

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

1、小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。您也可以在微信上呼唤我 放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的 。

2、扫面下方二维码，关注我的公众号，回复电子书，既可以看到我这里的书单，回复对应的数字，我就能发给你，小编每天都往里更新 10 本左右，如果没有你想要的书籍，你给我留言，我在单独的发给你。



扫此二维码加我微信好友



扫此二维码，添加我的微信公众号，  
查看我的书单

生命是什么？

——活细胞的物理学观

作者：E.薛定谔

序言

一般都认为，一位科学家总是对某些学科具有深邃渊博的第一手知识，因而他是不会就他不太通晓的论题去著书立说的。这就是所谓的位高则任重。可是，为了目前写这本书，如果我有科学家的高位的话，那我恳请放弃它，并且从而免去随之而来的重任。我的理由是：

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

我们从祖先那里继承了对于统一的、无所不包的知识的强烈渴望。最高学府这个名称使我们想起了从古到今多少世纪以来，只有普遍性才是唯一地享有盛誉的。可是，最近一百多年来，知识的各种各样的分支在广度和深度上的展开，却使我们陷入了一种奇异的困境。我们清楚地感到，要想把所有已知的知识综合成为一个统一体，我们现在还只是刚刚开始获得可靠的资料；可是，另一方面，一个人想要充分掌握比一个狭小的专门领域再多一点的知识，也已经是几乎不可能的了。

除非我们中间有些人敢于去着手综合这些实事和理论，即使它们有的是第二手的和不完备的知识，而且还要敢于承担使我们成为蠢人的风险，除此之外，我看不到再有摆脱这种困境的其他办法了（否则，我们的真正目的将永远达不到）。

这就是我的意见。

语言的障碍是不容忽视的。一个人的祖国语言就象一件剪裁得十分合身的外衣，可是当它不能立刻穿用而不得不另找一件来代替时，他是决不会感到很舒服的。我要感谢英克斯特博士（都柏林三一学院），布朗博士（梅鲁恩圣帕特里克学院）；最后，但不是不重要的，我还要感谢罗伯茨先生。他们费了很大的劲使新衣服适合我的身材，但由于我有时不肯放弃自己“独创”的式样，甚至还给他们增添了更多的麻烦。经过我的朋友们的努力，如果还残留一些“独创”样式的痕迹的话，那责任在我而不在他们。

很多节的标题本来是想作为页边的摘要的，每一章的正文应该连贯地读下去。

关于借用的图版，我要感谢达林顿博士和《努力》的出版者（帝国化学工业有限公司）。图版上原有的说明都仍保留着，虽然许多细节与本文是无关的。

E.薛定谔

都柏林

1944 年 9 月

自由的人绝少思虑到死；他的智慧，不是死的默念，而是生的沉思。

（斯宾诺莎：《伦理学》，第四部分，命题 67）

## 第一章 古典物理学家对这个主题的探讨

“我思故我在。”——笛卡尔

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

## 1. 研究的一般性质和目的

这本小册子是一位理论物理学家对大约四百名听众作的一次公开讲演。虽然一开始就指出这是一个难懂的题目，而且即使很少使用物理学家最吓人的数学演绎法这个武器，讲演也不可能是很通俗的，可是听众基本上没有减少。其所以如此，并不是由于这个主题简单得不必用数学就可以解释了，而是因为问题太复杂了，以致不能完全用数学来表达。使得讲演至少听上去是通俗化的另一个特点是，讲演者力图把介于生物学和物理学之间的基本概念向生物学家和生物学家讲清楚。

实际上涉及的论题是多方面的，但整个任务只是打算说明一个想法——对一个重大的问题的一点小小的评论。为了不迷失我们的方向，预先很扼要地把计划勾画出来也许是有用的。

这个重大的和讨论得很多的问题是：

在一个生命有机体的空间范围内，在空间上和时间上发生的事件，如何用物理学和化学来解释？

这本小册子力求阐明和确立的初步答案概括如下：

当前的物理学和化学在解释这些问题时明显的无能为力，决不是成为怀疑这些事件可以用物理学和化学来解释的理由。

## 2. 统计物理学 结构上的根本差别

如果说过去的碌碌无为只是意味着激起未来获得成功的希望，那未免太轻描淡写了。它有着更为积极的意义，就是说，迄今为止，物理学和化学的这种无能为力已得到了充足的说明。

今天，由于生物学家，主要是遗传学家在最近三、四十年来的创造性工作，关于有机体的真实的物质结构及其功能的了解已经足以说明，并且是精确地说明现代的物理学和化学为什么还不能解释生命有机体内在空间上和时间上所发生的事件。

一个有机体的最要害部分的原子排列，以及这些排列的相互作用的方式，跟迄今被物理学家和化学家作为实验和理论对象的所有原子排列是根本不同的。除了深信物理学和化学的定律始终是统计学的哪些物理学家外，别的人会把我所说的这种根本差别看成是无足轻重的。这

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

是因为认为生命有机体的要害部分的结构，跟物理学家或化学家在实验室里、在书桌边用体力或脑力所处理的任何一种物质迥然不同的说法，是同统计学的观点有关的。因此，要把物理学家或化学家如此发现的定律和规则直接应用到一种系统的行为上去，而这个系统却又不表现出作为这些定律和规则的基础的结构，这几乎是难以想像的。

不能指望非物理学家能理解我刚才用那么抽象的词句所表达的“统计学结构”中的差别，更不必说去鉴别这些差别之间的关系了。为了叙述得更加有声有色，我先把后面要详细说明的内容提前讲一下，即一个活细胞的最重要的部分——染色体纤丝——可以恰当地称之为非周期性晶体。迄今为止，在物理学中我们碰到的只是周期性晶体。对于一位不高明的物理学家来说，周期性晶体已是十分有趣而复杂的东西了；它们构成了最有魅力和最复杂的一种物质结构，由于这些结构，无生命的自然界已经使得物理学家穷于应付了。可是，它们同非周期性晶体相比，还是相当简单而单调的。两者之间结构上的差别，就好比一张是一再重复出现同一种花纹的糊墙纸，另一幅是巧夺天工的刺绣，比如说，一条拉斐尔花毡，它显示的并不是单调的重复，而是那位大师绘制的一幅精致的、有条理的、有意义的图案。

我把周期性晶体称为他所研究的最复杂的对象之一时，我说的他是指物理学家本身。其实，有机化学家在研究越来越复杂的分子时，已经十分接近于那种“非周期性晶体”了，依我看来，那正是生命的物质载体。因此，有机化学家对生命问题已作出了重大贡献，而物理学家却几乎毫无作为，也就不足为奇了。

### 3. 朴素物理学家对这个主题的探讨

如此简要地说明了我们研究的基本观点——或者不如说是最终的范围——以后，让我来描述一下研究的途径。

首先我打算阐明你可能称之为“一个朴素物理学家关于有机体的观点”，就是说，一位物理学家可能会想到的那些观点。这位物理学家在学习了物理学，特别是物理学的统计学基础以后，他开始思考有机体的活动和功能的方式时，不免要扪心自问：根据他所学到的知识，根据他的比较简明而低级的科学观点，他能否对这个问题作出一些适当的贡献？

结果他是能够作出贡献的。下一步必须是他理论上的预见同生物学的事实作比较。于是，结果将说明他的观点大体上是通情达理的，但需要作一些修正。这样，我们将逐渐接近于正确的观点，或者谦虚点，将接近于我认为是正确的观点。

即使我在这一点上是正确的，我也不知道我的探索道路是否是一条真正的终南捷径。不过，这毕竟是我的道路。这位“朴素物理学家”就是我自己。除了我自己的这一条曲折的道路外，我找不到通往这个目标的捷径。

#### 4. 为什么原子是如此之小？

阐明“朴素物理学家的观点”的一个好方法是从这个可笑的、近乎是荒唐的问题开始的：为什么原子是如此之小？首先，它们确实是很小的。日常生活中碰到的每一小块物质都含有大量的原子。要使听众了解这个事实，曾经设想许多例子，但没有比凯尔文勋爵所用的一个例子能给人以更深刻的印象：假设你能给一杯水中的分子都做上标记，再把这杯水倒进海洋，然后彻底地加以搅拌，使得有标记的分子均匀地分布在全世界的所有海洋中；如果你在任何地方从海洋中舀出一杯水来，你将发现在这杯水中大约有一百个你标记过的分子。

原子的实际大小约在黄色光波长的  $1/5000$  到  $1/2000$  之间。这个比较是有意义的。因为波长粗略地指出了在显微镜下仍能辨认的最小粒子的大小。就拿这么小的粒子来说，它还含有几十亿个原子。

那么，为什么原子是如此之小呢？

这个问题显然是一种遁辞。因为这个问题的目的并不是真正在于原子的大小。它关心的是有机体的大小，特别是我们的肉体本身的大小。当我们以日常的长度单位，比如码或公尺作为量度时，原子确实是很小的。在原子物理学中，人们通常用所谓埃，即一公尺的一百亿分之一，或以十进位小数计算则是  $0.0000000001$  公尺。原子的直径在  $1$  到  $2$  埃的范围内。日常单位（对它而言，原子是如此之小）同我们身体的大小是密切相关的。有一个故事说，码是起源于一个英国国王的幽默。他的大臣问他采用什么单位，他就把手臂向旁边一伸说：“取我胸部中央到手指尖的距离就行了。”不管它是真是假，这个故事对我们来说是有意义的。这个国王很自然地会指出一个可以同他自己的身体相比较的长度，他知道其他任何东西都将是很不方便的。不管物理学家怎样偏爱“埃”这个单位，但当他做一件新衣服时，他还是喜欢别人告诉他新衣需用六码半花呢，而不是六百五十亿埃的花呢。

这样就确定了我们提出的问题的真正目的在于两种长度——我们身体的长度和原子的长度——的比例，而原子的长度具有独立存在的无可争辩的优越性，于是，应该这样提问题：同原子相比，我们的身体为什么一定要这么大？

我能够想像到，许多聪明的物理学和化学的学生会对下列引为憾事的，就是说，我们的每一个感觉器官，构成了我们身体上多少是有点重要的部分，因而（从所提到的比例大小来看），它们是由无数原子组成的，这些感觉器官对于单个原子的碰撞来说是过于粗糙了。单个原子我们是看不见，摸不到的。我们关于原子的假说远远不同于我们粗大迟钝的感官所直接发现的东西，而且也不能作直接考察的检验。

一定是那样的吗？还有没有内在的原因可以解释呢？为了确定并解释为什么感官不合乎自然界的这些定律，我们能从这种事态追溯到某种最重要的原理吗？

这是物理学家能够完全搞清楚的一个问题。对所有提问的回答都是肯定的。



## 5. 有机体的活动需要精确的物理学定律

如果有机体的感官不是这么迟钝，而且能敏锐地感觉到单个原子，或者即使是几个原子都能在我们的感官上产生一种可知觉的印象——天哪，生命将象个什么样子呢？有一点是要着重指出的：可以断言，一个那种样子的有机体是不可能发展出有秩序的思想的，这种有秩序的思想在经历了漫长的早期阶段后，终于在许多其他的观念中间形成了关于原子的观念。

尽管我们单单谈了上面这一点，下述的一些考虑对于大脑和感觉系统以外的各个器官的功能也是适用的。然而对我们自身来说，最感兴趣的唯一的一件事是：我们在感觉、思维和知觉。对于产生思想和感觉的生理过程来说，大脑和感觉系统以外的所有其他器官的功能只是起辅助作用，假如我们不是从纯客观的生物学观点来看，至少从人类的观点来看是如此的。此外，这将大大有利于我们去拣那种由主观事件紧密伴随着的过程来进行研究，尽管我们对这种紧密的平行现象的真正性质是一无所知的。其实，据我看来，那是超出了自然科学范围之外的，而且也许是完全超出了人类理解之外的。

于是，我们面临着下述问题：象我们的大脑这样的器官以及附属于它的感觉系统，为了使它的物理学上的变化状态密切地对应于高度发展的思想，为什么必须由大量的原子来构成呢？大脑及感官，作为一个整体的功能，或是在它直接同环境相互作用的某些外周部分中的功能，跟一台精巧而灵敏到足以反映并记录来自外界的单个原子的碰撞的机器相比，根据什么理由说它们是不相同的呢？

理由是，我们所说的思想（1）它本身是一个有秩序的东西，（2）只能应用于具有一定程度的秩序的材料，即知觉或经验。这有两种结果。第一，同思想密切对应的躯体组织（如密切对应于我的思想的我的头脑）一定是十分有秩序的组织，那就意味着在它内部发生的事件必须遵循严格的物理学定律，至少是有高度的准确性。第二，外界其他物体对于那个物理学上组织得很好的系统所产生的物理学印象，显然是对应于相应思想的知觉和经验的，构成了我所说的思想的材料——知觉和经验。因此，在我们的系统和别人的系统之间的物理学上的相互作用，一般来说，它们本身是具有某种程度的物理学秩序，就是说，它们也必须遵循严格的物理学定律并达到一定程度的准确性。

## 6. 物理学定律是以原子统计学为根据的，因而只是近似的

仅由少量原子构成的，对于一个或几个原子的碰撞就已经是敏感的有机体，为什么也还是不

能实现上述的一切呢？

因为我们知道，所有的原子每时每刻都在进行着毫无秩序的热运动，就是说，这种运动抵消了它们的有秩序的行动，使得发生在少量原子之间的事件不能按照任何已知的定律表现出来。只有在无数的原子的合作中，统计学定律才开始影响和控制这些集合体的行为，它的精确性随着包括的原子数目的增加而增加。发生的事件就是通过那样的途径获得了真正有秩序的特征。现已知道，在生命有机体中起重要作用的所有物理学和化学的定律都是这种统计学的定律；人们所能想到的任何其他种类的规律性和秩序性，总是被原子的不停的运动所扰乱，或是被搞得不起作用。

## 7. 它们的精确性是以大量原子的介入为基础的。第一个例子（顺磁性）

我想用几个例子来说明这一点。这是从许多例子中随便举出几个，对于初次了解事物的这种状态的读者来说，不一定正好就是他最满意的例子。这里所说的事物的这种状态在现代物理学和化学中是基本的，就象生物学中的有机体是细胞组成的，或天文学中的牛顿定律，甚至象数学中的整数序列 1,2,3,4,5……等基本事实一样。不应该指望一位十足的外行人读了下面几页就能十分理解和领会这个问题，这个问题是同路德维希·玻尔兹曼和威拉德·吉布斯的光辉名字联在一起的，在教科书中称之为“统计热力学”。

如果你在一个长方形的水晶管里充氧，并把它放入磁场，你会发现气体被磁化了。这种磁化是由于氧分子是一些小的磁体，它们象罗盘针似的有着使自己与磁场平行的趋向。可是你千万别认为它们全都转向了平行。因为如果你把磁场加倍，氧气中的磁化作用也会加倍，磁化作用随着你用的场强而增加，这种按比例的增加可以达到极高的场强。

