时间与物理

（一）

创洁 编著



需要全本请访问 www.ertongbook.com

目录

时间的形象.....1
牛顿物理学的兴起.....19
时间使爱因斯坦受挫.....56
时间的量子跃迁.....104

时间的形象

时间是给人神秘感最大的来源之一。它深奥难测的性质，是有史以来人们日夜捉摸的对象。历代的诗人、作家、哲学家都被时间迷惑过。可是，近代的科学家们却没有这样。现代科学，尤其是物理学，即使没有完全取消，也总在想降低时间在事物中的作用。因此有人称时间为被忘却的维度。

我们都知道时间一去不返，觉得它的流逝好象支配着我们的存在，过去已不可改变，未来是一片空白。我们有时巴不得能扳回时针，能挽回过失，能重享美好的时光。可惜，常理不允许我们这么做。我们知道，时间是不等人的，时间不会倒流。

真不会吗？奇怪的是，许多科学理论并不支持我们一般对时间的看法；在这些理论中，时间的方向无关紧要。如果时间倒走，现代科学的几座大厦--牛顿力学、爱因斯坦的相对论、海森堡和薛定谔的量子力学，也都同样站得住脚。对这些理论来说，记录在影片上的事件，不管影片顺放还是倒放，看上去都行得通。单向的时间，反而像是我们脑中产生的幻觉。研究这个问题的科学家们，带着几分嘲笑的口气，把我们日常时间流逝的感觉，称为“心理时间”或者“主观时间”。

宇宙会不会有这样一个地方，那里时间的方向跟我们所熟悉的方向相反，那里的人们从坟墓里升出，皱纹从脸上消失，然后回进母胎？在那个世界里，香气神秘

地凝结成香水，钻入瓶中；池塘里的水波向中心汇聚，弹出石头；屋里的空气自发地把各种成分分解出来；破瘪的橡皮膜自动膨胀，密封成气球；光从观测者的眼睛里射出来，然后被星球吸收。可能的事或许还不止这些。按照这个想法，地球上的时间也会开倒车，我们也都会被过去所吞没。

那样就跟所有时间总朝一个方向走的大量事实完全矛盾了。让我们比较一下时间和空间。空间包围着我们四周，而时间总是一点一点地体验到。左右之间的差别，根本比不上过去和未来之间的差别。在空间中我们可以朝四面八方走来走去，而我们一切行动只能对将来起作用，不能影响过去。我们只有回忆，但除非是千里眼，不能预知未来。物质一般总是逐渐地腐烂下去，而不会自发地聚合。这样看上去，特殊的方向，空间没有，时间有。时间行走像一支箭。“ 时间之箭 ”这意味深长的词，是英国天体物理学家爱丁顿（ArthurEddington）在 1927 年首先提出的。

探讨时间在当前科学理论中扮演的各种角色及其后果，并且指出我们的确能找到一个对时间的统一看法，这个看法和我们直接经验的时间一致、不矛盾。时间之箭甚至会启发我们：为了描述自然界，有必要建立一个比目前更深刻、更基本的理论框架。

文学中的时间

平常一般对时间的看法，在一些文学名著中得到极生动的表达。单向的时间使我们觉得万事无常；这种感情，再好不过地流露在普鲁斯特（MarcelProust）自传小说的书名“ 重找失去的时光 ”里。这些作家脑子里转来转去的，就是人生短促有限，光阴一去不返。时间不

由自主地向前走，每个时刻我们都得抢，都得尽情玩味。昙花一现，生命的神秘更加神奇；朝生暮死，更使我们觉得时间的不可逆。象征时间的老人，代表死亡的骷髅收割者，同样带有一把镰刀、一瓶砂漏，这不是偶然的：时间到了，谁也逃不过那把镰刀。

多少诗、多少文章，是描述时间的流逝！古波斯哲学家兼诗人，奥玛·哈央姆（OmarKhayysm，死于 1123 年）的冥思，在菲兹哲罗（EdwardFitzgerald）的意译之中永存不朽：

不停前移的手指写字字一写完就向前去

不管你多虔诚多聪明它不会回来改半句

你眼睛里所有的眼泪洗不掉它的一个字

人生的悲哀归根到底来自时间的不可逆转。不言而喻，最后胜利属于死亡。凡是活着的都要死，这事实就是时间流逝的铁证；这里就和科学开始挂钩。要想了解我们周围的世界，这一点非解决不可。就如爱丁顿所说：“在属于内心和外界的两种经验之间搭任何桥梁，时间都占着最关键的地位。”

