

来自英国—世界级科普大师的杰作

新世纪的孩子一定要看

(英) 约翰·格里宾 玛丽·格里宾 著

(英) 查瑞斯·浦瑞斯特雷 插图

WHAT IS  
THE  
BIG IDEA?



# 混沌 和不确定性

CHAOS  
AND  
UNCERTAINTY

仅供个人阅读研究所用，  
不得用于商业或其他非法目的。  
切勿在他处转发！

本电子书制作者

英国中学科普读本



中国宇航出版社

# 混沌和不确定性

(英) 玛丽·格里宾 约翰·格里宾 著  
(英) 查瑞斯·浦瑞斯特雷 插图  
陈传显 谢迅 译

中国宇航出版社

**What's the Big Idea: CHAOS AND UNCERTAINTY** by Hodder Children's Books © 1997

Published under license from Hodder and Stoughton Limited, London

版权所有: Hodder and Stoughton Limited 原出版单位: Hodder Children's Books

本书中文版由著作权人授权中国宇航出版社独家出版发行, 未经出版者许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

版权所有, 侵权必究。 本书版权登记号: 图字: 01-2003-6801

### 图书在版编目 (CIP) 数据

混沌和不确定性/(英) 格里宾, (英) 格里宾著; (英) 浦瑞斯特雷绘; 陈传显, 谢迅译. —北京: 中国宇航出版社, 2003. 10

(大主意丛书)

书名原文: CHAOS AND UNCERTAINTY

ISBN 7-80144-698-4

I. 混... II. ①格... ②格... ③普... ④陈... ⑤谢... III. ①混沌学 - 普及读物 ②不确定系统 - 普及读物 IV. ①0415.5-49 ②N94-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 086066 号

责任编辑 丁 旋

译者 陈传显 谢 迅

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830  
(010) 68768548

网址 [www.caphbook.com/www.caphbook.com.cn](http://www.caphbook.com/www.caphbook.com.cn)

经销 新华书店

发行部 北京市和平里滨河路 1 号 邮编 100013  
(010) 68373103 (010) 68373185

零售店 读者服务部 北京宇航文苑  
北京市阜成路 8 号 北京市海淀区海淀大街 31 号  
(010) 68371105 (010) 62579190

承印 北京京科印刷有限公司

版次 2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

开本 1/32 规格 850 × 1168

印张 4 字数 111 千字

书号 ISBN 7-80144-698-4 / T · 022

定价 9.00 元

本书如有印装质量问题可与发行部调换

# 目录

什么是混沌	6
什么是不确定性	16
混沌和不确定性的简史	20
抓住混沌	48
混沌边缘的生命	82
人类认识混沌和不确定性的大事记	120
名词解释	122



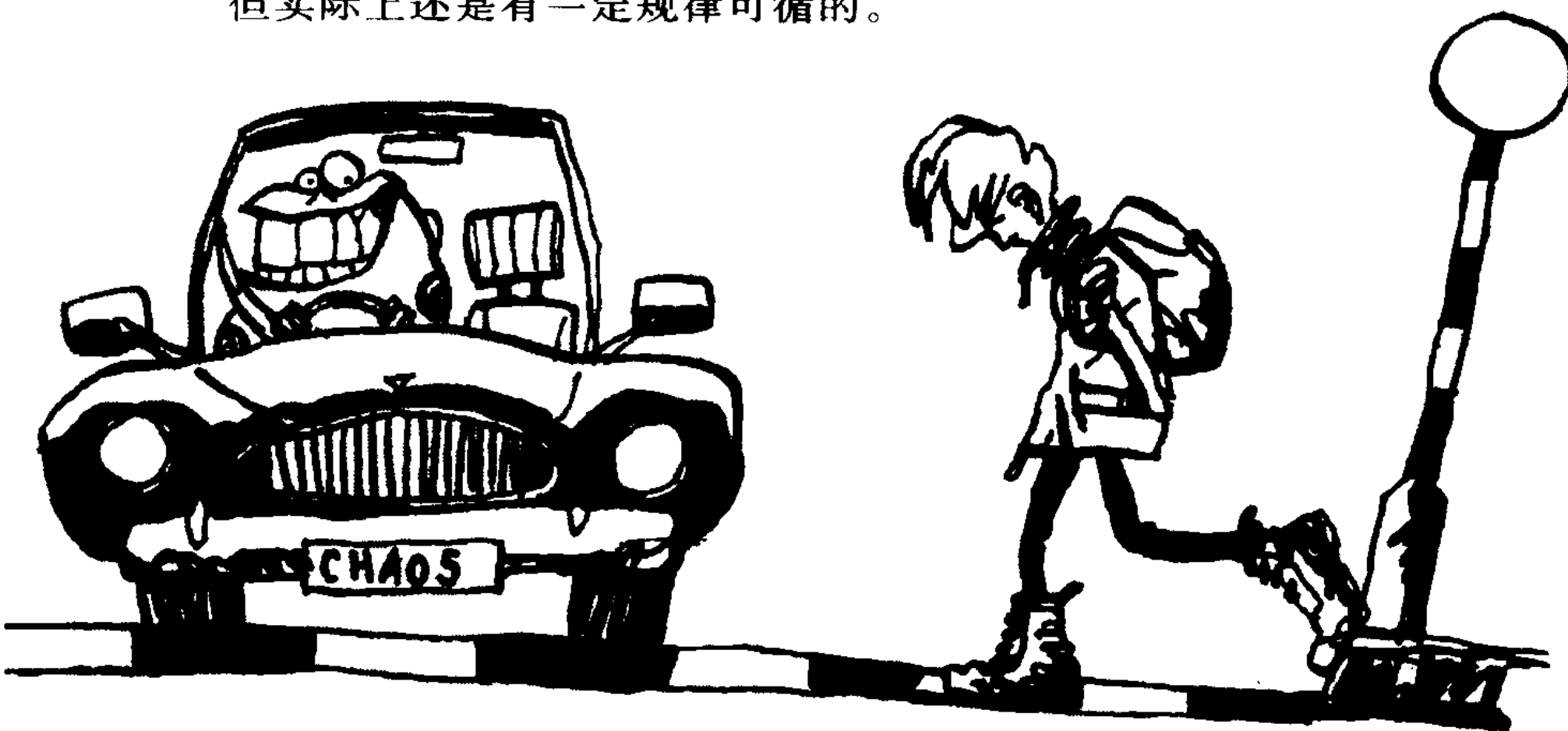


很多人认为混沌只是一种无序的状态，是一种没有任何规律可循的现象。

或许没有人能够解释清楚什么是混沌。



然而，尽管混沌看起来一团糟，但实际上还是有一定规律可循的。



“混沌定律”的叫法，从字面上看似乎很矛盾，但它们却能够解释天气的变化、股票市场的涨跌等现象，甚至还可以解释恐龙灭绝的原因。

很多人认为，不确定性就是当你对某些应该知道的东西感到茫然时候的那种感觉。事情是有结论的，只不过你忘记罢了。

人们也许觉得，没有人能测量不确定性。的确，生活中确实存在这样的事，你永远都不会感到有把握。



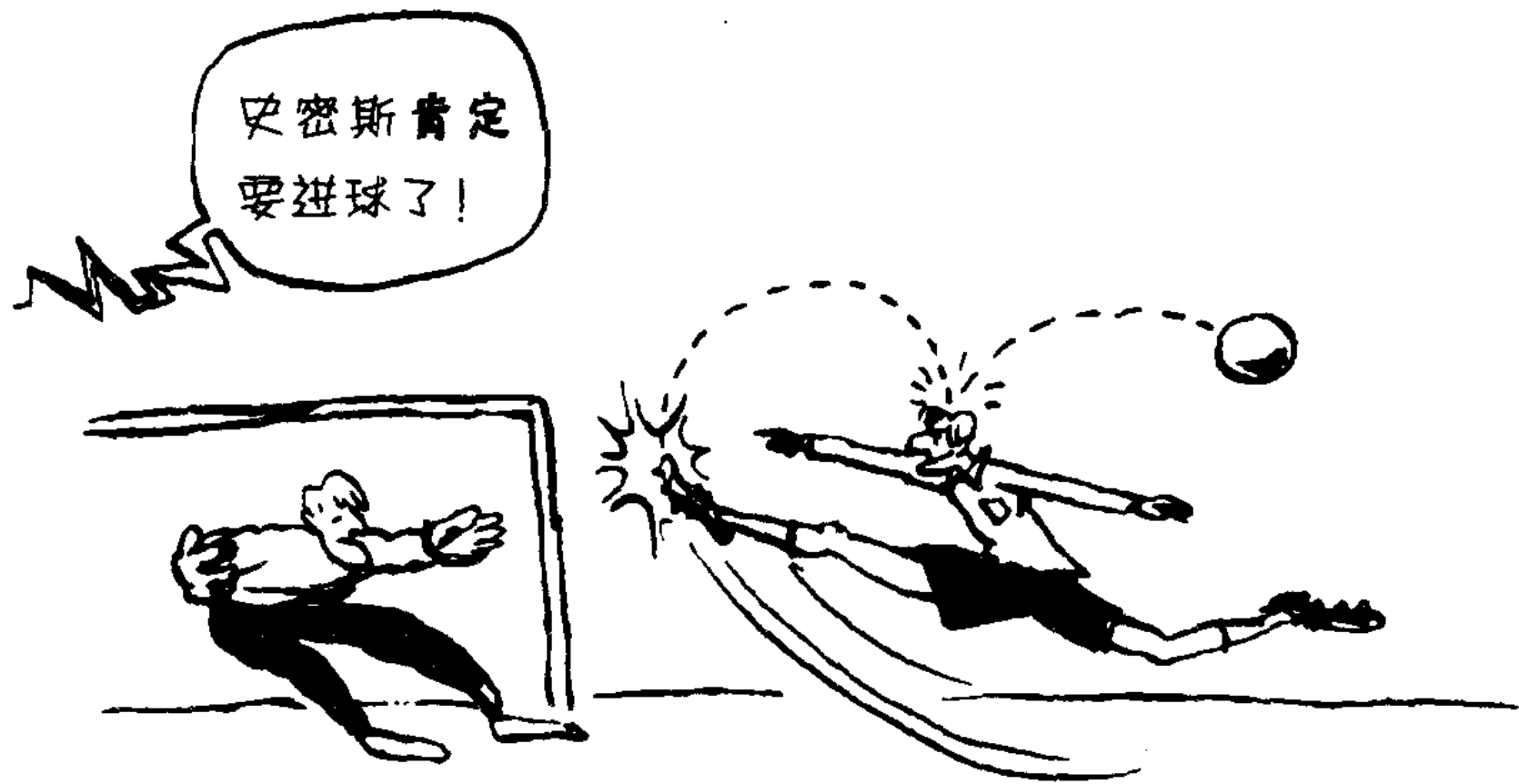
但事实上，虽然很多事情永远无法确定你仍可以对不确定性进行度量。

“不确定性定律”的说法，从字面上看似乎也很矛盾，但它们却有助于解释太阳为什么会发光，以及计算机芯片是如何运作的。它们甚至可以解释你的CD机里面的激光是怎样发挥作用的。

# 什么是混沌

混沌是随着事物的变化而出现的。事物的变化是因为有另外的事物使得它们改变。






当你在做某件事情的时候，如果方法上的细微差别对随后所发生的一切产生了很大的影响，那么混沌就发生了。



这种现象被称为“对初始条件的敏感性”。

雨滴的命运就是这样，它的落点将决定它的命运。如果它落在山脉峰顶的附近，正好落在某一侧，那它就会汇进河流，最终流入大海。



我知道我想  
往哪边走。

如果落点稍稍偏差几毫米，雨滴的命运就会发生很大的变化。它可能会流到数千里外的另一片海洋之中。

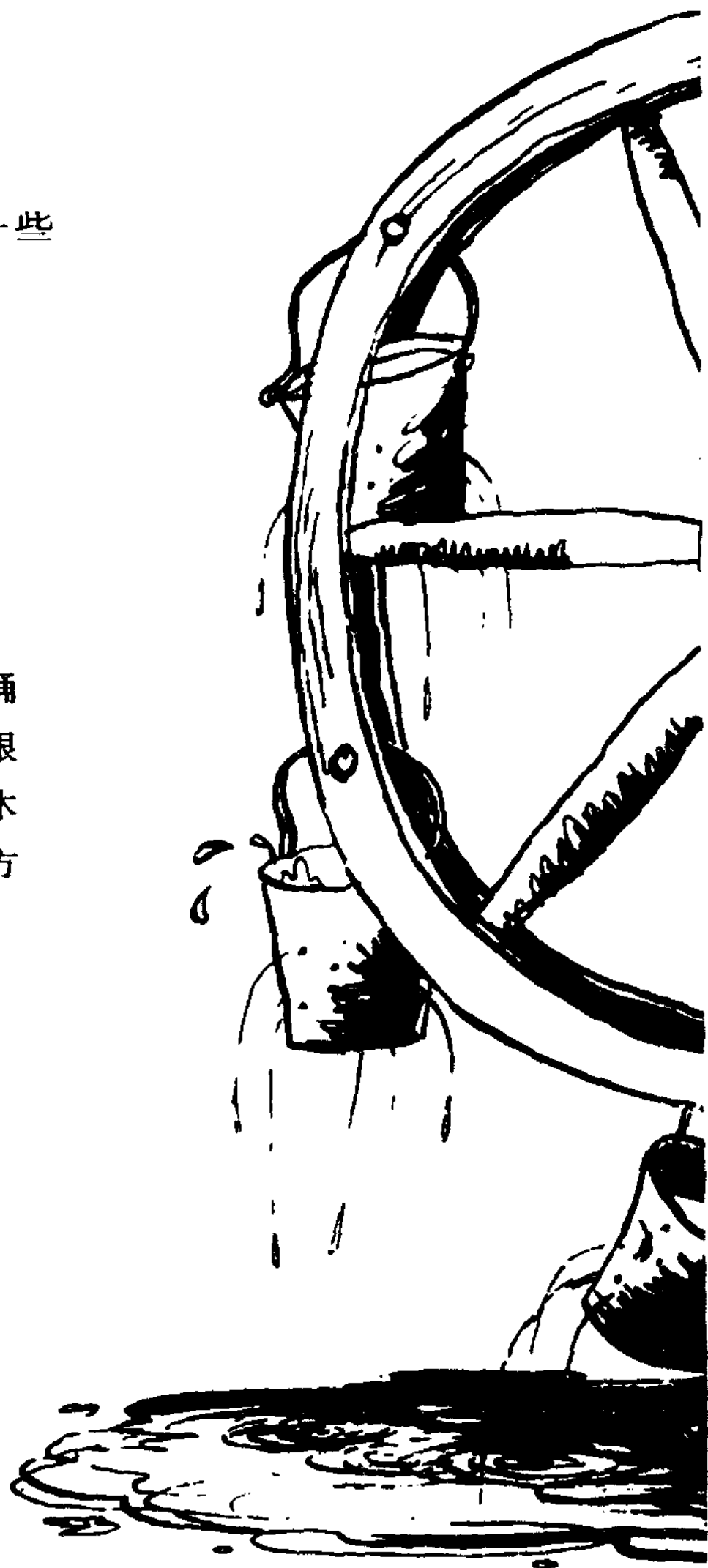
解释到了这里，我们仍未看到明显的混沌景象，混沌的发生需要更多的条件。

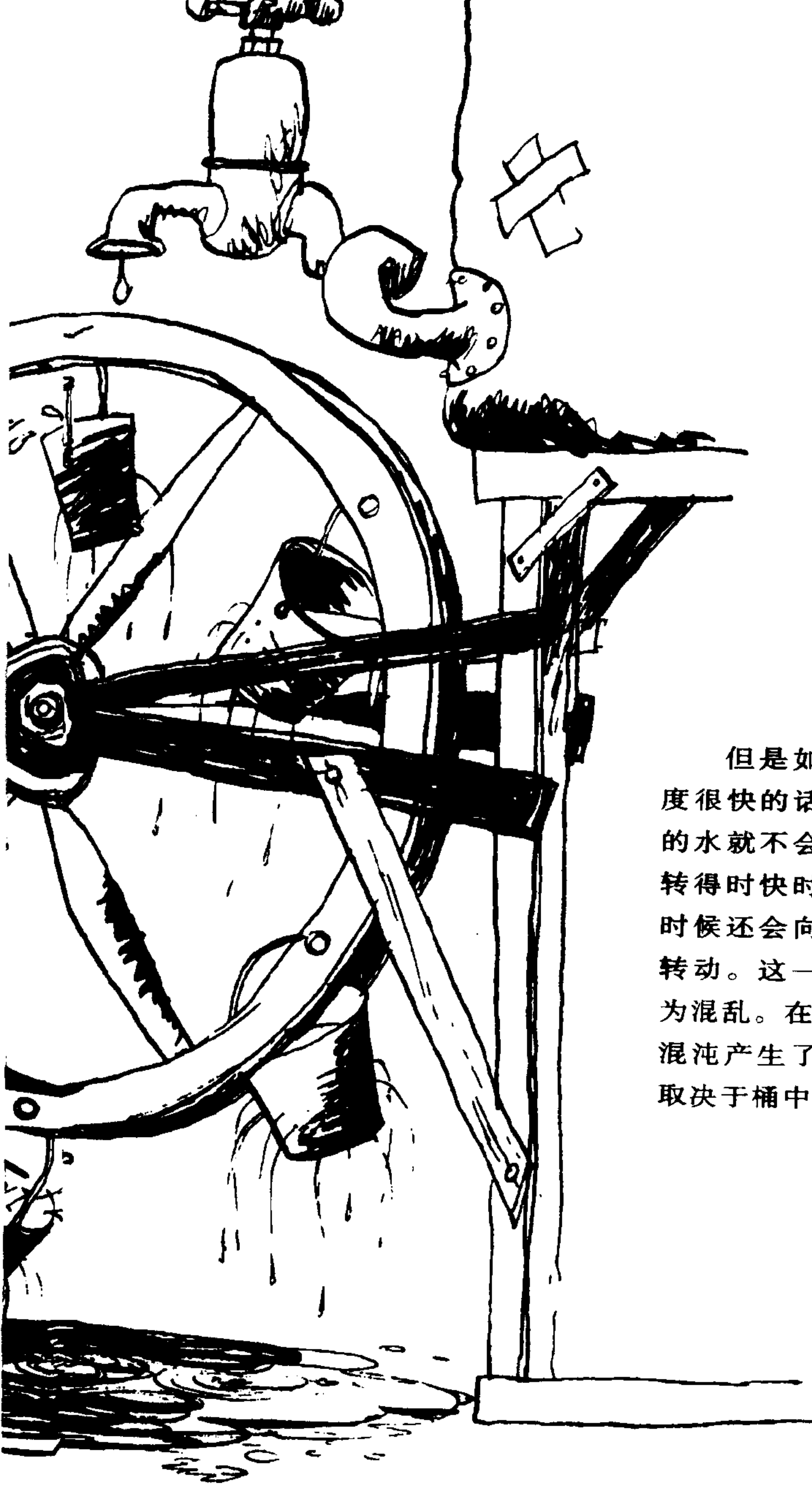


要想从下落的雨水中产生混沌，雨滴还得对某种事物产生重大的影响。我们可以通过观察水滴在水轮上的表现来加深认识。

如图所示，每个水桶壁上都有一些小孔，在桶沿着木轮转动时，水会不断地从小孔中流出来。

由水龙头将水慢慢地注入到水桶里面的时候，由于桶中的水流失得很快，各个水桶中的水量相差悬殊，木轮的转动由较满的水桶决定，转动方向是固定的。





但是如果注水的速度很快的话，水桶里面的水就不会流干。轮子转得时快时慢，甚至有时候还会向相反的方向转动。这一切表现得极为混乱。在这种情况下，混沌产生了。它的形成取决于桶中流出的水滴。

有不少事物是经常发生变化的，而且对初始条件的变动十分敏感，天气就是其中的一例。微风聚集起来就产生了风，风推动周围的云层，从而改变了下雨的地点。



微风开始时是非常无力的。比如巴西森林里的蝴蝶，它们稍稍拍动几下翅膀产生的细小气流，可能会对几周后伦敦的降雨多少产生一些影响。

这就是著名的“蝴蝶效应”。



如果我们能够确切知道每只蝴蝶是如何拍动它们的翅膀的，蝴蝶效应的影响就不会这么不可思议。同样地，如果我们能确切知道微风产生的所有因素，并且每时每刻都能了如指掌的话，我们就能够准确地预报天气。但是很遗憾，这是不可能的。



天气非常严格地遵循着一定的规律，但它对初始条件十分敏感。我们难以确切地了解天气生成的初始条件，因为我们不能全天候地观察世界上的一切。因此，我们不能应用这样的规律来准确地预报天气。这就是混沌。

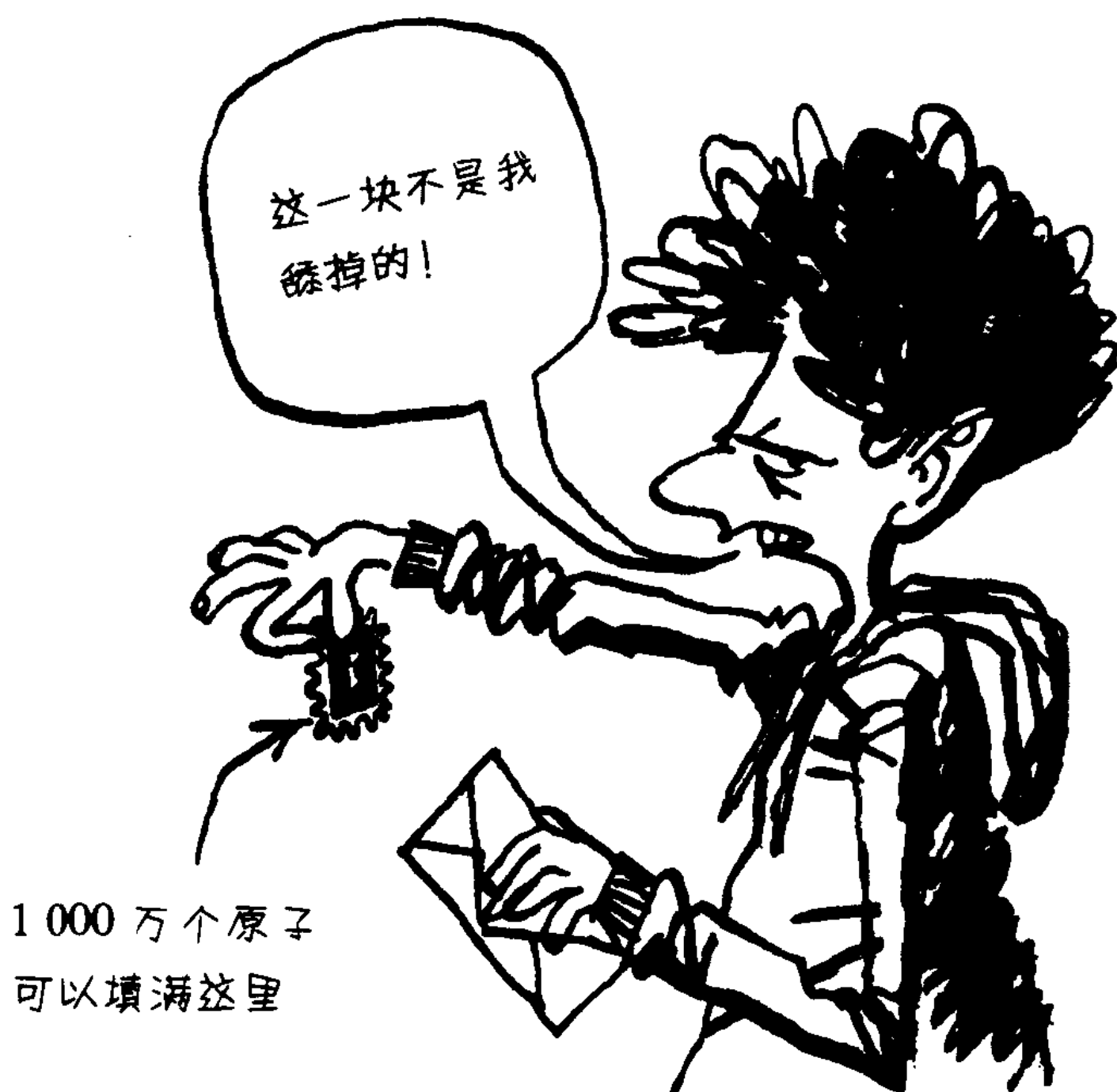


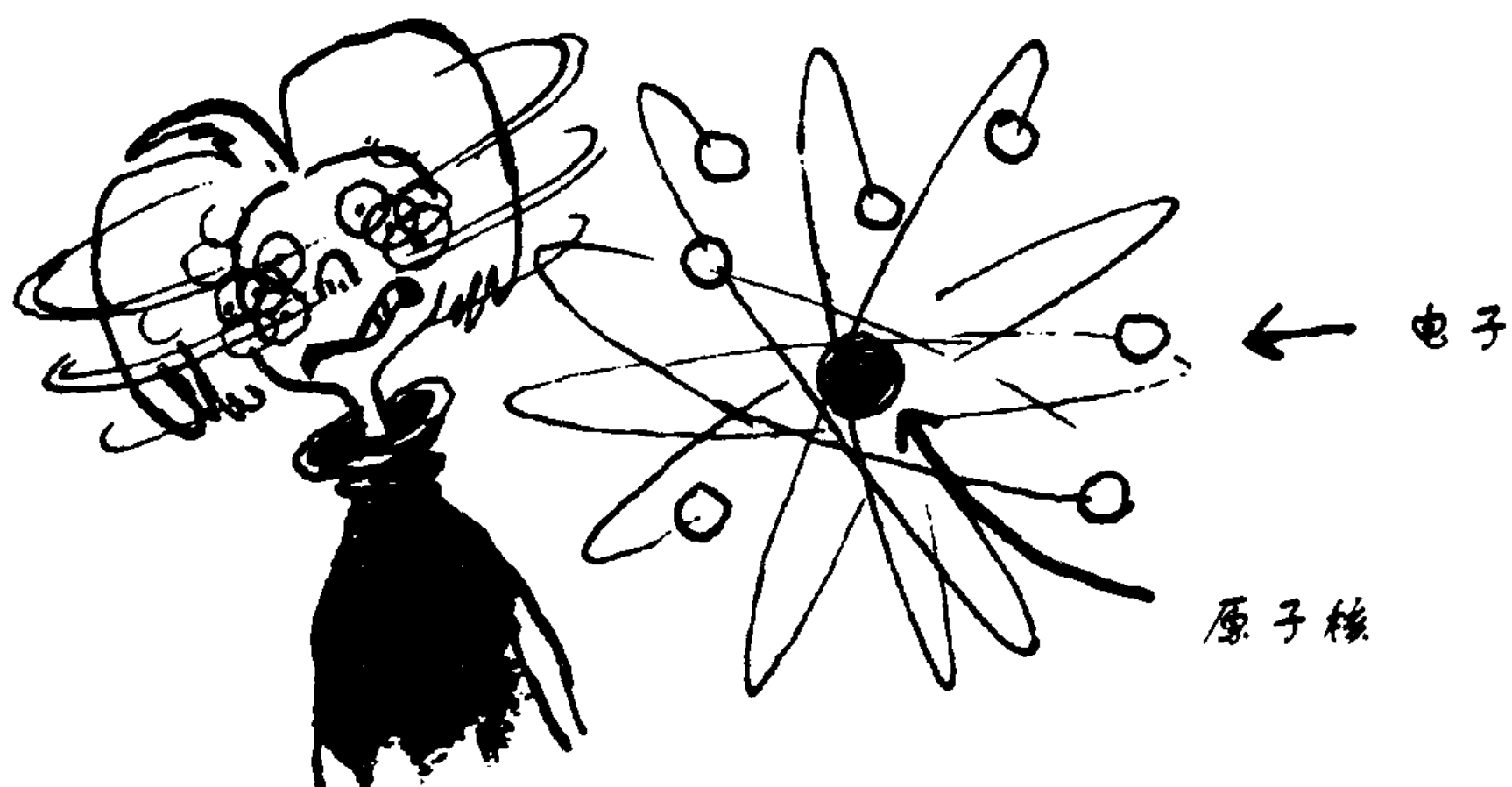
# 什么是不确定性

科学上的不确定性与日常生活中的不确定性不同。科学家们在谈论不确定性的时候，他们非常清楚所谈论的主题。科学家们认为他们能够测量不确定性。

在分析细小的物质如**原子**和**电子**的时候，科学上的不确定性显得十分重要。

万物均由原子组成，原子非常小。如果我们将1 000万个原子并排放在一起，刚好能将邮票边缘上一个齿的空隙填满。





原子是由比它更小的微粒组成的。在原子中间有个硬团，人们称其为**原子核**。在原子的外围，还有更小的围绕原子飞速旋转的微粒，人们把它称为**电子**。

但电子有点奇怪。它们并不像我们常玩的斯诺克台球一样只是一个硬团。它们倒有点像池塘的波浪。

这就是不确定的来源！

研究像原子和电子这样微小物质的科学，人们称之为“量子物理学”。量子物理学家发现电子既是波又是粒子，他们为此颇感意外。他们原以为电子就像小小的坚硬的斯诺克台球一样，但后来发现同时电子也是波，就像池塘里的波浪一样。这就好比人们钓鱼，他们以为上钩的是一条鱼，拽上来一看，却是一只老虎。



这种意外究竟是怎样发生的，无人知晓，但确实存在。



正是由于像电子这样的一些东西具有波的特性，才产生了不确定性。这一点人们是能够理解的。

波是不断向外扩展的，你永远也不能确定波的位置。但你可以说波就存在于某物之中，或许它就在你的澡盆里。波肯定比包含它的某物要小，因此澡盆里面的波一定小于澡盆，否则它就溢出来了。由此看来，一定存在测量量子不确定性的方法。

# 混沌和不确定性的简史

你或许可以这样认为，人类历史就是一部混沌和不确定性的历史。一些大灾难，如战争、瘟疫和疾病等经常发生，搅乱了人们的日常生活。这又是蝴蝶效应在起作用，使人们的生活变得混乱，难以预测。



历史上的混沌可以用  
一首小诗来总结：

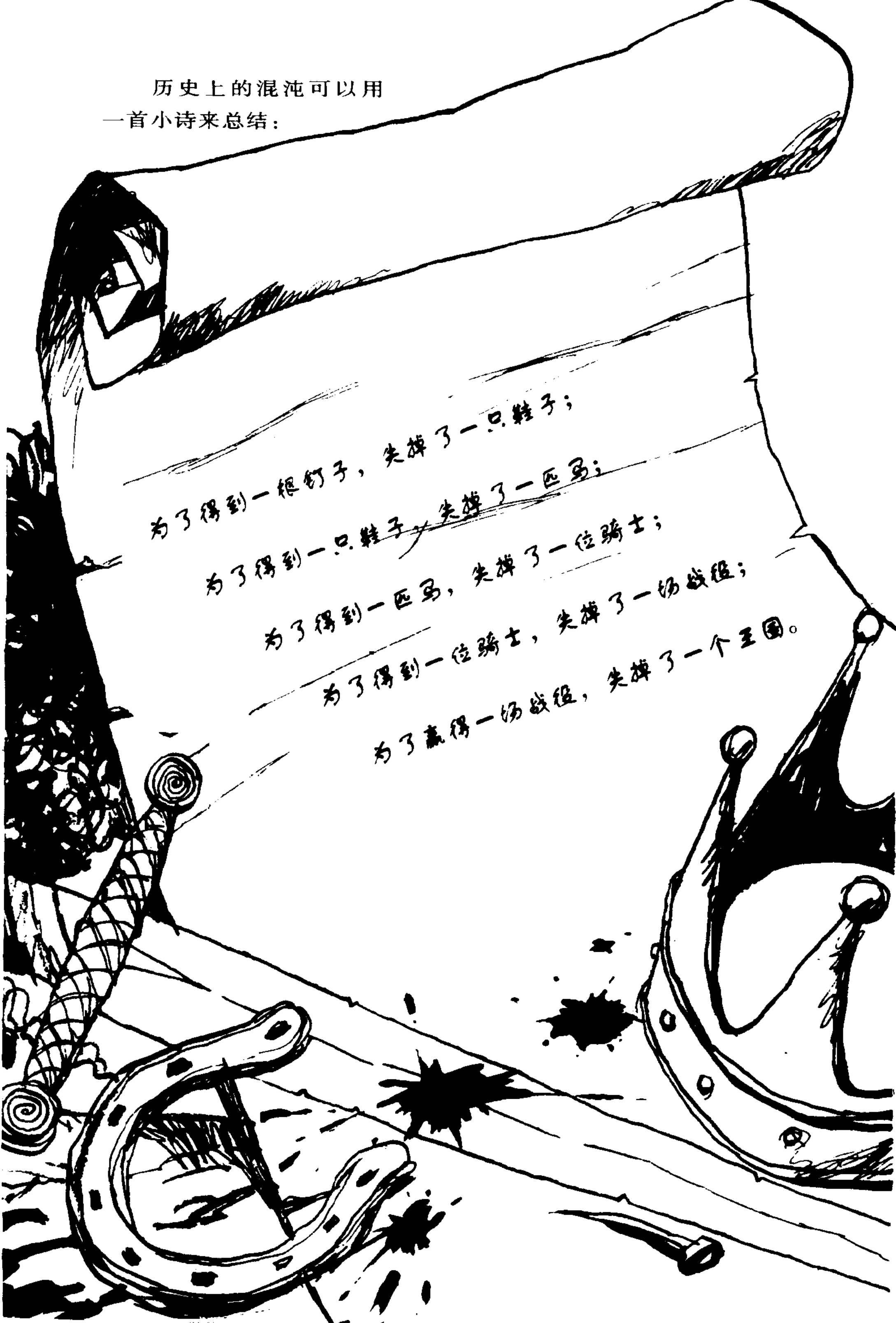
为了得到一根钉子，失掉了一只鞋子；

为了得到一只鞋子，失掉了一匹马；

为了得到一匹马，失掉了一位骑士；

为了得到一位骑士，失掉了一场战役；

为了赢得一场战役，失掉了一个王国。



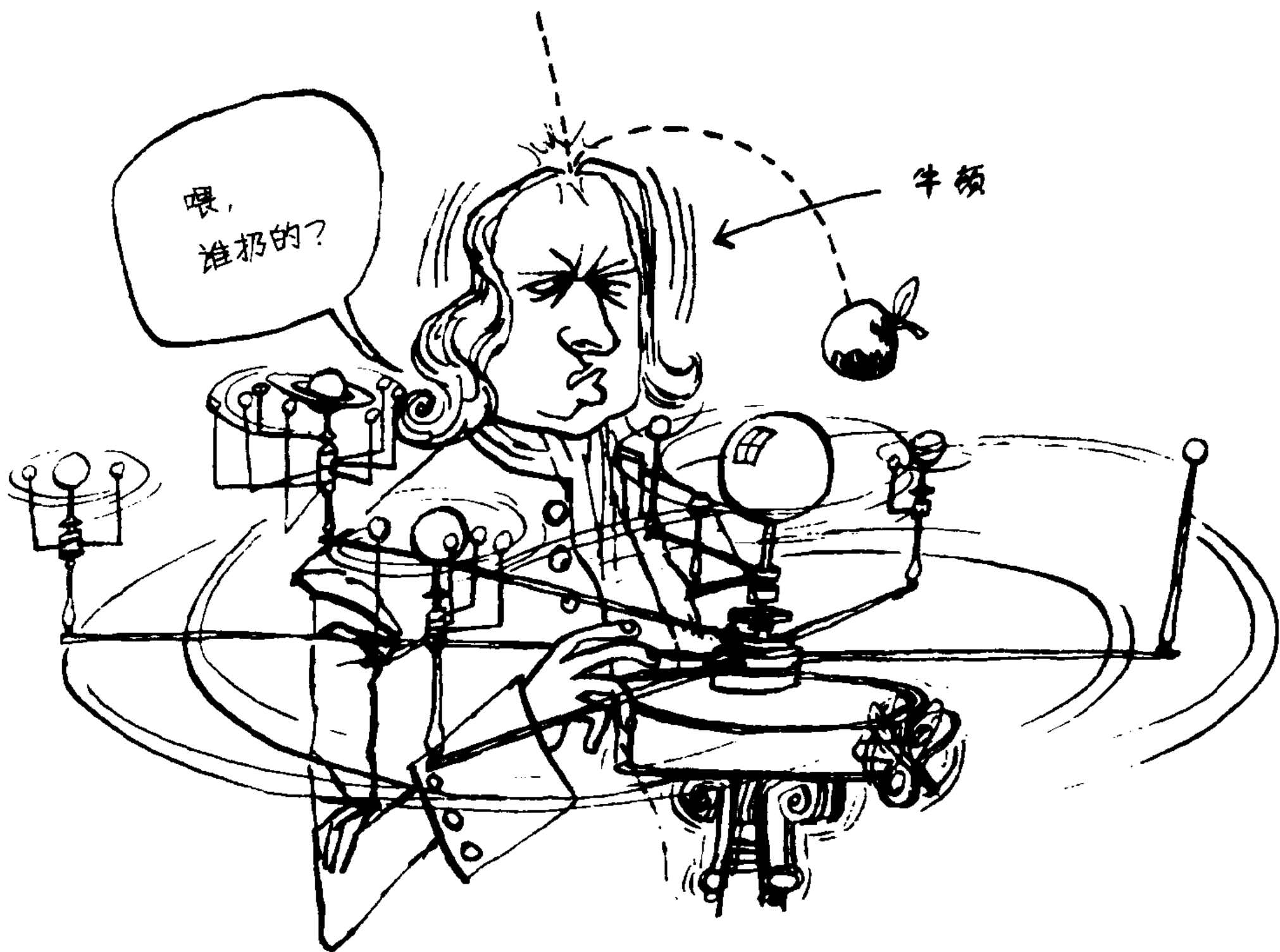
古希腊人对混沌有他们自己的看法。耶稣出生前800年，一部名叫神谱的希腊史诗写道：

“世界之始，混沌一片。”

他们似乎认为，宇宙就是从混沌开始的，像地球和人类这样敏感的事物都是来自于混沌，而且似乎是受到某种魔法的影响而生成的（或者是上帝在冥冥中安排这一切）。

他们却不知道其中的道理。人类对混沌的苦思冥想一直延续了28个世纪。





17世纪，科学开始兴起，伽利略和牛顿等人致力于寻求这些问题的答案。他们发现，许多事物的运动都遵循着简单的规律，并且是可以预测的。这些事物好像都很喜欢行星围绕太阳运动的方式。

举一个小小的例子。踢球的时候，你用的力气稍微有点不同，并不会对球运动的距离产生太大的影响。无论用力稍大一点还是稍小一点，球飞出去的距离几乎都一样。你使的力气差别有多大，球停止运动时落地点的距离差别就几乎有多大。这个例子对初始条件没有敏感性。



自艾萨克·牛顿以来的200多年中，对于对初始条件敏感的复杂事物，科学家们并没有过多地关注。自17世纪到19世纪，科学所研究的都是一些不敏感的事物（如足球）。其他事物，如时钟、月球环绕地球运动的方式、活塞在蒸汽机中如何运作等，科学家们当时也在研究。但如果你仔细考究科学家们当时研究的这些事物，你会发现它们的变化其实没有太多的戏剧性。

