使它们填充进去。因为各地区的一切生物都以严密的平衡力量互相斗争着，一个物种的构造或习性发生了极细微的变异，常会使它比别种生物占优势；只要这个物种继续生活在同样的生活条件下，并且以同样的生存和防御的手段获得利益，则同样的变异就会愈益发展，而常常会使其优势愈益增大。还没有一处地方，在那里一切本地生物现已完全相互适应，而且对于它们所生活于其中的物理条件也完全适应，以致它们之中没有一个不能适应得更好一些或改进得更多一些；因为在一切地方，外来生物常常战胜本地生物，并且坚定地占据这片土地。外来生物既能这样在各地战胜某些本地生物，我们就可以稳妥地断言：本地生物也会发生有利的变异，以便更好地抵抗那些侵入者。

4

人类用有计划的和无意识的选择方法，能够产生出而且的确已经产生了伟大的结果，为什么自然选择不能发生效果呢？人类只能作用于外在的和可见的性状：“自然”如果允许我把自然保存或最适者生存加以拟人化一并不关心外貌，除非这些外貌对于生物是有用的。“自然”能对各种内部器官、各种微细的体质差异以及生命的整个机构发生作用。人类只为自己的利益而进行选择：“自然”则只为被她保护的生物本身的利益而进行选择。各种被选择的性状，正如它们被选择的事实所指出的，都充分地受着自然的锻炼。人类把多种生长在不同气候下的生物养在同一个地方；他很少用某种特别的和适宜的方法来锻炼各个被选择出来的性状；他用同样的食物饲养长和短喙的鸽；他不用特别的方法去训练长背的或长脚的四足兽；他把长毛的和短毛的绵羊养在同一种气候里。他不允许最强壮的诸雄体进行斗争，去占有雌性。他并不严格地把一切劣等品质的动物都毁灭掉，而在力之所及的范围内，在各个不同季节里，保护他的一切生物。他往往根据某些半畸形的类型，开始选择；或者至少根据某些足以引起他注意的显著变异，或明显对他有利的变异，才开始选择。在自然状况下，构造上或体质上的一些极微细的差异，便能改变生活斗争的微妙的平衡，因此它就被保存下来了。人类的愿望和努力只是片刻的事啊！人类的生涯又是何等短暂啊！因而，如与“自然”在全部地质时代的累积结果相比较，人类所得的结果是何等贫乏啊！这样，

“自然”的产物比人类的产物必然具有更“真实”得多的性状，更能无限地适应极其复杂的生活条件，并且明显地表现出更加高级的技巧，对此还有什么值得我们惊奇的呢？

我们可以比喻地说，自然选择在世界上每日每时都在仔细检查着最微细的变异，把坏的排斥掉，把好的保存下来加以积累；无论什么时候，无论什么地方，只要有机会，它就静静地、极其缓慢地进行工作，把各种生物同有机的和无机的生活条件的关系加以改进。这种缓慢变化的进行，我们无法觉察出来，除非有时间流逝的标志。然而我们对于过去的悠久地质时代所知有限，我们能看出的也只是现在的生物类型和先前的并不相同罢了。

5

虽然自然选择只能通过并为各生物的利益而发生作用，然而对于我们往往认为极不重要的那些性状和构造，也可以这样发生作用。当我们看见吃叶子的昆虫是绿色的，吃树皮的昆虫是斑灰色的；高山的松鸡在冬季是白色的，而红松鸡是石南花色的，我们必须相信这种颜色是为了保护这些鸟和昆虫来避免危险。松鸡如果不在一生的某一时期被杀害，必然会增殖到无数；我们知道它们大量受到食肉鸟的侵害；鹰依靠目力追捕猎物——鹰的目力这样锐利，以致欧洲大陆某些地方的人相戒不养白色的鸽，因为它们极易受害。因此，自然选择便表现了如下的效果：给予各种松鸡以适当的颜色，当它们一旦获得了这种颜色，自然选择就使这种颜色纯正地而且永久地保存下来。我们不要以为偶然除掉一只特别颜色的动物所产生的作用很小；我们应当记住，在一个白色绵羊群里，除掉一只略见黑色的羔羊是何等重要。前面已经谈到，吃“赤根”的维基尼亚的猪，会由它们的颜色来决定生存或死亡。至于植物，植物学者们把果实的茸毛和果肉的颜色看作是极不重要的性状；然而我们听到一位优秀的园艺学者唐宁

6

(Downing)说过，在美国，一种象鼻虫(Curculio)对光皮果实的危害，远甚于对茸毛果实的危害；某种疾病对紫色李的危害远甚于对黄色李的危害；而黄色果肉的桃比别种果肉颜色的桃更易受某种病害。如果借助于人工选择的一切方法，这等微小差异会使若干变种在栽培时产生巨大差异，那么，在自然状况下，一种树势必同一种树和大量敌害作斗争，这时，这种感受病害的差异就会有力地决定哪一个变种——果皮光的或有毛的，果肉黄色的或紫色的——得到成功。

[...]

自然选择能使子体的构造根据亲体发生变异，也能使亲体的构造根据子体发生变异。在社会性的动物里，自然选择能使各个体的构造适应整体的利益；如果这种被选择出来的变异有利于整体。自然选择所不能做的是：改变一个物种的构造，而不给它一点利益，却是为了另一个物种的利益。虽然在一些博物学著作中谈到过这种效果，但我还没有找到一个值得研究的事例。动物一生中仅仅用过一次的构造，如果在生活上是高度重要的，那么自然选择就能使这种构造发生很大的变异；例如某些昆虫专门用以破茧的大颚，或者未孵化的雏鸟用以啄破蛋壳的坚硬喙端等皆是。有人说过：最好的短嘴翻飞鸽死在蛋壳里的比能够破蛋孵出来的要多得多；所以养鸽者在孵化时要给予帮助。那么，假使“自然”为了鸽子自身的利益，使充分成长的鸽子生有极短的嘴，则这种变异过程大概是极缓慢的，同时蛋内的雏鸽也要受到严格选择，被选择的将是那些具有最坚强鸽的雏鸽，因为一切具有弱的雏鸽必然都要死亡；或者，那些蛋壳较脆弱而易破的将被选择，我们知道，蛋壳的厚度也像其他各种构造一样，是变异的。

性选择

在家养状况下，有些特性常常只见于一性，而且只由这一性遗传下去；在自然状况下，无疑也是这样的。这样，如有时所看到的，可能使雌雄两性根据不同生活习性通过自然选择而发生变异，或者，如普通所发生的，这一性根据另一性而发生变异。这引导我对于我称为“性选择”的略加阐述。这种选择的形式并不在于一种生物对于其他生物或外界条件的生存斗争上，而在于同性个体间的斗争，这通常是雄性为了占有雌性而起的斗争。其结果并不是失败的竞争者死去，而是它少留后代，或不留后代。所以性选择不如自然选择来得剧烈。一般地说，最强壮的雄性，最适于它们在自然界中的位置，它们留下的后代也最多。但在许多情况下，胜利并不全靠一般的体格强壮，更多地还是靠雄性所生的特种武器。无角的雄鹿或无距的公鸡很少有机会留下大量的后代。性选择，总是容许胜利者繁殖，因此它确能增强不挠的勇气、距的长度、翅膀拍击距脚的力量，这种选择同残酷的斗鸡者的选择差不多是同样的，它们总是把最会斗的公鸡仔细选择下来。在自然界中下降到哪一等级，才没有性选择，我不知道；但有人描述雄性鳄鱼（alligator）当要占有雌性的时候，它战斗、叫嚣、环走，就像印第安人的战争舞蹈一样；有人观察雄性鲑鱼（salmon）整日在战斗；雄性锹形甲虫（stag-beetle）常常带着伤痕，这是别的雄虫用巨型大颚咬伤的；无与伦比的观察者法布尔（M. Fabre）屡屡看到某些膜翅类的雄虫专门为了一个雌虫而战，她停留在旁边，好像漠不关心地看着，然后与战胜者一同走开。多妻动物的雄性之间的战争大概最为剧烈，这等雄性动物，常生有特种武器。雄性食肉动物本已很好地被武装起来了；但它们和别的动物，通过性选择的途径还可以生出特别的防御武器来，如狮子的鬃毛和雄性鲑鱼的钩曲颚就是这样；因为盾牌在获得胜利上，也像剑和矛一样重要。

10

在鸟类里，这种斗争的性质，常常比较和缓。一切对这问题有过研究的人都相信，许多种鸟的雄性之间的最激烈竞争是用歌唱去引诱雌鸟。圭亚那的岩鹑、极乐鸟以及其他一些鸟类，聚集在一处，雄鸟一个个地把美丽的羽毛极其精心地展开，并且用最好的风度显示出来；它们还在雌鸟面前做出奇形怪状，而雌鸟作为观察者站在旁边，最后选择最有吸引力的做配偶。密切注意笼中鸟的人们都明确知道，它们对于异性个体的好恶常常是不同的：例如赫伦爵士（Sit R. Heron）曾经描述过一只斑纹孔雀多么突出地吸引了它的全部孔雀。我在这里不能讨论一些必要的细节；但是，如果人类能在短时期内，依照他们的审美标准，使他们的矮鸡获得美丽和优雅的姿态，我实在没有充分的理由来怀疑雌鸟依照他们的审美标准，在成千上万的世代中，选择鸣声最好

11

的或最美丽的雄鸟，由此而产生了显著的效果。关于雄鸟和雌鸟的羽毛不同于雏鸟羽毛的某些著名法则，可用性选择对于不同时期内发生的，并且在相当时期内单独遗传给雄性或遗传给雌雄两性的变异所起的作用，来作部分的解释；但我在这里没有篇幅来讨论这个问题了。

这样，任何动物的雌雄二者如果具有相同的一般生活习性，但在构造、颜色或装饰上有所不同，我相信这种差异主要是由性选择所引起的：这就是由于一些雄性个体在它们的武器、防御手段或者美观方面，比别的雄性略占优势，而这些优越性状在连续世代中又只遗传给雄性后代。然而我不愿把一切性的差异都归因于这种作用：因为我们在家养动物里看到有一些特性出现并为雄性所专有，这些特性分明不是通过人工选择而增大了的。野生的雄火鸡（turkey-cock）胸前的毛丛，没有任何用处，这在雌火鸡眼中是否是一种装饰，却是一个疑问；——不错，如果在家养状况下出现此种毛丛，是会被称为畸形的。

12

自然选择，即最适者生存的作用的事例

为了弄清楚自然选择如何起作用，请允许我举出一两个想象的事例。让我们以狼为例，狼捕食各种动物，有些是用狡计获取的，有些是用体力获取的，也有些是用敏捷的速度获取的。我们假设：在狼捕食最困难的季节里，最敏捷的猎物，例如鹿，由于那个地区的任何变化，增加了它们的数量，或者是其他猎物减少了它们的数量。在这样的情况下，只有速度最敏捷的和体躯最细长的狼才有最好的生存机会，因而被保存或被选择下来，一假使它们在不得不捕食其他动物的这个或那个季节里，仍保持足以制服它们的猎物的力量。我看不出有任何理由可以怀疑这种结果，这正如人类通过仔细的和有计划的选择，或者通过无意识的选择（人们试图保存最优良的狗但完全没有想到来改变这个品种），就能够改进长躯猎狗的敏捷性是一样的。

13

即使我们所说的狼所捕食的动物数量比例没有任何变化，一只幼狼也可能天生具有追捕某些特定猎物的倾向。这并非难以想象，因为我们常常观察到家养动物在自然倾向上存在巨大差异。例如，有的猫喜欢捕捉老鼠，另一只则偏好田鼠；根据圣约翰先生的说法，有的猫会带回有翅膀的猎物，另一只则带回野兔或家兔，还有的猫在沼泽地狩猎，几乎每晚都能捕获丘鹬或沙锥鸟。已知捕捉老鼠而非田鼠的倾向是可以遗传的。现在，如果任何微小的天生习性或结构上的变化对某只狼有利，它就有最好的机会生存并留下后代。它的一些幼崽可能会继承相同的习性或结构，经过这种过程的反复，一个新的变种可能形成，它要么取代原有的狼种，要么与之共存。再者，居住在山区的狼和出没于低地的狼，自然会被迫捕食不同的猎物；通过对最适合这两个环境的个体的持续保存，两个变种可能逐渐形成。当这些变种在相遇的地方交汇时，它们会杂交并融合；但关于杂交这一主题，我们很快就要再讨论。我补充地说一下：据皮尔斯先生（Mt. Pietce）说，在美国的卡茨基尔山（Catskill Mountains）栖息着狼的两个变种，一种类型像轻快的长躯猎狗那样，它追捕鹿，另一种身体较庞大，腿较短，它们常常袭击牧人的羊群。

14

举出另一个关于自然选择作用的更复杂的事例是有好处的。有些植物分泌甜液，分明是为了从体液里排除有害的物质：例如，某些荚果科（Leguminosce）植物的托叶基部的腺就分泌这种液汁，普通月桂树（laurel）的叶背上的腺也分泌这种液汁。这种液汁，分量虽少，但昆虫贪婪地寻求它；不过昆虫的来访，对于植物却没有任何利益。现在让我们假设，假如任何一个物种的有一定数量的植株，从其内部分泌这种液汁即花蜜。寻找花蜜的昆虫就会沾上花粉，并常常把它从这一朵花带到另一朵花上去。同种的两个不同个体的花因此而杂交；这种杂交，正如可以充分证明的，能够产生强壮的幼苗，这些幼苗因此得到繁盛和生存的最好机会。凡是植物的花具有最大的腺体即蜜腺，它们就会分泌最多的蜜汁，也就会最常受到昆虫的访问，并且最常进行杂交；如此，从长远的观点来看，它就占有优势，并且形成一个地方变种。如果花的雄蕊和雌蕊的位置同前来访问的特殊昆虫的身体大小和习性相适合，而在任何程度上有利于花粉的输送，那么这些花也同样会得到利益。我们用一个不是吸取花蜜而是采集花粉的往来花间的昆虫为例：花粉的形成专是为了受精之用，所以它的毁坏，对于植物来说分明是一种纯粹的损失；然而如果有少许花粉被吃花粉的昆虫从这朵花带到那朵花去，最初是偶然的，后来乃成为惯常的，如果因此达到杂交，虽然十分之九的花粉被毁坏了，那么，这对于被盗去花粉的植物还是大有益处的，于是那些产生愈来愈多花粉的、和具有更大花粉囊的个体就会被选择下来。

当植物长久地继续上述过程之后，它们就变得能够高度吸引昆虫，昆虫便会不知不觉地按时在花与花之间传带花粉：根据许多显著的事实，我能容易地阐明昆虫是可以有效地从事这一工作的。我只举一个例子，同时它还可以说明植物雌雄分化的一个步骤。有些冬青树（holly-tree）只生雄花，它们有四枚雄蕊，只产生很少量的花粉，同时它还有一个残迹的雌蕊；另外一些冬青树只生雌花，它们有充分大小的雌蕊，但四枚雄蕊上的花粉囊却都萎缩了，在那里找不出一粒花粉。在距离一株雄树足有六十码远的地方，我找到一株雌树，我从不同的枝条上取下二十朵花，把它们的柱头放在显微镜下观察，没有例外，在所有柱头上都有几粒花粉，而且在几个柱头上有很多花粉。几天以来，风都是从雌树吹向雄树，因此花粉当然不是由风传带过来；天气很冷且有狂风暴雨，所以对于蜂是不利的。纵使这样，我检查过的每一朵雌花，都由于往来树间找寻花蜜的蜂而有效地受精了。现在回到我们想象中的场合：当植物一到能够高度吸引昆虫的时候，花粉便会由昆虫按时从这朵花传到那朵花，于是另一个过程开始了。没有一个博物学者会怀疑所谓“生理分工”（physiological division of labour）的利益的；所以我们可以相信，一朵花或全株植物只生雄蕊，而另一朵花或另一株植物只生雌蕊，对于一种植物是有利益的。植物在栽培下或放在新的生活条件下，有时候雄性器官，有时候雌性器官，多少会变为不稔的。现在如果我们假定，在自然状况下也有这种情况发生，不论其程度多么轻微，那么，由于花粉已经按时从这朵花被传到那朵花，并且由于按照分工的原则植物的较为完全的雌雄分化是有利的，所以愈来愈有这种倾向的个体，就会继续得到利益而被选择下来，最终达到两性的完全分化。各种植物的性别分离依据二型性和其他途径现在显然正在进行中，不过要说明性别分离所采取的这等步骤，未免要浪费太多篇幅。我可以补充地说，北部美洲的某些冬青树，根据爱萨·葛雷所说的，正好处于一种中间状态，他说，这多少是杂性异株的。

现在让我们转来谈谈吃花蜜的昆虫，假定由于继续选择使得花蜜慢慢增多的植物是一种普通植物；并且假定某些昆虫主要是依靠它们的花蜜为食。我们可以举出许多事实，来说明蜂怎样急于节省时间：例如，它们有在某些花的基部咬一个洞来吸食花蜜的习性，虽然它们只要稍微麻烦一点就能从花的口部进去。记住这些事实，就可以相信，在某些环境条件下，如吻的曲度和长度等等个体差异，固然微细到我们不能觉察到的地步，但是对于蜂或其他昆虫可能是有利的，这样就使得某些个体比其他个体能够更快地得到食物；于是它们所属的这一群就繁盛起来了，并且生出许多遗传有同样特性的类群。普通红三叶草和肉色三叶草（*T. incarnatum*）的管形花冠的长度，粗看起来并没有什么差异；然而蜜蜂能够容易地吸取肉色三叶草的花蜜，不能吸取普通红三叶草的花蜜，只有土蜂才来访问红三叶草；所以红三叶草虽遍布整个田野，都不能把珍贵的花蜜丰富地供给蜜蜂。蜜蜂肯定是极喜欢这种花蜜的；因为我屡次看见，只有在秋季，才有许多蜜蜂从土蜂在花管基部所咬破的小孔里去吸食花蜜。这两种三叶草的花冠长度的差异，虽然决定了蜜蜂的来访，但相差的程度确是极其微细的；因为有人对我说过，当红三叶草被收割后，第二茬的花略略小些，于是就有许多蜜蜂来访问它们了。我不知道这种说法是否准确；也不知道另外发表的一种记载是否可靠——据说意大利种的蜜蜂（Ligurian bee）（一般被认为这只是普通蜜蜂种的一个变种，彼此可以自由交配），能够达到红三叶草的泌蜜处去吸食花蜜，因此富有这种红三叶草的一个地区，对于吻略长些的，即吻的构造略有差异的那些蜜蜂会大有利益。另一方面，这种三叶草的受精绝对要依靠蜂类来访问它的花，在任何地区里如果土蜂稀少了，就会使花管较短的或花管分裂较深的植物得到大的利益，因为这样，蜜蜂就能够去吸取它的花蜜了。这样，我就能理解，通过连续保存具有互利的微小构造偏差的一切个体，花和蜂怎样同时地或先后慢慢地发生了变异，并且以最完善的方式来互相适应。

我十分明了，用上述想象的例子来说明自然选择的学说，会遭到人们的反对，正如当初莱尔的“地球近代的变迁，可用作地质学的解说”这种宝贵意见所遭到的反对是一样的；不过在运用现今依然活动的各种作用，来解说深谷的凿成或内陆的长形崖壁的形成时，我很少听到有人说这是琐碎的或不重要的了。自然选择的作用，只是把每一个有利于生物的微小的遗传变异保存下来和累积起来；正如近代地质学差不多排除了一次洪水能凿成大山谷的观点那样，自然选择也将把连续创造新生物的信念，或生物的构造能发生任何巨大的或突然的变异的信念排除掉的。

[...]

因自然选择而绝灭

在“地质学”的一章里还要详细讨论这一问题；但因为它和自然选择有密切的关系，所以这里必须谈到它。自然选择的作用全在于保存在某些方面有利的变异，随之引起它们的存续。由于一切生物都按照几何比率高速度地增加，所以每一地区都已充满了生物；于是，有利的类型在数目上增加了，所以使得较不利的类型常常在数目上减少而变得稀少了。地质学告诉我们说，稀少就是绝灭的预告。我们知道只剩下少数个体的任何类型，遇到季候性质的大变动，或者其敌害数目的暂时增多，就很有可能完全绝灭。我们可以进一步地说，新类型既产生出来了，除非我们承认具有物种性质的类型可以无限增加，那么许多老类型势必绝灭。地质学明白告诉我们说，具有物种性质的类型的数目并没有无限增加过；我们现在试行说明，为什么全世界的物种数目没有无限增加。

39

我们已经看到个体数目最多的物种，在任何一定期间内，有产生有利变异的最好机会。关于这一点我们已经得到证明，第二章所讲的事实指出，普通的、广布的即占优势的物种，拥有见于记载的变种最多。所以个体数目稀少的物种在任何一定期间内的变异或改进都是迟缓的；结果，在生存斗争中，它们就要遭遇到普通物种的已经变异了的和改进了的后代的打击。

40

根据这些论点，我想，必然会有如下的结果：新物种在时间的推移中通过自然选择被形成了，其他物种就会越来越稀少，而终至绝灭。那些同正在进行变异和改进中的类型斗争最激烈的，当然牺牲最大。我们在“生存斗争”一章里已经看到，密切近似的类型，——即同种的一些变种，以及同属或近属的一些物种，——由于具有近乎相同的构造、体质、习性，一般彼此进行斗争也最剧烈；结果，每一新变种或新种在形成的过程中，一般对于和它最接近的那些近亲的压迫也最强烈，并且还有消灭它们的倾向。我们在家养生物里，通过人类对于改良类型的选择，也可看到同样的消灭过程。我们可以举出许多奇异的例子，表明牛、绵羊以及其他动物的新品种，花卉的变种，是何等迅速地代替了那些古老的和低劣的种类。在约克郡，我们从历史中可以知道，古代的黑牛被长角牛所代替，长角牛“又被短角牛所扫除，好像被某种残酷的瘟疫所扫除一样”（我引用一位农业作者的话）。

41

性状的分歧

我用这个术语所表示的原理是极其重要的，我相信可以用它来解释若干重要的事实。

42

第一，各个变种，即使是特征显著的那些变种，虽然多少带有物种的性质，——如在许多场合里，对于它们如何加以分类，常是难解的疑问——肯定的，它们彼此之间的差异，远比那些纯粹而明确的物种之间的差异为小。按照我的观点，变种是在形成过程中的物种，即曾被我为初期的物种。变种间的较小差异怎样扩大为物种间的较大差异呢？这一过程经常发生，我们可以从下列事实推论出这一点：在自然界里，无数的物种都呈现着显著的差异，而变种——这未来的显著物种的假想原型和亲体——却呈现着微细的和不甚明确的差异。仅仅是偶然（我们可以这样叫它）或者可能致使一个变种在某些性状上与亲体有所差异，以后这一变种的后代在同一性状上又与它的亲体有更大程度的差异；但是仅此一点，绝不能说明同属异种间所表现的差异何以如此常见和巨大。

我的实践一向是从家养生物那里去探索此事的说明。在这里我们会看到相似的情形。必须承认，如此相异的族，如短角牛和赫里福德牛，赛跑马和驾车马，以及若干鸽的品种等等，绝不是在许多连续的世代里，只由相似变异的偶然累积而产生的。在实践中，例如，一个具有稍微短喙的鸽子引起了一个养鸽者的注意；而另一个具有略长喙的鸽子却引起了另一个养鸽者的注意；在“养鸽者不要也不喜欢中间标准，只喜欢极端类型”这一熟知的原则下，他们就都选择和养育那些喙愈来愈长的，或愈来愈短的鸽子（翻飞鸽的亚品种实际就是这样产生的）。还有，我们可以设想，在历史的早期，一个民族或一个区域里的人们需要快捷的马，而别处的人需要强壮的和粗笨的马。最初的差异可能是极微细的；但是随着时间的推移，一方面连续选择快捷的马，另一方面却连续选择强壮的马，差异就要增大起来，因而便会形成两个亚品种。最后，经过若干世纪，这些亚品种就变为稳定的和不同的品种了。等到差异已大，具有中间性状的劣等马，即不甚快捷也不甚强壮的马，将不会用来育种，从此就逐渐被消灭了。这样，我们从人类的产物中看到了所谓分歧原理的作用，它引起了差异，最初仅仅是微小的，后来逐渐增大，于是品种之间及其与共同亲体之间，在性状上便有所分歧了。

43

但是可能要问，怎样才能把类似的原理应用于自然界呢？我相信能够应用而且应用得很有效（虽然我许久以后才知道怎样应用），因为简单地说，任何一个物种的后代，如果在构造、体质、习性上愈分歧，那么它在自然组成中，就愈能占有各种不同的地方，而且它们在数量上也就愈能够增多。

44

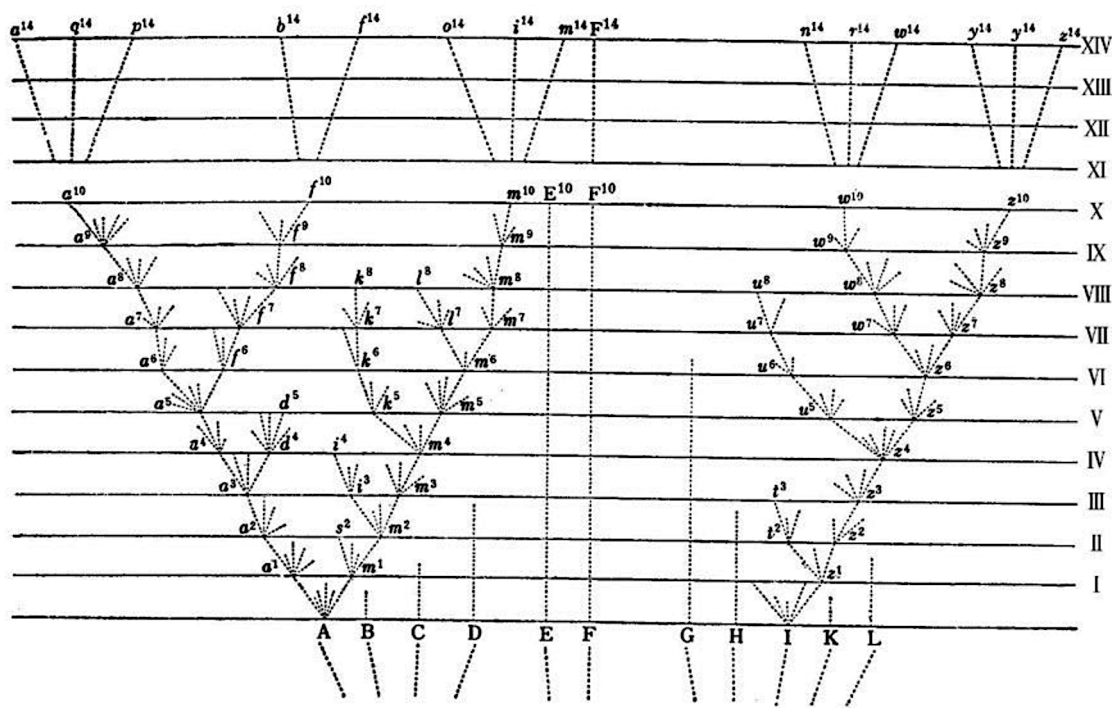
在习性简单的动物里，我们可以清楚地看到这种情形。以食肉的四足兽为例，它们在任何能够维持生活的地方，早已达到饱和的平均数。如果允许它的数量自然增加的话（在这个区域的条件没有任何变化的情形下），它只有依靠变异的后代去取得其他动物目前所占据的地方，才能成功地增加它们的数量：例如，它们当中有些变为能吃新种类的猎物，无论死的或活的；有些能住在新地方，爬树、涉水，并且有些或者可以减少它们的肉食习性。食肉动物的后代，在习性和构造方面变得愈分歧，它们所能占据的地方就愈多。能应用于一种动物的原理，也能应用于一切时间内的一切动物，——这就是说如果它们发生变异的话，——如果不发生变异，自然选择便不能发生任何作用。关于植物，也是如此。试验证明，如果在一块土地上仅播种一个草种，同时在另一块相像的土地上播种若干不同属的草种，那么在后一块土地上就比在前一块土地上能够生长更多的植物，收获更大重量的干草。如在两块同样大小的土地上，一块播种一个小麦变种，另一块混杂地播种几个小麦变种，也会发生同样的情形。所以，如果任何一个草种正在继续进行着变异，并且如果各变种被连续选择着，则它们将像异种和异属的草那样地彼此相区别，虽然区别程度很小，那么这个物种的大多数个体，包括它的变异了的后代在内，就能成功地在同一块土地上生活。我们知道每一物种和每一变种的草每年都要散播无数种子；可以这样说，它们都在竭力来增加数量。结果，在数千代以后，任何一个草种的最显著的变种都会有成功的以及增加数量的最好机会，这样就能排斥那些较不显著的变种；变种到了彼此截然分明的时候，便取得物种的等级了。

构造的巨大分歧性，可以维持最大量生物生活，这一原理的正确性已在许多自然情况下看到。在一块极小的地区内，特别是对于自由迁入开放时，个体与个体之间的斗争必定是极其剧烈的，在那里我们总是可以看到生物的巨大分歧性。例如，我看见有一片草地，其面积为三英尺乘四英尺，许多年来都暴露在完全同样的条件下，在它上面生长着二十个物种的植物，属于十八个属和八个目，可见这些植物彼此的差异是何等巨大。在情况一致的小岛上，植物和昆虫也是这样的；淡水池塘中的情形亦复如此。农民们知道，用极不同“目”的植物进行轮种，可以收获更多的粮食：自然界中所进行的可以叫做同时的轮种。密集地生活在任何一片小土地上的动物和植物，大多数都能够在那里生活（假定这片土地没有任何特别的性质），可以说，它们都百倍竭力地在那里生活；但是，可以看到，在斗争最尖锐的地方，构造的分歧性的利益，以及与其相随伴的习性和体质的差异的利益，按照一般规律，决定了彼此争夺得最厉害的生物，是那些属于我们叫做异属和异“目”的生物。

自然选择对一个共同祖先的后代可能发生的作用

根据上面极压缩的讨论，我们可以假定，任何一个物种的后代，在构造上愈分歧，便愈能成功，并且愈能侵入其他生物所占据的地方。现在让我们看一看，从性状分歧得到这种利益的原理，与自然选择的原理和绝灭的原理结合起来之后，能起怎样的作用。

50



本书所附的一张图表，能够帮助我们来理解这个比较复杂的问题。以 A 到 L 代表这一地方的一个大属的诸物种；假定它们的相似程度并不相等，正如自然界中的一般情形那样，也如图表里用不同距离的字母所表示的那样。我说的是一个大属，因为在第二章已经说过，在大属里比在小属里平均有更多的物种发生变异；并且大属里发生变异的物种有更多数目的变种。我们还可看到，最普通的和分布最广的物种，比罕见的和分布狭小的物种更多变异。假定 A 是普通的、分布广的、变异的物种，并且这个物种属于本地的一个大属。从 A 发出的不等长的、分歧散开的虚线代表它的变异的后代。假定此等变异极其微细，但其性质极分歧；假定它们不同时发生，而常常间隔一个长时间才发生；并且假定它们在发生以后能存在多久也各不相等。只有那些具有某些利益的变异才会被保存下来，或自然地选择下来。这里由性状分歧能够得到利益的原理的重要性便出现了；因为，一般地这就会引致最差异的或最分歧的变异（由外侧虚线表示）受到自然选择的保存和累积。当一条虚线遇到一条横线，在那里就用一小数目字标出，那是假定变异的数量已得到充分的积累，因而形成一个很显著的并在分类工作上被认为有记载价值的变种。

52

图表中横线之间的距离，代表一千或一千以上的世代。一千代以后，假定物种（A）产生了两个很显著的变种，名为 a1 和 m1。这两个变种所处的条件一般还和它们的亲代发生变异时所处的条件相同，而且变异性本身是遗传的；结果它们便同样地具有变异的倾向，并且普通差不多像它们亲代那样地发生变异。还有，这两个变种，只是轻微变异了的类型，所以倾向于遗传亲代（A）的优点，这些优点使其亲代比本地生物在数量上更为繁盛；它们还遗传亲种所隶属的那一属的更为一般的优点，这些优点使这个属在它自己的地区内成为一个大属。所有这些条件对于新变种的产生都是有利的。

53

这时，如果这两个变种仍能变异，那么它们变异的最大的分歧在此后的一千代中，一般都会被保存下来。经过这段期间后，假定在图表中的变种 a1 产生了变种 a2，根据分歧的原理，a2 和（A）之间的差异要比 a1 和（A）之间的差异为大。假定 m1 产生两个变种，即 m2 和 s2，彼此不同，而和它们的共同亲代（A）之间的差异更大。我们可以用同样的步骤把这一过程延长到任何久远的期间；有些变种，在每一千代之后，只产生一个变种，但在变异愈来愈大的条件下，有些会产生两个或三个变种，并且有些不能产生变种。因此变种，即共同亲代（A）的变异了的后代，一般会继续增加它们的数量，并且继续在性状上进行分歧。在图表中，这个过程表示到一万代为止，在压缩和简单化的形式下，则到一万四千代为止。

54

但我在这里必须说明：我并非假定这种过程会像图表中那样有规则地进行（虽然图表本身已多少有些不规则性），它的进行不是很规则的，而且也不是连续的，而更可能的是：每一类型在一个长时期内保持不变，然后才又发生变异。我也没有假定，最分歧的变种必然会被保存下来：一个中间类型也许能够长期存续，或者可能，也许不可能产生一个以上的变异了的后代；因为自然选择常常按照未被其他生物占据的或未被完全占据的地位的性质而发生作用；而这一点又依无限复杂的关系来决定。但是，按照一般的规律，任何一个物种的后代，在构造上愈分歧，愈能占据更多的地方，并且它们的变异了的后代也愈能增加。在我们的图表里，系统线在有规则的间隔内中断了，在那里标以小写数目字，小写数目字标志着连续的类型，这些类型已充分变得不同，足可以被列为变种。但这样的中断是想象的，可以插入任何地方，只要间隔的长度允许相当分歧变异量得以积累，就能这样。

55

因为从一个普通的、分布广的、属于一个大属的物种产生出来的一切变异了的后代，常常会共同承继那些使亲代在生活中得以成功的优点，所以一般地它们既能增多数量，也能在性状上进行分歧：这在图表中由（A）分出的数条虚线表示出来了。从（A）产生的变异了的后代，以及系统线上更高度改进的分支，往往会占据较早的和改进较少的分支的地位，因而把它们毁灭；这在图表中由几条较低的没有达到上面横线的分支来表明。在某些情形里，无疑地，变异过程只限于一枝系统线，这样，虽然分歧变异在量上扩大了，但变异了的后代在数量上并未增加。如果把图表里从（A）出发的各线都去掉，只留到的那一支，便可表示出这种情形。英国的赛跑马和英国的向导狗与此相似，它们的性状显然从原种缓慢地分歧，既没有分出任何新枝，也没有分出任何新族。

56

经过一万代后，假定（A）种产生了 a10f10 和 m10。三个类型，由于它们经过历代性状的分歧，相互之间及与共同祖代之间的区别将会很大，但可能并不相等。如果我们假定图表中两条横线间的变化量极其微小，那么这三个类型也许还只是十分显著的变种；但我们只要假定这变化过程在步骤上较多或在量上较大，就可以把这三个类型变为可疑的物种或者至少变为明确的物种。因此，这张图表表明了由区别变种的较小差异，升至区别物种的较大差异的各个步骤。把同样过程延续更多世代（如压缩了的和简化了的图表所示），我们便得到了八个物种，系用小写字母。a14 到 m14 所表示，所有这些物种都是从（A）传衍下来的。因而如我所相信的，物种增多了，属便形成了。

57

在大属里，发生变异的物种大概总在一个以上。在图表里，我假定第二个物种（I）以相似的步骤，经过一万世代以后，产生了两个显著的变种或是两个物种（w10 和 z10），它们究系变种或是物种，要根据横线间所表示的假定变化量来决定。一万四千世代后，假定六个新物种 n14 到 z14 产生了。在任何一个属里，性状已彼此很不相同的物种，一般会产生出最大数量的变异的了的后代；因为它们在自然组成中拥有最好的机会来占有新的和广泛不同的地方：所以在图表里，我选取极端物种（A）与近极端物种（I），作为变异最大的和已经产生了新变种和新物种的物种。原属里的其他九个物种（用大写字母表示的），在长久的但不相等的时期内，可能继续传下不变化的后代；这在图表里是用不等长的向上虚线来表示的。

58

但在变异过程中，如图表中所表示的那样，另一原理，即绝灭的原理，也起重要的作用。因为在每一处充满生物的地方，自然选择的作用必然在于选取那些在生活斗争中比其他类型更为有利的类型，任何一个物种的改进了的后代经常有一种倾向：在系统的每一阶段中，把它们的先驱者以及它们的原始祖代驱逐出去和消灭掉。必须记住，在习性、体质和构造方面彼此最相近的那些类型之间，斗争一般最为剧烈。因此，介于较早的和较晚的状态之间的中间类型（即介于同种中改进较少的和改良较多的状态之间的中间类型）以及原始亲种本身，一般都有绝灭的倾向。系统线上许多整个的旁枝会这样绝灭，它们被后来的和改进了的枝系所战胜。但是，如果一个物种的变异的了的后代进入了某一不同的地区，或者很快地适应于一个完全新的地方，在那里，后代与祖代间就不进行斗争，二者就都可以继续生存下去。

59

假定我们的图表所表示的变异量相当大，则物种（A）及一切较早的变种皆归灭亡，而被八个新物种（a14 到 m14）所代替；并且物种（I）将被六个新物种（n14 到 z14）所代替。

60

我们还可以再做进一步论述。假定该属的那些原种彼此相似的程度并不相等，自然界中的情况一般就是如此；物种（A）和 B、C 及 D 的关系比和其他物种的关系较近；物种（I）和 G、H、K、L 的关系比和其他物种的关系较近。又假定（A）和（I）都是很普通而且分布很广的物种，所以它们本来一定就比同属中的大多数其他物种占有若干优势。它们的变异了的后代，在一万四千世代时共有十四物种，它们遗传了一部分同样的优点：它们在系统的每一阶段中还以种种不同的方式进行变异和改进，这样便在它们居住的地区的自然组成中，变得适应了许多和它们有关的地位。因此，它们极有可能，不但会取得亲种（A）和（I）的地位而把它们消灭掉，而且还会消灭某些与亲种最接近的原种。所以，能够传到第一万四千世代的原种是极其稀少的。我们可以假定与其他九个原种关系最疏远的两个物种（E 与 F）中只有一个物种（F），可以把它们的后代传到这一系统的最后阶段。

61

在我们的图表里，从十一个原种传下来的新物种数目现在是十五。由于自然选择造成分歧的倾向，a14 与 z14 之间在性状方面的极端差异量远比十一个原种之间的最大差异量为大。还有，新种间的亲缘的远近也很不相同。从（A）传下来的八个后代中，a14, q14, p14 三者，由于都是新近从 a10 分出来的，亲缘比较相近；b14 和系在较早的时期从（A）分出来的，故与上述三个物种在某种程度上有所差别；最后 o14, i14, m14 彼此在亲缘上是相近的，但是因为在变异过程的开端时期便有了分歧，所以与前面的五个物种大有差别，它们可以成为一个亚属或者成为一个明确的属。

62

从（I）传下来的六个后代将形成两个亚属或两个属。但是因为原种（I）与（A）大不相同，（I）在原属里差不多站在一个极端，所以从（I）分出来的六个后代，只是由于遗传的缘故，就与从（A）分出来的八个后代大不相同；还有，我们假定这两组生物是向不同的方向继续分歧的。而连接在原种（A）和（I）之间的中间种（这是一个很重要的论点），除去（F），也完全绝灭了，并且没有遗留下后代。因此，从（I）传下来的六个新种，以及从（A）传下来的八个新种，势必被列为很不同的属，甚至可以被列为不同的亚科。

所以，我相信，两个或两个以上的属，是经过变异传衍，从同一属中两个或两个以上的物种产生的。这两个或两个以上的亲种又可以假定是从早期一属里某一物种传下来的。在我们的图表里，是用大写字母下方的虚线来表示的，其分支向下收敛，趋集一点；这一点代表一个物种，它就是几个新亚属或几个属的假定祖先。

本章提要

在变化着的生活条件下，生物构造的每一部分几乎都要表现个体差异，这是无可争论的；由于生物按几何比率增加，它们在某年龄、某季节或某年代，发生激烈的生存斗争，这也确是无可争论的；于是，考虑到一切生物相互之间及其与生活条件之间的无限复杂关系，会引起构造上、体质上及习性上发生对于它们有利的无限分歧，假如说从来没有发生过任何有益于每一生物本身繁荣的变异，正如曾经发生的许多有益于人类的变异那样，将是一件非常离奇的事。但是，如果有益于任何生物的变异确曾发生，那么具有这种性状的诸个体肯定地在生活斗争中会有最好的机会来保存自己；根据坚强的遗传原理，它们将会产生具有同样性状的后代。我把这种保存原理，即最适者生存，叫做“自然选择”。“自然选择”导致了生物根据有机的和无机的生活条件得到改进；结果，必须承认，在大多数情形里，就会引起体制的一种进步。然而，低等而简单的类型，如果能够很好地适应它们的简单生活条件，也能长久保持不变。根据品质在相应龄期的遗传原理，自然选择能够改变卵、种子、幼体，就像改变成体一样的容易。在许多动物里，性选择，能够帮助普通选择保证最强健的、最适应的雄体产生最多的后代。性选择又可使雄体获得有利的性状，以与其他雄体进行斗争或对抗；这些性状将按照普遍进行的遗传形式而传给一性或雌雄两性。