文化时间

时间有向的概念，并不是一直都有的。潮水、冬夏二至、季节、星辰的循环往来，这些现象使许多原始社会把时间看作一种基本上不断循环的有机节奏。他们想，既然时间跟天体的循环运转分不开，时间本身也应该是循环的。白天跟随黑夜，新月代替旧月，冬天过了是夏天，为什么历史就不这样？中美洲的玛雅人相信历史每二百六十年重复一次，这个周期他们叫拉马特，是他们日历的基本单元。他们认为灾难也有周期：1698 年，西班牙人入侵登陆，伊嚓部落闻风而逃，因为他们相信周

需要全本请访问 www.ertongbook.com

期满了，灾难来到。这点他们并没有搞错，但并不是什么预言，连巧合都算不上：原因是入侵八十年前，西班牙人从传教士那边得知玛雅人相信时间有周期，所以侵略者本来就预料到对方的反应。

时间的循环模式是希腊各宇宙学派的一个共同点。亚里士多德在他的《物理学》中说："凡是具有天然运动和生死的，都有一个循环。这是因为任何事物都是由时间辨别，都好像根据一个周期开始和结束；因此甚至时间本身也被认为是个循环。"斯多葛（Stoics）学派的人相信，每当行星回到它们初始相对位置时，宇宙就重新开始。公元四世纪的尼梅修斯（Nemesius）主教说过："苏格拉底也好，柏拉图也好，人人都会复生，都会再见到同样的朋友，再和同样的熟人来往。他们将再有同样的经验，从事同样的活动。每个城市、每个村庄、每块田地、都要恢复原样。而且这种复原不仅是一次，而是二次三次，直到永远。"好像所有历史的事件都装在一个大轮子上一样，循环不已。这不断回返的观念重新出现在现代数学里面，叫"庞加莱循环"；庞加莱（Henri Poincaré）是世界伟大数学家之一，活跃于上世纪末、本世纪初。

时间之箭引起我们内心的恐惧，因为它意味着不稳定和变迁。它所指向的是世界的末日，而不是世界的重新再生。罗马尼亚人类学者、宗教史学者埃里阿德（MirceaEliade）在他有关时间之箭和时间循环，名为《永恒回返的神话》的书里，认为世上从有人类以来，多半的人都觉得循环时间更令人安慰，而将它紧抱不放；这样，过去也是将来，没有真正的"历史"可言，死心塌地地承认再生和更新。请注意他写的："远古人的生

命……虽然发生在时间里面,并不记录时间的不可逆性；换句话说，对时间意识中最明确的特征，它反而置之不理。”

是犹太基督教传统把“线性”(不可逆）的时间，一下子直截了当地建立在西方文化里面。埃里阿德写道：“这种‘无尽循环’的老调，基督教企图一下子将它超越。”由于基督教相信耶稣的生、死、和他的上十字架受难，都是唯一的事件，都是不会重复的，西方文化终于把时间看成是穿越在过去和未来之间的一条线。基督教出现以前，只有犹太人和信仰拜火教的波斯人认同这种前进式的时间。

不可逆时间深刻地影响了西方思想。对“进步”和地质学所谓的“深时”指人类进化只是新上地球舞台不久的一出戏的那项惊人发现，不可逆时间给我们做了心理准备。它为达尔文的进化论开辟了道路，从而把我们和原始生物在时间上连接起来。总之，线性时间概念的出现，和因之而起的思想改变，为现代科学以及其改善地球上生命的保证，打下了基础。

文化时间的循环模式和线性模式，在生物时间中可以找到对应。细胞的分裂，以及体内各种不同节奏从高频的神经脉冲到悠闲的细胞更新所组成的交响乐，都牵涉到循环式时间；而不可逆的时间则体现于从生到死的老化过程之中。日常用的钟表也具有这两个不同的时间面貌。一方面，不停的钟摆或晶体振荡累积成一般所谓的“时间”,在地球上这时间就表示为十二小时或二十四小时的周期。另一方面，各种耗散现象，诸如电池的干涸，发条的松弛，钟锤的下降，都告诉我们时间是一去不回头的。

哲学中的时间

时间是哲学家不断思索研究的一项课题。数学家惠特罗（GeraldWhitrow）在他的名著《时间的自然哲学》里面，强调阿基米德和亚里士多德是对时间两个极端看法的代表人：亚里士多德认为时间是内禀的，对宇宙说来是基本的，而阿基米德的看法就完全相反。两千年来，这个争论，以不同的形式一直在进行。