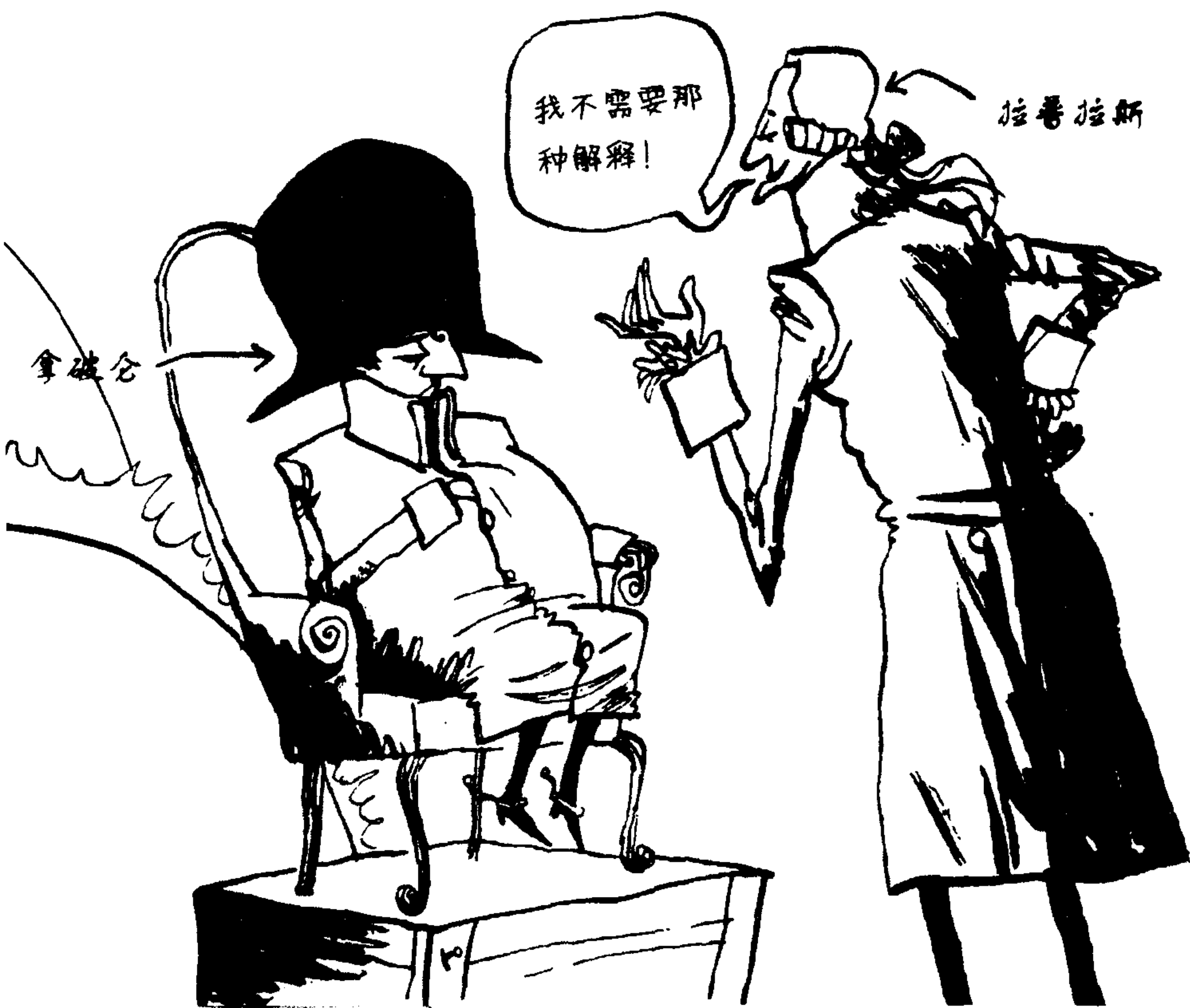


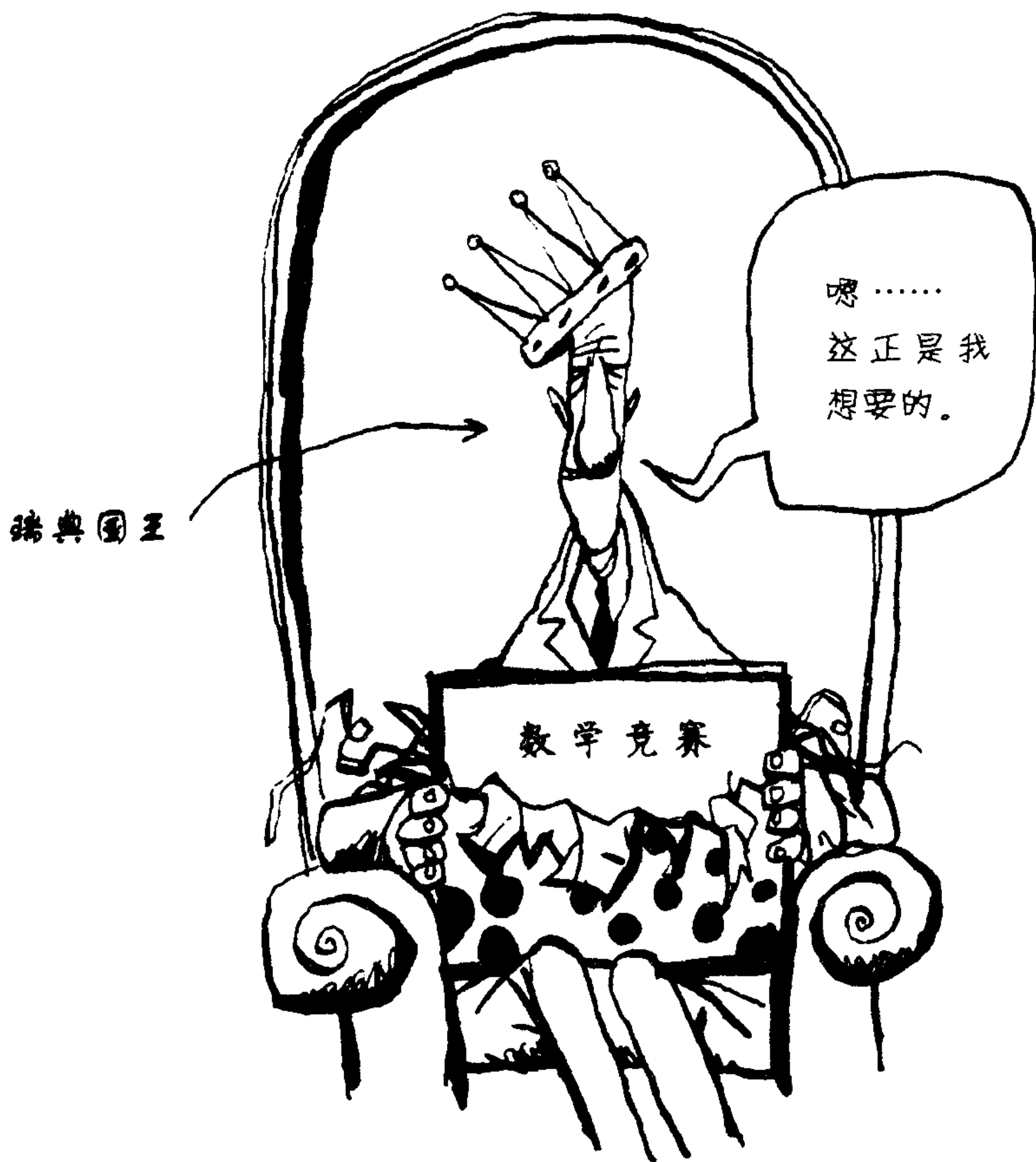
17世纪，艾萨克·牛顿的研究得到了**引力定律**。用它可以解释太阳是如何利用引力使单个行星沿着一定的**轨道**围绕它转动。但不幸的是，在两颗（或更多）行星围绕太阳运转的情况下，形势会如何发展就很难预测。因为每个行星都有引力，在引力的相互作用下，它们可能会脱离各自的轨道。牛顿认为：一直以来，也许是上帝之手将行星推回到它们各自的轨道上去。



18世纪末，法国人皮埃尔·拉普拉斯发现了木星和土星的轨道。这两颗星是太阳系最大的行星。拉普拉斯应用牛顿定律进行研究，发现正如牛顿所说，行星有时会偏离轨道，但数百年后，它们总会再次回到原来的轨道上。

拉普拉斯将他的研究成果写成了一本书。拿破仑·波拿巴读到了这本书。他问拉普拉斯为什么书中没有提到上帝。拉普拉斯很自豪地回答，他不需要上帝来解释行星是如何运动的。



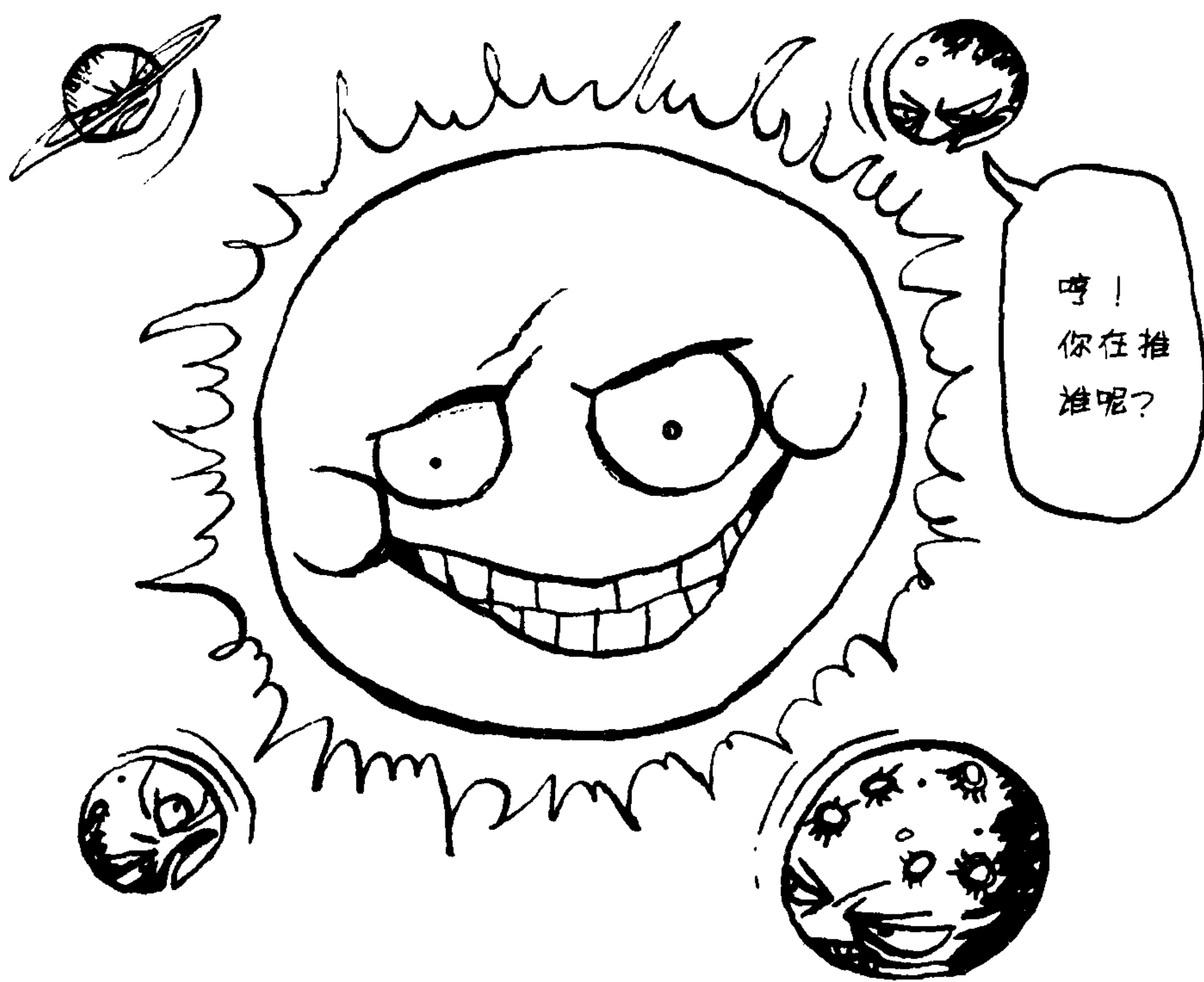


科学意义上的混沌概念第一次在1889年被提出。那年刚好是瑞典和挪威国王奥斯卡二世的生日。混沌是以一份奇异生日礼物的形式出现的。

出于某种考虑，瑞典的数学家们为表示对国王的尊敬，决定组织一次数学竞赛，并设立高额的奖金。比赛中有一道题是这样的：请证明整个太阳系确实是稳定的，而且所有行星都沿着自己的轨道运动。

一位名叫亨利·庞加莱的法国人获得了奖金。他的答案让人喜忧参半。

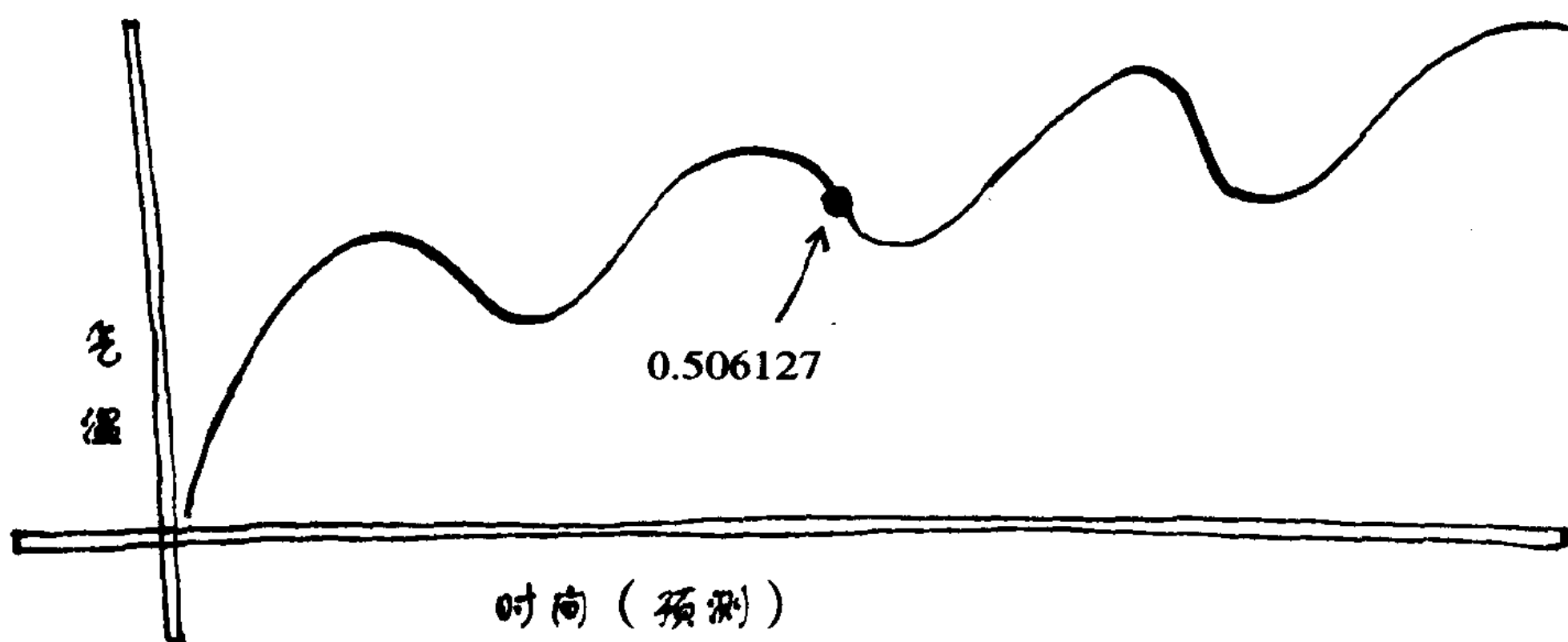
喜的是指太阳系中每个行星确实是具有他们自己稳定的轨道。忧的是其中的原因仅仅是因为太阳比其他行星要大得多，它的引力使得其他行星之间的引力可以被忽略，因此能够保持整个太阳系的稳定性。



直到20世纪60年代，才有人注意到庞加莱的发现。因为物理学家们此前都在忙于研究（马上就要讲到的）量子物理学和相对论（见《时间和宇宙》一书）。

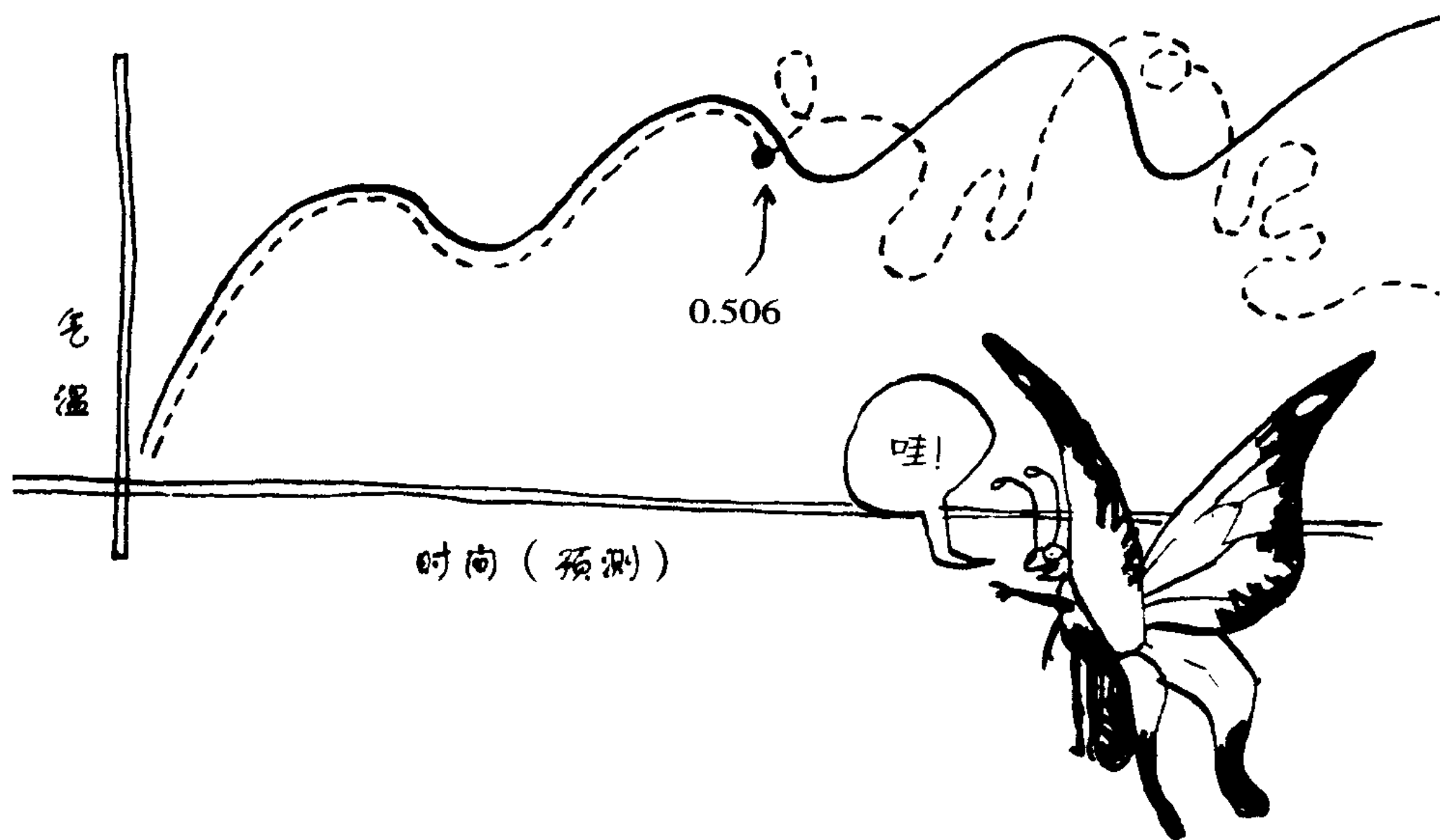
1961年，美国气象学家爱德华·洛伦兹在工作中发现了地球上的混沌现象。

洛伦兹试图借助计算机来预测天气的变化。我们知道，计算机是使用数字来表示事物的，如用数字表示温度、风向等。他认为，如果稍稍改变输入计算机的数字，得到的预测结果也会稍稍改变一点。



当时的计算机不能跟现在的计算机相比，运行速度非常缓慢。一天，洛伦兹想扩充他的一个预测。于是他没有像往常一样从最开始进行计算，而是直接利用了上一次计算的中间结果，进行后半部分的计算。当他看到大相径庭的预测结果时，他感到非常惊讶。

他很快就找到了其中的原因。他并没有把整个数字——0.506127输进去，而是输入了其中一部分数字——0.506。细微的差别在预测中导致了极大的变化。天气对初始条件是敏感的。洛伦兹发现了蝴蝶效应。



你无法肯定敏感的事物发生时的具体情形，因此就出现了蝴蝶效应。但这种不确定性与量子波相关的不确定性有区别。一种不确定性似乎还不够科学家们操心，现在可好，有了两种不确定性。



量子不确定性在20世纪20年代才被发现。发现者是一位名叫沃纳·海森伯的德国科学家，当时他才26岁。他在1927年曾说过这样的话：

“我们原则上不可能知道礼品的全部具体细节。”



确切地说，量子物理学始于20世纪之初，1900年。

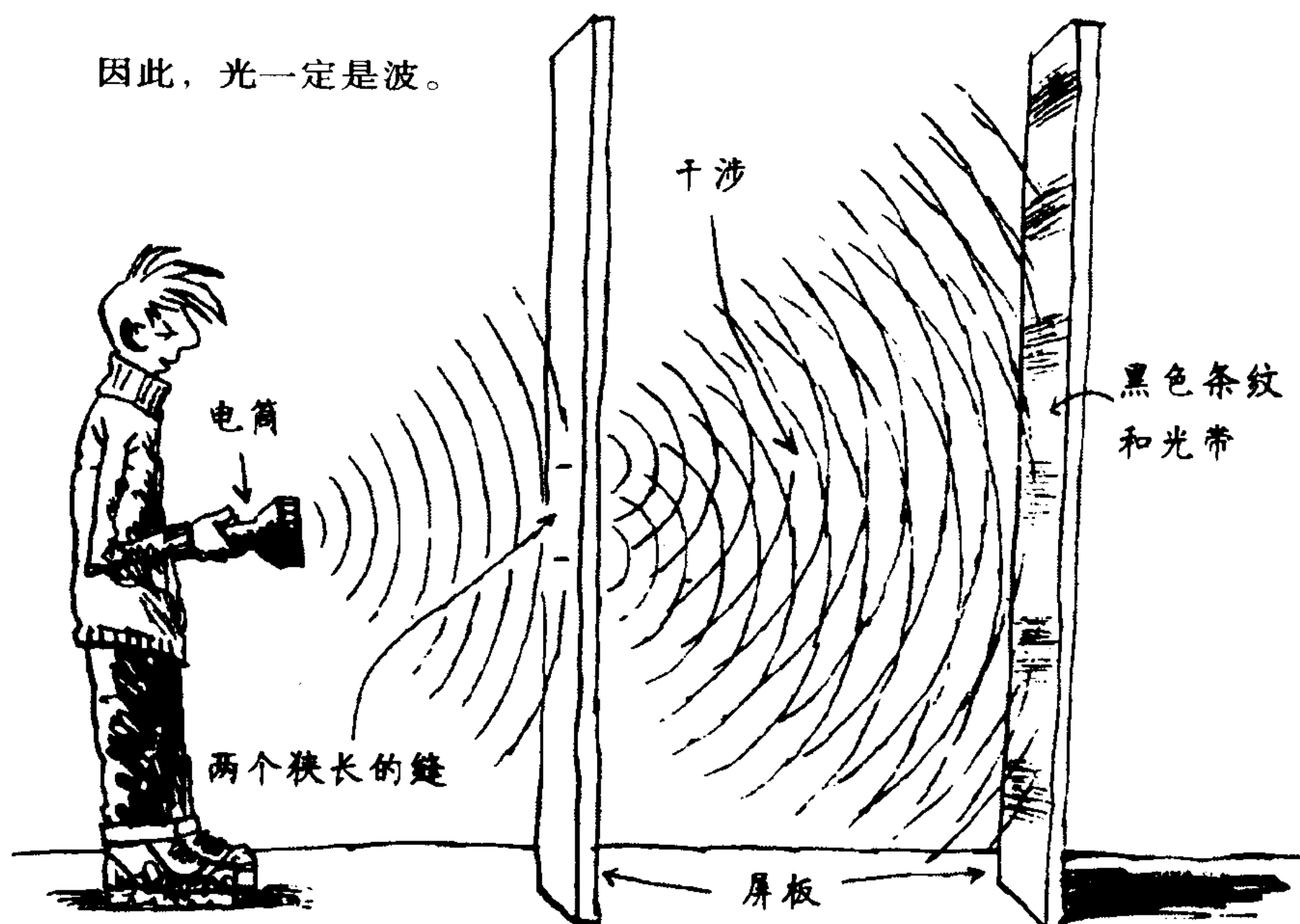


1900年以前，科学家们非常肯定光就是波。他之所以如此肯定，是因为他们曾经做过实验，得到了验证。

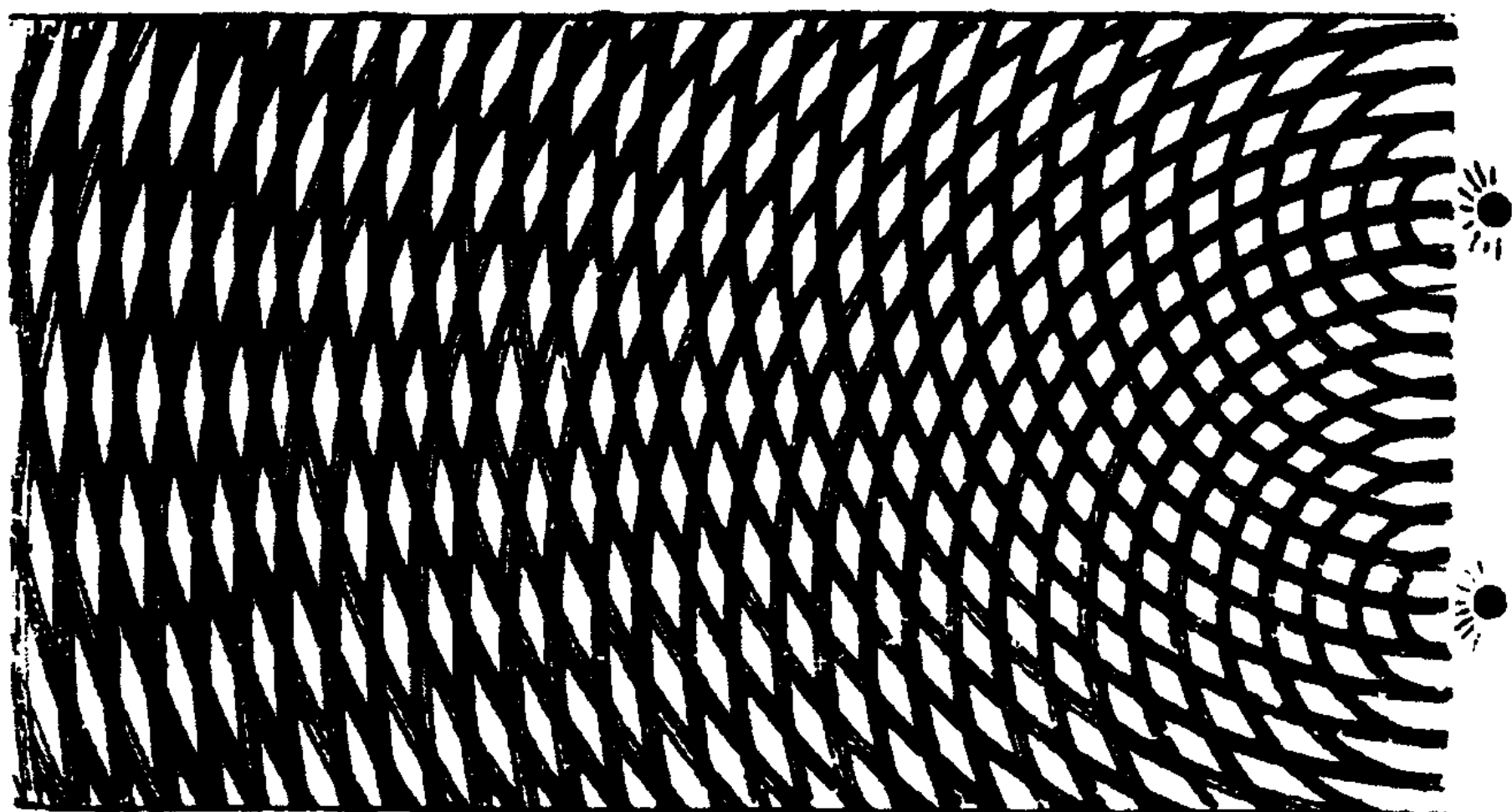
实验是这样的。

让光束透过两个小孔（或小缝），照射到黑暗房子里的白板上，这时将会产生一种明暗不一的图案，称为干涉图。这是由每个小孔里所扩散出来的光波互相重叠造成的，就像池塘的波浪一样，它们互相干涉。

因此，光一定是波。



这幅画的作者是托马斯·杨 (1773-1828)。它表明了明亮线条和黑暗线条的交替干扰。不妨试着将你的眼睛向图的右边缘靠近些。



1900年，德国科学家马克斯·普朗克又有一个重大的发现。他发现光有时候表现得并不像波。它的运动就像一束小粒子，像小小的子弹头。



对普朗克所采用的方法，人们比较难以理解，甚至连他自己也不是很清楚这意味着什么。但5年后，爱因斯坦使这一切更加明了。

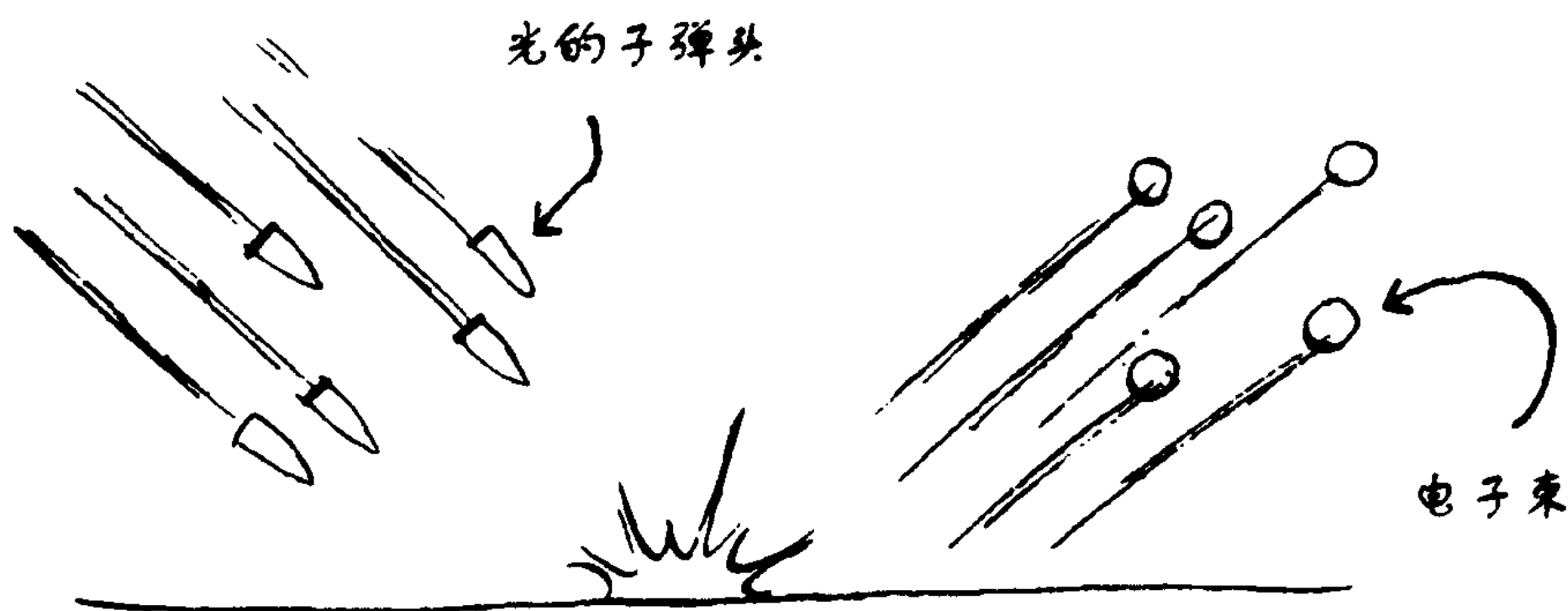


爱因斯坦所解释的这种现象称为**光电效应**。当光撞击金属的时候，就会产生电。在以太阳能作为电源的收音机和计算器上就有这种现象。

如果一种颜色的光撞击到金属，通常激发出所具有的能量与光电子能量相同的电子。如果光线亮度微弱，你就只能得到少量电子；若光线明亮，电子的数量就会很多。对相同颜色的光，激发出的每个电子具有相同的能量。

如果光是波的话，就很难解释这一切。但如果把光看成一束束“小子弹头”的话，解释起来就容易多了。每颗“子弹”具有同样的能量。如果它撞击金属，就会激发一个电子，电子携带的能量与“小子弹头”一样。

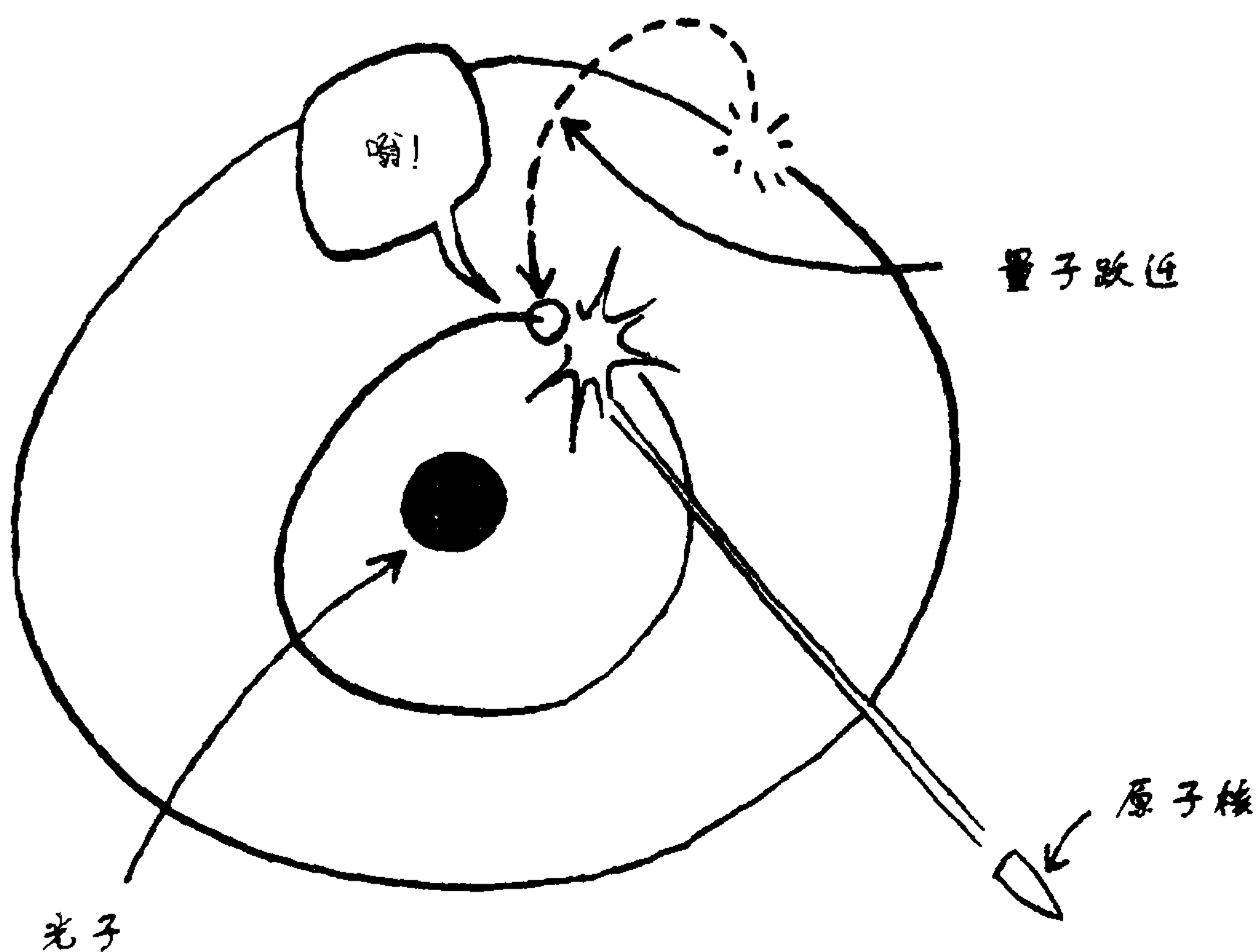
但光的每种颜色都是能量各异的“子弹头”。



光既是波又是粒子，这观点让人觉得非常不可思议。科学家们花了多年的时间才弄懂其中的含义。刚开始的时候，每一束光（每一串“子弹”）被称为量子。现在人们都称它们是光子。

对量子物理学来说，最重要的是它能够解释原子是怎样运作的。丹麦的物理学家尼尔斯·波尔认为，电子必须沿着一定的轨道围绕中央的原子核转，有点像行星绕着太阳转。电子在多条轨道中的一条上运动。电子从一条轨道跳到另一条轨道，就产生了光，同时释放了刚好一个量子的能量（一个光子）。