这是纯粹统计学定律的一个特别清楚的例子。磁场要产生的取向不断地遭到随机取向的热运动的对抗。这样斗争的结果，实际上只是使偶极轴同场之间的锐角比钝角稍占优势。虽然单个原子在不断地改变它们的取向，然而平均地来看（由于它们的数量巨大），一种朝着场的方向并与之成比例的取向稍占优势。这一创造性的解释是法国物理学家 P.郎之万作出的。它可以用下面的方法来验证。如果观察到的弱磁化确是对抗趋势的结果，就是说，如果确是梳理了所有分子使之平行的磁场、同随机取向的热运动的对抗趋势的结果，那就应该有可能通过减弱热运动来增强磁化作用，即用降低温度来代替加强磁场。实验已经证明了这一点，实验结果是磁化与绝对温度成反比，与理论（居里定律）是定量地相符的。现代的设备甚至能使我们通过降低温度把热运动减低到如此的不明显，以致能够表现出磁场自己的取向趋势，如果不是完全地表现，至少也足以产生“完全磁化”的一个实质性部分。在这种情况下，我们不再指望场强加倍会使磁化加倍；而是随着场的增强，磁化的增强越来越少，接近于所谓的“饱和”。这个预期也定量地被实验所证实了。

要注意的是，这种情况完全依赖于产生可观察的磁化时进行合作的分子的巨大数量。否则，磁化就根本不会是恒定的，而将是无时无刻都在十分不规则地变化的，成为热运动同场之间

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

相互抗衡消长的见证。

## 8. 第二个例子（布朗运动，扩散）

如果你把微滴组成的雾装进一个密封的玻璃容器的底部，你将发现雾的上面的界限在按一定的速度逐渐下沉。这种速度取决于空气的粘度和微滴的大小和比重。可是，如果你在显微下注视一粒微滴，你会发现它并不一直以恒定的速度在下沉，而是在作一种十分不规则的运动，即所谓布朗运动，只有平均地看，这种运动才相当于一种有规则的下沉。

这些微滴并不是原子，可是它们既小又轻，足以感觉到不断碰撞敲击它表面的分子中间单个分子的碰撞。它们就是这样地碰撞着，只是从平均来说才服从重力的影响。

这个例子说明，如果我们的感官也能感觉到只是几个分子的碰撞，那我们将会有多么莫名其妙和杂乱无章的经验呀。细菌和其他一些有机体是这么小，以致是受到这种现象的强烈影响的。它们的运动是由周围环境中的热的倏忽变动所决定的，它们自己没有选择的余地。如果它们自己有一点动力，它们还是有可能成功地从一处移到另一处，但是这还是有点困难的，因为热运动颠簸着它们，使它们象飘浮在汹涌大海中的一叶扁舟。

非常类似于布朗运动的一种现象是扩散现象。在一只装满液体，比如装满水的容器中，溶解少量的有色物质，比如高锰酸钾，并使浓度不完全一样。如果你对这个系统放手不管，那么就开始了很缓慢的“扩散”过程。高锰酸钾将从高浓度的地方向低浓度的地方散布，直到均匀地分布于水中为止。

关于这个简单的、显然不是特别有趣的过程来说，值得注意的是，决不是象人们所想像的那样，是由任何一种趋向或力量驱使高锰酸钾分子从稠密的地区迁到稀疏的地区——就象一个国家的人口分散到有更多活动余地的地区那样。在高锰酸钾分子那里，根本没有发生那样的事情。每一个高锰酸钾分子对所有其他的高锰酸钾分子来说，是完全独立地行动着，它很少彼此相碰。可是，每一个高锰酸钾分子，无论是在稠密的地区，还是在空旷的地区，都遭到水分子的不断撞击的同样命运，从而以一种不可预测的方向逐渐地向前移动——有时朝高浓度的方向，有时朝低浓度的方向，有时则是斜刺里移动。这种运动，常常同蒙住眼睛的人的活动相比拟。这个蒙住眼睛的人站在地面上，充满了某种“走路”的欲望，可是并没有选定任何特定的方向，因而不断地在变动着他的路线。

尽管所有的高锰酸钾分子都是这样随机地走动，还是产生了一种有规则的朝低浓度方向的流动，最后造成了均匀的分布，乍看起来，这是令人困惑不解的——但仅仅是乍看起来而已。如果你把它想像为一层层浓度几乎恒定的薄片，某一瞬间某一薄片所含的高锰酸钾分子，由于它们的随机走动，确实将以相等的几率被带到右边或左边去。但正是由于这一点，一个隔着二块相邻薄片的平面上通过的分子，来自左面的比来自右面的要多，这只是由于左面比右面有更多的分子在从事随机行走的缘故。只要是这种情况，平均将表现为一种自左到右的有



小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

规则的流动，直到均匀分布。

把这些想法译成数学语言时，精确的扩散定律可用偏微分方程来表达，我不打算解释这个方程式来麻烦读者，虽然它的含义用普通语言来说也是很简单的。这里之所以提到严格的“数学上精确的”定律，是为了强调它的物理学的精确性在每一项具体应用上一定还会受到挑战的。由于它是以纯机遇为根据的，所以它的正确性只是近似的。一般地说，如果它是一个极好的近似值，那也只是在扩散现象中有无数分子的合作的缘故。我们要预先考虑到，分子的数目愈少，偶然的偏差就愈大——在适合的条件下，这是可以观察到的。

## 9. 第三个例子（测量准确性的限度）

我要举的最后一个例子同第二个例子是类似的，但它有特殊意义。悬挂在一根细长纤丝上的平衡取向的轻物体，用电力、磁力或重力使它围绕垂直轴扭转，物理学家常用这种方法来测量使它偏离平衡位置的微弱的力（当然，这种轻物体必须视具体目的而适当地选用）。在不断努力改进这种常用的“扭力天平”的准确度时，遇到了一个奇妙的极限，极限本身是极其有趣的。选用愈来愈轻的物体和更细更长的纤丝——使这个天平能够感应愈来愈弱的力——当悬挂的物体愈明显地感受到周围分子的热运动的冲击，而在它的平衡位置附近开始进行象第二个例子中的微滴的颤动那样一种不停的、不规则的“舞蹈”时，就达到了极限。虽然这种动作并没有给天平的测量准确性设置绝对极限，但它却建立了一个实际上的极限。热运动的不可控制的效应同被测量的力的效应相竞争，从而使这个观察到的单个的偏差变得无意义了。为了消除你的仪器的布朗运动的影响，你必须作多次的观察。我想，在我们目前的研究中，这个例子是特别有启发的。因为我们的感觉器官毕竟是一种仪器。如果它变得太灵敏，我们将看到它将是多么的无用。

## 10. 根号 $n$ 律

暂且举这么多例子吧。我只想再补充一点，那些同有机体内部有关的，或同有机体与环境相互作用有关的物理学或化学定律，没有有关是不能被我们选作例子的。详细的解释也许要更复杂些，但要点总还是一样的因此再举这些例子就会变得千篇一律了。

但是，关于任何一个物理学定律都会有有的不准确性，我想补充一点非常重要的、定量的说明。即所谓的根号  $n$  律。我先用一个简单例子来说明，然后再进行概括。

如果我告诉你，某一种气体在一定的压力和温度下具有一定的密度，以及如果我换一种说法，

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

即在那些条件下，在一定的体积内（体积大小适于实验需要）正好有  $n$  个气体分子，那么你可以确信，如果你能在某一瞬间检验我的说法，你将会发现它是不准确的，偏差将是根号  $n$  这一级。因此，如果数目  $n=100$ ，你将发现偏差大约是 10，于是相对误差=10%。可是，如果  $n=1000000$ ，你多半会发现偏差大约是 1000，相对误差=0.1%。粗略地说，这个统计学定律是很普遍的。物理学和物理化学定律的不准确性在根号  $n$  分之一这一可能的相对误差之内，那里的  $n$  是进行合作以引起该定律——对某些想法或某种具体实验来说，在有重要关系的空间或时间（或两者）的范围内，使该定律产生它的作用——的分子数目。

由此，你们又一次看到了，一个有机体为了使它的内部生命和它同外部世界的相互作用，都能分享到很精确的定律的好处，它就必须有一个相当巨大的结构。不然的话，进行合作的粒子数将是太少了，“定律”也就太不准确了。特别迫切需要的是平方根。因为尽管一百万是一个相当大的数目，可是如果精确性只有千分之一，那么，对一个要宣称自己具有“自然界定律”的尊严的事物来说，并不是太好的。

## 第二章 遗传机制

存在是永恒的；因为有许多法制保存了生命的宝藏；而宇宙从这些宝藏中汲取了美。

——歌德

### 11. 古典物理学家的设想决不是无关紧要的，而且是错误的

于是，我们得到的结论是，一个有机体和它经历的全部生物学的有关过程，必须具有极其多的“多原子”结构，必须防止偶然的“单原子”事件起到太重大的作用。“朴素物理学家”告诉我们那是必要的，所以有机体可以具有足够精确的物理学定律，并依这些定律建立它的很有规律和很有秩序的功能。从生物学来说，这些先验地得出的（就是说，从纯粹的物理学观点得出的“结论，如何去符合实际的生物学事实呢？

乍看起来，人们往往认为这个结论是无关紧要的。比如说，三十年前的生物学家也许已经讲过这一点了，可是，对于强调统计物理学对有机体的重要性不亚于其他方面的通俗讲演者来说，这个结论还是十分合适的，但实际上这也不过是人所共知的道路而已。因为任何高等生物的成年个体不仅是它的躯体，而且是组成躯体的每一个单细胞都包含着“天文数字”的各种单原子。我们观察的每一个具体的生理过程，不论在细胞内或在细胞同周围环境的相互作用中，看来是——或者三十年前已经认为是——包含了这么多的单原子和单原子过程，这就

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

保证了物理学和物理化学有关定律的有效性，即使按照统计物理学关于“大量数目”的严格要求，也能保证定律的有效性；这种严格要求就是我现在用根号  $n$  律所说明的。

如今，我们知道这个意见是错误的。正如我们即将明白的，有许多小得不可思议的原子团，小到不足以显示精确的统计学定律，可是在生命有机体内，它们对极有秩序和极有规律的事件确实起着支配作用。它们控制着有机体功能的重要特征；在所有这些情况下，显示了十分确定而严格的生物学定律。

我必须开始概要地讲一下生物学，特别是遗传学的情况；换句话说，我必须简要地说明这门科学的现状，可是我对这门科学不是内行。但我不得不这么做，很抱歉，特别是对任何一位生物学家来说，我讲的是外行话。另一方面，请允许我多少带点教条式地向你们介绍流行的观点。不能指望一个蹩脚的理论物理学家能对实验材料作出任何象样而全面的评述，这些实验材料，一方面来自大量的、长期积累的、无比机智的繁育试验；另一方面，来自最精密的现代显微镜技术对活细胞的直接观察。

## 12. 遗传的密码正本（染色体）

让我在生物学家称之为“四维模式”的意义上使用有机体的“模式”这个词，它不仅是指成年有机体的、或任何其他发育阶段上的有机体的结构和功能，而且是指有机体开始繁殖自身时，从受精卵到成年阶段的个体发育的全过程。整个四维模式已知是由受精卵的结构决定的。此外，我们知道，主要是由受精卵的很小一部分结构，即它的细胞核决定的。这个细胞核在细胞的正常“休止期”内，往往表现为网状染色质，分散在细胞内。但在极其重要的细胞分裂（有丝分裂和减数分裂，见下文）过程中，可以观察到由一组颗粒构成的、常常呈纤维状或棒状的叫做染色体的东西，它的数目是 8 个或 12 个，人是 48 个。但是，我应该把数字写成  $2 \times 4$ ， $2 \times 6 \cdots \cdots 2 \times 24 \cdots \cdots$ ，并且按照生物学家习惯意义上的用词，我应该称之为两套染色体。单个染色体，有时虽然可以从它的形状和大小，清楚地加以区分和单个地加以辨认，但是，两套染色体几乎是一模一样的。我们马上就会明白，一套来自母体（卵细胞），一套来自父体（精子）。这些染色体也许只不过是我们在显微镜下看到的、被当作是染色体的一种轴状骨架纤丝，它把个体未来发育的全部模式，和个体在成年时的机能的全部模式都包含在一种密码正本里。每一整套染色体都含有全部密码；因此，一般说来，作为未来个体的最初阶段的受精卵里有着密码的两个副本。

我们把染色体纤丝的结构称为密码正本时，我们的意思是说，拉普拉斯曾经陈述过一种直接揭示每一个因果关系的、洞察一切的思想，根据卵的结构就能告诉你在适宜的条件下，这个卵将发育成一只黑公鸡还是一只芦花母鸡，是长成一只苍蝇还是一棵玉米，一株石南，一只甲虫，一只老鼠或是一个女女人。我们还可以再补充一点，那就是卵细胞的外观是非常相似的；即使外观不相似，比如鸟类和爬虫类的卵就比较大，可是在与密码有关的结构上的差别并没有象营养物质的差别那么大。在这些卵中，营养物质是由于不言而喻的原因而增多的。

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

当然，“密码正本”这个名词太狭隘了。因为染色体结构同时也是促使卵细胞未来发育的工具。它是法典与行政权力的统一，或者用另一个比喻来说，是建筑师的设计同建筑工人的技艺的统一。

### 13. 身体通过细胞分裂（有丝分裂）而生长

在个体发育中，染色体是怎样行动的呢？

一个有机体的生长是由连续的细胞分裂所引起的。这样的细胞分裂叫做有丝分裂。考虑到我们的身体是由无数个细胞组成的，所以，在一个细胞的生命中，有丝分裂并不象人们所想的那样一种十分经常的事件。开始时生长是很快的。卵细胞分成两个子细胞，下一步发育成四个细胞，然后是 8, 16, 32, 64……等等。正在生长的身体的各个部分中，分裂频率并不是完全相同的，那样就会打破这些细胞数目的规则性。我们通过简单的计算便可推断出。平均只要 50 或 60 次连续的分裂，便足以产生出一个成人的细胞数，或者是这个细胞数的十倍，那就是把一生中细胞的更替也考虑在内了。因此，我的一个体细胞，平均来说，只是变成我的那个卵细胞的第五十代或第六十代的“后代”。

### 14. 在有丝分裂中每个染色体是被复制的

在有丝分裂中每个染色体是怎样行动的呢？它们是被复制了，两套染色体和密码的两个副本都是被复制了。这个过程在显微镜下已作了详尽的研究，并且是极其有趣的，可是它涉及的面太广，在这里不能一一细说了。突出的一点是：两个“子细胞”中的每一个都得到了跟亲细胞完全相似的、更完全的两套染色体的嫁妆。就染色体的宝库来说，所有的体细胞都是完全一样的。