柏拉图在他讲宇宙学的著作《狄玛尤斯》(Timaeus)里说，太初混沌，神工强加以形序，时间乃生。《狄玛尤斯》一开头就讲“ 实存 ”(being)和“ 将然 ”(becoming)的区别；这两个概念，以各种形式重新出现于近代科学理论之中。对柏拉图，“ 实存 ”的世界是真正的世界，“ 此世界永恒不变，由智慧借助论证而得知 ”；而“ 将然 ”的世界（时间的领域），则是“ 意见与非理智感觉之客体，既生又灭，从未完全真实过 ”。他把“ 将然 ”比作旅途，把“ 实存 ”比作终点，说只有后者才是真实的。这样，具有时间的物理世界只有次等的真实性。这种区别，支配着柏拉图哲学的全部。

拥有这种看法的人，在柏拉图以前是帕尔米尼笛斯（Pa-rmenides)。他相信实际是既不可分，也没有时间的。他的学生，意大利南部埃里亚的芝诺（Zeno)，为了整个推翻我们对时间的观念，创造了一批著名的佯谬来捉弄我们。其中最有名的一个叫勇士和乌龟，企图用来证明：“ 如果时间可以无穷地分而再分，运动将是不可能。”设想勇士在追乌龟：当勇士达到当初乌龟在的地方，乌龟又走了一（小）段路；当勇士把那段路走完后，乌龟又走了一段，这样下去，永无止境。

究竟芝诺这个佯谬和他别的佯谬意义多大，众论不

一。自从芝诺在二十四个世纪以前把它们提出以来，至今已有大批文献问世，有的说是无稽之谈，有的却认为非常高深。惠特罗仔细分析的结论是：要解开这些佯谬，只有两条路。一条是否定“将然”这个概念，于是时间便有真正属于空间的性质；另一条路是不承认时间像空间那样可以分而再分。

就像红颜色给不同的人有不同的主观印象，而仍然是视觉中不可少的一部分，哲学家康德同样认为，时间固然是我们经验中不可缺少的一个成份，它其实是没有客观意义的：“时间并不是什么客观的东西，它既不是实体，也不是偶发，也不是关系；它是因为人类心灵的本性而必然产生的主观条件。”康德的“主观主义”看法，和有些科学家对今日科学中时间的解释，十分相似。一个简单的，显而易见的，被历代的唯心主义者们帕尔米尼笛斯、柏拉图、斯宾诺扎、黑格尔、布拉德里（Bradley)、麦克太戈特（M’Taggart）等所乐于采取的办法，是说时间充满矛盾，所以不会是真实的。对这种形而上学的遁词，逻辑学家克琉（M.Cleugh）老实不客气地说道：“说时间由于自相矛盾便只是表面现象，非但没有解决问题，连答案都说不上。”

玻尔兹曼（LudwigBoltzmann）给形而上学起了个浑名，叫它“人脑中的偏头疼”。他说：“最平常的东西一到哲学便成为不可解决的难题。哲学以无上的技巧建造了空间和时间的概念，然后又发现这样的空间里不可能有物体，这样的时间里不可能有过程发生……。把这个叫做逻辑，我看就像一个想去山区旅行的人，穿着长而累赘的衣服，在平地上没走三步就被绊倒了一样。这种逻辑来源于对所谓的思想规律的盲目信任。’玻尔兹曼尖

刻地批判了一群包括黑格尔、叔本华、康德的哲学家，他说：“为了追究到底，我拜读了黑格尔；可是那里我看到的是滔滔不绝、不清不楚而又毫无思想的一番空话！从他那里总算我倒楣，我又去找叔本华……。就是在康德那里，也有不少话，叫我莫名其妙；以至令我怀疑，像他这样脑筋灵敏的人，是否在跟读者开玩笑，还是在存心欺骗读者。”

时间：牛顿和爱因斯坦

要是哲学里的时间使人失望，科学里的又如何？十七世纪中叶，惠更斯（ChristiaanHuygens）发明成功第一部摆钟，随后“计时”的精度不断提高，逐渐令人觉得自然界是机械性的，是可预言的。时钟技术的发展把时间从人类的事件中解开，使我们更相信独立的科学世界。十七、十八世纪产生的“经典”科学所描绘的宇宙里面，自由意旨和偶发事件都是多余的；那个宇宙从各种观点来看，都无异于一座机器。