这就是著名的“量子跃迁”。



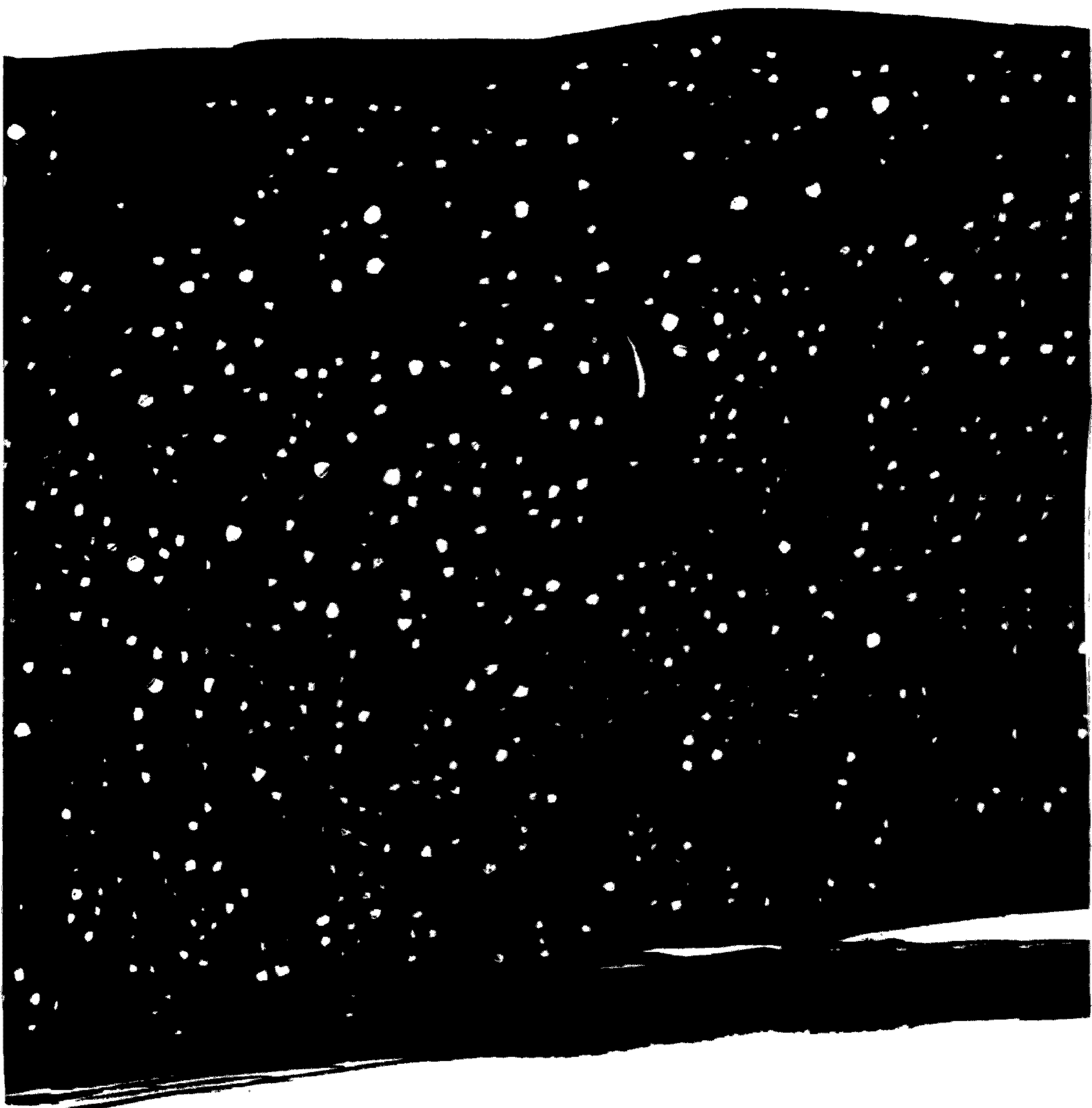
对量子跃迁来说，很重要的一件事就是在两条轨道之间什么都没有。

电子要么在这一条轨道上，要么在那条轨道上，没有中间过渡。对一个电子来说，没有“中间过渡”的空间。它的跃迁在瞬间完成，无须横贯任何间隙，就像电影《星际迷航》里面的上下跳跃的光束一样。

我们对此似乎有点陌生，因为它不是我们日常生活中所习惯的东西。但如果你是一个电子的话，这就再正常不过了。



如果电子在原子的内部往“下”掉，就会产生光子，这叫“发射”。光子撞击原子，电子就会“蹦高”，同时光子被吸收了。每个原子都有不同的电子排列。它们发出和吸收光的方式会产生不同颜色的图案，称为**光谱**。



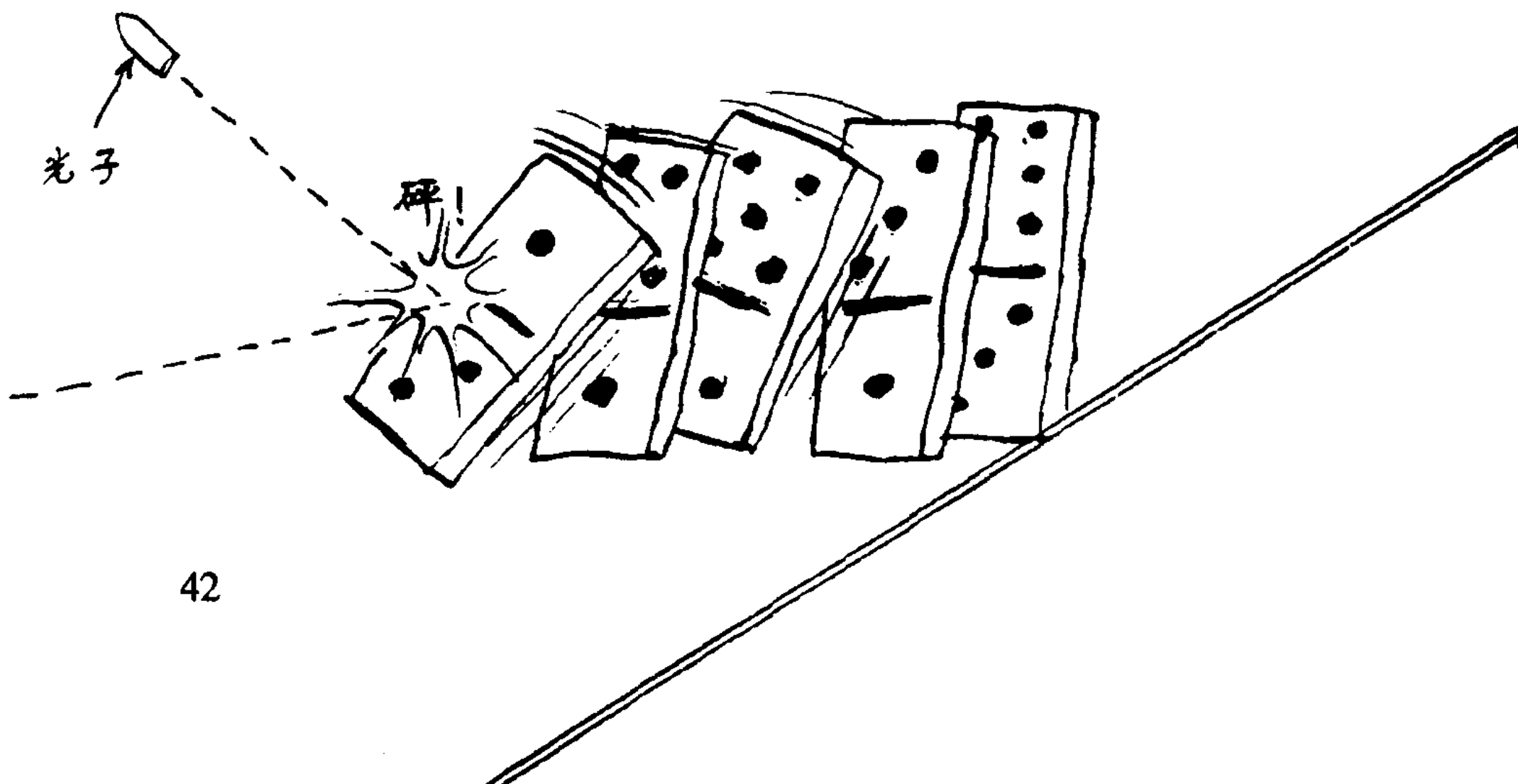
光谱就像是每一种元素的指纹。也就是说，只要认真观察物质发出的光的颜色，就可以判断它们是由何种原子构成的。根据恒星发出的光，天文学家甚至可以断定恒星是由哪些物质构成的。



1961年，阿尔伯特·爱因斯坦使用新量子物理学来预测一种奇异的现象。如果水晶里的原子被某种能量所推动，电子就会跳向远离原子核的方向，这时的原子称为受激原子。



通常，受激原子中的电子会随意地回落到原来位置，从而产生普通的光。但是爱因斯坦发现，如果单个光子所具有的能量刚好能穿过激发态的水晶，它将能使所有的电子一起回落到原位，就像倾倒的多米诺骨牌一样。



利用这一现象可以产生一种颜色很纯、能量高度集中的光束。这个过程被称为受激发射，这也正是激光的工作原理。激光的英文表述Laser是由光（Light）放大（Amplification）激发（Stimulation）放射（Emission）辐射（Radiation）这5个英文单词的首字母组成的。尽管直到50年以后激光才真正问世，这也正显示了爱因斯坦是如此的智慧过人。



物理学家当时忙于研究光既是波又是粒子到底意味着什么。一直到1923年才有人问到一个问题：

“如果电子也既是粒子又是波时，情况又怎样呢？”

如今这个观点是再清楚不过了，但之前没有任何人想过这个问题。

提出这个问题的是一位法国贵族，名叫路易斯-维克托·皮埃尔·雷蒙德·德布罗意。他提出这个问题时已经30岁了，这个年龄对科学家来说已经不小了。这是因为他的工作曾因第一次世界大战而中断。在战争中，他负责部队的无线电通讯，并驻扎在巴黎的艾菲尔铁塔周围，铁塔在当时被当做一根大的无线电天线。





用实验证明德布罗意观点的人中，有一个叫乔治·汤姆森  
的英国医生。1927年，他用电子做实验，发现电子互相  
干扰，就像池塘里的波浪一样。实验证明德布罗意的观点  
是正确的。

1937年，乔治·汤姆森获得了诺贝尔奖，因为他证明了  
电子是波。他的父亲比他早31年获得该奖，因为他证明了电  
子是粒子。

他们两人的观点都是正确的，都当之无愧地获得该奖。  
由此可见量子世界是多么的奇妙。

1927年，德国人沃纳·海森伯将所有这些观点集中起来，创造了表述量子不确定性的方程式。

海森伯当时在量子物理学领域已经闻名遐迩。1925年他就已经有了非常成熟的想法。但那年他却得了花粉热，只好来到赫里戈兰岩石岛上休养。他刚上岛的时候，颜面肿胀，女房东还以为他被人打了。随着他日渐康复，在岛上无事可做的他，便天天想着科学上的问题。



你或许觉得这种额外的不确定性使混沌变得更糟。但这里有一件奇妙的事：从原子吸收能量的方式可以看出，在量子效应明显的情况下，混沌的程度减少。原因在于波互相干扰的方式。因为量子的不确定性而使“点”变得模糊，从而对初始条件的描述不再显得重要。这些在我们处理比原子更大的物质时没有任何意义。但这的确意味着在本书的余下部分我们不必再为量子的不确定性发愁。



不确定性将一个个点变成了模糊的团。这意味着它们更加容易互相干扰。点的确切位置并不是很重要。

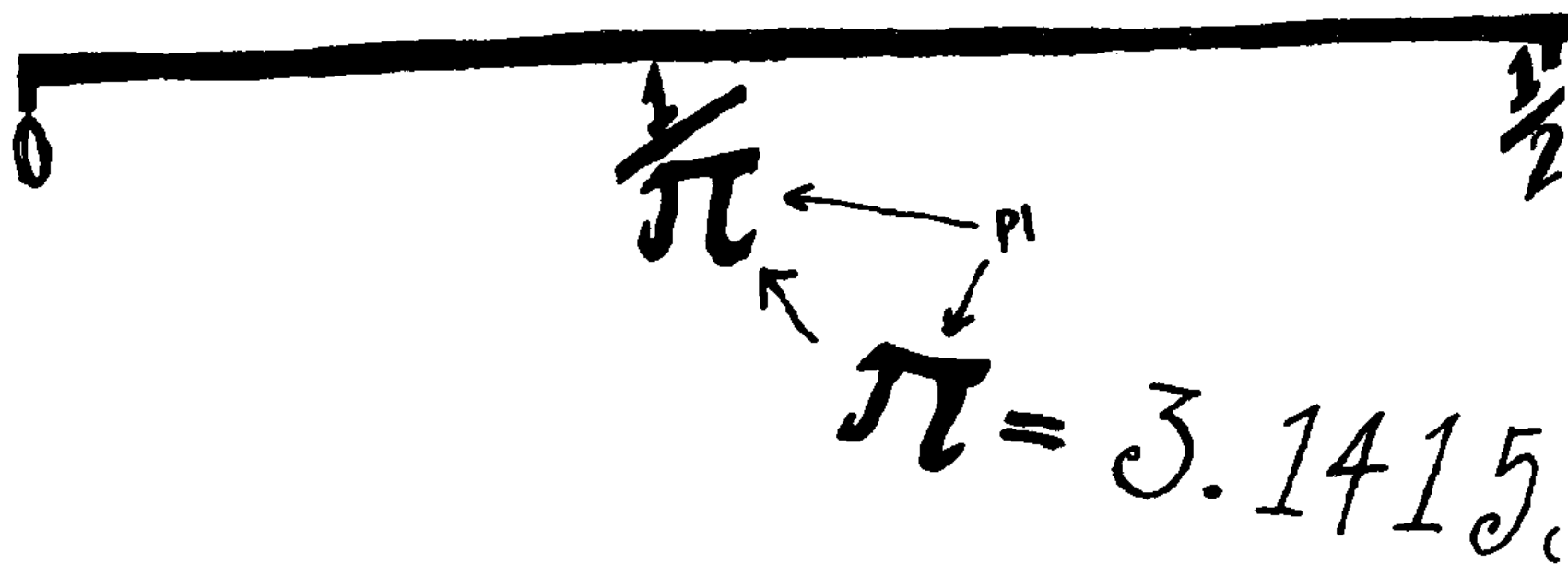


# 抓住混沌

尽管某些事物对初始条件非常敏感，但你可能会想到如果有一台运算能力足够强的计算机，你就可以准确地算出初始条件，从而控制混沌。并且还能够在准确地预测将要发生的事情。

如果你真这么想，最好现在就死了这条心。

假设有一根1米长的直线。直线上有许多个点，你能够用分数将它们的位置标出来——离开原点 $1/2$ ， $3/4$ ，等等。（要记住，1厘米是1米的1%，所以用厘米来测量就是使用分数测量。）



如果你确定某个具体的位置，那就是一个初始条件。一些初始条件只能用**无理数**来表示。“你选择一个你喜欢的任何位置”就是一个例子。所以如果事物真的对初始条件敏感的话，混沌就是不可避免的。

能够用整数的分数表示的数称为**有理数**，因为它们可以表示成比例。比例就是一个整数除另一整数。

但有些数字不能写成两个整数的比例。其中的典型就是圆周率 $\pi$ ，它的小数点后数字的位数是不确定的。 $\pi$ 就是一个永无止尽的数。它从3.14159开始，但小数点后的数字没有尽头。还有不少像 $\pi$ 这样的数字，它们称为**无理数**，因为它们不能用比例表示。

在这条直线（实际上任何一条直线）上的有些点对应的是无理数。比如存在一个点，它刚好是 $\pi$ 厘米长。你如果想确定这一点的位置，就需要无穷无尽的数字。




$\frac{3}{4}$

1

要精确地确定一条直线上的某一点，你需要一台比整个宇宙还要大的计算机！

7253589793238462643383279502884197169399375105



有人提到过 $\pi$ 吗？

49

沙沙  
喂喂

一盒冰淇淋1英镑；如果我有2倍的钱（2英镑），我就可以买2倍的冰淇淋（2盒）；5英镑可以买5盒冰淇淋；依此类推。这被称为**线性模型**。混沌的问题在于它是**非线性**的。如果事物是线性的，不管开始你做了什么，规模效应永远发挥作用。

如果金钱的作用是非线性的，那么买1盒冰淇淋1英镑，4盒2英镑，8盒3英镑，等等。这就是一个非线性序列。

超市里的某些折扣价格是有点非线性的。如买2送1，但从来看不到买3送5。这会带来混乱。

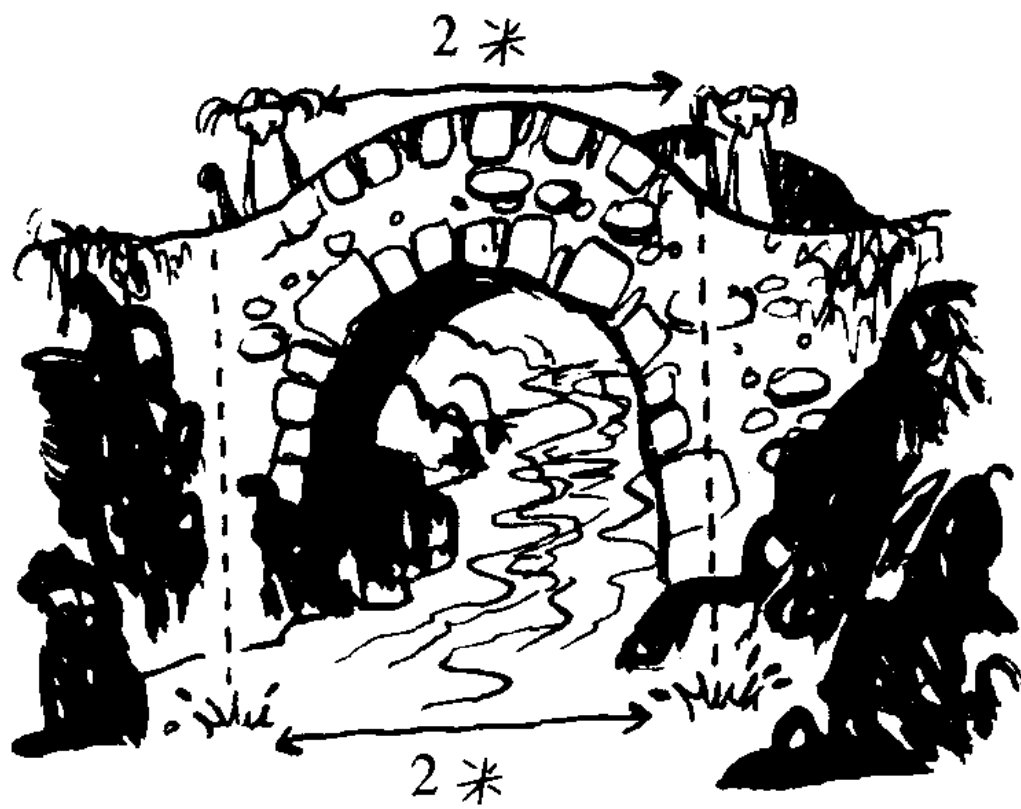


你在街上溜达的时候，每迈出一步，也许就是1米，10步之后，你就走出了10米。走路也是线性的。

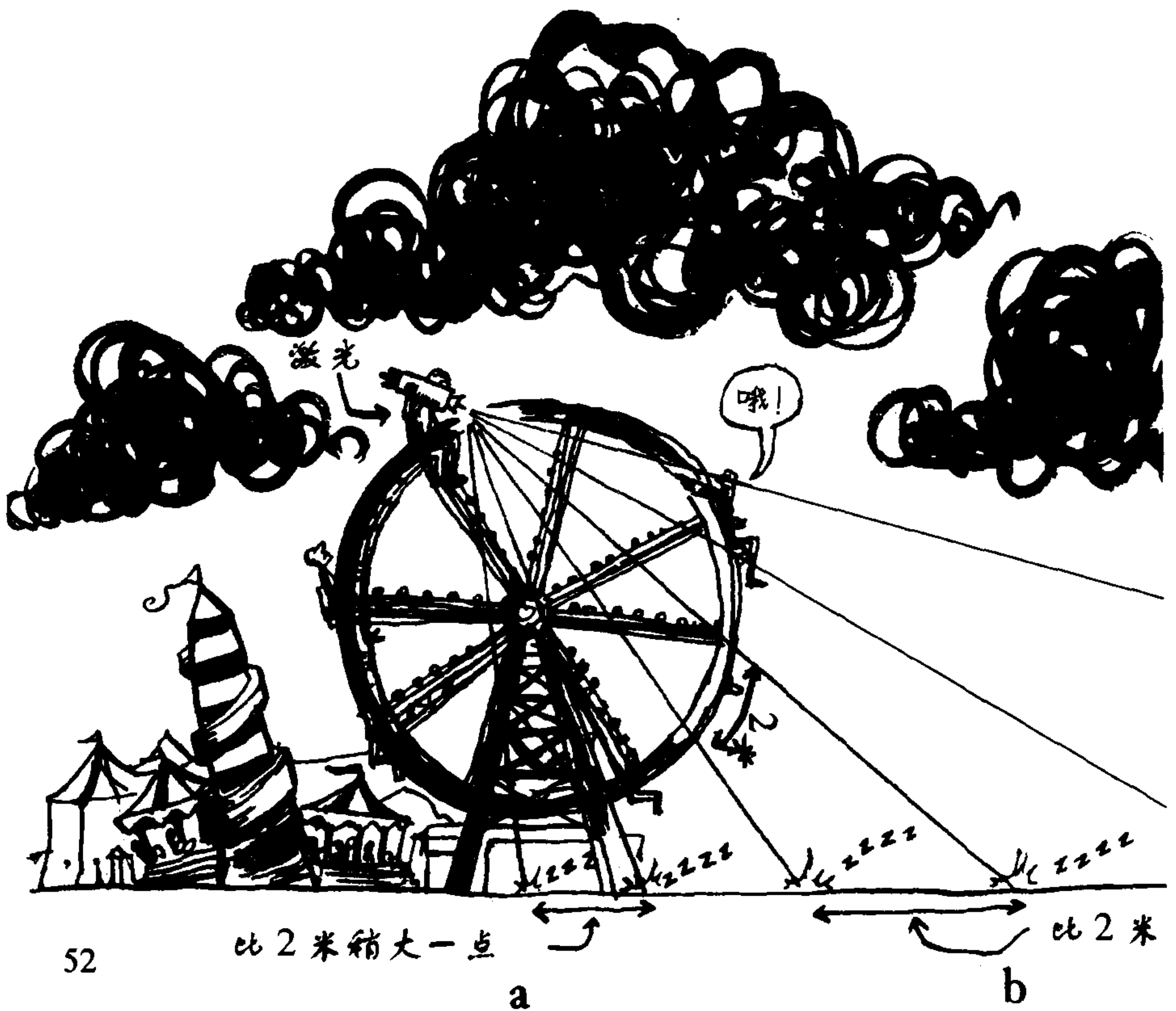
如果你真有魔鞋的话，每一步的距离都是前面一步的2倍。第1步，1米；第2步，2米；第3步，4米；依此类推。

在前2步之后，每一步所走的距离比前面所走的距离总和还要大。第11步的距离将会超过1千米。这双魔鞋是非线性的。





从桥上扔石子是线性的。如果你向左挪动2米后再扔石子，石子落到河里的地点也向左移动了2米，依此类推。



假设你用强激光束在大轮子顶部照射，规则是光束每次照射必须经过轮子外缘上的1点，连续2次照射的2点间圆弧的长度为2米。

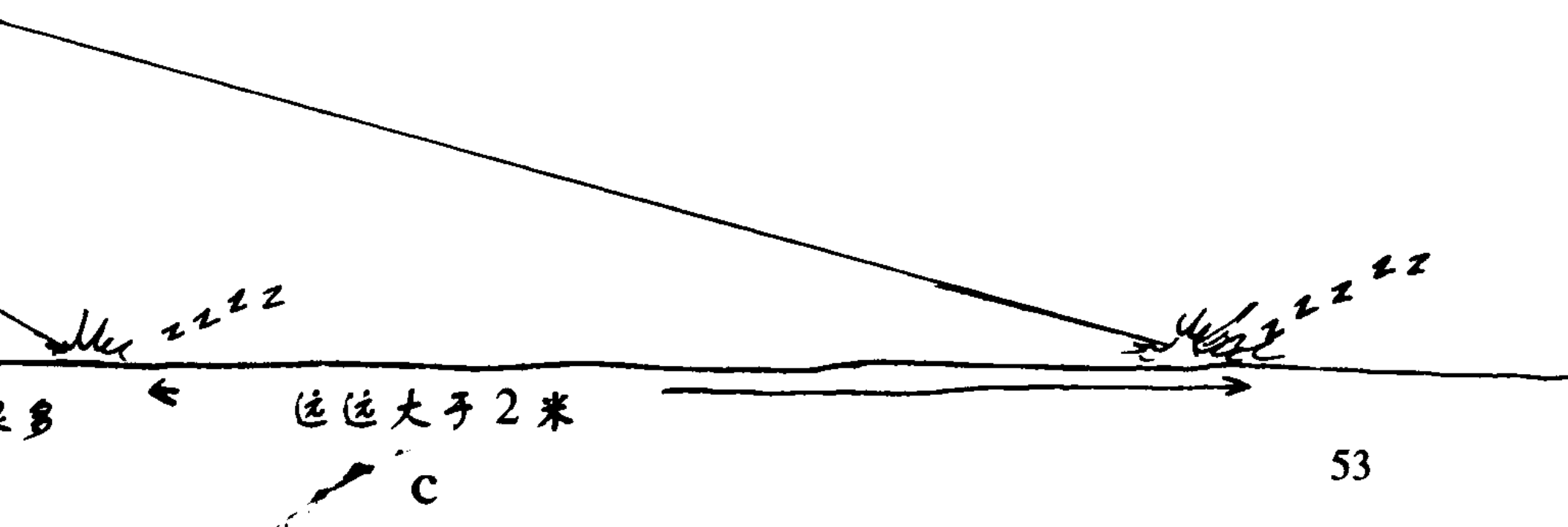
一开始激光束几乎朝着垂直向下的方向照射。在这种情况下，光束从轮上的一点沿着轮子的外缘，经过长度为2米的圆弧到达另一点，并没有对光束照到地面上的位置产生多大的影响。当光照到地面上的时候，地面上相邻两个激光点的距离为2米稍多一点 (a)。

接着将光束朝着轮子的方向上抬一点，从轮子上的一点沿着轮子的外缘，经过长度为2米的圆弧。这时，照到地面上的相邻两个光点的距离就相差很大 (b)。

最后将光朝着接近轮子顶部的位置照射下去，将光束沿着轮子的外缘，经过长度为2米的圆弧到达另一点，两个相邻激光点的距离将远远大于2米 (c)。

这个系统有时候是近似线性的，有时是非线性的。有时是非混沌的，有时是混沌的。

是不是有点弄糊涂了？那你现在已经处于混沌状态了。



你可以在自己家里看到一个从线性变化到混沌的系统。尝试着轻轻打开浴缸上的水龙头开关。

如果把水龙头再打开大点，水就一点点地慢慢地流出来。

现在将水龙头逐渐开大。

如果一直这样的话，水就从里面倾流而出，冲向整个浴池（这种混沌称为湍流）。



如果你很小心，可以控制水的流量，不要太大，也不要太小，使水波有规律地摇摆。稍后，我们将更多地会讨论线性和混沌之间的差别。（如果你不能使水呈波浪状，也不要着急。要知道，这是很难做到的！）



如果你不想把自己弄湿的话，可以在计算器中体会混沌。

从数学公式  $(2x^2 - 1)$  开始。然后再做称为迭代的工作。将(0到1之间)任何一个数字输入计算器，平方之后，乘以2，再减去1。然后利用所得结果进行同样的计算，依此类推。

选用不同的数字进行尝试。将你10次迭代所得的数字序列写下来。你可能会猜，你所使用的这个数字的细微差别，对每次迭代之后所得到的结果影响不大。



先试0.51234，再试0.51235。

混乱产生了！

如果你在不同计算器上进行相同的运算，得到不同的数字的话，不要觉得意外。这是因为计算器内部对小数的舍入处理不一样，就像洛伦兹的天气预报。

**这是非常重要的发现。**

所有计算机都要进行数据的处理，但处理的方法不一样。所以，相同的程序在不同的计算机中运行，所得到的答案可能是不一样的。

计算机并不是完美的，而且它们互相之间也并不是十分统一。不要因为“计算机这样说”你就相信。而应该弄清楚为什么计算机这样说。

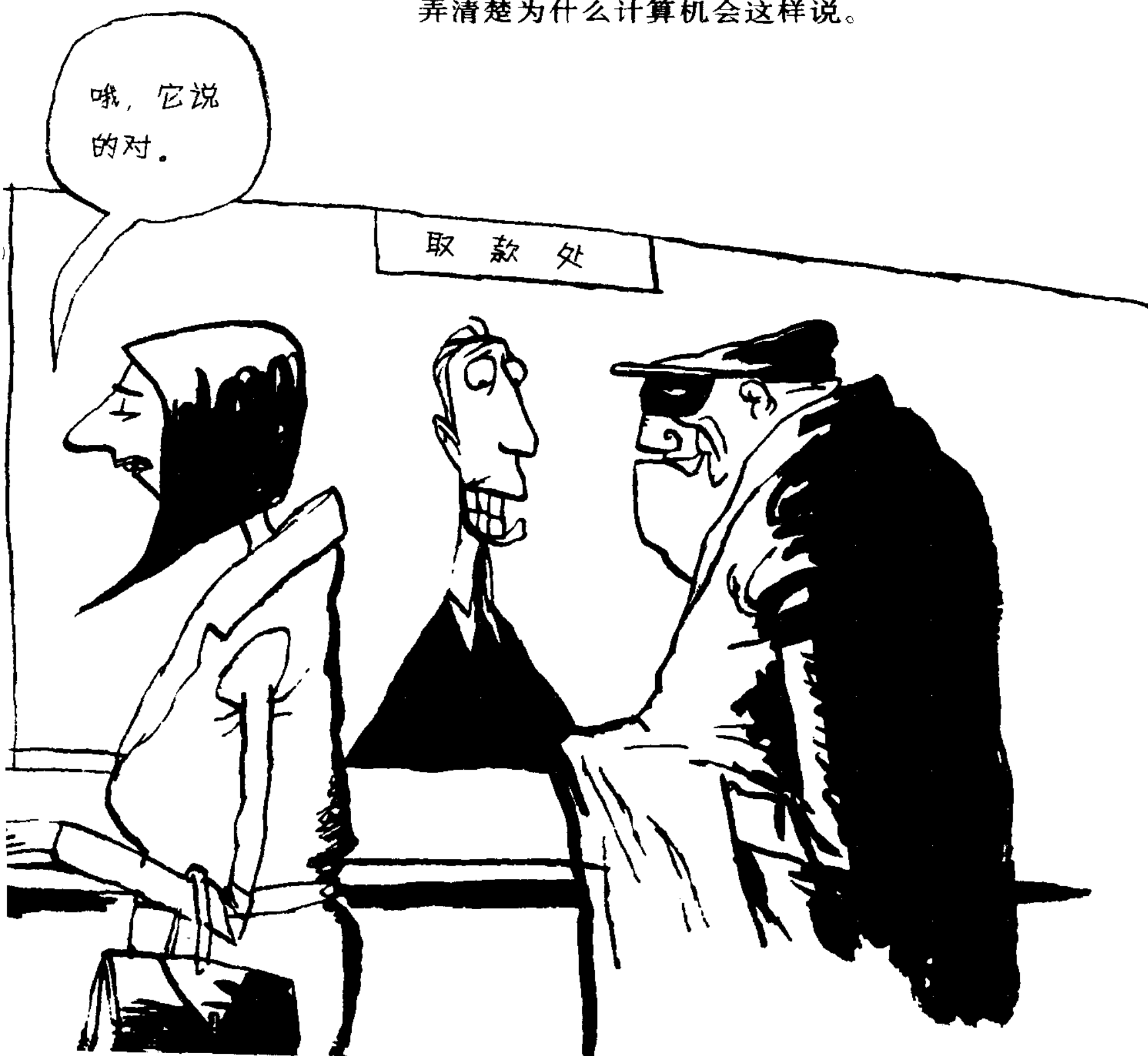
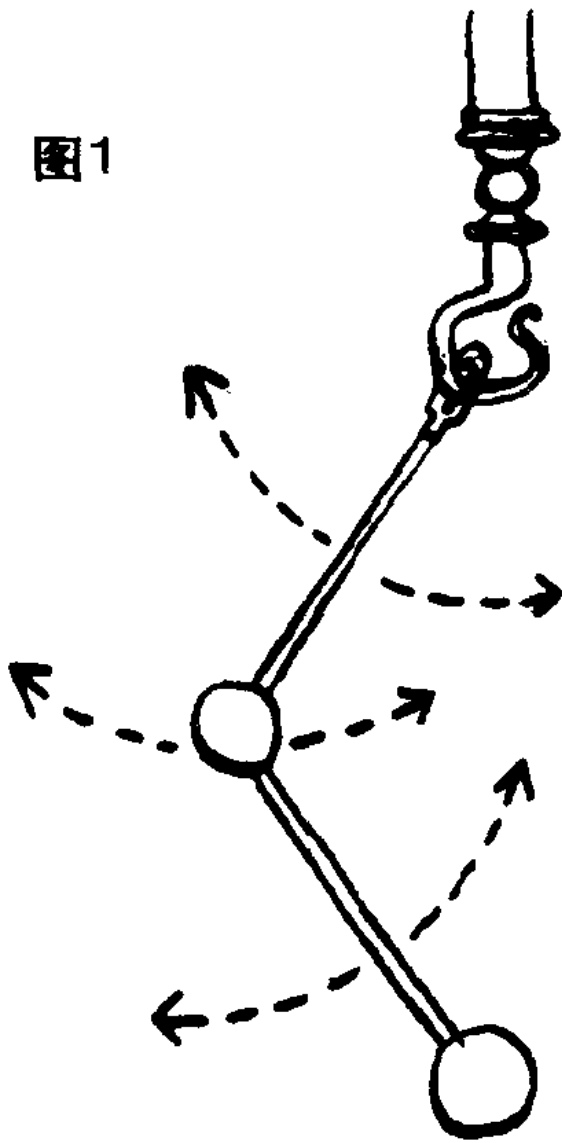


图1

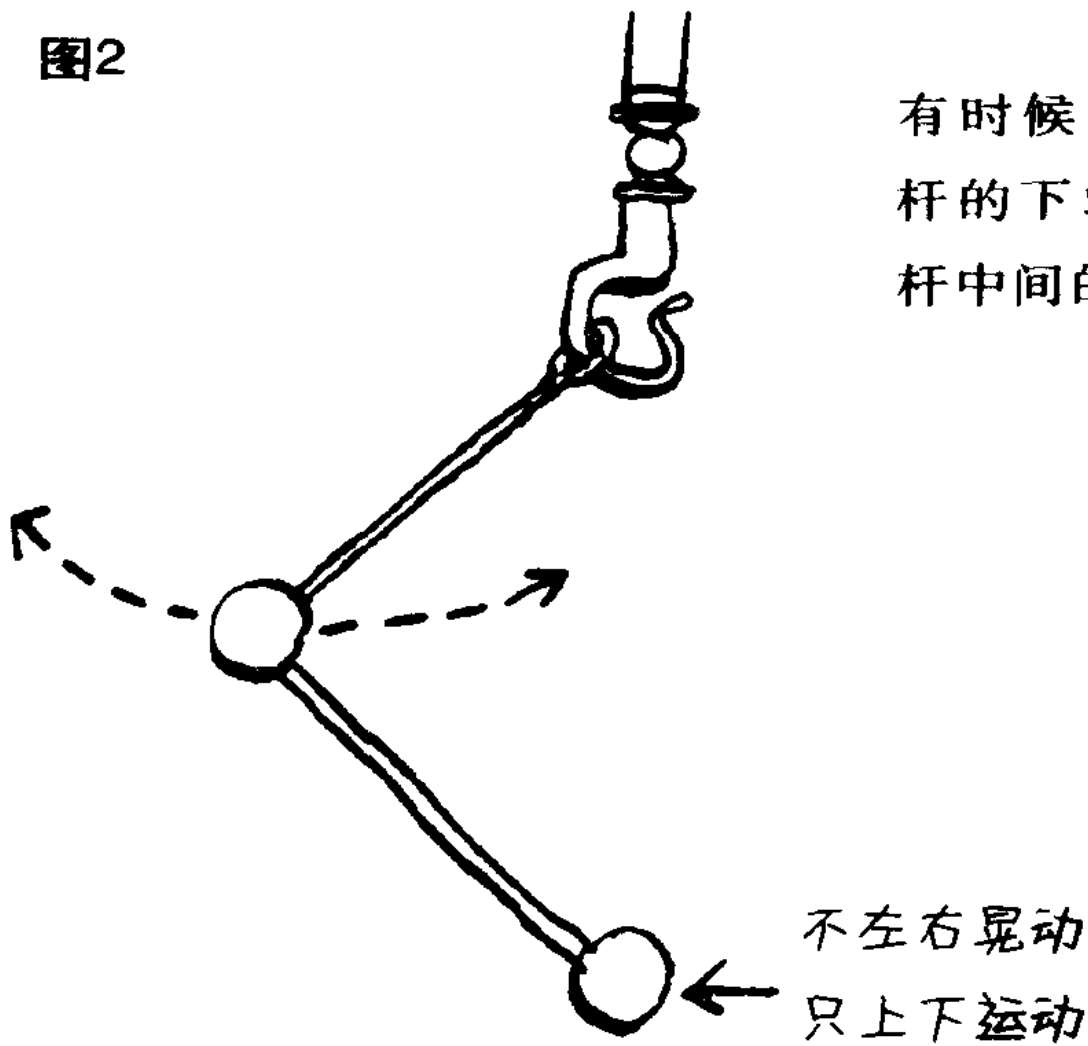


举一个很简单的例子说明混沌是怎样形成的。有一个由两根长度相等的杆组成的双摆，两杆之间用铰链连接起来。像普通的单摆一样，双摆可以绕着各自的上端来回晃动，铰链保持在两杆中间。