我们对这种机构虽然了解得很少，但我们不能不认为，它一定是通过某种途径同有机体的机能密切相关的，因为每个单细胞，甚至是不太重要的单细胞，都具有密码正本的全套（两份）副本。不久以前，我们在报上看到蒙哥马利将军在非洲战役中，要他麾下的每一个士兵都仔细了解他的全部作战计划。如果确是那样的话（考虑到他的部队有高度的才能和可以充分信赖，看来这可能是真实的），它为我的例子提供了一个绝妙的类比，在这个类比中，相应的事实都是完全真实的。最令人惊异的是在整个有丝分裂中，始终保持着两套染色体。这是人们揭示的最令人惊奇的遗传机制的明显特点，只有在我们接下去要讨论的那种情况中，才偏离了这种规律。

## 15. 减数分裂和受精（配子配合）

就在个体开始发育以后，有一团细胞保留着，以便在发育后期产生出成年个体繁殖所需的所谓配子，至于是精细胞或卵细胞，这要根据情况而定。“保留”的意思是指它们在这段时期内不用于其他目的，以及进行很少几次有丝分裂。例外的或减数的分裂（称为减数分裂），是这样一种分裂，就是在成年阶段，这些保留的细胞通过减数分裂最后产生了配子，一般只是在配子配合发生以前的很短时间内才有这种分裂。在减数分裂中，亲细胞的两套染色体简单地分成二组，其中一组染色体进入二个子细胞中的一个，就是进入了配子。换句话说，减数分裂并不象有丝分裂那样地发生染色体数目的加倍而使染色体数目保持不变，因此每个配子收到的只有一半，就是说，只有密码的一个完整的副本而不是两个，例如人只有 24 个，而不是  $2 \times 24 = 48$  个。

只有一个染色体组的细胞叫做单倍体（来自希腊文，单一）。因此，配子是单倍体，通常的体细胞是二倍体（来自希腊文，双份）。有三组、四组染色体，……或通常所说的在体细胞里有时有许多染色体组的个体，就称之为三倍体、四倍体……多倍体。

在配子配合中雄配子（精子）和雌配子（卵）都是单倍体，结合形成的受精卵，是二倍体。它的染色体组，一个来自母体，一个来自父体。

## 16. 单倍体个体

还有一点需要加以纠正。这一点对于我们的研究目的来说，虽然不是必不可少的，但却是很意思的，因为它表明，每一套染色体组包含了“模式”的确实是相当齐全密码正本。

也有一些例子说明减数分裂后并不立即受精的，单倍体细胞（“配子”）经历了多次有丝分裂，结果产生了全是单倍体的个体。雄蜂是没有父亲的！它所有的体细胞都是单倍体。如果你愿意的话，你可以叫它是一个大大扩大了精子；事实上，也正如大家所知道的，起这样的作用正是雄蜂一生中的唯一任务。可是，这也许是一种荒谬的观点。因为这种情况并不是独一无二的。好多种植物，通过减数分裂产生单倍体配子，或称之为孢子，孢子落在地上就象一粒种子，发育成真正的单倍体植物，它的大小可以同二倍体相比拟。苔藓植物长有叶片的底部是单倍体植物，叫配子体，因为在它的顶端发育了性器官和配子，配子通过相互受精按通常的方式产生了二倍体植物，在裸露的茎的顶部生有孢子囊。通过减数分裂，在顶端的孢子囊中产生孢子，所以这个二倍体植物称为孢子体。当孢子囊张开时，孢子落地发育成长为有叶片的茎，如此等等。这个事件的过程称为世代交替。只要你愿意，你可以认为人和动物也



小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

是如此的。不过“配子体”一般是寿命极短的单细胞一代，至于是精子还是卵子那看情况而定。我们的身体相当于孢子体。我们的“孢子”是保留的细胞，通过这些细胞的减数分裂产生出单细胞的一代。

## 17. 减数分裂的显著关系

在个体繁殖过程中，重要的、真正是决定命运的事件并不是受精而是减数分裂。一组染色体来自父亲，另一组来自母亲。不论是机遇还是天意都无法干预这一事件。每个男人正好是一半遗传了他的母亲，一半遗传了他的父亲。至于有时是母系占优势，有时是父系占优势，那是由于另外一些原因，这些原因在后面会讲到的（当然，性别本身也就是这种优势的最简单例子）。

可是，当你把你的遗传起源追溯到你祖父母的时候，情况就不同了。让我盯住我父亲的那一套染色体，特别是其中的一条，比如说第五号染色体。这条染色体或是我父亲从他父亲那里得到的第五号染色体的精确复制品，或者是我父亲从他的母亲那里得到的第五号染色体的精确复制品。1886 年 11 月在父亲体内发生了减数分裂并产生了精子，几天以后，精子就在我的诞生中起作用了，究竟是哪一个精确复制品包含在精子里，机遇是 50：50。关于我父亲的染色体组中的第 1, 2, 3……24 号染色体都是这种情况，而我母亲的每一条染色体也同样是如此。此外，所有 48 条染色体都是各自独立的。即使我们知道我父亲的第五号染色体来自我祖父约瑟夫·薛定谔，而第七号染色体究竟是来自我的祖父还是来自我的祖母玛丽·尼玻格娜的机会还是相等的。

## 18. 交换。特性的定位

根据以上所说，已经是默认了、或者可以说是明确地表明了一个具体的染色体是作为一个整体，或者来自祖父，或者来自祖母。换句话说，单个染色体是整个地传递下去的。可是，在后代中却有更多的机会出现祖父母遗传性的混合。事实上，染色体并不是、或者说并不是总是整个地传递下去的。在减数分裂中，比如说，在父体内的一次减数分裂中，染色体分离以前，两条“同源”染色体彼此紧靠在一起，在这段时间里，它们有时是整段地进行交换。通过这种叫做“交换”的过程，分别位于染色体不同部位上的两个特性，就会在孙儿女那一代分离，这时，孙儿女将是一个特性象祖父，另一个特性象祖母。这种既不罕见也不经常的交换的事实，yi 为我们提供了特性在染色体上的位置的宝贵的信息。如要作全面的说明，我们就要在讲下一章之前引进许多没有介绍过的概念（如杂合性，显性等），这就超过了这本小册子的范围了，所以我只谈一下要点。

假如没有交换，由同一条染色体负责的两个特性将永远是一起遗传给下一代，没有一个后代会接受了其中的一个特性而不连同接受另一个特性的；可是，由不同的染色体负责的两个特性，将或者以 50：50 的机遇被分开，或者是必然地被分开。当两个特性位于同一祖先的同源染色体上的时候，那就是后一种情况，因为这种染色体是永远不会一起传给下代的。

交换打乱了这些规律和机遇。根据精心设计的广泛的繁育试验，仔细地记录后代特性的组成百分数，就可确定交换的几率。人们在作了统计分析后接受了所建议的工作假设，即位于同一条染色体上的两个特性之间的“连锁”被交换打断的次数愈少，则它们彼此靠得愈近。这是因为在它们之间形成交换点的机会少了，而位于染色体另一端上的特性，就会被每一次交换所分离（这个道理，同样适用于位于同一祖先的同源染色体上的特性的重新组合）。用这种方法，人们可以期望根据“连锁的统计”，画出每一条染色体的“特性图”。

这种预期已完全得到证实。在经过充分试验的一些材料中（主要是果蝇，但不仅是果蝇），受试验的特性确实是分成了几个群，群与群之间没有连锁，几个群就象是几条不同的染色体（果蝇有四条染色体）。每个群内可以画出特性的直线图，这个图可以定量地说明该群内任何两个性状之间连锁的程度，所以这些特性无疑是定位的，而且是沿着一条直线定位的，就象所建议的棒状染色体。

当然，这里描绘的遗传机制的图式还是相当空洞而平淡的，甚至是有点质朴的。因为我们并没有说出，我们通过一个特性究竟了解到了什么。把本质上是个统一“整体”的有机体模式，分割成个别的“特性”，这看来既是不妥当的，也是不可能的。现在，我们在任何具体事例中实际说明的是，一对祖先如在某个方面确实存在着差别（比如，一个是蓝眼睛，另一个是棕色眼睛），那么，他们的后代，不是继承这一个就是继承另一个。在染色体上我们所定位的就是这种差别的位置（专门术语称之为“位点”）。我认为，真正的基本概念是特性的差别，而不是特性本身，尽管这样的说法有着明显的语言上和逻辑上的矛盾。特性的差别实际上是不连续的，下一章谈突变的时候，会谈到这一点，我希望到那个时候，迄今所提到的枯燥乏味的图式将变得较有生气和丰富多彩。

## 19.基因的最大体积

我们刚才已经介绍了基因这个名词，把它作为一定的遗传特性的假定性的物质载体。现在要着重讲两点，这对我们的研究是有重大关系的。第一，是这种载体的体积，或者更确切地说，它的最大体积；换句话说，我们对它的定位可以达到多小的体积？第二，是从遗传模式的持久性推论得出的基因的不变性。

关于体积，有两种完全不同的估计方法。一种是根据遗传学的证据（繁育试验），另一种是根据细胞学的证据（直接的显微镜观察）。第一种估计在原理上是很简单的。就是用上面讲过的方法，把某一条特定的染色体的各种不同的（宏观的）特性（就以果蝇为例）在染色体

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

上定位以后，测量那条染色体的长度并除以特性的数目，在乘以染色体的横截面，就得出了我们所需要的估计数。当然，由于被我们算作是不同的特性，仅仅是被交换所偶然分离的那些特性，所以它们的（显微的或分子的）结构不会是一样的。另一方面，我们的估计数显然只能得出最大的体积，这是因为通过遗传学分析而分离出来的特性数目，将随研究工作的进行而不断增加的。

另一种估计，尽管是根据显微镜的观察，实际上也远远不是直接的估计。果蝇的某些细胞（即它的唾腺细胞），由于某种原因是大大地增大了的，它们的染色体也是如此。在这些染色体上，你可以分辨出纤丝上的深色横纹的密集图案。C.D.达林顿曾经说过，这些横纹的数目（他当时说是 2000 个）虽然比较多，但大体上等于用繁育试验得出的、位于染色体上的基因数。他倾向于认为，这些横纹带是标明了实际的基因（或基因的分离）。在一个体积正常的细胞里测得的染色体长度，除以横纹的数目（2000），他发现一个基因的体积等于边长为 300 埃的一个立方体。考虑到估计是很粗糙的，我们可以认为这跟第一种方法算出的体积是差不多的。

## 20. 很少的数量

我想起了在下面要充分讨论的是统计物理学对于所有事实的关系——也许我应该说，是这些事实对于统计物理学应用于活细胞的关系。不过让我们注意到应该事实，即在液体或固体中，300 埃大约只有 100 个或 150 个原子距离，所以，应该基因包含的原子，肯定不会超过一百万个或几百万个。要遗传一种遵循统计物理学的，而且也是遵循物理学的有秩序、有规律的行为，这个数目是太少了（是从根号  $n$  观点来看）。即使所有这些原子全都是起相同的作用，就象它们在气体中、或在一滴液体中那样，这个数目还是太小了。基因肯定不是一滴均匀的液体，它也许是一个大的蛋白质分子，分子中的每一个原子，每一个自由基，每一个杂合环都起着各自的作用，同任何一个相似的原子、自由基或环所起的作用，多少是有些不同的。总之，这是霍尔顿和达林顿这些遗传学权威的意见，我们马上就要引用十分接近于证明这种意见的遗传学试验。

## 21. 不变性

现在让我们转到第二个有重大关系的问题上：在遗传特性上我们碰到的不变性的程度有多大，由此，我们必须把什么东西作为携带它们的物质结构呢？

回答这个问题是无需作专门研究的。就拿我们谈到了遗传特性这个事实来说，就已经表明我

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

们是承认了不变性几乎是绝对的。我们千万不要忘记，父母传给子女的并不是这个或者那个特征，比如鹰沟鼻、短手指、患风湿症、血友病、二色眼的倾向等。我们可以很方便地选这些特征来研究遗传规律。可是，这种特征实际上是“表现型”的整个（四维的）模式，是个体的可见的、一目了然的性质，它们没有什么明显的改变而被复制了好几代，它们在几个世纪里是不变的——虽然不能说是几万年不变——在每次传递中，负载它们的是结合生成受精卵的两个细胞的物质结构。这真是个奇迹。只有一个奇迹更伟大；如果它同我们所说的奇迹是密切有关的话，那也是在不同水平上的奇迹。我指的是这个事实：我们的全部存在，完全是依靠这种奇迹的奇妙的相互作用，但我们是有能力去获得有关这种奇迹的许多知识的。把这种知识推进到几乎能完全了解第一个奇迹，我想这是可能的。第二个奇迹则可能是超越人类理解之上了。

### 第三章 突变

变幻无常的现象徘徊着，你将定于永恒的思想。

——歌德

#### 22. “跃迁式”的突变——自然选择的工作基地

刚才为论证基因结构的持久性而提出的一般事实，对我们来说也许是司空见惯的，显而易见的，或者可以认为是令人信服的。这里再一次证明了确如俗话说的例外证明法则。如果子女同父母之间的相似性没有什么例外的话，那么，我们不但会失去向我们揭示出详见的遗传机制的那些漂亮的试验，而且也就不存在通过自然选择和适者生存来形成物种的、自然界的规模无比宏大的试验。

我把最后提到的这一个问题，作为介绍有关的一些事实的开端——很抱歉，我再声明一下，我不是个生物学家。

今天我们已经明确地知道，达尔文是错误地把即使在最纯的群体里也会出现的细微的、连续的、偶然的变异，当作是自然选择的材料。因为已经证明，这些变异不是遗传的。这个事实很重要，值得作简要的说明。如果你拿来一捆纯种大麦，一个麦穗一个麦穗地测量它们的麦芒的长度，并根据统计数字作图，你将会得到一条钟状的曲线。换句话说，一定的中等长度占优势，以一定的概率向二个方向偏离。现在把一组麦芒明显超过平均长度的麦穗拿出来，麦穗的数目足够在地里播种并长出新的作物。对新长出的大麦作同样的统计时，我想，达尔