69

自然选择是否真能如此发生作用，使各种生物类型适应于它们的若干条件和生活处所，必须根据以下各章所举的证据来判断。但是我们已经看到自然选择怎样引起生物的绝灭；而在世界史上绝灭的作用是何等巨大，地质学已明白地说明了这一点。自然选择还能引致性状的分歧；因为生物的构造、习性及体质愈分歧，则这个地区所能维持的生物就愈多，——我们只要对任何一处小地方的生物以及外地归化的生物加以考察，便可以证明这一点。所以，在任何一个物种的后代的变异过程中，以及在一切物种增加个体数目的不断斗争中，后代如果变得愈分歧，它们在生活斗争中就愈有成功的好机会。这样，同一物种中不同变种间的微小差异，就有逐渐增大的倾向，一直增大为同属的物种间的较大差异，或者甚至增大为异属间的较大差异。

70

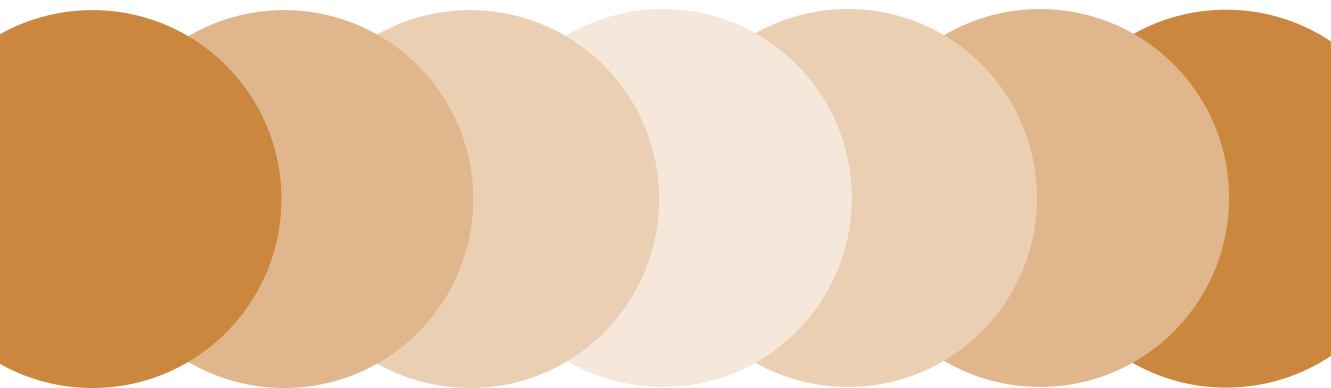
我们已经看到，变异最大的，在每一个纲中是大属的那些普通的、广为分散的，以及分布范围广的物种；而且这些物种有把它们的优越性——现今在本土成为优势种的那种优越性——传给变化了的后代的倾向。正如方才所讲的，自然选择能引致性状的分歧，并且能使改进较少的和中间类型的生物大量绝灭。根据这些原理，我们就可以解释全世界各纲中无数生物间的亲缘关系以及普遍存在的明显区别。这的确是奇异的事情，——只因为看惯了就把它的奇异性忽视了——即一切时间和空间内的一切动物和植物，都可分为各群，而彼此关联，正如我们到处所看到的情形那样，——即同种的变种间的关系最密切，同属的物种间的关系较疏远而且不均等，乃形成区

（section）及亚属；异属的物种间关系更疏远，并且属间关系远近程度不同，乃形成亚科、科、目、亚纲及纲。任何一个纲中的几个次级类群都不能列入单一行列，然皆环绕数点，这些点又环绕着另外一些点，如此下去，几乎是无穷的环状组成。如果物种是独立创造的，这样的分类便不能得到解释；但是，根据遗传，以及根据引起绝灭和性状分歧的自然选择的复杂作用，如我们在图表中所见到的，这一点便可以得到解释。

同一纲中一切生物的亲缘关系常常用一株大树来表示。我相信这种比拟在很大程度上表达了真实情况。绿色的、生芽的小枝可以代表现存的物种；以往年代生长出来的枝条可以代表长期的、连续的绝灭物种。在每一生长期中，一切生长着的小枝都试图向各方分枝，并且试图遮盖和弄死周围的新枝和枝条，同样地，物种和物种的群在巨大的生活斗争中，随时都在压倒其他物种。巨枝为分大枝，再逐步分为愈来愈小的枝，当树幼小时，它们都曾一度是生芽的小枝；这种旧芽和新芽由分枝来联结的情形，很可以代表一切绝灭物种和现存物种的分类，它们在群之下又分为群。当这树还仅仅是一株矮树时，在许多茂盛的小枝中，只有两三个小枝现在成长为大枝了，生存至今，并且负荷着其他枝条；生存在久远地质时代中的物种也是这样，它们当中只有极少数遗下现存的变异了的后代，从这树开始生长以来，许多巨枝和大枝都已经枯萎而且脱落了；这些枯落了的、大小不等的枝条，可以代表那些没有留下生存的后代而仅处于化石状态的全目、全科及全属。正如我们在这里或那里看到的，一个细小的、孤立的枝条从树的下部分叉处生出来，并且由于某种有利的机会，至今还在旺盛地生长着，正如有时我们看到如鸭嘴兽或肺鱼之类的动物，它们由亲缘关系把生物的两条大枝联络起来，并由于生活在有庇护的地点，乃从致命的竞争里得到幸免。芽由于生长而生出新芽，这些新芽如果健壮，就会分出枝条遮盖四周许多较弱枝条，所以我相信，这巨大的“生命之树”（Tree of Life）在其传代中也是这样，这株大树用它的枯落的枝条填充了地壳，并且用它的分生不息的美丽的枝条遮盖了地面。

《DNA：生命的秘密》

詹姆斯·沃森



第一章. 遗传学的起源：从孟德尔到希特勒

我母亲邦妮·琴恩（Bonnie Jean）相信基因，以我外公的苏格兰血统为荣，认为他具有诚实、勤奋与节俭等苏格兰传统美德。她本人也拥有这些特质，且认为这肯定传承自她的父亲。但他不幸早逝，留给她的身外之物只有她小时候从格拉斯哥（Glasgow）订购来送她的苏格兰裙。或许正因如此，她才特别珍惜她父亲的生物遗产，更甚于物质遗产。

1

在成长过程中，我老是跟母亲争论天性（nature）和教养（nurture）在我们的成长中所扮演的角色孰轻孰重。我认为教养重于天性，深信想成为什么样的人完全掌握在自己手中，拒绝接受基因具有重要角色的说法，宁可将祖母的极度肥胖归因于暴食。如果她的身材是基因的产物，未来我也可能身材粗壮。然而，即使还是位青少年，我也不会反驳遗传的基本原则，也就是“龙生龙，凤生凤”。我跟母亲争论的是复杂的特质，例如性格特质，而不是代代相传、造成“家族容貌相似”的单纯特征，当时我虽然是固执的少年，可仍明白这一点。我继承了我母亲的鼻子，而我儿子邓肯（Duncan）又继承了我的。

2

有时特征会在几代之间时而出现、时而消失，有时则一连持续多代，其中最著名的例子之一是所谓“哈布斯堡唇”（Hapsburg Lip）的长期性状。这种颌骨突出、下唇下垂的明显特征，使欧洲哈布斯堡统治者成为数代宫廷画家最可怕的梦魇，而且这个特征至少原封不动地遗传了 23 代以上。

3



11 岁的小沃森、妹妹伊丽莎白和父亲詹姆斯。

近亲通婚使哈布斯堡皇族的遗传悲剧变得更加悲惨。这个家族经常在不同的支系与近亲之间安排婚姻，就建立政治联盟，确保王朝的延续而言，这种做法颇有道理，但是从遗传学的观点来看，可一点也不聪明。近亲通婚可能导致遗传疾病，哈布斯堡皇族就为此付出了惨痛的代价。哈布斯堡皇族在西班牙的最后一位君主查理二世（Charles I），不仅有堪称典型的家族唇型（他甚至无法自行咀嚼食物），还全身残废，尽管结过两次婚，都无法生下任何子嗣。

4

长久以来，遗传疾病一直纠缠着人类。在查理二世这类的例子中，甚至对历史造成直接的影响。追溯诊断指出，在美国独立战争中失去新大陆这个殖民地的英王乔治三世（George III），患有一种称为紫质症（porphyria）的遗传疾病，致使他不时精神错乱。有些历史学家，特别是英国的历史学者认为，乔治国王因病分心，美国人才能在逆境中获得军事胜利。尽管大部分的遗传疾病并未对地缘政治造成影响，却让受害的家族饱受折磨且通常结局悲惨，有时甚至纠缠数代。遗传学并不仅止于了解我们的容貌为什么与父母相似，也是为了对付人类最古老的一些敌人：造成遗传疾病的基因缺陷。

5

我们的祖先在脑子进化到能构思正确的问题时，必定曾对遗传的运作感到好奇。如果你的兴趣跟我们的祖先一样，是在于遗传学的实际用途，例如改良家畜和作物（以增加牛的泌乳量，改变果实的大小等等），光是近亲相似这个显而易见的原则，就够你忙好一阵子。在小心地育种数代之后，可以产生专内人类“量身打造”的动植物。所谓“育种”是指驯养适合的品种，然后仅培育生产力最高的乳牛和果实最大的果树。这类没有留下记录的辛苦工作，遵循的是简单的经验法则：产量最高的母牛会生下产量高的后代，果实大的果树种子也会种出果实大的果树。因此，尽管近百年来科技大跃进，但遗传见解绝不是 20 世纪与 21 世纪所独有的。虽然直到 1909 年，英国生物学家贝特森（William Bateson）才替这门学问取名为遗传学（genetics），而且尽管 DNA 革命已经开创出具有无穷潜力的崭新前景，但事实上，早在数世纪以前，默默无闻的农夫就已开始进行遗传学上最能造福人类的应用。我们现在所吃的谷类、水果、肉类和乳制品等，几乎都是老祖宗为了解决问题，在操纵遗传之下所获得的结果，这是最古老、影响最深远的遗传应用。

6

但是，了解遗传的实际机制，倒真不是易事。一直到 1866 年，孟德尔（Gregor Mendel）才针对此议题发表了著名的论文（其后科学界又忽视了它将近 34 年）。为什么花了这么久的时间？毕竟，遗传是自然界的重要层面，更重要的是，我们随处都很容易观察到它：狗主人可以看到棕狗与黑狗交配后的结果；所有的父母总是有意无意地在儿女身上寻找自己的特征。之所以会花这么久的时间，有一个简单的原因：遗传机制实在很复杂。孟德尔对此问题提出的解答，似乎并不是那么直接。毕竟，子女不只是双亲特征的“混合物”。或许最重要的是，早期的生物学家未能分辨“遗传”（heredity）与“发育”（development）是两个本质迥异的过程。今日我们已经知道受精卵含有来自父母双方的遗传信息，可以决定这人是否会罹患紫质症之类的疾病。这是遗传。其后运用遗传信息的过程才是“发育”，亦即一个简单、基本的细胞（受精卵）发展成全新个体的过程。若是从学科来分辨的话，遗传学着眼于遗传信息，发育生物学则重视此信息的应用。早期的科学家将遗传与发育混为一谈，视之为单一现象，因此从未提出能引导

7

他们找出遗传奥秘的问题。不过，自从西方文明之始，人类便已用一些方式朝这个方向努力。

希腊人曾思考过遗传的问题，包括希波克拉底（Hippocrates）在内。他们创造出“泛生论”（pangenesis），宣称性行为会使缩小的身体部位转移至另一个个体：“毛发、指甲、静脉、动脉、肌腱与骨骼，只不过这些粒子太小，所以看不见。在成长过程中，它们会逐渐彼此分离。”这个说法后来曾短暂复苏，因为当时达尔文迫切地需要以一个可行的遗传假说来支持他经自然选择而进化之理论，因此他在 19 世纪后半叶提出泛生论的修正版本。按照达尔文的说法，眼睛、肾脏与骨骼等每一个器官，都会贡献出小型的“微芽”（gemmule），它们在体内循环，然后累积在性器官中，最终在有性生殖的过程中进行交换。由于这些微芽是在生物体的一生当中制造的，因此达尔文主张个体在出生后发生的所有改变，例如长颈鹿为了吃最高处的树叶而伸长的脖子，都能传给下一代。然而，讽刺的是，为了证明其自然选择理论，达尔文开始支持法国博物学家拉马克

（Jean-Baptiste Lamarck）有关后天性状的遗传理论，这也是他的进化论所极力推翻的观念。达尔文只援用拉马克的遗传理论，他依然相信自然选择是进化背后的动力，但假设自然选择是在“泛生”所产生的变异下运作的。如果当时达尔文知道孟德尔的研究（达尔文的《物种起源》）问世后不久，孟德尔就发表了他的成果，但达尔文一直没注意到），也许就可以免去在事业后期得替拉马克的一些观念勉力寻找证据的尴尬。

泛生论假设胚胎是由一组缩小的成分所组成，另一个理论“先成论”

9

(preformationism) 则一举避开了组合的步骤：卵子或精子中的一个（至于是哪一个，则引起许多争议）包含了“预先形成”的完整个体，称为“雏型人”(homunculus)。而发育只是把它放大为完全长成的人。在先成论风行的年代，对今日所谓的遗传疾病有诸多解释。有时它被视为上帝的惩罚，或是妖怪与魔鬼的恶作剧，有时则被视为是父亲的“种子”过多或不足或母亲在怀孕时有“邪念”所造成的结果。拿破仑曾立法允许准妈妈当扒手，考虑的前提就是孕妇因无法实现欲望而感到压抑或沮丧时，有可能造成胎儿畸形。不用说，这些看法并无益于我们对遗传疾病的了解。

到了 19 世纪初，更精良的显微镜推翻了先成论，因为无论多努力，都无法在精子或卵子中看到蜷缩的雏型人。虽然泛生论这个错误观念较早出现，但持续的时间反而较久，该理论坚持，这是因为微芽太小而看不到的缘故，但最终德国生物学家魏斯曼 (August Weismann) 还是推翻了泛生论。魏斯曼主张遗传取决于世代之间种质 (germ plasm) 的连续性，因此个体一生中的身体变化，无法传递给后代。他做了简单的实验：把好多代的老鼠尾巴切断。根据达尔文的泛生论，没有尾巴的老鼠会制造代表“无尾”的微芽，因此它们的子孙应该会出现尾巴严重发育不全甚至没有尾巴的现象。魏斯曼证明了即使把许多代老鼠的尾巴截断，最新一代的老鼠还是会长出尾巴。至此，泛生论终于溃不成军。

10

最后找出正确答案的人是孟德尔。然而无论以哪一种标准来看，他都不像科学界的超级巨星。孟德尔 1822 年出生于现今捷克境内的农民家庭，在乡下学校的表现优异，21 岁就进入奥古斯丁教派设于布尔诺（Brinn）的修道院。在历经担任教区教士的惨痛经验后（他在担任布道之神职后精神崩溃），他尝试从事教职。据说他是个优秀的老师，但是要成为合格的全科教师，就必须通过考试，可惜他没通过。于是修道院的院长奈普（Napp）派他到维也纳大学进修，要他为重新应试苦读。虽然在维也纳时，孟德尔在物理学上的表现相当优异，但他还是没通过考试，后来一直只能担任代课老师。

Homunculus



孟德尔之前的遗传学：假设精子的头部内有一个预先形成的迷你个体，称做“雏型人”。

1856 年左右，在奈普院长的建议下，孟德尔开始进行与遗传相关的科学实验。他在修道院花园里属于他的那块地上种植豆科植物，研究各种植物不同的性状。1865 年，他在两次演说中，向当地的自然史学会展示研究成果，一年后又在学会的期刊上发表实验成果。这是一个非常卓越的研究。实验本身经过精心设计，在执行时煞费苦心，孟德尔对实验结果的分析则精辟高明。他所接受的物理学训练，显然对他在研究上的突破颇有贡献，因为他采取了与当时的生物学家不同的做法，以定量方式处理问题。他不仅指出红、白花杂交后会产生一些红的和一些白的子代，还实际计算它们的数量，发现子代的红白比例可能具有重要意义，事实上也的确如此。可是在将论文送给多位杰出科学家后，孟德尔却发现他完全被科学界所忽略。他试图引起注意的做法却招致反效果。他写信给他认识的当代科学大师，慕尼黑生物学家内格里（Karl Nageli），请他重复自己的实验，还附上 140 包清楚标示的种子。其实这是多此一举，因为内格里认为这位默默无闻的修士应该帮自己做实验，而不是反过来要他亲自动手。因此他将自己录喜爱的山柳菊属植物（hawkwced）的种子送给孟德尔，反而要这位修士以不同的物种重现自己的实验结果。只可惜基于多种因素，山柳菊属植物并不适合用于重复孟德尔的豌豆实验。这个实验只是浪费了他的时间。

12

孟德尔是修士、教师兼研究人员，但是他低调的生活在 1868 年突然告终，该年奈普院长过世，孟德尔获选为修道院院长。尽管他仍然继续研究蜜蜂与气候，但行政管理的责任实在繁重，特别是修道院又卷入欠税的纷争中，再加上其他的因素，妨碍了他的科学研究。最后，他因身材肥胖而无法继续在田园现场工作，他曾写道，爬坡这件事“在这个重力无所不在的世界，对我而言非常困难”。他的医生开出的处方是以烟草控制体重，他也遵从医生指示，每天吸 20 根雪茄，这与丘吉尔一样多。不过让他病倒的倒不是肺病，1884 年，孟德尔因心脏与肾脏的并发症逝世，享年 61 岁。

13

孟德尔的研究成果不仅深埋在乏人问津的学术期刊里，且当代大多数的科学家恐怕也无法理解其精髓。他精密的实验与复杂的定量分析远远超越时代，直到 20 世纪，进入 20 世纪后科学界才赶上他的脚步。三位对类似问题感兴趣的遗传学家，重新发现孟德尔的研究，并且掀起一场科学革命。科学界终于准备好接受这位修士的豌豆实验。

14

孟德尔发现亲代会将特定的因子（factor）传给子代，后来这些因子就被称为基因（gene）。他的研究显示这些因子成对出现，而且子代是从两个亲代各接受一个因子。 15

在观察到豌豆有绿（G）与黄（Y）两种不同的颜色后，孟德尔推论豌豆的颜色基因有两种。若豌豆要成为绿色，就必须要有两个 G 颜色基因，此时我们称该豌豆的颜色基因为 GG。因此，它必定是各从一个亲代接收到一个 G 颜色基因。然而，黄色豌豆则是 YY 与 YG 组合下的产物，只要有一个 Y 颜色基因就足够产生黄色豌豆，Y 会盖过 G。因为在 YG 的例子中，Y 的讯号盖过 G 的讯号，我们称 Y 为“显性”（dominant），比较弱的 G 颜色基因则称为“隐性”（recessive）。 16

每个亲代的豌豆植物都有两个豌豆颜色基因，但只会将其中一个传给子代，子代的另一个颜色基因则是由另一个亲代提供。以植物为例，花粉粒中包含精细胞，这是雄性贡献给下一代的，每个精细胞都只含一个豌豆颜色基因。具有 YG 组合的亲代豌豆，会制造出包含 Y 或 G 颜色基因的精子。孟德尔发现这个选取过程是随机的：植物产生的精子当中，50%的精子会有 Y 颜色基因，50%会有 G 颜色基因。 17

许多遗传之谜顿时豁然开朗。以高几率（事实上是 50%）代代遗传的性状为显性，例如哈布斯堡家族下垂的下唇。其他在族谱上偶尔发生且经常隔代出现的性状，则可能是隐性。就隐性基因而言，个体必须带有两个隐性基因，才能表现出其相应的性状。仅携带一个基因的个体，称为带因者（carrier）：他们本身不会出现相应的性状，但是可以将此基因传给下一代。因为身体无法制造色素，而造成皮肤与毛发明显呈现白色的白化症（albinism），就是以这种方式传递的隐性性状。因此，白化症患者必定有两个分别来自双亲的白化症基因。这时双亲可能一点也看不出拥有这种基因，如果他们都只有一个基因（这种情况经常发生），那么他们俩都是带因者，而这种性状至少跳过了一代。一个有名的例子是斯本内牧师（William Archibald Spooner），他是白化症患者，此外他动辄会出现一种特殊的语言混乱（同时有这两种病症可能只是巧合），例如他会把 a well-oiled bi-cycle 说成 a well-boiled icicle。后来这种首音互换的现象即依他的名字命名为“斯本内现象”（spoonerism）。 18

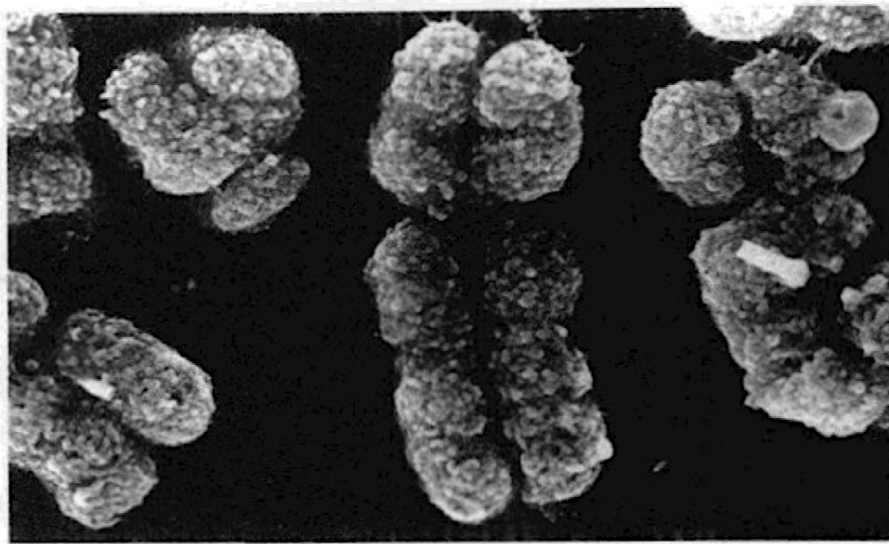
孟德尔的研究结果显示，的确有些东西是代代相传，而且是实际的物质。但这些物质的本质究竟是什么？

19

科学家使用日益精良的显微镜，研究细胞的微小结构，并且在孟德尔过世的 1884 年左右，创造了“染色体”（chromosome）这个词，用以指称细胞核内的细长线状物质。不过，一直到 1902 年，他们才把孟德尔和染色体联想在一起。

20

Chromosome



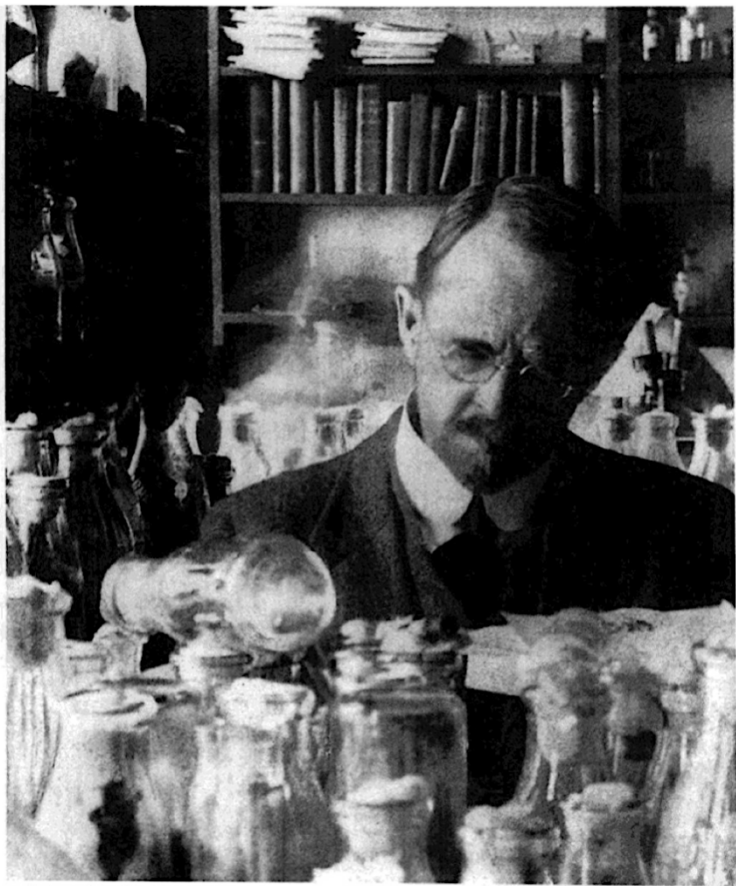
电子显微镜下的人类 X 染色体。

哥伦比亚大学医学院的学生瑟顿（Walter Sutton），发现染色体与孟德尔的神秘因子有许多相同之处。瑟顿研究蚱蜢的染色体，发现它们大多成对出现，跟孟德尔的成对因子一样。但是瑟顿也发现有一种细胞的染色体并不成对，那就是性细胞。蚱蜢精子只有一组染色体，而不是成对的两组，这与孟德尔所描述的完全相符。孟德尔发现，豌豆植物的精细胞中，只携带各种特定因子中的一份。孟德尔的遗传因子（即现在我们所说的基因）显然位于染色体上。

21

在德国独立进行研究的波弗利（Theodor Boveri）也得到和瑟顿相同的结论，后来他们的研究所促成的生物革命，就称为瑟顿一波弗利染色体遗传理论。基因突然成为实际存在的物质，而且位于用显微镜就可以实际看到的染色体上。 22

然而，并非所有的人都相信瑟顿一波弗利理论，同样在哥伦比亚大学的摩根（Thomas Hunt Morgan）就是其中之一。他从显微镜上看到细带状的染色体时，实在很难想像它们是世代之间所有改变发生的原因。如果所有基因都排列在染色体上，而所有染色体都原封不动地代代相传，许多性状必定会一起遗传。不过这跟实验结果不符，染色体似乎不足以解释我们在大自然中观察到的变异。后来，摩根这位精明的实验主义者，想出一个方法来解决这种差异。他转移目标，拿果蝇（*Drosophila Melanogaster*）来做实验，从此这种单调的小生物就成为遗传学家的最爱。 23



以不喜欢照相著称的摩根在果蝇室工作时，被人偷拍的照片。

Thomas Hunt Morgan

24

摩根并不是第一位拿果蝇来做繁殖实验的科学家，这美名应该属于哈佛的一间实验室，他们在 1901 年就用果蝇作过研究。不过果蝇能进入科学殿堂，还是得归功于摩根的研究。果蝇非常适合用于遗传实验。它们很容易找（只要曾在夏天把香蕉放到烂而忘了吃的人，肯定知道这是什么意思）、很容易养（拿香蕉喂它们就行了），只要一个牛奶瓶就可以装数百只果蝇（摩根的学生取得牛奶瓶易如反掌，他们趁黎明时跑到附近曼哈顿住宅区，偷偷拿走住户放在门阶上的空牛奶瓶）：而且它们会不断地繁殖（大约 10 天就可以完成整个世代，每只雌蝇可产下数百颗卵），于是从 1907 年开始，摩根和他的学生（所谓“摩根的孩子们”）就在他们以肮脏、蟑螂横行和香蕉腐臭味著称的实验室（昵称为“果蝇室”），展开果蝇研究。

25

孟德尔以农夫与园丁经年观察到的变异性状为研究基础，例如豌豆有黄色与绿色、皱皮与平滑之分，但摩根在研究果蝇时，没有任何已经确立的遗传差异可用。但是若要研究遗传学，就必须得分隔出一些明显不同的性状，再追踪它们在世代之间的遗传情况才行。因此摩根的首要目标是寻找果蝇的变种，相当于黄色或皱皮的豌豆。他要寻找的是新的遗传性状，亦即在族群中出现的随机变异。

26

摩根最先发现的一个变种非常有用。正常果蝇是红眼，变种果蝇则是白眼。他也发现白眼果蝇通常是雄蝇。当时已知果蝇的性别是由染色体所决定，人类的性别也一样。雌蝇有两条 X 染色体，雄蝇则有一条 X 染色体和一条小得多的 Y 染色体。在了解这些信息后，白眼的结果突然变得合理。决定眼睛颜色的基因位于 X 染色体上，而白眼的突变基因 W 为隐性。由于雄蝇只有一条 X 染色体，在没有显性基因的压抑下，即使是隐性基因也会自动显现。白眼雌蝇较罕见，因为它们通常只有一个 W，因此显现的是显性的红眼。在找到控制眼睛颜色的基因与 X 染色体之间的关联后，尽管刚开始时态度有所保留，摩根还是有效证实了瑟顿-波弗利理论。他也发现了“性联遗传”（sexlinkage）的例子。所谓性联遗传是指一个特定的特征在一种性别中出现的比例特别高。

如同摩根的果蝇，维多利亚女王也是性联遗传的著名实例。她的一个X染色体上有血友病（hemophilia）的突变基因，罹患这种“流血病”的人无法正常凝血。由于她的另一条染色体正常，而血友病基因是隐性，因此她本人并未得病，只是带因者。她女儿也未得病，显然她们俩至少都有一个正常基因，但是维多利亚的儿子们就不都是这么幸运了。如同所有的雄性动物（包括雄果蝇在内），维多利亚的儿子都只有一条X染色体，而且这条染色体肯定遗传自维多利亚（他们的Y染色体只可能来自维多利亚的丈夫艾伯特亲王）。维多利亚有一个突变基因和一个正常基因，因此她每个儿子都有50%的几率罹患血友病。利奥波德王子（Prince Leopold）就抽到了下下签：他患了血友病，31岁时因小摔一跤而流血至死。维多利亚的两位女儿艾丽斯（Alice）与比阿特丽斯（Beatrice）都从母亲身上遗传到突变基因，因此都是带因者，各自生下携带血友病基因的儿女。艾丽斯的孙子，俄罗斯王位继承人皇太子亚历克西斯（Alexis）就罹患血友病，就算俄国大革命时布尔什维克党人未能抢先杀了他，他肯定也会早逝。

27

摩根的果蝇还透露出其他的秘密。摩根和他的学生在研究相同染色体的基因时，发现在精细胞与卵细胞的制造过程中，染色体会先断裂、再重新组成，也就是说摩根在开始时就对瑟顿-波弗利理论的反面看法，其实并没有根据。以现代遗传学的说法，这种断裂再重新组成的“重组作用”（recombination）、使成对染色体之间的基因发生易位。换句话说，例如我从母亲遗传到的第12号染色体（另一个当然来自我父亲），实际上是我母亲本身两条第12号染色体的混合物，她这两条染色体分别来自我外婆和我外公。我母亲在制造卵细胞时，这两条第12号染色体发生重组（交换段落），最后成为了我。因此我从母亲那儿遗传到的第12号染色体，可视为是由我外祖父母的第12号染色体拼接而成的。当然，我母亲从我外婆那儿遗传到的第12号染色体，则是由她外祖父母的第12号染色体拼接而成的，依此类推。

28

重组使得摩根与他的学生能够在特定的染色体上，定出特定基因的位置。重组涉及染色体的断裂（以及重新连接），因为基因就像排列在染色体上的珠子，从统计观点来看，在相隔很远的两个基因之间发生断裂的可能性，远多于相隔很近的两个基因（相隔远的两个基因之间可能发生断裂的点较多）。因此，如果我们发现某条染色体上任意两个基因之间的重组情况很多，就可以推论它们相隔很远；重组情况愈少，基因可能愈接近。这个强有力的基本原理，成为绘制基因图谱的基础。许多年之后，参与人类基因组计划的科学家，以及在对抗遗传疾病前线作战的研究人员所使用的一个重要工具，正是当年在哥伦比亚大学这间肮脏拥挤的果蝇室中发展出来的。现在每当报纸科学版上出现“找到某某基因”的头条新闻时，都是在向摩根与其学生的创新研究致敬。

29

重新发现孟德尔的研究及随之而来的突破，使各界对遗传学的社会意义兴趣激增。在 18 世纪和 19 世纪，科学家努力掌握遗传的精确机制，而民众则日益关切“退化阶层”

30

(degenerate class) 对社会所造成的负担，所谓“退化阶层”指救济院、感化院与精神病院里的人。该如何处置这些人呢？是要仁慈地对待他们，还是干脆忽视不管，各方的看法不一。倾向于不要仁慈对待他们的人宣称，仁慈只会让这些人不思努力，永远仰赖国家或私人机构的慷慨赈济；但倾向于仁慈对待的人则认为，忽视他们只会使这些不幸的人处于没有能力自助的状态，永远无法脱离困顿。

1859 年达尔文《物种起源》一书出版后，这些议题成为众所瞩目的焦点。虽然达尔文谨慎地避谈人类的进化，担心这么做只会对日益激烈的争议火上加油，但是不用什么高超的想像力，人们轻易就可以将他的自然选择观念套用在人类身上。自然选择决定自然界所有遗传变异的命运，这些变异包括摩根在果蝇眼睛颜色基因中发现的突变，或许也包括个人自立能力的差异。

31

自然族群拥有庞大的繁殖潜力。以果蝇为例、果蝇完成一个世代只需 10 天，每只雌蝇可以产下 300 多颗卵（其中有一半是雌蝇）。从一对果蝇开始，只要一个月（也就是三个世代之后）就可以得到 $150 \times 150 \times 150$ 只果蝇，亦即一对果蝇在一个月内就可以繁殖出超过 300 万只果蝇。达尔文选择以繁殖谱系上另一端的物种来说明重点：

32

一般认为大象是所有已知动物中繁殖最慢的动物。我花了不少工夫估计它自然增加的最小可能速率：我们可以假设大象在 30 岁时繁殖，然后持续繁殖到 90 岁，在这段期间产下三对小象：若是如此，到了第五个世纪，就会有 1500 万只大象是第一对大象的后代。

这些计算是假设所有的小果蝇和小象都能安然无恙地长大。因此，在理论上，必须有无限多的食物与水，才能维持这类过度繁殖。当然，实际上食物和水等资源都是有限的，并非所有的小果蝇和小象都能安然长大。同物种的个体之间会相互竞争这些资源。决定谁能赢得这些资源的因素是什么？达尔文指出，遗传变异代表有些个体在他所谓的“生存竞争”（the struggle for existence）中具有优势。以他在科隆群岛上见到的那些芬雀为例，具有遗传优势（例如鸟喙大小刚好能吃当地数量最多的种子）的个体，生存繁殖的几率较高。因此，具有优势的遗传变异，比如拥有大小适当的喙、比较有可能传到下一代。结果便是自然选择使下一代拥有有利的突变，最终在经过足够的世代后，物种的所有成员都具有这个特性。

33

维多利亚时代的人将相同的逻辑套用在人类身上。他们环顾四周，发现所见令人忧心。循规蹈矩、注重道德、工作勤奋的中产阶级，繁衍速度远不及肮脏、不道德又懒惰的下层阶级。他们认为，守规矩、注重道德和勤劳的美德，就跟肮脏、放纵与懒惰的恶习一样会世代相传。这类性格必定具有遗传性，因此对维多利亚时代的人而言，“道德”与“不道德”只是达尔文的两个遗传变异而已。如果低下阶层的繁殖速率比高尚阶级快，那么人口里的“坏”遗传因子将会增加。人类将会毁灭！人类会逐步迈向堕落，因为“不道德”的遗传因子将愈来愈普遍。

34

高尔顿（Francis Galton）会对达尔文的书另眼相待，因为达尔文是他的表兄和朋友。他在颇不顺遂的大学时期就接受过年长他 13 岁的达尔文指导。但后来他是在《物种起源》一书的启发下，才展开了一场社会与遗传的改革运动，并最后酿成灾难性的后果。1883 年，在表兄达尔文死后一年，高尔顿赋予这个运动的名称是：优生学（eugenics）。

35

优生学只是高尔顿的众多兴趣之一。拥护他的人称他为博学之士，批评者则把他贬为业余人士。事实上，他在地理学、人类学、心理学、遗传学、气象学与统计学等领域贡献卓著，并在犯罪学领域，为指纹分析奠定了稳固的科学基础。高尔顿出生于 1822 年，家境富裕，他研习医学和数学，但成绩很令人失望。他 21 岁时丧父，从此摆脱父亲的束缚，并获得可观的遗产，年轻的高尔顿便充分运用这两点。在过了整整 6 年典型的辍学富家子漫无目标的生活后，高尔顿终于安定下来，成为了维多利亚时代的领导阶层，成就颇丰。1850 年到 1852 年，他率领一支探险队，前往当时罕为人知的非洲西南部地区，因而成名。在他描述的探险旅程中，我们发现能将他许多兴趣串连起来的一条线索：他偏好计算和测量任何事物。高尔顿惟有在将现象简化成数字时，才会感到快乐。

36

高尔顿在一个传教士的驻点，遇到女臀过肥症（steatopygia）的显眼样本，这种症状是拥有特别突出的臀部，常见于该地区的原住民纳马族（Nama）的女性身上。他发现这些妇女天生就拥有当时在欧洲流行的体型，惟一的差别在于欧洲的裁缝师得有惊人（和所费不赀）的创意，才能为客户创造出他们所想要的体态。

37

我是科学家，非常想取得她体型的正确尺寸，但却很难办得到。我对霍屯督族（Hottentot，纳马族的荷兰名）的语言一窍不通，因此无法向这位女士解释我的量尺要测量的目标，当然我也不敢要求我那可敬的传教士主人充当我的翻译。因此，在望着她的身形时，我不禁陷入困境，这是慷慨的大自然特别赐予这个种族的赠礼，任何裁缝就算用上以环圈撑开的裙子和填塞物，也只能谦卑地加以模仿。我赞叹的目标就站在树下，左顾右盼，跟期望赞美的女士一样。这时我突然看到我的六分仪，我灵机一动，开始从上下，交叉、对角线等各个方向观察她的体型，为了避免任何错误，仔细地把数字写在一张草图上；等写好后，我大胆地拿出量尺，开始测量我和她站立的地方相隔的距离，在获得底长和角度后，我利用三角法和对数法得出了结果。

高尔顿对量化的热情，使他获得现代统计学的许多基本原理，引导出一些高明的观察结果。例如，他会测试祈祷的功效。他想如果祈祷有用的话，最常祈祷的人应该占有优势，为了测试这个假设，他开始研究英国君主的寿命。每个星期天，英国国教教会在做礼拜时，都会按公祷书恳求上帝“赐于国王/女王天恩，使之万寿无疆、福禄双全”。高尔顿推论，所有的祈祷的累积效果应该很有用。事实上，祈祷似乎没有效：他发现英国君主平均比其他的英国贵族早逝。

38

由于达尔文的关系，高尔顿对于某些血统的杰出人士特别多的现象非常敏感；他们共同的祖父伊拉斯谟·达尔文（Erasmus Darwin）也是当代的智识巨擘。1869年，他发表了一篇集其优生观念之大成的论文，名为《遗传天才：其法则与后果之探究》

39

（Hereditary Genius: An Inquiry into its Laws and Consequences）。他在文中主要想证明，才能就像哈布斯堡这类简单的遗传特征，的确会在家族里流传。例如他指出，有些家族世代皆出法官。他的分析大半略而不提环境的影响，毕竟相较于佃农之子，杰出法官之子的确比较有机会成为法官，就算没别的原因，光靠父亲在法律界的人脉就有影响。不过高尔顿也并未完全忽略环境的影响，“天性/教养”二分法就是他首先提出的，但出典可能是莎士比亚笔下无可救药的恶棍卡利班（Caliban）：“恶魔，天生的恶魔，即便教养也无法改变其天性。”（引自《暴风雨》一剧）

然而，高尔顿无疑深信他的分析结果，他写道：

40

有些假设偶尔会明白指出，但也经常以暗示的方式告诉我们，婴儿生时都非常相似，而造成男孩之间以及男人之间有所差异的惟一原因，就在于勤奋努力和道德影响，这在教导儿童学好的故事中特别常见，但我对这种假设却感到无法忍受。我坚决反对天生平等论的虚假主张。

高尔顿坚信这些性状是由遗传所决定的，因此，如果优先繁衍有才华的人，阻止才干低下的人繁衍，就能“改善”人类的血统。

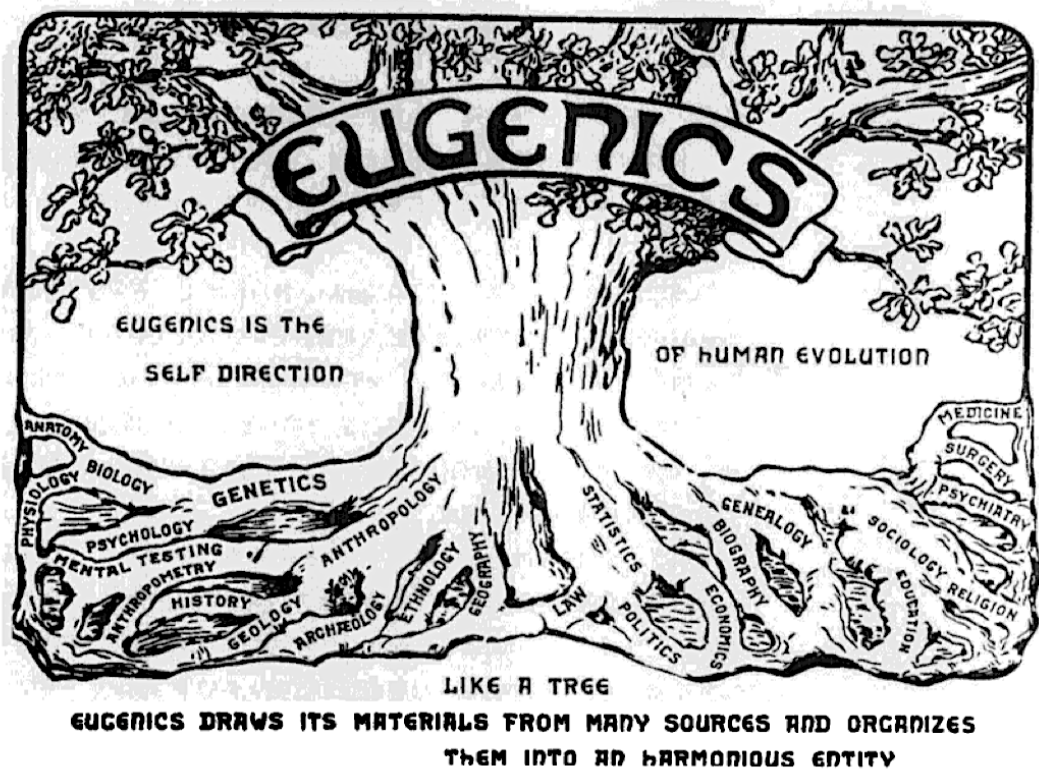
41

只要小心地选择，我们很容易就可以培育出特别会跑，或擅长做某些事的狗或马的永久品种，因此只要通过连续数代明智的婚姻，要产生具有高度天赋的人种，也是实际可行的。

高尔顿引进“优生学”一词（eugenics，源自希腊文，字义为“生而优良” [good in birth]），用以描述将基本的农业育种原则应用在人类身上。后来优生学指的是“自我导向的人类进化”（self-directed human evolution）。优生学者认为，只要刻意选择谁该生小孩，就能消除维多利亚时代的人所忧虑的“优生危机”。他们之所以会有这种想法，是因为当时所谓次等血统的生育率高，而优秀的中产阶级则通常是小家庭。

42

[...]