如果你推一下双摆，它不会像普通单摆一样简单地前后晃动。

有时候，上面的杆几乎不动，下面的杆只是左右晃动几下（图1）。

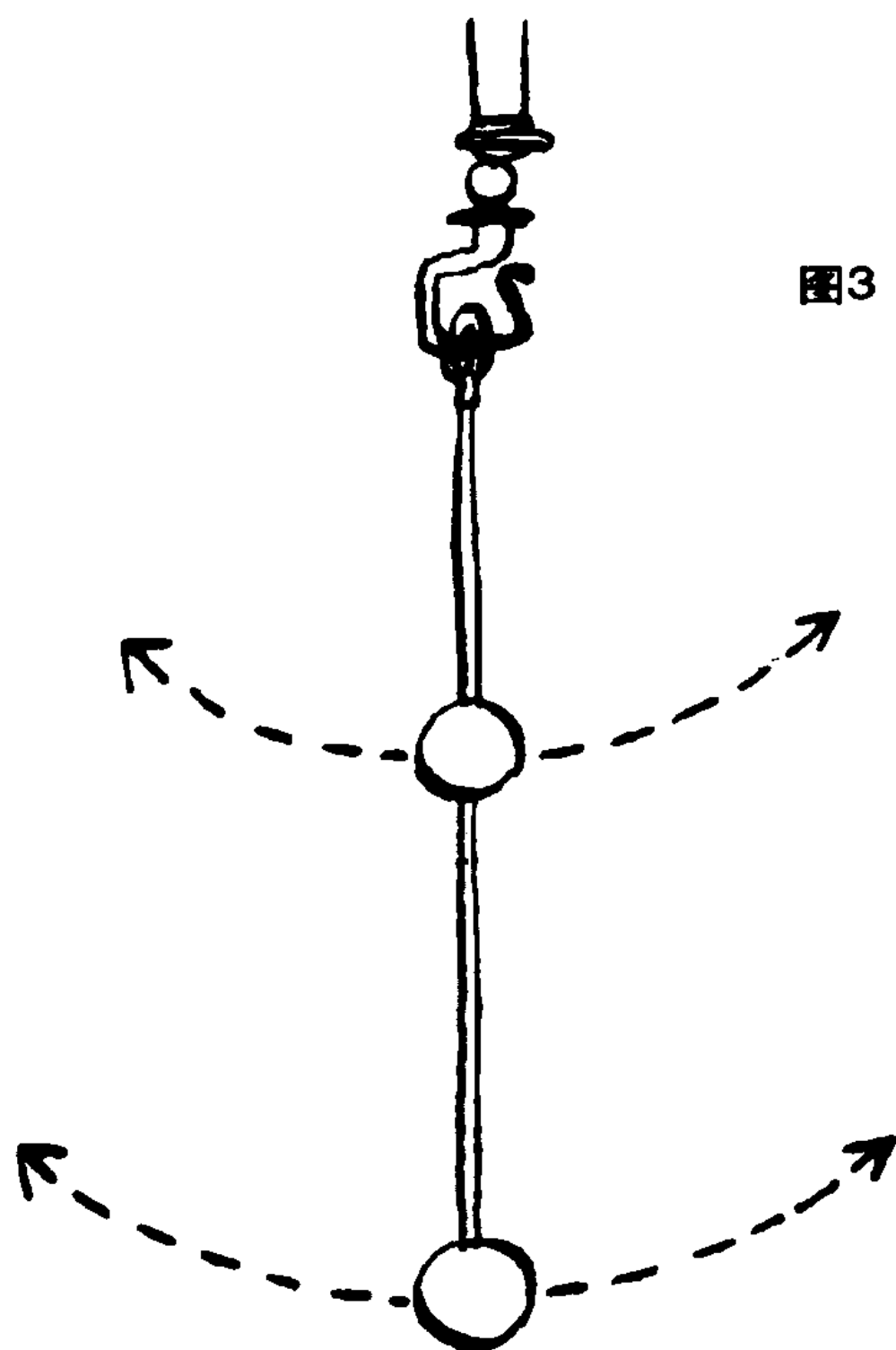
图2



有时候，上面杆的上端和下面杆的下端几乎都不动，只有两杆中间的铰链来回晃动（图2）。

有时候，两根杆一起晃动，就好像中间没有任何铰链一样（图3）。

推动双摆之后，它都会出现所有这几种运动状态，然后慢慢地停下来。（有一些双摆是通过一个小电机连接在一起的，电机会不停地轻轻推动双摆。）

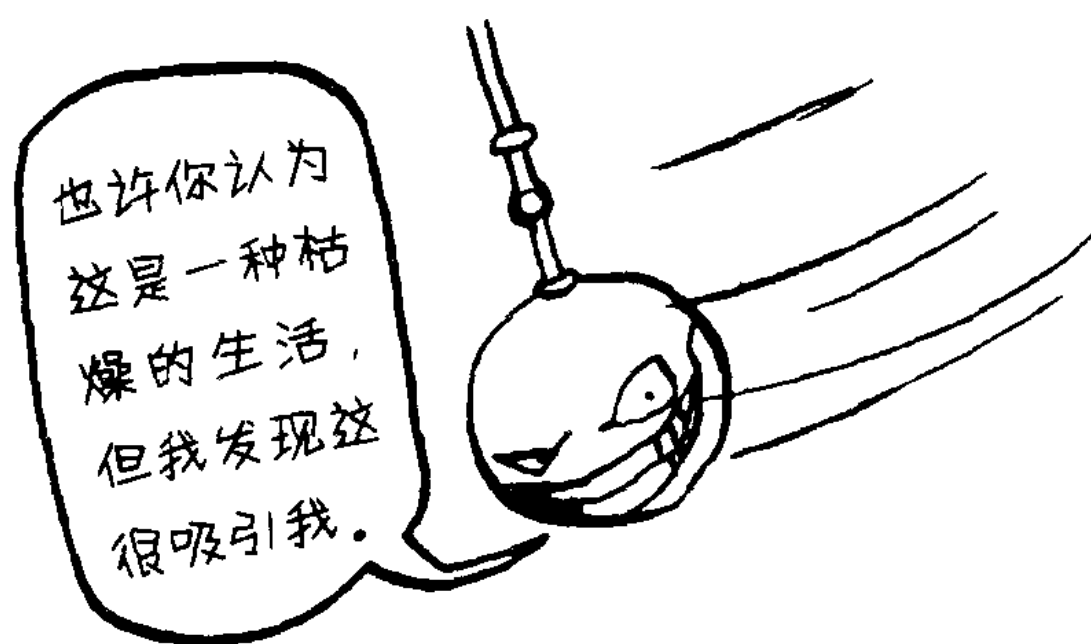


一段时间里，双摆以某种方式摆动。但当它减慢到某一临界速度时，或者是被施加一个微小的推力时，速度的微小变化使它开始以另一种不同的方式摆动。

复杂系统表现得好像受到了某种吸引，向某种行为类型靠近。

事实上，简单的事物也会有这样的表现，只不过它们表现得太浅显，以致于我们并不注意它们。

普通单摆摆动起来的时候，就像是被吸引着前后摆动。



事物被吸引过去的行为模式称为**吸引子**。星期六去看足球比赛就是很多人的吸引子。



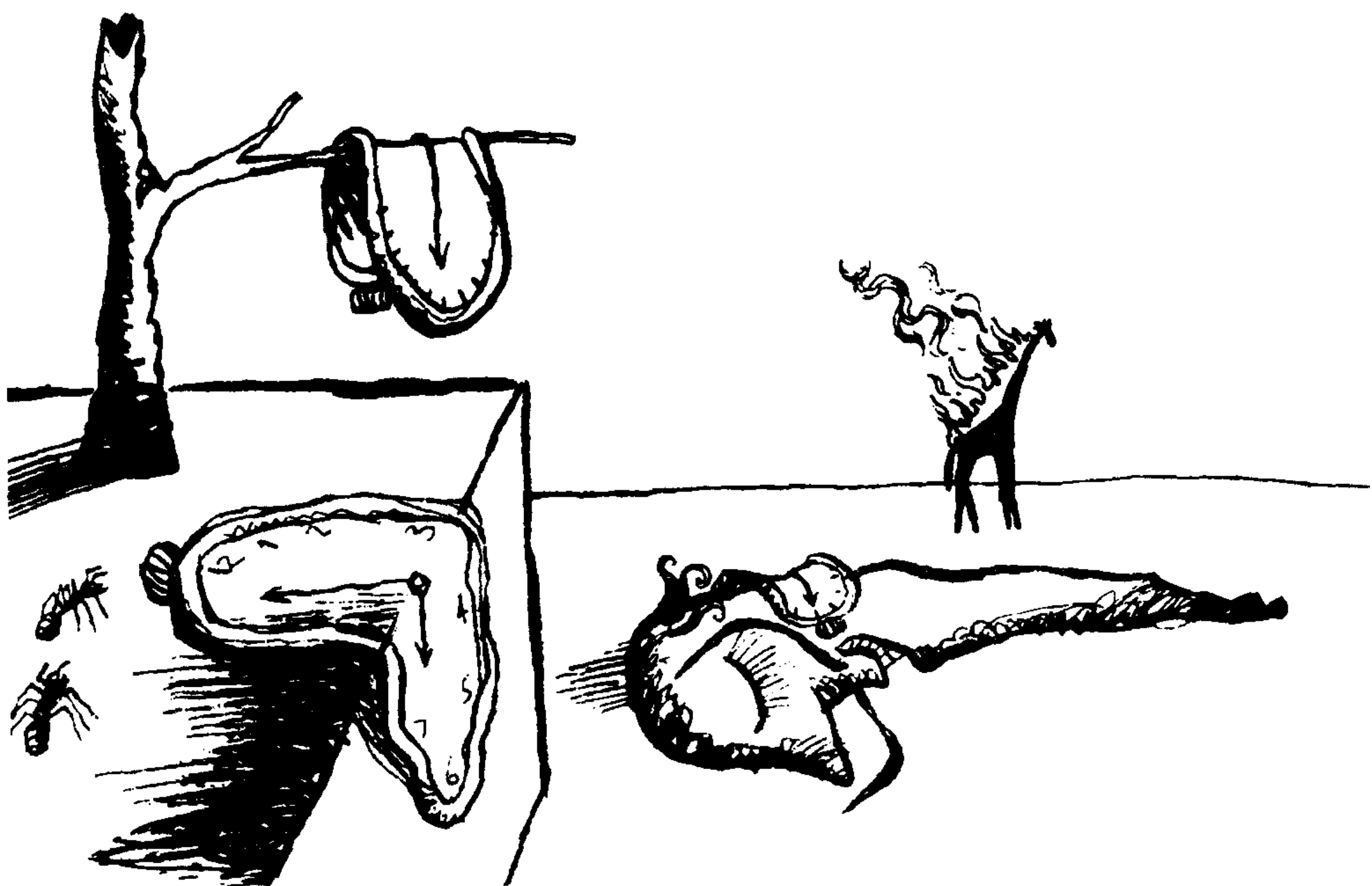
吸引子的存在也告诉我们很多不可能发生的事情。旗子绝对不会指向风刮来的方向。巴西雨林中的气温绝对不会降到零度以下。对那些遵循旗子飞扬规律和天气预报机械运作规律的行为，不存在吸引子。



在混沌系统中，存在强有力的吸引子，它们不允许其他任何行为模式的存在（如星期六你得去踢球，你没有其他选择）。但这样的吸引子有好几个。所以某些像双摆这样的事物不得不突然从一种模式转到另外一种模式。没有任何中间路线。

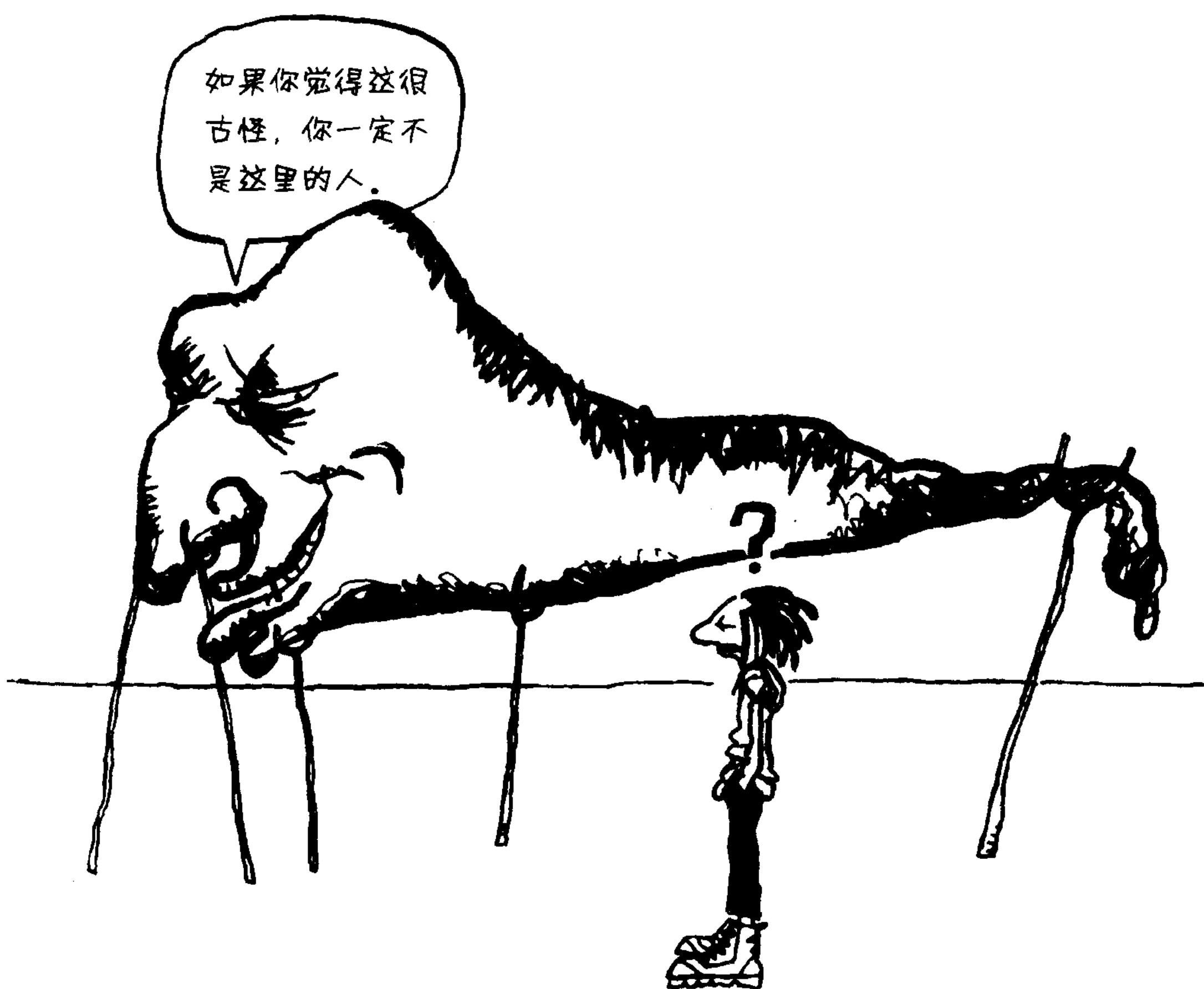
如某些星期六你得去踢球，某些星期六你得去洗车，但不可能去看电影。这些规则十分僵化，永不会被违反。

这有点像这样的规则：每年的8月1日，伦敦中午的气温一定是正好是 $20^{\circ}\text{C}$ 或者 $30^{\circ}\text{C}$ ，除此之外，没有任何其他可能。



这有点奇怪。因此混沌吸引子称为**奇异吸引子**。但实际上混沌吸引子没有任何奇异之处。奇怪的是混沌使系统从一种吸引子突然跳到另一种吸引子，不存在任何中间可能（跟量子跃迁十分相似）。

因为我们在日常生活中并不习惯这些，所以感觉奇怪。可是从宇宙的角度来看，这再正常不过了。

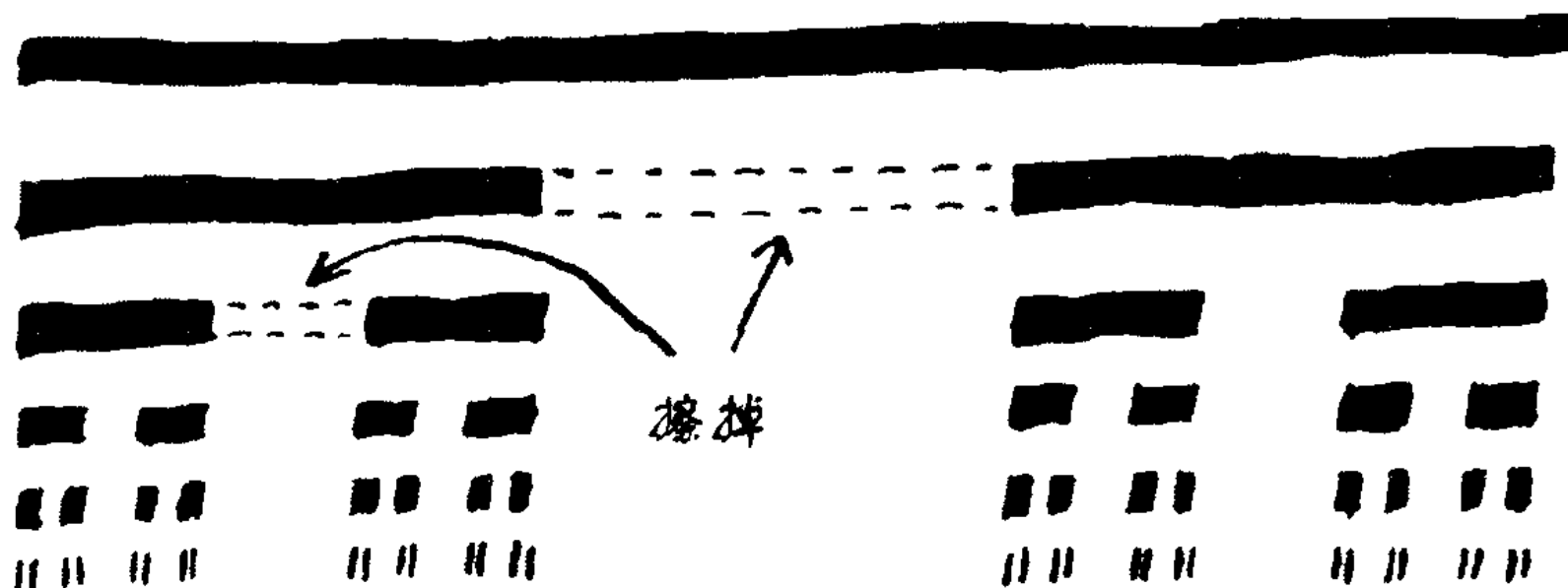


奇异吸引子相互关连的方式有点像一种叫做“康托尔集合”的东西。

100多年前，乔治·康托尔发明了集合理论。其实亨利·史密斯早在1875年便发明了“康托尔集合”。但直到1883年康托尔才用到该理论。或许是当时的数学家们觉得“史密斯集合”这个名字太没味道了。



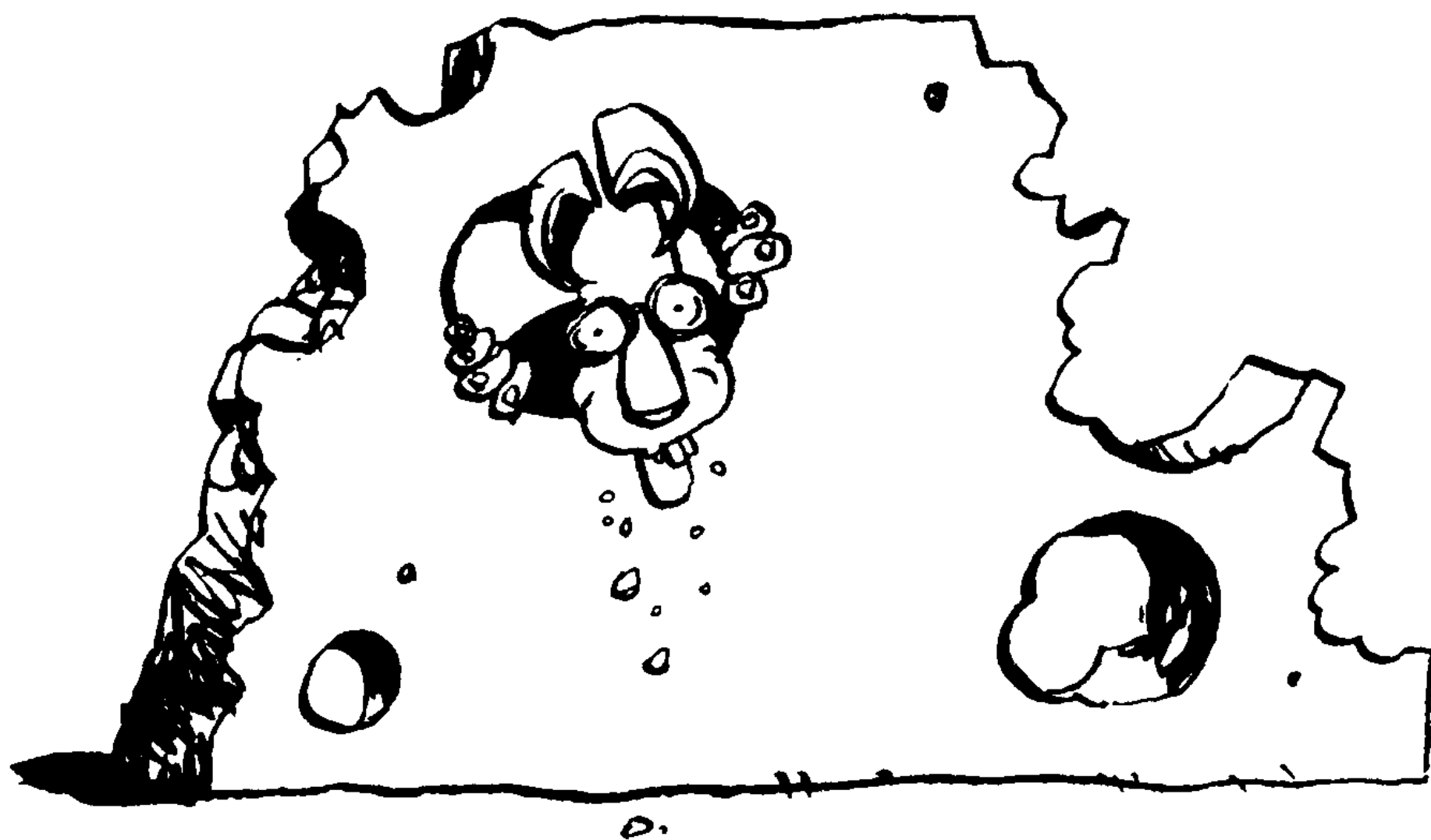
你可以用一根直线来产生康托尔集合。将直线中间的1/3擦掉，但留下两端。然后分别将剩下的两段直线中间的1/3擦掉，依此反复。



到最后，剩下的只有所有你擦过的直线的端点。这样就产生了许多空白，还有沿直线到处分布的小的点集。这种现象有时被称为康托尔尘埃。

通过这种方法，你还可以利用更加复杂的规则来获得更加复杂的尘埃模型。你还可以造成三维的尘埃模型。用一大块物体，将其一点一点地啃掉，使它像瑞士奶酪。

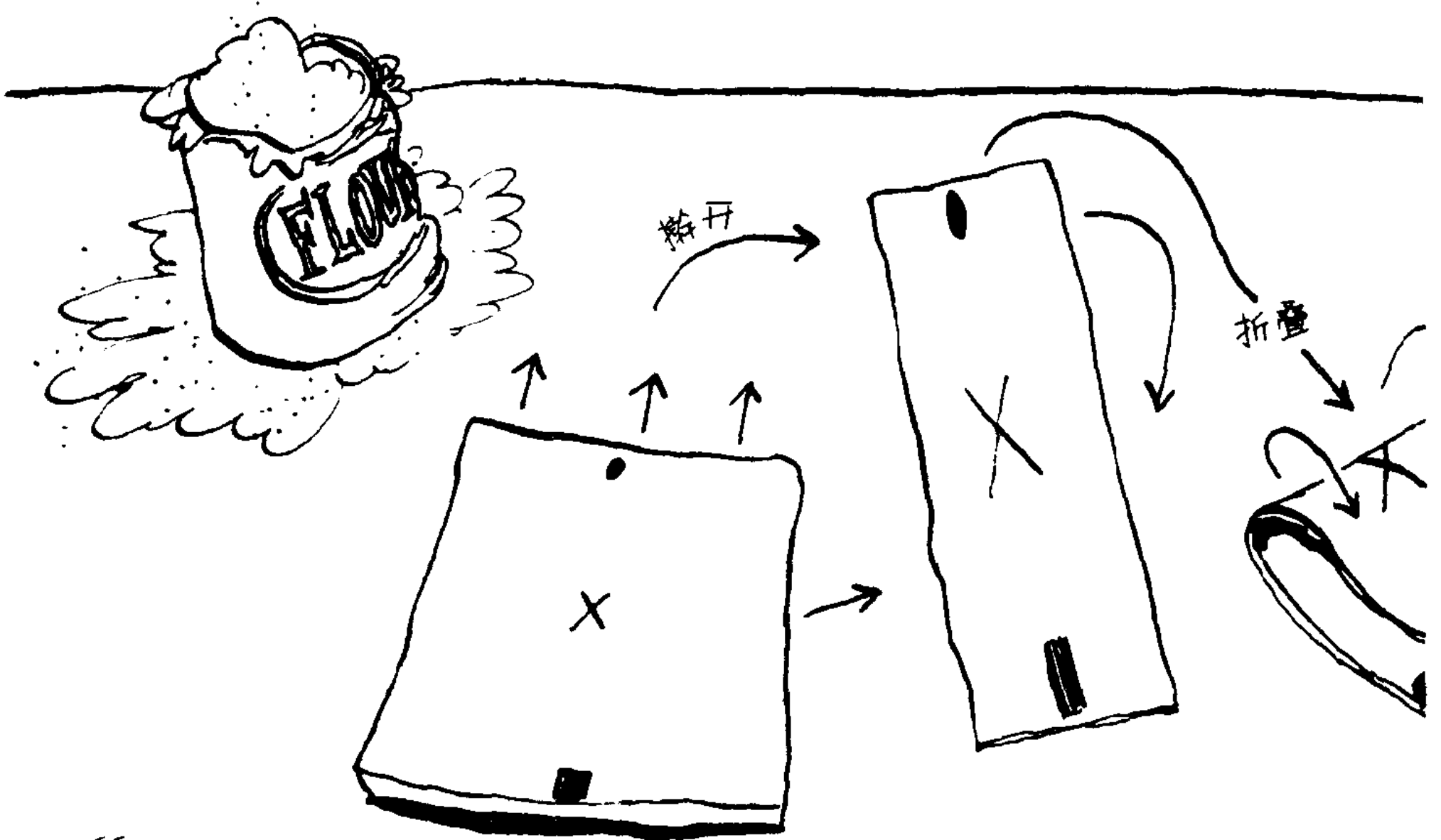
实际上没有谁会这样做，这都是数学上的描述，所以你没有必要真的去啃奶酪。实际情况是，混沌吸引子的安排方式与复杂康托尔尘埃十分相似。



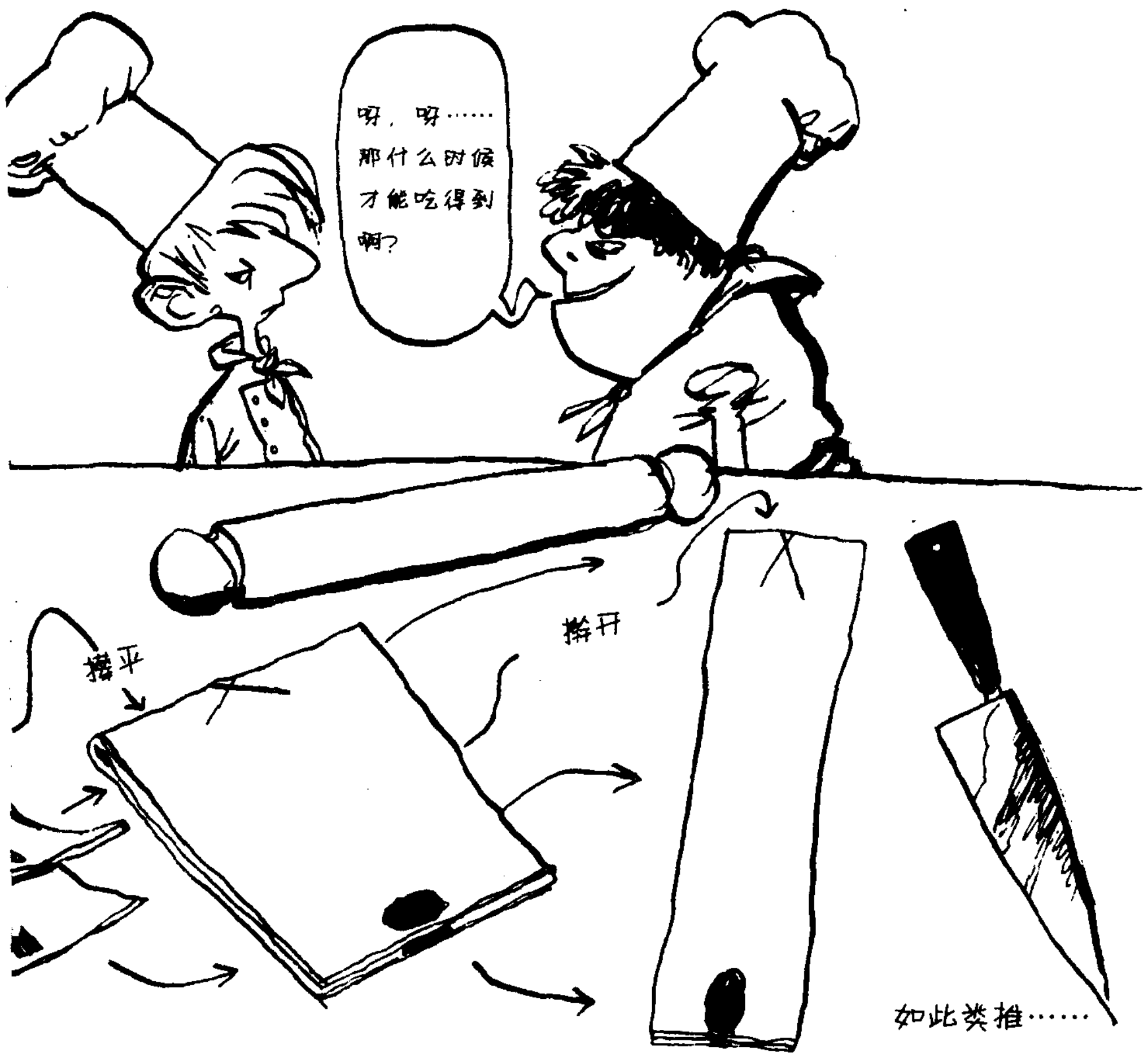
如果对应于吸引子的所有点沿着直线有序排列的话，混沌就不会是如此混乱，尽管它们像尘埃一样散落。也许会有这样的规则：气温的度数只能是一个偶数，但如果你沿着温度线走，气温的升高只会从20跳到22，从22跳到24，等等。

但吸引子通常会被打乱。一种描述这种被打乱状态的方法，就是观察多层糕点的制作过程。

首先，你将面团擀开；然后将面团折起来，然后将其抚平。然后不断重复这些动作。两块本来相邻的地方最后分开了，而最初分开的面团到最后却变成相邻的了。



混沌就像那样。吸引子“隔壁”往往不是我们通常所指的意义。如果真是混乱的话，气温可能会从20度跳到48度，然后到26度，再到12度，然后再升到30度，等等。这似乎没有固定的模式，即使在康托尔尘埃中沿着由众多点形成的直线稳定地移动，也是一样。但“隔壁”吸引子所对应的可能是完全不同的行为模式。



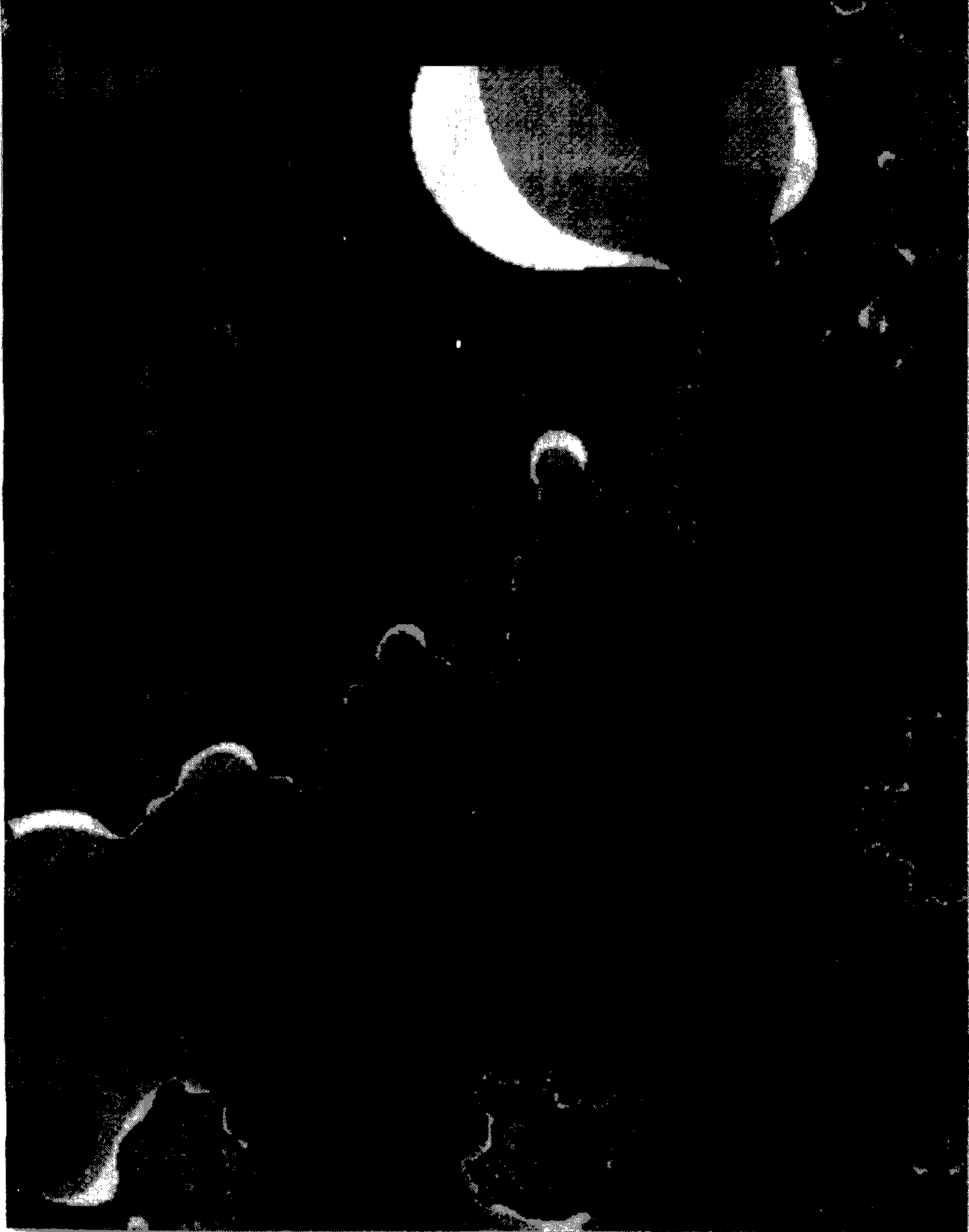
康托尔集合一个最重要的方面是，如果你放大其中的任何一点，它看起来和整体一样。

无论在什么地方放大，你都可以发现一根直线。每根直线都用相同的规则来划分，即将中间的 $1/3$ 去掉，如此等等。

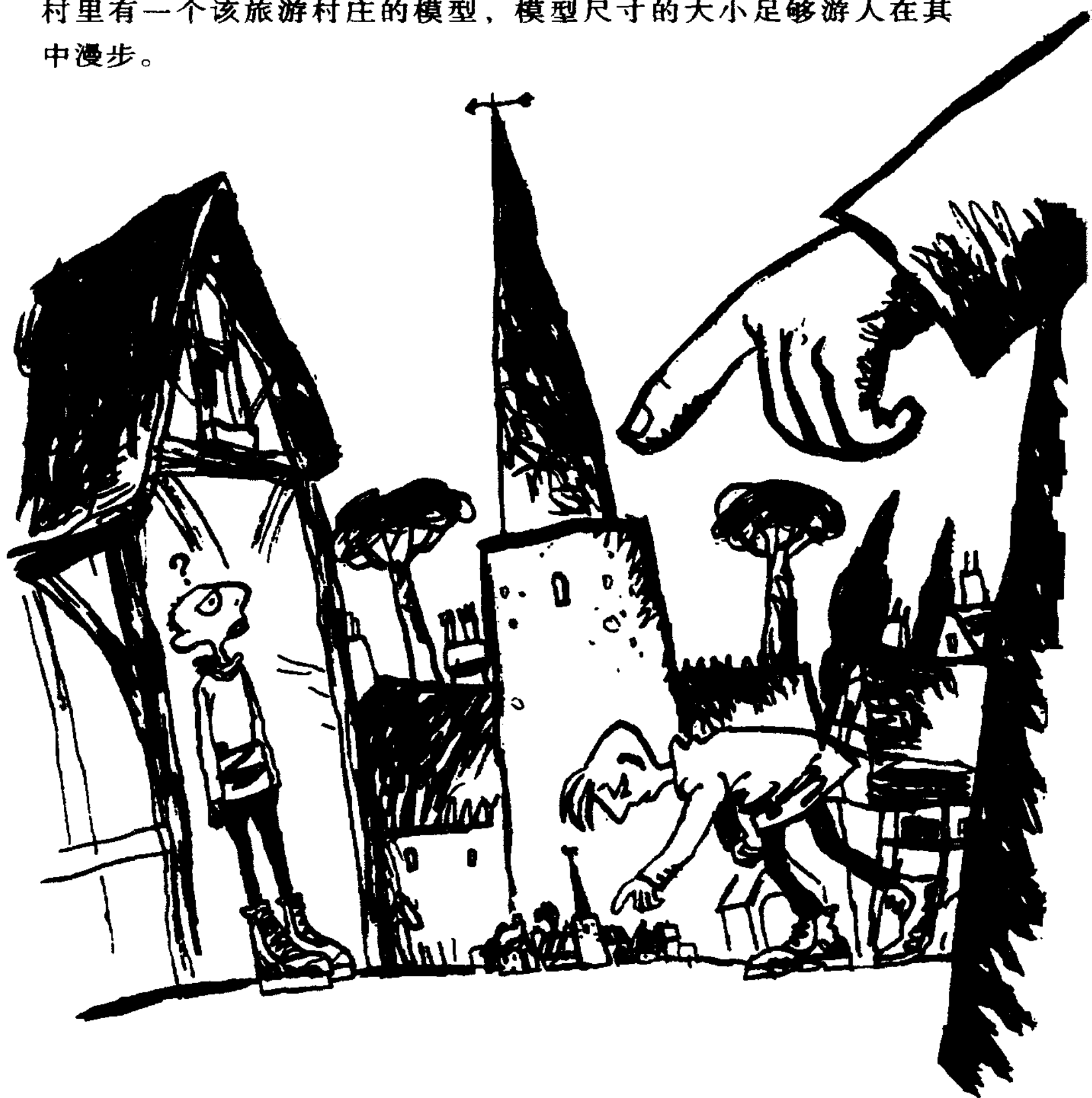
这种模式是没有止境的，而且每一小点的模式都与整体的模式一样。这就是所谓的“自相似”。

这被称为分形。混沌吸引了通常产生分形模式，但这种模式要比简单的康托尔尘埃模型复杂得多。

分形产生美丽的模式（雪花就是一种分形）。然而，有关分形你真正需要了解的全部是——分形产生相同的模式，不管你将其放大多少倍。科学家们说，分形在所有尺度上都是一样的，或者称为“无尺度”。