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

文是会发现向右方移动的相应的曲线的。换句话说，他可以期待通过选择来增加麦芒的平均长度。如果用的是真正纯种繁育的大麦品系，就不会是这种情况。从选出来播种的大麦的后代那里得到的新的统计曲线，跟第一条曲线将是完全一样的，即使选麦芒特别短的麦穗作种子，也将是完全一样的。因为细微的、连续的变异不是遗传的，所以选择没有效果。它们显然不是以遗传物质的结构为基础的，而是偶然出现的。可是，在四十多年前，荷兰人德弗里斯发现，即使是完全纯种繁育的原种的后代里，也有极少数的个体，比如说几万分之一、二、三，出现了细微的但是“跃迁式”的变化。“跃迁式”，并不是说这个变化是相当大的，而是说这是一种不连续的变化，在未变和少许改变之间没有中间形式。德弗里斯称之为突变。重要的事实是不连续性。这使我想起了量子论物理学家——在两个相邻的能级之间不发生中间能量。打个比喻说，德弗里斯的突变论，不妨称为生物学的量子论。以后我们将会明白这可不是比喻。突变论实际上是由于基因分子中的量子跃迁所引起的。1902 年，当德弗里斯第一次发表他的发现时，量子论的问世还不过二年时间。因此，要由另一代去发现它们之间的密切联系，是不足为怪的！

## 23. 它们生育一模一样的后代，即它们是完全地遗传下来了

突变同原始的、未变的特性一样，也是丝毫不爽地遗传下去的。比如，上面讲到的大麦的第一次收获中，会出现少量的麦穗的麦芒长度大大超过了变异范围，比如说是完全无芒。它们可以代表一种德弗里斯突变，并将生育出一模一样的后代，就是说，它们的所有后代全都是无芒的。

因此，突变肯定是因此宝库中的一种变化，而且必须用遗传物质中的某些变化来说明它。实际上，向我们揭示了遗传机制的重要繁育试验，绝大多数就是按照一个预定的计划，把突变的（或者，在很多情况下是多突变的）个体同未突变的或不同突变的个体杂交，尔后仔细分析杂交后代。另一方面，由于突变繁育模样相同的后代，所以突变是达尔文描述的、通过不适者淘汰、最适者生存而产生物种的自然选择的合适材料。在达尔文的学说里，你恰恰必须用“突变”来代替他的“细微的偶然变异”（正如在量子论中用“量子跃迁”来代替“能量的连续转移”），如果我是正确地表述了大多数生物学家所持的观点，那么，达尔文学说的其他方面是不需要作什么修改的。

## 24. 定位。隐性和显性

现在我们将稍为教条式地对突变的一些其他的基本事实和概念作一番评论，而不是直接地说明它们是怎样一个接一个地来源于实验的证据。



我们可以认为，一个确实观察到的突变，是一条染色体在一定区域内的一个变化所引起的。它确是如此。我们很肯定地知道这只是一条染色体里的一个变化，在同源染色体的对应的“位点”上并没有发生变化，说明这一点是很重要的。当突变个体（通常称为“突变体”）同一个非突变个体杂交时，事实表明只有一条染色体受到影响。因为后代中正好有一半显现出突变体的性状，另一半则是正常的。那是可以预期的，是突变体减数分裂时两条染色体分离的结果。要知道，如果突变体的两条染色体都受到影响，那么，它的子女全都会得到同一种（混合的）遗传性，这是既不同于他们的父亲，也不同于他们的母亲的遗传性。

可是，在这个领域里进行实验可不象我们刚才说的那么简单。它由于第二个重要事实，即由于突变经常是潜在的而变得复杂化了。这是什么意思呢？

在突变体里，两份“遗传密码正本的副本”不再是完全一样了；不管怎样，在突变的地方是两个不同的“读本”或“译本”了。也许应该立即指出的是，有时会想到把原始的译本看作是“正统的”，把突变体译本看作是“异端的”，那是完全错误的。原则上，我们必须认为它们的存在是有同等权利的——因为正常的性状也是起源于突变的。

一般说来，实际上发生的是，个体的“模式”不是仿效这个译本，便是仿效另一个译本，这些译本可以是正常的，也可以是突变的。被仿效的译本叫做显性，另一个则叫做隐性；换句话说，根据突变是否直接影响到模式的改变，称之为显性突变或隐性突变。

隐性突变甚至比显性突变更频繁，而且是十分重要的，尽管一开始它一点也不表现出来。一定要在两条染色体上都出现了隐性突变才会影响到模式。当两个等位的隐性突变体相互杂交，或一个突变体自交时，就能产生这样的个体；这在雌雄同株的植物里是可能的，甚至是自发产生的。只要稍微注意一下就可看到，在这种情况下，后代中大约有四分之一是属于这种类型的，而且明显地表现出突变的模式。

## 25. 介绍一些术语

为了讲清楚问题，我想在这里解释一些术语。因为当我讲到“密码正本的译本”——原始的译本或突变体的译本时，已经用了“等位基因”这一术语了。在译本不同时，就那个位点而言，这个个体是杂合的。假如它们是等位的，例如非突变个体，则叫做纯合的。这样，只有当它是纯合的时候，一个隐性的等位基因才会影响到模式。可是一个显性的等位基因，不管它是纯合的，或者只是杂合的，都产生相同的模式。

有色对于无色（或白色）来讲，往往是显性。比如，豌豆只有在它的两个有关的染色体里，存在着“负责白色的隐性等位基因”时，也就是在它是“对白色纯合的”时候，才会开白花；于是它将繁育同样的后代，它们的后代全部是开白花的。可是，一个“红色等位基因”（另一个基因是白色的，也就是“杂合的”）就会使它开红花。两个红色等位基因（“纯合的”）

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

也是开红花。后面这两种情况的区别，只是在后代中才显露出来，因为杂合的红色会产生一些开白花的后代，纯合的红色将只产生开红花的后代。

由于两个个体在外观上可能十分相似，但它们的遗传性却不相同，这个事实是如此重要，所以需要严格地予以区分。遗传学家的说法是它们具有相同的表现型，但遗传型是不同的。于是，前面几节的内容可以作这样简短的，但是非常专门的概括：

只有当遗传型是纯合的时候，隐性等位基因才能影响表现型。

我们偶而会用到这些专门性的说法，必要时将再向读者说明其含义。

## 26. 近亲繁殖的有害效应

隐性突变只要它们是杂合的，自然选择对它们当然是不起作用的。如果它们是有害的，而突变通常又都是有害的，由于它们是潜在的，所以它们是不会被消除的。因此，大量的不利突变可以积累起来而并不立即造成损害。可是，它们一定会传递给后代中的半数个体，这对人、家畜、家禽或我们直接关心其优良体质的任何其他物种来说，都是非常适用的。假如一个男人（说具体些，比如我自己）是以杂合的状态带有这样的一个隐性有害突变，所以它没有表现出来。假如我的妻子没有这种突变。于是，我的子女中将有半数也会带有这种突变，而且也是杂合的。倘若他们同非突变的配偶结婚，那么，在我们的孙儿女中，平均有四分之一将以同样的方式受到突变的影响。

除非受到同样效应的个体彼此杂交，否则有害的危险始终不会明显地表现出来。但只要稍微注意一下就可看到，当他们的子女中有四分之一是纯合的时候，危害性就表现出来了。仅次于自体受精的（只有雌雄同体的植物才有此可能）最大的危险是我的儿子同我的女儿结婚。他们中间的每一个人受或不受潜在的效应的机会是相等的，这种乱伦的结合中有四分之一将表现出伤害。因此，对于乱伦生下来的一个孩子来说，危险因子是 1:16。

同样地，我的两个（“纯血缘的”）孙儿女，即堂、表兄妹之间结婚生下的后代的危险因子是 1:64。这种机会看上去并不太大，而且第二种情况事实上常常是容许的。可是不要忘了我们已经分析过的、在祖代配偶的一方（“我和我的妻子”）带有一个可能的潜在损伤的后果。事实上，他们两人藏匿的这种潜在的缺陷都不止一个。如果你知道自己藏匿着一个缺陷，那么，就可以推算出，在你的八个堂、表兄妹中间，有一个也是带有这种缺陷的。根据动植物的实验来看，除了一些严重的、比较罕见的缺陷外，还有很多较小的缺陷，产生这些缺陷的机遇加在一起就会使得整个近亲繁殖的后代衰退恶化。我们既然不想用斯巴达人在泰杰托斯山经常采用的残暴方式去消灭失败者，那么，我们必须采取特别严肃的观点，来看待在人类中发生的这些事情；在人类中，对最适者生存的自然选择是大大地减少了，不，简直是转向了反面。战争，在原始状态下还具有使最适合的部落生存下去的、积极的选择价值；现代大量屠杀各国的健康青年的反选择效应，连这一点理由也没有了。

## 27. 一般的和历史的陈述

隐性等位基因在杂合时完全被显性等位基因所压倒，它一点也不产生出可见的效应，这一事实是令人惊异的。至少应该说这种情况是有例外的。当纯合的白色金鱼草，与同样是纯合的深红色的金鱼草杂交时，所有的直接后代的颜色都是中间型的，即是粉红色的（不是预期的深红色的）。血型是两个等位基因同时显示出它们各自影响的更重要的例子，但我们不能在这里进行讨论了。如果最后弄清楚隐性是可以分成若干种不同程度的，并且这是取决于我们用来检查“表现型”的试验的灵敏度，对此，我是不会感到奇怪的。

这里也许得讲一下遗传学的早期历史。这个理论的主题，即关于亲代的不同特性在连续世代中的因此规律，尤其是关于显隐性的重要区别，都应归功于现在闻名于世的奥古斯汀教派的修道院长 G. 孟德尔（1822—1884）。孟德尔对突变与染色体是一无所知的。他在布隆（布尔诺）的他的修道院花园中用豌豆作试验。在试验中，他栽种了不同品种的豌豆，让它们杂交并注意观察它们的第一代、第二代、第三代……等后代。你可以说，他是在利用他所找到的自然界中现成的突变体做试验。早在 1868 年他把试验结果发表在“布隆自然研究者协会”的会报上。当时，对于这个修道士的癖好，没有人特别感到兴趣；而且，确实也没有人想到他的发现，在二十世纪竟会成为一个全新的科学分支的指路明星，成为当今最感兴趣的学科。他的论文被人遗忘了，直到 1900 年才同时被科伦斯（柏林），德弗里斯（阿姆斯特丹）和切玛克（维也纳）三人各自分别地重新发现。

## 28. 突变作为一种罕有事件的必要性

迄今为止，我们的注意力集中在有害的突变上，这种突变可能是更多一些；但必须明确指出，我们的确也碰到过一些有利的突变。如果说自发突变是物种发展道路上的一小步，那么，我们得到的印象是，有些变化是以偶然的形式、冒着可能是有害的因而会被自动消除的风险而作出的“尝试”。由此引出了十分重要的一点。突变要成为自然选择的合适材料，必须是象它的实际情况那样地是罕有的事件。如果突变是如此地经常，以致有很多的机会，比如说，在同一个体内出现了一打不同的突变，而有害的突变又通常比有利的突变占优势，那末，物种非但不会通过选择得到改良，反而会停滞在没有改良的地步，甚至会消亡。基因的高度不变性造成的相当程度的保守性是十分必要的。从一个大型制造厂的经营中可以找到一种类比。工厂为了创造更好的生产方法，即使是还没有得到确证的革新，也是必须加以试验的。可是，为了确定这些革新究竟是改进生产还是降低生产，有必要在一段时间内只采用一项革新，在此期间，该厂的其余部分仍保持不变。

## 29. X 射线诱发的突变

现在我们要回顾一下遗传学的一系列最巧妙的研究，这些研究将证明在我们的分析中最关键的那些特性。

后代中出现突变的百分比，也就是所谓的突变率，可以用 X 射线或伽玛射线照射亲代而使它比很低的自然突变率增高好几倍。这种方式产生的突变（除了数量较多外）同自然发生的那些突变并没有什么两样，因而人们有这样的印象，认为每一种“自然”突变也可以用 X 射线来诱发产生。在大量培育的果蝇中间，一再自发地产生了许多特殊的突变；如第 18 节所说的，它们已在染色体上定位，并给了专门的名称。甚至还发现了所谓“复等位基因”，就是说，在染色体密码的同一位置上，除了正常的非突变的一个“读本”或“译本”之外，还有两个或两个以上不同的“译本”或“读本”；这意味着在那个具体的“位点”里，不仅有两个而且有三个或更多个交替，当它们同时出现在两条同源染色体上的它们的相应位点时，其中任何二个“译本”之间都彼此有“显隐性”的关系。

X 射线产生突变的实验给人的印象是，每一个具体的“转变”，比如说，从正常的个体变成一个特殊的突变体，或者是反过来，都有它自己的“X 射线系数”，这个系数指出了：在子代出生以前，一个单位剂量的 X 射线照射亲体后，由于射线而产生突变的后代的百分数。

## 30. 第一法则。突变是个单一事件

控制诱发突变率的法则是极其简单和极有启发的。这里，我是根据刊载在 1934 年的《生物学评论》第九卷上的铁摩菲也夫的报告。这篇报告在很大程度上是引用了该作者自己的漂亮的工作。第一法则是：

（1）突变的增加是严格地同射线剂量成正比例的，因而人们确实可以说是（就象我所说的）增加的系数。

我们对于简单的比例已习以为常了，因而往往会低估这一简单法则的深远后果。为了理解这一点，就举个例子来说，我们也许会想到一种商品的单价同商品的数量并不总是成比例的。平时，一个店主由于你已经向他买了六个橘子，所以当你决定再要买一打橘子时，他也许会感动地以低于十二个橘子的价钱卖给你。当货源不足时，就可能发生相反的情形。在目前情况下，我们可以断言，当辐射的第一个一半剂量，比如说，引起了千分之一的后代发生突变

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

时，对其余的后代是毫无影响的，既不使它们倾向于突变，也不使它们免于突变。不然的话，第二个一半剂量就不会正好是再引起千分之一的后代发生突变。因此，突变并不是由连续的小剂量辐射相互增强而产生的一种积累效应。突变一定是在辐射期间发生在一条染色体中的单一事件所产生的。那么，这是哪一类事件呢？

### 31. 第二法则。事件的局限性

这个问题由第二法则来回答，这就是：

（2）如果你广泛地改变射线（波长）的性质，从软的 X 射线到相当硬的伽玛射线，系数仍保持不变，只要你给予以所谓伦琴单位计算的同一剂量，也就是说，你用的剂量按照在照射期间，亲体受到照射的那个地方，在经过选择的标准物质的单位体积内所产生的离子总数来计算的。

