

文章编号:1000-582x(2000)05-0152-03

·科普园地·

麦克斯韦妖-DNA-LASER

潘力

(天津轻工业学院 基础科学系,天津 300222)

0414.1

摘要: 通过介绍有趣的设想——“麦克斯韦妖”,引出物理学与其他科学包括生物、信息等科学的联系。认为物理教学除了讲述基本理论外,还应引导学生关注学科间的联系,前沿科学的进展,并有兴趣、有能力学会新东西。

关键词: 麦克斯韦妖; 熵; 耗散结构; 自组织现象; 信息; DNA; 激光
中图分类号: O 414.1 **文献标识码:** A

热力学

“麦克斯韦妖”是个非常有趣的物理设想^[1]是麦克斯韦在给朋友的信中提出的。热力学第二定律的克劳修斯表述:热量不能自动地从低温物体传向高温物体。麦克斯韦设想了一个系统和一个分子数量级的有判断力的小生物,或者可称为小精灵,似乎可以实现热量自动地从低温物体传向高温物体。具体的装置如图1所示:一绝热容器中间由一绝热隔膜分成两部分,两边分别充入温度分别为 T_1 、 T_2 的同种气体,且 $T_1 > T_2$,在隔膜上有一可控小门,在低温一侧由一个具有判决力的小精灵——“麦克斯韦妖”控制,它只允许速度高的分子通过小门到温度高的一侧。经过一段时间后高温一侧的温度则更高,低温一侧的温度则更低,这样不借助外力就造成了热量从低温物体传给了高温物体。这个设想发表以后,引起了许多讨论。也有一些科学家提出其它很有趣的设想。

率分子由低温侧流至高温侧的行为是个别分子的随机行为,所形成的温度涨落并不违反热力学第二定律,而是更加强调热力学第二定律是描述大量分子构成的热力学系统的统计规律,而不是个别分子的随机行为。

“麦克斯韦妖”设想的更重要的意义是揭示了熵与信息的联系。如果换一个角度来看,有足够多的分子,“麦克斯韦妖”这个小生物在控制高速分子流入高温侧中,必须得到分子速率大小的信息,不论是视觉接受光能信息,还是听觉接受声能信号,都有不可逆过程出现,也就是产生了“其它影响”,所以并不与热力学第二定律矛盾,由此还可以看出“麦克斯韦妖”得到信息后,使快慢分子分离,系统更加有序,导致系统的熵减少,所以说信息就是负熵。当然“麦克斯韦妖”的设想应该是个可以从外界引入负熵的开放系统,热力学第二定律熵增加原理是针对孤立系统的,也就无矛盾可言了,值得注意的是信息可以看作负熵的结论。也由此引发了科学家在信息论中参照热力学的熵,来讨论信息熵和信息量的关系,对于开放系统可以用引入负熵(信息)流使系统熵减少,而变得更有序,这是开放系统耗散结构的有序自组织现象^[2]。



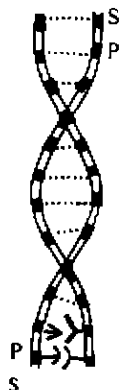
图1 “麦克斯韦妖”设想

这些设想有什么意义呢?首先“麦克斯韦妖”的设想不是研究这些小精灵能否实现控制,更不是要通过这个设想否定热力学第二定律。恰恰相反,这种高速

20世纪最伟大的自然科学成就之一是经过多位生物学家和物理学家的研究确定了控制生物遗传的物质基因是脱氧核糖核酸(DNA),并确定了DNA分子的双螺旋结构(图2),揭示了遗传信息及其复制规律。其中物理学家薛定谔所提出的“生命赖负熵”及其关于非周期晶体遗传密码的设想,无疑起到了重要作用。