有一个我们大多数人都见过的相似的例子。在某个旅游村里有一个该旅游村庄的模型，模型尺寸的大小足够游人在其中漫步。

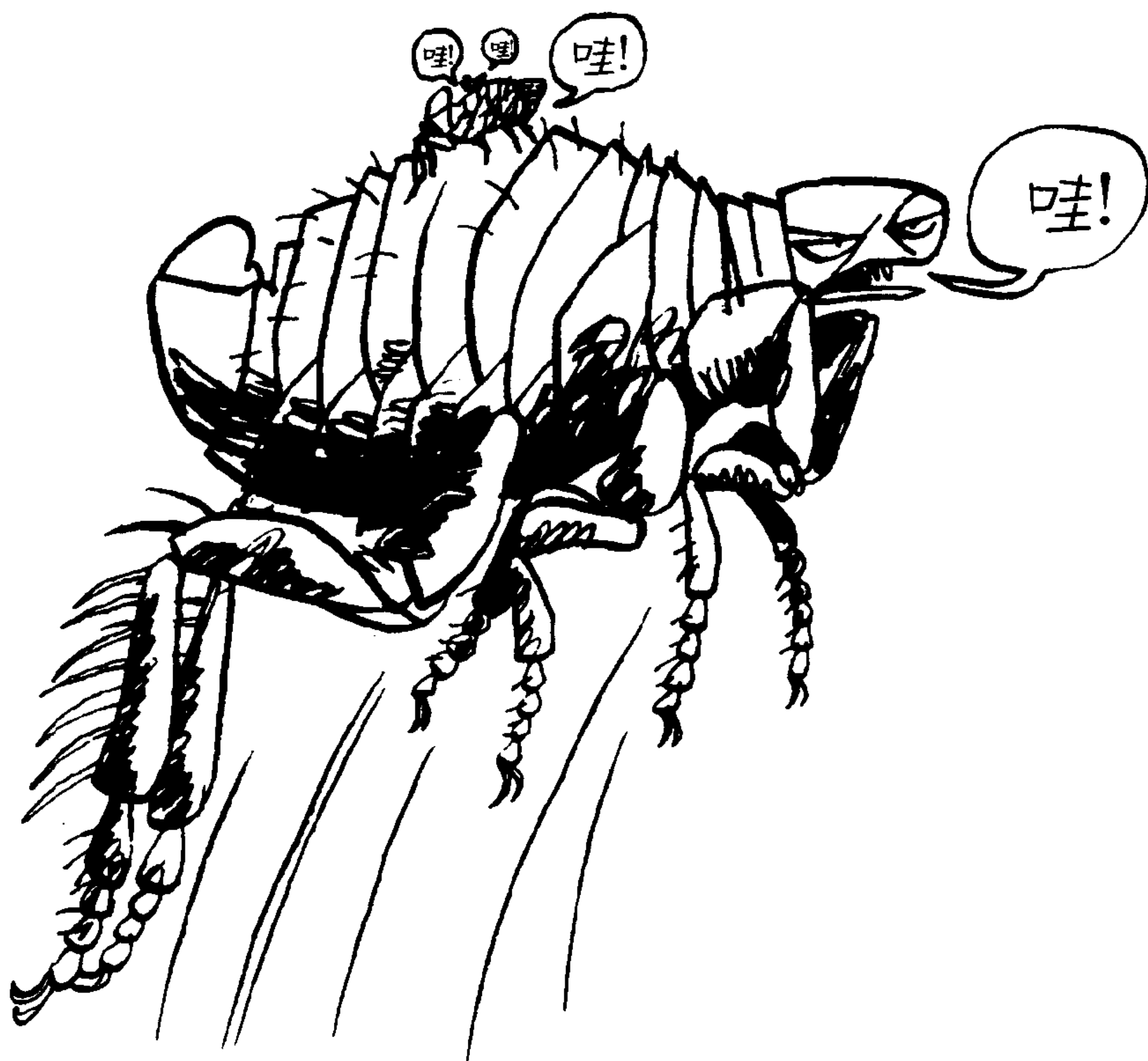


在模型村中，对应于村庄模型在旅游村中所处的位置，你还可以发现模型的模型。在模型的模型中，你还会看到模型的模型的模型……

模型通常就这样摆放着，但你可以想像它们是如何永无止境地继续下去。每个模型都是原物整体的翻版。

有首诗描绘自相似：

大跳蚤中有小跳蚤，  
趴在背上把它咬。  
小跳蚤中有小小跳蚤，  
如此循环，没完没了。



当然，真正的跳蚤不是分形。

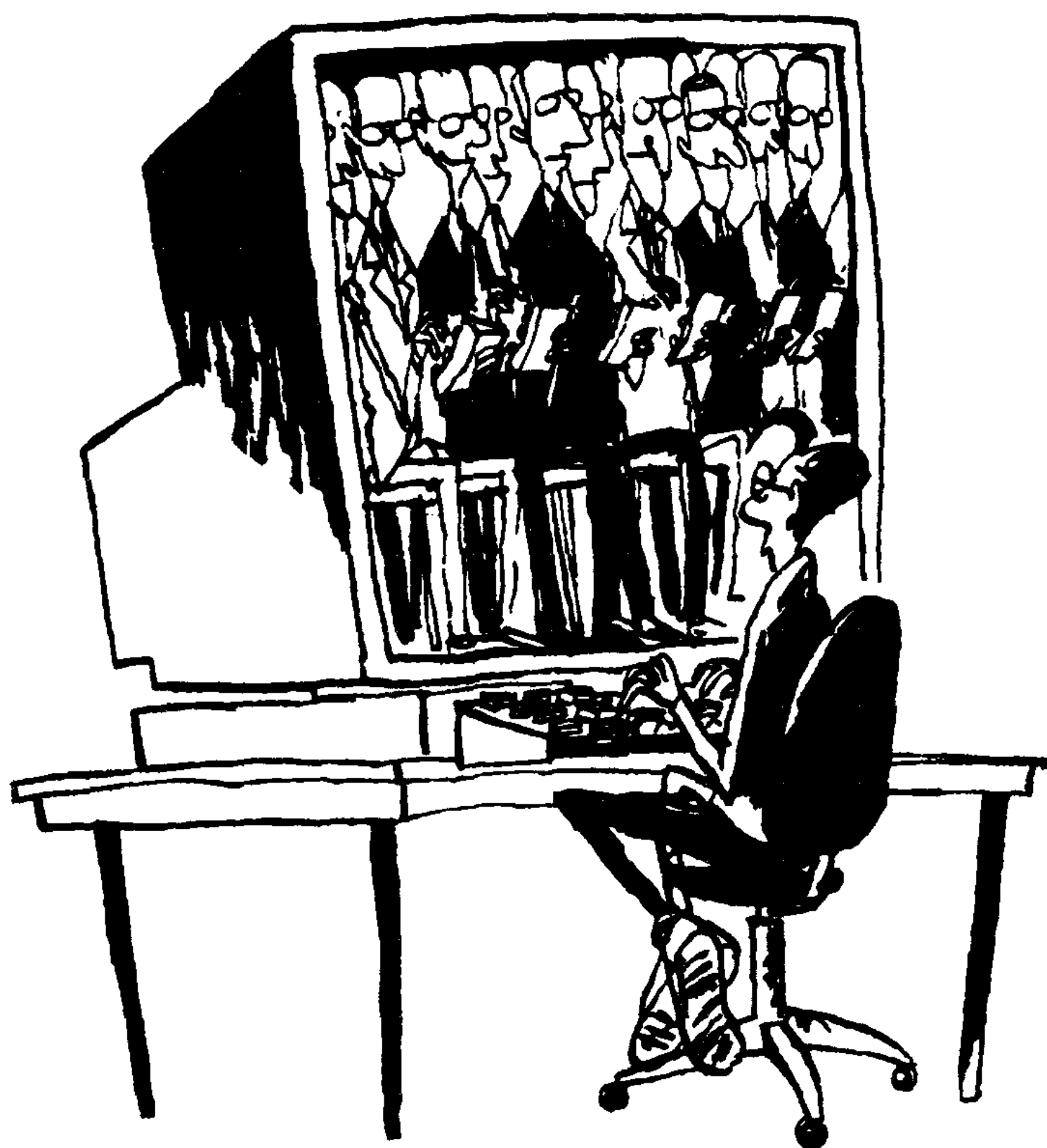
混沌中存在自相似的现象，表明某些我们看起来一团糟的事物，实际上其内部的模式是有重复之处的。如在湍流中，每个漩涡中都有不少比它更小的小漩涡，而小漩涡中还会有更小的漩涡。



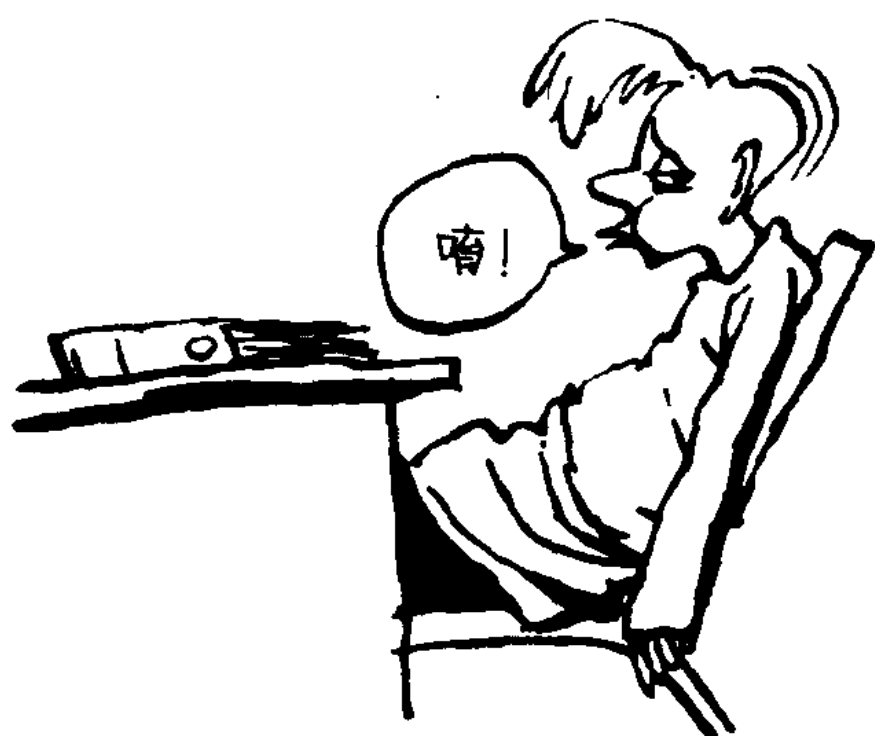
在股票市场中，如果你每天、每周或每年都在图表上画出价格变化线的话，表示价格上升下降的图形模式从数学上看也是完全一样的。股票市场的波动是自相似的。它受一定规则的约束，这个规则与混沌的规则是一样的。

人们花那么长的时间来了解混沌，并不是仅仅因为他们忙于研究量子物理学，原因在于对于表示混沌状态的方程式，人们很难求出简单解。求解的每一步计算都离不开计算机。直到20世纪80年代，计算机的性能才能满足要求。

现代的天气预报系统是刘易斯·弗赖伊·理查森在1922年发明的。他发现，64 000个数学家，同时都在机械的加法计算器上工作，就可以预测出第2天的天气。而计算能力相当于64 000名数学家的计算机，直到20世纪50年代才发明出来。

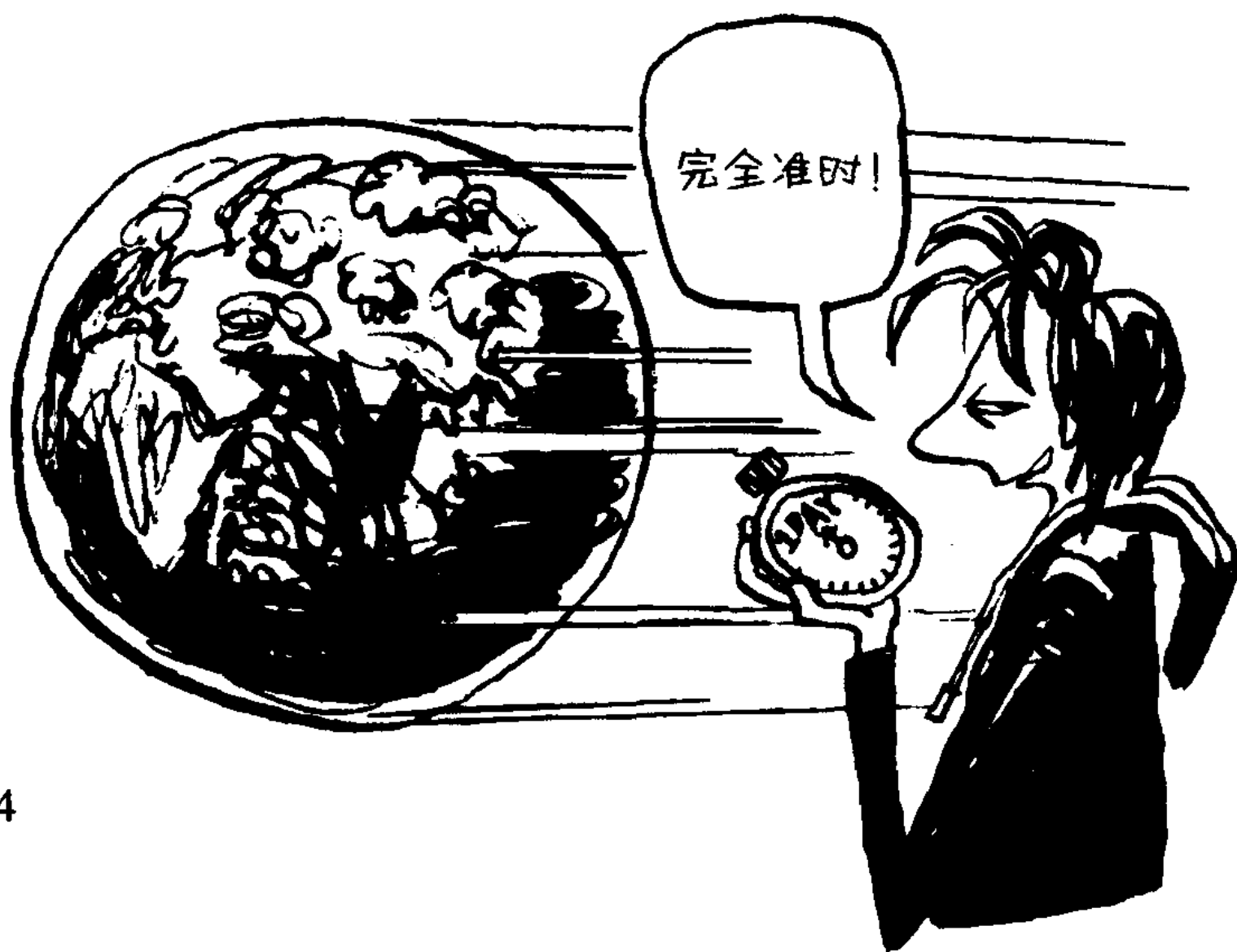


数学在其中发挥了很大作用。



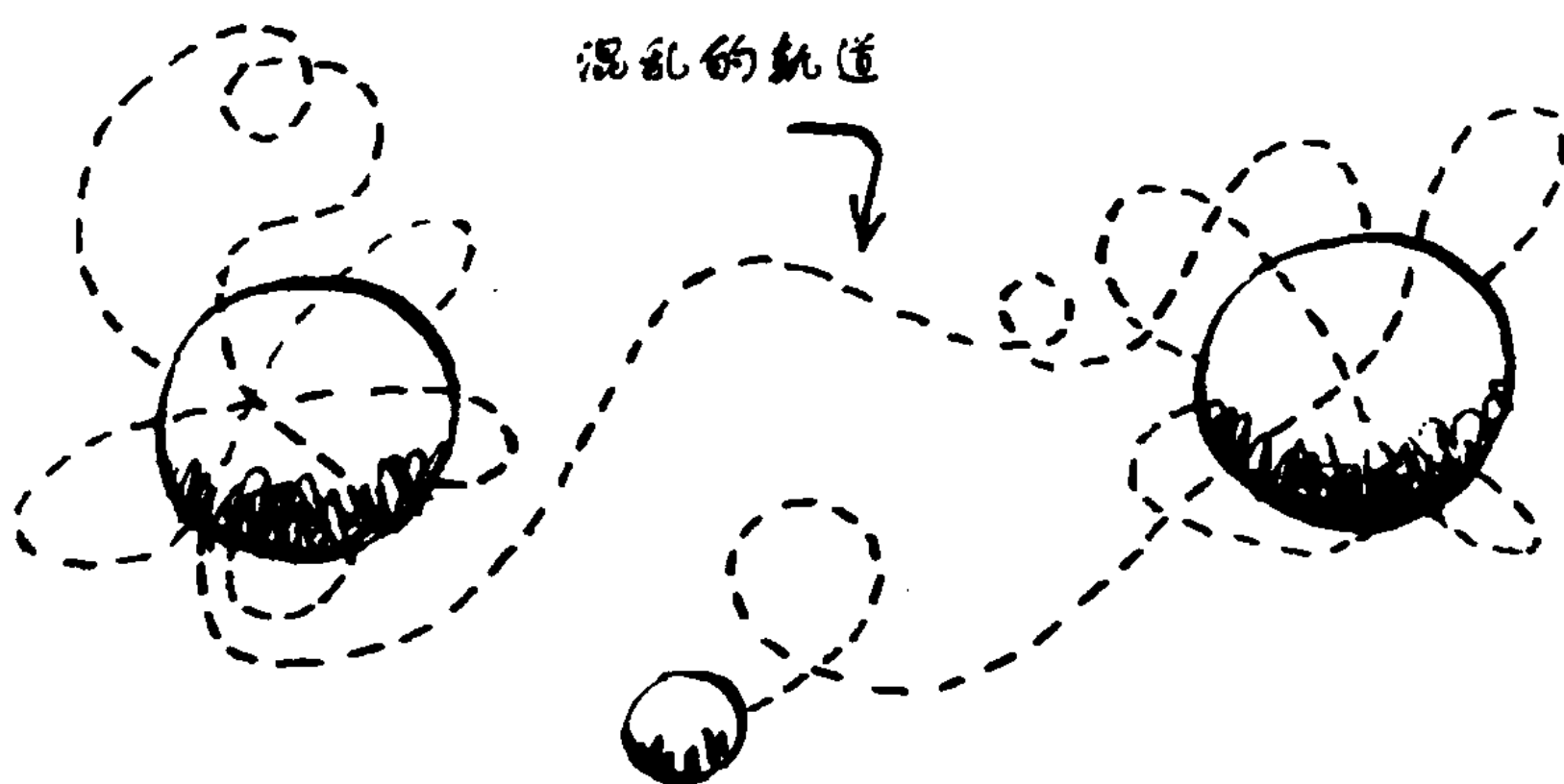
现在我们对混沌有了一些了解，再来看看太阳系是怎么一回事吧。

假设有3个或更多的物体沿着一定轨道相互环绕着运动。运动在有的时候是有规律的、周期性的。这意味着这些物体都是沿着相同的轨道，以相同的时间一圈一圈地运动，就如同地球每年绕太阳转一圈一样。



但有时轨道是混乱的。它取决于星体的位置和大小。

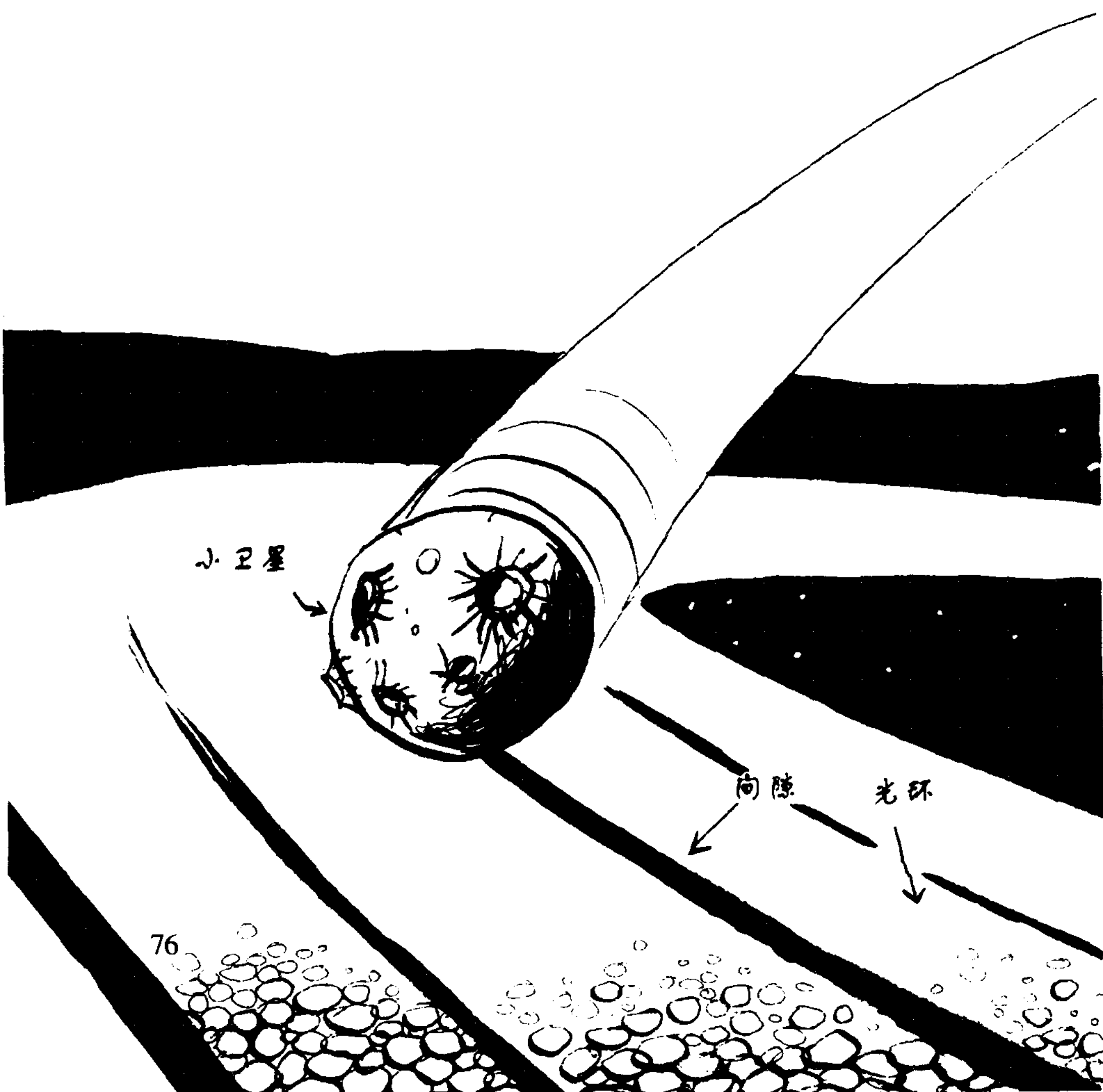
还记得亨利·庞加莱（29页）吗？他发现，如果你想为3个或更多的体积相当、相互环绕的行星找到轨道（没有太阳），那就没有稳定的轨道。两颗行星相互环绕，永远运行在同一轨道上。但如果加入第三颗行星，轨道就会有所变化，行星在各种奇怪的轨道上飞速运行。“三体问题”没有答案。



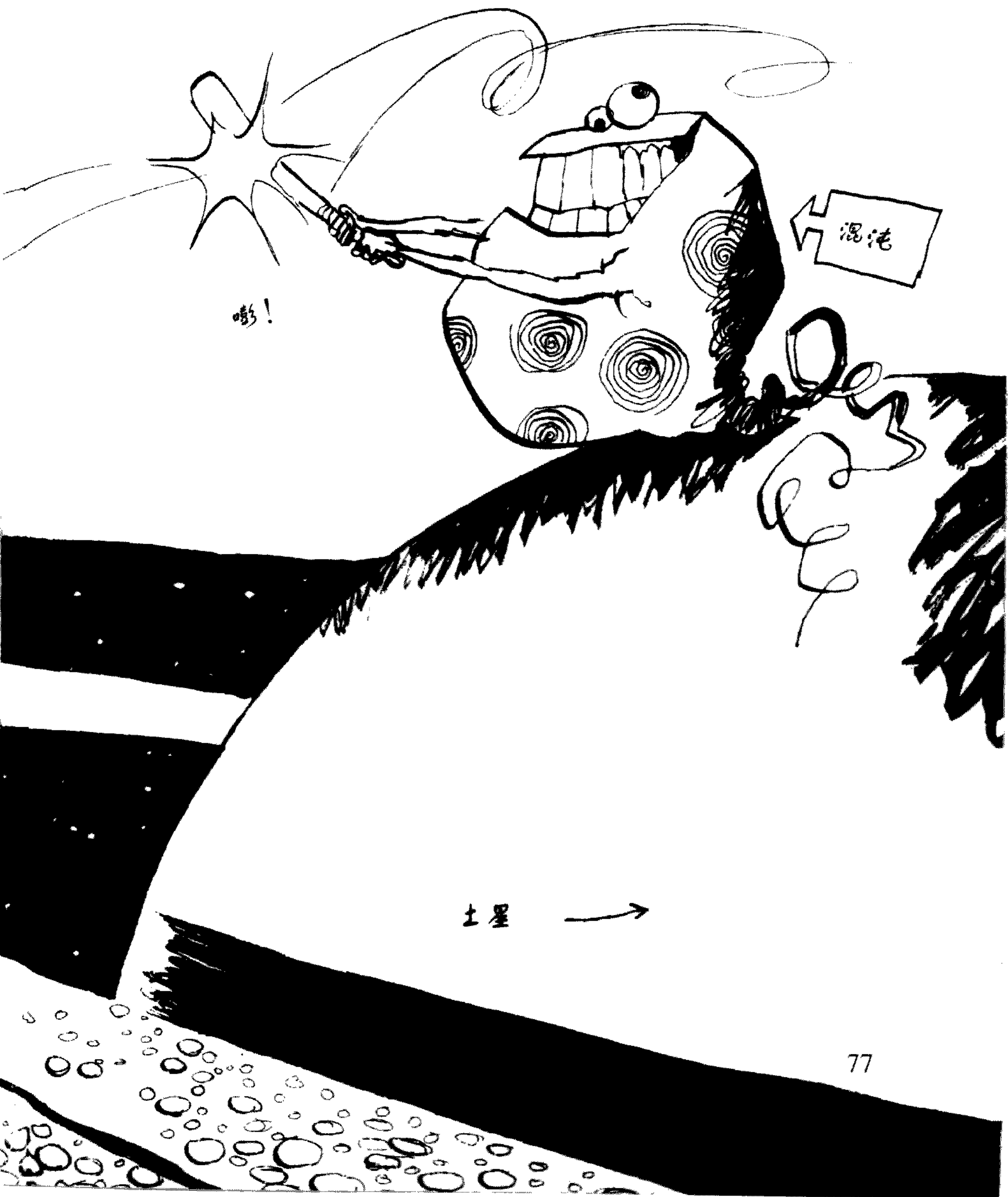
但如果只有两个大物体互相环绕运动，另有一个较小的物体想围绕它们两个转，那混沌只影响这个小的物体。这跟在太阳系里的情况极为相似。太阳和（大的）行星运行正常，但小的物体有时候正常，有时候反常。

土星光环是观察太阳系中混沌效果的最佳场所。土星是比地球大得多的行星，比我们离太阳还要远。围绕它有很多的卫星以及光环。

光环由数以百万的小块冰和岩石组成。每块冰块或岩石就像环绕行星轨道上的微型卫星。对这些“迷你”小卫星产生极大作用的只有土星的引力（因为它们离土星太近）和太阳的引力（因为太阳太大了）。



有一些轨道受混沌的影响，所以在光环之内存在一定的间隙。这些轨道是不稳定的，任何误撞进那些轨道的小卫星，很快就会被抛向太空。

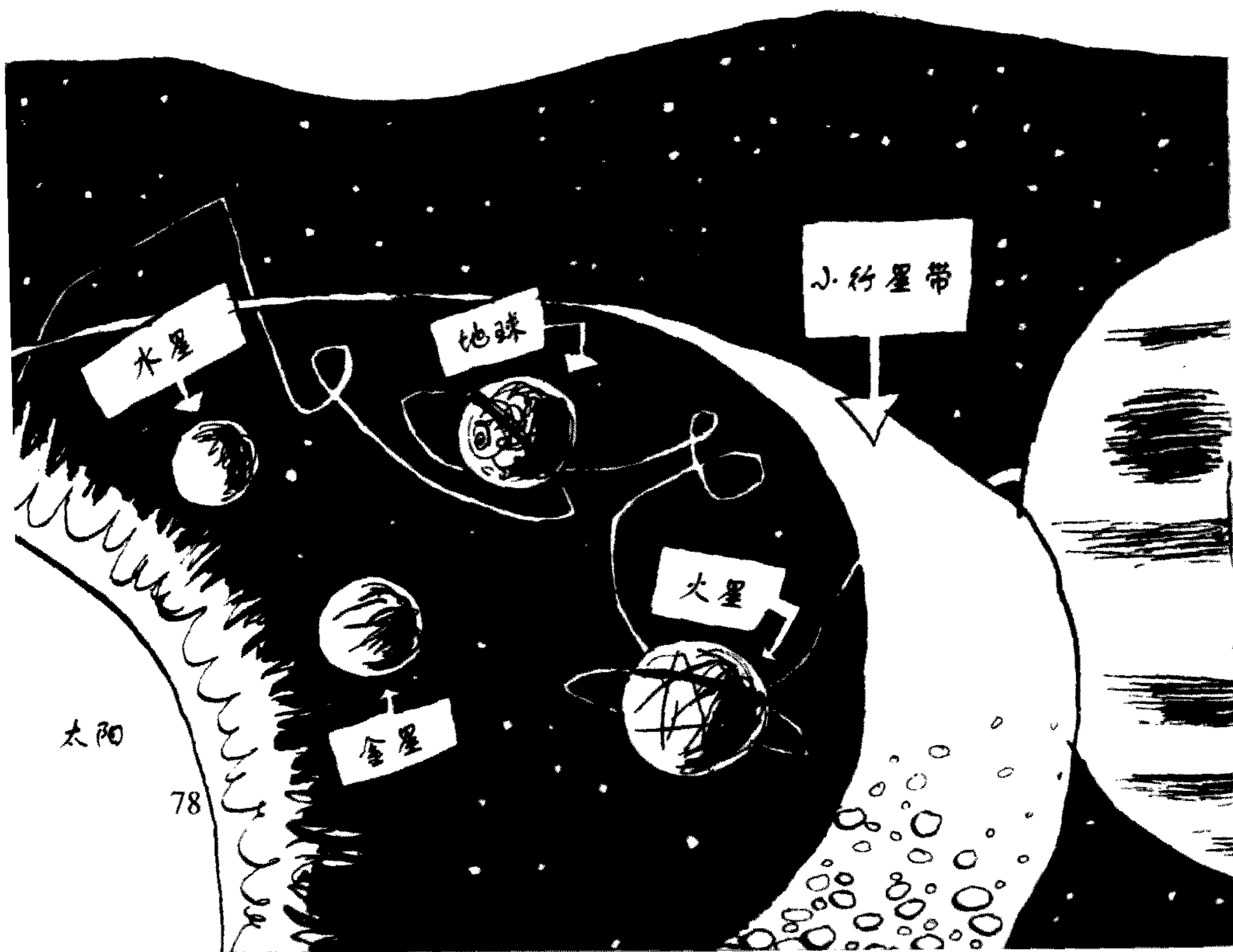


土星的光环离我们很远很远，那里发生的一切对我们影响不大。

但太阳系中的混沌，对地球上的生命非常重要。

要了解其中的原因，我们需要了解太阳系的情况。

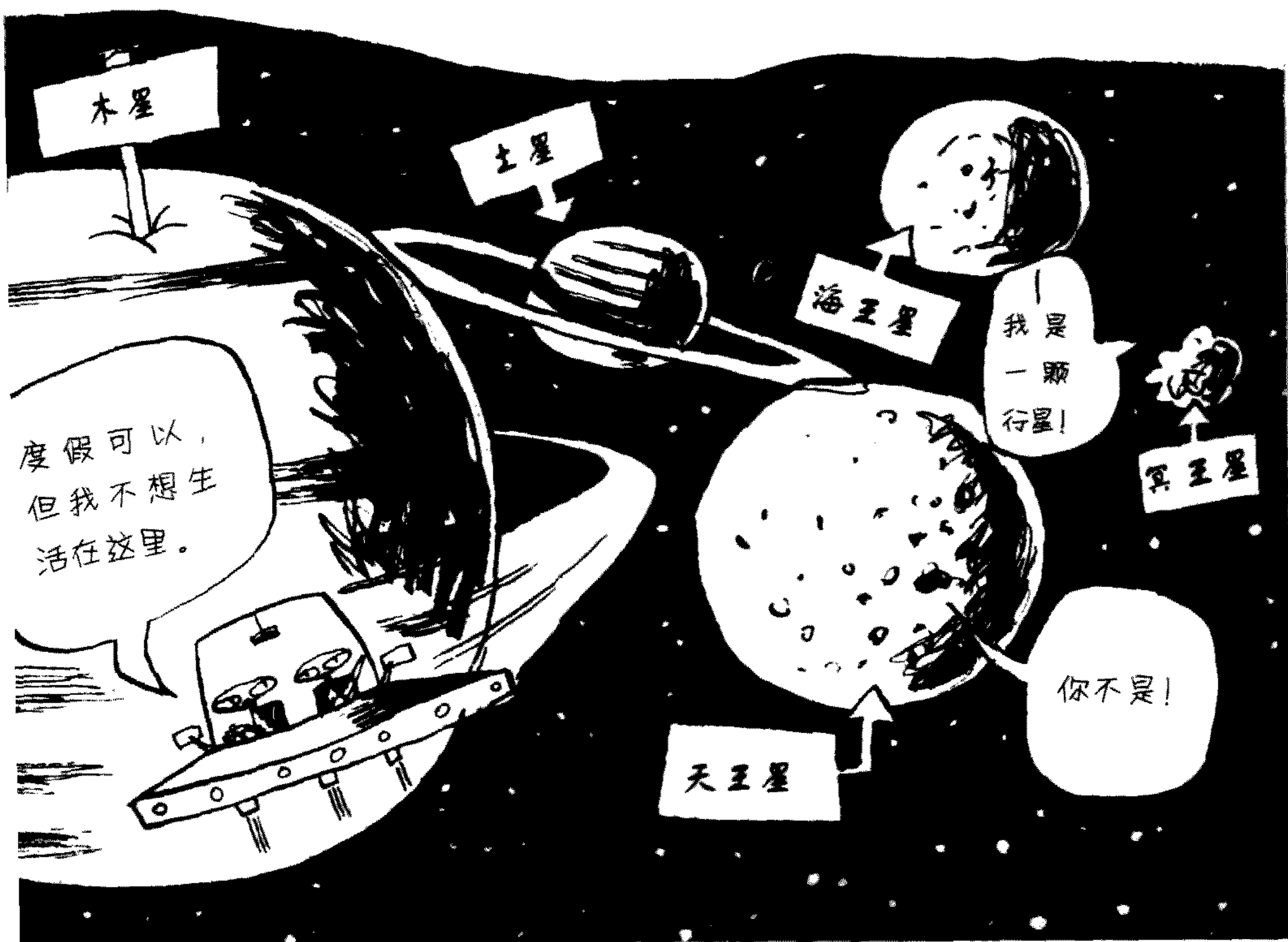
太阳位于太阳系的中心。它是一颗恒星，占整个太阳系质量的99.86%。



在太阳的外围，还有4颗岩质行星——水星、金星、地球、火星。然后，还有一条比土星的光环大得多的宇宙碎石带。在这小行星带之外，有4个气体行星——木星、土星、天王星和海王星。木星的质量是所有其他行星质量总和的2倍。

此外，还有一个通常被称为行星的物体（冥王星），它只是一小团冰状体，不是真正意义上的行星。

在观察混沌的过程中有趣的是，小行星带的石块，其中一些只是卵石，有些则绵延数十千米。

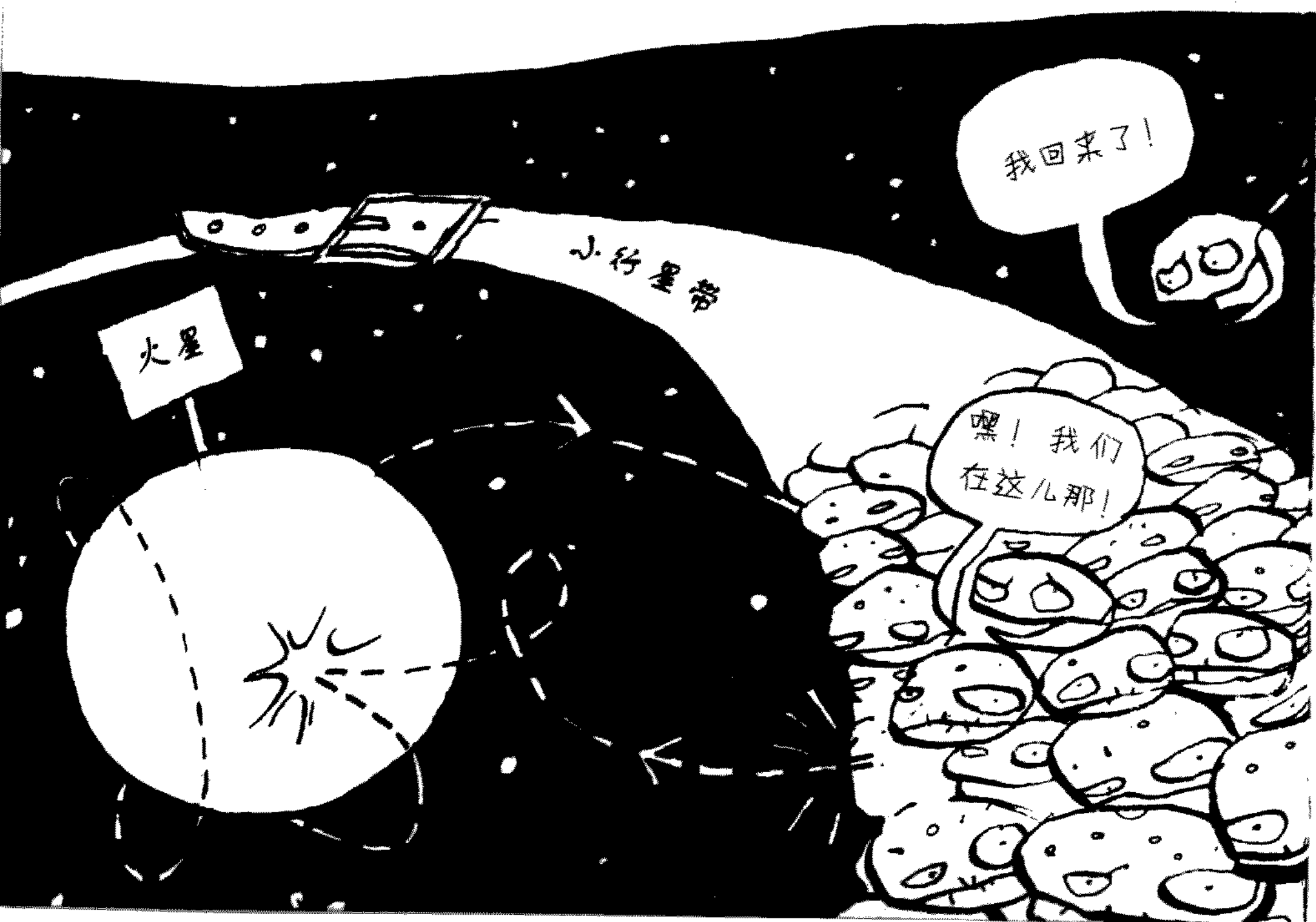


小行星带中岩石的轨道只受太阳引力和木星引力的影响。太阳的影响之所以如此巨大是因为它质量很大，木星不像太阳那样大，但离小行星的距离要近得多。

像土星的光环一样，在小行星带也存在一些间隙。它们那么分布，原因也一样，那就是混沌。

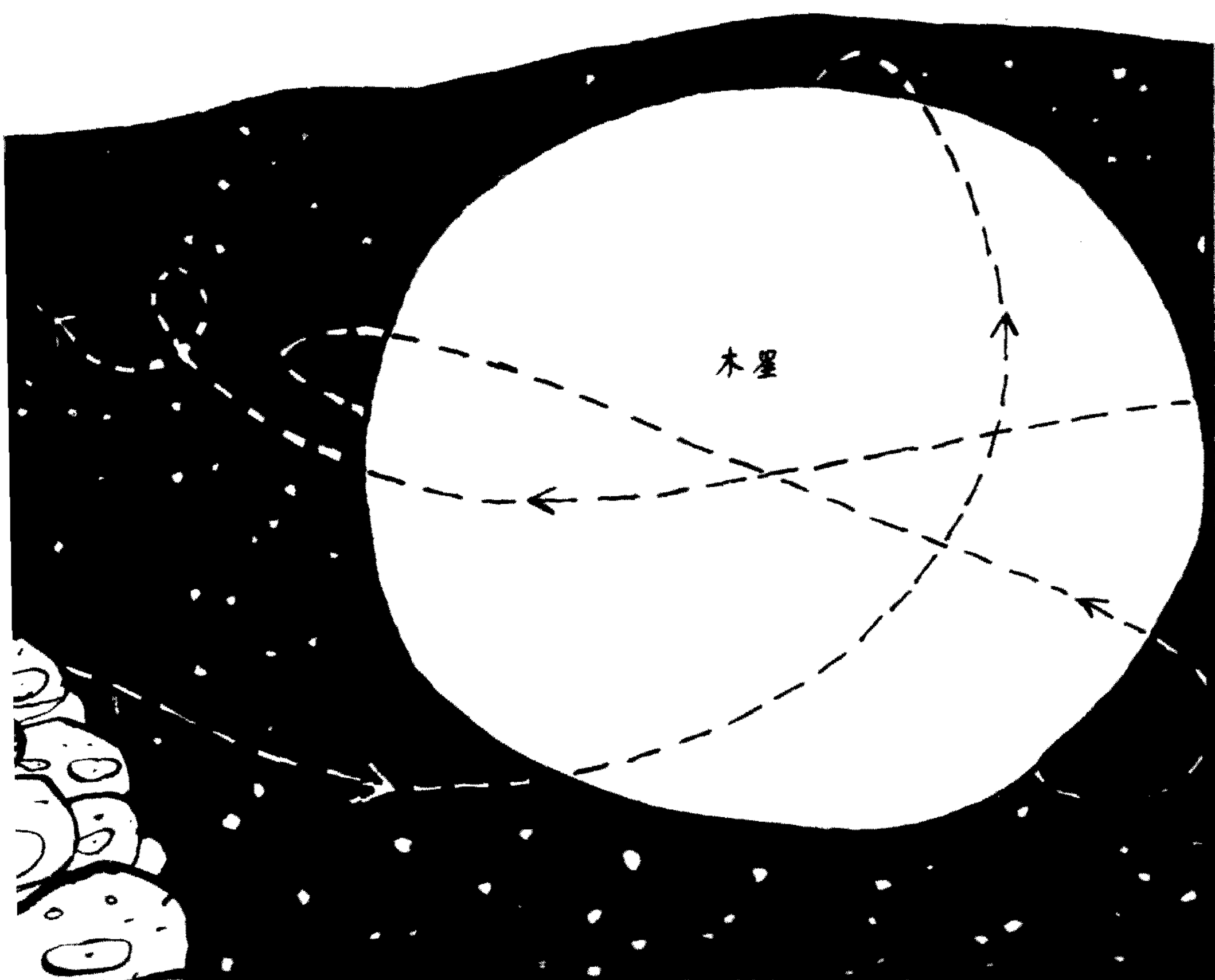
在某种情况下，一颗小行星可能会花上100 000年在小行星带里沿着轨道运行，然后突然转到另一更加靠近太阳的轨道上。人们得花上100 000年的时间计算，才能看到这种有趣现象的发生。有人在1981年进行了这一工作。

