



# 物理学史中的六月

1871年6月: Maxwell 和他的恶魔

(译自 APS News, 2002年6月)

萧如珀 杨信男 译



Maxwell

机器持续不间断运转的概念——即供应着固定的能量就可以永远运转的装置是很令人向往的,美国专利局每年都会收到无数个相关装置的专利申请,其中大多数都可根据热力学定律而予以退件,但最诡异、最有名、违反热力学定律的恒久运转概念之一是由 James Clerk Maxwell 所提出的。Maxwell 是统计力学的先驱之一,他最有名的成就是以他的名字命名的电磁方程式。1831年6月,Maxwell 诞生于苏格兰的爱丁堡,自幼即对物理世界展现出天生的好奇心,甚至在3岁时就想知道物品的操作原理。他后来进入爱丁堡高等学校就读,是位出类拔萃的学生,在数学和英诗方面均曾获奖。

Maxwell 在14岁时写了他第一篇论文来解释卵形曲线,发表于爱丁堡皇家学会。随后,他在爱丁堡大学主修数学和自然哲学(物理),发表过滚动曲线和弹性物体平衡理论的论文;之后,他到剑桥大学的三一学院就读,1854年获得数学学位。

Maxwell 在担任伦敦的国王学院自然哲学的讲座教授之前曾任不同教职,在国王学院6年的讲座期间,他除了在电磁方面做出了最重要的实验外,还研究了气体的运动理论。

在气体的运动学方面,他证明高温的分子具有高可能性会往低温地区移动,这比将热量视为一成

不变地从高温流向低温的探讨方式更具统计性。

为了解释他的论点,Maxwell 在1871年提出一个有趣的想象性实验<sup>①</sup>。在实验里有一个聪明的小精灵,站在隔板上的小洞里,隔板将绝缘盒子分隔为两个相等的空间。这个小精灵会设法在气体的运动中做选择,它会从分子的随机运动中找出规则性;更确切地说,它会将分子分类,让热一点(快一点)的分子进入盒子的一边,而冷一点(慢一点)的分子进入另一边。

这个外号“Maxwell 的恶魔”<sup>②</sup>的假想分类精灵本身需要热量才能执行分类的任务,因此,要将热分子和冷分子分开并无法真如上面所描述的一样发生。

然而,这个实验是熵<sup>③</sup>(entropy)的绝佳示范:Maxwell 的恶魔试着去减少熵,但是,热力学定律<sup>④</sup>却说,熵只能增加,或者说,若要在一个地方减少熵的话,惟有至少在其他地方等量增加熵予以抵消才行。

Maxwell 的恶魔真实版——熵减少的结果需由其他地方增加熵来抵消——的确在生命系统中发生,例如能使我们神经系统运作的离子泵浦。目前科学家正试图开发分子随机运动的实际用途,所以在纳米科技新领域中积极地研究分子大小这一类的机制。

1997年,波士顿学院的研究员合成出了第一个分子棘轮(只能单向旋转的齿轮),从此就一直研究将旋转轮变成马达的方法。纳米铲车也是研发的目标,希望铲车里的粒子会往前蠕动,碰撞上理想的分子后将其拴住。早在1980年,IBM 的 Charles Bennett 即辩称,布朗运动可能就是计算机的基础,因为

现代物理知识

它会以“轻摇”的方式传递讯号,可以减少伏特(电量)与热量的耗损。

最近,德国的 Essen 大学在 1999 年做了一个实验,初步得到的结果令人惊讶:若将散沙置于一个分成两个空间的容器(两边中间有一个洞相通)中,它们的确会分离开来,其中“热的”、动得快的沙移至一边,而“凉的”沙会自然地凝缩,聚集到另一边。

然而,进行此实验的 Jens Eggers 说,此实验并没有真的违反第二定律;虽然移动的沙可视之为气体,但每一颗沙粒都能吸收、释放热量,和 Maxwell 理想气体中“温度”是分子运动的计量是不同的。所以当沙粒开始聚集到一个空间时,会有越来越多的沙粒加入越来越有秩序,降落在容器底部的沙粒,而没有加入的沙粒会留在另一边,仍旧是“气体”状态。

因此,即使当今最顶尖的研究一直在扩充科学知识的范畴,Maxwell 的恶魔仍是只不可能的野兽。对于追求永恒运动这个不可能实现梦想的人来说,很不幸地,热力学定律依然无法违背。