Eugenics

在 20 世纪前半叶，民众认为优生学是人类自行控制进化命运的机会。图上的宣传文字写道：优生学就像一株大树，从许多来源吸收养分，融为一体。树根上标出了遗传学、人类学、精神病学、心智测验、政治学、社会学、宗教等等。

在现代，优生学一词恶名昭彰，经常与种族主义和纳粹相连，属于遗传学史上最好能遗忘的黑暗名词。然而我们也该知道，在 19 世纪、20 世纪之交时，优生学并未有此污名，当时许多人认为它具有真正的潜力，不仅能改善整体社会，也能改善社会里的许多个人。当时大力支持优生学的人，若在今日可能会被称为“自由左派人士”。主张以渐进方式进行改革的费边社会主义者（Fabian socialist）是当时最进步的一些思想家，他们就积极拥护优生学，包括作家萧伯纳在内。他写道：“优生学的理念是拯救人类文明的惟一方法，现在我们已经找不到任何拒绝面对这个事实的合理借口。”离开收容所便无法生存的人，是社会上长期存在的问题，而优生学似乎就是解决之道。

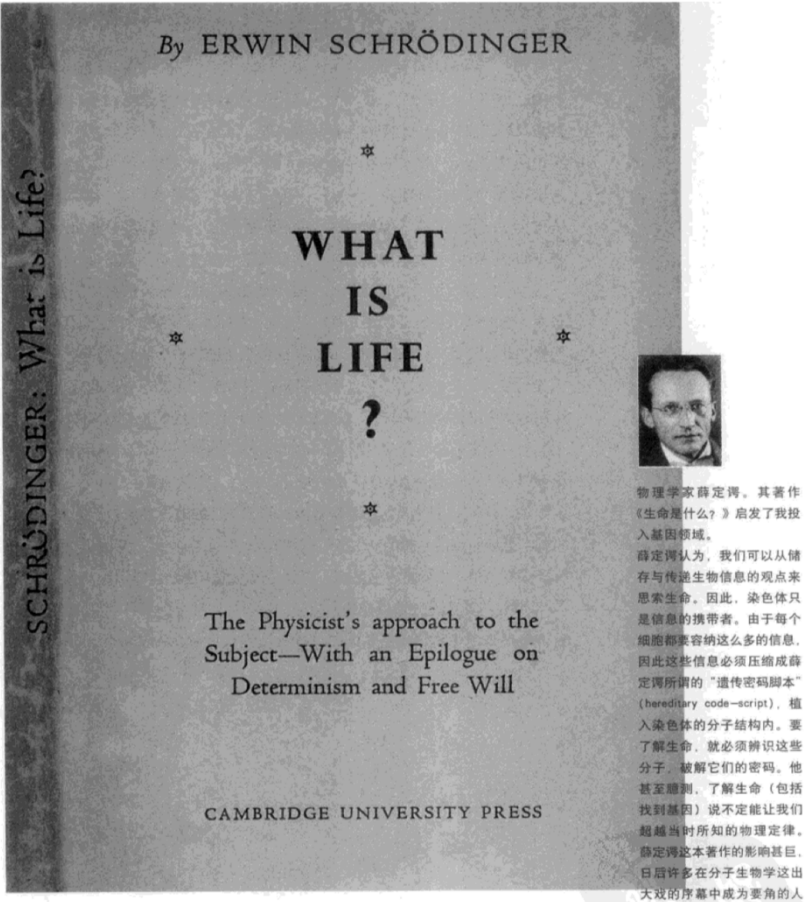
第二章. 双螺旋：生命之所在

我在芝加哥大学三年级时，迷上了基因。我原本想当博物学家，向往日后能离开自幼成长的芝加哥南区，到没有都市尘嚣的地方发展职业生涯。让我改变心意的，并不是某位难忘的老师，而是 1944 年出版的一本薄薄的小书《生命是什么？》，作者是奥地利籍的波动力学之父薛定谔（Erwin Schrodinger）。这本书辑录了他前一年在都柏林的高等研究院（Institute for Advanced Study）发表的数场演讲。这么伟大的物理学家竟会花时间写生物学的书，引起了我的兴趣。当时我和大多数的人都认为，化学与物理学才是“真正的”科学，而理论物理学更是科学翘楚。1

薛定谔认为，我们可以从储存与传递生物信息的观点来思索生命。因此，染色体只是信息的携带者。由于每个细胞都要容纳这么多的信息，因此这些信息必须压缩成薛定谔所谓的“遗传密码脚本”（hereditary code-script）。植入染色体的分子结构内。要了解生命，就必须辨识这些分子，破解它们的密码。他甚至臆测，了解生命（包括找到基因）说不定能让我们超越当时所知的物理定律。薛定谔这本著作的影响甚巨，日后许多在分子生物学这出大戏的序幕中成为要角的人物，包括我和克里克（他先前是物理学者）在内，都拜读过这本书，而且深受感动。2

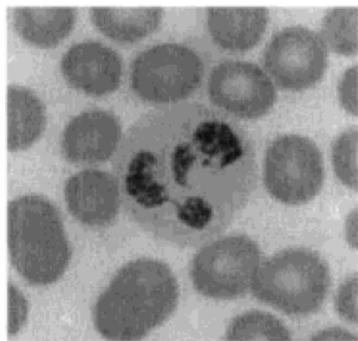
以我为例，薛定谔触动了我的心弦，因为我对生命的本质也很感兴趣。当时仍有少数科学家认为，生命仰赖全能的上帝赋予生命力。不过如同我大多数的老师，我也鄙视生机论的观念。如果这种“生命力”是大自然运作的主宰，我们势必很难经由科学方法来了解生命。反之，一想到生命可能借由一本以密码写成的指令书而永续长存，就令我神往不已。什么样的分子密码能够复杂到足以传递众多的生命奇迹？又有什么样的分子秘密，让染色体在复制时都能复制出一模一样的密码？3

在薛定谔于都柏林演讲的年代，大多数的生物学家都认为，最终科学界会证明蛋白质是遗传指令的主要携带者。蛋白质是由 20 种不同的建构单元（氨基酸）所组成的分子链。由于氨基酸沿分子链排列的顺序可以说有无限多种，因此原则上蛋白质是有可能隐含造成生命如此多样的密码信息的。虽然 DNA 就位于染色体上，为世人所知也有 75 年之久，但当时并未将 DNA 视为密码脚本的可能携带者。1869 年，在德国工作的瑞士生物化学家米契尔（Friedrich Miescher），从当地医院沾满脓的绷带上分离出一种物质，并称之为“核素”（nuclein）。脓大多由具有细胞核的白血球构成（红血球没有细胞核），因此也具有包含 DNA 的染色体，米契尔等于在无意间发现了 DNA 的良好来源。稍后当他发现惟有在染色体里才找得到“核素”时，就知道自己有了重大发现。1893 年，他写道：“遗传确保形态能世代延续，而这一切就隐藏在比化学分子还深的层次。它隐藏在结构化的原子群组内。因此，我支持化学遗传论。”



然而，数十年后，化学仍无法分析庞大复杂的 DNA 分子。一直到 20 世纪 30 年代，科学家才证明 DNA 是由四种不同的化学碱基所构成的长分子，即腺嘌呤（A）、鸟嘌呤（G）、胸腺嘧啶（T）与胞嘧啶（C）。不过在薛定谔发表演说的年代，科学界尚不明白 DNA 分子上的这些次单位（称为脱氧核糖核苷酸 [deoxynucleotide]）在化学上如何链接，也不知道 DNA 分子的四种化学碱基序列是否有差异。如果 DNA 真的是薛定谔所谓的密码脚本，那么这种分子应该有极多种不同的形式。不过在当时，一般仍认为整条 DNA 链有可能是由一个简单序列（例如 AGTC）一再重复出现而构成的。

5



搜寻遗传物质：左图为显微镜下用 DNA 着色剂处理过的血球细胞。为使携氧能力达到最大，红血球没有细胞核，因此也没有 DNA。但是在血流里搜寻入侵者的白血球有细胞核，内含染色体。

直到 1944 年，DNA 才成为遗传界的焦点，当时艾弗里（Oswald Avery）在纽约洛克菲勒研究所（Rockefeller Institute）的实验室发表报告说，肺炎病菌的外膜组成可以改变。这个结果出乎他和麦克劳德（Colin Macleod）与麦卡提（Maclyn McCarty）这两位资历较浅的同事意料。

6

艾弗里的研究小组花了 10 余年的时间，持续追踪英国卫生部科学家格里菲斯（Fred Grittith）在 1928 年观察到的奇特现象。格里菲斯对肺炎很感兴趣，潜心研究肺炎的致病菌——肺炎双球菌（Pneumococcus）。当时已知肺炎双球菌有两种形态、依照它们在显微镜下的外观而分为“平滑”（smooth）的 S 型与“粗糙”（rough）的 R 型。两者不仅外观不同，毒性也不同。将 S 型注入老鼠体内，几天内老鼠就会死去，但是注入 R 型的老鼠则依旧健康。后来发现 S 型的细胞有荚膜，可以防止老鼠的免疫系统认出它是入侵者。R 型的细胞没有荚膜，因此会受到老鼠免疫系统的攻击。

7

格里菲斯从参与公共卫生的经验中得知，单一病人身上有时能分离出多种类型的菌株，因此他很好奇，不同类型的菌株在实验鼠身上会如何交互作用。后来他在一种组合上有了重大发现：当他将加热杀死的 S 型菌株（已变得无害）及正常的 R 型菌株（原本就无害）同时注入老鼠体内时，老鼠会死亡。两种无害的菌株在混合后，怎么可能变得致命呢？后来他分离出死老鼠身上的肺炎双球菌，发现里面有活的 S 型菌，线索于是出现。无害的 R 型菌似乎会从已死的 S 型菌取得不明物质：无论此物质为何，它显然会使 R 型菌在有加热致死的 S 型菌存在时，转型为活的杀手型 S 菌。格里菲斯从死老鼠身上培育出数代的 S 型菌，证实这种变化的确存在：这些细菌繁殖成 S 型菌，如同任何正常的 S 型菌株。注入老鼠体内的 R 型菌真的发作了“遗传”变化。

8

尽管这种转型现象似乎与当时的了解相悖。但格里菲斯的观察结果起初并未在科学界激起太大的涟漪。部分原因在于格里菲斯非常注重隐私，厌恶大型聚会，鲜少参加科学会议，有一次还是在别人强迫下才发表演讲。那次他被同事架到出租车上，护送至演讲厅，然后以含糊单调的声调发表演说，谈的是他在微生物领域所作的艰涩研究，完全没有提及细菌转型。幸好，并非所有人都忽视格里菲斯的突破。

9

艾弗里对肺炎双球菌糖衣般的荚膜也很感兴趣。他复制格里菲斯的实验，试图分离出使 R 型菌变成 S 型菌的物质，找出它的特征。1944 年，艾弗里、麦克劳德与麦卡提公布了他们的研究成果：他们以精心设计的一组实验明确地证实，DNA 就是造成这种变化的“转化子”（transforming factor）。艾弗里及其研究小组用试管培养细菌，而不是用老鼠，因此更容易在加热致死的 S 菌细胞上，找出哪个化学物质是转型因子。他们有系统地一一破坏经过加热处理的 S 型菌的生化成分，看要摧毁哪一种成分，才能阻止转型发生。首先他们使 S 型菌糖衣般的荚膜水解，但转型仍旧发生，这证明荚膜并非转化因子。接着他们使用两种酶（胰蛋白酶[trypsin]与胰凝乳蛋白酶[chymotrypsin]）的混合制剂，这两种酶都会破坏蛋白质，结果 S 型菌的蛋白质几乎全遭破坏。出乎他们意料，转化仍然继续发生。他们又尝试一种会分解核糖核酸（ribonucleic acid.RNA）的核糖核酸酶（ribonuclease.RNase），但是转化再次发生。RNA 也是一种核酸，与 DNA 类似，而且可能与蛋白质的合成有关。最后他们把目标锁定 DNA，让从 S 型取出的萃取物接触会破坏 DNA 的脱氧核糖核酸酶（deoxyribonuclease.DNase）。这次他们总算命中目标，R 型菌不再转型为 S 型菌，转型因子就是 DNA。

10

艾弗里、麦克劳德与麦卡提在 1944 年 2 月提交研究报告后，科学界反应不一，部分原因在于这项发现太过惊人。有许多遗传学家接受他们的结论，毕竟 DNA 在每个染色体上都找得到，它为什么不能是遗传物质？但是，也有许多生物化学家对 DNA 分子是否复杂到能储存庞大的生物信息，表示存疑。他们仍旧认为，最终会证实同为染色体构成要素的蛋白质才是遗传物质。其实也难怪生物化学家会这么想，因为基本上蛋白质有 20 个氨基酸字母可以编码庞大的信息，这要比只有 4 个核酸字母的 DNA 容易得多。跟艾弗里同在洛克菲勒研究所任职的蛋白质化学家墨斯基（Alfred Mirsky）更是激烈反 DNA 是遗传物质的说法，不过那时艾弗里已不再活跃于科学界，洛克菲勒研究所强制他在 65 岁时退休。

11

艾弗里错失的，不仅是反击同事、为自己的研究成果辩护的机会，他也错失了获得诺贝尔奖的机会，身为 DNA 是转化因子的发现者，他其实很有获奖资格。由于诺贝尔奖委员会会在各个奖项颁发 50 年后会公布记录，现在我们已经知道当时阻挡艾弗里获得候选资格的人，是瑞典籍的物理化学家哈马斯滕（Einar Hammarsten）。虽然哈马斯滕的声望主要奠基于他能萃取出质量绝佳的 DNA 样本，但他仍然相信基因是某类尚未辨识出来的蛋白质。事实上，即使在发现双螺旋后，一直到 DNA 转型的机制完全公布前，哈马斯滕仍坚持艾弗里不应获得诺贝尔奖。艾弗里于 1955 年过世，若是他再多活几年，肯定可以拿到诺贝尔奖。

12

1947 年秋，我到印第安纳大学，计划以研究基因作为博士论文的题目，那时我们经常讨论艾弗里的论文。当时已没有人怀疑他实验结果的正确性，而洛克菲勒研究所也有更多的研究结果出炉，显示蛋白质不太可能是细菌转型过程中的遗传因子。至此，化学家终于把下一次重大突破的目标放在 DNA 上。英国剑桥精明干练的化学家托德

13

(Alexander Todd) 迎接挑战，开始鉴定连结 DNA 核苷酸的化学键。到了 1951 年初，他的实验室证实这些连结总是相同的，亦即 DNA 分子的骨干非常规则。同一时期，在奥地利出生，后来逃到美国，任职于哥伦比亚大学的内外科学院的查加夫

(Erwin Chargaff) 使用滤纸层析法 (paper chromatography) 这种新技术，萃取出多种脊椎动物与细菌的 DNA 样本，测量 DNA 内四种碱基的相对含量。他发现，有些物种的 DNA 以腺嘌呤与胸腺嘧啶居多，有些物种则是鸟嘌呤与胞嘧啶较多。因此，有可能任何两个 DNA 分子的组成都不同。

在印第安纳大学，我加入一小群以物理学家和化学家为主、具有远见的科学家之中，共同研究感染细菌的病毒“噬菌体”(bacteriophage。简称 phage) 的繁殖过程。后来我的博士论文指导老师，也就是在意大利受训的医师卢里亚 (Salvador Luria)，以及他在德国出生的理论物理学家好友德尔布吕克 (Max Delbruck)，和美国理化学家赫尔希 (Alfred Hershey) 携手合作，成立了噬菌体研究小组 (the Phage Group)。在第二次世界大战期间，尽管犹太裔的卢里亚是被迫离开法国投奔纽约，德尔布吕克因为反对纳粹主义而逃离德国，但他们仍被视为敌侨，没有资格和美国科学界共同为战争效力。虽然遭到排挤，但他们还是在各自的大学实验室里努力工作 (卢里亚在印第安纳大学，德尔布吕克则在范德比尔特大学)，并且接连几年夏季都到冷泉港实验室合作进行噬菌体实验。1943 年，他们与才华洋溢但沉默寡言的赫尔希合作，当时赫尔希正在圣路易的华盛顿大学研究噬菌体。

14

噬菌体小组认为，如同所有的病毒，噬菌体其实就是赤裸裸的基因（病毒就只是一个蛋白质外鞘包着核酸），并依据这个想法来规划研究计划。这个概念是想像力丰富的美国遗传学家穆勒（Herman J. Muller）于 1922 年首先提出的，三年后，他证实 X 光会引起突变。但是直到 1946 年，穆勒来印第安纳大学任教不久之后，才获得了迟来的诺贝尔奖。事实上，正是因为他在印大，我才会到这里就读。穆勒是在摩根手下展开他的职业生涯的，遗传学在 20 世纪前半叶的发展过程，没人比他更清楚，我在第一个学期时就对他的讲学非常着迷。然而，他在果蝇方面的研究，对我而言似乎属于过去，而非未来，因此我只短暂考虑过请他指导我的论文。后来我选择卢里亚的噬菌体实验，这个实验做起来比果蝇快得多：噬菌体的遗传杂交（genetic cross）子代在隔天就可以进行分析。

15

为了完成博士论文研究，我在卢里亚的要求下跟随他的步履，研究 X 光如何杀死噬菌体粒子。刚开始时，我希望能证明病毒死亡是因为噬菌体的 DNA 遭到破坏。但最后我不得不承认，我的实验方法在化学上永远无法获得确切的答案，只能得到生物学上的结论。虽然噬菌体的确是裸露的基因，但我知道噬菌体研究小组所要的深奥答案，惟有通过高深的化学才找得到。DNA 不再只是一个笼统的缩写名词，我们必须彻底解开它的分子结构和所有的化学细节才行。

16

完成论文后，我发现自己别无选择，只能到可以让我研究 DNA 化学组成的实验室。然而，不幸的是，由于我几乎毫无理论化学的基础，实在不够格转战任何以有机化学或物理化学来进行艰难实验的实验室。后来在 1950 年秋，我拿到博士后研究奖学金，到生物化学家开尔卡（Herman Kalckar）在哥本哈根的实验室作研究。当时他正在研究构成 DNA 的小分子的合成作用，但我很快就发现，他的生化方法永远无法解开基因的本质。在他的实验室多待一天，就会晚一天了解 DNA 如何携带遗传信息。

17

不过，我在哥本哈根的那一年仍然获益良多。为了避开丹麦寒冷的春天，我在四五月间前往直意大利那不勒斯动物研究所。在那里的最后一周，我参加了一场小型研讨会，主题是以 X 光衍射法（X-ray diffraction）决定分子的三维结构。X 光衍射法可以研究任何能够形成晶体的分子的原子结构。X 光在轰击晶体后，会在撞到原子时弹开而散射。从 X 光的散射图形可以获得有关分子结构的信息。但是只靠 X 光，尚不足以解决结构的问题，还需要所谓“相分配”（phase assignment）的额外信息，来处理分子的波性质（wave properties）。要解决“相”的问题并不容易，当时只有胆量最大的科学家愿意面对这种挑战。以衍射法成功研究的对象，大多是比较简单的分子。

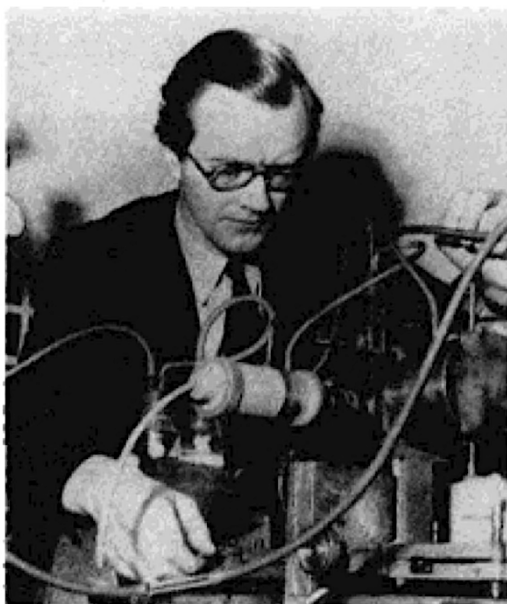
18

原本我对这场研讨会的期望不高，因为我认为要解开蛋白质或 DNA 的三维结构，起码还要 10 年光景。从早期令人失望的 X 光照片看来，要通过 X 光来解开 DNA 的秘密，尤其不可能。会有这种结果也是很自然的，因为当时大家都预期，每个分子的 DNA 序列应该不尽相同。在表面构造不规则的情况下，DNA 细长的分子链势必不可能按照规律重复的模式整齐地排列，X 光分析自然也无法成功。

19

因此，当我听到来自伦敦国王学院（King 's Collcge）生物物理实验室的英国人威尔金斯（Maurice Wilkins）在最后发表有关 DNA 的演讲时，不禁惊喜交加。34 岁的威尔金斯是物理学家，战时曾参与制造原子弹的曼哈顿计划（Manhattan Project）。对他和许多参与这个计划的科学家而言，原子弹投到广岛和长崎，应该是他们研究工作的最高成就，结果这却造成他们的理想破灭。威尔金斯曾考虑完全放弃科学，到巴黎去当画家，但生物学引起了他的兴趣——他也读过薛定谔的书。当时他正设法用 X 光衍射法解开 DNA 的秘密。

20



威尔金斯，摄于伦敦国王学院的实验室。

威尔金斯在演讲中展示一张最近拍到的 X 光衍射图，上面有许多明确的反射影像，显示它是高度规则的结晶体。由此可以推论出，DNA 必定具有规则的结构，只要能解开此结构，就可以揭露基因的本质。我立即开始幻想自己搬到伦敦去，协助威尔金斯找出这个结构。演讲过后，我去找他谈话，但却一无所获。他只对我表示，未来还有更多艰辛的工作要做。

21

就在我连续碰壁时，加州理工学院享誉国际的化学家泡令（Linus Pauling）宣布获得了重大的成就：他发现蛋白质里氨基酸链（称为多肽 [polypeptide]）的排列结构，并且将这个结构取名为 α 螺旋（alpha helix）。这个突破会由泡令获得其实并不意外，他是科学界的超级巨星。他所著的《化学键的本质》奠定了现代化学的基础，被当时的化学家奉为圣经。泡令非常早熟，他在俄勒冈州长大，父亲是位药剂师。他 9 岁时，父亲曾写信给《俄勒冈人》报，希望对方能提供他那好学不倦的孩子可以阅读的书籍，还说他儿子已经读完圣经和达尔文的《物种起源》。泡令的父亲不幸早逝，家中经济陷入困境，但这位前途无量的年轻人仍然完成了学业，相当难能可贵。

22

我一回到哥本哈根，立即拜读了泡令有关 α 螺旋的研究。令人惊讶的是，他并非根据 X 光衍射的实验数据推论出模型，而是根据身为结构化学家的丰富经验，大胆推论哪种类型的螺旋结构最符合多肽链的化学特性。泡令制作蛋白质分子不同部分的比例模型，找出可能的三维结构。他将问题简化成一种三维拼图游戏，既简单又聪明。

23

α 螺旋相当美丽，但现在的问题在于它是否正确。短短一星期后，我得到了答案。发明 X 光晶体学（X-ray crystallography）的 1915 年诺贝尔物理学奖得主布喇格爵士（Sir Lawrence Bragg）来到哥本哈根，兴奋地宣布，比他资浅的同事、奥地利籍化学家佩鲁茨（Max Perutz）巧妙地用合成多肽证实了泡令的 α 螺旋是正确的。对布拉格的卡文迪什实验室而言，这是个苦乐参半的胜利，因为前一年他们在论文中列举多肽链可能具有的螺旋形态时，完全不得要领。

24

那时，卢里亚尝试替我安排卡文迪什实验室的研究职位。卡文迪什位于剑桥大学，是科学界最著名的实验室，卢瑟福（Ernest Rutherford）就是在这里首先描述出原子的结构。当时那是布喇格的研究领域，而我则被安排跟英国化学家肯德鲁（John Kendrew）实习，他的兴趣是找出肌红素（myoglobin）这种蛋白质的三维结构。卢里亚建议我尽快前往卡文迪什实验室，因为肯德鲁那时在美国，佩鲁茨会审核我的资格。肯德鲁与佩鲁茨早先曾一起建立医学研究委员会（Medical Research Council.MRC）作为生物系统结构研究的单位。

25

一个月后在剑桥，佩鲁茨向我保证，我很快就能精通必要的 X 光衍射理论，应该也很快就能融入他们人数不多的研究单位。我松了一口气，因为他并没有因为我的生物学背景而拒绝我。布喇格也没有，他还从办公室下来看了我一下。

26

我在 10 月初抵达剑桥医学研究委员会的研究单位，那年我 23 岁。我和 35 岁的前物理学家克里克共用生化研究室，他在战时曾替英国海军研究磁性水雷。战争结束后，克里克原本计划留在军方的研究机构，但在拜读了薛定谔的《生命是什么？》后，决定朝生物学发展。当时他在卡文迪什实验室以研究蛋白质的三维结构为博士论文。

27

克里克对重要问题的错综复杂总是非常着迷。小时候，他老爱问问题，被问腻的双亲只好买一套儿童百科全书给他，希望能满足他的好奇心。结果这反而让他没有安全感，他告诉母亲，他怕长大后，所有的事物都已被人发现，而他将无事可做。母亲向他保证，日后一定还会有一两件事等着他发现，事后证明她说的很准。

28

29

克里克很擅长说话，无论是哪种聚会，他总是众人注意的焦点。在卡文迪什实验室的走廊上，总是可以听到他爽朗的笑声。他是医学研究委员会研究单位的专任理论家，每个月至少会提出一个新构想，而且只要有人愿意听，他总是很乐意花许多时间仔细解释。我和克里克相遇的那个早晨，他听说我来剑桥是为了大量学习有关晶体学的知识以便破解 DNA 的结构，大为高兴。不久之后，我就请克里克谈谈他对使用泡令的模型建构法来破解 DNA 结构的看法。我们是不是还得做许多年的衍射实验，才能实际下手去建构模型？为了加快我们研究 DNA 结构的速度，克里克邀请自战后就认识的朋友威尔金斯，在星期天从伦敦过来共进午餐，这样我们就能得知自从那不勒斯的演讲后，威尔金斯还有哪些进展。



克里克与卡文迪什
实验室的 X 光管。

30

威尔金斯表示，他认为 DNA 的结构是螺旋状，由数条链接的核苷酸互相缠绕而成，而惟一尚待解决的问题在于链的数目。当时威尔金斯根据他测量的 DNA 纤维密度，认为应该有三条核苷酸链。他迫切地想着手建造模型，却碰上了一个障碍：刚加入国王学院生物物理学研究单位的富兰克林 (Rosalind Franklin)。

31

31 岁的富兰克林是出身剑桥的物理化学家，她是个对自己的专业执着得不得了科学家。在 29 岁生日时，她只要求订阅自己所属领域的技术期刊《晶体学报》作为生日礼物。她讲求逻辑和精确，对于欠缺这些特质的人没有什么耐性。她不习惯快速发表措辞强烈的看法，一度将她的博士论文指导教授，未来的诺贝尔奖得主诺里什 (Ronald Norrish) 描述为“愚蠢、固执、奸诈、态度恶劣、专制”。在实验室外，她是果决勇敢的登山者，来自伦敦的上流社会，相较于大多数的科学案，她属于高尚的社交界。在工作台辛苦一整天后，她偶尔会脱下实验室的外套，换上优雅的晚礼服，消失在夜色中。

富兰克林才从法国回来，她在巴黎用 X 光晶体学的技术研究了 4 年的石墨。她接受聘任，加入国王学院的 DNA 计划时，威尔金斯刚好不在。不幸的是，后来证明这两人根本合不来。富兰克林的个性率直，重视数据，威尔金斯则拘谨而勇于猜想，他们注定无法合作。在威尔金斯接受我们的午餐邀约前不久，他们两人才大吵一次，富兰克林坚持在她搜集更多衍射数据前，不能着手建立模型。他们俩显然无法沟通，而在富兰克林于 11 月初举办实验室研讨会之前，威尔金斯无从得知她的进展。不过若我们想参加这次研讨会，威尔金斯很乐意邀我和克里克前往。

32

后来克里克因故未能参加研讨会，由我独自前往，稍后再把我认为与 DNA 晶体有关的重要讯息告诉他。我特别根据记忆，描述了富兰克林关于晶体重复与含水量的测量值。克里克听了之后，开始在纸上绘制螺旋网格，并说就连我这种先前以赏鸟为业的人也可以应用他和科克兰（Bill Cochran）及凡德（Vladimir Vand）提出的新螺旋 X 光理论，准确预测我们即将建造的分子模型有哪些衍射图。

33

我们一回到剑桥，我就安排卡文迪什的机械部门建造磷的原子模型，以便用于建造 DNA 里磷酸糖骨干的片段。等这些模型做好后，我们开始测试骨干在 DNA 分子中央彼此缠绕的不同方法。它们规则重复的原子结构，应该会让原子形成一致且重复的构造。我们听从威尔金斯的直觉，把重点放在三链模型上。当其中一个模型看似很有可能是答案时，克里克打电话给威尔金斯，宣称我们可能找到了 DNA 的模型。

34

第二天，威尔金斯与富兰克林一起来访，查看我们的成果。在这意外出现的竞争威胁下，他们俩为了共同目标而难得地暂时合作。富兰克林立即挑出我们在基本概念上的错误。我记得她在报告时指出：DNA 晶体几乎不含水。其实是我自己弄错了。由于才刚开始学晶体学，我把晶胞（unitcell）与不对称单位（asymmetric unit）这两个术语搞混了。其实，DNA 晶体富含水分。因此，富兰克林指出，光是要容纳她在晶体内观察到的水分子，骨干就得在分子外面，而不是像我们所做的在分子中央。 35

11 月的那一天实在不幸，让未来蒙上浓浓阴影。富兰克林更加坚定地反对建造模型，她打算继续做实验，不玩看似小孩玩具的原子模型。更惨的是，布拉格也说话了，叫我和克里克不要再尝试建造 DNA 模型，后来还进一步决定，DNA 研究应交由国王学院实验室来做，剑桥只需继续研究蛋白质即可。两家同样由医学研究委员会赞助的实验室居然彼此竞争，实在没有道理。在无计可施下，我和克里克不情愿地暂时罢手。 36

在此时退出 DNA 研究，实在不是时候。泡令已写信给威尔金斯，请他提供一份 DNA 晶体的衍射图。虽然威尔金斯拒绝，表示自己需要更多的时间来解读，但泡令其实也不见得要依赖国王学院的资料。如果他愿意的话，大可在加州理工学院自行研究 X 光衍射。 37

来年春天，我不再研究 DNA，反而继续作那些战前的研究，用卡文迪什实验室强大的新 X 光束，研究铅笔状的烟草花叶病毒（tobacco mosaic virus）。这个实验的工作量很少，我有许多时间游走剑桥众多的图书馆。我在动物学系看到查加夫的论文，他发现在 DNA 中，腺嘌呤和胸腺嘧啶的数量大致相同，而鸟嘌呤则与胞嘧啶的数量差不多。在听到这一比一的比例后，克里克想到，在 DNA 复制时，腺嘌呤和胸腺嘧啶是否互相吸引，而胞嘧啶与鸟嘌呤之间是否也存有类似的吸引力。若是如此，DNA “亲代”链上的碱基序列（例如 ATGC）应该会与“子代”链上的互补（亦即 TACG）。 38

这些原本都只是空想，直到 1952 年夏天，查加夫在前往巴黎参加国际生化会议时途经剑桥为止。我和克里克认为不需要了解 4 种碱基的化学结构，但查加夫对这看法颇不赞同。又听到我们说，如有必要的话，可以到教科书里查它们的结构时，他更是不悦。我只希望能证实查加夫的数据与 DNA 结构并不相关。不过克里克却兴致勃勃地要做一些实验，寻找腺嘌呤与胸腺嘧啶（或鸟嘌呤与胞嘧啶）在溶液中混合时，可能会形成的分子“三明治”。但是，他的实验没获得任何结果。

39

泡令跟查加夫一样，也参加了国际生化会议，那时的大新闻是噬菌体研究小组的最新结果。冷泉港的赫尔希与蔡斯（Martha Chase）才刚证实了艾弗里的转化因子：DNA 就是遗传物质！赫尔希和蔡斯证明，进入细菌细胞的只有噬菌体病毒的 DNA，它的蛋白质鞘（protein coat）留在外面。看来如果我们想揭开基因的本质，势必得了解 DNA 的分子。在赫尔希与蔡斯成为大家的话题之后，我确定泡令也会将他的才华与化学知识，全力投注在解决 DNA 的问题上。

40

早在 1953 年，泡令就发表过描述 DNA 结构的论文。我急切地拜读了大作，发现他提出的是三链模型，以磷酸糖的骨干形成稠密的中央核心。乍看之下，它跟我们在 15 个月前所做的拙劣模型类似。但是，泡令没有采用带正电的原子（例如 Mg^{2+} ）来稳定带负电的骨干，而是采取非正统的做法，以氢链来连接磷酸盐。不过，看在身为生物学家的我眼中，这种氢键所需的极酸状态从不曾见于细胞内。我发疯似的冲到托德在附近的有机化学实验室，立刻就证实了我的看法：不可能的事居然发生了！全世界最优秀或至少最著名的化学家竟然弄错了化学基本原理。实际上，泡令等于把 DNA 里代表酸的缩写 A 除掉了。我们研究的对象是脱氧核糖核酸，但是他所提出的结构甚至不属于酸类。

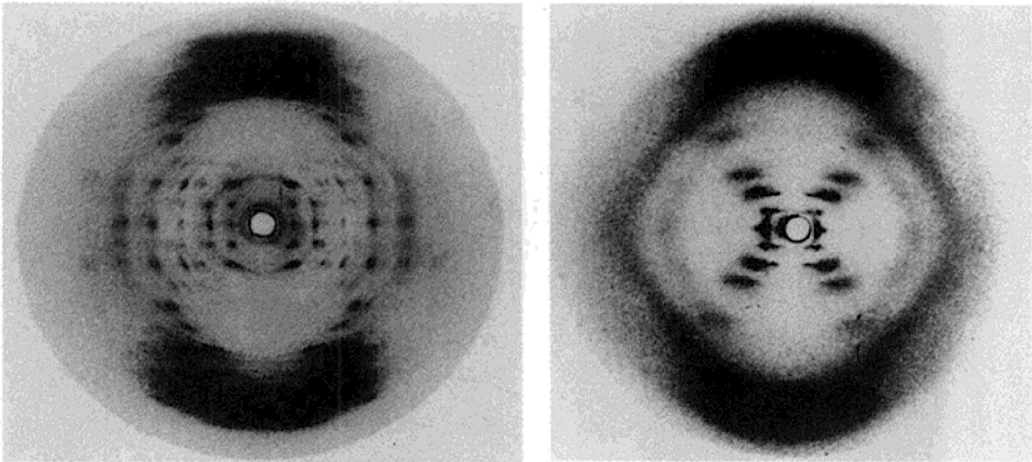
41

我立刻把论文带到伦敦，告诉威尔金斯与富兰克林，他们仍有成功机会。但深信 DNA 并非螺旋的富兰克林甚至不想看这篇文章，以免受到泡令的螺旋观念影响，连在我提出克里克的螺旋论点后也没改变想法。倒是威尔金斯对我带来的消息很感兴趣；他现在更确定 DNA 是螺旋。为了证明这一点，他拿出一张 6 个月前，由富兰克林的研究生葛斯林（Raymond Gosling）用 X 光拍下的照片，即所谓的 B 型 DNA。在那之前，我甚至不知道有 B 型的存在。富兰克林不理睬这张照片，把注意力集中在 A 型 DNA 上，因为她认为研究 A 型比较可能获得有用的资料。B 型 DNA 的 X 光图是一个清晰的十字。既然克里克和其他人早已推论出，这类的反射图案是由螺旋所造成，这项证据清楚说明 DNA 必定是螺旋状！事实上，尽管富兰克林持保留态度，但这个发现并不出人意表。几何学本身就显示，螺旋结构是一长串重复的单元（例如 DNA 的核苷酸）最合理的排列方式。不过我们仍不知道这个螺旋的外观，也不知道它含有多少链。

42

现在终于到了我们继续建构 DNA 螺旋模型的时候。泡令肯定不久就会发现，他的精心杰作出现了谬误。我敦促威尔金斯不要再浪费时间，但是他想等到富兰克林在该年春天稍后到另一家实验室工作后才开始。她选择离去，避开在国王学院的不愉快。在离开前，她奉命停止对 DNA 作更进一步的研究，并将许多衍射照片交给威尔金斯。

43



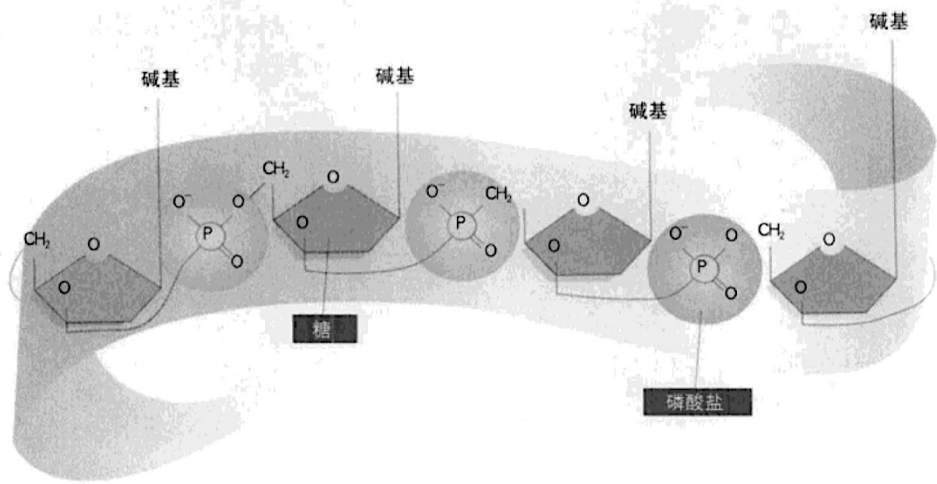
A 型 DNA 与 B 型 DNA 的 X 光照片，分别来自威尔金斯与富兰克林。分子结构的差异是由每个 DNA 分子水含量的差异所造成。

当我回到剑桥，向布拉格报告 B 型 DNA 的消息之后，他认为不应再禁止我和克里克研究 DNA，而且很希望 DNA 的结构能由大西洋这一岸破解。于是我们再度着手建构模型，设法把已知的 DNA 基本成分凑成螺旋结构。这些基本成分就是分子骨干以及 4 个不同的碱基（腺嘌呤、胸腺嘧啶、鸟嘌呤与胞嘧啶）。我委托卡文迪什的工厂替我们做一套锡制的碱基模型，但是他们的制造速度对我来说不够快，最后我只得拿硬纸板来剪出粗略的模型。

44

此时我已经发现，DNA 的密度测量证据比较倾向于双链，而非三链的模型结构。因此，我决定寻找可能的双螺旋体。身为生物学家，我偏好遗传分子是由两个，而非三个成分组成的概念。毕竟，染色体就像细胞一样，数量是以复制成两倍而非三倍的方式增加。