我们之所以选择空气作为标准物质，不仅是为了方便，而且是因为有机组织是由平均原子量与空气相同的元素组成的。只要将空气中的电离数乘以密度比，就得出组织内电离作用或类似过程（激发）总数的下限。这是很清楚的，而且已被更关键性的研究所证实，即引起突变的单一事件正是在生殖细胞的某个“临界”体积内发生的电离作用（或类似的过程）。这种临界体积有多大呢？它可以根据观察到的突变率，按照这样的考虑来作出估计，即如果每立方厘米产生 50000 个离子的剂量，使得任何一个配子（它们是在照射的区域里的）以那种特定的方式发生突变的机会只是 1:1000，那么，我们就可断定那个临界体积，即电离作用要引起突变所必须“击中”的“靶”的体积只有 1/50000 立方厘米的 1/1000，就是说，只有五千万分之一立方厘米。这不是个准确的数字，只是用来说明问题而已。在实际估计时，我们是按照 M. 德尔布吕克的估计，这是德尔布吕克、铁摩菲也夫和齐默尔写的一篇论文中提出的，这篇论文也是将在后面两章详细说出的学说的主要来源。他得出的体积只有大约十个平均原子距离的一个立方体，只包括大约 1000 个原子。这个结果的最简单的解释是，如果在距离染色体上某个特定的点不超过“十个原子距离”的范围内发生了一次电离（或激发），就有产生突变的一次机会。我们现在更详细地来讨论这一点。

铁摩菲也夫的报告包含了一个有实际意义的暗示，我在这里不能不说一下，当然，跟我们现在的研究可能没有什么关系。在当前的生活中，人们有很多机会遭到 X 射线的照射。这就包含了诸如烧伤，X 射线癌，绝育等直接的危险，这是大家都知道的，现在已用铅屏，铅围裙等作为防护，特别是给经常接触射线的护士和医生们提供了防护。可是，问题在于即使是成功地防止了这些迫在眉睫的、对个人的危险时，也还存在着生殖细胞里产生细微而有害的突变的间接危险——这就是我们在讲到近亲繁殖的不良后果时所面临的那种突变。说得过分些，也许还带点天真，嫡堂、表兄妹结婚的害处，极其可能因为他们的祖母长期当了 X 射线护士而有所增加。对任何一个个人来说，是不必为此而担忧的。但对社会来说，这种要不得的潜在突变逐渐影响人类的任何可能性，都是应该关注的。



## 第四章 量子力学的证据

而你的精神的火热般想象的飞腾默从了一个映象，一个比喻。

——歌德

### 32. 古典物理学无法解释的不变性

借助于 X 射线的精密仪器（物理学家会记得，这种仪器在三十年前揭示了晶体的详细的原子晶格结构），在生物学家和物理学家的共同努力下，最近已成功地把负责个体的某一宏观特性的显微结构的体积——“基因的体积”——的上限降低了，并且降低到远远低于第 19 节得出的估计数。我们现在严肃地面临的问题是：从统计物理学的观点来看，基因结构似乎只包含了很少量的原子（一般是一千个，也可能还要少）可是它却以奇迹般的不变性表现了最有规律的活动，我们如何使这两方面的事实协调起来呢？

让我再一次把这种确实令人惊奇的情况说得形象化些。哈布斯堡王朝的一些成员有一种特别难看的下唇（哈布斯堡唇）。在王室的赞助下，维也纳皇家学院仔细地研究了它的遗传，并连同完整的历史肖像一并发表了。已证明这种特征是正常唇形的一个真正的孟德尔式的“等位基因”。如果我们注意到十六世纪时该家族中一个成员的肖像，和他的生活在十九世纪的后代的肖像，我们完全可以肯定，决定这种畸形特征的物质性的基因结构，已经世代相传经历了几个世纪，每一代之间细胞分裂的次数不是很多的，可是每一次细胞分裂都忠实地复制了。此外，这个基因结构所包含的原子数目很可能同 X 射线试验测得的原子数目是同一个数量级。在所有时间里，基因保持华氏 98 度左右的温度。它能够不受热运动的无序趋向的干扰保持了几个世纪，这一点我们又如何理解呢？

上世纪末的一位物理学家，如果他只打算根据他所能解释的、他真正理解的那些自然界的定律去解释这个问题，他将是一筹莫展的。在对统计学的情况稍加考虑以后，他也许会作出回答（如我们将看到的是正确的回答）：这些物质结构只能是分子。关于这些原子的集合体的存在，它有时是高度温定的，对此，当时的化学已有了广泛的了解。不过这种了解是纯粹经验的。对分子的性质还不了解——使分子保持一定形状的、原子间强有力的作用键，对每个人来说，完全是个谜。事实上，这个问答证明是正确的，可是，它只是把这种莫名其妙的生物学稳定性追溯到同样莫名其妙的化学稳定性，所以是无济于事的。根据同一个原理去证明两种特性在表明上是相似的，只要这个原理本身还是未知的那个证明就永远是靠不住的。

### 33. 可以用量子论来解释

在这种情况下，量子论弥补了不足之处。根据现在的了解，遗传的机制是同量子论的基础密切相关的，不，是建立在量子论的基础之上的。量子理论是马克斯·普朗克于 1900 年发现的。现代遗传学可以从德弗里斯、科伦斯和切尔玛克（1900 年）重新发现孟德尔的论文，以及从德弗里斯关于突变的论文（1901—1903 年）那时算起。因此，这两大理论几乎是同时诞生的，而且它们两者一定要在相当成熟后才会发生联系，这也是不足为奇的。在量子论方面，化了四分之一世纪多的时间，直到 1926—1927 年 W.海特勒和 F.伦敦才制定出化学键的量子论的一般原理。海特勒—伦敦理论包含了量子论最新进展的最精细而错综复杂的概念（叫做“量子力学”或“波动力学”）。不用微积分的描述几乎是不可能的，否则至少要写象本书一样的另一本小册子。不过，好在是全部工作现在都已完成了，并有助于澄清我们的思想，看来有可能以更直截了当的方式指出“量子跃迁”同突变之间的联系，立即搞清楚最主要的项目。我们在这里就是试图做到这一点。

### 34. 量子论——不连续状态——量子跃迁

量子论的最大启示是在“自然界的圣典”里发现了不连续性的特点，而当时的观点却认为自然界中除了连续性外全都是荒谬的。

第一个这样的例子涉及到的是能量。一个物体在很大范围内连续地改变着它的能量。例如一个摆，它的摆动由于空气的阻力逐渐缓慢下来。十分奇怪的是，它却证明了，必须承认在原子这一级上的系统的行为是不同的。根据我们不能在这里详细说明的那些理由，我们必须假定一个小的系统由于它自己的性质，只能具有某种不连续的能量，称为它的特殊的能级。从一种状态转变为另一种状态，是一种相当神秘的事情，通常称之为“量子跃迁”。

不过能量并不是一个系统的唯一的特征。再以我们的摆为例但是把它想象成能够作出各种运动的摆，如天花板上悬下一根绳子，挂上一个重球，它能够作南北向、东西向或任何其他方向上的摆动，或者作圆形或椭圆形的摆动。用一只风箱轻轻地吹这只球，便能使它从运动的一种状态连续地转变到任何另一种状态。

对于微观系统来说，这些特征或相似的特征——对此我们不能详细地讨论了——的大多数都是不连续地发生变化的。它们是“量子化”的，能量恰恰就是如此。

结果是许多个原子核，包括它们的电子卫兵，当发现它们自己（彼此）靠拢形成“一个系统”

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

时，原子核是无法通过自己的性质来选择一种我们所能想象到的任何适宜的构型的。它们的性质使它们可以选择的只是大量的、但是不连续的“状态”系列。我们通常称它们为级或能级，因为能量是这种特征的十分重要的部分。但是必须懂得，对它的完整的描述，要包括能量以外的更多的东西。认为一种状态是意味着全部微粒的一种确定的构型，这种想法实际上是正确的。

一种构型转变为另一种构型就是量子跃迁。如果第二种构型具有更大的能量（“是较高的能级”），那么，外界至少要供给这个系统以两个能级间的能量差额，才能使转变成为可能。它也可以自发地变到较低的能级，通过辐射来消耗多余的能量。

### 35. 分子

在原子选定的一组不连续状态中间，不一定是、但可以是使核彼此紧密靠拢的最低能级。在这种状态中，原子组成了分子。这里有一点是要着重指出的，即分子必须具有一定的稳定性；除非外界供给它以“提高”到邻近的较高能级所需的能量差额，否则，构型是不会改变的。因此，这种数量十分确定的能级差是定量地决定了分子的稳定程度。我们将会观察到，这个事实同量子论的基础本身，也就是同能级图式的不连续性的联系是多么的密切。

我必须请读者姑且认为这些观点的体系已经被化学事实彻底地核实过了；而且它已经证明在解释化学原子价的基本事实和关于分子结构的许多细节，如它们的结合能，它们在不同温度下的稳定性等方面是成功的。我是无法详细地加以检验的。

### 36. 分子的稳定性有赖于温度

我们必须因考察了生物学问题中最有趣的一点，即不同温度下的分子稳定性而感到满足。假定我们的原子系统一开始确实是处在它的最低能级的状态。物理学家称之为绝对零度下的分子。要把它提高到相邻的较高的状态或能级，就需要供给一定的能量。最简单的供给能量的方式是给分子“加热”。把它带进一个高温环境（“热浴”），让别的系统（原子，分子）冲击它。考虑到热运动的完全不规则性，所以不存在一个可以肯定的、并立即引起“提高”的、截然分明的温度界限。更确切地说，在任何温度下（只要不是绝对零度），都有出现“提高”的机会，这种机会是有大有小的，而且当然是随着“热浴”的温度而增加的。表达这种机会的最好的方式是，指出在发生“提高”以前你必须等待的平均时间，即“期待时间”。

根据 M.波拉尼和 E.维格纳的研究，“期待时间”主要取决于二种能量之比，一种能量正好就

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

是为了“提高”而需要的能量差额本身（我们用  $W$  来表示），另一种能量是描述在有关的温度下热运动强度的特性（我们用  $T$  表示绝对温度， $kT$  表示特有的能量）。有理由认为，实现“提高”的机会愈小，期待时间便愈长，而“提高”本身同平均热能相比也就愈高，就是说， $W:kT$  之比值的相当小的变化，会大大地影响期待时间。例如（按照德尔勃留克的例子）， $W$  是  $kT$  的三十倍，期待时间可能只短到  $1/10$  秒；但当  $W$  是  $kT$  的五十倍时，期待时间将延长到十六个月；而当  $W$  是  $kT$  的六十倍时，期待时间将延长到三万年！

对于那些对数学感兴趣的读者来说，可以用数学的语言来说明这种对于能级或温度变化高度敏感的理由，同时再加上一些类似的物理学的说明。其理由是，期待时间（称之为  $t$ ）是通过指数函数的关系依赖于  $W/kT$  之比的；于是

$$t=c\text{EXP}(W/kT)$$

$c$  是  $10$  的  $-13$  或  $-14$  次方秒这么小的数量级的常数。这个特定的指数函数并不是一种偶然的特性。它一再出现在热的统计学理论中，似乎构成了该理论的基本内容。它是在系统的某个部分中，偶然地聚集象  $W$  那么大的能量的不可能性的几率的一种度量。当需要有好几倍的“平均能量”  $kT$  时，增加得如此巨大的就是这种不可能性的几率。

实际上， $W=30kT$ （见上面引用的例子）已经是极少有的了。当然，它之所以还没有导致很长的期待时间（在我们的例子中只有  $1/10$  秒），是由于  $c$  因子是很小的缘故。这个因子具有物理学的意义。它是整个时间内，在系统里发生的振动周期的数量级。你可以非常概括地描述这个因子，认为它是积聚起所需要的  $W$  总数的机会，它虽然很小，可是在“每一次振动”里是一再出现的，就是说，每秒大约有  $10$  的  $13$  或  $14$  次方次。

### 38. 第一个修正

提出这些理由作为分子稳定性理论时，就已经是默认了我们称之为“提高”的量子跃迁如果不是导致完全的分解，至少也是导致相同的原子构成了本质上不同的构型——一种同分异构分子，正如化学家说的，那是由相同的一些原子按不同的排列所组成的分子（应用到生物学上时，它就代表同一个“位点”上的不同的“等位基因”，量子跃迁则代表突变）。

对这个解释，必须作两点修正，为了使人们易于了解，我有意把它说得简单化些。根据我所讲的，可能会认为只有在极低的能量状态下，一群原子才会组成我们所说的分子，而下一个比较高的状态已经是“别的一些东西”了。并不是这样的。事实上，即使在最低能级的后面，还有着一系列密集的能级，这些能级并不涉及到整个构型的任何可以察觉的变化，而只是对应于原子中间的那些微小的振动，这种振动我们在第 37 节里已经讲了。它们也都是“量子化”的，不过是以较小的量子从一个能级跳到相邻的能级。因此，在低温下，“热浴”粒子的碰撞已足以造成振动。如果分子是一种伸展的结构，你可以把这些振动想象为穿过分子而不发生任何伤害的高频声波。

所以，第一个修正并不是十分重大的：我们可以不去理会能级图式的“振动的精细结构”。“相邻的较高能级”这个术语可以这样来理解，即与构型的改变相对应的相邻的能级。

### 39. 第二个修正

第二个修正解释起来更加困难，因为它关系到各种能级图式的某种重要而又复杂的特性。两个能级之间的自由通道也许被阻塞了，更谈不上供给所需要的能量了；事实上，甚至从比较高的状态到比较低的状态的通路也可能阻塞了。

让我们从经验事实谈起吧。化学家都知道，相同的原子团结合组成分子的方式不止一种。这种分子叫做同分异构体（“由同样的成分组成的”）。同分异构现象不是一种例外，而是一种规律。分子愈大，提供的同分异构体也就愈多。一种最简单的情况，即同样由三个碳原子八个氢原子和一个氧原子所组成的两种丙醇。氢和碳之间氧都能够插入，但只有两种情况才是不同的物质。它们确实也是如此。它们所有的物理常数和化学常数都是明显不同的。它们的能量也不同，代表了“不同的能级”。

值得注意的是两个分子都是完全稳定的，它们的行为就象它们都是处于“最低状态”。不存在从一种状态到另一种状态的自发转变。

理由是两种构型并不是相邻的构型。要从一种构型转变为另一种构型，只能通过介乎两者之间的中间构型才能发生，这种中间构型的能量比它们当中的任何一种构型都要高。粗浅地说，氧必须从一个位置抽出来，插到另一个位置上。如果不经能量相当高的构型，看来是无法完成这种转变的。

现在可以提出我们的“第二修正”了，即这一类“同分异构体”的变化，是在生物学应用中我们唯一感到兴趣的一种变化。这些变化就是我们在第 35 节到 37 节中解释“稳定性”时所必须牢记的。我们所说的“量子跃迁”，就是从一种相对稳定的分子构型变到另一种构型。供给转变所需的能量（其数量用  $w$  表示）并不是真正的能级差，而是从初级能量上升到阈的步阶。

在初态和终态之间不介入阈能的转变是毫无意义的，这不仅在生物学应用上是如此。这种转变对分子的化学稳定性确实是毫无作用的，为什么呢？因为它们没有持久的效应，它们是不引人注意的。由于没有什么东西阻止它们的回路，所以当它们发生转变时，几乎就立刻回复到初态了。