· 收稿日期:2000-04-04

作者简介:潘力(1944-),女,山东莱州人,天津轻工业学院副教授。主要从事物理教学工作。



S:糖基 P:磷酸基
图 2 DNA 分子双螺旋

在开放系统的远离平衡条件下,与外界交换物质和能量的过程中,通过能量耗散和内部非线性动力学机制形成与维持的宏观时空有序结构,称为耗散结构。生物体是具有耗散结构的处于远离平衡态的开放系统^[2],生命过程是生物体不断地从外界获取营养,例如动物食用蛋白质、淀粉这些严格有序的低熵物质,以维持生长所须的能量,而 DNA 的顺序方式包含了所有的遗传信息,这些信息将参与包括生长的一切生命过程。生物特征的遗传是通过 DNA 复制来实现的,而这种复制是非常严格有序的。生物体在空间和时间上都表现出有序现象,例如形态的相同和生命过程的周期性变化等。一个系统内部从无序自发地变为有序,使其中的大量分子按一定规律运动的现象称为自组织现象,生命过程实际上是生物体不断按照 DNA 提供的遗传信息进行的自组织过程,自身趋向更有序,即熵减小。非常有趣的是,在生物学中起着十分重要的作用的“酶”,与“麦克斯韦妖”在设想中的作用相似,“酶”这个微小的精灵似乎具有智能,往往参与控制某些化学反应,可以称得上为生命里的“麦克斯韦妖”。

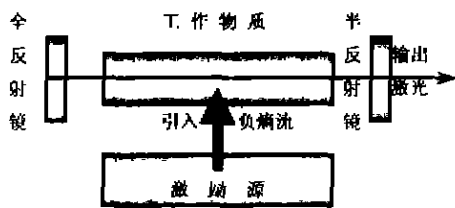


图 3 激光器结构示意图

在自然界非生命系统中也存在着从无序到有序的自组织现象,其中影响最大、发展最快、最典型的时间序列有序自组织现象是激光的发射^[2]。第一台可见光波段的激光器是美国科学家梅曼在 1960 年研制成功的。早期我国称激光为莱塞是 laser 的音译,它是受激辐射光放大 light amplification by stimulated emis-

sion of radiation 的英文字头。激光不同于普通光源,它具有单色性好、方向性好、相干性好而且能量密度高的特点。

激光器主要由工作物质,光学谐振腔、激励源组成。虽然工作物质都属于激活物质,但处于平衡态时,各能级的粒子分布符合玻耳兹曼分布律,原子的跃迁是以自发辐射为主,辐射光子的频率、相位、方向是各不相同的,与普通光源没有两样,整个光场表现为无序状态。

激光器是开放系统,要使其系统的熵减少进入更有序状态,必须从外界引入负熵流,则系统熵变应为

$$dS = d_i S + d_e S < 0$$

其中 $d_i S$ 为系统内部不可逆过程引起的熵变称为“熵产生”, $d_e S$ 为系统与外部进行能量或物质的交换所引起的熵变称为“熵流”。如果熵流 < 0 ,且绝对值比熵产生大,就会使熵减少,导致系统更有序。因此只有打破平衡状态,即失稳,激励源向工作物质提供能量,诸如电流、光子流等,属于负熵流;使某低能级的粒子跃迁到某高能级上,形成某两个能级间的粒子数的反转。这种非平衡状态下,一旦有频率适合的光子扰动,就会引起大量的受激辐射跃迁,超过受激吸收。真正输出激光,受激辐射还须战胜自发辐射及腔内的损耗,采用反射镜构成的谐振腔,凡是频率和方向符合要求的光子发生谐振被放大,相反的将被淘汰,这恰是一个不断的自组织过程,当激光器的激励源提供的负熵流足够使振荡放大达到一定的阈值条件时,就会输出频率相同、相位相同、方向相同的相干光子流。即形成了宏观有序状态。

如此看来无论是有生命的世界还是无生命的世界的开放系统,都有耗散系统的自组织现象。都以不同的方式引入负熵流,降低熵值,使自身趋向更有序。两方面的研究都会相互有启发的,甚至对社会和经济领域的研究也会有一定的影响。

总之,科学是相通的、和谐的、相互影响的。未来的世纪需要热爱科学又极具科学灵性的人才,教学过程中如果能注意引导学生关注学科间的联系,以及学科前沿的新动向,并有意识提高学习新知识的能力,将会使学生受益。

参考文献:

[1] R P 费曼, 费曼物理学讲义[M]. 上海:上海科学技术出版社,1983. 458.
[2] 陆果, 基础物理学[M]. 北京:高等教育出版社,1997 1006,1017,1010.