45



DNA 的化学骨干。

我知道先前将骨干置于里面，而碱基悬挂在外的模型是错误的。诺丁汉大学提出的化学证据显示，碱基必须由氢键彼此连结，但这项证据一直被忽略。如果碱基位于分子中央的话，就只能按照 X 光衍射数据所显示的规律方式形成这种键。但是它们怎么会成双对呢？在错误的核酸化学教科书误导下，我连续两个星期毫无进展。幸好 2 月 27 日加州理工学院的理论化学家多纳休（Jerry Donahue）到卡文迪什访问，他指出教科书的错误。于是我改变了氢原子在硬纸板分子模型上的位置。

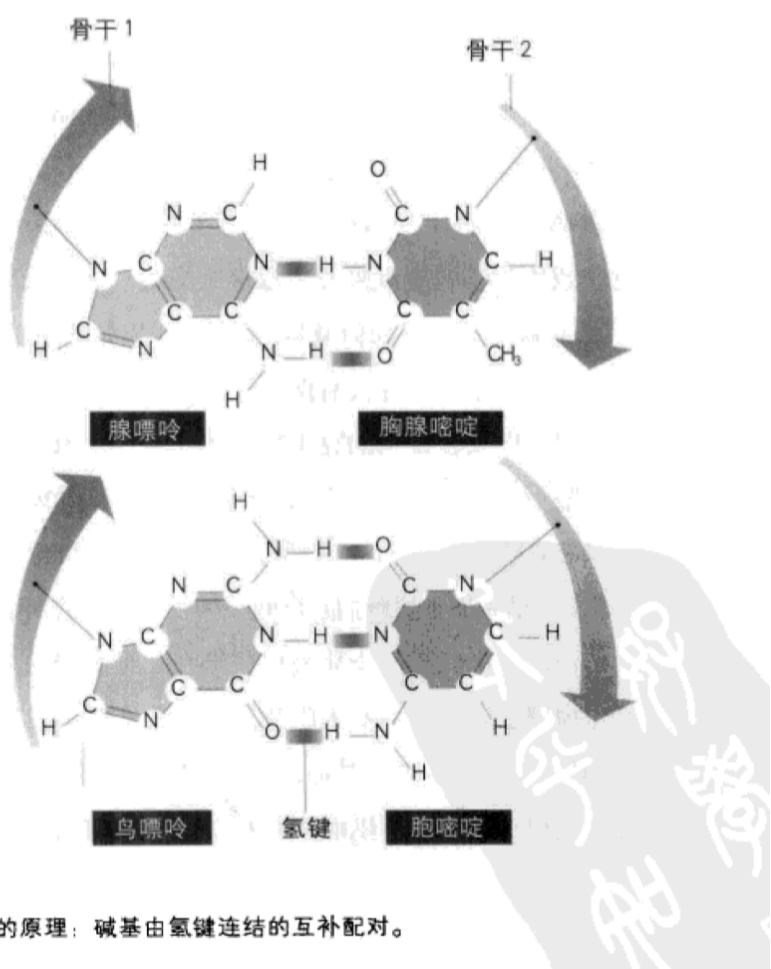
46

隔天早晨，1953 年 2 月 28 日，DNA 模型的重要特征全都各就各位。它的两条链由腺嘌呤-胸腺嘧啶，以及鸟嘌呤-胞嘧啶这两对碱基对之间的强氢键连在一起。克里克一年前根据查加夫的研究所得到的推论，真的是正确的。腺嘌呤的确与胸腺嘧啶连结，而鸟嘌呤也与胞嘧啶连结，但是它们并非通过平坦的表面形成分子三明治。当克里克抵达时，他很快就了解了状况，并且认同我的碱基配对（base-pairing）方式。而且他当下就发现，这会造成双螺旋的双股以相反方向连接。

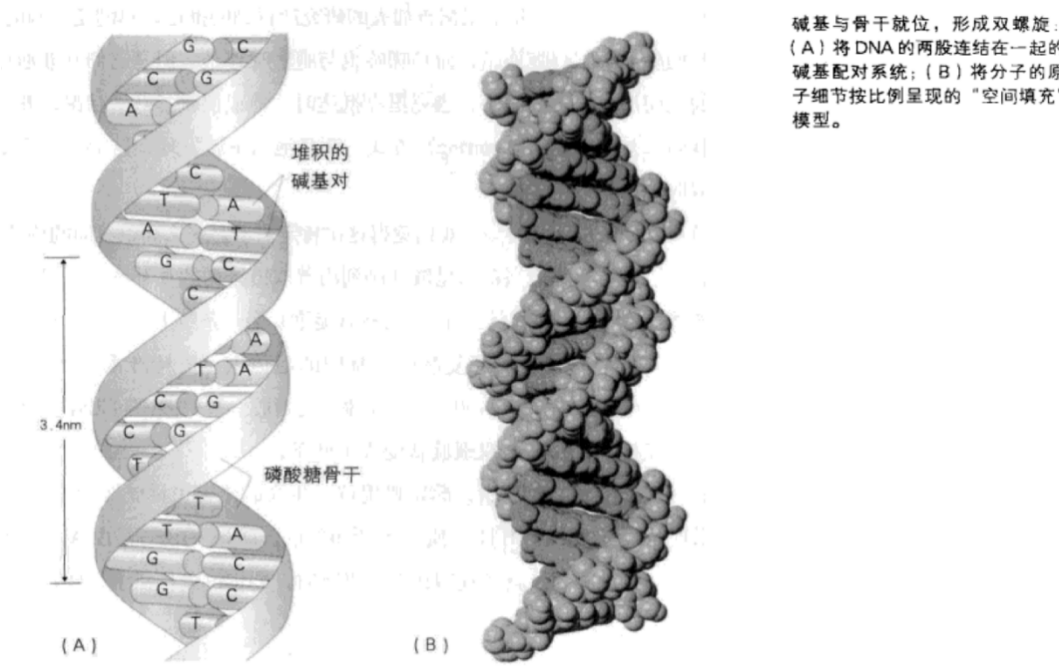
47

这真是令人难忘的时刻，我们觉得这次肯定对了。这么简单美丽的构造，绝对错不了。最令我们兴奋的是碱基序列沿着双链排列的互补特性，只要知道一条链上的序列（碱基的顺序），自然就能推知另一条链上的序列。这显然是细胞分裂前染色体在进行复制时，基因的遗传讯息能精准重现的原因。DNA 分子会像拉链一样“拉开”，形成独立的两股。每一股都可以作为新股合成时的模板，于是一条双螺旋就变成了两条。

48



在《生命是什么？》中，薛定谔提议，生命的语言也许就像摩斯密码，是一系列的点与线。这个讲法倒是蛮接近事实的。DNA 的语言是由 A，T，G 与 C 构成的线性序列。就像我们在誊写书籍时，偶尔也会打错字一样，所有的 A，T，G，C 在沿染色体复制时，也会出现极少量的错误。这些错误就是遗传学家近 50 年来所一直探讨的突变。在英文中，将 i 变成 a，Jim 就会变成 Jam；而在 DNA 中，将 T 变为 C，ATG 就变成了 ACG。



无论从化学或生物学的观点来看，双螺旋都很合理。我们现在无须担忧薛定谔所说，要了解遗传密码如何复制有可能需要新的物理定律，事实上，基因的组成与其他的化学作用并没有两样。那天稍后，在紧邻卡文迪什实验室的鹰吧吃午餐时，向来爱说话的克里克忍不住告诉大家我们刚发现了“生命的奥秘”。我虽同样激动，但宁可等到做出漂亮的三维模型时才炫耀。

50

化学家托德是最早看到我们这个模型的人之一。基因的本质如此简单，让他非常惊喜。然而，稍后他必然曾扪心自问，为什么自己的实验室在建立 DNA 链的一般化学结构后，未能进一步研究这些链在三维空间的组成方式，反而让由生物学家和物理学家组成的双人组找出这种分子的本质，这两人对大学程度的化学甚至都不是那么了解。然而话说回来，这正是我们成功的关键，至少是部分关键：我和克里克之所以能率先获得双螺

51

旋的结论，正是因为当时大多数的化学家认为，DNA 的分子太大，无法用化学分析来了解。

同时，惟一两位具有远见、知道要寻找 DNA 三维结构的化学家，又犯了策略上的错误：富兰克林不愿建构模型，泡令则忽略了有关 DNA 的现有文献，特别是查加夫所发表的 DNA 碱基组成数据。1952 年巴黎的生化会议后，泡令和查加夫还曾同船越过大西洋，两人却不投缘。泡令习惯于自己总是对的，而且相信自己可以用基本原理来解开任何化学问题。他的自信通常很有道理。冷战期间，他是批评美国核武器发展计划的主要人士，有一次在发表演说后，FBI 警员质问他怎么知道原子弹含有多少钚？泡令傲然答道：“没人告诉我，我自己想出来的。”

52

在其后的几个月，克里克和我（虽然我没那么热衷）乐得把我们的模型拿给川流不息、充满好奇的科学家们看。然而，剑桥的生化学家并未邀请我们到生化大楼发表正式演说。他们戏称这是 WC，拿我们的名字缩写开双关语的玩笑。我们没做实验就找到双螺旋，令他们恼怒。

53

MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

A structure for nucleic acid has already been proposed by Pauling and Corey¹. They kindly made their manuscript available to us in advance of publication. Their model consists of three intertwined chains, with the phosphates near the fibre axis, and the bases on the outside. In our opinion, this structure is unsatisfactory for two reasons: (1) We believe that the material which gives the X-ray diagrams is the salt, not the free acid. Without the acidic hydrogen atoms it is not clear what forces would hold the structure together, especially as the negatively charged phosphates near the axis will repel each other. (2) Some of the van der Waals distances appear to be too small.

Another three-chain structure has also been suggested by Fraser (in the press). In his model the phosphates are on the outside and the bases on the inside, linked together by hydrogen bonds. This structure as described is rather ill-defined, and for this reason we shall not comment on it.



This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolise the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis.

We wish to put forward a radically different structure for the salt of deoxyribose nucleic acid. This structure has two helical chains each coiled round the same axis (see diagram). We have made the usual chemical assumptions, namely, that each chain consists of phosphate diester groups joining β -D-deoxy-ribofuranose residues with 3',5' linkages. The two chains (but not their bases) are related by a dyad perpendicular to the fibre axis. Both chains follow right-handed helices, but owing to the dyad the sequences of the atoms in the two chains run in opposite directions. Each chain loosely resembles Furburg's² model No. 1; that is, the bases are on the inside of the helix and the phosphates on the outside. The configuration of the sugar and the atoms near it is close to Furburg's 'standard configuration', the sugar being roughly perpendicular to the attached base. There

is a residue on each chain every 3.4 Å. in the z-direction. We have assumed an angle of 36° between adjacent residues in the same chain, so that the structure repeats after 10 residues on each chain, that is, after 34 Å. The distance of a phosphorus atom from the fibre axis is 10 Å. As the phosphates are on the outside, cations have easy access to them.

The structure is an open one, and its water content is rather high. At lower water contents we would expect the bases to tilt so that the structure could become more compact.

The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the purine and pyrimidine bases. The planes of the bases

are perpendicular to the fibre axis. They are joined together in pairs, a single base from one chain being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so that the two lie side by side with identical z-co-ordinates. One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. The hydrogen bonds are made as follows: purine position 1 to pyrimidine position 1; purine position 6 to pyrimidine position 6.

If it is assumed that the bases only occur in the structure in the most plausible tautomeric forms (that is, with the keto rather than the enol configurations) it is found that only specific pairs of bases can bond together. These pairs are: adenine (purine) with thymine (pyrimidine), and guanine (purine) with cytosine (pyrimidine).

In other words, if an adenine forms one member of a pair, on either chain, then on these assumptions the other member must be thymine; similarly for guanine and cytosine. The sequence of bases on a single chain does not appear to be restricted in any way. However, if only specific pairs of bases can be formed, it follows that if the sequence of bases on one chain is given, then the sequence on the other chain is automatically determined.

It has been found experimentally^{3,4} that the ratio of the amounts of adenine to thymine, and the ratio of guanines to cytosine, are always very close to unity for deoxyribose nucleic acid.

It is probably impossible to build this structure with a ribose sugar in place of the deoxyribose, as the extra oxygen atom would make too close a van der Waals contact.

The previously published X-ray data^{5,6} on deoxyribose nucleic acid are insufficient for a rigorous test of our structure. So far as we can tell, it is roughly compatible with the experimental data, but it must be regarded as unproved until it has been checked against more exact results. Some of these are given in the following communications. We were not aware of the details of the results presented there when we devised our structure, which rests mainly though not entirely on published experimental data and stereochemical arguments.

It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.

Full details of the structure, including the conditions assumed in building it, together with a set of co-ordinates for the atoms, will be published elsewhere.

We are much indebted to Dr. Jerry Donohue for constant advice and criticism, especially on interatomic distances. We have also been stimulated by a knowledge of the general nature of the unpublished experimental results and ideas of Dr. M. H. F. Wilkins, Dr. R. E. Franklin and their co-workers at King's College, London. One of us (J. D. W.) has been aided by a fellowship from the National Foundation for Infantile Paralysis.

J. D. WATSON
F. H. C. CRICK

Medical Research Council Unit for the
Study of the Molecular Structure of
Biological Systems,
Cavendish Laboratory, Cambridge.
April 2.

¹ Pauling, L., and Corey, R. B., *Nature*, 171, 346 (1953); *Proc. U.S. Nat. Acad. Sci.*, 39, 84 (1953).

² Furburg, S., *Acta Chem. Scand.*, 6, 634 (1952).

³ Chargaff, E., for references see Zamenhof, S., Braverman, G., and Chargaff, E., *Biochim. et Biophys. Acta*, 9, 402 (1952).

⁴ Wyatt, G. R., *J. Gen. Physiol.*, 36, 201 (1952).

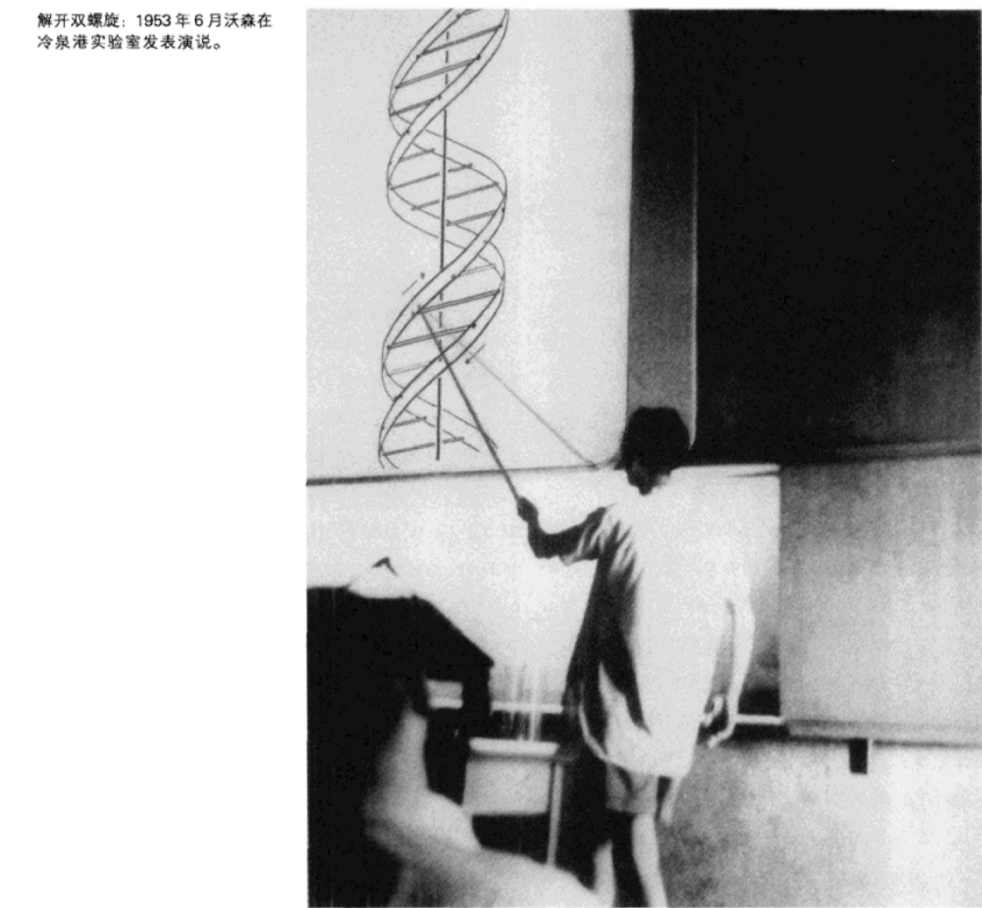
⁵ Astbury, W. T., *Symp. Soc. Exp. Biol.*, 1, Nucleic Acid, 66 (Camb. Univ. Press, 1947).

⁶ Wilkins, M. H. F., and Randall, J. T., *Biochim. et Biophys. Acta*, 10, 192 (1953).

小而美：沃森和克里克在《自然》杂志发表的短文，宣布他们发现了DNA的双螺旋结构，篇幅只有一页。同期也刊载了富兰克林与威尔金斯较长的文章。

我们在 4 月初将发现双螺旋的报告交给《自然》（Nature）杂志，并于 3 个星期后，也就是 1953 年 4 月 25 日刊出。同期还有两篇由富兰克林与威尔金斯执笔、篇幅较长的论文，两篇文章都认为我们的模型大致正确。6 月，我在冷泉港实验室的病毒研讨会上，首次就我们的模型提出报告。德尔布吕克亲自出马确保了我在最后一刻受邀发表演说。我带了在卡文迪什制造的三维模型，参加这场精英荟萃的会议，我使用的腺嘌呤-胸腺嘧啶碱基对模型是红色，而鸟嘌呤-胞嘧啶碱基对则是绿色。

54



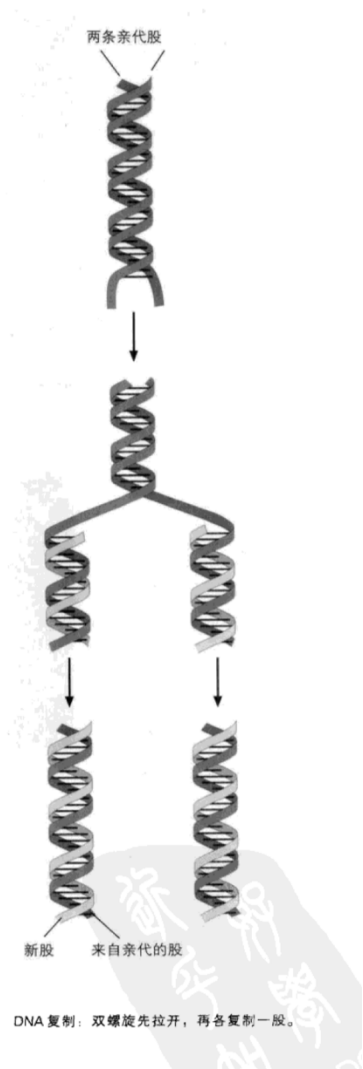
同样受到薛定谔那本著作感召的前物理学家本泽（Seymour Benzer）也出席了这场盛会。他立刻了解到我们的突破性发现，对于他的病毒突变研究具有重要意义。他发现现在他能够以“摩根的孩子们”在 40 年前研究果蝇染色体的方式，来研究一小段的噬菌体 DNA：他可以在基因图上标出突变位置，就好像当年研究果蝇的先驱们在染色体上标出基因的位置。本泽跟摩根一样，也得靠重组作用来产生新的遗传组合。不过摩根可以利用现成的重组机制，即果蝇性细胞的产物。本泽则得用两种不同的噬菌体同时感染一个的细菌宿主细胞，借此引发重组机制。这两种不同的噬菌体在重要区段有一个或多个

55

突变的差异。在细菌细胞里，重组作用（分子片段的交换）有时会发生在不同的病毒 DNA 分子之间，产生新的突变置换，即所谓的重组体（recombinant）。在普渡大学（Purdue University）的实验室里，本泽短短一年内就有惊人的丰富成果，他制作了噬菌体 rII 基因的图谱，显示出一连串的突变（遗传脚本上的所有错误）在病毒 DNA 上的线状排列方式。这种“生命语言”既简单又呈直线形状，就像书页上的一行文字。

对于我在冷泉港所发表有关双螺旋的演讲，匈牙利物理学家齐拉特（Leo Szilard）的反应跟学术比较无关。他问我：“你能申请专利吗？”有一阵子，齐拉特的主要收入来源是他和爱因斯坦共享的一项专利，后来他还试图和费米（Enrico Fermi）一起申请 1942 年他们在芝加哥大学所建造的核子反应炉专利，但并未成功。不过当时和现在一样，专利只授予有用的发明，当时没有人想到 DNA 有什么实际用途。于是，齐拉特建议，我们应该申请版权。

56

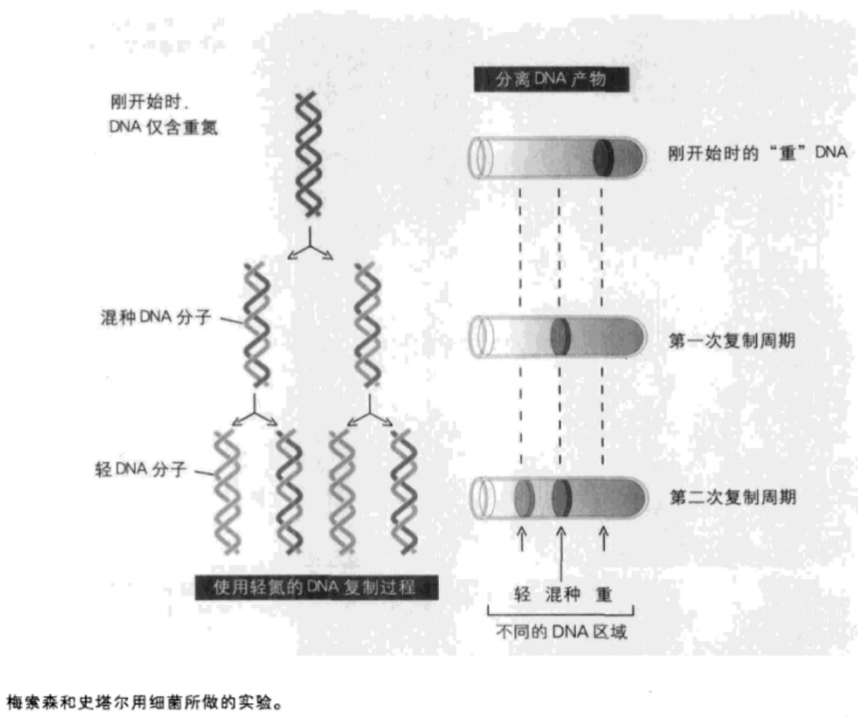


然而，在双螺旋的拼图中，还是少了一块：对于 DNA “像拉链一样拉开” 的复制方式，我们还需要以实验来证实。德尔布吕克就不相信我们的概念，他喜欢双螺旋的模型，但是担心把双螺旋拉开，会产生可怕的打结情况。5 年后，泡令以前的学生梅索森（Matt Meselson）及同样聪明的研究噬菌体的年轻学者史塔尔（Frank Stahl），发表了一个简单明了的实验结果，一举扫除了这类疑虑。

57

1954 年夏天，这两人在马萨诸塞州伍兹霍尔（Woods Hole）的海洋生物实验室结识，当时我在那里讲学。喝了不少马丁尼之后，两人决定他们应该搭档研究科学。他们的合作结果赢得了“生物学上最完美的实验”之称。

58



他们使用离心技术，按照重量的些微差异来分离分子。在离心旋转后，较重的分子会比较轻的分子落到更接近试管底部之处。氮原子（N）是 DNA 的成分之一，而且原本就有两种不同的形态，一种较轻，另一种较重，因此梅索森和史塔尔能借由标注 DNA 片段，追踪 DNA 在细菌里的复制过程。起初所有的细菌都在含有重氮的培养基里培养，让重氮进入 DNA 的双股上。然后他们从这个培养菌中取出样本，转移至仅含轻氮的培

59

培养基，确保下一次 DNA 在复制时，只会用到轻氮。如果 DNA 的复制如同我和克里克的预测，是将双螺旋拉开，然后各复制一股，那么实验所制造出的两个“子代”DNA 分子将会是混种，每个分子都包括一个重氮股（来自“亲代”分子的模板股），以及一个轻氮股（用培养基制造出来的新股）。梅索森与史塔尔的离心处理程序完全证实了这种预测。他们发现离心试管分离出三个明显的区段，分别是重一重、轻一轻，以及介于两者之间、先重后轻的样本。DNA 的复制方式跟我们的模型所预测的完全相符。

大约同一时间，酶学专家科恩伯格（Arthur Komberg）位于圣路易市华盛顿大学的实验室也在分析 DNA 复制过程的生化细节。科恩伯格发展出一种新的合成 DNA 的无细胞系统，从而发现了一种称做 DNA 聚合酶（polymerase）的酶，这种酶连接构成 DNA 的不同小单元，形成 DNA 骨干的化学链。科恩伯格发现 DNA 酶合成机制，是惊人的重要大事，因此在这些实验完成后不到两年，他就于 1959 年获得了诺贝尔生理医学奖的殊荣。在公布得奖后，科恩伯格拿着我在 1953 年带到冷泉港实验室的双螺旋模型复制品摄影留念。

60

直到 1962 年，克里克、威尔金斯和我才获得诺贝尔生理医学奖。在此 4 年前，富兰克林已经因卵巢癌而不幸早逝，享年 37 岁。那时克里克已和她成为亲密的同事与真正的好友。富兰克林动了两次手术，但都未能遏阻癌细胞蔓延，之后她曾回到剑桥，在克里克和他太太欧蒂莉（Odile）的照顾下疗养。

61

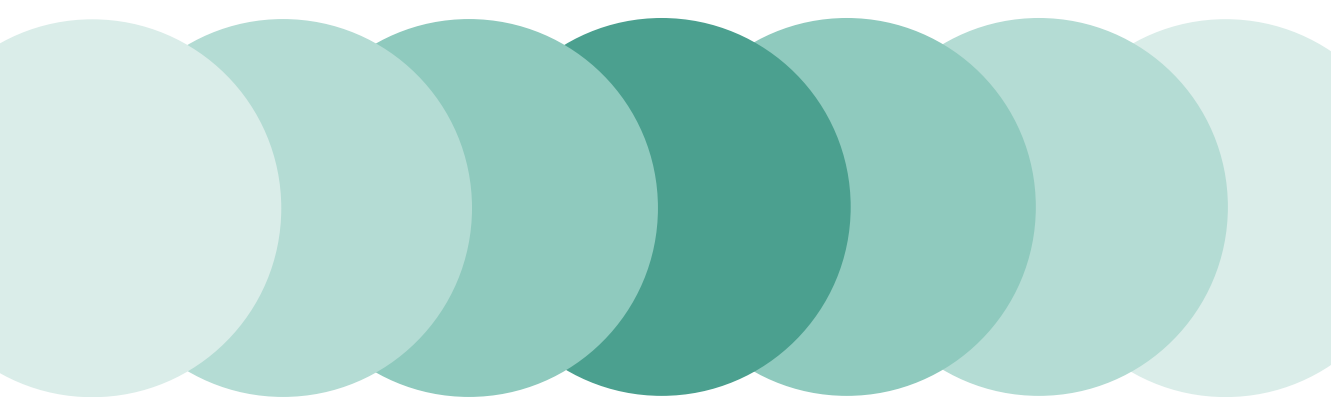
诺贝尔委员会向来不曾将单一奖项颁给超过三个人，倘若当时富兰克林还在人世，他们势必得面对要将这个奖颁给她或威尔金斯的问题。瑞典人可能会授予他们诺贝尔化学奖以解决这个难题。最后，化学奖颁给了佩鲁茨和肯德鲁，他们分别发现了血红素与肌红素的三维结构。

62

双螺旋的发现敲响了生机论的丧钟。认真的科学家，甚至有宗教信仰的科学家都已发现，要对生命有完整的了解，不需要寻找新的自然定律。生命不过就是物理与化学—尽管是极为精密复杂的物理与化学。接下来的工作是要找出，生命如何上演隐藏在 DNA 中的密码脚本。细胞的分子机器如何读取 DNA 分子携带的讯息？下一章将介绍，极度复杂的读取机制如何引导我们深入了解生命的形成。

63

《科学与方法》 彭加勒



第一章. 事实的选择

托尔斯泰（Tolstoi）在某处说明，“为科学而科学”在他看来为什么是荒谬绝伦的概念。由于事实的数目实际上是无限的，我们不能了解所有事实。选择是必要的。于是，我们可以让这种选择取决于我们好奇心的纯粹任性；让我们自己受功利的指导，即受我们实际的需要、尤其是道德的需要的指导岂不更好；与数我们行星上的瓢虫数目相比，我们难道没有更好的事去做？

1

很清楚，对托尔斯泰来说，功利一词并不具有事务人给予它的意义，而我们当代人中的大多数却信奉他们。对于工业应用，对于电或汽车的奇迹，他不仅不关心，而且甚至视其为道德进步的障碍；在他看来，功利只不过是能够使人变得更完善的东西而已。

2

依我之见，无论对这一理想还是那一理想，不用说都不会使我满意；我既不需要贪婪而自私的富豪统治，也不需要伪善而平庸的民主，这种民主只不过是忙于改头换面而已。假如在那里居住着智者，这些智者毫无好奇心，避免一切过度行为，那么他们不会死于疾病，而确实将死于无聊。但是，这是各人的好恶，不是我希望讨论的问题。

3

问题依然没有解决，还会引起我们的注意。如果我们的选择仅仅取决于任性或直接的功利，那么就不会有“为科学而科学”，其结果甚至无科学可言。但是，那是真的吗？无可否认，有必要作选择；不管我们的能动性如何，事实跑得比我们快，我们不能够捉住它们；当科学家发现一种事实时，在他身体一立方毫米内已经发生了数以亿亿计的事实。希望把自然包容于科学之内，不啻企图把整体放入局部之中。

4

但是，科学家相信，事实有等级可寻，在它们之中可做出明智的选择。他们是对的，因为要不然便不会有科学，而科学却存在着。人们只要睁眼看看，工业成就虽然为许多实际家促进，但是假若只有这些实际家，而没有下述一些人在前面做出的无私贡献，那么工业成就将会暗淡无光：这些人贫困潦倒，从未想到功利，而且具有与任性决然不同的指导原则。

5

正如马赫（Mach）所说，这些贡献使他们的后继者省却了思考的烦扰。仅仅着眼于直接应用的那些人，他们不会给后世留下任何东西，当面临新的需要时，一切都必须重新开始。现在，大多数人都不爱思考，当本能指导他们时这也许是侥幸的，最通常的情况是，当他们追求即时的、永远相同的目的时，本能指导他们比理性指导纯粹的智力更为得宜。但是，本能是惯例，如果思想不使之丰富，人类便不会比蜂蚁有更多的进步。于是，对于那些不爱思考的人来说，有必要去思考，并且因为这些人数量众多，所以必须使我们每一种思想尽可能经常有用，这就是为什么定律愈普遍，它也将愈珍贵。

6

这向我们表明，我们应当如何选择：最有趣的事实就是可以多次运用的事实；这些是具有一再复现的机会的事实。我们幸好出生在存在这样的事实的世界中。假定不是 60 种元素，而是 600 亿种，它们没有多少共同之处，另一些是稀有的，但均匀地分布着。那么，每当我们捡起一块新卵石时，它都十分可能由某种未知的物质构成；我们所知道的其他卵石的情况对它毫无用处；在每一个新对象面前，我们会像新生儿一样；照此办理，我们只能服从我们的任性或我们的需要。如果只有个体而无种族，如果遗传不能使子孙与他们的祖先相似，那么生物学家同样会茫然无措。

7

于是，哪些事实是很可能复现的事实呢？它们首先是简单的事实。很清楚，在复杂的事
实中，一千个条件通过机遇结合在一起，更何况只有一个可能的机遇能把它们重新结合
起来。但是，有简单的事实吗？如果有，如何认识它们呢？我们有什么把握确信，我们
设想是简单事物没有隐藏惊人的复杂性呢？我们所能说的一切就是，我们应该偏爱似乎
是简单的事实，而不选择那些我们肉眼辨认出不相似要素的事实。于是，只能是二者择
一：或者这种简单性是真实的，或者要素密切地混合起来，以至于无法区分。在第一种
情况下，存在我们重新遇到这个同一简单事实的机遇，无论它在整体上是纯粹的，还是
它本身作为要素进入复杂的复合体中。在第二种情况下，这种密切的混合同样比异质的
集合复现的机遇更多；机遇知道如何混合，而不知道如何分解，不知道如何用许多要素
建造秩序井然的大厦，在这个大厦内，某些事物可以区分，但必须特意做成。因此，看
来仿佛是简单的事实——即使它们并非如此——将更容易被机遇恢复。

8

正是这一点可以为科学家本能地采取的方法辩护，进一步为它辩护的也许是，经常复现
的事实对我们来说似乎是简单的，恰恰因为我们经常用到它们。

9

但是，简单的事实在哪里呢？科学家在两种极端情形下寻求它，其一是无穷大，其二是
无穷小。天文学家找到了它，因为星球之间的距离极其遥远，远到它们中的每一个都看
来好像是一个点，远到质的差别可以忽略不计，由于一个点比一个具有形状和质地的物
体简单。另一方面，物理学家找到了基元现象，他们想像把物体分割为无限小的立方
体，因为问题的条件在从物体的一点到另一点时经受了缓慢而连续的变化，在这些小立
方体的每一个间隔内，条件可以认为是恒定的。用同样的方式，生物学家本能地被诱使
认为细胞比整个动物更为有趣，结果证明他是明智的，由于对于能够认出细胞相似性
的人来说，属于各种各样的有机体的细胞比有机体本身更相像。而社会学家却大为困惑；
对他来说，要素是人，这太不相似了，太变幻莫测了，太反复无常了，一言以蔽之，太
复杂了；此外，历史从来也不会重演。那么，如何选择有趣的、可以重演的事实呢？方
法恰恰在于事实的选择；于是，首先需要着手创造方法，并且已想像出许多，由于没有
一个方法会硬充方法，于是社会学是方法最多而结果最少的科学。

10

因此，以规则的事实开始是合适的；但是，当规则牢固建立之后，当它变得毫无疑问之
后，与它完全一致的事实不久以后就没有意义了，由于它们不能再告诉我们任何新东
西。于是，正是例外变得重要起来。我们不去寻求相似；我们尤其要全力找出差别，在
差别中我们首先应选择最受强调的东西，这不仅因为它们最为引人注目，而且因为它们
最富有启发性。一个简单的例子将使我的思想更加清楚：设一个人想通过观察曲线的若
干点来确定曲线。只使自己关心眼前功利的实际家，将仅仅观察那些他为某些特目标而

11

需要的点。这些点不适当地分布在曲线上；它们在某些区域上密集，在另一些区域上稀疏，以致不可能用一条连续的线将它们连结起来，而且对于其他应用而言，它们是无用的。科学家将以不同的方式着手进行；当他希望为曲线本身而研究曲线时，他将使所观察的点规则地分布；当足够的点已知时，他将用一条规则的线连结它们，他就会得到完整的曲线。可是，为此他如何进行呢？如果他决定了曲线的端点，他没有停在这一端附近，而首先返回另一端；在这两个端点确定后，最有指导意义的点将处于中点，依此类推下去。

法则一经确立，我们首先就要寻找这个法则具有最大失效机遇的情况。在其他理由当中，对天文事实的兴趣和对地质经历的兴趣由此而来；当达到十分遥远的空间或十分久长的时间时，我们可能发现，我们有用的法则完全被推翻了，这些重大的失效有助于我们更好地观察、更好地理解可能发生在距我们较近之处，即发生在我们被召集生活和行动的世界的小角落中的微小变化。由于我们到与我们毫无关系的遥远国家去旅行，我们将更清楚地了解这个角落。

12

但是，我们应该达到的目的主要不在于弄清相似和差异，而是要认出隐藏在表观偏离下的类似性。特殊的法则乍看起来似乎是不一致的，然而通过较为仔细的观察，我们看到它们大体上相互类似；就实质而言，它们是不同的，但是就形式而言，就它们各部分的秩序而言，它们是相似的。当我们以这种倾向性观察它们时，我们将看到它们扩大并且有助于包容每一事物。这便造成了某些归结为完备的集合物的事实的价值，并且表明它是其他已知集合物的正确图像。

13

我将不再进一步坚持，但是这几句话已足以表明，科学家并非随意选择他所观察的事实。诚如托尔斯泰所言，科学家并没有去数瓢虫的数目，因为瓢虫无论可能多么有趣，其数目也是任意可变的问题。科学家力图把许多经验和许多思想浓缩在一个小容积内；这就是为什么一本物理学的小册子包含着如此之多的以往的经验，以及他预先已知其结果的多达千倍的可能的经验。

14

然而，我们迄今还只是看到问题的一个方面。科学家研究自然，并非因为它有用处；他研究它，是因为他喜欢它，他之所以喜欢它，是因为它是美的。如果自然不美，它就不值得了解；如果自然不值得了解，生命也就不值得活着。当然，我在这里所说的美，不是打动感官的美，也不是质地美和外观美；并非我小看这样的美，完全不是，而是它与科学无关；我意指那种比较深奥的美，这种美来自各部分的和谐秩序，并且纯粹的理智能够把握它。正是这种美给予物体，也可以说给予结构以让我们感官满意的彩虹般的外观，而没有这种支持，这些倏忽即逝的梦幻之美只能是不完美的，因为它是模糊的，总是短暂的。相反地，理智美可以充分达到其自身，科学家之所以投身于长期而艰巨的劳动，也许为理智美甚于为人类未来的福利。

15

因此，正是对这种特殊美，即对宇宙和谐的意义的追求，才使我们选择那些最适合于为这种和谐起一份作用的事实，正如艺术家从他的模特儿的特征中选择那些能使图画完美并赋予它以个性和生气的事实。我们无须担心，这种本能的和未公开承认的偏见将使科学家偏离对真理的追求。人们可以梦想一个和谐的世界，但是真实的世界把它丢弃得何其之远！永远活在人们心目中的最伟大的艺术家希腊人创造了他们的天空；它与我们的真实的天空相比，是多么蹩脚啊！

16

正因为简单是美的，正因为宏伟是美的，所以我们宁可寻求简单的事实、崇高的事实；我们时而乐于追寻星球的雄伟路线；我们时而乐于用显微镜观察极其微小的东西，这也是一种宏伟；我们乐于在地质时代寻找过去的遗迹，它之所以吸引人，是因它年代久远。

17

我们还看到，像对于有用的渴望一样，对于美的渴望也导致我们作相同的选择。因此，按照马赫的看法，这种思维之经济、劳力之经济是科学的永恒趋势，同时也是美的源泉和实际利益的源泉。我们所赞美的大厦是建筑师知道如何使手段与目的相称的大厦，在这样的大厦中，支柱似乎轻松地承载着加于其上的重量而毫无吃力之感，像厄瑞克忒翁庙的雅致的女像柱一样。

18

这种协调从何而来呢？在我们看来好像美的事物是其本身最适合于我们理智的事物，因此它们同时是这种理智最了解如何使用的工具，事情只不过是如此吗？或者，在这里存在着进化和自然选择的游戏吗？最能使他们的理想与他们的最高利益一致的民族消灭了其他民族并取而代之了吗？所有人都追求他们的理想，没有考虑后果，而这种探求导致一些人毁灭，另一些人称帝。人们被诱使相信它。假如希腊人征服了野蛮人，假如希腊思想的继承者欧洲人统治了世界，那是因为未开化的人爱好刺眼的颜色和聒耳的鼓声，这只能充塞他们的感官，而希腊人则爱好潜藏在感性美之下的理智美，正是这种理智美使理智变得可靠、有力。

19

毫无疑问，这样的凯旋会使托尔斯泰惊恐，他不乐意承认它确实是有用的。但是，这种 20
无私利的为真理本身的美而追求真理也是合情合理的，并且能使人变得更完善。我清楚地知道，这里存在着错误，思想者并非总是由此引出他能够在其中发现的宁静，甚至在这里也有品质恶劣的科学家。

因此，我们难道必须抛弃科学而仅仅研究道德吗？什么！当道德家从他们的受人尊敬的 21
地位跌落下去的时候，你认为他们本身是无可指责的吗？

[...]