小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

## 第五章 对德尔勃留克模型的讨论和检验

确实的，正如光明显出了它自身，也显出了黑暗一样，于是，真理是它自身的标准，也是谬误的标准。

——斯宾诺莎《伦理学》第二部分，命题 43

### 40. 遗传物质的一般图景

根据这些事实，可以很简单地回答我们的问题，就是说：由少量原子组成的这些结构，能否长时间地经受住象遗传物质不断受到的那种热运动的干扰影响？我们将假定一个基因的结构是一个巨大的分子，只能发生不连续的变化，这种变化是在于原子的重新排列并导致一种同分异构的分子。这种重新排列也许只影响到基因中的一小部分区域，大量的各种不同的重新排列也许是可能的。从任何可能的同分异构体中，把实际的构型分离出来的阈能一定是很高的（这是同一个原子的平均热能相比），以致使这种变化成为一种罕有事件。这种罕有事件我们认为就是自发突变。

本章的以后几部分将致力于检验基因和突变的一般描述（主要应归功于德国物理学家 M. 德尔勃留克），把它同遗传学事实作详细的比较。在此之前，我们可以对这一理论的基础和一般性质适当地作些评论。

### 41. 图景的独特性

为生物学问题去穷根究底，并把图景建立在量子力学的基础之上，这是绝对必要的吗？基因是一个分子，这样的猜测，我敢说，在今天已是老生常谈了。不管他是不是熟悉量子论，不同意这种猜测的生物学家是很少的了。在第 32 节中，我们大胆地适用了量子论问世以前的物理学家的语言，作为观察到的不变性的唯一合理的解释。随后是关于同分异构性，阈能， $W:kT$  在决定同分异构体变化几率中的重要作用等因素的理由——所有这一切理由，都可以在纯粹经验的基础上很好地加以说明；不管怎样，反正都不是来源于量子论的。既然在这本小册子里，我不能真正地把它讲清楚，而且还可能使许多读者感到厌烦，那我为什么还要如此强烈地坚持量子力学的观点呢？

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

量子力学是根据一些最好的原理来说明自然界中实际碰到的、原子的各种集合体的第一个理论方法。海特勒—伦敦键是这个理论的一个独特的特点，但是这个理论并不是为了解释化学键而发明的。它是以一种十分有趣而且费解的方式出现的，是根据完全不同的理由强加给我们的。现已证明，这个理论同观察到的化学事实是十分吻合的，而且，正如我所说的，这是一个独特的特点，由于对这个特点有足够的了解，所以可以相当肯定地说，在量子论的进一步发展中，“不可能再发生这样的事情了”。

因此，我们可以满有把握地断言，除了遗传物质的分子解释外，不再有别的解释了。在物理学方面不再有别的可能性可以解释遗传物质的不变性。如果德尔勃留克的描述是不管用的，那么，我们将不得不放弃作进一步的尝试。这是我想说明的第一点。

## 42. 一些传统的错误概念

但是，也许可以问：除了分子以外，难道真的就没有由原子构成的、其他的可以持久的结构了吗？比如，埋在坟墓里一、二千年的一枚金币，难道不是保留着印在它上面的人像的模样吗？这枚金币确实是由大量原子构成的，但在这个例子中，我们肯定不会把这种形象的保存归因于巨大数字的统计。这种说法同样也适用于我们发现蕴藏在岩石里的、经过几个地质时代而没有发生变化的一批明莹的晶体。

这就引出了我要说明的第二点。一个分子，一个固体，一块晶体的情况并没有真正的差别。从现代的知识来看，它们实质上是相同的。不幸的是，学校的教学中还保持着好多年前就已过时了的传统观念，从而模糊了对实际事态的了解。

其实，我们在学校里学到的有关分子的知识，并没有讲到分子对固态的相似程度比对液体或气态更为接近的观点。相反，教给我们的是要仔细地区分物理变化和化学变化；物理变化如熔化或蒸发，在这种变化中，分子是保持着的（比如酒精，不管它是固体、液体还是气体，总是由相同的分子  $C_2H_6O$  组成的）。化学变化如酒精的燃烧，在那里，一个酒精分子同三个氧分子经过重新排列生成了二个二氧化碳分子和三个水分子。

关于晶体，我们学到的是它们形成了周期性的三向堆叠的晶格，晶格里的单个分子的结构有时是可以识别的，酒精和许多有机化合物就是如此；在其他的晶体中，比如岩盐（氯化钠， $NaCl$ ），氯化钠分子是无法明确地区分界限的，因为每个钠原子被六个氯原子对称地包围着，反过来也是如此；所以说，如果有钠氯原子对的话，那么，不管哪一对都可以看作是氯化钠分子的组成。

最后，我们还学到，一个固体可以是晶体，也可以不是晶体，后一种情况，我们称之为无定形的固体。

#### 43. 物质的不同的“态”

目前，我还没有走得那么远，想把所有这些说法和区别都说成是错误的。它们在实际应用中往往是有用的。但在物质结构的真实性方面，必须用完全不同的方法划清一些界限。基本的区别在下面的“等式”的等号之间：

分子=固体=晶体

气体=液体=无定形的固体

对这些说法，我们必须作简要的说明。所谓无定形的固体，要么不是真正的无定形，要么不是真正的固体。在“无定形的”木炭纤维里，x 射线已经揭示出石墨晶体的基本结构。所以，木炭是固体，但也是晶体。在我们还没有发现晶体结构的地方，我们必须把它看作是“粘性”（内摩擦）极大的一种液体。这样一种没有确定熔化温度和熔化潜热的物质，表明它不是一种真正的固体。将它加热时，它逐渐地软化，最后液化而不存在不连续性（我记得在第一次世界大战末期，在维也纳曾经有人给我们象沥青那样的东西作为咖啡的代用品。它是这么硬，必须在它出现光滑的贝壳似的裂口时，用凿子或斧头把它砸成碎片。可是，过一段时间后，它会变成液体，如果你很蠢地把它搁上几天，它就会牢牢地粘在容器的底部）。

气态和液体的连续性是非常熟悉的事情。可以用“围绕”所谓临界点的方法，使任何一种气体液化，也就没有什么不连续性。但这个问题我们在这里不准备多谈了。

#### 44. 真正重要的区别

这样，上述图式中除了主要之点外，我们都已证明是有道理的；这个主要之点就是我们想把一个分子看成是一种固体=晶体。

这一点的理由是，把一些原子，不管它有多少，结合起来组成分子的力的性质，同把大量原子结合起来组成真正的固体——晶体的力的性质是一样的。分子表现出同晶体一样的结构稳固性。要记住，我们正是从这种稳固性来说明基因的不变性的！

物质结构中真正重要的区别在于原子是不是被那种“起稳固作用的”海特勒—伦敦力结合在一起。在固体中和在分子中，原子是这样结合的。在单原子的气体中（比如水银蒸气），它们就不是那样了。在分子组成的气体中，只是在每个分子中，原子才是以这种方式结合在一起的。

#### 45. 非周期性的固体

一个很小的分子也许可以称为“固体的胚”。从这样一个小的固体胚开始，看来可以有两种不同的方式来建造愈来愈大的集合体。一种是在三个方向上一再重复同一种结构的、比较乏味的方式。这是一个正在生长中的晶体所遵循的方式。周期性一旦建立后，集合体的大小就没有一定的限度了。另一种方式不用那种乏味的重复的图样，而是建造愈来愈扩大的集合体。那就是愈来愈复杂的有机分子，这种分子里的每一个原子，以及每一群原子都起着各自的作用，跟其他的原子起的作用（比如在周期性结构里的原子）是不完全相同的。我们可以恰当地称之为一种非周期性的晶体或固体，并且可以用这样的说法来表达我们的假说：我们认为，一个基因——也许是整个染色体纤丝——是一种非周期性的固体。

#### 46. 压缩在微型密码里的内容的多样性

经常会碰到这样的问题：象受精卵细胞核这样小的物质微粒，这么能包含了涉及有机体未来的全部发育的精细的密码正本呢？一种赋予足够的抗力来永久地维持其秩序的、秩序井然的原子结合体，看来是一种唯一可以想象的物质结构，这种物质结构提供了各种可能的（“异构的”）排列，在它的一个很小的空间范围内足以体现出一个复杂的“决定”系统。真的，在这种结构里，不必有大量的原子就可产生出几乎是无限的可能的排列。为了把问题讲清楚，就想到了莫尔斯密码。这个密码用点（“·”）、划（“—”）两种符号，如果如果每一个组合用的符号不超过四个，就可以编成三十种不同的代号。现在如果你在点划之外再加上第三种符号，每一个组合用的符号不超过十个，你就可以编出 88572 个不同的“字母”；如果用五种符号，每一个组合用的符号增加到 25 个，那编出的字母可以有 37529846191405 个。

可能有人会不同意，他们认为这个比喻是有缺点的，因为莫尔斯符号可以有各种不同的组合（比如，·—和??—）因此与同分异构体作类比是不恰当的。为了弥补这个缺点，让我们从第三种情况中，只挑出 25 个符号的组合，而且只挑出由五种不同的符号、每种符号都是五个所组成的那种组合（就是由五个点，五个短划……等组成的组合）。粗略地算一下，组合数是 62330000000000 个，右边的几个零代表什么数字，我不想化气力去算它了。

当然，实际情况决不是原子团的“每一种”排列都代表一种可能的分子；而且，这也不是任意采用什么样的密码的问题，因为密码正本本身必定是引起发育的操纵因子。可是，另一方面，上述例子中选用的数目（25 个）还是很少的，而且我们也只不过设想了在一条直线上的简单排列。我们希望说明的只不过是，就基因分子的图式来说，微型密码是丝毫不错地对

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

应于一个高度复杂的特定的发育计划，并且包含了使密码发生作用的手段，这一点已经不再是难以想象的了。

#### 47. 与事实作比较：稳定性的程度；突变的不连续性

最后，让我们用生物学的事实同理论的描述作比较。第一个问题显然是理论描述能否真正说明我们观察到的高度不变性。所需要的阈值数量——平均热能  $kT$  的好多倍——是合理的吗？是在普通化学所了解的范围之内吗？这些问题是很寻常的，不用查表据可肯定地回答。化学家能在某一温度下分离出来的任何一种物质的分子，在那个温度下至少有几分钟的寿命（这是说得少一点，一般说来，它们的寿命要长得多）。这样，化学家碰到的阈值，必定正好就是解释生物学家可能碰到的那种不变性所需要的数量级；因为根据第 36 节的描述，我们会记得在大约 1:2 的范围内变动的阈值，可以说明从几分之一秒到几万年范围内的寿命。

为了今后的参考，我提一些数字。第 36 节的例子里提到的  $W/kT$  之比，是： $W/kT=30,50,60$ ，分别产生的寿命是 1/10 秒，16 个月，30000 年。在室温下，对应的阈值是 0.9, 1.5, 1.8 电子伏。必须解释一下“电子伏”这个单位，这对物理学家来说是很方便的，因为它可以具体化的。比如，第三个数字（1.8）就是值被 2 伏左右的电压所加速的一个电子，将获得正好是足够的能量去通过碰撞而引起转变（为了便于作比较，一个普通的袖珍手电筒的电池有 3 伏）。

根据这些理由可以想象到，由振动能的偶然涨落所产生的、分子某个部分中的构型的一种异构变化，实际上是十足的罕有事件，这可以解释为一次自发突变。因此，我们根据量子力学的这些原理，解释了关于突变的最惊人的事实，正是由于这个事实，突变才第一次引起了德弗里斯的注意，就是说，突变是不出现中间形式的，而是“跃迁式”的变异。

#### 48. 自然选择的基因的稳定性的

在发现了任何一种电离射线都会增加自然突变率以后，人们也许会认为自然率起因于土壤和空气中的放射性，以及宇宙射线。可是，与 X 射线的结果作定量的比较，却表明“天然辐射”太弱了，只能说明自然率的一小部分。

倘若我们用热运动的偶然的涨落来解释罕有的自然突变，那么，我们就不会感到太惊奇了，因为自然界已成功地对阈值作出了巧妙的选择，这种选择必然使突变成为罕见的。因为频繁的突变对进化是有害的，这是在前几节中已经得出的结论。一些通过突变得到不很稳定的基



小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

因构型的个体，它们那些“过分频繁的”、迅速地在发生突变的后代能长期生存下去的机会是很小的。物种将会抛弃这些个体，并将通过自然选择把稳定的基因集中起来。

#### 49. 突变体的稳定性有时是较低的

至于在我们的繁育试验中出现的、被我们选来作为突变体以研究其后代的那些突变体，当然不能指望它们都表现出很高的稳定性。因为它们还没有经受过“考验”——或者，如果说是已经受过“考验”了，它们却在野外繁殖时被“抛弃”了——可能是由于突变可能性太高的缘故。总而言之，当我们知道有些突变体的突变可能性比正常的“野生”基因要高得多的时候，我们是一点也不感到奇怪的。

#### 50. 温度对不稳定基因的影响小于对稳定基因的影响

这一点使我们能够检验我们的突变可能性的公式： $t = c \exp(W/kT)$ （我们还记得， $t$  是对于具有阈能  $W$  的突变的期待时间。）我们问： $t$  是如何随温度而变化的？从上面的公式中，我们很容易找到温度为  $T+10$  时的  $t$  值同温度为  $T$  时的  $t$  值之比的近似值  $= \exp(-10W/kT)$ 。

指数是负数，比率当然小于 1。温度上升则期待时间减少，突变可能性就增加。现在可以检验了，而且已经在果蝇受得了的温度范围内，用果蝇作了检验。乍看起来，这个结果是出乎意料的。野生基因的低的突变可能性明显地提高了，可是一些已经突变了了的基因的较高的突变可能性却并未增加，或者说，增加很少。这种情况恰恰是我们在比较两个公式时预期到的。根据第一个公式，要想使  $t$  增大（稳定的基因）就要求  $W/kT$  的值增大；而根据第二个公式， $W/kT$  的值增大了，就会使算出来的比值减小，就是说，突变可能性将随着温度而有相当的提高。（实际的比值大约在  $1/2$  到  $1/5$  之间。其倒数  $2-5$  是普通化学反应中所说的范霍夫因子。）