如果没有意外的话，岩石可能会突然返回到它原来的轨道上去。



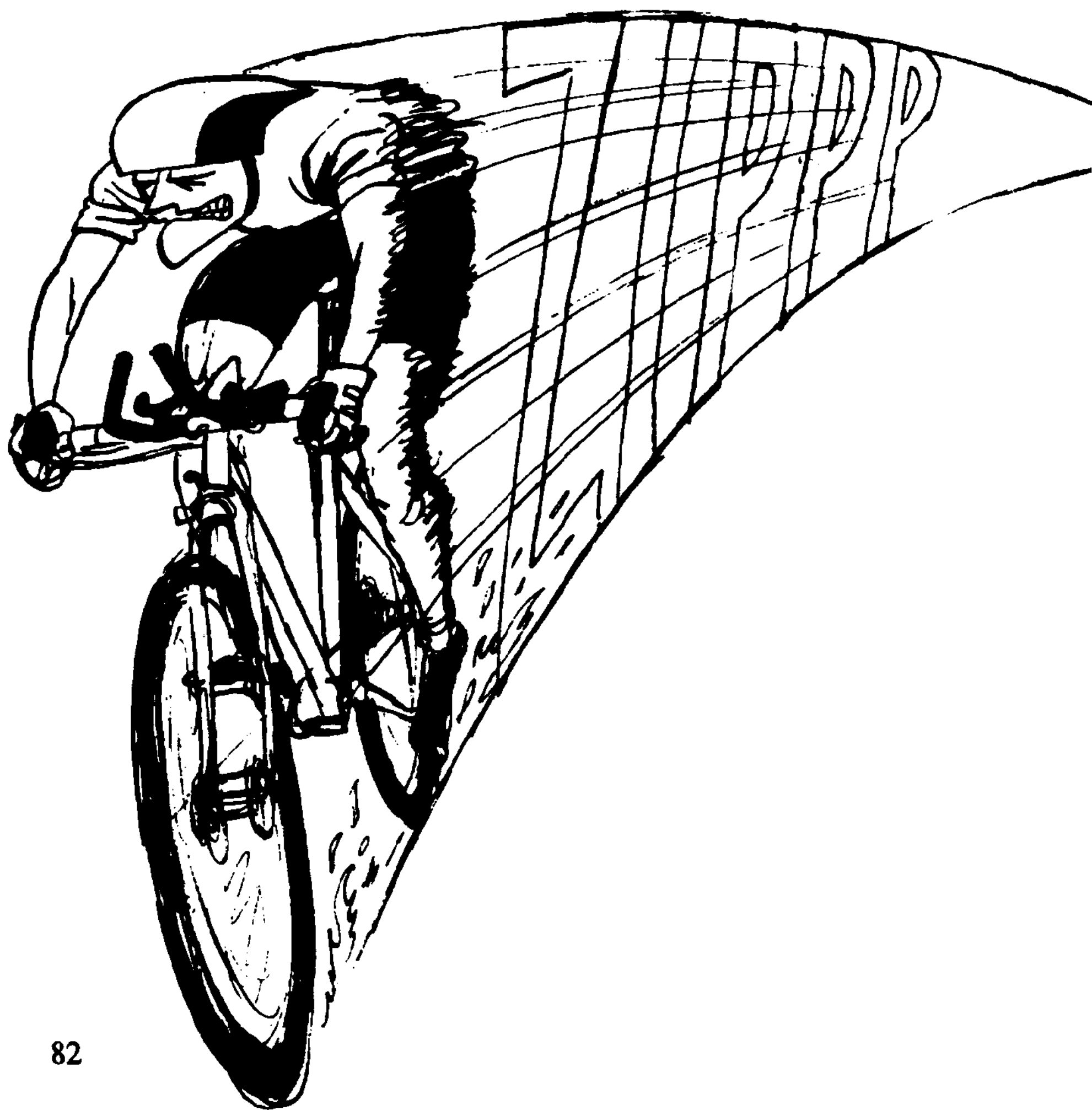
但还是存在其他意外的情况。小行星的临时轨道可以让其得以经过火星。它也许会一头撞到火星上去，或火星的引力使它绕着火星转，然后再将其送进太空。木星（和混沌）将小行星送到火星，火星将它“除掉”。

部分小行星经过火星，然后与地球发生碰撞。恐龙就是由于6500万年前地球受一颗小行星撞击而灭绝的。小行星带上的混沌确实影响着地球上的生命。



# 混沌边缘的生命

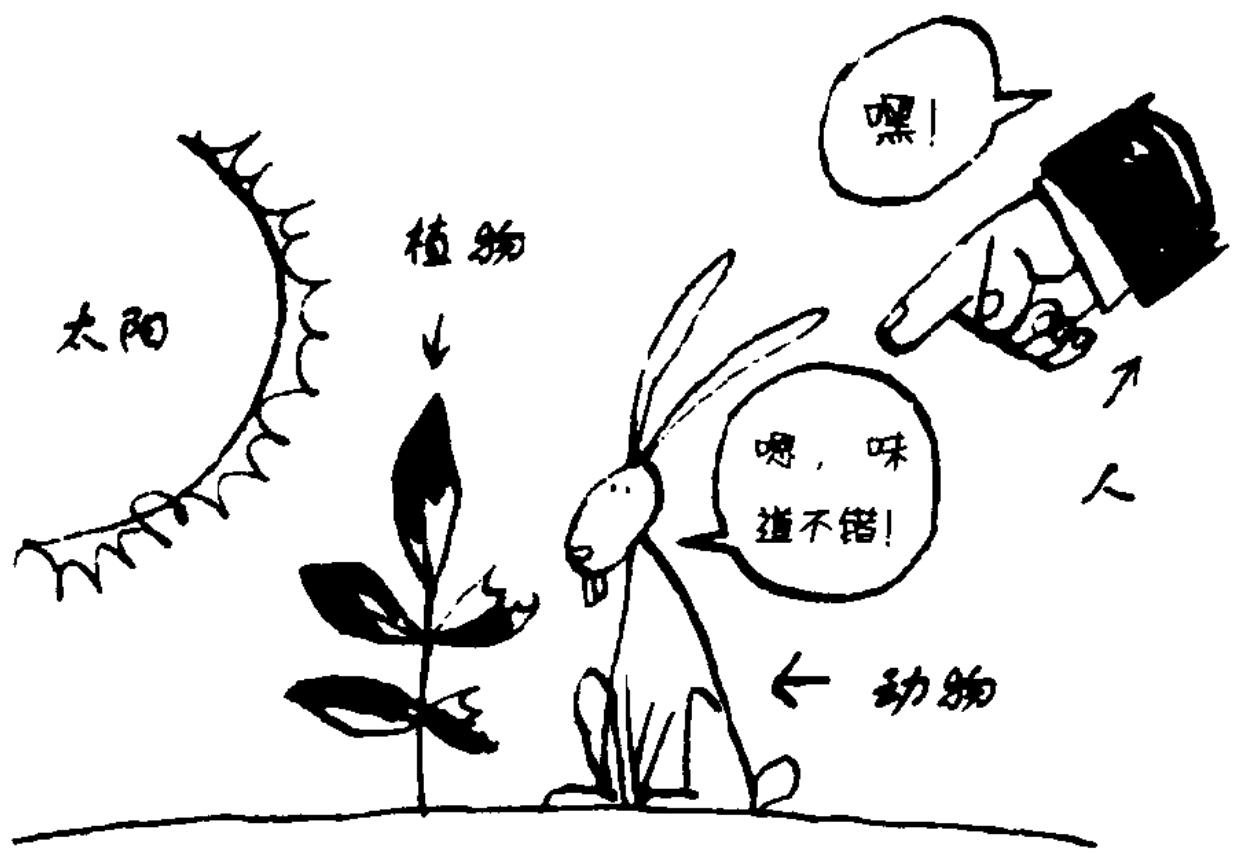
生命是非常复杂的，同时也是复合的。科学家们提到复合时是指将很多微小的事情组合起来，以产生有趣的事情。将它们组织起来，以便能够一起运作。单个车轮不是完全复合的，但一辆自行车是复合的。





科学中的一大谜团就是复合事物从何而来。如果它们被晾在一旁，通常会变成碎片，杂乱无章。

物质损耗了。这就是**热力学第二定律**和时间轴所意味的全部，这在《时间和宇宙》一书有解释。



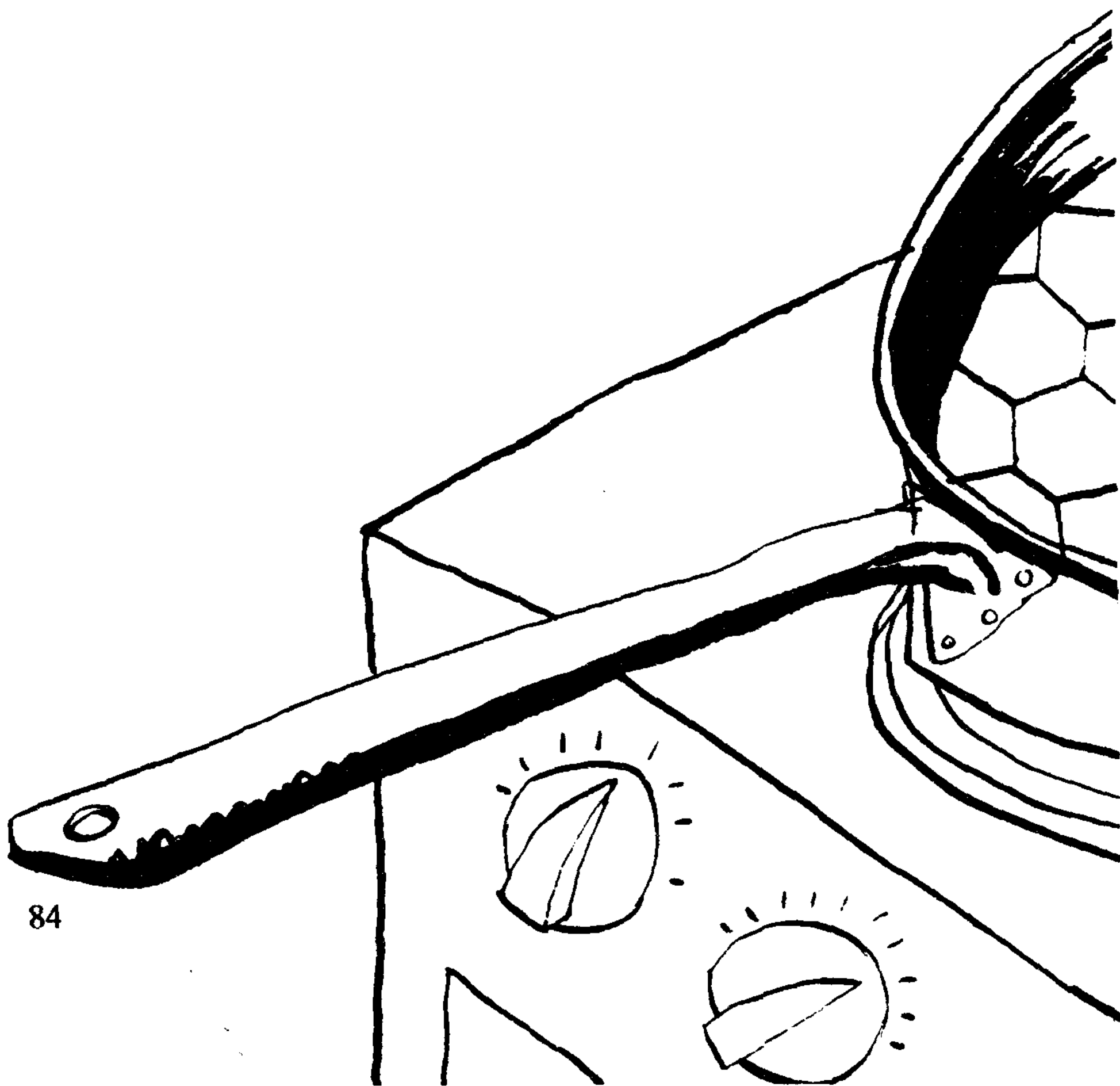
早在混沌理论之前的一个重要发现是，复合事物在它们能消耗掉一连串能量的地方存在。例如，地球上的生命将一连串来自太阳的能量消耗掉。

如果能量流动的方式不出什么差错的话，事物就会自己组成某一模式，这就是自我组织。

以下是一个说明自我组织的简单例子：

**(警告：不要在家里尝试!)**

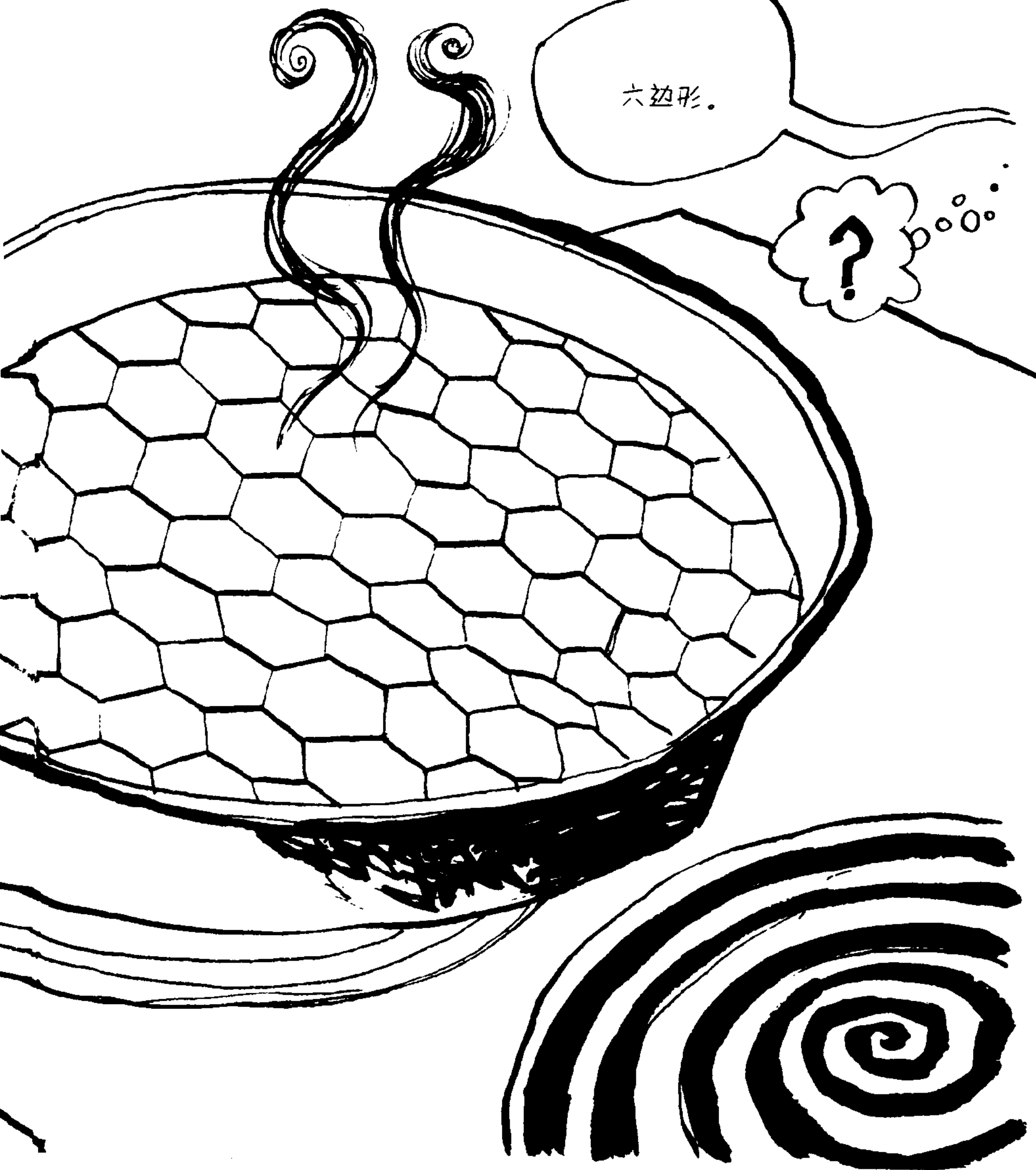
平底锅上装有液态油，用火从锅底下加热，刚开始热量向上传导，而油并没有动。随着温度的升高，锅底的油开始上升，这叫对流。开始对流比较乱，没有规律，随后你就能看见一层漂亮的六角形对流网格，热的液体从网格的边缘升起，冷却的液体落在每个网格的中间。

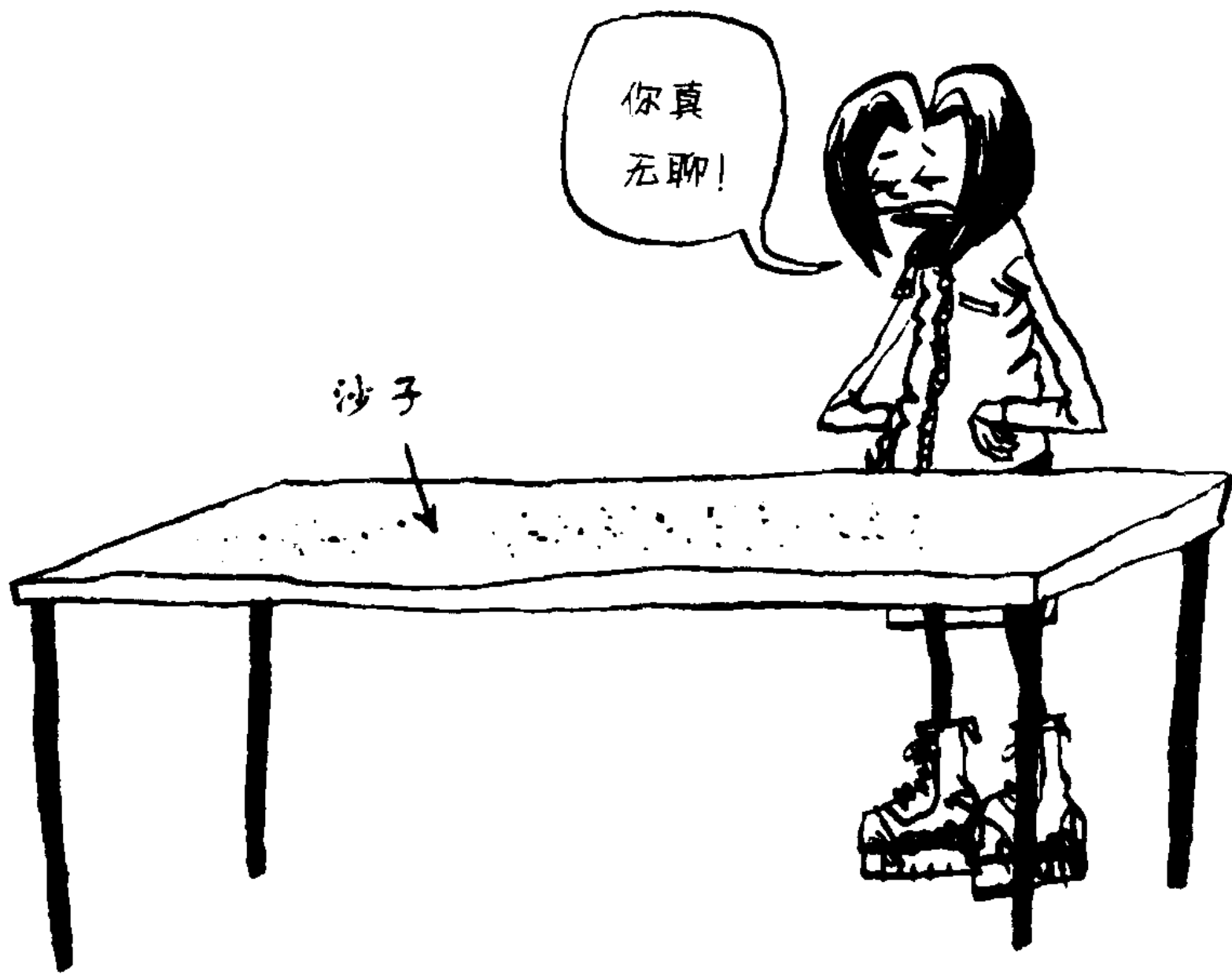


继续加热，液体变得混乱起来，随着图案也就消失了，自我组织模式只出现在混沌的边缘。

在做什么菜呢？

六边形。





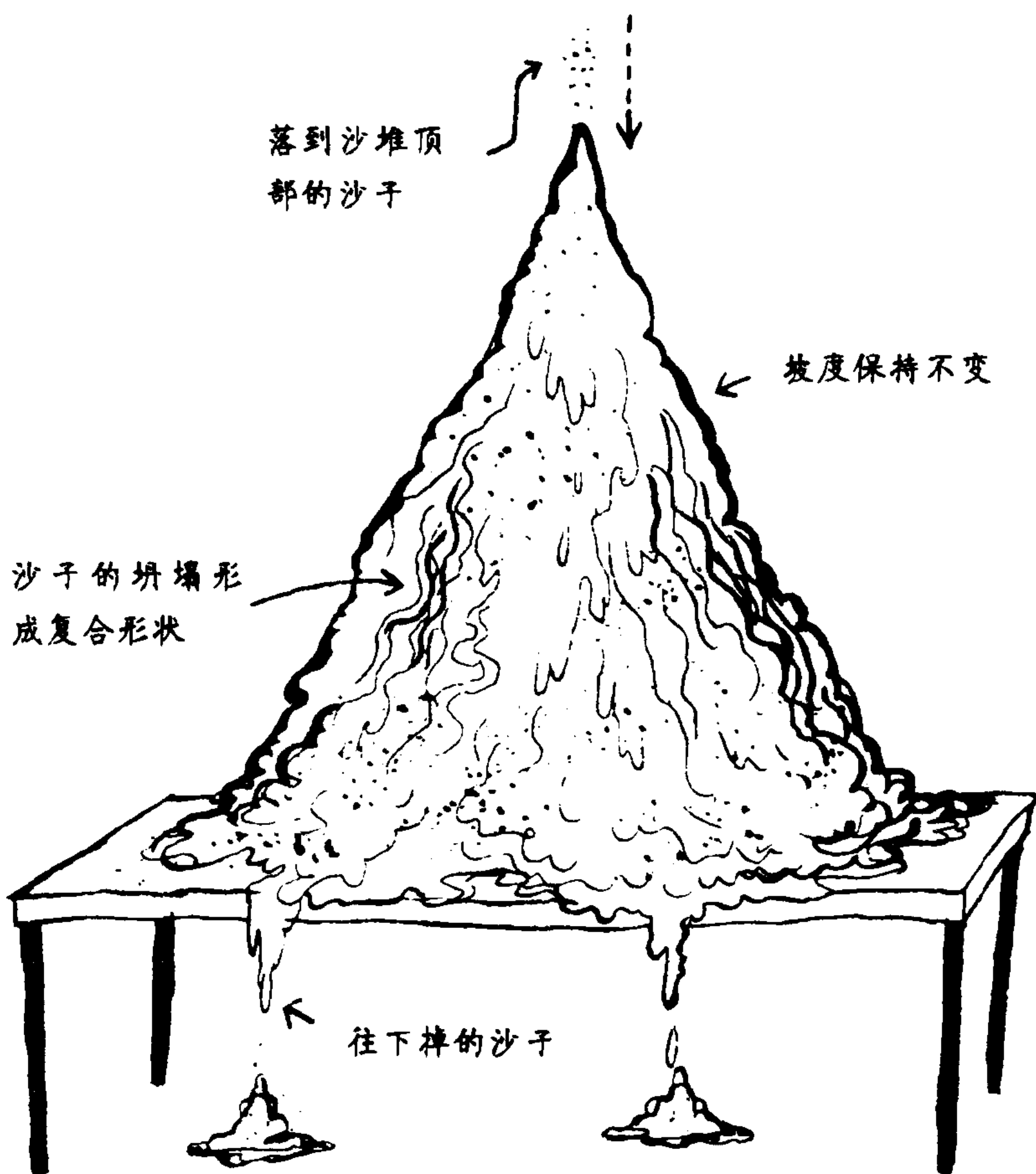
沙堆是解释自我组织理论的好例子。

桌子上有一大堆沙子，沙子本身什么也没有做，这是一个完全稳定、单调的沙堆。

如果不断地向桌子上的沙堆加入新的沙子，沙堆就会不断地发生毫无规律的变化，每种形状都保留不了很长时间。

但如果沙子是一粒一粒地慢慢地加到桌子上，沙堆就会慢慢地垒起来，一直垒到一个临界点。当沙“山”堆成一定角度的时候，有趣的事情就发生了。这时候，只要加上一粒沙子就会造成整堆沙子的崩塌，沙子便会掉到桌子外。如果沙子掉得过多，要经过一定的时间才能重新将一堆沙子堆起来。但平均来说，你每增加一粒沙子，只会有一粒沙子掉到桌子以外。

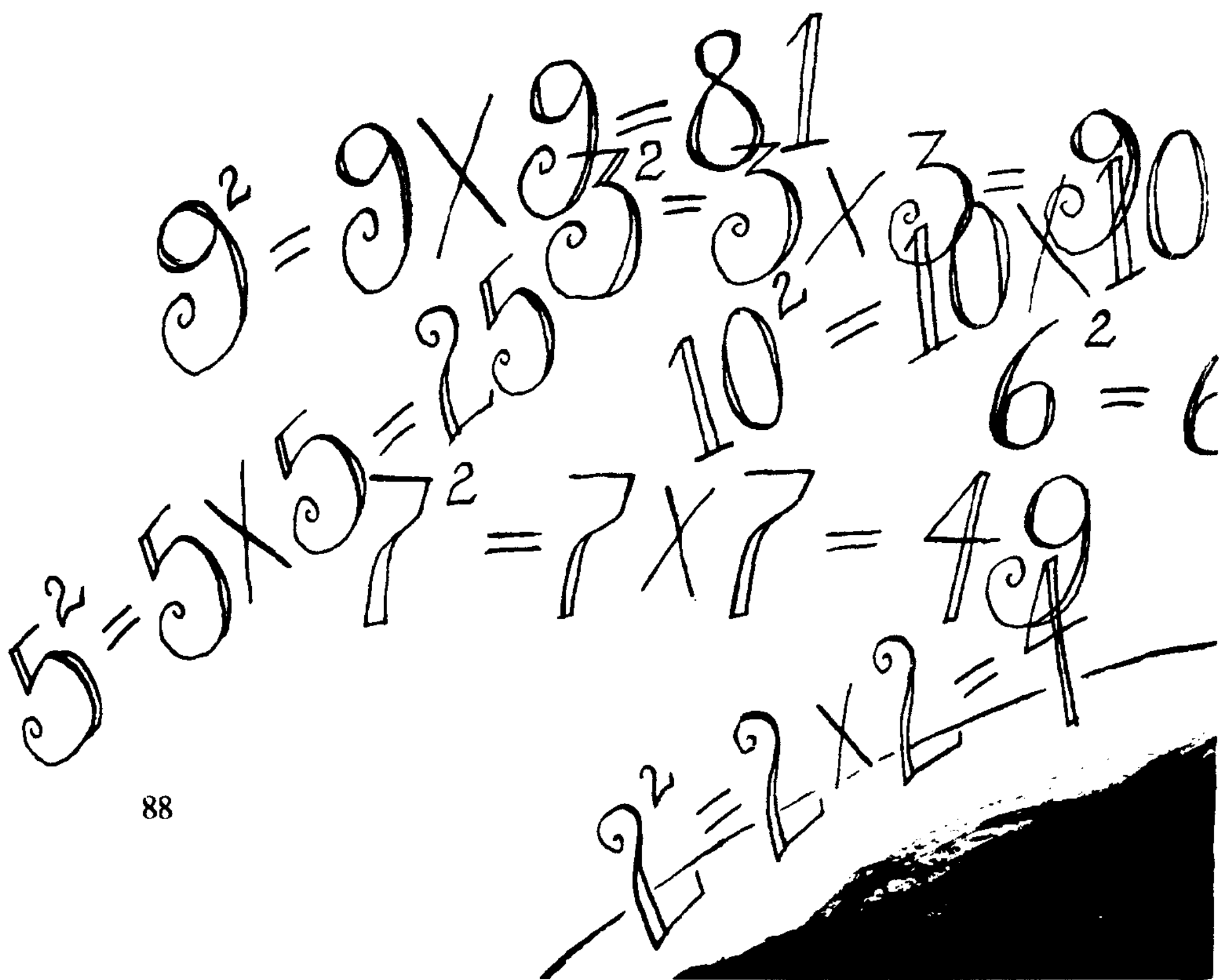
在这种状态下，这堆沙子可以形成一定的形状，且可以保留一段时间，随后会由于坍塌突然发生变化。这是一个临界的状态，因为掉出来的沙数与落到沙堆上的沙子数正好匹配。沙“山”的坡度还是保持一致。这称为“自我组织的临界性”。这种情况只有在从外部添加东西时才会发生（这个例子里是添加沙子）。



如果沙子随意落到桌子上，而不集中在一个地方，将会同时出现山和山谷的形状。平均看来，每加上一粒沙子，必有一粒掉离沙堆的边缘，因为这时候沙子处于自我组织的临界状态。

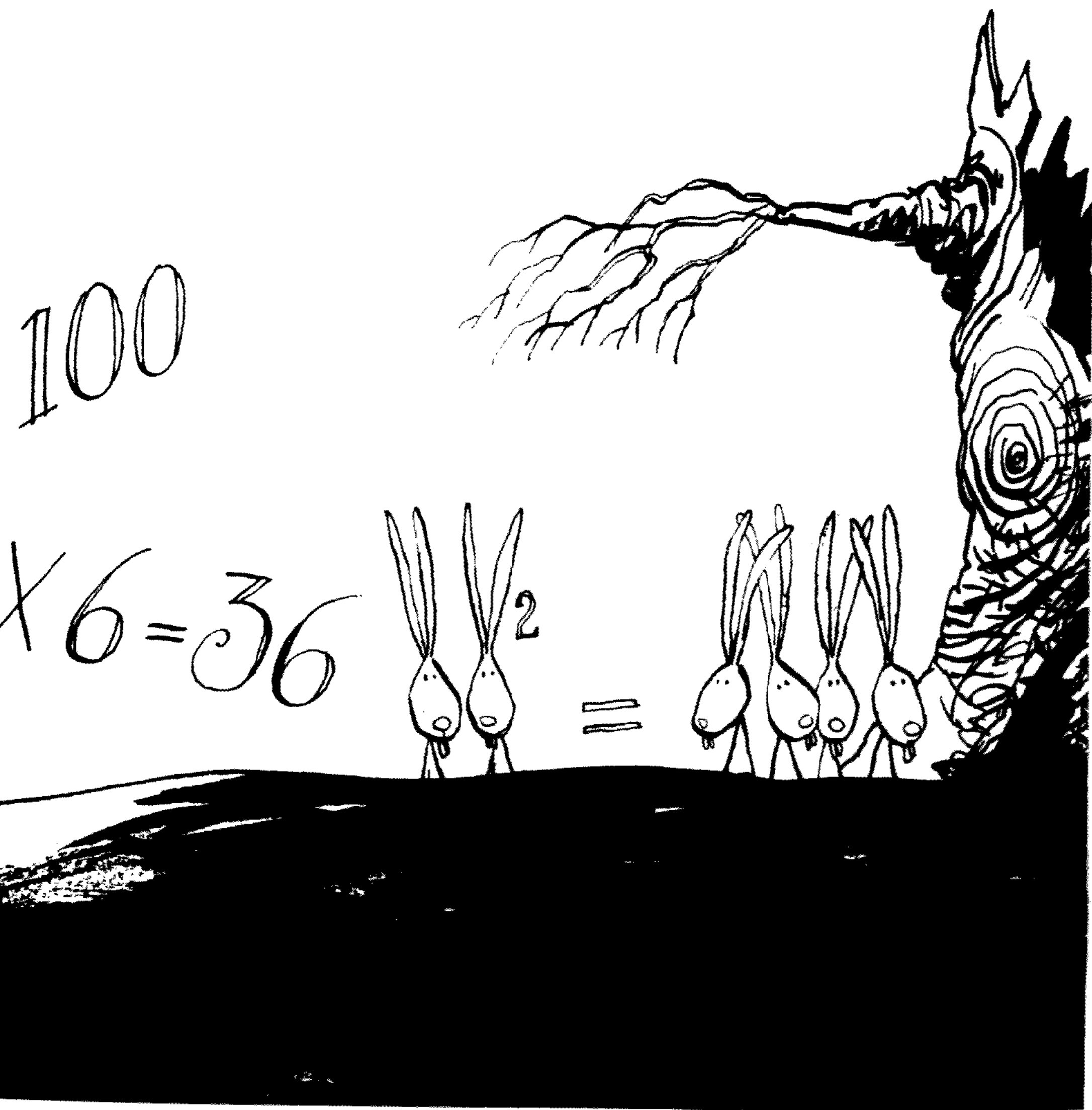
在临界状态下，山或山谷的形状是自相似的。不管你在哪里放大它，它的几何形状都是一样。因此，它并不意味着形状的完全复制，而是指它们有着相同的属性——大的山与小的山的外形是成比例的。

你可以将大崩塌的数量与中小崩塌的数量进行比较。这又产生了一个特别的数学模型——幂次定律。



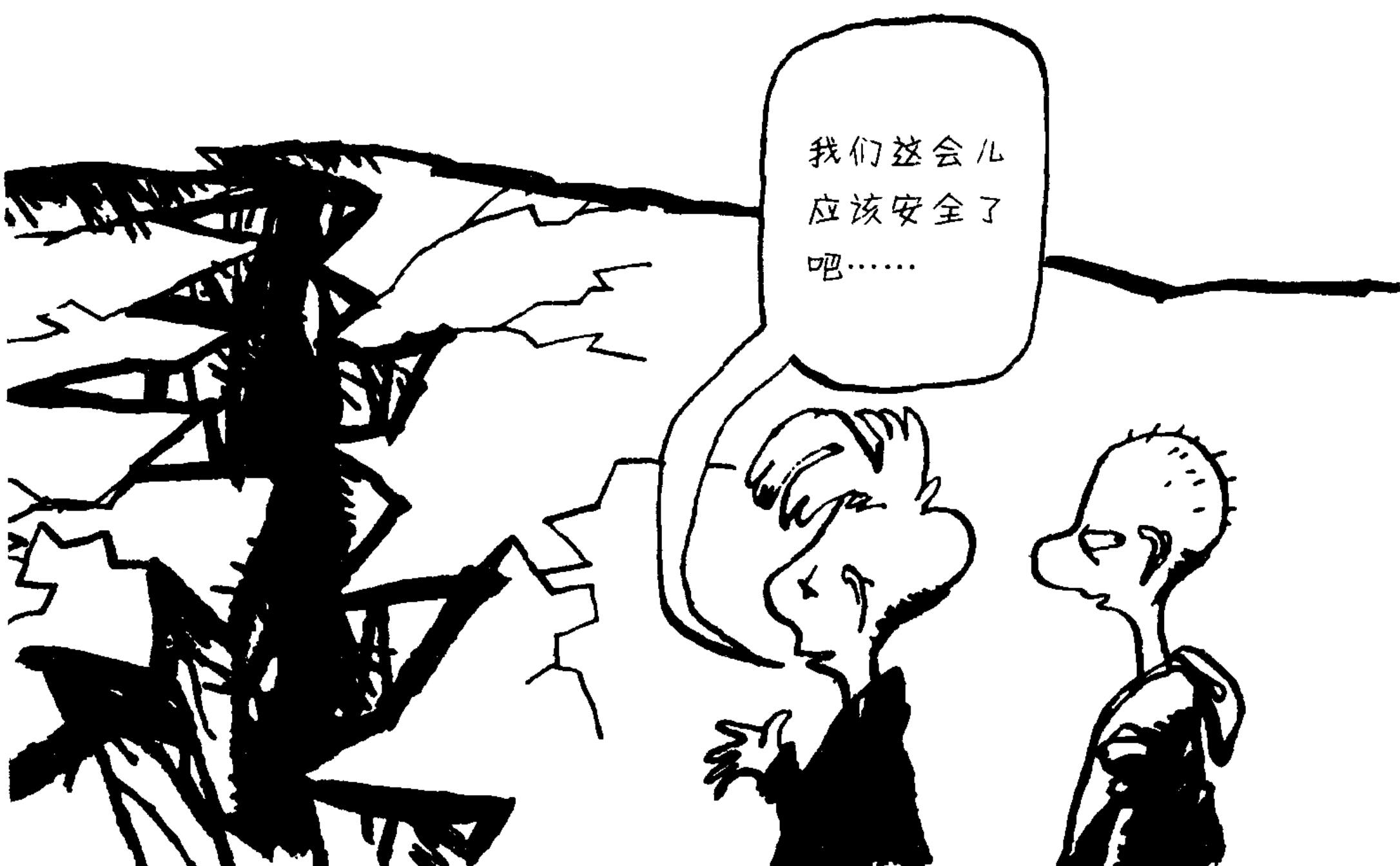
在数学中，“幂次”表示一个数字乘以自身的次数。如 $4^2$ 表示 $4 \times 4$ ，也就是4的2次幂。幂次定律指改变一个数字会按确定的幂次改变另一数字。比如，某一数字的双倍，可能意味着另一数字和其自身相乘。