(本文转载自 2007 年 6 月《物理双月刊》,网址: <http://psroc.phys.ntu.edu.tw/bimonth/index.php>; 萧如珀,自由业; 杨信男,台湾大学物理系, E-mail: snyang@phys.ntu.edu.tw)

## 科苑快讯

### “赫莱玻璃”与陨星撞击

几十万年前的石器时代,埃及和西部地区的中央是赫莱绿洲,

当时曾有一些湖泊,是古代先民的聚居地。如今这里虽然是一片赤地,却吸引着众多学者前去进行考古学和地质学考察,因为这里发现了一种奇特的深色玻璃(被称为“赫莱玻璃”),其成因一直是个谜。

奥辛斯基(Osinski)等人利用 X 射线荧光技术、同位素分析和电子显微镜检测了这些玻璃,发现其化学成分不同于所有已知的火山玻璃(熔岩迅速冷却,以结晶状形成的天然玻璃),特别是它含有异常高的 CaO 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,而且没有证据表明该地区曾有火山作用。

论文作者认为,这些玻璃是在 10 万~20 万年前发生的一次陨星撞击过程中形成的。撞击产生的巨大能量使当地的碳酸盐和砂岩熔化,从而形成玻璃。这些玻璃还有当时植物茎叶留下的烙印,但是并没有明显的岩石变质现象。作者认为,目前还确

①Maxwell 自己这样记述他的思考性实验:……如果我们想象有一个本能高超,可以跟随每一个分子运动的精灵,这个精灵的特征虽然跟我们一样有限,却能做我们做不到的事。我们已观察到容器中具有相同温度的空气分子运动速度都不相同,但是若从其中任意挑出一极大群的分子出来时,他们的平均速度却都一样(所以温度也相同)。现在如果让我们将容器分隔为二部份 A 和 B,然后在隔板上开一小洞,再让这个可以清楚看到各分子的精灵在小洞口把关,只让跑得较快的分子可以从 A 经过洞口到 B,跑得较慢的则只能由 B 往 A 去,如此,这个精灵便可以在不消耗任何能量的情况下将 B 的温度提高,使 A 的温度下降,而违反了热力学第二定律。以上记述出自 *Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing*, Eds. H. S. Leff and A. F. Rex, Institute of Physics Publishing, 2003。

②“Maxwell 的恶魔”是 William Thomson(后来被封为 Kelvin 男爵,绝对温度 K 以他的名字 Kelvin 命名)在 1874 年所取的称呼。

③熵是物理热力学中所引进的一个物理量,就好像每一个物理系统都具有一定的能量一样,每一个处于热平衡状态的宏观物理系统也都有有一定的熵,这个熵跟对应于宏观物理系统一个特定热平衡状态所可能出现的众多微观状态数目有关,可能出现的微观状态数目越多,这个平衡状态宏观系统的熵就越大,所以有人说系统的“乱度”越大,它的熵就越高。

④热力学第二定律说明在密闭空间中两个温度相同的物体,当互相接触后,基于统计上的不可能性,其中一个物体的温度绝无法高于另一物体;换言之,在密闭系统中,熵绝对不会减少。

定不了撞击坑所在地的原因可能是陨星在空中就发生爆炸,或者撞击痕迹已被当地居民破坏。

(高凌云译自 2006 年 12 月 22 日《科学》)

### 睡眠有助于提高记忆力

研究人员一直认为,睡眠有巩固记忆的作用,特别是脑电波频率小于 1 赫兹时的睡眠。这些脑电波反映的是记忆增强过程吗?德国吕贝克大学(University of Lübeck)的丽莎·马歇尔(Lisa Marshall)与同事发现,在志愿受试者非动眼期睡眠\*的早期,对其头骨施加频率为 0.75 赫兹的振荡电压,确实能提高记忆力。研究者所用电信号的强度为每毫米 1.2 毫伏,与大脑表层产生的正常信号相当。这可能意味着,低频率电活动的确有助记忆。

(高凌云译自 2007 年第 1 期《欧洲核子中心快报》)

\* 根据人在睡眠过程中脑电图、肌电图和眼电图变化特征,可将睡眠分为非快动眼期(NREM)和快动眼期(REM)。非快动眼期特点是脑电图呈睡眠表现,肌肉活动较清醒时减弱,不伴随剧烈的眼球运动。它占总睡眠时间的 75%~80%。