第三章. 数学创造

数学创造的发生是一个应使心理学家强烈感兴趣的问题。它是一种活动，在这种活动 1
中，人类心智似乎从外部世界取走的东西最少，在这种活动中，人类心智起着作用，或者似乎只是自行起作用 and 凭靠自己起作用，以致在研究几何学思维的步骤时，我们可以期望达到人类心智的最本质的东西。

长期以来，人们已经懂得这一点，若干时间之前，由莱桑（Laisant）和费尔（Fehr） 2
编辑的《数学教学》杂志开始调查不同数学家的思想习惯和工作方法。当那项调查的结果发表时，我已写完了我的这篇文章的主要轮廓，因此我不可能利用它们，我只想说明，大多数证据确认了我的结论；我没有说全部证据，因为当诉诸全体投票时，不可能希望会取得一致同意。

最初的事实应使我们感到惊奇，或者更确切地讲，如果我们还不这样习惯它，它就会使 3
我们感到惊奇。有人不理解数学，这是怎么发生的呢？既然数学只求助于诸如所有正常心智都能接受的逻辑规则，既然数学的证据建立在对一切人都是共同的原理的基础上，既然没有一个不发疯的人会否认这一点，那么在这里为何出现如此之多执拗的人呢？

并非每一个人都能够发明，这绝不是难以理解的。并非每一个人都能够记住一次学到的证明，这也可以略而不提。但是，当把数学推理加以说明之后，并非每一个人都能够理解它，我们想想这件事，似乎是十分奇怪的。可是，大多数人只能够相当吃力地仿效这一推理：这是不可否认的，中学教员的经验确实不能否定这一点。

4

进而要问：在数学中为何也可能出错？健全的心智不应当犯逻辑谬误之罪，可是有一些十分敏锐的心智，他们在诸如发生在日常的生活活动中的简短推理方面未犯错误，但是却不能毫无错误地仿效或重复数学证明，这些证明虽则较长，但毕竟只是完全类似于他们容易做出的简短推理的堆积。我们还需要补充说数学家本人也不是一贯正确的人吗？

5

答案对我来说是显而易见的。设想一个长系列的三段论，第一个的结论是下一个结论的前提：我们将能够理解这些三段论的每一个，在从前提向结论的过渡中，我们没有处于受骗的危险之中。但是，我们在某一时刻遇到一个命题作为一个三段论的结论，在过去一些时间后，我们又偶然地重新遇到它却作为另一个三段论的前提，在这两个时刻之间，这个链条的几个环节将展现出来；这样一来，可能会发生下述情况：我们忘掉了这个命题，或者还要糟糕，我们忘掉了它的意义。因此，可能碰巧，我们可以用一个稍微不同的命题代替它，或者在保持同一阐述时，我们都赋予它以稍微不同的意义，我们面临的错误就是由此而来。

6

数学家常常使用法则。他当然以证明这个法则开始；当这个证明在他的记忆中还很鲜明之时，他完全理解它的意义和它的关系，他没有陷入改变它的危险中。可是后来，他相信他的记忆，并进而仅仅以机械的方式应用它；不过，如果他的记忆使他失望，他就会统统把它用错。举一个简单的例子，这就像我们之所以有时在运算中出差错，是因为我们忘记了我们的乘法表。

7

照此看来，数学的特殊才能也许仅仅是由于十分可靠的记忆或惊人的注意力。它是一种类似于玩惠斯特牌的人的能力，玩牌人记着所玩的牌；或者再进一步，它类似于棋手的能力，棋手能够想像数众多的组合，并把它们记在心里。每一个高明的数学家都应该是高明的棋手，反过来也是这样；同样地，他也应该是一位高明的计算家。不用说，这有时会出现；例如，高斯（Gauss）同时是天才的几何学家和十分早慧的、精确的计算家。

8

但是也有例外；或者确切地讲，我弄错了；在例外不多于常规的情况下，我不能把它们叫做例外。相反地，正是高斯，才是一个例外。至于我自己，我必须承认，即使让我做

9

加法，我也绝对不可能不出错。按同样的方式，我无非是一位蹩脚的棋手；我察觉到，采用某种走法，我会陷于某种危险；我逐一审查了几种其他走法，因另外的理由放弃了它们，而最后我走了第一次考察的步子，其间我忘记了我曾经预见到的危险。

换句话说，我的记性不是不好，但它不足以使我成为一位高明的棋手。在一段困难的数学推理中，最高明的棋手也会晕头转向，可是我为什么不会失败呢？显然，这是因为一般的推理步骤引导着我。数学证明不是三段论的简单并列，它是按某种秩序安置三段论，这些要素安置的顺序比要素本身更为重要。如果我具有这种秩序的感觉，也可以说这种秩序的直觉，以便一眼就觉察到作为一个整体的推理，那么我已无须再害怕我忘记这些要素之一，因为它们之中的每一个都在排列中得到它的指定位置，而且不要我本人费力记忆。

10

于是，在我看来，在重复已学到手的推理时，好像我能够发明它。这往往只是一种错觉；但是，即便如此，即便我本人没有创造它的天赋，就我重复它而言，我本人也是重新发明它。

11

我们知道，对数学秩序的这种感觉、这种直觉，使我们推测隐藏的和谐与关系，但它并不是每一个人都具有的。有些人或者没有这种如此难以定义的微妙的感觉，或者没有超常的记忆力和注意力，因此他们将绝对不可能理解较高级的数学。这种人是多数。另一些人仅略有这种感觉，但是他们具有非同寻常的记忆力和高度的注意力这样的天赋。他们将一个接一个地记住各种细节；他们能够理解数学，有时也能应用，但是他们不能创造。最后，还有一些人或多或少地具有所提到的特殊的直觉，因此，即使他们的记忆力毫无非同寻常之处，他们却不仅能够理解数学，而且可以成为创造者，并试图做出发明，其成功之大小取决于这种直觉在他们身上发展的程度之大小。

12

数学创造实际上是什么呢？它并不在于用已知的数学实体做出新的组合。任何一个人都会做这种组合，但这样做出的组合在数目上是无限的，它们中的大多数完全没有兴趣。创造恰恰在于不做无用的组合，而做有用的、为数极少的组合。发明就是辨别、选择。 13

我以前已说明过如何进行这种选择；值得加以研究的数学事实是这样一些事实，通过它们与其他事实的类比，能够导致我们了解数学定律，正像实验事实导致我们了解物理学定律一样。它们是向我们揭示其他事实之间意料之外的关系的事实，我们虽然早就知道其他事实，但错误地认为它们彼此之间是陌生人。 14

在所选择出来的组合中，最富有成果的组合常常是从相距很远的领域取出的要素形成的组合。我的意思并不是说，把尽可能相异的对象汇集到一起就足以做出发明；这样形成的大多数组合都毫无成效。但是，它们之中的某些极稀有的组合却是最富有成果的。 15

我说过，发明就是选择；但是，这个词也许不完全精密。它使人想起采购员，在他面前陈放着大量的货样，他逐个审视它们，以便做出选择。这里的货样多得不可胜数，他的整个一生也不足以把它们审查完。事情的实际情况并不是这样。无成效的组合甚至不出现在发明家的心智中。除了他抛弃的一些组合——尽管它们也在某种程度上具有有用组合的特征——之外，在他有意识做出的组合的范围内，仿佛实际上从来也没有无用的东西。这一切就好像发明家是一位复试主考人那样进行，他只询问已经通过初试的候选人。 16

不过，我迄今所说的都是在读几何学家的著作时可以观察到或可以猜测到的东西，当然要动脑筋读。 17

现在，比较深刻地洞察一下，看看在数学家的心灵本身中发生着什么。关于这一点，我相信，回忆一下我自己的心灵是最好不过的了。但是，我将只限于讲述我是如何写出我的第一篇关于富克斯（Fuchs）函数的论文的。我请来读者原谅；我正准备使用一些专门的表述，但是读者不要害怕它们，因为没有人强迫他理解它们。例如，我将说，我是在这样的情况下找到了这样一个定理的证明的。这个定理将有一个不规范的名字，许多人都不知道它，不过这并不重要；心理学家感兴趣的不是这个定理，而是发明这个定理的情况。 18

我曾用了 15 天时间力图证明，不可能存在任何类似于我后来称之为富克斯函数的函数。我当时一无所知；我每天独自一人坐在我的办公桌前，待一两个小时，尝试了大量的组合，什么结果也没有得到。一天夜晚，我违反了我的习惯，饮用了黑咖啡，久久不能入睡。各种想法纷至沓来；我感到它们相互冲突，直到成对地联结起来，也就是说，造成了稳定的组合。到第二天早晨，我已确立了一类富克斯函数的存在，它们来源于超几何级数；我只是必须写出结果，仅花费了几个小时。 19

接着，我想用两个级数之商把这些函数表示出来；这种想法完全是有意识的和深思熟虑的，与椭圆函数的类比指导着我。我问我自已，如果这些级数存在，它们必须具有什么性质，我毫无困难地获得了成功，形成了我所谓的西塔（ Θ ）富克斯函数。 20

恰恰在这时，我离开了我当时居住的卡昂，参加了矿业学校主办的地质考察旅行。沿途的景致使我忘都了我的数学工作。到达库唐塞后，我登上公共马车去某个地方。当我的脚踩上踏板的一刹那，一种想法涌上我的心头，即我通常定义富克斯函数的变换等价于非欧几何学的变换，在我先前的思想中，似乎没有任何东西为它铺平道路。我没有证实这一想法；我坐在公共马车座位上，此时不可能有时间证实，而是继续进行已经开始的谈话，但是我感到它是完全确定的。返回卡昂，为了问心无愧起见，我抽空证实了这一结果。 21

然后，我把注意力转向一些算术问题的研究，表面看来没有取得许多成果，也没有想到它们与我以前的研究有什么关联。我为我的失败而扫兴，于是前往海滨消磨几天时间，想一些其他事情。一天早晨，当我正在悬崖旁散步时，一种想法浮现在我的心头，即不定三元二次型的算术变换等价于非欧几何学的变换，它正好具有同样的简洁、突然和即时确定的特征。

22

回到卡昂以后，我深思了这个结果，推导出一些结论。二次型的例子向我表明，存在着富克斯群，这些群不同于与超几何级数对应的群；我看到，我可以把 6 富克斯级数理论应用于这些群，从而存在着一些富克斯函数，它们不同于当时我知道的、从超几何级数得到的函数。我自然而然地让我自己开始构造这一切函数。我向它们发起了系统的攻击，一个接一个地攻克了所有的外围工事。有一处外围工事无论怎样进攻还是岿然不动，只有攻陷它才能占领整个阵地。但是，我的全部努力乍看起来只是使困难更清楚地呈现在我的面前，事情实际上就是这样。所有这些工作完全是有意识的。

23

紧接着，我要去瓦莱里昂山服军役；这样，我便从事截然不同的职业。一天，我正沿大街行走，曾经阻碍我的困难的答案突然呈现在我的面前。我无法立即下功夫深入探讨它，只是在服役结束后，我才再次着手处理这个问题。我已有全部要素，只需排列它们和整理它们。就这样，我一举写出了我的最后的论文，丝毫没有感到什么困难。

24

我只限于举这一个例子；多举也无用。关于我的其他研究工作，我可以讲出类似的情况，其他数学家在《数学教学》杂志中所给出的观察意见只会确认它们。

25

起初，最为引人注目的是顿悟的显现，这是先前长期无意识工作的明显征兆。在数学发明中，这种无意识工作的作用在我看来似乎是不可否认的，在其他不大明显的情况下，也可以发现它的痕迹。当人们研究一个艰难的问题时，在第一次进攻中往往达不到良好的效果。于是，人们或长或短地休息一下，坐下来重新工作。在起初半小时内，像以前一样，什么也找不到，然后一个决定性的想法冷不防地浮现在脑海。可以说，有意识的工作之所以比较富有成效，是因为它被打断了，休息使心智生气勃勃、精力饱满。但是，很可能是这样：这种休息充满了无意识的工作，这种工作的结果此后向几何学家揭示出与我所举的例子恰好一样的东西；只是这种揭示不是在散步或旅行时发生，而是在有意识的工作期间发生的，不过它与有意识的工作无关，而有意识的工作至多起了兴奋剂的作用，犹如它是一种刺激物一样，它激发了在休息时已经达到的结果，但依然是无意识的，尽管它采取了有意识的形式。

26

关于这种无意识工作的条件，还可以评论如下：如果一方面有意识的工作期间在它之前，另一方面有意识的工作期间又尾随其后，那么它就是可能的，而且肯定才是富有成果的。这些突如其来的灵感（已经引用的例子充分证明了这一点）除非在自愿的努力若干天之后，否则就不会出现，尽管这些努力好像毫无成果，从中也没有得出什么好东西，而且所采取的路线似乎是完全误入歧途的。可是，这些努力并不像人们设想的那样一点成效也没有；它们驱动着无意识的机器，没有它们，无意识的机器就不会运转，也不会生产出任何东西。

27

在灵感之后，对于第二个时期的有意识的工作之需要，还比较容易理解。必须使灵感的结果成形，从它们之中推导出直接的结论，排列它们，用语言表达出证明，而尤其必须加以证实。我已经谈过伴随灵感的绝对确实性的感觉；在所举的案例中，这种感觉不是骗子，而且通常它的确不会骗人。但是，不能认为这个准则没有例外；这种感觉有时显得很逼真，也往往会欺骗我们，只有当我们企图进行证明时，我们才会发现这一点。当我早晨或晚上躺在床上处于半睡眠状态时，常有一些念头浮想联翩，我特别注意这一事实。

28

29

实际情况的确是这样；现在，对于这些念头强加于我们的思想加以评论。无意识的自我，或者如我们所说的阈下的自我，在数学创造中起着重要的作用；这可由我们所说的情况中得出。但是，通常认为阈下的自我是纯粹自动的。现在，我们已看到，数学工作并非仅仅是机械工作，它不能用机器完成，无论如何不能用机器圆满地完成。这不只是应用法则的问题和按照某一固定的规律做出许多可能的组合的问题。这样得到的组合为数极多，但都是无用的和拖累的。发明者的真正工作就在于在这些组合中进行选择，以便消除无用的组合，或者更确切地讲，避免构造它们的麻烦，而且必须指导这种选择的法则应极其精巧、极其微妙。要精确地陈述它们几乎是不可能的；与其说它们可以被阐述出来，倒不如说它们可以被感觉到。在这些条件下，如何设想能够机械地应用它们的筛子呢？

30

第一个假设现在呈现出来：阈下的自我绝不劣于有意识的自我；它不是纯粹自动的；它能够识别；它机智、敏锐；它知道如何选择，如何凭直觉推测。我说什么呢？它比有意识的自我更清楚地知道如何凭直觉推测，因为它在有意识的自我失败了的地方获得成功。一句话，阈下的自我难道不比有意识的自我优越吗？你认识这个问题的充分重要性吧。布特鲁（Bouttoux）在最近的讲演中表明，它如何出现在十分不同的场合中，对它作肯定的回答会得出什么结论。（也可参见同一个作者所著的《科学与宗教》第 313 页及其以后各页）

31

这种肯定的回答是因我刚才给出的事实迫使我们做出的吗？就我自己来说，我承认我不愿意接受它。那么，让我们重新审查一下那些事实，看看它们是否与另外的说明相容。

32

可以肯定，在无意识的工作延续了一段时间之后，以一种顿悟的形式呈现在我们心智中的组合，一般说来是有用的、多产的组合，这似乎是初次印象的结果。由此是否可以得出，在通过微妙的直觉推测这些组合也许是有用的时候，阈下的自我只不过是形成了这些组合呢，或者更确切地讲，阈下的自我形成了许多缺乏兴趣的、依然是无意识的其他组合呢？

按照第二种方式观察阈下的自我，所有的组合都是由于阈下的自我的自动作用而形成的，不过只是有趣的组合才能闯入意识领域。这还是很神秘的。在我们无意识活动的无数产物中，只有一些被召唤通过阈限，其他的依旧在阈限之下，其原因何在呢？这种特权是简单的偶然性给予的吗？显然不是；例如，在我们感官的所有刺激物中，只有最强烈的才能引起我们的注意，除非由于其他原因把我们的注意力吸引到不甚强烈的刺激物。更一般地讲，有特权的无意识的现象，即容许变成有意识的现象，就是直接或间接最深刻地影响我们情感的现象。

33

关于数学证明，它似乎只能使理智感兴趣，当我们看到它合乎时宜地乞灵于情感时，可能会感到诧异。这也许是忘记了数学的美感、数和形的和谐感、几何学的雅致感。这是一切真正的数学家都知道的真实的审美感，它的确属于情感。

34

现在，被我们赋予美和雅致这一特征的、能在我们身上产生一种审美情感的数学实体是什么呢？它们是这样的实体：它们的要素和谐地配置，以致心智能够毫不费力地包容它们的整体，同时又能认清细节。这种和谐同时是我们审美需要的满足以及支持和指导心智的助手。与此同时，一个秩序井然的整体摆在我们的双目之下，促使我们预见数学定律。现在，正如我们上面说过的，唯一值得吸引我们的注意力的、能够是有用的数学事实，是可以教导我们数学定律的数学事实。于是，我们便达到下述结论：有用的组合恰恰是最美的组合，我意指最能使这种特殊情感着迷的组合，所有的数学家都知道这种情感，但是对它的亵渎却达到如此愚昧的地步，以致常常被诱导嗤笑它。

35

此外还发生了什么呢？在由阈下的自我盲目形成的大量组合中，几乎所有的都毫无兴趣、毫无用处；可是正因为如此，它们对审美感也没有什么影响。意识永远不会知道它们；只有某些组合是和谐的，从而同时也是有用的和美的。它们将能够触动我刚才所说的几何学家的这种特殊情感，这种情感一旦被唤起，便会把我们的注意力引向它们，从而为它们提供变成有意识的机会。

36

这只是一个假设，可是在这里有可以确认它的观察材料：当一个顿悟抓住数学家的心智时，它碰巧往往不会欺骗他，但是正如我说过的，它有时碰巧也经受不住证实的检验；好了，我们几乎总是注意到，这种人为的观念倘若是真实的，它就会使我们对于数学雅致的自然情感得到满足。 37

因此，正是这种特殊的审美感，起着我已经说过的微妙的筛选作用，这充分地说明，缺乏这种审美感的人为什么永远不会成为真正的创造者。 38

可是，困难并没有完全消失。有意识的自我严格地受到限制，至于阉下的自我，我们不知道它的限制，这就是为什么我们不太勉强地假定，它在短时间内能够做出的各种组合比有意识的自我整个一生能够完成的组合还要多。可是，这种限制是存在的。阉下的自我能够形成所有可能的组合，其数目之多会吓坏想像力，这可信吗？不管怎样，这似乎是必要的，因为假使它仅仅产生一小部分这些组合，假使它随意地构造它们，那么我们在它们中能够选择的、可以发现的有效的组合的机遇就会很少。 39

有意识的工作总是在所有富有成果的无意识的劳动之前，也许我们应当在有意识的工作的初期寻求说明。请允许我粗略地做一比较。把我们组合中的未来要素想像为伊壁鸠鲁（Epicurus）的带钩原子吧。在心智完全休眠时，这些原子是不动的，也可以说，它们钩住了墙壁；因此，这种完全的休息可以无限地延续下去，没有相遇的原子，从而在它们之间没有任何组合。 40

另一方面，在表面的休息和无意识的工作期间，它们中的某些原子脱离墙壁并开始运动。它们通过圈住它们的空间（我正要说明房间）向各个方向发出，犹如一群蚊虫，或者你如果喜欢学术上的比喻的话，它们就像气体运动论中的气体分子。于是，它们的相互碰撞可以产生新的组合。 41

初期的有意识的工作有何作用呢？显而易见，它使这些原子中的某一些可以运动，它把它们从墙壁上卸下来并使它们自由活动。我们认为，我们之所以无效，是因为要把这些要素汇集起来，就要使它们以无数不同的方式运动，是因为我们未找到满意的集合。但是，在通过我们的意志强使这些原子松散并重新组合之后，它们就不会返回到它们的初始状态。它们自由地继续它们的舞动。

42

好了，我们的意志并非随意地选择它们；它追求一个完全确定的目的。因此，使之可动的原子并非无论什么样的原子；它们是我们合理地期望从中得到所要求的答案的原子。于是，使之可动的原子经受碰撞，从而使它们进入它们之间的组合，或者它们与在它们的进程中撞击到的其他静止的原子形成组合。我再次请求原谅，我的比喻是很粗糙的，但是我不知道如何用其他方法使我的思想得以理解。

43

不管情况可能如何，有形成机遇的组合仅仅是这样一些组合，即其中的要素至少有一个是由我们的意志自由地选择出的那些原子之一。现在，很明显，在这些组合中，可以找到我所谓的有效的组合。也许这是一种减少原来假设中的悖论的途径。

44

还有另外的观察意见。我们在那里仅应用固定的法则，全部做出了有点冗长的运算，而无意识的工作永远也不会碰巧为我们提供这个结果。我们可能以为，完全自动的阈下的自我特别适合这类工作，这在某种意义上是完全机械的。也许我们夜晚思考乘法因子，我们醒来时必定希望找到预先做出的乘积，或者还希望代数运算——例如证实——可以无意识地被做出来。正如观察所证明的，根本没有这种事。从这些灵感中，从无意识的工作的成果中，人们可望得到的一切只是这样的运算的出发点。至于运算本身，必须在紧随灵感之后的有意识的工作的第二个期间完成它们，人们在此期间证实这一灵感的结果，推出它们的结论。这些运算的法则是严格的和复杂的。它们要求纪律、注意力、意志，因而要求意识。相反地，在阈下的自我中，则是由我所说的自由统治着，倘若我用自由这个名称称呼单纯缺乏纪律和源于机遇的无序的话。不过，这种无序本身却容许未曾料到的组合。

45

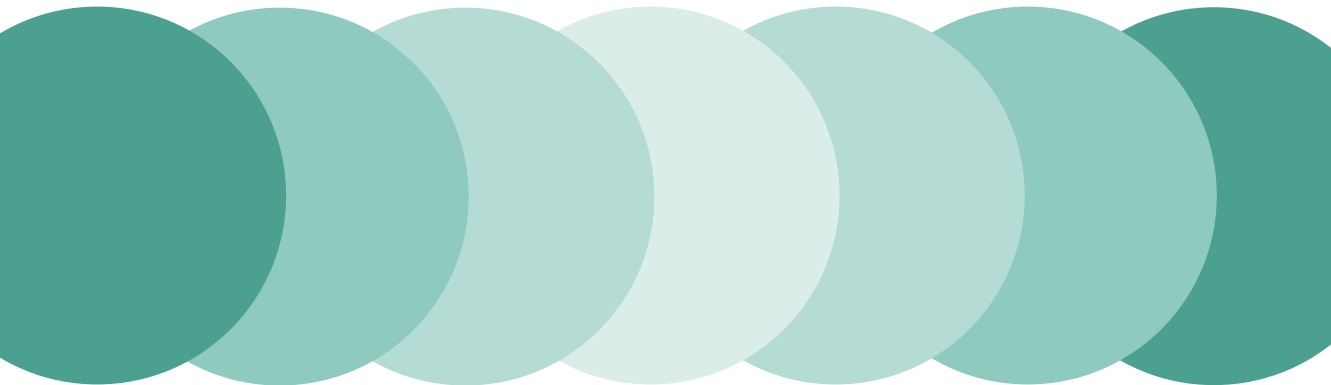
我将做最后的评论：当我在上面发表某些个人的观察材料时，我谈到我不由自主地工作时的令人激动的夜晚。这样的情况是经常发生的，不过大脑的反常活动不必要由我曾提到的物质刺激物引起。在这样的案例中，人们在他自己的无意识的工作中呈现出的东西似乎可以部分地被过分激动的意识所领悟，可是这并不改变无意识的工作的本性。于是，我们不甚明确地理解了两种机制——如果你愿意的话，也可以说是两种自我的工作方法的区别是什么。而且，在我看来，我从中能够做出的心理学观察似乎在它们的总轮廓上确认了我提出的观点。

46

的确，这些观点需要确认，因为不管怎样，它们是而且依然是真正的假设：对这些问题

47

《追寻记忆的痕迹》 埃里克·坎德尔



第四章. 每次一个细胞

1955 年秋天，为进一步学习有关脑高级功能的知识，我来到哥伦比亚大学 Harry Grundfest 教授的实验室，开始了在我医学专业训练阶段为期六个月的进修。我并没有奢望就此开始我全新的事业或者是另外一种新的生活方式。但与 Grundfest 教授的第一次面谈就使我陷入了沉思。在那次谈话中，我表达了自己心理分析方面的兴趣以及希望研究有关人脑中与自我（ego）、本我（id）、超我（superego）相对应的脑区的感望。

我对于探索这三个心理“成分”的生理结构基础的好奇心，始于弗洛伊德的一张图表。这张图表是弗洛伊德从 1923 年到 1933 年这十年间总结的他关于心理结构的新理论（图 4.1）。其中保留了他早期对于意识与无意识的心理功能之间的区分，但他增加了 3 个相互影响的心理主体：自我、本我和超我。弗洛伊德认为意识就好像浮在海面的冰山一角，而无意识则为海面之下的冰山主体。相对这个分界面而言，一种潜在的心理功能埋藏越深，意识就越难对其掌控。弗洛伊德把意识比做整个心理状态的特殊表面。心理分析提供了一种挖掘埋藏在这个表面之下的各个心理层次，包括人格的潜意识及无意识成分的可能性。

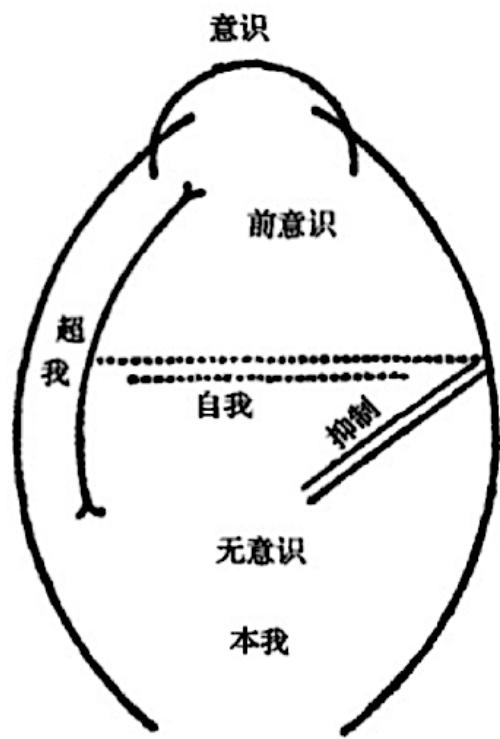


图 4.1 弗洛伊德的结构理论。弗洛伊德设想人具有三个主要的心理结构：自我，本我以及超我。自我包含有一个意识成分（即有知觉的意识），负责接收感觉信息，并直接与外界相联系；自我同时也包含有一个前意识成分，即一种与意识相连的无意识加工。自我的前意识成分通过压抑与其他防御机制抑制本我的本能冲动，其中包括性与攻击性冲动。自我也同时对于超我的压力进行反应，超我则是一个巨大的无意识的价值载体。虚线表示其所区分的加工是完全无意识的，但又随时与意识相通。

这个理论本身其实并不是一个全新的开创。真正赋予这个理论模型以戏剧性表现力的是其附带的三个相互作用的心理结构成分：自我、本我以及超我。弗洛伊德并没有从意识或者无意识的角度来定义这三个人格构成的基本成分，相反，他从认知模式、研究目标以及功能三个方面对它们加以区分。

根据弗洛伊德的结构理论，自我（我或自述者）是一个同时具有意识与无意识成分的
4
执行主体。通过视觉、听觉、触觉等感觉器官，其意识成分对外部世界直接进行反应，并
且与感知、推理、行动计划、快乐与痛苦的经验直接相关。就如 Hartman、Kris 和
Lowenstein 所强调的那样，自我当中这个调解冲突的成分按照逻辑行事，并且能够以
现实的原则来指导行为。而自我的无意识成分则与心理防御有关——压抑、拒绝、升
华，这是自我对于本我（人格的第二个心理机构）中本能的性冲动和攻击性进行抑制、
介导与重定向的机制。

5
本我（它），是弗洛伊德从德国哲学家尼采那儿借来的术语，它完全是无意识的。它不受
逻辑与现实原则的左右，却遵循唯乐主义的原则——追求快乐而避免痛苦。根据弗洛伊
德的观点，本我代表婴儿的原始心理，并且是唯一的自出生以来就出现的心理构成成
分。超我是第三个统治者，是无意识的道德主体，是我们良心与理想的化身。

6
尽管弗洛伊德本意并没有想要把这张人格构成图表看作一个心理的神经解剖图谱（主要
是这三个心理机构所代表的部分），但是它却启发我去寻找大脑中主管人格的三个心理结
构的具体区域，就像它也曾经激起过 Laurence Kubie 与 Mortimer Ostow 的好奇心一
样。这两位心理分析学家对于生物学方面热忱的兴趣激励着我与 Grundfest 教授一起进
行研究。

7
Grundfest 教授仔细聆听了我的这些不切实际的想法。如果他是另外的生物学家，我也
许早就被当成一个天真而又误入歧途的医学学生给打发走了。可 Grundfest 教授却不
同。他解释道，以当时脑科学的现状和条件，想要搞清楚弗洛伊德的人格结构的生理基
础还很不现实。相反，我们只能先以每次一个细胞的策略来研究大脑，以期最终找到答
案。

8
每次一个细胞！我一下子觉得这些话是这样地令人沮丧。怎么可能通过研究单个脑细胞
来探讨行为的无意识动机或者是有意识行为之类的心理分析问题呢？但是随着谈话的深
入，我突然想起来在 1887 年，当弗洛伊德刚开始他自己的事业的时候，也曾立志通过
每次一个脑细胞的策略来解决心理世界的谜团。弗洛伊德作为一个解剖学家，开始研究
单个的神经细胞。他预期神经细胞是大脑的基本组成部分，这即是后来被称为神经元理
论的主要观点。随后，也就是当弗洛伊德开始在维也纳治疗精神疾病患者的时候，他做
出了有关无意识心理成分的伟大发现。

而我现在则受到鼓励从另外一个方向来解决同一个问题，即从自上而下的心理结构理论的兴趣，转移到自下而上的神经系统神经细胞的信号因素研究，探索神经细胞的复杂内部世界。Harry Grundfest 将我引进了这个全新的世界。

9

[...]

第二十八章. 意识

精神分析学使我们了解了无意识的几种形式。像其他脑科学研究者一样，一直以来我最感兴趣的也是大脑最大的问题：意识的本质是什么？各种无意识心理加工如何与有意识的思想相联系？在第一次与 Grundfest 讨论弗洛伊德自我本我超我的意识理论时，我提出的主要问题就是，意识与无意识加工的大脑表征有什么分别？然而直到最近，新的心理科学才发展到可以用实验来研究这个问题。

1

为了得到更多意识的新发现，新的心理科学首先要将意识作为一种知觉状态或者明显的选择性注意进行操作定义。对人类来说，意识的核心是自我知觉，知道自己正在感知。因此意识是一种能力，不单单是体验快乐和痛苦，而是参与并根据这些体验作出反应，在我们当前的生活和整个人生中都是如此。意识注意使我们忽视无关的体验，集中在眼前的关键事件中，快乐或痛苦、天空的蓝色、Vermeer 画中冷色调的光线或沙滩的美丽与宁静。

2

到目前为止，科学面临的最富挑战性的任务就是意识问题。这一点在 Francis Crick 的研究经历中表现得最为明显。Crick 是 20 世纪后期最有创新精神和影响力的生物学家，在他第二次世界大战后首次进入生物学领域时，有两个科学无法回答的问题：生物如何与非生物世界区别？意识的生物学本质是什么？Crick 首先针对第一个问题研究了基因的本质。用了两年时间，他和 Jim Watson 解开了这个谜。正如 Watson 后来在《DNA 双螺旋》(The Double Helix) 中写道：“午餐的时候，Francis 冲进 Eagle 餐厅，高声宣告我们已经发现了生命的奥秘”，在随后的 20 年中，Crick 破解了基因密码：DNA 如何产生 RNA，RNA 又如何制造蛋白质。

3

1976 年，60 岁的 Crick 又开始攻克下一个科学难题：意识的生物学基础。这次他与年轻的计算神经科学家 Christof Koch 一起，将余生都致力于这个问题的研究。同样，Crick 带来了他特有的智慧和乐观，再次使这个已经被遗忘的问题成为科学界的热点，但是经过将近 30 年的努力，Crick 还只是向前迈进了一小步。实际上意识研究的科学家和哲学家都发现意识高深莫测，似乎永远无法用自然法则进行解释。他们问道，一个生物系统，一台生物机器如何能感觉世界，更难的是如何自我思考？

4

这些并不是新问题。早在公元前 5 世纪，希波克拉底和雅典学院的创始人哲学家柏拉图就曾经提出过这样的问题。希波克拉底是第一位摒弃古老迷信思想的医生，基于临床观察，他提出心理加工是大脑的加工。柏拉图反对观察法和实验法，认为我们能够思考的唯一原因，就是我们有一个非物质的不朽的灵魂。灵魂不朽的观点与基督教的思想一致，得到 13 世纪神学家 St. Thomas Aquinas 的进一步完善。Aquinas 和后来的宗教思想家认为灵魂作为意识的发起者，不仅与身体是分离的，而且有一个神圣的来源。

5

17 世纪，笛卡尔提出人类有双重本质，即由物质构成的身体和由精神世界灵魂构成的意识。灵魂接收来自身体的信号，并能影响身体活动，但是灵魂本身是由不的物质构成，而且是人类独有的物质。笛卡尔的思想意味着，饮食、散步、感知觉、食欲、激情甚至简单的学习都是大脑发出的，可以进行科学的研究；意识则是神圣的，决不是科学的研究对象。

6

值得注意的是，这种 17 世纪的观点一直保持到 20 世纪 90 年代。维也纳出生的科学哲学家 Karl Popper 和获诺贝尔奖的生物学家 John Eccles 也支持生命二元论思想。他们同意 Aquinas 灵魂独立于大脑的不朽论。英国科学哲学家 Gilbert Ryle 认为灵魂的本质是“机器中的幽灵” (the ghost in the machine)。

7

现在很多研究意识的哲学家已经都同意，意识来自物质大脑，但是在是否可以用科学的方法进行研究上还存在争议。有些人，像 Colin McGinn，相信意识无法被研究，因为大脑的结构给人类认知能力带来了局限，在 McGinn 看来，某些问题是人类大脑永远不可能解决的。然而像 Daniel Dennett 这样的哲学家认为不存在这些问题。Dennett 的观点与一个世纪前的神经病学者 John Hughlings 很相似，他们认为意识不是大脑的个别行为，而是在信息加工后期阶段，对大脑高级区域计算操作结果的整合。

8

另外一些哲学家，包括 John Searle 和 Thomas Nagel，则持中立态度。他们认为意识是一系列分离的生物加工。这些加工是可以分析的，我们还没能做到，是因为它们太复杂，决不是各部分加工简单的相加。因此意识比我们现在了解的大脑任何一种特性都复杂得多。

9

Searle 和 Nagel 将其归因为意识的两个主要特征：统一性和主观性。统一性指我们的经历是一个统一的整体。各种感觉形式都被整合为一个独立的、连贯的意识经验。因此，当我到家附近山上的植物园，依山傍水，走近玫瑰花丛，闻到阵阵芬芳，同时看到了它美丽的红色。不仅在那个时刻知觉是一个整体，即使在两星期后，我再次回忆那种体验时仍然是一个整体。尽管嗅觉和视觉有不同感官、不同的感觉通路，当它们进入人大脑后仍然成为一个整体。

10

意识的统一性属性的确是个难题，却未必是不能克服的。统一性是可以被打破的，在外科病人的大脑两个半球被分离时，就有两个清醒的意识，每一个都有自己统一的感知。

11

意识的第二个属性—主观性为科学带来更大的挑战。我们每个人对世界的体验都是专有的、独一无二的，对我们自己来说格外真实。我们可以直接体验自己的思想、心情和感情，却只能通过观察和聆听间接地理解他人的经历。因此我们可以问，当你看到蓝色，闻到茉莉花香，你的感受和我的一样吗？

12

本质上，这不是一种知觉问题，不是我们是否都看到同样的蓝色光线。那样的话，就可以相对容易地对不同个体的视觉系统进行单细胞记录了。大脑确实重新建构了我们对物体的知觉，但是，对蓝颜色、钢琴的中间 C 的感知，与反射光的波长、声音频率等物理属性是相对应的。实际上，问题在于颜色和音符对我们每个人的意义不同。我们不明白的是神经元的活动如何带给我们对颜色和音符的理解。既然意识经验对我们每个人都是独特的，那么是否可能找到这些意识经验中客观上相似的特征？如果感觉最后得到的意识经验是完全主观的，那么，我们就不能基于个体经验得到一个意识的综合概念。

13

Nagel 和 Searle 是这样举例说明用自然法则解释意识主观性的困难的：假设我们能够在研究对象执行某种需要意识注意的任务，比如看山上植物园中的玫瑰花丛时，成功记录那些对意识很重要的脑区的神经元活动，找到那些在我们观看并意识到花开时活动的神经元，我们就已经向意识研究迈出了第一步。换言之，我们已经找到意识这一知觉的神经关联。对我们大多数人来说，这将是一个巨大的进步，因为找到了意识知觉的物质载体。这样我们就可以进行实验，验证这些关联是否能合并为一个连贯的整体，山的背景，哈德逊河和山的整体。但是对 Nagel 和 Searle 来说，这些都是意识的简单问题，意识的难点是第二个谜，主观性。 14

我是如何用一种独特的感觉回应玫瑰画面呢？举另一个例子，我们基于什么可以认定，当母亲注视孩子的时候，皮层中负责面孔识别的神经元活动就可以解释她的情感，以及每次她回想起孩子的形象时的情感？ 15

即使在最简单的情形中，我们仍然不知道引起意识主观成分的特定神经元的活动。实际上，在 Searle 和 Nagel 看来，我们缺乏足够的理论来支持客观事件，比如大脑的电信号，可以引起一种主观体验，比如痛觉。我们现在的科学是用还原论分析复杂事件，然而意识是不可还原的，所以这种理论是超出我们研究能力范围的。 16

在 Nagel 看来，除非有方法论上的重大改变，科学家才有可能确认并分析主观经验的基础，否则科学是无法研究意识的。这些基础很可能就是脑功能的组成部分，就像原子和分子是物质的基本组成部分一样，但可能是以一种我们还不能想像的形式存在。Nagel 认为目前科学中的还原论是没有问题的，生物科学通常能用分子的客观属性来解释某种物质的属性，科学缺乏的是用客观属性（相联的神经细胞）解释主观属性（意识）的规则。 17

Nagel 认为我们对主观经验成分的认识缺乏，不应该阻止我们研究意识的神经机制，并将意识现象与大脑中的分子加工联系起来的原理。实际上，只有积累更多这样的知识，我们才有可能将某些主观事物还原到某些物理的、客观的形态。但是为了支持这种还原论，我们首先要发现主观意识的基础。Nagel 说这种发现意义重大，需要生物学的革命，一场科学思想的巨大变革。

18

许多研究意识的神经科学家的目的，与这种远大的理想相去甚远，他们并没有期待或努力实现科学思想的变革。尽管他们必须克服科学定义意识现象的困难，却没看到那些排除现有范式下实验研究的困难。神经科学家包括 Searle 都认为，在对知觉和记忆的生物学基础理解上，不考虑个体经验，他们已经取得了可观的进步。例如，不考虑我们每个人对蓝色的感受，神经科学家已经能够理解知觉蓝色的神经基础。

19

量费解的还是意识最难的问题——神经回路如何引起主观体验？但正如 Crick 和 Koch 所说的，一旦我们解决意识的简单问题，意识的统一性，我们就能用实验操作那些神经系统解决这个最难的问题。

20

意识的统一性就是在视知觉研究中首先发现的绑定问题。具体地说就是在山上那个时刻，我的主观愉悦感中，植物园中玫瑰的颜色和香气如何与哈德逊河、山脉，以及画面的其它组成部分绑定到一起？主观经验中的每一个组成部分都是依靠视觉、嗅觉和情感系统中不同脑区的活动来实现的。意识经验的统一性表明，绑定加工必须联结并整合大脑中不同的区域。

21

作为第一步，我们需要知道，意识的统一性，由负责选择性注意的神经系统获得的统一思想，位于哪一个或哪几个脑区，这样我们就能从生物学角度进行研究。对这个问题的回答还不清楚。研究大脑和意识的最著名的理论学家 Gerald Edelman 曾经提出意识统一性的神经装置可能就广泛分布在皮层和丘脑。因此，Edelman 认为，我们不可能通过一系列简单的神经联系了解意识。然而，Crick 和 Koch 相信意识的统一性应该有直接的神经机制，因为它们更可能是一套具有特定的分子或神经解剖学特征的神经元。他们认为神经机制可能仅仅需要一小部分作为注意聚光灯的神经元，那么最初的任务就是定位那一小部分负责意识体验统一性神经元，并且确认这些神经回路的归属。

22

我们如何找到这些负责意识统一性的少数神经元？它们必须满足哪些标准？Crick 于 2004 年 7 月 28 日去世，享年 88 岁，在他被送往医院的几个小时前，他还在修改与 Koch 合著的一篇论文，文章认为位于皮层下脑组织的屏状核（claustrum）是整合经验统一性的区域。但是，除了屏状核、与皮层中几乎所有的感觉和运动区域，包括与情绪相关的杏仁核相联系之外，我们对它一无所知。Crick 和 Koch 将它比作乐队的指挥。实际上，屏状核的神经解剖学联结可以满足作为指挥的需要，可以调整并合并不同的必要脑区，得到统一的意识。

23

屏状核是注意的集中点，合并知觉的所有不同成分，是 Crick 生命中一系列重要思想中的最后一个。Crick 对生物学的巨大贡献——DNA 的双螺旋结构，基因编码的本质，RNA 信使的发现，将 BNA 信使转换为蛋白质的氨基酸序列，以及最新的意识生物学的合理性，都使他成为诸如哥白尼、牛顿、达尔文、爱因斯坦的科学大家。他对科学，对意识研究的伟大献身精神，完美地诠释了科学。在他最后的几星期，Crick 的朋友也是同事，认知心理学家 Vilayanur Ramachandran 这样形容了他对屏状核的专门研究：

24

在他离世前三个星期，我去他在 La Jolla 的家中探望他。他 88 岁，癌症晚期，正在进行化疗，很疼。然而很明显，他仍然没停止他最后的研究课题。他有一个巨大的桌子，占了整个房间的一半，摆满了论文、信件、信封，还有最近一期《自然》杂志、手提电脑（尽管他不喜欢电脑）和近期的神经解剖学书籍。我在那儿的两个小时中，都没谈到他的病，只是讨论意识的神经基础。他对一个长久被主流学者忽视的很微小的结构——屏状核很感兴趣。在我离开的时候，他说：“Rama，我认为意识的秘密就在鼻状核，你说呢？要不然它为什么与大脑中这么多区域相联？”；然后我狡黠地眨眼。这是我最后一次见到他。