所有这一切令人感到兴奋的是，对应于自我组织临界点的相同数学模型可以在现实世界中找到，还可以在地震、经济学和生命的进化中出现。



在刚才的沙堆中，每加上一粒沙子可能会引起一次小的坍塌，或者是一次大坍塌，或者是许多小坍塌甚至是各种中小坍塌的组合。同样小的引发力可能会产生不同的影响。这是因为沙堆处在混沌的边缘。

在现实世界中，与此相似的是不同震级的地震次数。一般来说，每发生1 000次4级地震，就会发生100次5级地震，10次6级地震，等等（顺便提一下，5级地震比4级地震大10倍，6级比5级大10倍，依此类推）。这就是幂次定律。



科学家过去认为，引发一次大的地震需要很大的力。就是说，只有应力在岩层中积累多年后，地震才可能发生。但现在看来，地震就像沙堆的原理一样，一个小小的触动就可以引发任何级别的地震，只不过小的地震发生得更加频繁罢了。

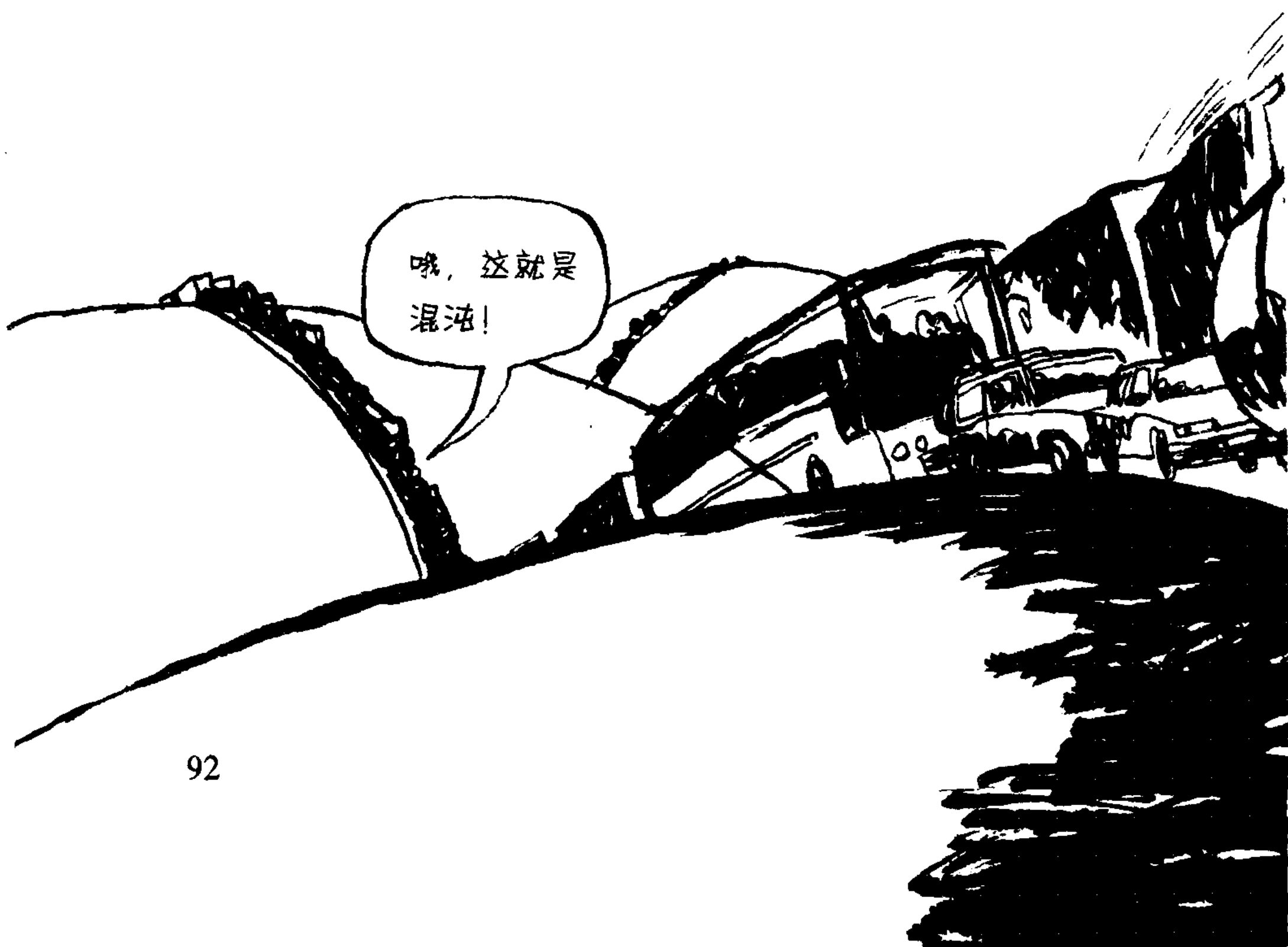
这非常让人惊讶。这似乎意味着，如果去年发生了一次大地震，你在一个很长的时间里不会感到安全。因为，在地震区，任何级别的地震随时都可能发生。



要说经济学也遵循沙堆和地震一样的原理，未免令人感到不可思议，但部分科学家认为事实确是如此。

我们知道，经济学研究的是货币、银行和企业等问题。人们在股票市场买企业的股票，股票价格时涨时跌。如果下跌幅度很大，就被称为“股市大跌”。

也许混沌可以解释为什么股票市场波动是自相似的。也许经济是处于一种自我组织的临界状态。如果是这样的话，政府竭力予以干涉（如阻止股价上涨过多），最终会在经济的某方面产生“坍塌”。但这都是一些非常新的观点，没有人能确定它们到底有多大实际的用处。



拥挤公路上的交通堵塞也遵循与沙堆一样的规则。不同程度交通堵塞的次数与幂次定律相吻合。如大的堵塞中含有小的堵塞等等。虽然有时候大堵塞是由大的效应如车祸引起的，而有时候拥挤公路上的大堵塞是由于某辆车放慢速度，或突然改变路线，这使得后面的车刹车，从而造成堵车。我们周围的确充满了自我组织的临界现象。



人们认为宇宙中最重要的事物是人。

那我们是怎么来到这个世界的呢？

其中一个重要原因是：6 500万年前，恐龙被某次灾难消灭掉了。没有了恐龙，我们的祖先才得以繁衍，并最终演变成我们人类以及许多其他动物。

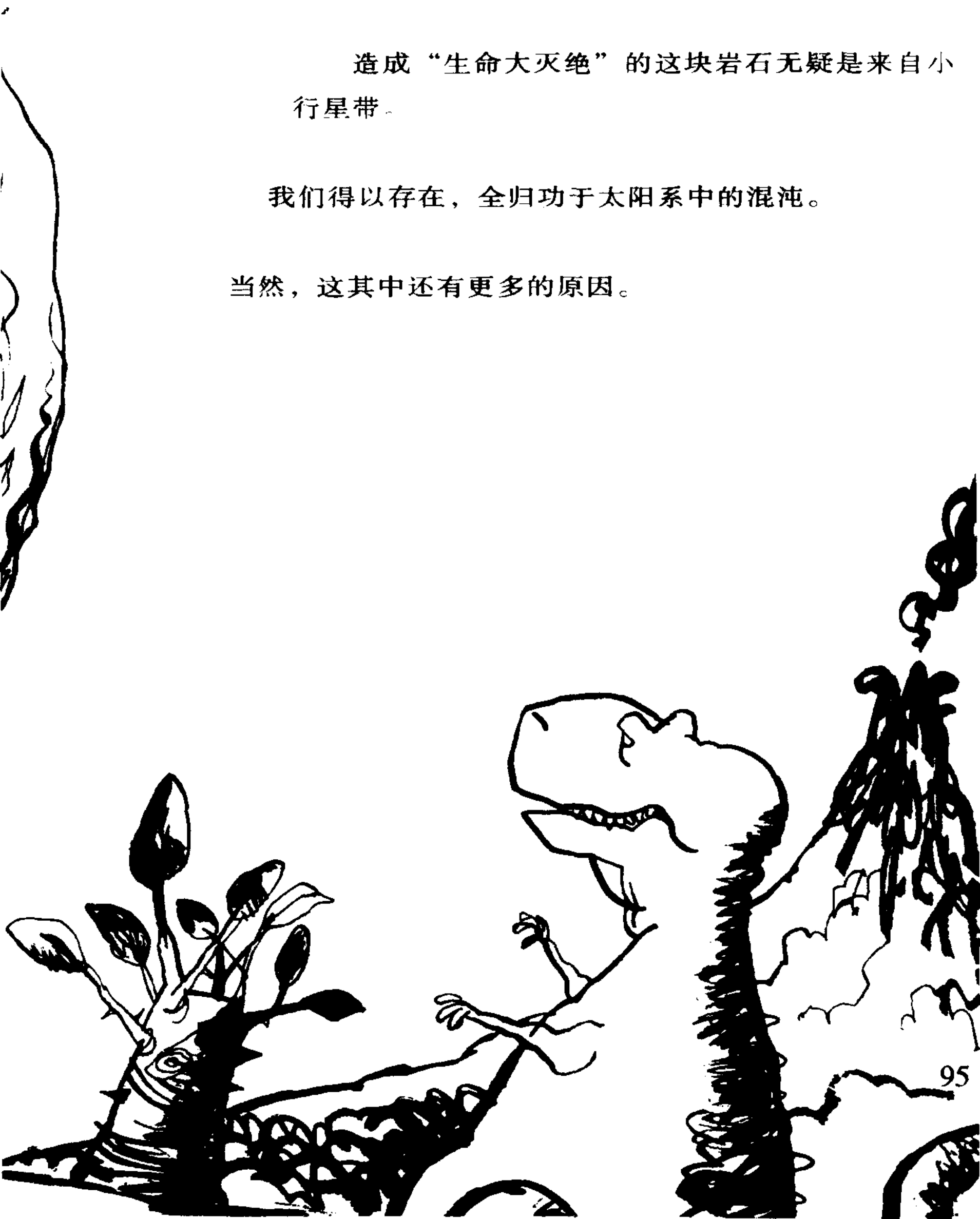


由于地球受到一个来自太空的大石块的撞击，当时生活在地球上的恐龙和其他许多动物和植物被消灭殆尽。石块撞击释放的能量相当于1亿个大型核弹，整个星球的环境因此遭受了极大的破坏。发生这场灾难的地点已经找到，即现在墨西哥的尤卡坦半岛。这次灾难被称为“生命大灭绝”。

造成“生命大灭绝”的这块岩石无疑是来自小行星带。

我们得以存在，全归功于太阳系中的混沌。

当然，这其中还有更多的原因。



在“生命大灭绝”中，恐龙绝迹了。但这不是惟一的一次灾难。地理学家根据保留在岩层中的化石，可以知道以前都有哪些物种存活过。他们还知道岩层的年龄，从中了解那些动植物存在的时间。事实上，在数亿年前，大量的物种都灭绝了。

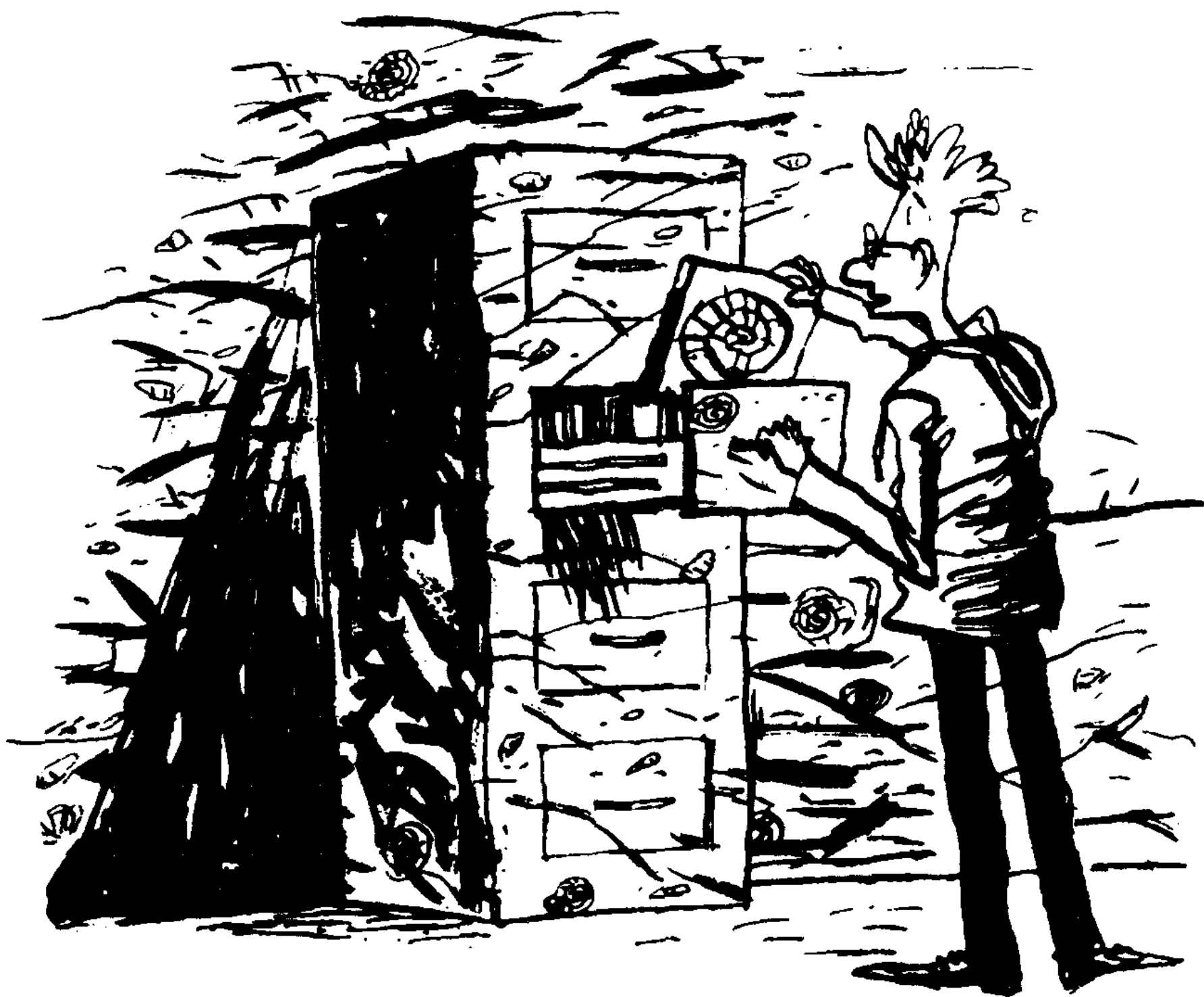


有些毁灭事件很大，比如恐龙灭绝的事件。

有些很小，只有少数几个物种消失。

还有一些不大不小的毁灭事件。

如果比较记录在化石中大小不一的灭绝性灾难的数量，你会发现什么呢？



你猜对了，那是幂次定律。

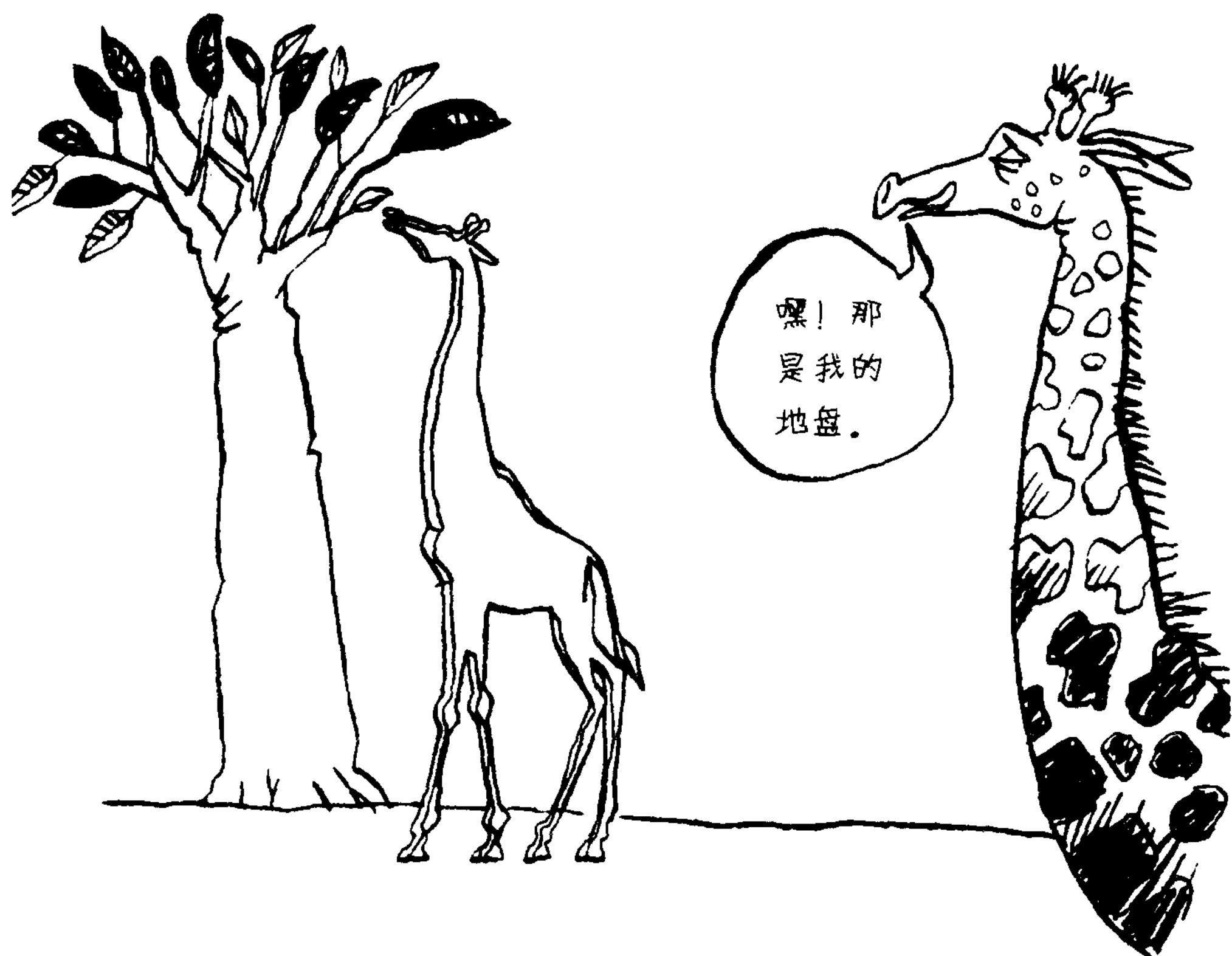
在6亿年光景中，只有79次可测量到的灭绝灾难。部分科学家觉得这不足以肯定它们遵循的是幂次定律。但如果它们真的遵循此定理的话，那就意味着灭绝是自相似的，意味着它们跟沙堆和交通堵塞一样，还意味着一个小的效应也许可以产生一次“生命大灭绝”，或一次小的灭绝，或不大不小的毁灭。为了解其中原因，我们需要了解进化是如何进行的。

查尔斯·达尔文从自然选择的角度来解释进化。这里面有两点是十分重要的。



第一，动植物的后代与它们的父母辈是相似的，但又不完全一致，个体之间存在细微的差别。





第二，个体在争取食物、获得交配机会方面存在着竞争，所以比较适应环境的个体会表现得更好，从而拥有更多的后代。用达尔文的话来说，就是“适者生存”（这不仅指身体方面的，比如说运动员的强壮，更多应是像在拼图游戏中，一小块的纸片应该如何合适地放进去。）

因此，使个体增加适应力的微小变化意味着他会留下更多的后代，后代又像他们的父母那样继承这些细小的变化。慢慢地，物种状态会越来越适应它们的环境。

使达尔文进化理论得以发展的最重要因素之一是进化本身。

想像一种靠舌头的黏液捕捉苍蝇为生的青蛙。如果某些苍蝇发生了些小的变化（进化），身体变得更加光滑，青蛙就可能找不到吃的了。苍蝇因而得到繁衍，产生无数的后代。

但如果青蛙也在进化，舌头的黏性更强，它将会捉到更多的苍蝇，青蛙因此得以繁衍，拥有更多的后代。具有黏性的舌头被其后代所继承。不久，大多数青蛙的舌头将会更具黏性，同时大多数苍蝇也会变得更加光滑。

十分得意的  
的青蛙

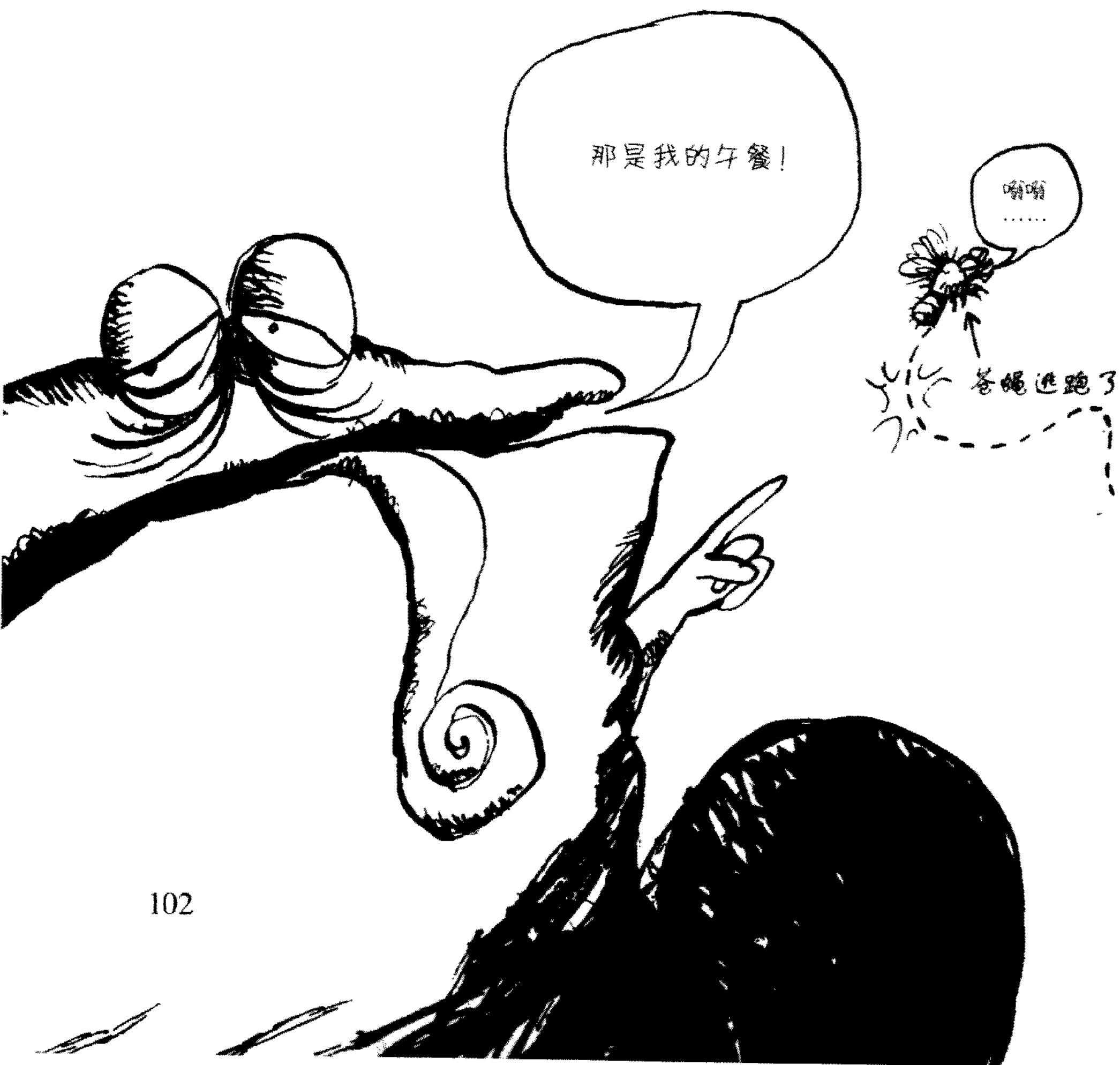


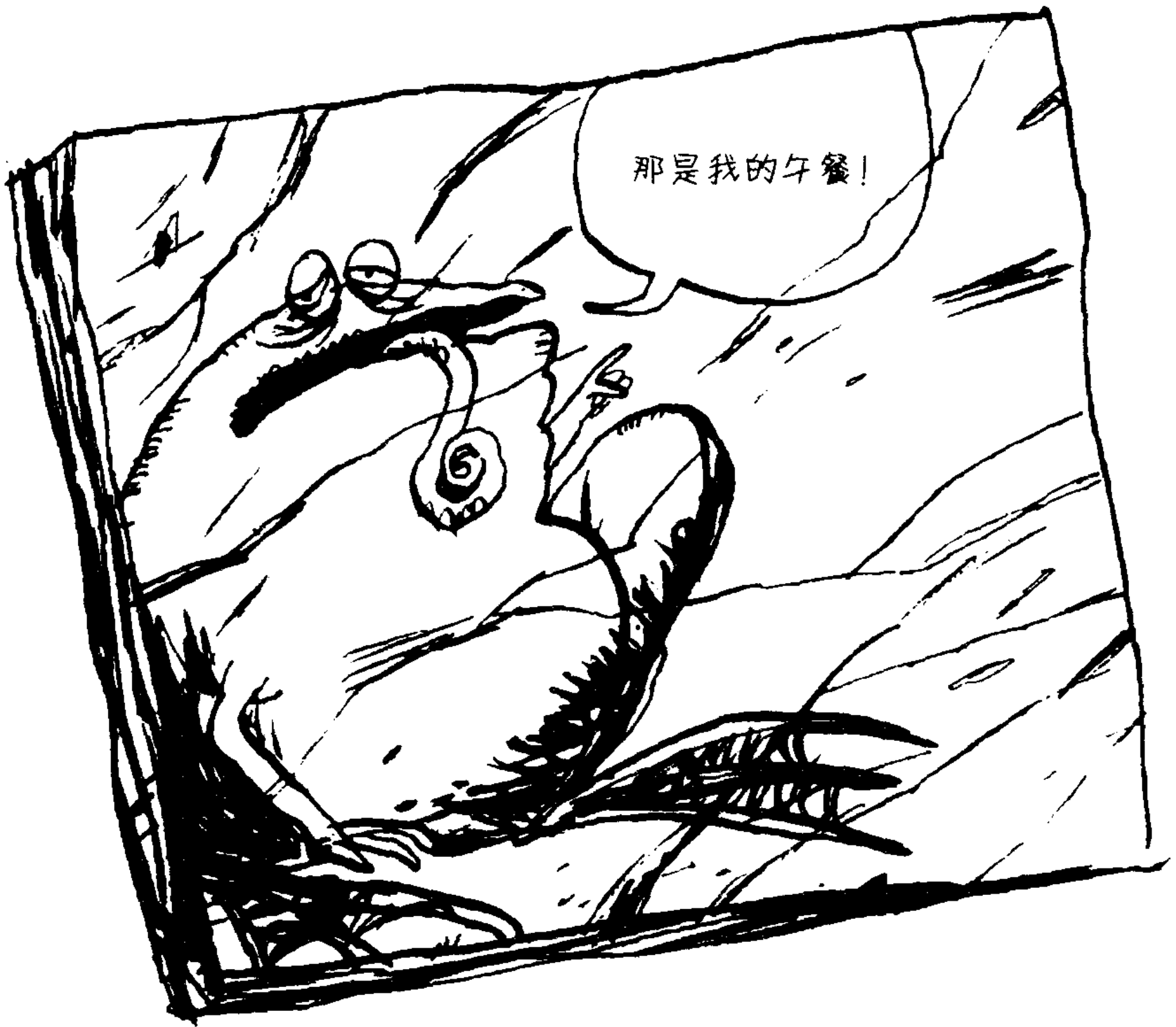
最后，同样多的青蛙吃掉同样多的苍蝇，两者都回到原来的状态，尽管它们像疯了一样进化。这叫“红色皇后效应”。在刘易斯·卡罗尔所著《爱丽丝镜中奇遇记》一书中，红色皇后得拼命奔跑才能停留在相同的位置。

虽然青蛙吃苍蝇，但它们两者之间不存在竞争。苍蝇之间存在竞争，跑得快的，就会躲过一劫。身体光滑的苍蝇比普通苍蝇更加适应这个环境。青蛙之间为了食物进行竞争，舌头黏性强的青蛙比黏性不那么强的青蛙更加适应环境。



在现实生活中，青蛙不仅仅吃苍蝇，而苍蝇也要操心更多其他事。许多物种都受到其他物种的影响，同时也受到周围世界变化的影响，这就是环境。生物与环境互相影响，因为它们相互作用。互相影响的物种和生物所形成的复杂的网称为**生态**。它存在于混沌的边缘。一些微小的变化（如苍蝇变得更加光滑）将对生态产生程度不一的影响，或小或大，也可能不小不大。进化论遵循和沙堆一样的规则，它也是一个自我组织临界状态的例子。



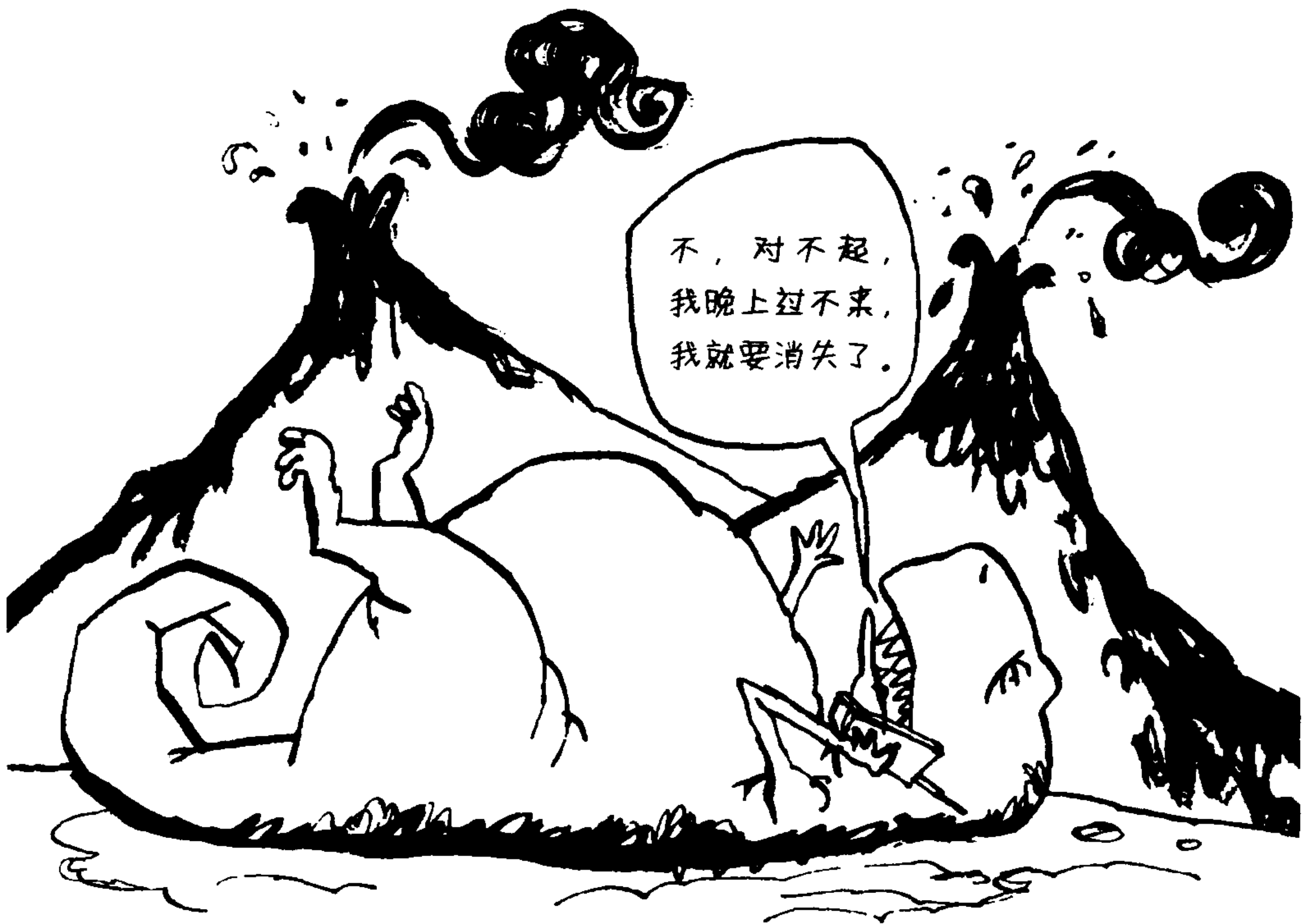


假设苍蝇非常善于逃跑，那青蛙就得挨饿了。现在，靠蝌蚪生活的鱼得挨饿了，而靠鱼为生的熊又得挨饿了，只好开始吃兔子以维持生命。

生态中的一个小小变化，将会发生涟漪反应，并蔓延到外部世界，影响到其他物种。它也许会引起灭绝灾难，这可以从化石记录中看到。

尽管恐龙是被来自太空的大岩石（陨石）所毁灭的，但有时候来自太空的小陨石的威力也足以对地球上的生命造成很大危害。或者某些其他变化，如干旱、火山爆发，或者由进化本身所引发的变化，都可能导致灭绝的灾难。

化石记录的模式和沙堆模式正好一样。事物长时间保持同一状态，然后突然发生变化，再保持某一状态很长一段时间，如此反复。这种现象在整个生态中都有发生，有时候甚至在没有出现灭绝灾难时也会在个别物种上出现。在进化论中，这被称为“**断续性平衡**”。





但这要取决于你对“很快”这个词的理解。如果观察岩层的地理学家能准确地告知时间（误差不超过10万年）的话，他们是非常幸运的。一块岩层可能有120万年的历史，而上面的那块可能只有110万年。

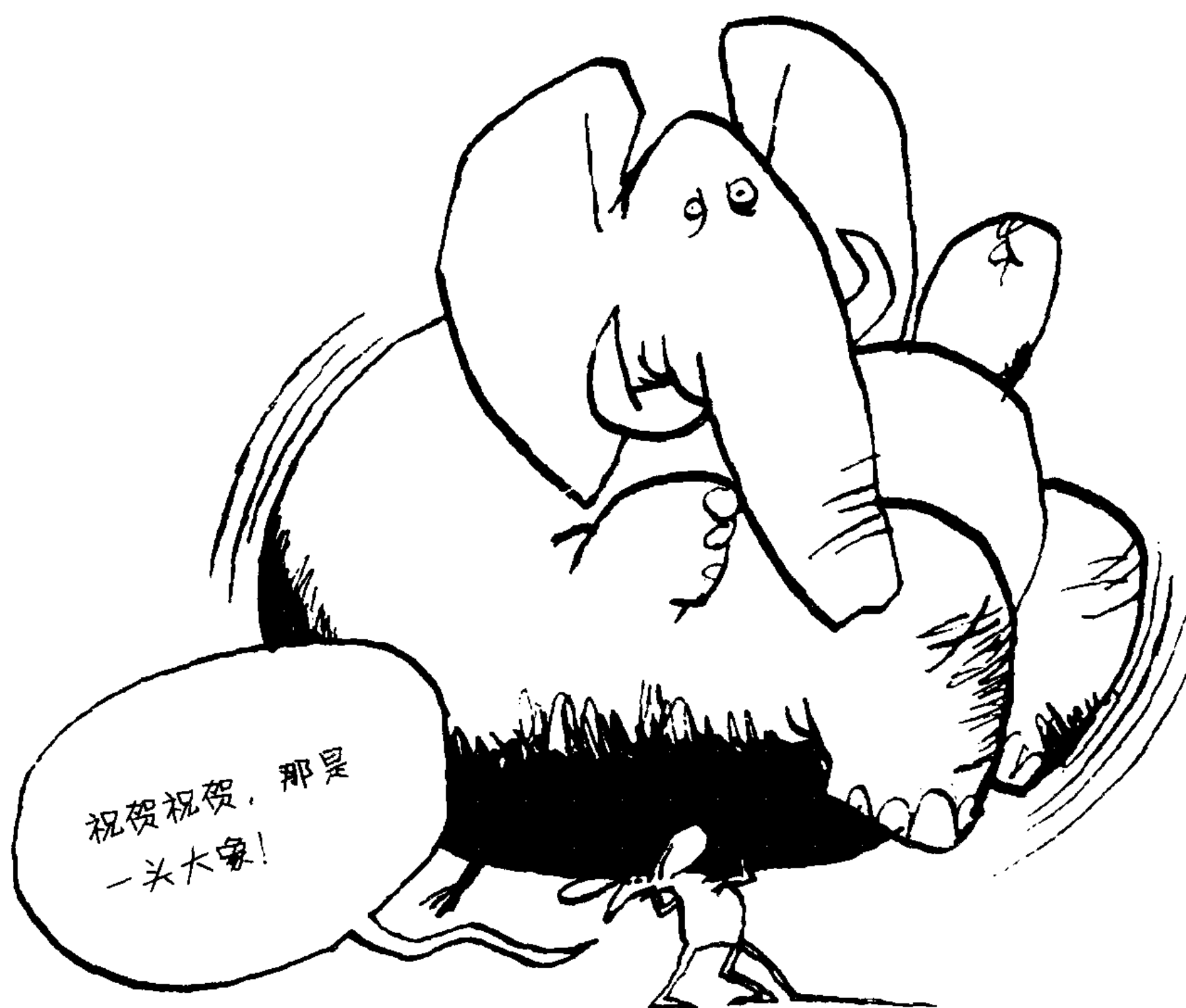
断续性平衡并非指一个物种会从一代到下一代发生突变。它不像鸟下了一只蛋，最后孵出来的却是只老鼠。