#### 51. X 射线是如何产生突变的

现在转到 X 射线引起的突变率，根据繁育试验我们已经推论出，第一（根据突变率和剂量的

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

比例)，一些单一事件引起了突变；第二（根据定量的结果，以及突变率取决于累积的电离密度而同波长无关的事实），为了产生一个特定的突变，这种单一事件必定是一个电离作用，或类似的过程，它又必须发生在只有大约边长 10 个厘米距离的立方体之内。根据我们的描述，克服阈值的能量一定是由爆炸似的过程，如电离或激发过程所供给的。我所以称它为爆炸似的过程，是因为一个电离作用花费的能量（顺便说一下，并不是 X 射线本身花费的，而是它产生的次级电子所耗用掉的），有 30 个电子伏，大家很清楚，这是相当大的。这样，在放电点周围的热运动必定是大大地增加了，并且以原子强烈振动的“热波”形式从那里散发出来。这种热波仍能供给大约 10 个原子距离的平均“作用范围”内所需的一、二个电子伏的阈能，这也不是不可想象的。话虽这么说，一个没有偏见的物理学家也许会预料到，存在着一个更小的作用范围。在许多情况下，爆炸的效应将不是一种正常的异构转变，而是染色体的一种损伤，通过巧妙的杂交，使得没有受到损伤的那条染色体（即第二套染色体中与受损伤的染色体对应配对的那一条），被相应位点上的基因是病态的一条染色体所替换时，这种损伤就是致死的。所有这一切，全是可以预期的，而且观察到的也确是如此。

## 52. X 射线的效率并不取决于自发的突变可能性

其他一些特性，如果并没有象图式所预言的那样出现，那么，供给上面讲的致死损伤也就容易理解了。例如，一个不稳定的突变体的 X 射线突变率，平均起来并不高于稳定的突变体。现在，就拿供给 30 个电子伏那里的爆炸来说，所需的阈能不管是 大还是小，比如说，1 伏或 1.3 伏，你肯定不能指望 30 个电子伏会造成许多差别。

## 53. 回复突变

有些情况下，转变是从两个方向上来研究的，比如说，从一个确定的“野生”基因变到一个特定的突变体，再从那个突变体变回到野生基因。这种情况下，自然突变率有时几乎是相等的，有时却又很不相同。乍看起来，这是难以理解的，因为这两种情况下要克服的阈似乎是相等的。可是，它当然不是这种情况，因为它必须根据开始时的构型的能级来计算，而且野生基因和突变基因的能级可能是不同的。

总之，我认为德尔勃留克的“模型”是经得起检验的，我们有理由在进一步的研究中应用它。

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

## 第六章 有序，无序和熵

肉体不能决定灵魂去思维，灵魂也不能决定肉体去运动、静止或从事其他活动。

——斯宾诺莎《伦理学》第三部分，命题 2

### 54. 从模型得出的一个值得注意的一般结论

让我引用第 46 节最后的一句话，在那句话里，我试图说明的是，根据基因的分子图来看，“微型密码同一个高度复杂而特定的发育计划有着一对一的对应关系，并包含着使密码发生作用的手段”，这至少是可以想象的。这很好，那么它又是如何做到这一点的呢？我们又如何从“可以想象的”变为真正的了解呢？

德尔勃留克的分子模型，在它整个概论中似乎并未暗示遗传物质是如何起作用的。说实话，我并不指望在不久的将来，物理学会对这个问题提供任何详细的信息。不过，我确信，在生理学和遗传学指导下的生物化学，正在推进这个问题的研究，并将继续进行下去。

根据上述对遗传物质结构的一般描述，还不能显示出关于遗传机制的功能的详细信息。这是显而易见的。但是，十分奇怪的是，恰恰是从它那里得出了一般性的结论，而且我承认，这是我写这本书的唯一动机。

从德尔勃留克的遗传物质的概述中可以看到，生命物质在服从迄今为止已确定的“物理学定律”的同时，可能还涉及到至今还不了解的“物理学的其他定律”，这些定律一旦被揭示出来，将跟以前的定律一样，成为这门科学的一个组成部分。

### 55. 秩序基础上的有序

这是一条相当微妙的思路，不止在一个方面引起了误解。本书剩下的篇幅就是要澄清这些误解。在以下的考虑中，可以看到一种粗糙的但不完全是错误的初步意见：

我们所知道的物理学定律全是统计学定律，这在第一章里已作了说明。这些定律同事物走向无序状态的自然倾向是大有关系的。

但是，要使遗传物质的高度持久性同它的微小体积协调一致，我们必须通过一种“虚构的分子”来避免无序的倾向。事实上，这是一种很大的分子，是高度分化的秩序的杰作，是受到了量子论的魔法保护的。机遇的法则并没有因这种“虚构”而失效，不过，它们的结果是修改了。物理学家很熟悉这样的事实，即物理学的经典定律已经被量子论修改了，特别是低温情况下。这样的例子是很多的。看来生命就是其中一例，而且是一个特别惊人的例子。生命似乎是物质的有序和有规律的行为，它不是完全以它的从有序转向无序的倾向为基础的，而是部分地基于那种被保持着的现存秩序。

对于物理学家——仅仅是对他来说——我希望，这样说了以后，能更清楚地讲明我的观点，即生命有机体似乎是一个宏观系统，它的一部分行为接近于纯粹机械的（与热力学作比较），当温度接近绝对零度，分子的无序状态消除的时候，所有的系统都将趋向于这种行为。

非物理学家发现，被他们作为高度精确的典范的那些物理学定律，竟以物质走向无序状态的统计学趋势作为基础，感到这是难以相信的。在第一章里，我已举过一个例子。涉及到的一般原理就是有名的热力学第二定律（熵的原理），以及它的同样有名的统计学基础。在第 56 到 60 节里，我想扼要地说明熵的原理对一个生命有机体宏观行为的意义——这时完全可以忘掉关于染色体、遗传等已经了解的东西。

## 56. 生命物质避免了趋向平衡的衰退

生命的特征是什么？一块物质什么时候可以说是活的呢？那就是当它继续在“做某些事情”，运动，新陈代谢，等等，而且可以指望它比一块无生命物质在相似情况下“维持生活”的时间要长得多。当一个不是活的系统被分离出来，或是放在一个均匀的环境里的时候，由于各种摩擦阻力的结果，所有的运动往往立即陷于停顿；电势或化学势的差别消失了，倾向于形成化学化合物的物质也是这种情况，温度由于热的传导而变得均一了。在此以后，整个系统衰退成死寂的、无生气的一团物质。这就达到了一种永恒不变的状态，不再出现可以观察到的事件。物理学家把这种状态称为热力学平衡，或“最大值的熵”。

实际上，这种状态经常是很快就达到的。从理论上来说，它往往还不是一种绝对的平衡，还不是熵的真正的最大值。最后达到平衡是十分缓慢的。它可能是几小时、几年、几个世纪……。举一个例子，这是接近平衡还算比较快的一个例子：倘若一只玻璃杯盛满了清水，第二只玻璃杯盛满了糖水，一起放进一只密封的、恒温的箱子里。最初好象什么也没有发生，产生了完全平衡的印象。可是，隔了一天左右以后，可注意到清水由于蒸汽压较高，慢慢地蒸发出来并凝聚在糖溶液上。糖溶液溢出来了。只有当清水全部蒸发后，糖才达到了均匀地分布在所有水中的目的。

这些最后是缓慢地向平衡的趋近，决不能误认为是生命。在这里我们可以不去理会它。只是为了免得别人指责我不够准确，所以我才提到它。

## 57. 以“负熵”为生

一个有机体能够避免很快地衰退为惰性的“平衡”态，似乎成了如此难解之谜，以致在人类思想的最早时期，曾经认为有某种特殊的非物质的力，或超自然的力（活力，“隐得来希”）在有机体里起作用，现在还有人是这样主张的。

生命有机体是怎样避免衰退的呢？明白的回答是：靠吃、喝、呼吸以及（植物是）同化。专门的术语叫“新陈代谢”。这词来源于希腊字，意思是变化或交换。交换什么呢？最初的基本观点无疑是指物质的交换（例如，新陈代谢这个词在德文里就是指物质的交换）。认为物质的交换应该是本质的东西的说法是荒谬的。氮、氧、硫等的任何一个原子和它同类的任何一个原子都是一样的，把它们进行交换又有什么好处呢？过去有一个时候，曾经有人告诉我们说，我们是能量为生的。这样，使我们的好奇心暂时地沉寂了。在一些很先进的国家（我记不清是德国还是美国，或者两个国家都是）的饭馆里，你会发现菜单上除了价目而外，还标明了每道菜所含的能量。不用说，这简直是很荒唐的。因为一个成年有机体所含的能量跟所含的物质一样，都是固定不变的。既然任何一个卡路里跟任何另一个卡路里的价值是一样的，那么，确实不能理解纯粹的交换会有什么用处。

在我们的食物里，究竟含有什么样的宝贵东西能够使我们免于死亡呢？那是很容易回答的。每一个过程、事件、事变——你叫它们什么都可以，一句话，自然界中正在进行着的每一件事，都是意味着它在其中进行的那部分世界的熵的增加。因此，一个生命有机体在不断地增加它的熵——你或者可以说是在增加正熵——并趋于接近最大值的熵的危险状态，那就是死亡。要摆脱死亡，就是说要活着，唯一的办法就是从环境里不断地汲取负熵，我们马上就会明白负熵是十分积极的东西。有机体就是赖负熵为生的。或者，更确切地说，新陈代谢中的本质的东西，乃是使有机体成功地消除了当它自身活着的时候不得不产生的全部的熵。

## 58. 熵是什么？

熵是什么？我首先要强调指出，这不是一个模糊的概念或思想，而是一个可以计算的物理学的量，就象是一根棍棒的长度，物体的任何一点上的温度，某种晶体的熔化热，以及熔化一种物体的比热等。在温度处于绝对零度时（大约在 $-273^{\circ}\text{C}$ ），任何一种物体的熵等于零。当你以缓慢的、可逆的、微小的变化使物体进入另一种状态时（甚至因此而使物体改变了物理学或化学的性质，或者分裂为两个或两个以上物理学或化学性质不同的部分），熵增加的总数是这样计算的：在那个步骤中你必须供给的每一小部分热量，除以供给热量时的绝对温度，



小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

然后把所有这些求得的商数加起来。举一个例子，当你熔解一种固体时，它的熵的增加数就是：熔化热除以熔点温度。由此，你可看到计算熵的单位是卡/度（摄氏）（就象卡是热量的单位或厘米是长度的单位一样）。

## 59. 熵的统计学意义

为了消除经常笼罩在熵上的神秘气氛，我已简单地谈到了这个术语的定义。这里对我们更为重要的是有序和无序的统计学概念的意义，它们之间的关系已经由玻尔兹曼和吉布斯在统计物理学方面的研究所揭示。这也是一种精确的定量关系，它的表达式是：熵 =  $k \log D$ ， $k$  是所谓的玻尔兹曼常数（=  $3.2983 \times 10^{-24}$  卡/°C）， $D$  是有关物质的原子无序状态的数量量度。要用简短的非专业性的术语对  $D$  这个量作出精确的解释几乎是不可能的。它所表示的无序，一部分是那种热运动的无序，另一部分是存在于随机混合的、不是清楚地分开的各种原子或分子中间的无序。例如，上面例子中的糖和水的分子。这个例子可以很好地说明玻尔兹曼的公式。糖在所有水面上逐渐地“溢出”就增加了无序  $D$ ，从而增加了熵（因为  $D$  的对数是随  $D$  而增加的）。同样十分清楚的是，热的任何补充都是增加热运动的混乱，就是说增加了  $D$ ，从而增加了熵。为什么应该是这样情况呢？只要看下面的例子就更加清楚了，那就是，当你熔化一种晶体时，因为你由此而破坏了原子或分子的整齐而不变的排列，并把晶格变成了连续变化的随机分布了。

一个孤立的系统，或一个在均匀环境里的系统（为了目前的考虑，我们尽量把它们作为我们所设想的系统的一部分），它的熵在增加，并且或快或慢地接近于最大值的熵的惰性状态。现在我们认识到，这个物理学的基本定律正是事物接近混乱状态的自然倾向（这种倾向，跟写字台上放着一大堆图书、纸张和手稿等东西表现出的杂乱情况是同样的），除非是我们在事先预防它。（在这种情况下，同不规则的热运动相类似的情况是，我们不时地去拿那些图书杂志等，但又不肯化点力气去把它们放回原处。）

## 60. 从环境中引出“有序”以维持组织

一个生命有机体通过不可思议的能力来推迟趋向热力学平衡（死亡）的衰退，我们如何根据统计学理论来表达呢？我们在前面说过：“以负熵为生”，就象是有机体本身吸引了一串负熵去抵消它在生活中产生的熵的增加，从而使它自身维持在一个稳定的而又很低的熵的水平上。

假如  $D$  是无序的度量，它的倒数  $1/D$  可以作为有序的一个直接度量。因为  $1/D$  的对数正好

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

是  $D$  的负对数，玻尔兹曼的方程式可以写成这样：负熵 =  $k \log(1/D)$ 。

因此，“负熵”的笨拙的表达可以换成一种更好一些的说法：取负号的熵，它本身是有序的一个量度。这样，一个有机体使它本身稳定在一个相当高的有序水平上（等于熵的相当低的水平上）的办法，确实是在于从它的环境中不断地吸取秩序。这个结论比它初看起来要合理些。不过，可能由于相当繁琐而遭到责难。其实，就高等动物而言，我们是知道这种秩序的，它们是完全以此为生的，就是说，被它们作为食物的、复杂程度不同的有机物中，物质的状态是极有序的。动物在利用这些食物以后，排泄出来的是大大降解了的东西，然而不是彻底的分解，因为植物还能利用它。（当然，植物在日光中取得“负熵”的最有力的供应）

## 第七章 生命是以物理学定律为基础的吗？

如果一个人从不自相矛盾的话，一定是因为他从来什么也不说。

——乌那木诺

### 61. 在有机体中可以指望有新的定律

总之，在这最后一章中我希望阐明的是，根据我们已知的关于生命物质的结构，我们一定会发现，它的活动方式是无法归结为物理学的普遍定律的。这不是由于有没有什么“新的力量”在支配着生命有机体内单一原子的行为，只是因为它的构造同迄今在物理实验室中试验过的任何东西都是不一样的。浅显地说，一位只熟悉热引擎的工程师，在检查了一台电动机的构造以后，会发现它是按照他还没有懂得的原理在工作的。他会发现，他很熟悉的制锅用的铜，在这里却成了很长的铜丝绕成了线圈；他还会发现，他很熟悉的制杠杆和汽缸的铁，在这里却是嵌填在那些铜线圈的里面。他深信这是同样的铜和同样的铁，服从于自然界的同样的规律，这一点他是对的。可是，不同的构造却给他准备了一种全然不同的作功方式。他是不会认为电动机是由幽灵驱动的，尽管它不用蒸汽只要按一下开关就运转起来了。