因为对屏状核的了解太少了，Crick 告诉他的同事，如果他可以活得久一些，他就建立一个专门研究屏状核功能的研究所。特别是，他要确认当通过感官输入的某个刺激从阈下知觉进入意识知觉时，屏状核是否就开始被激活了。

25

吸引 Crick 和 Koch 的一个例子是双眼竞争。比如有两个图像，竖条的和横纹的，同时呈现给被试，保证他每只眼只看到一种条纹。这个人可以合并这两个图像，报告看到了一个格子图像。但是更多的是，这个人先看到一个后看到另一个，横纹和竖条自然地交替出现。

26

用磁共振技术，Eric Lumer 和伦敦大学学院的同事认为当人的意识注意从一张图片转到另外一张图片的时候，皮层的额区和顶区开始活跃。这两个区对有意注意空间物体有重要的作用，所以皮层的额区和顶区可能传递哪一幅图画需要增强注意，并传递给视觉系统，视觉系统再将这幅图画传递到意识中。实际上，前额皮层受损的病人在双眼竞争的任务中，很难从一幅画转移到另一幅画中。Crick 和 Koch 认为皮层的额区和顶区可能通过屏状核得以加强，解状核从一只眼转换到另一只眼，将每只眼的图像统一起来传递给意识。 27

从这些争论中可以看到，意识一直是一个重大的问题。但是一方面通过 Edelman 的努力，另一方面通过 Crick 和 Koch 的工作，我们得到两个值得探索的、明确的、可检验的理论。 28

正如有人对精神分析感兴趣那样，我也打算进一步发展 Crick - Koch 对比同一刺激的意识与无意识知觉的范式，研究视知觉如何被赋予感情？与简单的视知觉不同，人类视知觉的情感很可能是各不相同的。因此，更深入的问题是，无意识的情绪知觉是在哪里？如何加工的？ 29

Amit Etkin，一个富有创造性的双博士生（M. D, Ph. D）和我一起与哥伦比亚大学的脑成像实验师 Joy Hirish 合作进行一项与 Crick 和 Koch 的认知领域类似的情绪领域的研究，诱发情绪刺激意识和无意识知觉。我们研究了正常人群对中性面孔、恐惧面孔图片的意识和无意识反应。这些图片由加州大学洛杉矶分校的 Peter Ekman 提供。 30

与之前 Charles Darwin 所作的一样，Ekman 对 10 万多幅人类表情图片进行分类，最

后得到了 7 种面部表情—快乐、恐惧、厌恶、轻蔑、愤怒、惊讶、伤心，无论性别还是

文化差异，这 7 种表情对每个人都代表相同的意义（图 28.1）。所以我们认为无论是否意

识到刺激，恐惧表情都可以引起被试（健康年轻的医生和研究生志愿者）相似的反应。

我们通过长时间呈现恐惧面孔得到恐惧的意识知觉，因为人们有足够的时间觉察。然后

快速呈现给被试同样的图片，使被试无法说出自己看到的那一种表情，甚至不确定自己

看到一个面孔，从而得到恐惧的无意识知觉。

31

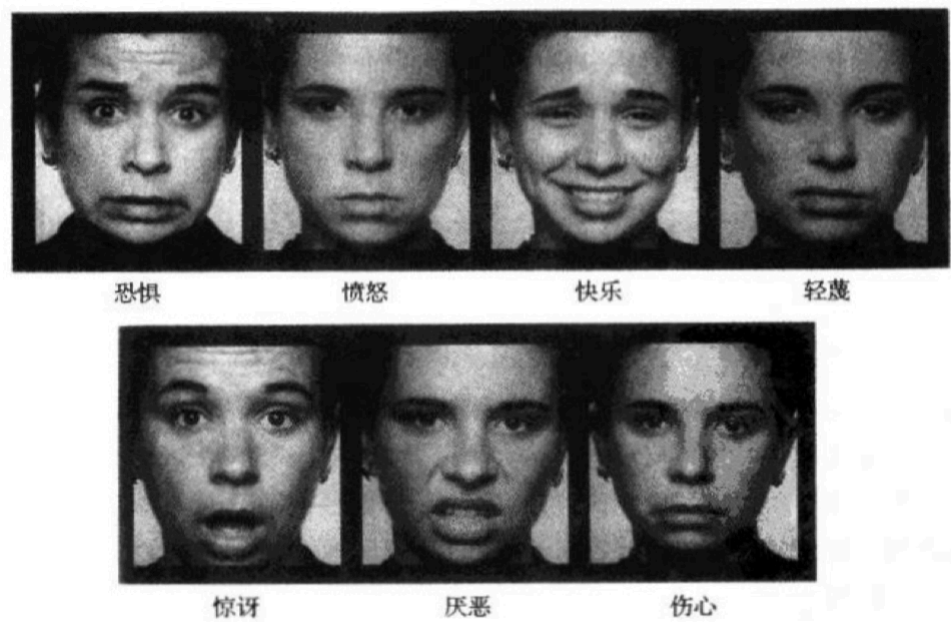


图 28.1 Ekman 提出的几种基本面部表情

因为即使对正常人来说，对威胁的感受还是不同的，我们给被试一份问卷，测量他们的

背景焦虑状况。与大多数人进入一个新环境感觉到的短时焦虑不同，背景焦虑反映了忍

受的基线。

32

正如我们意料的那样，当我们向被试出示恐惧表情的图片时，发现了杏仁核的明显活

动，它是大脑深层恐惧加工的区域。意外的是意识刺激和无意识刺激影响杏仁核的不同

区，而且激活程度取决于他们的背景焦虑。

33

恐惧面孔的无意识知觉激活了杏仁核的外侧基底核。与老鼠相同，杏仁核的这个区域接

受大部分输入的感觉信息，是杏仁核与皮层相通的主要途径。对恐惧面孔的无意识知觉

34

引起的外侧基底核激活程度取决于背景焦虑程度，背景焦虑越高，反应越强烈。低焦虑的人完全没有反应。相反地，对恐惧面孔的意识知觉，激活了杏仁核的背侧区域，包括中央核，并且激活程度与背景焦虑程度无关。杏仁核的中央核发送信息到负责唤醒和防御反应的植物神经系统的部分脑区。总的说来，无意识条件感知的威胁，对高焦虑人群有不成比例的影响，而意识条件下感知的威胁，则引起所有被试或战或逃的反应。

我们也发现对恐惧面孔的无意识和意识知觉激活除杏仁核以外不同的神经网络。这里再一次发现，只有那些高焦虑的被试，无意识感知的威胁信息才激活这些神经网络。这种无意识感知的威胁也同时激活其它脑区。

35

恐惧刺激激活两个不同的大脑系统，一个是有意识的、自上而下的注意，一个是无意识的、自下而上的注意，或称警觉，非常像海兔和老鼠的外显记忆和内隐记忆的显著性信号。

36

这都是些非常有意义的结果。首先，它们表明情绪领域和认知领域一样，刺激可以被无意识和有意识地感知。它们也支持 Crick 和 Koch 的观点，在知觉中，有完全不同的区域分别与意识和无意识相关。其次，这些研究再次确认了用生物学的方法研究精神分析学无意识观点的重要性。他们表明，当刺激留在想像中，那么焦虑效应明显表现在大脑中，而有意识地感知刺激时则恰好相反。一旦恐惧面孔图片明显地出现在面前时，即使高焦虑的人也能准确地评价它是否真的有威胁性。

37

弗洛伊德提出，精神病理学产生于无意识中的冲突，一旦找到冲突源并且有意识地面对，这种状况就会改善。一个世纪之后，我们的脑成像研究提出了调节这种冲突的脑加工的途径，尤其是，被试背景焦虑和无意识神经回路的关联从生物学上证实了弗洛伊德的理论，即无意识心理加工是大脑信息加工的一部分。虽然弗洛伊德的理论已经存在了100多年，却一直没有脑成像研究可以解释人类行为差异和对世界的认识差异如何起源于他们无意识加工情感的差异。对恐惧的无意识认知研究发现了杏仁核的外侧基底核与人类焦虑状况的关系，为诊断焦虑状态、评估各种药物和心理疗法的有效性提供了生物学指标。

38

在认识神经回路活动与意识无意识知觉威胁的关系时，我们开始描述恐惧这种情绪的神经关联。这种描述可以很好地使我们科学地解释意识知觉到的恐惧。它为我们提供一个工具，去理解神经事件如何成为进入我们意识的心理事件。因此，在我放弃用生物学研究精神分析学半个世纪后，新的心理生物学已经可以解决精神分析和意识的核心问题了。

39

问题之一就是自由意志的本质。除了弗洛伊德的精神决定论（我们认知和情感生活都是无意识的）之外，个人选择，行动自由又是怎么回事呢？

40

针对这个问题，最为关键的一系列研究是1983年加州大学洛杉矶分校的 Benjamin Libet 进行的。Libet 以德国神经科学家 Hans Kornhuber 的发现为起点。在 Kornhuber 的研究中，要求被试移动右手食指，然后用标准尺测量被试移动的长度，同时用头皮电极记录被试的脑电活动。几百次之后，Kornhuber 发现，大脑记录的脑电活动都比每一次手指移动早一点点。这就是自由意志！他称这个电位为“准备电位”（readiness potential），并且发现它比随意移动早1秒发生。

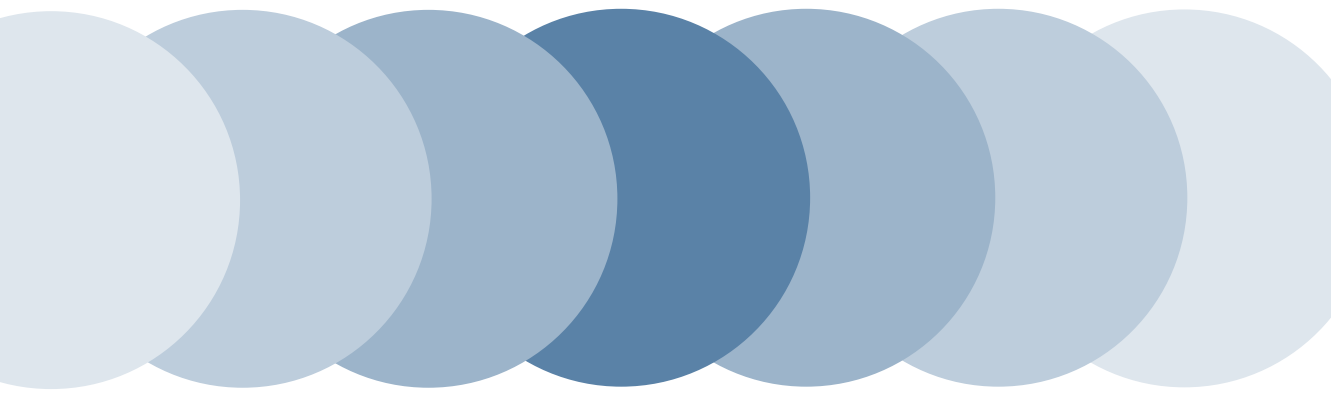
41

Libet 在 Komhuber 的研究基础上，进行了另一个实验，实验中让被试在感到想举起手指时举起手指，他同样用电极记录大脑活动，确认准备电位先于他或她举手指 1 秒出现。然后发现被试产生想法的时间比准备电位滞后了 200 毫秒。因此，仅仅通过观察脑电活动，Libet 能预期在一个人真正感觉到已经作出决定之前他要做什么。 42

这个发现引起心理哲学家的疑问：如果选择在我们没有决定之前就已经决定，自由意志在哪儿？难道决定我们活动的感觉只是幻想，只是在发生以后的一种合理化解释？或者决定是自由的，但不是有意识的？如果这样，行为决策就像在知觉中那样，可以反映无意识推理的重要性。Libet 提出：开始一个主动的活动加工发生在大脑的无意识部分。但正是在行为开始之前，意识参与进来批准或否决这个行动，这 200 毫秒就是意识决定是否活动的时间。 43

无论决定和知觉之间的延迟原因是什么，Libet 的发现都提出了一个伦理问题。人们如何对那些没有意识参与的决定负责呢？心理学家 Richard Gregory 和 Vilayanur Ramachandran 对这种争论提出了严格的限制，他们指出：我们的意识可能没有自由意志，但是它有否决的自由。Michael Gazzaniga，认知神经科学的奠基者，也是美国生物伦理学委员会（American Council of Bioethics）的成员，也说：“大脑是自动化的，但人类是自由的。”因此，不能仅凭大脑中几个神经回路的活动推断整个神经活动。 44

《中华科技文明史》 科林·罗南



第十章. 中国科学的基本观点

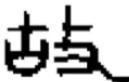
我们现在探讨一个对于中国科学思想史有着致命的重要性的领域：基础概念和学说是由中国的阴阳家在很久以前提出的。这个主题可以方便地分为至个方面：一、五行学说；二、阴阳学说；三、那精巧的符号结构的科学运用，或者说得更准确些，原始科学运用，《易经》（1.秦）。根根据现代研究，我们的讨论将与早期西方汉学家的不带批判地承袭的中国传统有相当大的不同，我们不妨先来看一下一些对科学思想有重要意义的中国词汇的起源和发展。¹

一些最重要的中国科学词汇的起源

在任何科学发展以前，必须存在一批合适的词汇。现在，由于安阳甲骨文的发现（第4章），和刻在商和周的青铜器上的字符的发现，一个丰富的书写词汇宝库需要研究。不是所有的字符都已被识别，虽然如此，却有足够的表意文字供我们选择来了解中国科学术语的起源。的确，古代文字或许对秦汉时期的原始科学的解释思想几乎没有影响，可是对于我们来说，这些早期的表意文字本身是有趣的，因为它们帮助我们理解通往科学的古代中国途径。一些重要词汇的选择可在附随的表格中找到（表8），首先是中文字，然后是它的古体形式，最后是它的古代意义的简要解释。²

编号	今字字形	古字字形
字形说明		
1a	也	
左) 这个字的形体象一种眼镜蛇之类的蛇。从语意上看，原来是从蛇的意念上演化出“危险的确定”这种意义。“蛇”字当然限“也”字有关系。不过这种解说不如下一个说法那样广泛地为人们所接受。 右) 这个写法的形体是女阴的外阴部，阴门。因此，可能先引中为生命之门，进而为“生命或存在之确定”，随后被用作一个肯定词，涵括了所有次要的表示性质及属性的肯定词。这一说，即使在儒家道学气氛笼罩的时代里，也没有受到反驳。		
1b	是	
这个字的上半部是个圆形的太阳的样子，下半部，可能是“正”字。“正”的意思是“正确”、“正直”、“公正”、“方正”、“确实存在的”。如此，就是“存在于太阳底下的那个东西”。这就表示，眼睛的视觉代表一切的感觉器官，说明“存在”这个观念。		
2a	不	
这个字的形体，像是在一根茎上长着的蓓蕾，下垂的两笔是叶子；从意义上看，这个字作为否定词用，无非就是声音的假借。传统的说法（许慎）是把这个字看成一个抽象观念的象征，那就是说，像一只鸟飞上天去，以使它“不”被捕捉。		
2b	非	
传统的解释以为这个字是“飞”字的下半部，“飞”字本是一只鸟的样子；因此，“非”字像鸟的两翼（或者就是两只鸟），背对背而“不”是相向。所以（如果许慎的说法不错）这个字是一个抽象观念的象征。当然，表示肯定与否定观念的字还很多，形义方面都是大同小异的。		

编号	今字字形	古字字形
字形说明		
3	異	
这个字像一个人正面直立的样子，两手上举护头，或者是表示尊敬的一种姿势。后一种意义见于金文；也许这个字的形体是表现着一位正在对策的大臣昂然的样子。此字从它的意义上看，如果不是同音假借，那么它就是内涵着一种社会地位——贵族与平民——之间的差别而言。如此，从这一方面引申出来的意思也就是：“差异”、“怪异”、“差别”等。这个字形在表示头的部分上是非常夸张的，也可能是代表一张面具。		
4	如	
这个字从女从口。是一个来源很早的同音假借字。上古时代的原义不得而知。		
5	若	
这个字像人跪形，或许是正在拾集一些植物之类。有的人就认为这个字有臣服、顾从的涵义，所以它的意思是“和顺”、“同意”、“和蔼”、“安顺”，再引申之，就是“姑且承认”、“准许那样，如果……”。但更较可能的，是说完全是声的假借。		
6	易	
字体像蜥蜴之形，而字的意义是源白“颜色变易”（参考变色龙，或变色蜥蜴），或位置的快速变更、移动。		
7	變	
这个字很显然未见于甲骨文或金文，必然是一个晚出的字。从字的形体上看，意义是不很明显的。不过悬在左右两方的丝绞，据许慎的讲法，是从纺车捻线的事态上引申出来“使成秩序”的意思，下面的那个部首，像手执枝棒之形，表示“运动”、“动作”。从字义上看，如果这个字不是假借字，那么它所指谓的，可能就是“从紊乱变为秩序”这种意思。		

编号	今字形	古字形
字形说明		
8	化	
这个字像两把刀形，就是那种刀形货币。货币的兑换情形，就引起了人想到用它来表示一般的“变化”这类的意思。		
9	元	
这是一幅人的侧面图像，特别注意于表现头部，所以有“第一”、“开始”的意思，头部又是人体的最重要的部位。因为古人无疑知道，头部是脊椎动物在胚胎时期生长得最快的部位，而且从体积的比率上看也比后期的发展要快。所以，这无非表示了，造字的人，对于初级生物学，已经有些知识了。		
10	因	
字形像一张席子，其上有编织纹。席子是一种可以使人靠着的东西，或是基础之物。这种意义是中“因”字的静止义引申到时间性的意义。还有一点是我们应该注意的，就是在“宿”字的小篆体里，也包含有这个“因”字。“宿”的本义是“晚间息止之处”，又是一个常用的天文学术语。		
11	故	
这个字采自金文，左边的部分，是“古”，有“古老”、“古代”的意思，它在整个字结构上的含义不很明显，但是从字形上看，“古”字像是一面盾牌放置在一个开放的架子上。右边的部分，像是一只手握着一根杖，表示动作。所以，广义地说，“故”的意思显然就是“往事”、“前例”、“早先的行动”。		
12	為	
这个字像一个人的手放在一只象的鼻子上。这是表示抓握与手脚熟练。		

13	始	
像是一个头朝下的胎儿，右边作女人形，这个字与“胎”字的关系极为密切。如此，字的意义可能是表示一个女性的怀孕，也就是“起始的起始”、“太始”、“太初”。		
14	行	
这个字就是一幅十字路口的图画。		
15	去	
这个字像一个盖了盖子的米筐。从它现行的意义上看，它只是一个同音的假借字。		
16	至	
像箭击中目标或地面。		
17	止	
像人的足形。		
18	盡	
像一只手拿着一把刷子，去清除一件容器。		
19	真	
这个字从它的篆体上有不出所代表的意思，可是（我们就所有从它的字上看）几乎可以确定它有“满盈”、“填满”、“坚实的”等意义。所以，引申有“实情”、“真实”的意思，与“空虚”为反义。这里所列出的字形，像是一个饱满的袋子，立在一个凳子上。如其果真如此，那么这个字就象征着一种抽象的观念。		
20	上	
就是一个几何图形的字，表示这个观念。		
21	下	
构造方式同上。		

对这张表格的研究表明科学起始阶段所必须的基本术语的构造，按表意文字的原理，是正如我们所料的，只有两个（第 20 和 21）能被看作纯粹的几何学的符号；剩下的 78 个是一种或另一种图案。人们仍然藐视分析，至少 8 个是从发音相像的词（同音字）那儿假借过来的，三个或四个涉及抽象的概念，另外这些字符描绘了自然事物、人类躯体和它的部分以及人类的行为。这也许已被想到，可是值得注意的是这些字符中数量最多的是那些涉及科学技术和交流沟通的字。如果我们分析一个较大的样本，这样的倾向可能会改变，虽然如此，我们能发现表意文字是怎样从日常生活中发展从而随后获得抽象的含义。它们同时演示了日常思考和实验中的科技术语实际上是怎样出现的。

[...]

稳定的五行学说

我们现在能够把“五行”学说看作是在汉代定稿，然后传给了所有以后的朝代。有两个方面是值得特别注意的：“五行”的排列次序和符号的相互关系。

排列次序是指“五行”在各种古代和中世纪的主题介绍中被命名的次序。它们完全不同，以下举出四种最重要的次序：

- | | |
|-----------|-----------|
| 1. 宇宙起源论： | 水、火、木、金、土 |
| 2. 相生序： | 木、火、土、金、水 |
| 3. 相克序： | 木、金、火、水、土 |
| 4. “现代”序： | 金、木、水、火、土 |

宇宙起源序应该是“五行”产生的次序。它由水开始，因此在中国文章中重复循环出现“水”是最原始的元素。相生序应该是“五行”一个使另一个产生的次序，它与四季的次序相对应。以“木”代表春为开始，“水”代表冬结束（土对应位于夏秋之间的一个月份）。 15

相克序描述了每一个“行”克其前一个“行”的次序。在某种意义上，它是四种次序中最值得尊敬的一种，因为它是与驳衍本身的学说联系起来的一种次序。它是基于一种根据每日的科学事实形成的概念的逻辑次序产生的一个序。例如：“木”克“土”大概是由于一种木铲可以挖土；“金”克“木”是由于金属能够切割木头；“火”克“金”是由于火能使金属熔化甚至使其汽化；“水”克“火”是由于水能够灭火；最后，“土”克“水”是由于土能筑坝挡水还能掩盖水——这个很自然的隐喻对研究水力灌溉和水力工程学的人有很重要的意义。这个次序也对政治观点有重要意义。它被作为历史现象的解释提出来，而且被暗示会运用于将来，因此对预言很有用。最后，是“现代”序，是最难理解的。可是，这个次序是流传到现代中国人的口语中的。每个人仍在学“金、木、水、火、土”，即使在托儿所的诗歌里也是。 16

在排列次序中还包含了两个有趣的二级原理，有关变化程度的原理。它们是控制原理和隐蔽原理。控制原理是单独从相克序中导出的，同时，根据这个原理，克的过程被认为是受征服着征服者的那个“行”的控制的。例如，“金”克“水”但“火”控制这个过程；“火”克“金”但“水”控制这个过程等等。这个原理在命相学中被运用，不过虽然如此，中国人在运用这一原理时完全遵循了逻辑思维途径，在我们看来，这种思维方式可适用于经验科学的许多领域。例如，在动物种类的生态平衡方面，丰富的掠夺他人的形式，其次序是根据动物的形体大小和生活习性的；比如一种特殊的鸟的数量的增长会间接地对一种蚜虫的数量增加有益，因为鸟的数量增长对瓢虫有细微的影响（相克），这种吃蚜虫的瓢虫本身是鸟的食物。 17

中国的控制原理当然会被批评，因为作为一个循环的过程，任何事情都不会发生，因为每一个“行”总是抑制着另一个。可是，中国人从来没有以为“五行”会在同一时刻任何地方有效地出现，所以这种批评只是形式上的。控制原理既然与相生序和相克序有关系，所以结果必然是控制的那个“行”永远是由被克的那个“行”所生的，而且这一系统一直延续。例如，“木”克“土”而受制于“金”，但“土”生“金”，所以就有了有义务的反馈。当儒家接纳了这个概念以证明父仇子报时，这个概念产生了社会影响。可是它的基本涵义是具有科学性的。正如我们在古代炼金术中所知，某种物质对另一种物质产生破坏作用的同时，自身也受到了变化或破坏。这个概念与我们现代的化学很相似。反应的积聚造成化学反应的停止便是一个例子。生物化学告诉我们更多。人类肌肉中的收缩性蛋白质之一，肌浆球蛋白，就是它本身的含磷酵素结晶物分解了能提供给它能量的物质。

18

第二个原理，隐蔽原理，是以相生序和相克序为基础的。它提到了一个变化过程被一个产生比原过程毁掉的物质更多物质或是比原过程更快的过程隐蔽、掩盖的情况。因此，“木”毁（克）“土”，而“火”隐蔽了这个过程，因为“火”毁了“木”使“土”（灰）远比被“木”毁了的“土”迅速地增长。与控制原理一样，有现代的生物学和生态学的例子证明：大型食肉动物吞食挪威旅鼠的行为被其他因素导致旅鼠数量急剧增加的现象所掩盖。

19

注意到在这些原理中潜藏着一个量化的因素是很重要的：结论与数量，速度和率（速率、比率）有关。这可能是由因排列次序本身轻易引出的问题引起的，因为我们应该意识到早期的中国思想家对它们并不满意。例如从《墨经》中保存的一小段后来的墨家学者对阴阳家的批评我们可以看出这一点：

20

经云：“五行毋常胜。”

经说云：“五：金、水、土、木、火。离然火铄金，火多也。金靡炭，金多也。金之府水（但不生水）。火离木（但非生自木）。”

这些对驳衍的相克理论进行的抨击也许是对他对墨家学派逻辑研究的傲慢态度的反击，但是也同样作为墨家科学思想中有关“量”的示威途径。

符号的相互关系

“五行”逐渐变成与宇宙中被分为五类的任何可想象的事物有联系。表 9 列出其中的一些，不过应该了解这里只是一些精选品。

21

行	时	方	味	臭	天干		地支,及其相属之生肖	数
木	春	东	酸	膾	甲	乙	寅(虎),卯(兔)	8
火	夏	南	苦	焦	丙	丁	午(马),巳(蛇)	7
土	一	中	甘	香	戊	己	戌(狗),丑(牛)	5
							未(羊),辰(龙)	
金	秋	西	辛	腥	庚	辛	酉(鸡),申(猴)	9
水	冬	北	咸	朽	壬	癸	亥(猪),子(鼠)	6

行	音	宿	宫	辰	星	气	国
木	角	1-7	苍 龙	星	木 星	风	齐
火	徵	22-28	朱 雀	日	火 星	暑	楚
土	宫	——	黄 龙	地球	土 星	雷	周
金	商	15-21	白 虎	宿	金 星	寒	秦
水	羽	8-14	玄 武	月	水 星	雨	汉

行	帝	阴 阳	事	政	部	色	器
木	大 禹	阴在阳或少阳	貌	宽	司 农	青	规
火	文 王	阳或太阳	视	明	司 马	赤	衡
土	黄 帝	阴阳中平	思	恭	君之官	黄	绳
金	成 汤	阳在阴或少阴	言	力	司 徒	白	矩
水	秦始皇	阴或太阴	听	静	司 空	黑	权

行	虫	牲	谷	祀	脏	体	官	志
木	鳞(鱼类)	羊	麦	户	脾	筋	眼	怒
火	羽(鸟类)	禽	菽	炉	肺	脉	舌	乐
土	裸(人类)	牛	稷	中 庭	心	肉	口	喜
金	毛(哺乳类)	犬	麻	门	肾	毛 皮	鼻	哀
水	介(无脊椎类)	猪	黍	行	肝	骨	耳	惧

如果有人把相互之间的关系分成几组，就像表申列出的那样，仔细地分析可能使它看上去像是不同的组是由不同的学者组编写的。例如，尽管天文学组可能是早在公元前 9 世纪的，但它有一些确定的迹象说明是出自公元前 4 世纪的伟大天文学家甘德之手，也很可能是在甘德三个世纪后的本家占星家甘忠可所为。其次，还有与驺衍有联系的阴阳家组编写的阴阳组和关于心理和生理机能的组别。最后是两组特别具有科学趣味的组别。一组是关于原始农业，一组主要关于医学。有关农业组的令人惊讶的一点是在其中关于谷类的列表上没有包含稻米的内容，可是“米”出现在了医学组中（在此没有列出医学组），由此推测农业组学派发源于中国的北部，或是发源时间比较早。实际上，医学方面的哲学家们从很早开始就提出一个六序列补充或是代替科学思想家的五序列。因此，人体中有六个而不是五个内在的“阳”和六个“阴”，而且许多别的在分类时的例子也能在医学中找到。也许，这起源于六进制计算而非十进制的巴比伦尼亚；也许，五重规则只是中国固有的。

22

正如我们可能想象的，这些相互关系遇到了批评，有时是严厉的，因为它们导致了許多荒谬的事，就像公元 1 世纪的王充在《论衡·物势篇》所指出的：

23

寅，木也，其禽虎也。戌，土也，其禽犬也，丑、未亦土也。丑禽牛，未禽羊也。木胜土，故犬与牛、羊为虎所服也。亥，水也，其禽豕也。巳，火也，其禽蛇也。子亦水也，其禽鼠也。午亦火也，其禽马也，水胜火，故豕食蛇。火为水所害，故马食鼠屎而腹胀。

审如论者之言，含血之虫亦有不相胜之效。午（案：属火）马也；子（案：属水）鼠也；酉（案：属金）鸡也；卯（案：属木）兔也。水胜火，鼠何不逐马？金胜木，鸡何不啄兔？

王充的抨击只是中国的怀疑传统的一部分，这一点将在下一章中讨论，不过在这里引述是因次这是对相互关系以及整个“五行”学说的典型责难。尽管有这样的批评，这些相互关系似乎在开始时对中国的科学思想有帮助。它们必定不比在欧洲中世纪思想中占优势的希腊的“行”的理论差，只有当它们变得过于精密和怪诞、过于远离了自然观察时，它们才确实是有害的。作为它们起积极作用的一个例子，这段出自沈括的《梦溪笔谈》（公元1086）卷二十五的话是值得引述的。沈括，是中国历史上兴趣最广博的思想家之一，因此他对这个学说的运用是很有趣的。文中说：

信州铅山县有苦泉，流以为涧。挹其水熬之，则成胆矾。烹胆矾则成铜。熬胆矾铁釜，久之，亦化为铜。水能为铜。物之变化，固不可测。

按黄帝素问，有天五行，地五行。土之气在天为湿。土能生金、石，湿亦能生金、石。此其验也。

当然沈括对化学变化有明确的理解，因为同其他人一样，当时他完全接受了“五行”学说。同样的时期以及以后一直到17世纪，在欧洲，沈括所描述的化学反应被认为是变质的迹象。实际上，他的描述说明了他是一个很好的观察者，而且他的描述很可能是任何语种中有关由铁置换金属铜使其沉淀并有硫酸铁生成的最早记录。

数日学和科学思想

在我们结束对“五行”系统的讨论前，有两个中国阴阳思想的重要例子必须提及：它们都是记录在《大戴礼记》中的。《大戴礼记》是产生于公元 85~105 年间的一本汇编物，尽管引文所注的日期是公元前 2 世纪。头一篇写道：24

单居离问于曾子曰：“天圆而地方者，诚有之乎？”曾子曰：“离，而闻之云乎？”单居离曰：“弟子不察此，以敢问也。”

曾子曰：“天之所生上者，地之所生下者。上首之谓圆，下首之谓方。如诚天圆而地方，则是四角之不掩也。且来，吾语汝。参尝闻之夫子曰：天道曰圆，地道曰方。方曰幽，而圆曰明。明者吐气者也，是故外景。幽者，含气者也，是故内景。故火、日外景，而金、水肉景。吐气者施，而含气者化。是以阳施而阴化也。”

阴阳之气各静其所，则静矣……

毛主，毛而后生；羽虫，羽而后生。毛、羽之虫，阳气之所生也。介虫，介而后生；鳞虫，鳞而后生。介、鳞之虫，阴气之所生也。唯人为保匈而后生也；阴阳之精也。

毛虫之精者曰麟，羽虫之精者曰凤；介虫之精者曰角，鳞虫之精者曰龙。保虫之精者曰圣人。

这一段文字作为下一段的一个介绍是很有意义的，尤其是提到了圣人是“保虫之精”。这确实最好地证明了中国思想是拒绝把人从自然中分离出来或是把个人与社会人分开来的。其中也包含了一个即使是现代进化论者也无法说得更好的观点，这就是在低级生物活动中看到的基础力量和较高层次中能发展人类社会道德生活的最高表现的那些基础力量是一样的。第二段文字几乎全是关于生物学：

子曰：“夫易之生人、禽、兽、万物、昆虫，各有以生。或寄，或偶，或飞，或行，而莫知其情。惟达道德者，能原本之矣”

天一、地二、人三。三三而九。九九八十一，一主日。日数十。故人十月而生。

八九七十二。偶以承奇。奇主辰。辰主月，月主马。故马十二月而生。

七九六十三。三主斗。斗主狗，狗三月而生。……

乌、鱼，皆生于阴而属阳。故乌、鱼皆卵。鱼游于水，鸟飞于云。故冬，燕、雀于海，化而为蚘。万物之性各异类。故蚕食而不饮，蝉饮而不食。蜉蝣不饮不食。介鳞，夏食冬蛰。齧吞者，八窍而卵生。咀嚙者，九窍而胎生。

这里，可见阴阳家，或者是这段话的作者，都不仅对自然的观察很仔细，而且他们的观察结果限于数字神秘上义的结构中。这些神秘主义的影响已经很明显地出现在符号关联的表中（表 9），而且它似乎在很长一段时期里产生了一种吸引力，尽管它产生于公元前 3 世纪，或是更早一点，它在 12 世纪这么迟的年代中还是很活跃。这些在我们对中国科学观念的评价中必须予以重视。

阴阳学说

迄今为止，比起阴、阳这两个基础力量，我们更多地在谈论关于“五行”和它们的符号关 25
联。这仅仅是因我们对“五行”的了解比对阴阳的了解多。尽管驳衍的学派被称为阴阳家
而且后来的书中讨论时也把这归为他的成果，阴阳这个概念并没有出现在他现存的文章
中。不过，我们基本可以确定阴阳的哲学用途始于公元前 4 世纪，而在更早的文章中出现的
有关篇章则是后来插入的。

一些有关阴和阳的事实是清楚的。我们知道，例如中国文字中的阴和阳与黑暗和光明有 26
关。“阴”字解为山（山影）和云，“阳”字的形象有阳光或在阳光中飘动的旗帜的意思
（尽管后面的也许是代表一个人手执一只象征天的穿孔的玉璧，这个玉璧也可能是最古老
的天文仪器）。这些是与《诗经》这本古代民间诗歌集中的字的用法相适应的。在这里，
“阴”引出了冷、云、雨、女性、如储存夏天用的冰的地窖中的黑暗等概念；相反，
“阳”则引出了阳光、温暖、春夏、男性以及明亮等概念。“阴”和“阳”也有实际的意
义：“阴”是山或谷有阴影的一面，“阳”则是有日光的一面。

它们被明确使用为哲学术语出现在公元前 3 世纪的《易经》中（《易经》我们后面将作详 27
细讨论）。在这里，似乎是宇宙中只有两种基本力量或作用，有时一个占有优势，有时另
一个占有优势，作波浪式的交替。除了《易经》别的书中也有提及。例如，公元前 4 世
纪，《墨子》中有两处提到，一处说“凡回于天地之间，包十四海之内，天壤之情，阴阳
之和，莫不有也”，另一处说“（圣王）节四时调阴阴而露也”。《道德经》中说：“万物负
阴而抱阳，冲气以为和。”

当我们前进到公元前 2 世纪汉儒时期，我们可以发现一些特殊的评论。董仲舒在《春秋繁露》中说： 28

天有阴阳，人亦有阴阳。天地之阴气起，而人之阴气应之而起。人之阴气起，而天之阴气亦宜应之而起。其道一也。明于此者，欲致雨则动阴以起阴，欲止雨则动阳以阳。

我们不久将会发现《易经》中包含了一些极为重要的材料。这些材料赋予了我们对于中国科学思虑更深刻的认识，可是由于阴和阳是这个课题最基础的部分且它们有着数目众多的附属物，我们最好还是在这里对阴阳这个方面予以重视。《易经》中包含了一系列总共 64 个由或断或连的六条线组成的符号，这些符号与阴、阳相关联。每一个大线形符号主阴或是阳：经适当的排列，由此推出共 64 个阴阳交互的卦。图 23 对此作了个例子来说明阳是如何一分为二，再为四，再为八然后一直到六十四个阴阳交互存在的。当然，这个过程并不会就在那儿停止了，六十四可以延伸到一百二十八，然后一直到无限。阴和阳从来不会完全地分离开来，但是在每一个度、任何一个小断片中，只有一个会明显地显现出来。现在这个理论具有相当多的科学趣味，因为这一次又一次地分开两个因素。使一个占优势而另一个成为隐性的理论与现代科学思想有着相似之处，例如在遗传学中。所以我们再次有了与假定的五行相互关系的对等物——它们和只在我们的时代里能看到的对自然的有效运用的想法一样的。简单扼要地说，现代科学所看到的一些构成世界的元素是中国早期哲学家的预想预言到的。 29

“联想”思考及其重要性

我们现在到达了我们能够看到中国的有关两个基础原理——阴阳和“五行”——的科学观念的程度。基本地，阴阳是由人类本身性经验的正负投影推出的，而“五行”则被认为是为每个物质和每个过程的理由而产生的。受五元系统影响的宇宙中的每一个事物都是与“五行”相联系的，但是，由于不是每一个事物都能被纳入五元的系统的，有的只能被纳入其他数目的系统（如四元、九元、二十八元等）。这广阔的研究门径产生了中国思想的另一个方面——神秘数目论。它的主要目的是找出繁多的用数字表示的门类之间的关系。

大部分欧洲学者把神秘数目论看作是纯粹的迷信，并且声称它阻碍了中国真正的科学思想的发展。一些现代的中国科学家也倾向于类似的观点，不过至少他们还有必须面对数千个未受任何现代科学观点训练、却仍认为中国古代思想系统仍是有可取之处和生存能力的中国传统学者的借口。可是我们并不关心这个最后的问题以及有能力进行自我现代化的中国社会的现代化，我们必须发现古代传统的思想体系是否单单只是迷信或只是一种原始的思想，它是否可能包含了一些中国文明的独特产物，如果有，它是否对别的文明产生了一些积极的影响。

一项对原始魔术的研究显示这似乎是以“相似律”和“蔓延律”这两项定律为基础的。依照“相似律”，相似可产生相似，而“蔓延律”是指曾经接触过的事物分开后仍然继续互相影响。而中国的五元符号相互关系正是建立在这两项定律上的，而且与这两项定律完全吻合。我们立即得出这样一个有关它们尽大的相互关系列表的主题的提示，它是魔术的。这些我们现在不需要详细地讨论，因为我们早已经注意到开始是魔术孕育了科学而且最早的科学家很可能是魔术师。毕竟，尽管魔术产生于神秘生活的种种裂缝并在生活中获取力量，然后结合入了常人的生活并为其服务。魔术倾向于真实具体，与真实有关。的确，魔术与技术、化学和工业有着同样的功效，它是一门“做事”的技巧。不过我们无须对这一点作更详细的分析，因为它已经在道教的章节中被强调过了。然而我们现在看到的是，由于对魔术的实际强调，中国的符号相互关系正是一个魔术师联系技巧所需要的：他们把事物排入一个顺序并在没人知道什么将会带来成功，什么不会出现在任何魔术或实验过程中。一定是有什么指南在引导魔术师选择正确的条件而且是符号间的相互关系提供了这个指南。如果一个人在利用水做实验或是变魔术，他自然就不会穿红色的衣服，因为红色是火的颜色。这样的关联可能只是自觉而并非其他什么东西，可是除此之外在当时他们又能怎样呢？

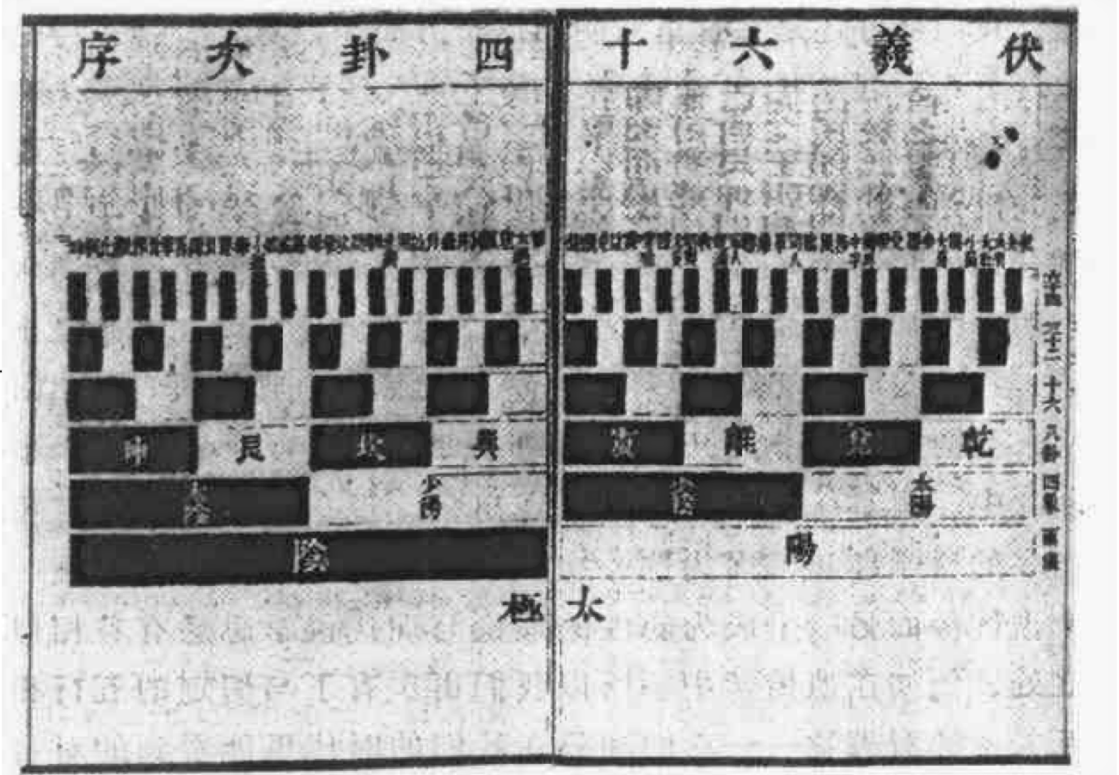


图 23 《易经》的卦(“伏羲六十四卦次序”)的分离表, 采自朱熹的《周易本义图说》(12 世纪), 曾在胡渭的《易图明辨》卷七和别处被翻印。阴和阳是分开的, 但正如第二次分开时所出现的那样, 每一个都含有其处于“隐性”状态中的对立面的一半。这个过程没有逻辑终点, 但此处只继续到六十四卦的阶段为止。