用人类的时间尺度来衡量，进化的速度是比较缓慢的。

如果老鼠要经过12 000代才能进化成象一样大的超级老鼠，那从一代到下一代的演变就几乎可以忽略不计。一只刚生出来的老鼠，只需比它们的父母大1/12 000。如果说一代要经过5年时间的話（老鼠和大象实际寿命的某个中间点），此变化要花60 000年的时间才能完成。但若从化石角度来看，这只是一瞬间的事情，难以测量。

将化石按照1 000年为单位来区分几乎是不可能的。因此，在化石记录中，你直接看到的是从老鼠直接跳跃到超级老鼠，好像一只老鼠一下子就生出了一头大象。但实际上这个变化过程是非常缓慢的，只不过相比于地质时间，它就算快了

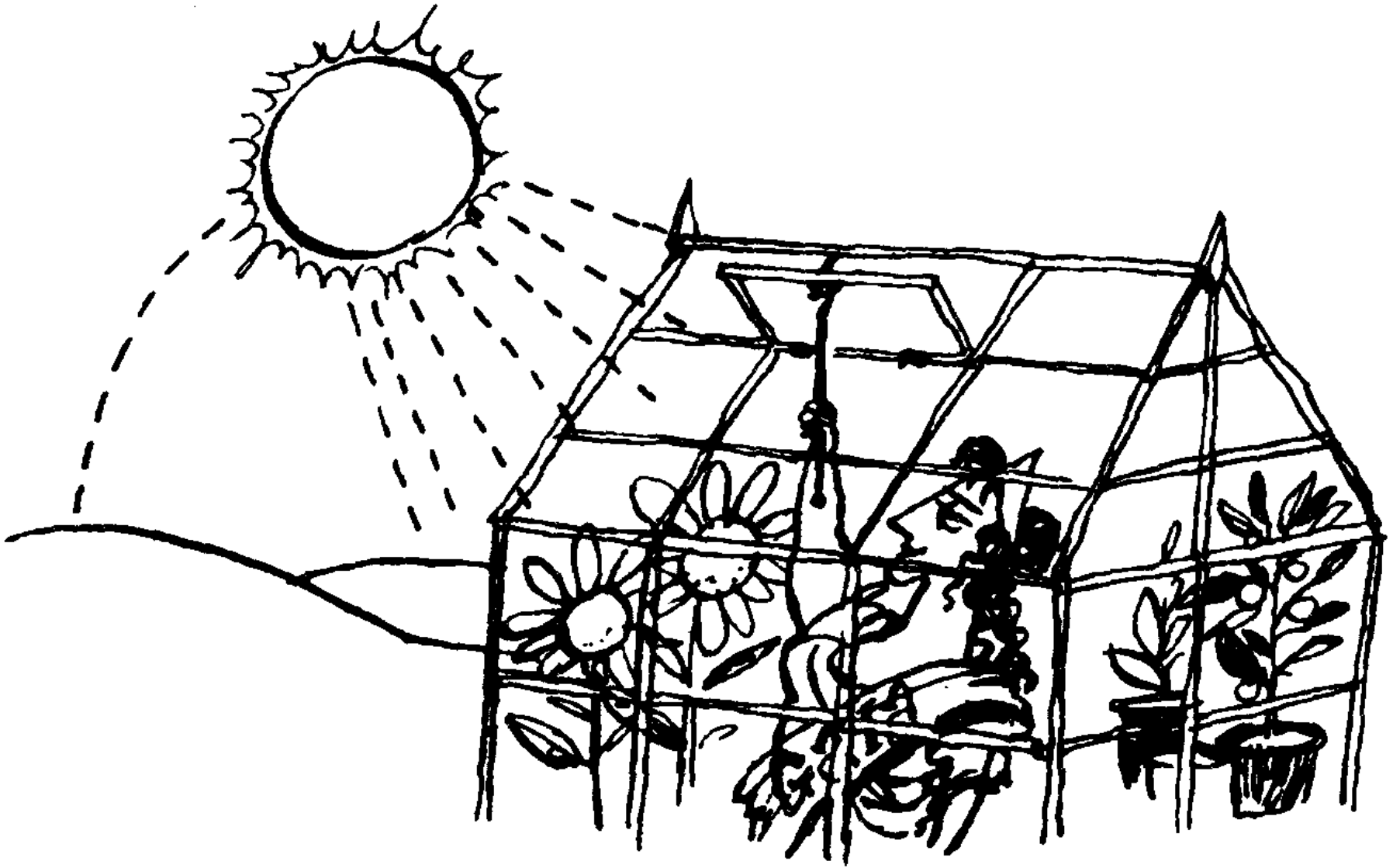


让我们再回到混沌边缘的生命的观点，它与科学上一个叫做“盖娅假设”的伟大观点有联系。

盖娅假设认为，整个地球就像一个生物体，生物的活动形式有助于使地球保持适合于生物的环境。

该名称来自于希腊大地女神的名字盖娅，人们有时候只用“盖娅”来代替“盖娅假设”。





有关盖娅假设，重要的一件事是**反馈**。以下是一例子：

地球年轻时，大气中的二氧化碳非常丰富，因此整个世界得以保持暖和状态，它就像一块毯子将地球裹住。这是一件好事，因为当时太阳比较冷，如果没有二氧化碳的增温效应，世界早就被冻住了。

随着太阳慢慢暖起来，地球就变得越来越热。植物生长旺盛，吸入二氧化碳，弱化了温暖效应，因而使气温刚好适合于生命的存在。如果植物从空气中吸取太多的二氧化碳，整个世界冷却下来，部分植物便会死去，所以二氧化碳又增加了，世界再次暖和起来。这就是反馈。

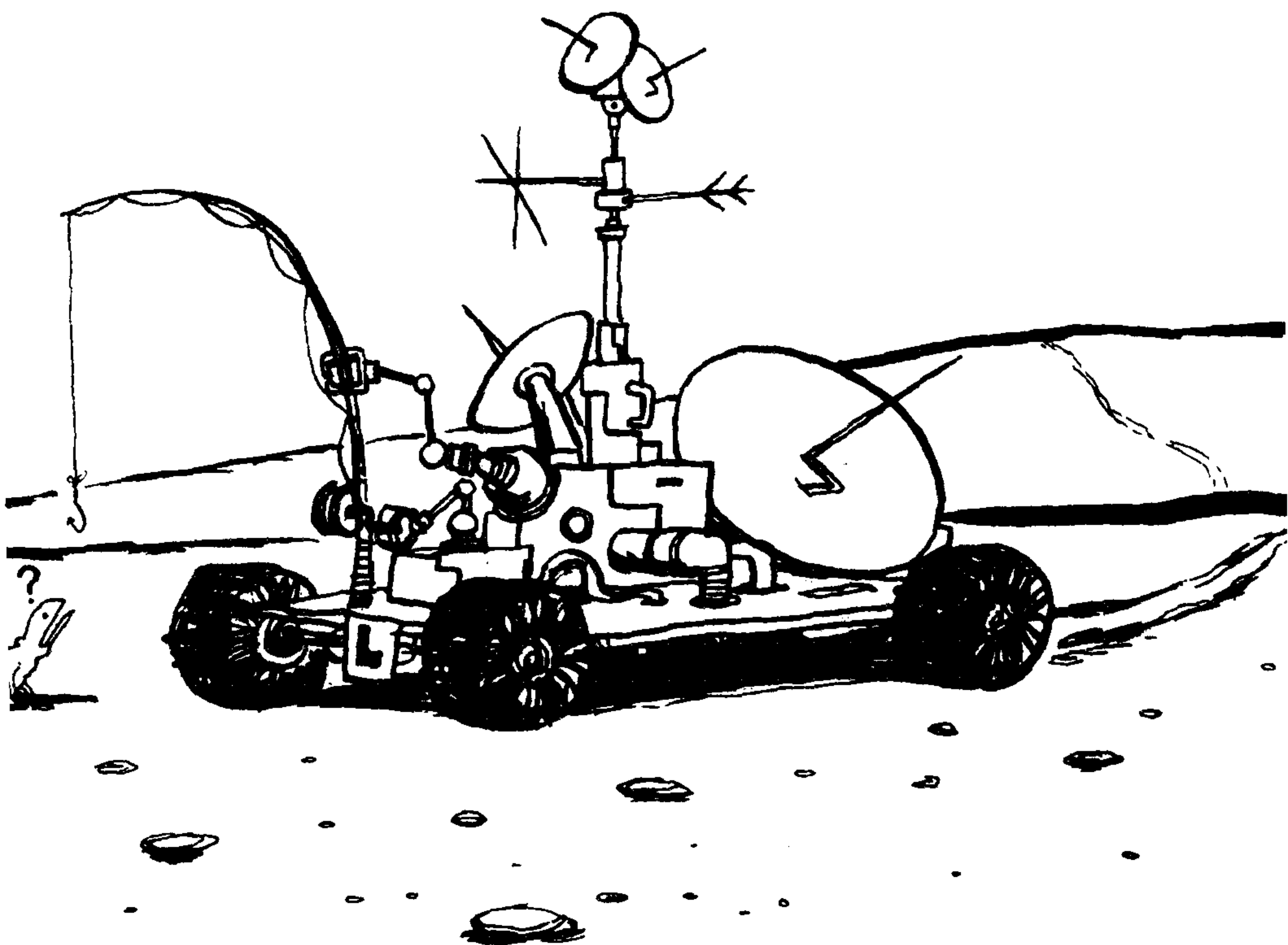
盖娅假设理论是吉姆·洛夫洛克想出来的。当时（20世纪60年代），他是美国国家航空和航天局（NASA）的顾问，他的工作是设计用于探索火星的太空探测仪器，以期在火星上找到生命的迹象。

一天，洛夫洛克意识到这是浪费时间。火星上的大气是由二氧化碳组成的。二氧化碳是一种十分稳定、不活跃的物质。它的稳定和毫无生气就如同不往上添加沙子的沙粒。

他说，既然火星如此稳定，那不可能成为生命的家园。

洛夫洛克说：用不着去火星就可以判断那是一个死寂的星球。他说：将仪器发射到火星上进行探索是盲目的，这就好像设计一艘自动的海盗船去横跨撒哈拉沙漠，然后从船里面伸出鱼钩，期望能钓到生活在沙丘下面的鱼。

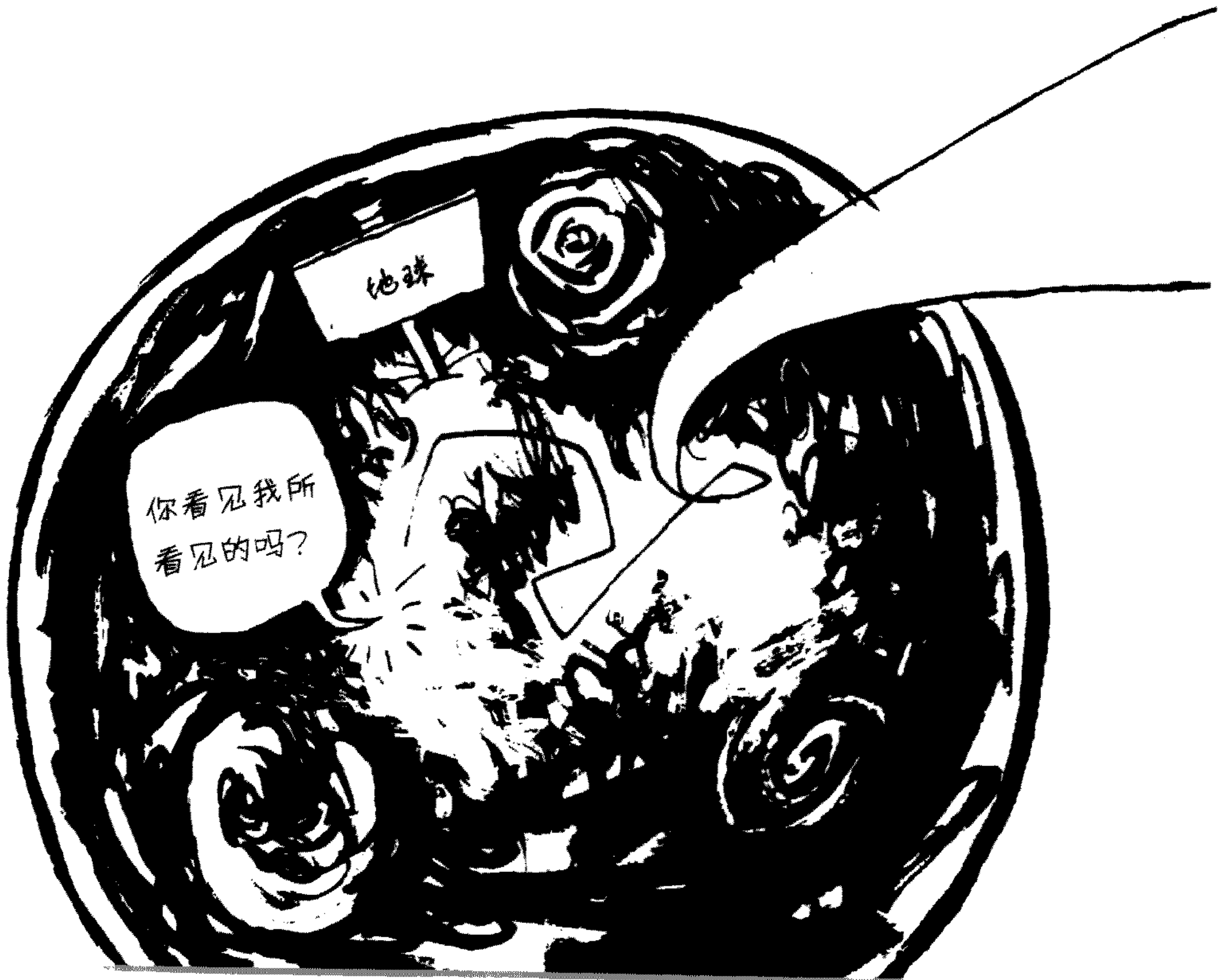
但这并未使他在NASA得到好评，他们还是将太空探测器发向太空。当然他们没有找到任何生命的迹象。



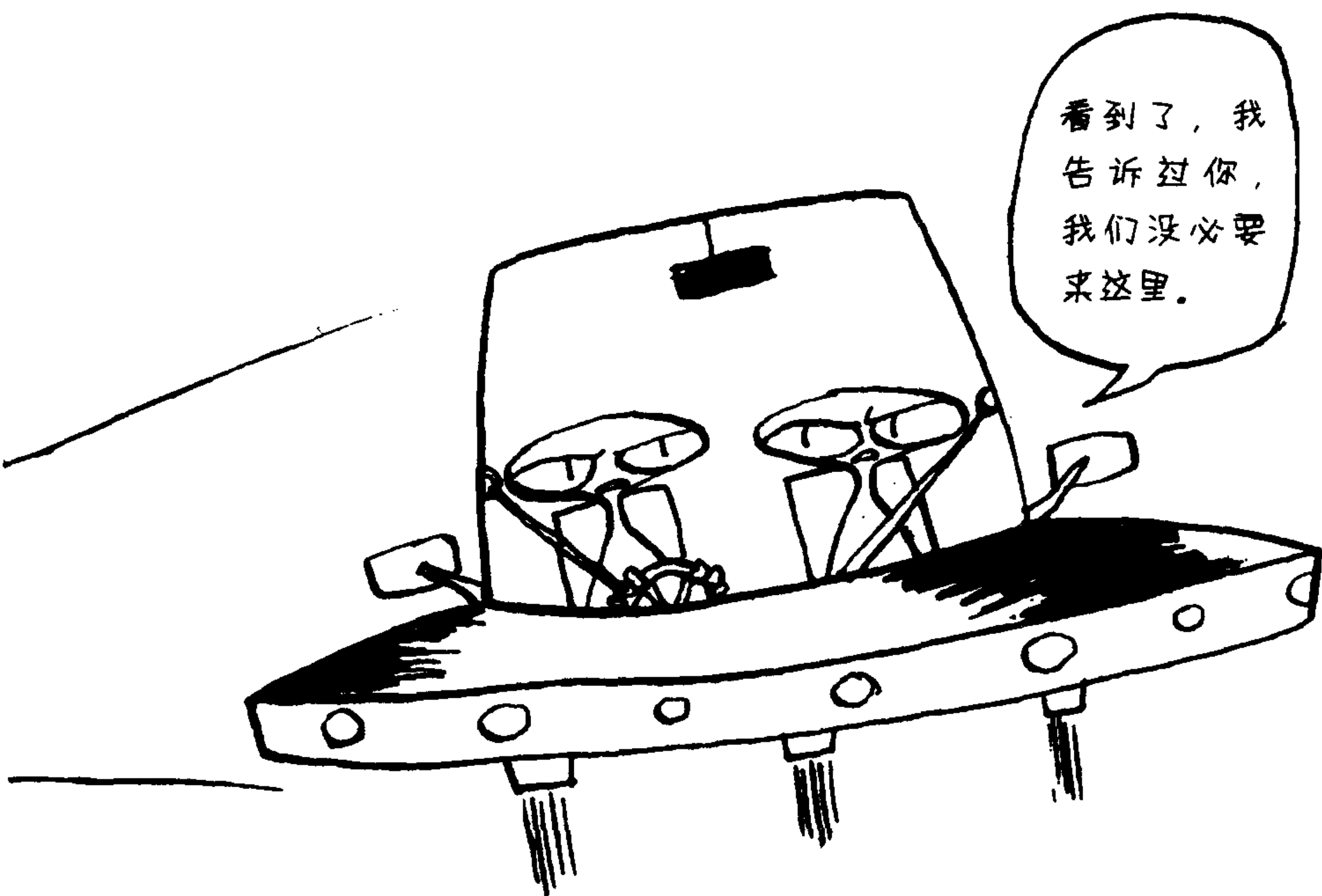
但地球不一样，其大气中氧气非常丰富。氧气是危险气体，会跟许多物质发生剧烈反应。

我们不觉得氧气危险是因为我们已经习惯了它。但实际上我们用氧气使我们的肌肉充满能量的方式，就是缓慢燃烧的一种形式。如果空气中的氧气含量增加一点点，都有可能引发森林火灾，直到氧气含量降下来。这种现象在过去发生了许多次——反馈的又一例子。

如果地球上没有生命（植物从二氧化碳中制造出氧气），所有的氧气将很快在燃烧和化学反应中被用完。



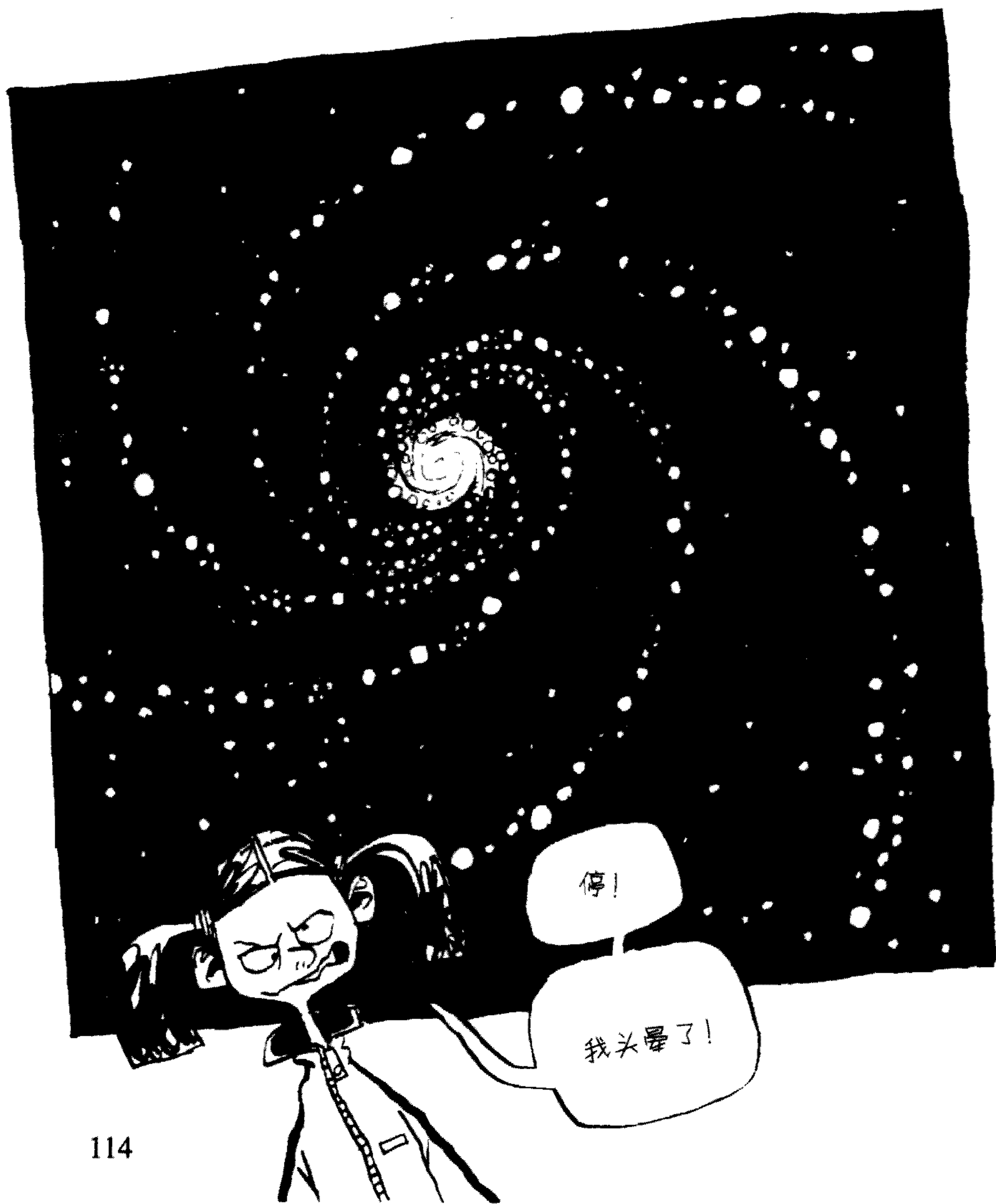
任何访问太阳系的外星人都可以说地球是一个活的星球，尽管他们不一定拜访过地球。因为它在一种化学活动状态中得到了平衡。用现代语言来说，就是它存在于混沌边缘，存在于一个自我组织临界状态。



盖娅是小说家威廉·戈尔丁（《蝇王》的作者）给吉姆·洛夫洛克的假设理论所起的名字。他是洛夫洛克的邻居，是第一批听到洛夫洛克谈论该理论的人之一。

整个世界——盖娅，遵循沙堆一样的规则来运作。这些规则的运用将会延伸到哪里呢？或许它会延伸到宇宙。

天上的恒星都是单个星系的一部分，称为**银河**。银河是一张在太空中旋转的巨型光盘。



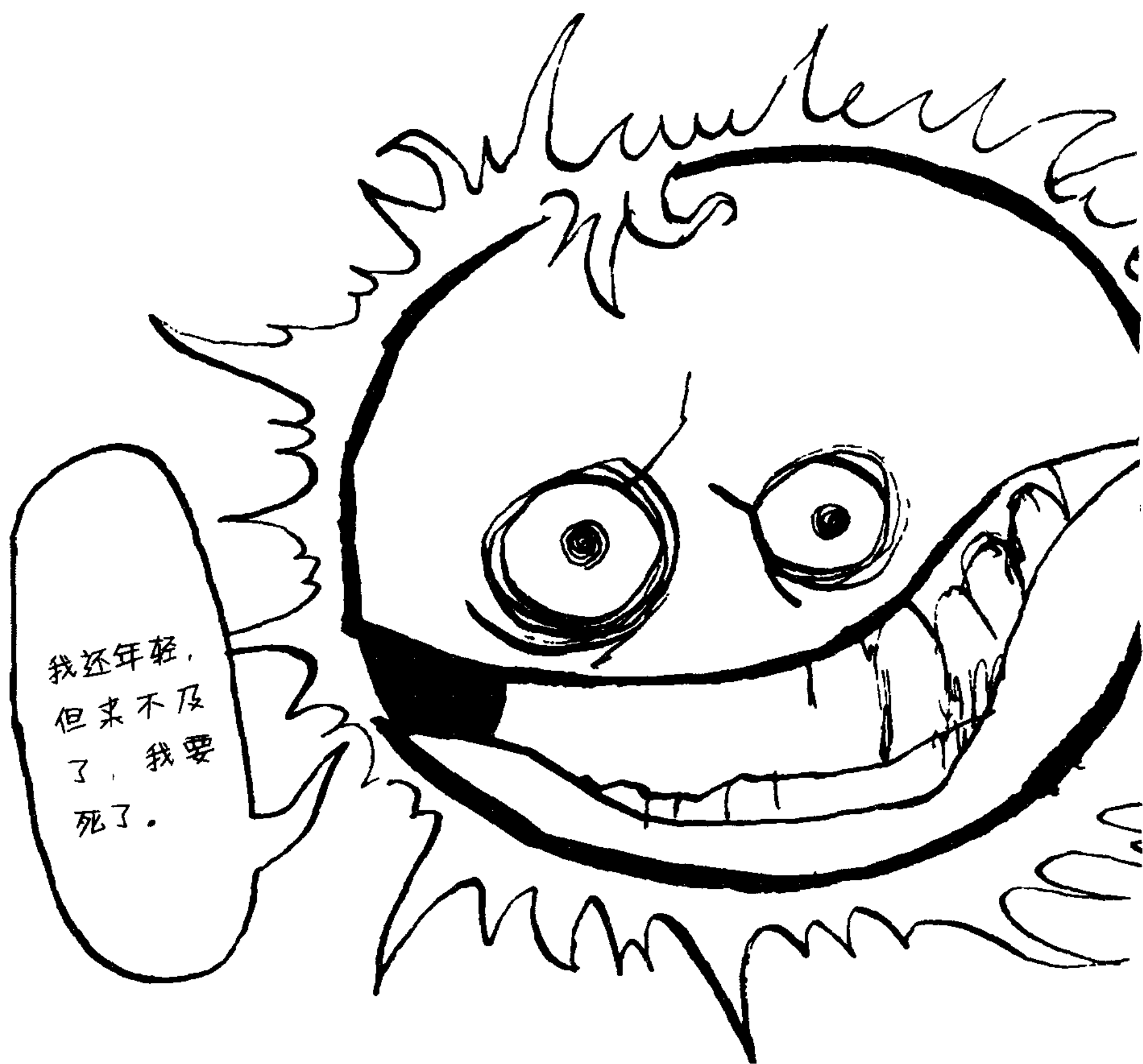
银河中有1亿多颗恒星，它们呈螺旋状，就像加在咖啡杯中的奶油。



明亮的螺旋“臂”是产生新恒星的地方，恒星发出的光非常明亮。随着这些恒星的慢慢成长，他们会分布到“光盘”的四周。

在螺旋“臂”中之所以形成恒星是因为大量绕着光盘转的气云在经过“臂”时受到挤压。在重力作用下，云层崩塌、收缩了，分解成一块块热气腾腾的气体——恒星。

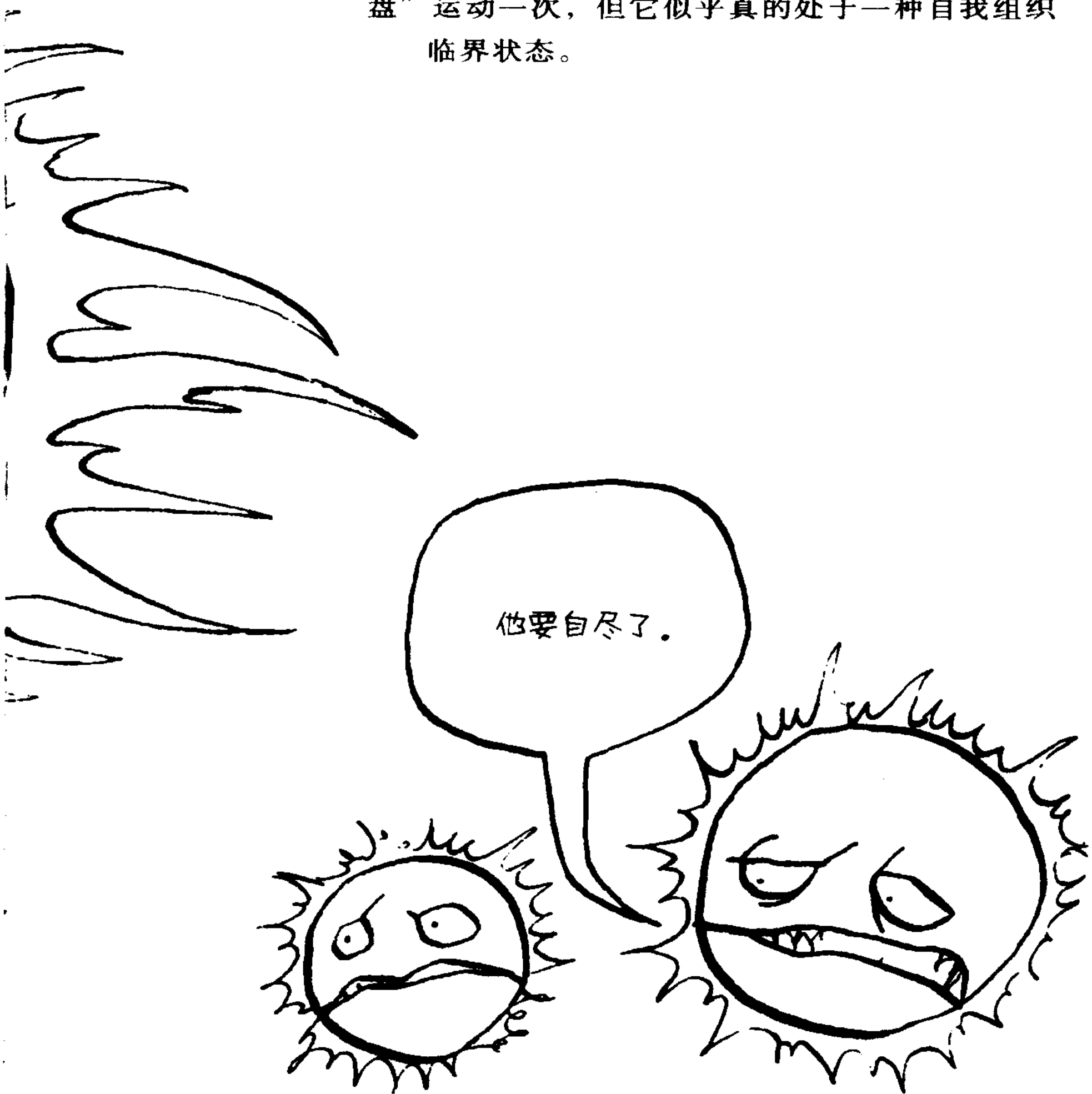
但为什么气云在螺旋臂中会受到挤压呢？因为那里有大量热的、年轻的恒星。最大的新恒星寿命并不是很长，它们在撤出螺旋臂之前就爆炸了。这些称为**超新星**的爆炸产物挤压了经过“臂”的气云。



我还年轻，  
但来不及  
了，我要  
死了。

如果没有这些反馈，银河中的所有恒星将会均匀地分布于光盘周围静静地呆着，然后逐渐地消失，就像沙堆没有再加沙粒一样。


但银河是一个动态的、不断变化的系统。由于气云和星体爆炸所产生能量的注入，它远不能保持平衡。在我们看来，它是稳定的，因为一颗恒星要花数亿年的时间绕“光盘”运动一次，但它似乎真的处于一种自我组织临界状态。




在螺旋形银河系的物理结构中似乎存在着一种生态，通过它，生成星的结构——螺旋臂和相关的尘埃云以及气体云，得以在比相关的动态时间尺度大得多的时间尺度维持，等等。这些一定还包含了在非平衡状态和生态系统中都可以看到的那种物质和能量的自我组织循环。

美国锡拉丘兹大学  
——李·斯莫林教授

这是否意味着银河系是有生命的？  
也许真是这样。



多么沉寂的  
银河系！

A high-contrast, black and white illustration of a person's face, shown from the nose up. The face is rendered with simple white outlines against a solid black background. The eyes are closed, and the mouth is slightly open. A large, white, irregular speech bubble originates from the mouth area, containing two lines of Chinese text. The background of the entire image is filled with a dense field of small, white, circular dots of varying sizes, resembling a starry night sky or a microscopic view of a textured surface. The overall style is minimalist and graphic.

很明显，你没有  
读过这本书。

# 人类认识混沌和不确定性的 大事记

**1687年** 艾萨克·牛顿出版了他的著作——一部关于宇宙是如何运行的书，书名叫《自然哲学中的数学原理》，通常简称为《原理》。

**18世纪80年代中期** 皮埃尔·拉普拉斯证实没有必要使用“上帝之手”来纠正木星和土星的轨道，他们是自我调整的。

**1801年** 著名的“小行星带”被发现。

**1802年** 托马斯·扬证明光是以波的方式运动的。

**1859年** 詹姆斯·克拉克·麦克斯韦尔证明土星的光环是由许多细小的粒子组成的，每个粒子都有自己的轨道，就像微型卫星。

**1859年** 查尔斯·达尔文出版了他的自然选择的进化理论。

**1875年** 亨利·史密斯发明了“康托尔集合”。

**1890年** 亨利·庞加莱发表关于“三体问题”的论文。

**1897年** J·J·汤姆森证明“阴极射线”是一束细小的粒子——电子。

**1903年** 庞加莱发现了“对初始条件的敏感性”的重要性。

**1905年** 阿尔伯特·爱因斯坦证明如果光是一束粒子的话，光电效应就能得到解释。

**1923年** 路易斯·德布罗意发现了波粒二象性。

**1927年** 乔治·汤姆森（和其他人一起）证明，电子以波的方式传播。

**1927年** 沃纳·海森伯发现不确定性原理。

**1961年** 爱德华·洛伦兹发现天气系统中的混沌状态（对初始条件的敏感性）。

**20世纪60年代早期** 斯蒂芬·斯梅尔提出了“吸引子”的构想。

**20世纪60年代后期** 吉姆·洛夫洛克提出了盖娅——活着的地球的理论。

**1971年** 戴维·鲁勒认为湍流是混沌的。

**1972年** 爱德华·洛伦兹创造了“蝴蝶效应”一词。

**1977年** 贝诺瓦·曼德尔布罗特出版了关于“分形”的最有影响的一本书——《自然中的不对称几何》。

**20世纪80年代** 珀巴克及其同事使用沙堆分析（模型）来研究自我组织临界性理论。

**1992年** 李·斯莫林认为银河是一个自我组织系统，并且可能是有生命的。

# 名词解释

**小行星** 环绕太阳轨道上的一块岩石，比行星小得多。

**原子** 参与化学反应的最小物质，地球上万物都是由原子构成的。

**吸引子** 系统参与进来的行为模式。

**10亿**  $10\text{亿}=10^9=1\ 000\ 000\ 000$ 。

**蝴蝶效应** 开始时的微小变化对结果产生极大影响的现象。

**混沌** 蝴蝶效应发生作用的结果。

**生态** 生物体互相平衡的系统。这也可能是小规模的一（一块地的生态，一个岛的生态）或指整个地球。

**电子** 微小的粒子，是原子的一部分，但同时也是波。

**灭绝** 大量不同的动植物一起被消灭的现象。

**反馈** 某些事物的所为对它自己的行为产生影响的过程。

**分形** 物体的细节被放大时，细节的形态看起来跟整体一样。分形是自相似的，是无尺度的。

**盖娅假设理论** 认为整个地球就是一个生物体的思想。

**星系** 外太空一大群恒星，银河就是一个星系。

**引力** 把我们拉向地球并给我们重量的力，它可以使地球及其他行星环绕着太阳沿一定轨道运动。

**初始条件** 事物开始的状态。

**无理数** 不能表达成两个整数的比值的数，如 $\pi$ 。

**迭代** 指不停地做相同的事。

**定律** 科学中，定律指自然变化所遵循的规则，牛顿定律告诉你某个物体将运动到何处，速度如何。但你需要了解该定律的发现过程。

**线性** 最终变化的大小与开始的变化成比例，就称为线性。

**生命大灭绝** 无数的动植物在瞬间灭绝。

**银河** 即我们生活的银河系，其中有1 000多亿颗恒星。

**非线性** 开始时的小变化，导致结束时的大变化。

**原子核** 原子的核心，电子环绕原子核运动。

**轨道** 行星（或其他星体）环绕太阳运动的轨迹，或者是某卫星环绕某行星运动的轨迹。

**光电效应** 光撞击金属产生电的现象。

**光子** 是指光粒子，但光同时也是波！

**幂次定律** 一种数学模型，改变一个数导致另一数发生幂次的变化。

**断续性平衡** 某事物长时间保持某一状态，然后突然发生变化；保持新状态一段时间，然后再突然变化；如此等等。

**量子物理** 适用于微小物质，如原子和电子的物理学科。

**有理数** 可以用两整数的比值表示的数，如 $3/4$ 或者 $15/29$ 。

**红色皇后效应** 进化中的物种不得不很快适应环境以保持其在生态中的地位。

**无尺度** 指某事物不管如何放大看起来都一样，如分形。

**热力学第二定律** 自然法则，指如果没有能量来维持的话，事物将消失。

**太阳系** 指太阳和绕太阳沿一定轨道运动的一切事物构成的系统。

**自相似性** 指事物无尺度时的状态。

**自我组织** 指许多简单事物通过能量使自己变成更加复杂事物的过程。

**自我组织临界性** 系统维持自身在混沌边缘，处于一种有趣状态的现象。

**恒星** 太空中一个热的气体球，由于热而发光。

**奇异吸引子** 产生混沌的吸引子。

**太阳** 离地球最近的恒星，地球沿轨道绕其运转。

**超新星** 巨型恒星的爆炸。

**系统** 一个根据自然定律发生变化的物质总和——包括沙堆、太阳系甚至银河。

**不确定性** 科学上有两种不确定性。量子不确定性认为，像原子这样的事物没有像位置、速度等固定的属性，而是一种模糊性。混沌中的不确定性指存在某种不模糊的事物，但必须通过无穷小数来表示，以便它们的效果能够测量。这不可能做到，无论你的测量设备是多么好。

WHAT IS  
THE **大主意丛书**  
BIG IDEA?



★ **恐龙**为什么会灭绝

★ **股市**为什么会**下跌**

★ **天气预报**为什么报不准

★ **宇宙的未来**能不能**预测**

责任编辑 丁旋

封面设计 **木头羊**工作室  
(010) 81356856

ISBN 7-80144-698-4



9 787801 446985 >

ISBN 7-80144-698-4/T·022

定价：9.00元