### 62. 生物学状况的评述

在有机体的生命周期里展开的事件，显示出一种美妙的规律性和秩序性，我们碰到过的任何一种无生命物质都是无法与之匹敌的。我们发现，它是受一群秩序性最高的原子所控制的，在每个细胞的原子总数里，这种原子团只占了很小的一部分。而且，根据我们已经形成的关于突变机制的观点，我们断定，在生殖细胞的“占统治地位的原子”团里，只要很少一些原子的位置发生移动，就能使有机体的宏观的遗传性状中出现一个明显的改变。

这些事实无疑是当代科学所揭示的最感兴趣的事实。我们也许会发现它们终究还不是不能接受的。一个有机体在它自身集中了“秩序之流”，从而避免了衰退到原子混乱——从合适的环境中“吸取秩序”——这种惊人的天赋似乎同“非周期性固体”，即染色体分子的存在有关。这种固体无疑代表了我們所知道的最高级的有序的原子的集合体——比普通的周期性晶体的有序高得多——它是靠每个原子和每个自由基在固体里发挥各自的作用。

简单地说，我们亲眼看到了现存的秩序显示了维持自身和产生有序事件的能力。这种说法听上去似乎是很有道理的。然而它之所以似乎有道理，无疑地是由于我们汲取了有关社会组织的经验和涉及到有机体活动的其他事件的经验。所以，它有点象一种恶性循环的论证。

### 63. 物理学状况的综述

不管怎样，必须反复强调的一点是，对于物理学家来说，这种事态非但不是似乎有道理的，而且是最令人鼓舞的，因为它是新奇的。同一般的看法相反，受物理学定律支配的事件的有规律的进程，决不是原子的一种高度有序的构型的结果——除非原子构型本身不象在周期性晶体里，也不象在由大量相同分子组成的液体或气体里那样地多次重复。

甚至在化学家离体处理一种很复杂的分子时，还总是面临着大量的同样的分子。他把化学定律应用于这些分子。比如，他会告诉你，在某个开始了一分钟以后，有一半的分子起了反应，二分钟后四分之三分子起了反应。可是，你如果能盯住某一个分子的进程，化学家也就无法预言这个分子究竟是在起了反应的分子中间，还是在还没有起反应的分子中间。这纯粹是个机遇的问题。

这并不是一种纯理论性的推测。也不是说我们永远无法观察到一小群原子，或者甚至是单个原子的命运。有时我们是能观察到的，只有平均统计一下才能产生规则性。第一章里我们举过一个例子。悬浮在液体中的一颗微粒的布朗运动，是完全不规则的。可是，如果有许多同样的微粒，它们将通过不规则的运动引起有规则的扩散现象。

单个放射性原子的蜕变是观察得到的（它发射出一粒“子弹”，在荧光屏上会引起一次可见的闪烁现象）。可是，如果把单个放射性原子给你，它可能的寿命比一只健康的麻雀要短得多。真的，关于单个放射性原子只能这样说：只要它活着（而且可能活几千年），它在下一秒钟里毁灭的机会，不管机会是大还是小，总是相同的。这种明显地不存在单个的决定，结

果还是产生了大量的、同一种放射性原子衰变的精确的指数定律。

#### 64. 明显的对比

在生物学中，我们面临着一种完全不同的状况。只存在于一个副本中的单个原子团有秩序地产生了一些事件，并根据最微妙的法则，在相互之间以及同环境之间作难以置信的调整。我说只存在于一个副本中，是因为我们毕竟还有卵和单细胞有机体的例子。在高等生物发育的以后阶段里，副本增多了，那是确实的。可是，增加到什么程度呢？我知道，在长成的哺乳动物中有的可达 10 的 14 次方。那是多少呢？只有一立方吋空气中的分子数目的百万分之一。数量虽然相当大，可是聚结起来时它们只不过形成了一小滴液体。你再看看它们实际分布的方式吧。每一个细胞正好容纳了这些副本中的一个（或二个，如果我们还记得二倍体），既然我们知道这个小小的中央机关的权力是在孤立的细胞里，那么，每个细胞难道不象是用共同的密码十分方便地互通消息的、遍布全身的地方政府的分支机构吗？

这真是个异想天开的描述，有点象出自诗人的而不是科学家的手笔。然而，这并不需要诗人的想象，而只需要有明确而严肃的科学反映去认识我们现在面对着的事件，就是说，指挥这些事件有秩序地、有规则地展开的“机制”同物理学的“概率机制”完全是两码事。这些还只不过是观察到的事实而已，即每个细胞中的单个原子集合体之中，现在一份（有时是两份）副本中的单个原子集合体之中，而且它产生的事件却是有序的典范。对此，我们感到惊异也罢，认为它好象很有道理也罢，反正一个很小的可是高度组织化的原子团是能够以这种方式起作用的，这是新奇的情况，是生命物质以外任何地方都还不知道有的情况。研究无生命物质的物理学家和化学家们，从来没有看到过他们必须按这种方式来进行解释的现象。正因为以前没有提出过这种事例，所以我们的漂亮的统计学理论没有包括它，我们的统计学理论是很值得骄傲的，因为它使我们看到了幕后的东西，使我们注意到从原子和分子的无序中提出精确的物理学定律的庄严的有序；还因为它揭示了最重要的、最普遍的、无所不包的熵增加的定律是无需特殊的假设就可以理解的，因为熵并非别的东西，只不过是分子本身的无序而已。

#### 65. 产生有序两种方式

在生命的发展中遇到的秩序性有不同的来源。有序事件的产生，看来有两种不同的“机制”：“有序来自无序”的“统计学机制”，和“有序来自有序”的一种新机制。对于没有偏见的人来说，第二个原理似乎简单得多，合理得多。这是无疑的。正因为如此，所以物理学家是如此自豪地赞成另一种方式，即赞成“有序来自无序”的原理。在自然界中，不仅实际上是

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

遵循这个原理，而且只有这个原理才使我们理解自然界事件的长期发展，首先是理解这种发展的不可逆性。可是，我们不能指望由此得出的“物理学定律”能直截了当地解释生命物质的行为，因为这些行为的最惊人的特点，是明显地主要以“有序来自有序”的原理为基础的。你不能指望两种全然不同的机制会提出同一种定律，正象你不能指望用你的弹簧锁钥匙去开你邻居的门。

因此，我们不必因为物理学的普遍定律难以解释生命而感到沮丧。因为根据我们对生命物质结构的了解，这正是预料中的情况。我们必须准备去发现在生命物质中、占支配地位的新的物理学定律。这种定律，我们姑且不称它是一种超物理学定律，可是难道能称之为非物理学定律吗？

## 66. 新原理并不违背物理学

不，我不那么想。因为这个涉及到的新原理是真正的物理学原理：在我看来，这不是别的原理，只不过是量子论原理的再次重复。要说明这一点，我们就要说得详细些，包括对前面作出的所有物理学定律全以统计学为基础的论断作一番推敲，但不是作修正。

这个一再重复的论断，是不可能不引起矛盾的。因为确实有很多现象，它们许多突出的特点是明显地直接以“有序来自有序”的原理为基础的，并且同统计学和分子的无序看来是毫无关系的。

太阳系的秩序，行星的运动，几乎是无限期地维持着。此时此刻的星座是同金字塔时代的任何一个具体时刻的星座一脉相承的；从现在的星座可以追溯到那时的星座，反过来也是如此。曾经预测过历史上的日食和月食，并且发现这种预测同历史上的记载几乎是完全符号的，在某些情况下，甚至用来校正公认的年表。这些预测不包括任何一种统计学，它们是以牛顿的万有引力定律作为唯一的依据的。

一台好的时钟，或者任何类似的机械装置的有规则运动，似乎跟统计学是无关的。总之，所有纯粹机械的事件，看来是明确而直接地遵循着“有序来自有序”的原理。如果我们说“机械的”，必须在广义上来使用这个名词。你们知道，有一种很有用的时钟，是以电站有规则地输送电脉冲来运转的。

我记得马克斯·普朗克写过一篇很有意思的小文章，题目是《动力学型和统计学型的定律》（德文是《动力学和统计学的合法性》）。这两者的区别，正好就是我们在这里称之为“有序来自有序”和“有序来自无序”的区别。那篇文章旨在表明控制宏观事件的统计学型的定律，是如何由被认为是控制微观事件、即控制单原子和单分子的相互作用的“动力学”定律所组成的。宏观的机械现象，如行星或时钟的运动等，说明了后一种类型的定律。

这样看来，被我们一本正经地当作了解生命的真正线索的“新原理”，即“有序来自有序”



小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

的原理，对物理学来说，完全不是新东西。普朗克甚至还摆出了论证它的优先权的架势。我们似乎得出了可笑的结论，即了解生命的线索是建立在纯粹机械论的基础之上的，是普朗克那篇文章所说的“钟表装置”的基础之上的。我看，这个结论既不是可笑的，也不是全错的，但是对它是“不可全信”的。

## 67. 钟的运动

让我们来精确地分析一台真的钟的运动。它决计不是一种纯粹机械的现象。一台纯粹机械的钟不必有发条，也不必上发条。它一旦开始运动，就将永远进行下去。一台真正的钟，如果不用发条，在摆动了几下以后就停摆了，它的机械能已转化为热能。这是一种无限复杂的原子过程。物理学家提出的这种运动的一般图景，迫使其承认相反的过程并不是完全不可能的：一台没有发条的钟，依靠消耗它自己的齿轮的热能和环境的热能，可能突然地开始走动了。物理学家一定会说：时钟体验了布朗运动的一次非常灵敏的扭力天平（静电计或电流计），就能一直发生这种事情。时钟当然是绝对不可能的。

一台时钟的运动能否归因于动力学型或统计学型的合法事件（用普朗克的说明），这取决于我们的态度。称它为一种动力学现象时，我们是集中注意于有规则的运行，一根比较松的发条就可以产生这种运行，而这根发条克服的热运动的干扰是很微小的，所以我们可以忽略不计。可是，如果我们还记得，没有发条，时钟就会因摩擦阻力而渐渐地停摆，我们认为，这种过程只能理解为一种统计学的现象。

然而，认为时钟中的摩擦效应和热效应是无足轻重的观点，也许是一种来自实用的观点；而没有忽视这些效应的第二种看法，无疑是更基本的一种看法，即使在我们面对着用发条开动的时钟有规则地运动时，这也是基本的看法。因为它决不认为开动的机制真是离开了过程的统计学性质。真实的物理学图景包括了这样的可能性：即使是一架正常运行的时钟，通过消耗环境中的热能，会立刻使它的运动全部逆转过去，以及向后倒退地工作，重新上紧自己的发条。这种事件的可能性，同没有发动装置的时钟的“布朗运动大发作”相比，正好是“半斤八两”。

## 68. 钟表装置毕竟是统计学的

现在我们来作一番回顾。我们已经分析过的“简单”例子是代表了许多其他的例子——事实上，是代表了所有这些逃脱了分子统计学的无所不包的原理的例子。由真正的物理学的物质（不是想象中的东西）构成的钟表装置，并不是真正的“钟表装置”。机遇的因素可能是或

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

多或少地减少了，时钟突然之间全然走错了的可能性也许是极小的，不过，它们总还是保留在背地下。即使在天体运行中，摩擦和热力的不可逆影响也不是没有的。于是，由于潮汐的摩擦，地球的旋转逐渐地减慢，随之而来的是月球逐渐地远离地球，如果地球是一个坚硬无比的旋转着的球体，就不会发生这种情况。

事实上，“物理学的钟表装置”仍是清楚地显示了十分突出的“有序来自有序”的特点——物理学家正是在有机体遇到这种特点时，使他们深受鼓舞的。这两者看来毕竟还有某些共同之处。可是，共同点是什么，以及究竟是什么样的差别才使得有机体成为新奇的和前所未有的例子，这些还有待于了解。

## 69. 能斯脱定理

一个物理学系统——原子的如何一种结合体——什么时候才显示出“动力学的定律”（在普朗克的意义上说）或“钟表装置的特点”呢？量子论对这个问题有一个简短的回答，就是说，在绝对零度时。当接近零度时，分子的无序对物理学事件不再有什么意义了。顺便说一下，这个事实不是通过理论而发现的，而是在广泛的温度范围内仔细地研究了化学反应，再把结果外推到零度——绝对零度实际上是达不到的——而发现的。这是沃尔塞·能斯脱的著名的“热定理”，毫不夸张地说，这个定理有时授予“热力学第三定律”的光荣称号（第一定律是能量原理，第二定律是熵的原理）。

量子论为能斯脱的经验定律提供了理性的“基础”，也使我们能够估计出，一个系统为了表现出一种近似于“动力学”的行为必须密切地接近绝对零度到什么程度。在任何一种具体的情况下，多少温度是实际上等于绝对零度呢？

你千万别认为这个温度一定是极低的低温。其实，就是在室温下，熵在许多化学反应中都是起着极其微不足道的作用，能斯脱的发现就是由这种事实引起的（让我再说一遍，熵是分子无序的直接量度，即它的对数）。

## 70. 摆钟实际上是在零度

对于一台摆钟又能说些什么呢？对于一台摆钟来说，室温实际上就等于零度。这就是它为什么是“动力学地”工作的理由。你如果把它冷却，它还一样地继续进行工作（假如你已经洗清了所有的油渍）！可是，你如果把它加热，加热到室温之上，它就不再继续工作了，因为它最后将要熔化了。

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

71. 钟表装置与有机体之间的关系

看上去这似乎是无关紧要的，不过，我认为它确实是击中了要害。钟表装置是能够“动力学地”工作的，因为它是固体构成的，这些固体靠伦敦—海特勒力而保持着一定的形状，在常温下这种力足以避免热运动的无序趋向。

我认为现在有必要再讲几句话，来揭示钟表装置同有机体之间的相似点，简单而又唯一的相似点就是后者也是依靠一种固体——构成遗传物质的非周期性具体——而大大地摆脱了热运动的无序。可是，请不要指责我把染色体纤维称为“有机的机器的齿轮”——这个比喻，至少不是没有深奥的物理学理论作为依据的。

最明显的特点是：第一，齿轮在一个多细胞有机体里奇妙的分布，这点我在第 64 节中曾作了诗一般的描述；其次，这种单个的齿轮不是粗糙的人工制品，而是沿着上帝的量子力学的路线完成的最精美的杰作。

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的

1、小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。您也可以在微信上呼唤我 放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的 。

2、扫面下方二维码，关注我的公众号，回复电子书，既可以看到我这里的书单，回复对应的数字，我就能发给你，小编每天都往里更新 10 本左右，如果没有你想要的书籍，你给我留言，我在单独的发给你。



扫此二维码加我微信好友



扫此二维码，添加我的微信公众号，  
查看我的书单

小编希望和所有热爱生活，追求卓越的人成为朋友，小编：QQ 和微信 491256034 备注书友！小编有 300 多万册电子书。放心，绝对不是微商，看我以前发的朋友圈，你就能看得出来的