真正“科学时间”的诞生，我们可以上溯到发现物体运动数学表达式的牛顿。他的成就的确令人惊叹。他的运动公式，从苹果到月亮都能适用；地球上的动力学，天空上的动力学，被他融汇成一体。如此有力的表达式仅仅牵涉到很少几个假设，给人十分优美的感觉，因此人们很快地接受了牛顿的思想。于是，牛顿成为现代科学的奠基者。

牛顿无疑受到数学家巴罗（IsaacBarrow）的影响。1669 年巴罗从剑桥著名的卢卡逊教授席退休时，设法保证该席由牛顿继任。巴罗曾说过，“既然数学家经常讲时间，他们对该词的意义应有明确的观念，否则他们不过是江湖术士罢了”。然而，尽管牛顿的科学成就如此辉煌，

他方程式里的时间却只是一个未经定义的原始量。就像牛顿的空间一样，牛顿的时间也是绝对的。这就是说，所有任何事件，都在空间里有个一定的位置，都发生在时间里某个特定的时刻。格林威治天文台也好，远处旋涡星系的一个角落也好，每个地方都被现在这个同一时刻所连接。牛顿的《自然哲学之数学原理》说："绝对的、真实的、数学的时间，由于它自身的本性……，与任何外界事物无关地、均匀地流逝。"

牛顿力学具有极高的预测能力，它使每个时刻都有能力提供宇宙过去未来所有可能的信息。我们只要把宇宙某个时刻所有星球的位置、速度，放入一个解牛顿方程的巨大计算机就行了。冻结在那个时刻的，是整个的过去和未来：计算机能算出别的任何时刻星球的位置和速度。但是牛顿方程式不会做的是，它不能断定时间的哪个方向是我们宇宙的过去，哪个是未来。牛顿方程式从时间里把方向抽走了，没有为时间的不断前进性腾出任何地方。他这种对称式的时间，可以用拍摄行星运动的影片来阐明，好比说，用 1977 年发射的探测外太阳系的旅行者二号飞船拍的影片。牛顿首次对这种运动定下了数学规律；然而，顺放也好，倒放也好，影片总是符合他的天体力学定律的。过去和未来都是预先注定的世界，对这种决定性世界的信仰，在物理学发展上起过极大的作用。它的影响可以从爱因斯坦接到他终生好友贝索（MichelangeloBesso）死讯时说的一句话里看出来。在他 1955 年 3 月 21 日的信里，爱因斯坦用他"物理定律没有时间性"这个坚强的信仰，试着给贝索的家人少许安慰。死并非终点，他写道："对我们这些坚信物理学的人来说，过去、现在和未来之间的区别，尽管老缠着

需要全本请访问 www.ertongbook.com

我们，不过是一个幻觉而已……。”或许写这封信时，爱因斯坦也有意安慰自己，因为他又加了这么一句：“贝索向这个奇怪的世界告别，只比我稍早一点。”一个月后，爱因斯坦就去世了。

现在我们知道，牛顿的运动理论，在有些场合之下不适用：当物体的速度接近光速时，它不适用；在大质量、高引力场，包括黑洞的情况下，它也不适用；它也不适用于牵涉到原子和亚原子粒子的极小尺度上。可是主管这些场合的二十世纪两大革命，即爱因斯坦的相对论和量子力学，也同样建立在时间无向的概念上面。因此，要想在历史文学的不可逆时间和牛顿定律的对称时间之间搭桥梁，这两套理论同样是束手无策。

这并不是说它们没有对于时间提出新的、引人入胜的观念。爱因斯坦的相对论砸碎了牛顿绝对时间的通常观念宇宙中任何事件都发生在空间的某一点、时间的某个时刻，而那时刻是到处一样的。爱因斯坦认为存在是四维的，是在合并三维空间和一维时间的四维时空中的存在，而不是一个三维存在外加它在时间上的演化。我们的时间感会被疾病或者药物搞乱。而爱因斯坦的相对论说，时间对不同运动状况的观察者是不同的：对某个观察者来说，一台钟如果钟本身移动得越快，它的时针、分针、秒针

就走得越慢。相对论兴起以后，经过逻辑学家戈岱尔（KurtGdel）的研究，连时间旅行的可能性，也登上了科学的大雅之堂。

尽管如此,爱因斯坦惊人的相对论对时间的单向性，还是无话可说。就跟牛顿方程式一样，如果我们知道一个系统例如围绕一个黑洞的一颗星，或者整个宇宙在某

个时刻的所有细节的话，那么爱因斯坦方程式的结构便能使我们知道它的整个过去和未来。可是，究竟哪个方向是过去，哪个是将来，它并未留下任何线索。此外，与它有关的数学中出现令人为难的“奇点”，在那里，空间、时间和物质无法描述，因而引起对它基本性的怀疑。最有名的奇点就是所谓的“大爆炸”那个普遍被认为产生宇宙的超高密度火球。在这个奇点，巨大的能量都集中到一点，理论中的可测量都变为无穷大，从而变为无意义。正如宇宙学家西亚玛（DennisSciama）所说：“广义相对论孕含着自戕的种子。”