现代学者把这类心理上的研究门径称为“联想思考”或是“同等思考”。这是一个直觉联想系统，它有自己的逻辑和因果规律。它不是迷信，而是一个有它自己的标准的完全合理的思想系统，不过当然，它与强调外在原因的现代科学思想特征的类型是不同的。它不把自己的思想分为一系列的等级而是平等地排列在一个“图案”中。其中事物并不是通过机械原因相互影响而是通过一种感应效应。

33

在我们讨论的中国思想中，“次序”和“图案”是两个关键词，或者你也可以说只有一个关键词“有机体”，因为符号间的相互关系、联系，《易经》中的六线形都是一个巨大整体的一部分。事物以一种独特的方式进行活动并不一定是因为别的事物先前的行动如何，而是主要因为它们在千变万化的循环的宇宙中所处的位置被赋予了内在的性质，使其行动身不由己。如果它们没有按照那独特的方式进行活动，它们就会失去自己所处的位置而与其他事物的联系（那些造就了它们的要素）将会改变并会把它们变为另一种东西。它们的存在依赖于整个世界有机体，它们通过一种神秘的共鸣进行相互作用。

34

没有什么地方比董仲舒对这方面的解释还要好的了。在公元前 2 世纪的《春秋繁露》中的“同类相动篇”中我们看到：

今平地注水，去燥就湿。均薪施火，去湿就燥。百物去其所与异，而从其所与同。故气同则会；声比则应。其验皦然也。试调琴瑟而错之。鼓其宫则他宫应之，鼓其商而他商应之。五音比而自鸣，非有神，其数然也。

美事召美类；恶事召恶类。类之相应而起也：如马鸣则马应之。

帝王之将兴也，其美祥亦先见；其将亡也，妖孽亦先见。物故以类相召也。故以龙致雨，以扇逐暑……

非独阴阳之气，可以类进退也。虽不祥，祸福所从生，亦由是也。无非已先起之，而物以类应之。

董仲舒所用的分类包容了宇宙中各种可适应于五元系统或其他的数字系统的事物。有趣的是，他用弦乐器的听觉共鸣来使那些对声波一无所知的人信服，并证明了他所说的宇宙中同类的事物共鸣或相互作用、活动的观点。当然，他提出的并非是最原始的、认为任何事物都能影响任何别的事物的观点，而是主张万物通过可选择的相互作用紧密地结合而成为宇宙的一部分。的确，对于董仲舒和他的继承者来说，事物间的因果关系是十分特别的，因为它是一种层状结构而并非是随意偶然的。任何事物都不是独立的，可是任何事物也都不是由机械原因造成的。宇宙中的有机体都有自己适合的位置并且按照一个永恒的、戏剧性的循环进行活动。如果一个事物掉了队，那么它将终止存在、但事实上，从来没有一个事物掉队。在此，就如在中国思想的其他地方一样，文章说明了这种自然过程的规律性被猜想为团体生活的一种相互适应而不是像政府的法律那样的东西。不仅在人类的关系中，在整个自然界中都存在着“给予”和“接受”，以礼相待而不是在单调的力及其程序中相互争斗。在妥协中找到解决。

假如所有这些真实深刻地表明了中国的世界画面中的些东西——有许多事让我们相信它们 36
确实表明了——那么五元关系就是思想系统的一个理论图解，而且汉代以及以后的学者并没有深陷于“原始思想”的泥沼中。在真正的原始思想中任何事物都能是其他事物的
“因”：任何事都是可信的；没有一件事是不可能的或是荒诞的。假如一艘汽船比一个小港通常的船多了一个烟囱并且随后出现了传染病，那么这艘汽船的出现将会和其他事物一样被认为是传染病发生的原因。而当事物被分类后，由于它们在一个五元系统中，那么事物就不会被随便认为是任何事物的“因”了。

脑中有了这样的思想，我们就得出了原始真理发展有两条途径这样一个结论。一条希腊人 37
选择的途径是对宇宙的机械解释的方法对因果关系的概念加以精炼的，就如德谟克利特（Democritus）的原子论。另一个途径是把宇宙万物万事系统化、结构化，以协调各个部分之间的相互作用与影响。以希腊人的世界观来看，如果一种物质在某一时间占据某一地，那是因为另一种物质将它推向那儿。而后一种观点则认为，这种物质的行为是由它与周围其他物质的共同作用力所主宰，即物质行为的动因不是单一的反应力，而是环境的共力。

希腊德谟克利特学派的方法可能是现代科学所必需的前奏，但那并不意味着将中国人的观点批评为纯粹的迷信是正确的。属于同一类的事物会相互感应或相互作用这个思想，在希腊也有呼应者。例如，亚里士多德声言，宇宙有三种运动：空间运动为同类相吸；生长运动为同类相互营养；质的变化则是同类相互影响。这种思想以及与之相同的思想，反映了希腊最古老哲学家的自然现象中的“爱”与“恨”的思想。但这儿必须强调的是，当希腊思想作为一个整体来说后来偏离上述观点而走向机械的因果观念之时，中国的思想却发展为一种有机的观念。认为中国人对于宇宙的看法是原始的，这实在是一个错误，而且是严重的错误。我们的宇宙是一个精确有序的宇宙，既不受某个至高无上的造物主的法令所主宰，也不由原子的无情的碰撞所左右，它是各种意愿的有机的协调统一，自发而又有序，颇像乡村舞蹈者，他们谁都不受法则约束，谁都不被别人所推动，而是自愿地相互合作。如果月亮在某一时间存在下某一星系，这不是因为任何人命令它这么做，也不是因为它在服从某个可以用数学来表达的规则或孤立的动因。月亮在那儿出现是整个宇宙有机体的自然模式使然，而不是任何其他原因。回顾整个时间长河，我们在德谟克利特观点的结尾处看到的是牛顿的世界，但我们却没有发现中国思想感情有类似的断层。继之而来的是现代的“有机哲学”，它源自 20 世纪的数学家和哲学家怀特海（A. N. Whitehead），对此“有机哲学”我们将在稍后再作论述。

传统中国思想与被普遍接受的现代科学之间的对立，在彼此对于数字的使用方面表现得非常明显。正如我们所应看见的，大量值得赞扬的数学成就当然是产生于中国，保我们在此讨论的问题是中国的数字神秘主义或与他们的关联式思考相联系的数字论。这种数字论正如埃及的金字塔所代表的 19 世纪的联想一样——那里通道的交叉及长度都被视作未来事件的日期——为现代科学思想所不取，它在中国似乎也没有多少科学价值，但同等重要的是，它似乎也并没有产生什么负面影响；事实上，我们可以断言，甚至最夸张的五行与数字的联系也以其自己的方式存在过。显然他们在中国科学思想感情的发展中起过作用，正如欧洲曾出现使用法律程序审判动物这样的过分情形是“自然法则”观念的前奏。

东西方的时空观也是不同的。对子古代中国而言，时间不是一个纯粹抽象的量，而是被分成不同的季节，每个季节又有各自的节气。不过，延续性也是有的，因为时间只以一个方向流动，而且在中国从未有任何倾向采用印度哲学家的时间循环说，即使印度的信仰在中国是有所知的。空间并不是一种向全方位延伸的抽象统一体，而被分成了东、西、南、北、中各个不同的领域，各自又与时间和五行相关联。东方永远与春天和木有关联，南方与夏天和火，等等。这种分隔的世界与伽利略及牛顿将几何空间和宇宙重力延伸到整个宇宙之前的中世纪欧洲十分相像。 40

对于古代中国而言，事物之间主要是相互联系的关系而不是因果关系。正如董仲舒在公元前 2 世纪所说： 41

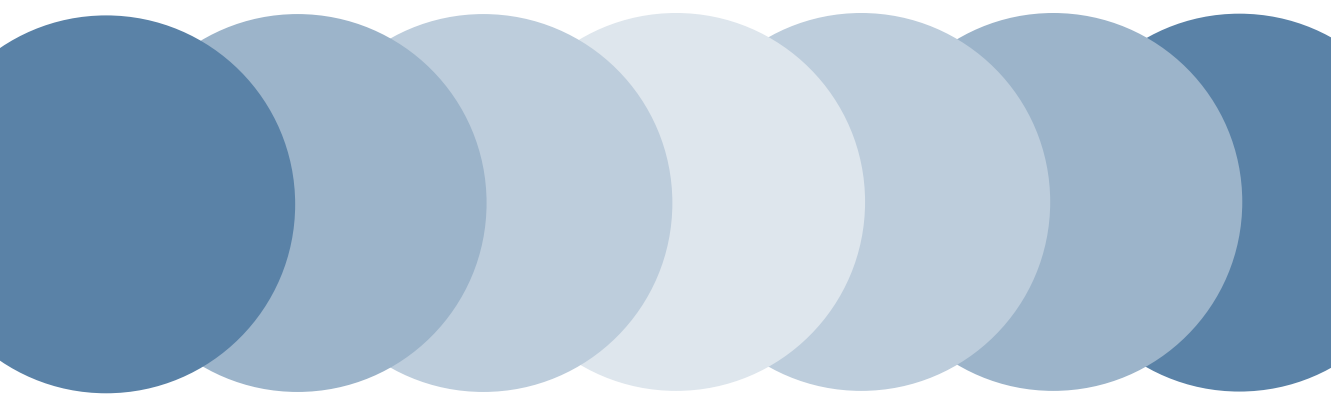
天之常道，相反而物也不得两起。（阴与阳）并行而不同路，交会而各代理。此其文。

宇宙是一个庞大的有机体，有时这个分子占主导，有时那个分子占主导，各个部分都以完全的自由互相合作互相服务。

在这样的一个系统中，因果关系不是各个事件之间的关联，而颇像现代生物学家所称的哺乳动物的“内分泌乐队”，在这个“乐队”里，虽然所有的内分泌腺都在工作，却不容易发现哪一种因素在起领导作用。我们成该清楚，当考虑哺乳动物，甚至人类本身的高级神经中枢方面的问题时，现代科学需要这种“内分泌乐队”观念。但若撇开现代科学，很清楚，这样一种因果观念，即承上启下的观念依附于互相依赖的观念，统治了中国思想。 42

[...]

《沙乡年鉴》 奥尔多·利奥波德



序言

有些人可以在没有野生生物的情况下过活，而有些人则不行。我写下这些文字，便是对后者所饱含的偏爱之情与两难境遇的阐释。 1

在人类社会将野生生物彻底扼杀以前，人们一直以为，野生生物和刮风日落一样，都是大自然习以为常的存在，于是也就把野生生物的存在视为理所当然。如今，我们所面临的问题是：为了追求一种所谓更高层次的“生活水平”，是否必须要以牺牲那些自然的、野生的且又不受约束的东西为代价。对于我们中的少数人而言，目睹天鹅的机会远远要比看电视重要，看到白头翁花绽放是我们的权利，就和言论自由是我们的权利一样。 2

我承认，在机械化为我们的早餐供应提供有效保证之前，在科学为我们揭示野生生物起源和生存方式的戏剧化情节之前，这些野生生物几乎是很少有机会和人类价值扯上关系的。于是，所有争论的焦点最后便归结为度的问题。我们中的一小部分人发现了发展过程中的边际报酬递减定律，而我们的反对派却依然对此无动于衷。 3

*

*

*

人们必须依据事物当前的存在状况来制定应对之策，我的拙作便是我的应对之策，它可以分成以下三部分。 4

第一部分讲述的是我和我的家人，在远离现代化喧嚣的世外桃源一小木屋，欢度周末时光时的见闻和趣事。在威斯康星的这片沙地农场，起初人们榨干了土壤的全部价值，然后它被我们这个又大又好的社会所抛弃，我们试图拿起铁铲和斧子重建这个农场，找回我们在别处正在失去的东西。恰恰是在这里，我们找到了，并且进一步发掘着上帝赐予我们的东西。 5

这些关于小木屋的素写，按季节编排在一起，便构成了一部“沙乡年鉴”。 6

第二部分，“素写一这儿和那儿”，讲述了一些给我思想以启迪的生命中的小插曲，这种小插曲通常表现为我与往昔同行们的一些意见龃龉，时而甚至非常痛苦。如今，这一类插曲遍布于北美大陆之上，存续了 40 年之久，它们为标着集体主义标签——亦即自然资源保护主义——的各种问题提供了一个很好的样板。 7

第三部分，“结论”，从逻辑学的角度，阐述了一些我们作为不同意见者的观点，并努力将这些观点变得合乎逻辑。只有那些与我们志同道合的读者，才会努力去寻找第三部分中提及的哲学问题的解决方法。我想，或许可以这样说，这些文字可以告诉我的同行们如何回到过去以实现认识上的统一。 8

* * *

如今的自然资源保护主义，已经来到了穷途末路，它与我们现有的亚伯拉罕式的土地观念背道而驰。我们滥用土地，因为我们将它当作自己的附属财产。而唯有当我们把自己看作土地的附属品时，才会以热爱和敬畏之心去利用土地。对于土地而言，我们无法使其免于被机械化武装过的人类的影响，对于我们而言，我们也无法在科学的制约下从土地中得到它之于文化的美学收获。 9

“土地是一个共同体”是生态学中的基本概念，但是土地应该得到热爱和尊重则是伦理范畴的事情。土地孕育了文明，这是尽人皆知的事实，如今却被我们忘在脑后。 10

我的这个集子，正试图将这三种概念联结起来。 11

当然，对于这种关于土地与人类关系的观点难免会受到个人阅历和偏见的侵染和扭曲。但是，不论真理是否会被扭曲成谬论，有一点始终如水晶般清澈明晰，那便是：我们现在的又大又好的社会活像一个忧郁症患者，整日惴惴于自身的经济健康，却失去了保持其自身健康的能力。整个世界是那样贪婪地想拥有更多的浴盆，结果却失去了建造浴盆乃至关掉龙头所必需的控制力。眼下，可能没有什么会比从健康的角度对过剩的物质财富进行审视更有益了。 12

也许，这种价值观念的转变可以通过重新评价非自然的、平淡的，但是基于自然的、野生的、无拘无束的事物而产生的事物，从而得以实现。 13

奥尔多·利奥波德

1948年3月4日

于威斯康星州麦迪逊市

二月

好橡树

倘若你没有自己的农场，那么你的精神世界会有这样两种损失：其一，你会想当然地认为饮食来自食杂店；其二，认为一切热量都来自暖气片。 1

为防范第一种损失的发生，你应该置办一个菜园，当然附近最好没有食杂店，这样你就可以把它忘掉了。 2

为防范第二种损失，你最好劈几段好橡木放在炉架上，当然旁边暂不要安放火炉，当 2 月的暴风雪肆虐地摇曳窗外的大树小树时，橡木就能温暖你的小腿。伐树、劈柴、拖运、整理，如果你经历了这些环节，你就会摒弃先前的想法，你就会清楚地知道热量到底源自何处，且有充足的论据，否定那些周末张开腿围坐在暖气片旁的城里人的想法。 3

* * *

这棵特别的橡树在火炉里燃烧，散发着光热，它原本生长在通往沙丘的西进之路边上。橡树被伐倒后，我曾经测量过树干的直径，足足有 30 英尺。观察树桩的侧面，我发现这棵树有 80 圈年轮，也就是说，它作为一棵树苗形成第一圈年轮的时间，应该在 1865 年，即南北战争结束的那一年。根据我对橡树生长过程的考证，一棵橡树从萌芽生长至兔子够不到的高度，至少需要 10 年，或是更长时间，而且每年冬季都会蜕去一层树皮，而在来年夏天再重新长出来。这便再清楚不过了：橡树存活下来，其实是兔子们粗心大意或是它们的数量骤减的结果。我相信，在将来的某一天，会有一位致力于橡树研究的植物学家绘制出一条关于现有橡树起始年份的分布曲线，以 10 年为单位，从那上面我们可以看出，曲线突起的 10 个年头，一定是兔子繁殖最为低潮的 10 年。（宽泛意义上的植物种群与动物种群，正是通过彼此间的争斗才实现了整体的繁衍生息。） 4

依此原理进行推测，兔子繁衍的低潮期很可能出现在 19 世纪 60 年代中期，此时，我的橡树已经开始了年轮的印记。不过长出这棵橡树的橡实是在 50 年代落下的，至少要比橡树早 10 年的光景，当时正值西进运动的大篷车途经此地。人车洪流的冲刷与磨损造就了如今的空旷之地，也才让这颗特别的橡实有机会向太阳舒展开第一片叶子。在 1000 颗同样的橡实之中，只有 1 颗能够生根并长到能与兔子抗争的高度，其余的橡实尚未抽枝发芽就已经淹没在茫茫草原之下了。 5

这颗橡实不但没有被茫茫草原所吞没，反而还沐浴了 80 年的 6 月阳光，这不得不说的是一件令人振奋的事情。这些阳光——眼下正从我的斧子和锯子之间流淌出来，经受住了 80 年来的暴风雪侵袭，温暖着我的小屋和心灵。与此同时，从我烟囱里冒出的缕缕青烟，似乎也在向众人昭示，太阳的照耀并非徒劳。

我的狗儿并不关心热量来自哪里，它只关心热量一定要来，而且是越早越好。的确，它笃信我在获取热量方面的超凡能力，每当我从拂晓的黑暗和冰冷中挣脱爬起，撑着颤抖的膝盖在炉边生火的时候，它总是很温顺地蜷缩在我和灰烬上放着的柴堆之间，而我只好从它腿间把划着的火柴送到柴禾上，点着壁炉。我想，这应该就是能够撼动群山的忠诚吧。

一次雷电结束了这株特别橡树的木材制造能力。记得那是 7 月的一个晚上，我们被接连不断的雷鸣声惊醒，我们猜想，闪电肯定是击中了附近的什么东西，不过幸运的是，它没击中我们，于是大家又回去睡觉了。人类总是习惯于拿各种事情来接受自己的考验，只不过这次的主角换成了闪电。

第二天早上，正当我们徜徉在沙丘上，为刚刚接受过新雨洗礼的雏菊和草原苜蓿高兴之时，却意外地发现一大块厚厚的树皮躺在路边，像是刚刚从路边的橡树干上撕下来的。裸露白色木质的树干上有一条长长的螺旋状的疤痕，有一英尺宽的样子，树皮应该刚被撕下不久，因为白色的树干还没有被太阳晒黄。等到第二天我们再次来到橡树旁的时候，上面的叶子已经枯萎。于是我们明白，闪电馈赠给我们三大捆以备将来之需的木柴。

我们因失去这棵老橡树而倍感沮丧，但是我们懂得，沙丘上一簇簇挺立而坚毅的它的子孙们，已然将老橡树的木材制造工作接了过去。

老橡树现在已经不能发挥它先前的功用了，于是我们用一年的时间把它在阳光下晒干，然后在一个清新的冬日，拿来一把刚刚被锉磨砺过的锯子，结束它在大地上之的存在。历史的碎屑随着锯子的移动从树干里喷洒出来，透着芬芳的气息，不断地在伐木工面前的雪地上堆积起来。我们深知这两堆儿锯屑的重要性，其意义远甚于木材本身，它更像是一台满载历史记忆的留声机，每一圈年轮都有不同的历史回响。锯子向着终点一步一步前移，10 年又 10 年，感知着老橡树毕生的时光。与其他年表所不同的是，老橡树的年表是由同心圆组成的。

*

*

*

锯子拉了十几下，达到了我们开始拥有这一棵橡树的时期，在我们拥有它的这几年，我们更加懂得如何去热爱和珍惜现在的农场。不知不觉中，我们到达了橡树的前任主人——造私酒者的年代，他讨厌这个农场，挥霍了仅有的几块肥沃土地，然后烧掉了农舍，把它抵给了政府管理部门（据说，一同抵给政府的还有拖欠的税款），再然后，他就淹没于大萧条时期无家可归的无名者的洪流之中了。不过，橡树也曾为前任主人献出过优质木材，那时的锯屑和现在也没什么两样一芬芳、优质、粉嫩。可以看出，橡树对所有人都是一视同仁的。

造私酒者因沙尘和干旱放弃了对农场的管理，至于确切时间，已经无从考证了，大抵是在 1936 年，或是 1934 年，或是 1933 年，再或是 1930 年。在那几年里，从蒸馏室里冒出的橡木烟以及从沼泽地里冒出的黑炭烟简直把太阳的光辉都给遮去了。大萧条时期的保护主义曾在这片土地上被广泛推行，然而锯屑劫未发生丁点儿变化。

“嗨，我们该休息一下了，”主事的锯工喊道，于是我们坐下来喘口气。

*

*

*

现在锯子行进到了 1920 年，也就是巴比特时代的 10 年。此时，所有事情都在散漫与自大的情绪下变得更大、更好，而 1929 年的股市崩盘毁掉了这一切。即便橡树听到了股市崩盘下的惨叫声，但它却不会作任何反应。当然，它也不会在意议院发布的关于保护树木的声明——1927 年的《国家森林和森林作物法》、1924 年的《密西西比河上游河谷低地保护条例》以及 1921 年的《新森林法》。它不会在意最后一只美洲貂是不是在 1925 年绝迹，也不会在意 1923 年燕八哥第一次造访这里。

1922 年 3 月的一场大冰雹，给附近的榆树给以致命性的打击，枝叶散落一地，而我们的橡树却安然无恙，至少没有被损毁的痕迹。那可是一吨冰啊，不过，这对好橡树又算得了什么呢？

“嗨，我们该休息一下了，”主事的锯工喊道，于是我们坐下来喘口气。

*

*

*

锯子继续行进，现在来到 1910 至 1920 年间，那是人们做排水梦的 10 年。那时，蒸汽挖掘机集结在威斯康星中部地区，期望抽干沼泽地里的水，造万亩良田，结果却是废土渣遍地堆积。我们的沼泽逃过一劫，并不是因为工程师们的谨慎与宽容，而是因为 4 月的河水泛滥猛烈——或许是一种自卫性的猛烈，而这种猛烈尤以 1913 至 1916 年间最为显著，结果使工程师们之前的努力付诸东流。而老橡树的境况依然没有发生改变，即便到了 1915 年。这一年，州最高法院废除州属林业，州长菲利普甚至断言，“州属林业确实不是一个好的商业主题。”（或许州长不会想到什么是“好”，什么是“好的商业”，“好”和“好的商业”标准并不唯一。他也不会想到，当法院在法律文书上写下“好”的定义的时候，火在地表在用另一种方式诠释着“好”的定义。当然，对于州长而言，做出这样的决定无可厚非。）

在这 10 年里，林业发展是走下坡路的，但动物保护主义却得到了大力推进。1916 年，雉尾鸡成功地在瓦克夏郡安家落户；1915 年联邦法律禁止在春季狩猎；1913 年州立动物农场设立；1912 年，

“雄鹿法”出台，有效地保护了雌鹿；1911 年，动物保护区如雨后春笋般涌现，动物保护呈遍布全国之势。“动物保护”已然成了一个神圣流行的字眼，可老橡树并不在意。	
“嗨，我们该休息一下了，”主事的锯工喊道，于是我们坐下来喘口气。	20
* * *	
现在，锯子来到了 1910 年，这一年，一位知名大学校长出版了一部关于自然环境保护的专著；锯蝇泛滥成灾，损毁了数以百万计的落叶松；天气干旱，松树大面积枯死；一辆挖掘机吸干了荷里康沼泽。	21
锯子来到了 1909 年，这一年，胡瓜鱼开始在五大湖区首次养殖；同时，由于这一年夏季雨水丰沛的缘故，立法机关消减了森林防火拨款。	22
锯子来到了 1908 年，这一年，天气干旱，大面积的森林被无情地烧毁，威斯康星告别了最后一只美洲狮。	23
锯子来到了 1907 年，这一年，一只流浪山猫在找寻希望之乡时迷失了方向，结果在戴恩县结束了自己的生命	24
锯子来到了 1906 年，这一年，首任州政府的林务官员正式走马上任；可是大火却烧掉了沙乡 17000 英亩的山林。锯子来到 1905 年，这一年，一群苍鹰从北方飞来，吃光了当地的榛鸡毫无疑问，这些苍鹰也在我们的树上落过脚，并且吃掉了我们的榛鸡。锯子来到了 1902 末 1903 初，正值严冬；锯子来到了 1901 年，这一年遭遇了有气象记录以来的最严重的干旱—全年仅仅有 17 英寸的降水量。1900 年是寄托希望和祈祷的世纪之年，而橡树仅是多了一圈年轮。	25
“嗨，我们该休息一下了，”主事的锯工喊道，于是我们坐下来喘口气。	26
* * *	

现在，我们的锯子来到了 19 世纪 90 年代，被那群把目光瞄向城里而非土地的人美其名曰为“欢乐时代”的年代。锯子来到了 1899 年，最后一只旅鸽竟然撞到了一颗从巴布洛克附近——这里是北部两个县的交界地——射出的子弹上。锯子来到了 1898 年，那年秋季干旱，冬季又无雪，土地冻了足足有 7 英尺深，许多苹果树因此没有熬过那个严冬。1897 年，又是一个干旱之年，又有一家林业委员会成立。1896 年，仅斯普纳一镇就向市场运送了 25000 只草原榛鸡。1895 年，又是一个森林火灾频发的年份。1894 年，同样是一个干旱之年。1893 年，也就是“蓝知更鸟风暴”那年，3 月的暴风雪几乎将迁徙途中的知更鸟赶尽杀绝——第一批迁徙的知更鸟总要在这一棵橡树上驻留停歇几日，可到了 90 年代中期，它们却停也不停就飞走了。锯子来到了 1892 年，这又是一个森林火灾频发的年份。1891 年，榛鸡经历了数量增长的低潮期。1890 年，巴布科克牛奶检测仪诞生，这给了州长海尔大肆吹嘘的机会，他断言，半个世纪以后，威斯康星将成为全国奶酪的主产区。现如今，摩托车驾驶证上高调地炫耀着威斯康星的这一成就，单就这一点来说，估计巴布科克教授本人也没有预料到。

1890 年还有一件事情值得关注，我们的橡树见证了历史性的一刻——史上最大的松树筏沿着威斯康星河顺流而下，用于支援草原各州的红色牛棚帝国的建设。这些上好的松树有效地阻止了暴风雪对牛棚的侵袭，就像好橡树阻止暴风雪对我们的侵袭一样。

“嗨，我们该休息一下了，”主事的锯工喊道，于是我们坐下来喘口气。

*

*

*

现在锯子行进到了 19 世纪 80 年代：1889 年，同样是干旱的一年，这一年，植树节首次被官方批准设立；1887 年，威斯康星任命了首位狩猎监管官；1886 年，农业专科学院为农民开设了第一期短期培训课程；1885 年，威斯康星经历了一个“无比漫长和严寒”的冬天；1883 年，院长 W. H. 亨利报告说，麦迪逊市的春天花期比往年晚了 13 天；1882 年，受 1881 年末和 1883 年年初的“暴风雪”和极度严寒天气的影响，曼多塔湖与往年同期相比，晚一个月解冻。

1881 年同样有一件事情值得关注：威斯康星农业协会在一个问题上辩论不休，即“你怎样看待黑橡树的二次增长，众所周知，在过去的 30 年，黑橡树已经遍布全国”。我的橡树便是众多黑橡树中的一株。一个与会者认为，黑橡树增长是自然繁衍的结果；另一个与会者则认为，黑橡树的生长是南方的旅鸽在向北方迁徙时吐落橡实的结果。

“嗨，我们该休息一下了，”主事的锯工喊道，于是我们坐下来喘口气。

*

*

*

现在，锯子行进到了 19 世纪 70 年代，这是威斯康星为小麦而狂欢的 10 年。1879 年的一个星期一的早晨，麦虱、蛱螬、锈病及土壤贫瘠让威斯康星的农场主们更加坚信这样一个事实，即，威斯康星的小麦种植环境是竞争不过西部原始草原的。我怀疑，我的农场就曾参与过这样的竞争，橡树背面的流沙就是这里曾经种过小麦的推断的最好佐证。

也是在 1879 年，威斯康星开始养殖鲤鱼，而匍匐冰草也从欧洲不远万里偷渡至北美大地。1879 年 10 月 27 日，6 只迁徙途中的草原榛鸡落在麦迪逊市德国卫理公会教堂的树上，鸟瞰着这座欣欣向荣的城市。11 月 8 日，据记载，麦迪逊市场充斥着 10 美元一只的鸭子。	34
1878 年，一位来自索克拉匹兹的猎鹿者卓有预见性地宣称：“猎鹿者的数量远远超过鹿的数量。”	35
1877 年 9 月 10 日，一对兄弟在马斯克戈湖狩猎，竟然在一天里收获了 210 只蓝翅水鸭。	36
1876 年，应该算作是有气象记录以来最湿涝的年份，累计降水量达到了 50 英寸。草原榛鸡数量的锐减，或许与大暴雨不无关系。	37
1875 年，4 个狩猎者在约克郡（美国东部的一个县）大草原猎杀了 153 只草原榛鸡。同一年，美国渔业委员会在戴威尔湖养殖大西洋鲑鱼，就在我的橡树南面 10 英里的地方。	38
1874 年，第一批工厂生产的铁蒺藜围栏钉在了橡树上，但愿锯子向前行进时不要碰到这倒霉的人工制品！	39
1873 年，一家位于芝加哥的公司收购并向市场上投放了 25000 只草原榛鸡，芝加哥交易市场的交易商们以每打 3.25 美金的价格购得 600000 只。	40
1872 年，最后一只野生威斯康星火鸡被猎杀，地点在威斯康星东南两县交界的地方。	41
这样评价过去的 10 年再恰当不过：它是结束拓荒者的小麦狂欢宴的 10 年，同时也是结束拓荒者的鸽血狂欢宴的 10 年。1871 年，在我的橡树偏西北方向 50 英里的三角地带，大约 1.36 亿只鸽子在这里筑巢，有的甚至已经把家安好，因为那时这里的小树茂盛得已经有 20 多英尺高。但残暴的猎鸽者们利用网、猎枪、棍棒还有岩块等工具，进行着他们肮脏的勾当，并把这些未来的鸽肉馅饼源源不断地运往东方和南方的各个城市。这应该是鸽子最后一次在威斯康星筑巢，对于其他州而言，估计这也是最后一次。	42
1871 年，帝国发展进程中所面临的困难，还有其他证据予以佐证：一是佩什帮戈大火，这场大火几乎吞噬了两个郡县的森林和土地；还有一个就是芝加哥大火，据说，此次大火是由于一头母牛为发泄不满踢翻了草料堆上的油灯造成的。	43
1870 年，田鼠谋划了它们帝国中一次宏伟的行军进程，吃光了新设州府的新果园，然后死去。不过我的橡树倒是安然无恙，或许树皮太过厚实的缘故，让得它们觉得乏味且无从下口。	44

还有一件事同样发生在 1870 年，当时一个狩猎者在《冒险家》杂志大肆炫耀自己的“战果”，宣称用了 3 个月时间就在芝加哥附近地区猎杀了 6000 只野鸭。 45

“嗨，我们该休息一下了，”主事的锯工喊道，于是我们坐下来喘口气。 46

* * *

我们的锯子行进到了 19 世纪 60 年代，数以万计的人为解决以下问题而失去了生命：人与人组成的共同体是否会轻易瓦解吗？他们解决了这个问题，但是他们并没有看到结论，我们同样也没有看到结论。或许，如果有结论的话，它同样也可以适用于人与土地这个共同体是否会轻易瓦解这一问题。 47

这 10 年也并非没有在重大问题的探索上下功夫。1867 年，英克里斯·A. 拉帕姆说服州园艺协会为植树造林设立专门基金。1866 年，最后一只土生土长的威斯康星大角鹿被猎杀了。锯子现在行进到了 1865 年，也就是橡树年轮最核心的那一年。这一年，约翰·缪尔打算从他的弟弟手中买下一块地，用来侍弄那些曾在青年时代给他带来无尽欢乐的野花，当时后者在橡树东面拥有一个方圆 30 英里的家庭农场。但是，他的弟弟拒绝将这块土地转让给哥哥，但这并未扼杀他的梦想，因为 1865 年在威斯康星的历史上是具有非凡意义的一年，正是在这一年，崇尚自然、野生、自由的博爱保护意识已经形成。 48

我们的锯子已经行进到了橡树的中心位置。锯子从现在开始将以与之前截然相反的顺序来讲述历史；先前我们追溯了过往的历史，现在我们换成顺叙的方法向前行进。哦，树干有些晃动了，隙口也变宽了，锯工们抽出锯子，退到了后面安全的地方，拍手欢呼：“倒啦！”我的橡树开始倾斜，发出吱吱的响声，然后向地面猛地倒过去，伴随着振聋发聩的轰隆声，它一动不动地躺卧在曾给它以生命的移民之路旁。 49

* * *

现在我们开始整理木材。大槌敲在铁楔子上，树干被一块块分割开来，变成芬芳的碎片，等待着我们将它们捆将起来。 50

对于历史学家而言，锯子、楔子和斧子的不同功用简直是一个寓言。 51

锯子按部就班地开始工作，它只能横穿树干，有顺序地穿过每一年。每一年，锯齿都会从树干中带出一些历史事件的碎屑，碎屑逐渐累积成一个小堆，伐木者称之为锯屑，历史学家则美其名曰为史料。不论是伐木者，抑或是历史学家，他们都是通过对显露在外的样本特性的分析，来得到其内在蕴含的价值的。树倒下来，只有当树干的横截面被完全切开并显现后，树桩才能显现其中所蕴藏的世纪风景。当树倒下去时，便很好地诠释了我们称之为历史大杂烩的整体面貌。 52

另一方面，楔子只能在纵向裂口中工作，这样的裂口可能会让你立刻看到历史全貌，当然，也有可能让你什么都看不到，这主要取决于纵向裂口的选择技巧—如果你找不到这样的纵向裂口，那么你最好等上一年，待有了裂口以后，再使用楔子；若你急于使用楔子，往往会把楔子陷在树干的裂纹之中，不但看不到你想要的结果，还会让楔子锈在里面。 53

斧子只能用来斜砍树干，用斧子砍树，你只能窥测到外围的风貌，无法深入。它的特别功用在于修整树枝，但就这一点来讲，斧子是锯子和楔子所无法替代的。 54

锯子、楔子、斧子，它们都是处理好橡树的必备工具，当然也是发掘史料的必备工具。 55

*

*

*

在我思考这些问题的时候，水壶发出了悦耳的蜂鸣声，白色炉灰上的好橡树已经烧成了红炭。待春天到来，我会把这些自色的炉灰重新放回到山脚下的果里，届时它们将重新回到我身边，或许是以一枚红苹果的形式，再或者是以一种进取精神的形式—某种让 10 月里肥硕的松鼠不知何故却又忘我地播种橡实的精神。 56

亚利桑那和新墨西哥

像山那样思考

一串低沉、傲慢的嗥叫，回荡在一道山崖和另一道山崖之间，从山上滚下，湮没于黑漆漆的夜晚。1
那声音中，宣泄着一种狂野桀骜的悲痛，也宣泄着对一切困境的鄙夷。

这一串嗥叫，让每一种活物一大概也有一些死者一都觉得心惊胆战。对于鹿儿而言，那是血肉末路2
的提醒；对于松树而言，那是雪夜凶衅的预言；对于郊狼而言，那是分一杯羹的允诺；对于牧场主而言，那是账户赤字的威胁；对于狩猎者而言，那是獠牙弹丸的对决。然而，在这些显而易见、直截了当的希望和恐惧的背后，还隐藏着一层更深刻的含义，这含义只有山知道。因为它活得最久，见得最多，能够客观地聆听一匹狼的嗥叫。

尽管人们无法领会这深一层次的含义，但是，他们知道它就在那里，整个地区都能感觉到它的存在，3
因而有别于任何无狼的地区。这种暗示，足以令那些夜间听到狼嗥、白昼见过狼迹的人脊背发冷。即使没有见过它的样子，或没有听过它的声音，许多琐碎的事件暗示了它的存在：一匹挽马在半夜的嘶鸣；哗啦啦的碎石滚落声；一只奔命的鹿儿的蹄响；云杉下阴森的小路。只有十分愚笨的新手才感觉不出狼的存在，也察觉不到山对于狼讳莫如深的态度。

自从那天看到狼死去，我便对这一点深信不疑。当时，我们正在一个高高的悬崖上吃午餐，下面一条河流蜿蜒着向前湍急奔去。我们原以为看见的是一只雌鹿，它将整个前胸浸在白色的水花里，4
正从激流中涉过。当它爬上岸，正对着我们摇起尾巴时，我们才意识到自己的错误：那是一匹狼。除此而外，还有6只，它们显然已经度过了幼年时期，从杨柳丛中跳了出来，也都摇起尾巴，嬉戏着加入了欢迎的行列。完全无疑，在我们所在的悬崖下方的空地上扭打、滚动的，正是一群狼。

在那个时代，我还从未听说过有何理由放弃杀死一匹狼的机会。紧接着，我们便将子弹填满枪膛，5
却由于过度兴奋而无法瞄准：实话说，如何从这样陡峭的悬崖上向下瞄准，我们真不知道。当我们把枪膛内的子弹打空时，那头老狼也倒下了，还有一只狼幼崽拖着一条腿，向那堆由雪崩堆积起来的、人类难以涉足的碎岩中逃去。

我们很快来到那头老狼身边，甚至还亲眼看见，那一道凶残的绿光从它垂死的眼中迸射而出。我明白了，并且从此记住，它的目光所表达的东西是我从未见过的，只有它和山知道。我那时还年轻气盛，对扣动扳机充满了渴望。我原本以为，狼的数量减少了，鹿的数量理所当然就会多起来，而狼消失的地方，就意味着那里将成为猎人的天堂。然而，当我看到它眼睛里那束垂死的绿火以后，我感觉到，无论是狼还是山，都不赞同这样的观点。

6

*

*

*

从那以后，我在有生之年见证了狼从一个州又一个州中覆亡，也目睹了许多狼消失后的山的“新面貌”，着见了朝南的斜坡上被鹿儿踩得像通往迷宫一样纷乱的小径。我看见每一株可食用的灌木丛和幼苗都被啃食，由衰弱到枯萎，直至最终死亡。我还看见每一株可食用的树，马镫高度以下的叶子被吃得精光。这样的一座山，看起来像是有人给了上帝一把大剪刀，除了修剪枝条外，禁止他做任何其他的事情。最终，鹿群发展到了人们渴望中的数量，但是由于数量过于庞大，而变成了饿死的白骨，这些骨骼或者跟死去的艾蒿丛一起变白，或者在够不到其叶片的刺柏树下腐朽。

7

我猜想，正像鹿群活在对狼的极度恐惧之中，如今，山也正同样活在对鹿的极度恐惧之中。或许，山的恐惧有更充分的理由，因为当一只雄鹿被狼拖走后，三两年后，会有另外一头雄鹿取代它。而一座被太多鹿儿破坏的山，却用几十年也不可能恢复原状。

8

牛群亦是如此。牧牛人清理了他领地范围内的狼却没有意识到自己正在接手狼的工作——不断调整牛群的数目，以便适应其草场的承载能力。他还没有学会像山那样思考。因此，我们得到了沙尘暴，而河流也将我们的未来冲进了大海。

9

*

*

*

我们都在为安全、繁茂、舒适、长寿和简单的生活而不断奋斗着。鹿用它那灵便的四肢奋斗着，牧牛人用陷阱和毒药奋斗着，政治家用笔奋斗着，我们中的大多数人用机器、投票和美元奋斗着。但不管通过什么方式，它所达到的结果都是一样的，即为了我们这个时代的和平。用这种方法作为衡量成功的标尺固然是好的，并且从客观思考角度来讲，也必不可少，但是从长远来看，太多的安全似乎仅能带来危险。或许，这就是梭罗的格言背后所蕴含的深层含义：野蛮是这个世界的救赎。或许，这就是狼的嗥叫所隐藏的含义，长久以来它早已为山所理解，但却极少为人们所知道。

10

土地伦理

英雄的奥德修斯从特洛伊战争中回来，绞死了家中的 12 个婢女，理由是他怀疑她们在自己离家期间品行不端。 1

这样的绞刑并不会牵涉到适当得体的问题。那些婢女不过是他的财产，而当时对财产的处置与现在无异，只要私有财产的主人乐意，并无对错之分。 2

而对于奥德修斯时代的希腊来说，并不缺少对错的观念：在他那黑色的舰船劈开酒红色的海浪重返家园之前，他的妻子在漫长岁月中所保持的贞洁便是一种见证。那个时代的伦理范畴止于夫妻血亲，并未人性化地延伸到奴婢。从那以后的 3000 年里，尽管道德标准已经延伸至很多行为领域，而其所削减掉的，也不过只是一些与权利相关的行为而已。 3