量子时间

在我们给时间的方向寻找科学依据时，统治原子分子世界的量子论看上去似乎较有希望。量子论很成功地，同时也很令人不解地，描述了原子分子的各种奇行性迹。它能解释激光、核反应器中的亚原子、计算机里的电子，和许多其它东西的行为。我们从组成这个世界的原子分子大聚合的量子描述里，也许可以给我们有切肤感受的时间之箭，找到一个量子描述。这个想法来自一个很辉煌的传统。自从希腊文化的黄金时代以来，用组成世界的原子分子来描述世界这部名为“归化原子法”的哲学遗产，在科学思想的发展中，占有至高无上的地位。

后面提到有两个棘手的问题：一是名为“长寿 K 粒子”的奇案，二是量子论中测量本身就是一个难解之迷。从这两点我们似乎能瞥见到一个时间的量子箭头。可是，量子论的中心思想是跟随其它“基本”理论的，是不分时间的两个方向的。就和爱因斯坦的相对论一样，量子论也有严重的内症：用它处理实际问题时，譬如原子如何吸光、如何发光，它就会爆出许多令人头疼的无穷大。

虽然物理学家已理出一套能躲开这些无穷大的诀窍，我们也难免觉得内中大有蹊跷。

量子力学和爱因斯坦的相对论两虎不能容于一山。有些科学家像牛津大学的彭罗斯（RogerPenrose）相信，这两门理论如果真正统一了，就会出现一个量子引力理论，或者什么新的理论，其中时间之箭是明文规定的。这一步看上去一时还不能实现，并且很可能仍有不足之处。这是因为目前有一个危险，就是把我们的科学世界观，死死地建造在具有时间可逆性的，原子、分子、粒子和场的微观层次上，而这个层次到底不是直接观测到的。正如诺贝尔奖获得者普里高金（IlyaPrigogine）所说："尽管物理大师跟我说了，我总还是不明白，怎么能从可逆性里得出我们宇宙、文化和生命的演化形式。"

时间与热力学

另一种描述，牵涉到科学家所谓的宏观层次。这个层次的现象是我们看得到、尝得到、碰得到和感觉得到的。热力学也就是探讨这个层次。十九世纪，这门学问随着蒸汽动力的出现而问世，布莱克（Black）、卡诺（Carnot）、克劳修斯（Clausius）、玻尔兹曼、吉布斯（Gibbs）等人将它发展；它当时注意的是热机的功能。在一个形式的理论框架之下，热力学列出热和功之间的关系，详细说明了热如何转化为别种能量，如何跟别种能量交换。

我们对时间流逝的感觉，一面固然被经典力学、相对论、量子力学搞乱，另一面却从热力学中得到支持。就像我们觉得到时间是有方向的，热力学第二定律也说热只能从较热的物体流到较冷的物体，说雪人会融化，雕像会粉碎。第二定律和我们的时间感之间的关联可以

用瓷器店和公牛的影片来说明。如果时间是朝正的方向走，影片就一定会显示出：完好的瓷器到处乱飞，碗碟被牛蹄踩碎。但如果我们看到公牛先倒走进被破坏得烂糟糟的店里，等到最後一个茶杯都好好地飞回架上以后又倒走出来，那我们就知道影片放倒了。第二定律规定这种事不会发生，永动机不可能存在，证明任何过程中，能量都要转化成热而被消耗掉；这里，掉下来的碗碟的能变为再也不能复原的热和声。这种不能倒过来的损失是跟我们时间流逝的感觉连在一起的：从第二定律里面，我们发现一个叫做“熵”的量，它度量一个系统可变的能力，它跟时间有密切关系。熵的增大是时间方向的指路标。爱丁顿为了强调第二定律的至尊地位，发出了这样的警告：“……如果你的理论违背第二定律，那你就没有希望了，你的理论只有丢尽脸、垮台。”

上面我们看到，牛顿力学里过去、现在、未来的任何时刻都是一样的；因此，力学没有时间性，“演化”没有太深的意义。热力学就不同了，这里，熵把每个时刻加以区别，宇宙是真正在演化的。

就像古代的人，谈到不可逆时间就害怕，而一些哲学家们说时间是幻觉，草草地将它放在一边，很多科学家也很想把第二定律的含义简单埋葬了事。他们说不可逆时间，是和我们的头脑如何理解时间有关，而不是客观流逝。因为可逆时间的理论如此成功，所以这些科学家们想尽方法说第二定律中的时间之箭只不过是种幻觉。可是下面我们将会看到，这个说法如果对，那差不多所有的东西，连生命本身的节奏和过程，都变成我们个人的局限和近似的结果；这是因为解释有机过程的数学工具里面，时间之箭是基本的一部分。

一个常取的办法是，不讲别的，只问力学定律在实际上是怎样应用的。应用一个物理定律时，除掉这个定律以外，我们还得输入一些数字，代表初始条件，或者边界条件，例如宇宙中所有粒子的位置和速度。许多物理学家认为，热力学的时间之箭不知怎么搞的只是跟这些初始条件有关，而不是物理定律本身的一部分。

按照这个想法，如要了解时间之箭，应该考虑所有初始条件的老祖宗宇宙的诞生。他们说，宇宙最初很小，很密，处于高度组织、低熵状态；于是时间的流逝就一定和熵的增大、混乱的增大对应，而宇宙一直在膨胀，能量不断消耗成一片废热所谓“宇宙热寂”的过程。但如果宇宙有朝一日开始缩小，这想法不是就不行了吗？那时候，熵不是就要开始降低了吗？时间不是就要开倒车了吗？下面我们会看到,这种牵涉到边界条件的论调，说好一点，是主观性的，说坏一点，就是与题风马牛不相及。仅用初始条件显然解释不了时间之箭。另外有些人，其中包括数学物理学家霍金（StephenHawking），想把初始条件解释成宇宙论本身的结果。他的办法是把现今纯理论的对称时间的宇宙学理论推到尽头，然后说边界条件就是没有边界条件。这样一来，就不会出现不守规矩的奇点，空间时间也不会有“边缘”，宇宙将是独立自足的，犹如一个球面。

宇宙学中这类论调，南安普顿大学的兰兹堡（PeterLa-ndsberg）不以为然，他写道：“诸如牛奶在咖啡中扩散这种‘日常’现象，反而要用本身比这些现象更有问题的，讲述宇宙的理论来‘解释’，这做法也未免太奇怪。一般人总认为一套东西应该用比它更肯定的另一套来解释；正常不可逆的现象用宇宙膨胀来解释，不属于

这个办法。”

与其钻这个牛角尖，不如直接回到第二定律。对支持可逆（“不真实的”）时间的人来说，热力学最大的缺点是它只牵涉到世界的皮毛，它不像相对论和牛顿力学那样能跟“基层的”，看不见的微观世界打交道。要对付这种批评，我们设想冰如何在可乐中融化的情况，办法是使可乐分子的动力学性质，以及诸如熵、体积、温度这类描述这杯可乐的宏观量，和第二定律相一致。在这方面，玻尔兹曼作了出色的贡献，尽管许多他的同辈不相信他从原子分子的行为中，重新发现了时间之箭。玻尔兹曼震惊了当时的物理学家，他把熵和概率连在一起，成为世上第一个给一项基本物理定律一个统计性解释的人。他的开创性工作没有白做。例如，现在我们就可以用它来估计水分子在室温下，保持冰状态的概率：冰是个低熵状态，概率远小于水存在于液态的概率液态是随机性更大的高熵状态。表示这个关系的严密数学公式，爱因斯坦称它为“玻尔兹曼原则”；它已成为目前物理研究者广泛应用的一个工具。维也纳中区公墓里玻尔兹曼的坟上，就刻了这个公式，作为装饰纪念。虽然它没有回答我们的问题，但它为我们确立了研究方向。

乍看上去，第二定律和十九世纪惊动全世界的另一发现达尔文的进化论相冲突。经典力学把宇宙看成一个不折不扣的机器，热力学似乎说这机器步步走向绝对的混乱。可是达尔文证明的是，简单的生物逐渐演化成复杂的生物，生命随时间是越来越有组织，而不是越来越乱。天上飞的，水里游的，地上爬的，如此丰富多采，它们的演化似乎跟主张世界越来越乱的理论，不能相容。事实上，这里并不存在矛盾。这是因为热力学第二定律

需要全本请访问 www.ertongbook.com