伦理的演化历程

迄今为止，这种仅仅由哲学家参与研究的伦理学扩展过程，事实上是一个生态演化的过程。对于伦理的演化顺序，既可以用生态术语来描述，也可以用哲学术语来描述。从生态学的观点来看，伦理是一种对为生存而斗争的行动自由的限制；而从哲学角度来看，伦理反映了社会行为和反社会行为的差别。它们是对同一事物的两种不同定义方式。相互依赖的个人和团体，倾向于在相互合作的演化模式中共同发展，这是可以追溯根源的，生态学家称之为共生。政治学 and 经济学则是更高层级的共生，所以说它们高级，是因为暗含在政治学 and 经济学中的最初那部分自由竞争机制，某种程度上而言，已经被具有伦理内容的合作运行机制所取代了。 4

这种合作运行机制的复杂性，随着人口密度和工具效率的提高而不断增长。比如，为古乳齿象时期的棍子和石头定义反社会行为，要比发动机时代的子弹和广告牌简单得多。 5

最初的伦理观念是用来处理人与人之间的关系的，摩西十诫便是一例。随后的伦理观念中，才增添了处理个人与社会之间关系的内容。这些规矩试图将个人融入社会，而后来的民主政治，则试图将社会融入个人。 6

迄今为止，还没有一种用来处理人与土地关系的伦理，也没有一种伦理，用以处理人与土地上所生长的动植物之间的关系。因此，土地仍好比奥德修斯的婢女一样，仍旧只是一种财产。而人与土地的关系完全被经济性所主导，对于人而言，其中只包含了所需的特权，却对所需承担的义务避而不言。

7

若我对此理解无误，那么，伦理规范在人类环境中的第三要素上的延伸，便成为一种进化可能和生态必然。在伦理顺序中，这是第三个步骤，而前两个步骤已经实现。自以西结和以赛亚时代以来，某些思想家就曾做出这样的预言，对土地的掠夺行为不仅不明智，而且十分错误。只不过，当时的社会并未对他们的信仰给予肯定，我且将目前的自然保护运动视作肯定这种信仰的萌芽。

8

伦理可以被视为一种指导模式，旨在应对那些如此新颖或复杂的生态情境，或涉及延迟反应的情境，以至于一般个人无法辨别社会权宜之道的路径。动物的本能，是个体在面对此类情境时的指导模式；而伦理，可能是一种正在形成的共同体本能——或者说，是一种群体正在孕育的发展中的本能。

9

何谓群体

迄今为止，所有伦理的形成都依赖于这样一个前提：个人是各个组成部分相互依赖的共同体中的一员。他的本能，促使他为了在群体中获取属于自己的地位而去竞争；而他的个人伦理观，又促使他跟群体中的其他成员共同合作——或者，这合作的目标是为了创造对其自身更为有利的竞争环境。

10

土地伦理只是扩展了群体概念的外延，把土壤、水、植物、动物囊括其中。也许，我们可以把这些要素统称为——土地。

11

这听起来似乎很简单：我们岂不是早已表达过自己对自由土地和勇敢家园的热爱和担当了吗？没错，我们的确这样做过，但问题是：我们所爱的是谁，或者说，我们所爱的是什么？我们不爱土壤，正匆忙地将它付诸滚滚而去的河流。我们不爱水，它除了转动涡轮、浮起驳船和冲走污浊之外，简直一无是处。我们不爱植物，即便它们在我们眼前彻底消失也不足惋惜。我们也不爱动物，一千最大最美的物种早已被我们赶尽杀绝。土地伦理当然阻止不了我们对这些资源的改造、管理和使用，却能证实它们继续存在的权利，而且至少在某些地区，能证明它们在自然状态下继续存在的权利。

12

简而言之，土地伦理旨在扭转人类在“土地-群体”中的征服者角色，将我们变为“土地-群体”的一
13
员公民。这意味着对群体其他成员的尊重，也意味着对群体本身的尊重。

透过人类历史，我们已经知道—或者说，我希望我们已经看透所谓征服者，到头来无不自掘坟墓，
14
自食苦果。这是为什么呢？因为对征服者这个角色而言，实际上隐含着这样一层含义：征服者即是
权威，在群体生活中，唯有他才知道如何使群体运转下去，知道群体中哪些人和事物是有价值的，
而哪些是没有价值的。而事实证明，征服者对此一无所知，于是，他最终也败给了自己的征服。

在生物群落中，类似的情况也是存在的。亚伯拉罕能确切地知道土地能为他带来什么：将奶与蜜滴
15
入他的口中。但现在，我们对待这种观点的信心却与我们的教育程度反比骤降。

时下的普通民众确信，科学一定知道是什么使群体在运转，然而科学家却说，他们什么也不知道。
16
他们深信，生物运行机制是如此复杂，以至于他们对其活动方式永远也不可能完全理解。

事实上，历史通过生态学的阐释表明，人类仅仅是生物群体中的一员。迄今为止，许多历史事件都
17
只是从人类进取精神方面得到了解释，但实际上，人类和土地之间的相互作用才是导致历史事件发
生的主要原因。土地的特性决定了事件的发生，正如它的特性决定了居住于其上的人类的特性。

为了证明之前的结论，我们不妨看看定居在密西西比河峡谷地区的居民。在独立战争后的那些年
18
里，有三个群体争夺着那里的控制权：当地的印第安人、法国和英国的贸易商以及美国的拓荒者。
历史学家们都想知道，倘若当初在底特律的英国人朝天平一端的印第安人这边加一点力，结果会如
何？因为这会直接决定殖民地居民向肯塔基的野藤条地迁移的结果。如今，我们可以重新考虑一下
这个事实。当那些野藤条地被由拓荒者的牛、犁、火、斧头所代表的各种力量征服时，这里便变成
了蓝草地。在这些力量的影响下，假使这些黑暗血腥的土地上所固有的植物演替带给我们的是一些
没有价值的莎草、灌木丛或者是杂草，那又将会是怎么样的情形呢？布恩和肯顿会坚持下来吗？那
些移民会因此而涌向俄亥俄、印第安纳、伊利诺伊和密苏里吗？美国购买路易斯安那的交易还会发
生吗？还会有横贯新大陆的国家联盟吗？还会发生美国内战吗？

肯塔基只是美国戏剧化历史中的一小部分。通常情况下，我们会被告知在这个戏剧中，人类演员试图要做什么，很少得知最终的成败。他们成功或失败，很大程度上取决于各自所占有的土地，后者会对他们的劳作产生不同的回馈。在肯塔基的案例中，我们甚至不知道蓝草来自哪里——它们是本地的物种，还是来自欧洲的偷渡者？ 19

我们后来才知道的西南部地区，与野藤条地区形成了鲜明的对比，这里的拓荒者同样勇敢、充满智慧、不屈不挠。拓荒者占据这个地区后，没有带来蓝草，也没有带来能够经受得住猛烈垦荒的其他植物。在放牧过后，越来越多毫无价值的草地、灌木丛和野草占据了这里，令这个地区回到了一种不稳定平衡的状况。每一次植物种类的衰减都会造成侵蚀，而每一次侵蚀，又会导致植物种类的进一步衰减。于是，便有了今天这样的结果：不单植物和土壤，就生存于其上的动物群落也开始退化了。早期的拓荒者并没有预料到这个问题：在新墨西哥，有些人甚至在沼泽地挖壕沟来加速这种恶化。环境恶化的过程如此微妙，以至于当地居住者很少意识到这个问题，旅行者更是视而不见。对于后者而言，这种被毁坏的景色依然是丰富多彩且令人陶醉的，而事实上，当地的景色与 1848 年相比已逊色太多。 20

以前，这种相同的景观曾一度被“开发”过，却有着截然不同的结果。在哥伦布发现美洲大陆以前，普韦布洛的印第安人曾定居在西南部，他们恰巧是不养殖家畜的部族。虽然他们的文明灭绝了，但并非土地恶化的罪过。 21

在印度，人们是在没有形成草的不毛之地定居的，他们显然没有破坏土地，只是以简单的权宜之计将草带给了牛儿，没有反其道而行。这让我怀疑，他们的做法究竟是大有深意，还是碰巧为之？ 22

总而言之，植物的演替左右着历史的进程，且不说这种演进的好与坏，拓荒者以其先例向我们证明，植物演替是真实存在于土地之上的。历史学所讲授的，不正是这种精神吗？如果能够让“土地-群体”的观念深入人类的认知，我想正是如此。 23

生态良知

自然资源保护是人类与土地之间实现和谐发展的一种状态。尽管对此的宣传已历经将近一个世纪，24
进展却如蜗牛爬行一般缓慢，自然资源保护依然停留于纸面的虔诚和公开的雄辩上。回顾过去 40 年
的自然资源保护历程，简直一曝十寒。

走出这种困境的办法，通常就是进行更多的“自然资源保护教育”。我想，没有人会对此提出质疑，25
但是我们确定我们需要增加的仅仅是教育的量吗？在教育的内容方面，难道我们就不缺一些什么
吗？

对于教育的内容，直接给出一个简明扼要的概括，确实不是一件容易的事情。但是，根据我个人对26
其的理解，它应该是这个样子：遵守法律，行使投票的权利，参加一些专业化组织，并在自己的土
地上身体力行地去做一些有益于自然资源保护的事情。除此以外的工作，就交由政府来做吧。

是否这个经验模式太过简单，以至于不能实现任何有价值的目标？这里没有界定正确与错误，没有27
指明义务，也不需要做出任何牺牲，这也便意味着，当下的价值哲学没有发生任何改变。就土地使
用而言，它所倡导的不过是开明的利己主义。这样的教育会把我们带到多远的地方？透过这个例
子，我们可能会找到部分答案。

在 1930 年，除了那些对生态学熟视无睹的人之外，所有的人都已经变得非常清醒：威斯康星西南部28
的地表土壤正在向大海流失。1933 年，农民们被告知，如果他们连续 5 年采取某些补救措施，国家
将派遣民间护林保土队协助他们，并为他们提供必要的机械和材料。这个提议被广泛地接受了，但
当 5 年的合同期届满后，那些补救措施却大多被人们抛诸脑后。而对于农民来说，只有那些能即刻
产生明显的经济效益的举措才能实施下去。

这些举措的失败滋生了另一个想法：假使农民们自己制定规则，他们可能会学得更快。于是，193729
年威斯康星的立法机构通过了土壤保护区法令，实际上是在告知农民：若您为土地利用制订自己的
规则，政府将会为您提供免费的技术服务，并为您所需的机械提供专门的贷款。每个郡县自行制订
的土地利用规则，皆具备相应的法律效力。几乎所有郡县都响应了政府的提议，并接受了政府给予
的帮助，但这项举措在推行了 10 年之后，却没有一个郡县制订出属于自己的规则。在此举推行的过
程中，我们虽然在条带耕种、牧场更新和撒播石灰改良土壤方面，都取得了明显的进步，人们却从
不在林地边插设栅栏以阻止放牧，也从不将耕牛和犁头赶出坡地。简而言之，农民们选择的是那些
对自己有利可图的补救措施，丝毫不会考虑那些对群体有益但对自己无利的措施。

当有人问及，为什么没有制订相关规则时，他们总是这样回答：公众尚没有为支持这些规则做好准备，教育应当先于规则。但实际上，在教育普及的过程中，除了那些心口相传的利己主义外，它并未提及对土地的义务。于是便出现了这样的结果：我们接受的教育越多，拥有的土壤和健康的森林就越少，1937 年那样的洪灾频频出现。 30

此种境况之下，令人困惑的地方在于，那些存在于利己主义之外的义务，被想当然地等同于社区捐建道路、学校、教堂，以及赞助棒球队这一类事情。但是，在改善水土侵蚀或是在保留农场景观的美丽和多样性方面，相关的义务却并非理所当然，也没有人严肃认真地讨论过。土地使用的伦理，仍然完全受制于经济上的利己主义，这跟一个世纪以前的社会伦理并无二致。 31

总之，我们曾要求农民为挽救自己的土地去做一些力所能及的事情，而他们所做的却只有这些，也只能有这么多。某位农民砍倒了山坡上 75% 的林地，将牛群放养到被砍伐过的林间空地上，任雨水将石块和土壤带进当地的小溪，但他仍然是一若他别无瑕疵一本乡令人尊重的一员。如果他在农田里撒播石灰，采用等高线种植法，那么，他仍然可以享有自己在土壤保护区中的特权和薪酬。土壤保护区是社会机器的美丽组成部分，却被自身的两个气缸呛得要命。因为我们过于胆怯，且急功近利，从未能告诉农民们真正的义务是什么。没有良知的义务已经毫无意义，而我们所面临的问题，便是将人的社会良知带到土地上。 32

伦理学之所以没有发生重要的改变，就是因为我们在思想上，在忠诚度上，在感情以及在信念上，还没有一种内在的改变。实践证明，自然资源保护之所以没有触及这些行为的基础，是因为我们在哲学和信念中尚不曾听说过它的存在。我们试图让自然资源保护变得简单一些，结果却将它弄得皮毛肤浅。 33

土地伦理的托词

当历史的逻辑渴望面包时，我们却拿出一块石头，且费尽心机地去解释它和那块面包有多么相似。 34
眼下， 我所要描述的就是那些取代了土地伦理的石头。

将资源保护系统完全建立在经济动机基础之上，存在着一个基本弱点，即：土地共同体中的大部分 35
成员都是没有经济价值的。野花和黄莺就是例子。在产于威斯康星的 22000 种高等动植物中，可以
用来出售、食用， 或作其他经济用途的动植物，是否可以占到 5%？不过，既然此外的生物也是群
落的成员，而倘若——我认为正是如此——这一生物群落的稳定取决于它的整体性，那么，它们也是有
权利延续下去的。

当这些没有经济价值的某一种属受到威胁时，而它恰好是我们所喜欢的属种，那么，我们便会为其 36
虚构一些托词，并赋予它经济上的重要价值。20 世纪之初，人们料想黄莺会消失。于是鸟类学家们
便立即站了出来提出营救措施，并拿出一些并不可靠的证据：如果鸟类不能有效控制昆虫，那么，
到头来昆虫就会把我们吃掉。他们为了使这些措施产生效用，不得不使其证据具有经济意义。

今天，当读到这些迂回累赘的陈述是很痛苦的。虽然说我们尚未有土地伦理，但我们至少会更靠近 37
这样一个观点：承认鸟儿继续存在的权利，不管它们对我们是否具有经济上的价值。

类似的情况还存在于食肉的哺乳动物、猛禽类和食鱼鸟类。在一段时期内，生物学家们曾过分强调 38
了这样的证据：这些生物通过杀死弱小的动物来保护猎物种群的健康，或者它们为农民控制了啮齿
动物，再或者说， 它们捕食的对象仅仅是那些毫无价值的物种。这再一次表明，证据必须具有经济
价值才是有效用的。也仅仅是在最近的几年，我们才听到了比较诚实的论点，肉食动物也是群落中
的成员，没有人可以为自己的利益而将它们消灭，不论这种利益是真是假。不幸的是，这种开明的
观点仍然只是纸上谈兵。在野外，灭绝肉食动物的行为正在欢快地进行着：在国会法令、自然资源
保护部门和许多州立法机关的默许下，我们目睹着灰狼正被赶尽杀绝。

某些树种，由于生长过缓或沽价低廉而难以获得与其他木料相当的收益，被有经济头脑的林业工作 39
者从森林中开除：白杉木、北美落叶松、柏树、山毛榉和铁杉木便是例子。从生态学的观点来看，
欧洲的林业是比较先进的，那些非经营性的树种也被认为是本地森林群落中的重要成员，从而被合
理地保护了起来。此外，人们发现某些树种——譬如山毛榉——在增强土壤肥力方面有着重要作用。
森林与构成它们的树种之间的相互依存关系，以及地表植物与动物群之间的相互依存关系，被欧洲
人视为理所当然的事情。

缺乏生态价值，不仅仅是生物物种或者动物群落的特点，有时也是整个生物群落的特点：沼泽地、 40
泥淖、沙丘和“沙漠”便是例子。在此情况之下，我们的经验是将它们纳入到政府的保护范畴之
内，让它们作为避难所、遗迹或者园林而被保护起来。但当我们把这种经验式付诸行动的时候，会

遇到这样的困难：这些群体之上通常分散着一些具有较高价值的私人土地，政府不可能对之征收或控制。最终，我们只好任这些的群体大面积地消失了。如果私人所有者具有生态学意识的话，那么，他便会自豪地成为这些区域的合理监护人，而这些区域将会为他的农场和社区增添一些多样且美好的东西。

在某些情况下，这些“无用之地”缺乏经济价值的看法，被证明是错误的，而人们总是在毁掉了大部分土地之后，才恍然意识到这一点。对于这种悔之莫及的情形，最恰当的例子便是：现在人们争抢着往麝鼠沼泽地里注水。 41

在美国，自然资源保护有一个明显的趋势，即将那些私人土地所有者所没有做到却又必须要做的事情，统统交到政府手上。如今，政府的所有权、经营权、补助金或者监督管理，已被广泛地运用于森林草原管理、土地和流域管理、公园和荒野保护、渔业和候鸟管理等领域，且日后还会向更多的领域扩展。大部分由政府主导的自然资源保护都是适当的，合乎逻辑的，甚至有一些是不可避免的。我并非对此持反对态度，事实上，我把自己大半生的精力都投入到了此份工作之中。尽管如此，我们还是会提出这样的问题：这项事业的最终目的是什么？所征收的税款是否足以维持各个分支机构的正常运转？政府的自然资源保护工作，会不会像乳齿象一样，因为自身体积过于庞大而变得臃肿不便呢？如果有答案的话，那么答案可能就在于借助土地伦理或是其他力量，将更多的义务分派给私人土地所有者。 42

工业社会中的土地所有者和使用者，特别是伐木工人和畜牧业者，对政府扩大土地所有权和管理权的做法表达了强烈不满，但又明摆着不愿采用当下唯一可行的替代办法：在他们的土地上，自发采取行使一些资源保护举措。 43

当私有土地所有者被要求去做一些对群体有益但对自己无利的事情时，他们会摊开双手以示自己的反对之意。倘若说，做这些事情需要花掉他们兜里的钞票，有此反应倒也无可厚非，然而若这类工作仅仅需要开明的远见和充裕的时间，他们再推三阻四便很值得争议了。最近几年，用在土地利用上的补贴呈现急剧增长态势，这在很大程度上归因于政府为自然资源保护教育而设立的一系列机构：国土局，农学院和扩展的服务机构。而据我判断，这些教育机构并未有一语提及土地伦理义务。

总而言之，单纯以经济利己主义为基础的自然资源保护体系是没有指望的，也难以平衡。这个体系很容易忽视并最终根除掉土地群落中的缺乏商业价值的要素，虽然它们——如我们所知一是健康的运行机制所必不可少的组成部分。这个体系假定，一切生物钟摆的具有经济价值的部件，可以在缺失了没有经济价值的部件的情况下继续工作，而我认为这是不正确的。这个体系倾向于将事情甩给政府，但这些事情劫日渐庞大、复杂且琐碎，如此下去，政府也会有无能为力的时候。

针对这种情况，一个显而易见的补救措施便是，私有土地所有者自发地担负起一部分土地伦理义务。

土地金字塔

一种用来补充和指导土地经济关系的伦理，通常需要形成某些对土地的观念，并将其实践为一种生物机制。只有涉及某些我们能察觉，感知，理解，喜爱或者信赖的事物时，我们才说，自己是有道德观的。

通常情况下，自然资源保护教育所使用的观念是“自然生态平衡”。由于某些冗杂且难尽其实的原因，这种比喻手法很难准确地描绘出我们对土地机制知之甚微的现状。生态学上，存在着一个更真实的观念，美其名曰“生物金字塔”。首先，我将简要地介绍一下被视为土地象征的金字塔，稍后再探讨它在土地利用方面给我们的启示。

植物从阳光中获得能量，这些能量在一个被称为植物区系的环路里循环流动，对此，我们可以用一个多层次的金字塔来表示。金字塔的最底层是土壤，其上是植物层，植物层依赖于土壤，昆虫寄居于植物层上，鸟儿和啮齿动物又在昆虫层之上，依此类推，各种动物群体通过不同的方式排列至金字塔的最顶层，它通常是由更大的肉食动物所构成。

同一层次上的物种具有相似性，但是，这种相似性并非表现为它们栖身何处，或是它们看起来有多么相像，而在于它们所吃的食物。每一个连续的层次都依赖于它们下面的层次，由下一层为其提供食物和其他服务；反过来，每一层次又为它上面的层次提供水和其他服务。随着层次的不断提升，每向上一层，物种的数量便会大量地减少。因此，每一只肉食动物都有成百上千只猎物可以任其捕食，而它的猎物又有下一层的成千上万只动物作为捕食对象，下一层的猎物所可以捕食的昆虫，则要数以百万计，而昆虫则会去猎食那些无量数级的植物。这种金字塔式的生态体系，反映了从最顶端到最底层之间的层级数量。人类与熊、浣熊、松鼠一样，共享着中间层，它们既食肉也食蔬菜。 50

这种依赖其他生物提供食物或者服务的线路，统称为食物链。因此，在很大程度上，原本由“土壤-橡树-鹿-印第安人”组成的食物链，现在已经被“土壤-玉米-牛-农民”这一条所取代。每一个物种，包括我们自己在内，其实都只是众多食物链条中的一环而已。鹿儿吃掉了上百种不同于橡树的植物，牛儿吃掉了上百种不同于玉米的植物。所以，二者又与其他上百条食物链紧密联系在一起。基于这一金字塔的食物链极其复杂，看起来有些杂乱无章，而它的稳定性却向我们证明，它是一个具有高度组织化的结构。它的运行依赖于其各个部分的相互合作与竞争。 51

起初，生命的金字塔是又低又矮的，存在于其上的食物链也是短而简单的。随着物种的不断进化，金字塔一层又一层地不断增加，食物链环也一环扣一环地不断延长。人便是增加金字塔高度和复杂性的数千种物种中的一员。科学为我们留下了很多疑问，但至少带给我们一件确定无疑的东西：进化的趋势使生物区系变得更加复杂和多样。 52

因此，从某种意义上来说，土地不单单只是土壤，它是土壤、植物以及动物组成的循环线路的能量源泉。食物链是引导能量向上运动的鲜活通道，而生物在死亡和腐烂后又重新回归土壤。能量循环的线路不是封闭的，有些能量在腐烂中消散，有些通过空气得到补充，有些则被贮藏在了土壤、泥炭和生命周期较长的森林中，这是一个迁延不变的环路，就像一支金额慢慢增加的生命周转基金。有些能量会被从山坡上冲下来而损耗掉，但通常来讲，这只是其中的一小部分，这种损耗完全可以通过对岩石的侵蚀而得到弥补。而这些被冲刷走的能量在海底沉积下来，经历过若干个地质时期后，将重新形成新的大陆和金字塔。 53

能量向上流动的速度和特征，依赖于植物和动物群落的复杂结构，这同树液沿着树干向上流动依赖于复杂的细胞组织是一个道理。没有这种复杂结构，便不可能有正常的能量循环。所谓结构，是指物种组成要素的特征数量、特征种类及彼此作用。土地的复杂结构和它作为一个能量单位顺畅运行之间的相互依赖关系，便构成了它的基本属性。 54

当线路的某一部分发生变化时，其他部分必须做出调整，以使自己适应于这种变化，不至于中断或者转移能量的流动。进化便是一长串自我诱导的变化，其最终的结果，便是精心设计能量流动机制并延长了它的线路。然而，进化意义上的变化通常是缓慢于局部的，与之相比，人类发明的工具能够掀起空前、迅速而广泛的变化。 55

有一个变化，发生于动植物群落的结构中。更大的肉食动物被从金字塔的顶端被砍掉了，这令食物链在有史以来，头一次变得更短而不是更长。从其他土地上驯养的物种取代了野生物种，而后者则被移至其他栖息地。在世界范围内的动物和植物区系的联合阵营中，某些物种从病虫害的包围中逃脱出来，有些物种则灭绝了。这种结果几乎很难想象和预见，它们在这个结构中表现出来的调整是难以预知捉摸的。很大程度上，农业科学能够获得发展，得益于新出现的害虫与控制它们的新技术之间的博弈。 56

另一个变化，则触及动植物间的能量流动，以及能量回归泥土的方式。生产力是土壤接受、储存和释放能量的能力。农业，通过过度透支土壤肥力的方式，或以驯养物种取代本地物种的方式，扰乱了能量流动通道，甚至耗尽了能量储存。当土壤在耗尽它们的储存或者失去它们所固定的有机物质时，水土流失的速度便远远快于其形成的速度。这就是我们通常所说的侵蚀。 57

水，和土壤一样，也是能量线路的一部分。通过污水或者水坝拦截的方式，工业将保持能量循环所需的动植物排除掉了。 58

交通带来了另一个基本的改变：生长在一个地方的动植物，现在被带到了另一个地方并被消耗掉，它回归到了另一个地方的土壤中。人们运输汲取自某一地方岩石和空气中的能量，将它储存起来，然后应用于其他的一些地方。我们用氮肥为苗圃中的花草施肥，肥料是从鸟儿的粪便中得来的，而鸟儿是又以赤道另一端的海鱼为食的。因此，以前那种局部性的、相对独立的线路，如今已经被推入世界范围的联合阵营中。 59

由于人类的占领而逃逸掉的能量，使金字塔的能量循环过程发生了改变。在拓荒年代，这种改变通常会使动植物的生命，不管是野生还是驯养的，呈现出一种生机盎然的假象。这些积聚已久的生物资本的释放，将会掩盖或者延缓一些过激行为所带来的惩罚。 60

*

*

*

我将土地视为能量循环线路的能量源泉，为的是这样三个基本观点： 61

- 其一：土地不仅仅是土壤；
- 其二：当地的动植物能够保持能量线路的正常运转，迁入的动植物可能做得到，也可能做不到；
- 其三：人类所带来的改变不同于进化意义上的变化，其所产生的影响，远比我们所想象或预见的要复杂深远。

将这三个观点综合起来，我们便可提出两个基本问题：土地能否实现自我调节以适应新的秩序？仅以较少的过激行为能否实现期望中的改变？ 62

在改变发生时，生物群系忍受过激行为的能力似乎是不同的。比如在西欧，如今的金字塔完全不同于恺撒当年的样子。一些大型动物消失了，森林沼泽变成了草地或是耕地，许多新的植物和动物被引入进来，有些变成了后来的害虫，存留下来的当地动植物在数量和分布上发生了巨大的改变。然而土壤还在那里，在营养素的帮助下，仍旧是肥沃的，河水仍旧在正常地奔流，新的结构仍在有序运行着，循环线路中并未表现出故障或紊乱。 63

因此，西欧拥有一个具有抵抗力的生物区系，它的内在运行是强韧的、有弹性的和具有抵抗力的。不管当初的变化有多么剧烈，而今来看，它的金字塔都发展出了新的应对方式，庇护着人类和大多数的本土生物，使其在此居住无虞。 64

另外，日本也是目前为止经历了激烈的改变，却没有出现混乱状况的另一地区。 65

其他大多数的文明区域，以及一些至今尚未开化的区域，从最初的征兆到更深程度的损耗，都显示出程度不同的混乱。在小亚细亚和北非地区，我们对此种混乱状态的判断受到了当地气候变化的影响，而气候变化，则可以同时被视为进一步损耗的原因和结果。在美国，不同地区所呈现的混乱程度也不一样，西南部地区最为混乱，其次是奥沙克及其南部，新英格兰和西北地区情形好一些。而一些比较落后的地区，由于土地得到了较好的使用，反而没有出现混乱。在墨西哥的部分地区，南美洲和澳大利亚，一场激烈的加速土地损耗的行为正在进行中，对于其后果我尚不敢断言。 66

这几乎显示出了全球范围内的土地利用混乱局面，它看起来和一只染了病的动物差不多，所不同的是，这种混乱并没有完全达到崩塌或死亡的地步。即便土地得以恢复，其中所蕴含的复杂程度也会因此降低，它承载人类、植物和动物的能力也会因此降低。许多当前被认为是“机遇之地”的生物区系，实际上已经靠开发农业生存了。也就是说，它们已经超过了可持续的承载能力。从这个意义上来说，美国南部的大部分地区，人口太过于稠密了。 67

在干旱地区，我们试图通过再利用来弥补土地损耗，却发现期望中的工程寿命通常很是短暂。在我们的西部地区，就连最好的再利用工程也不会持续一个世纪。 68

历史学和生态学的证据，似乎都在支持这样一个一般性结论：激烈的人工干预模式使用得越少，金字塔在重新调整过程中获得成功的概率就越大。与此同时，人工干预的激烈程度与人口密度紧密相关，人口越密集的地方通常要求越为激烈的干预。倘若北美洲能够设法控制它的人口密度，那么，它的金字塔将比欧洲的更为持久。 69

这个结论与我们现行的哲学信条背道而驰，后者假设：既然人类的生活会因人口密度的小幅增长而变得更丰富，那么，倘若人口密度无限增长下去，人类生活便也会无限趋于丰富。然而生态学却知道，没有一种环境可以适应无限增长的人口密度。所有从人口密度中获得的收益，都要受到规模效应递减规律的制约。 70

不管人与土地之间的关系等式如何，现在对于我们来说，要了解其间的全部关系都是不可能的。最近，人们在矿物质和维他命营养学研究中的发现，揭露了向上循环中一些不为人知的依赖关系。某种极其微量的物质成分决定了土壤对于植物的价值，从而决定了植物对于动物的价值，这简直难以想象。对于向下的循环过程，这又意味着什么？对于那些正在消失的、我们将其视为美学上的奢侈品的物种，又意味着什么？它们曾为建设土壤提供过什么帮助，对土壤的维持有哪些意想不到的重要意义？韦弗教授提议，我们应重新聚集起草原的野花，让那些因风沙侵蚀而荒芜的土壤不再无用。谁知道哪一天，我们会不会出于某种目的，而将鹤儿、秃鹫、水獭和灰熊利用起来？ 71

土地健康和 A-B 争论

因此，土地伦理反映出了生态良知存在的重要意义，反过来，生态良知则反映出了人们为了土地健康所应肩负的责任。健康是土地自我更新的能力，而资源保护则是我们为理解和保护这种能力所做出的努力。 72

自然资源保护主义者因他们之间的分歧而变得声名狼藉。从表面上看，这些分歧似乎只是导致了某种混乱局面，然而当我们经过一番审慎的观察后，我们便可发现，它们实际上揭示出了普遍存在于众多专业领域中的某种分歧。专业领域中的 A 组认为，土地就是土壤，它的主要功用就是生产产品；而 B 组则认为，土地是作为一个生物区系而存在的，它的功用相对更广泛一些。但是究竟广泛到何种程度，无疑还处于猜疑阶段。 73

就我自己所在的领域—林业而言，A 组则十分认同这样的观点，即种树和种卷心菜一样，以纤维素作为基本产品。他们觉得没有必要抑制那些过激的行为，因此，他们的意识形态还停留在农业性质方面。另一方面，B 组则认为，林业和农业经济存在着根本不同，它在运用自然物种的同时，也在管理着自然环境，而不是再造一个人工的环境。相较之下，B 组更崇尚于按照某种原则进行自然生产。他们从生物群系和经济学角度，为栗树物种的消失以及濒危的白洋松而感到担忧。同样，他们也在为一系列次生林的功能负担而忐忑不安：野生动植物、户外休闲娱乐、水域和荒野地区。在我看来，B 组所体会到的是一种振奋人心的生态意识。 74

在野生动植物领域，也存在着类似的分歧。对于 A 组来说，他们认为的基本产品是户外休闲和肉食，其产量的衡量标准，就是所捕获的野鸡和鳟鱼的数字。如果单位成本允许的话，人工繁殖既可以作为一种永久的依赖，也可以作为一种权宜之计。另一方面，B 组则更担心生物群系中可能出现的一系列细节问题：生产一种猎物会让肉食动物付出怎样的代价？我们是否有必要进一步依赖外来植物？如何管理才能恢复日益衰减的物种，譬如眼下已经难以猎到的草原松鸡？如何才能恢复濒临的稀有物种，如黑嘴天鹅和高鸣鹤？这些管理原则，是否可以复制到野花管理上？和在林业领域存在的分歧一样，我又一次清楚地看到了 A-B 两种分歧。 75

在更广阔的农业生产领域，我必须坦白自己没有发言权，但这里看来也存在着某些类似的分歧。在生态学诞生之前，科学农业正积极地向前发展，因此，我们预期的生态学概念要经历一个缓慢渗透的过程。此外，农民们有着改造自然的精湛技术，他们肯定会比护林员和野生动物管理者更彻底地去改造生物区系。不过，对于标榜“生态耕作”理念的现代农业而言，仍有诸多细节不尽人意。 76

或许，其中最不尽人意之处在于：新的证据表明，现代农业并非以磅数和吨位来衡量农作物的食物价值，而肥沃土壤里的出产在质量和数量上同样具有优越性。我们可以在贫瘠的土壤里额外施加进口肥料，以提高农作物的产量，却不能增加其作为食物的价值。这个观点最终可能会造成巨大的分歧，以至于我必须把它留给那些更有能力阐述这个观点的人了。 77

那些为自己贴上“有机农业”标签的不满者，虽然带有某些狂热崇拜的情绪，但他们还是倾向于任何生物区系。这一点，在他们坚持主张土地以及动植物群系的重要性上表露无遗。 78

农业生态学的基本原理如同土地利用在其他领域一样，很少被公众所知晓。例如，受过良好教育的人几乎很少能意识到，最近几十年来，技术上取得的巨大进步仅仅体现在水泵的改进上，而不是体现在水井的改进上。它们只是简单地重复着用土地换取土地的游戏，劫难以阻止土壤肥力下降的事实。 79

透过这些分歧，我们目睹了同一基本矛盾反复出现的过程：作为征服者的人类与作为子民的生物群体之间的对抗：作为利器研磨者的科学与作为宇宙探照灯的科学之间的对抗：作为被奴役者和佣人的土地与作为集合有机体的土地之间的对抗。在这个时候，罗宾逊对雀斯特瑞姆的忠告，或许可以很好用在作为地质年代物种之一的人类身上： 80

不论你愿意或是不愿意，
你都是一个国王，雀斯特瑞姆，因为你是
那些离开世界的、经受住了考验的少数人之一，
当他们离去以后，这里便不再一样，
将你所留下的东西做上标记。

结论

我觉得，如果人们对土地没有热爱、尊重和赞美，对它的价值没有予以重视，这样的土地伦理关系将是难以想象的。当然，我所谓的价值，不单单是其经济价值，更在于它此外的更深层次的价值。这种价值，便是通常我们所说的哲学意义上的价值。 81

妨害土地伦理发展的最严重的障碍，大概在于这样一种现实：我们的教育体制和经济体制背道而驰，它不是向着强烈的土地意识发展的。许多中间媒介和不计其数的物质器件，将现代化的人类跟土地分离开来。人类与土地之间并没有形成唇亡齿寒的依赖关系，对于人类而言，土地只不过是城市与城市之间的长着庄稼的地方。如果让他在这种既非高尔夫球场也非“风景区”的地方游荡一天，他一定会闷得要死。倘若通过溶液培养方式能够比传统耕作更多的农业产出，他一定会选择前者。对他而言，人工合成的替代品，比木材、皮革、羊毛和其他天然土地产品这一类原始的东西要好得多。简言之，土地对他来说已经“过时了”。 82

对于土地伦理来说，还有一种障碍严重地存在着：农场主仍将土地视作对手，或者将土地视为奴役他的工头。理论上讲，农业机械化理当解除土地束于农民身上的枷锁，然而事实上，这一点是否正确还存在着争议。理解土地生态学的必要条件之一便是通晓生态学，但是，这决不意味着生态学可以与“教育”齐头并进，事实上，有些高等教育似乎在刻意地回避着生态学观念。生态学知识的汲取，不一定非要仰仗带有生态学标签的课程，你完全可以从地理学、植物学、农业经济学、历史学或者经济学课程中获得它们。事情本应该就是这个样子，但不论我们学习带有哪种标签的课程，我们目前所接受的生态学知识都嫌不够。 83

倘若不是少数人对那些所谓的“现代”潮流所表现出显而易见的反感，土地伦理的主张仍然会显得毫无希望。 84

很简单，推进土地伦理发展进程的关键一步就在于：不再将合理的土地利用问题仅仅看作一个经济问题。我们在从经济学角度审视每一个问题的同时，也应从伦理和审美学的角度去看待它。如果一件事情着眼于保护生物群落的完整性、稳定性和美感时，那么它就是正确的。反之，它就是错误的。 85

当然，毋庸置疑，我们能为土地做什么或不能做什么，必然会受到经济条件的牵掣。这种制约机制 86
是一直存在的，未来也会存在下去。经济决定论的错误观点已经套在了我们大家的脖子上，它认为
经济决定着全部的土地使用行为。我们现在需要去挣脱它，这种观点是站不住脚的。众多关于土地
使用的行动和态度，其中也包括大部分的土地关系，都是由土地使用者的偏好和态度来决定的，而
非取决于他们的荷包。绝大多数的土地关系依赖于投资时机、深谋远虑、技能和信仰，而不是投资
时的现金。作为一个有思想的土地使用者，他应该这样想，也应该这样做。

我有意将土地伦理描述为一种社会演进的产物，是因为没有什么事情会像伦理这般重要，劫又不可 87
“记录”。唯有最肤浅的历史的学生才会认为，伦理就是摩西所记下的“十诫”。“摩西十诫”萃取自
某个群体的思想，而摩西不过作为这场“研讨会”的书记员，写下了暂时性的总结而已。之所说
“暂时”，是因为演变从未停止过。

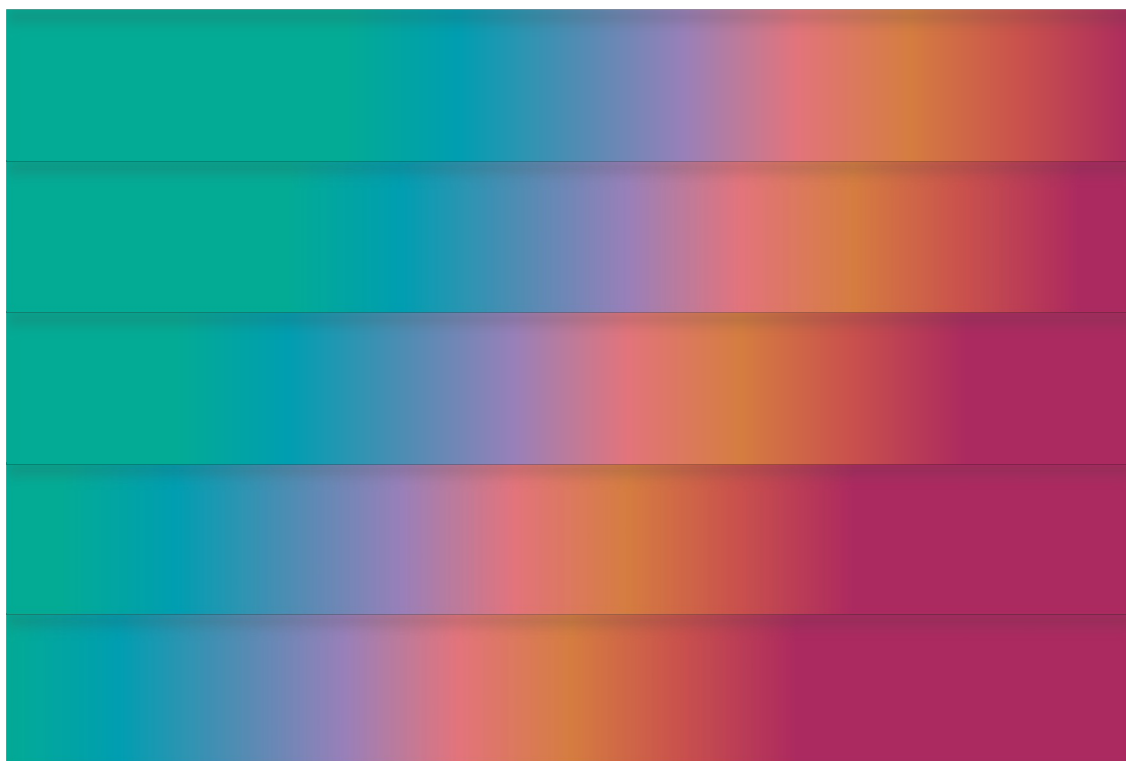
土地伦理演进的过程，同时也是知性和感性演进的过程。按照良好意愿所塑造的自然资源保护主 88
义，被证明一无用处，甚至十分危险，因为它缺乏对土地及其经济性的批判理解。在我看来，当伦
理的边界从个体扩展到群体时，其所囊括的知识也随之增加。

对于任何伦理而言，其运行机制都是相同的，都包括社会对正确行为的认同，以及对错误行为的反 89
对。

总的来说，当前我们所面临的问题，归根结底是态度和工具的问题。我们正在用蒸汽挖掘机和引以 90
为豪的创造力改变着阿尔罕布拉，我们很难放弃这一机械，毕竟它有许多其他工具无法比拟的优
点，但是我们也应该以更温和、客观的标准，对它的功用做出评价。

ver 2.1

UGFN1000



发布日期
2025.5.11