

# 如何让学生深刻理解熵的概念

廊坊师专 王忠安 魏笑竹 王智超

熵的概念，是热力学和统计物理学中非常重要而又较难理解的。克劳修斯(ClaUSiUS. R. J. E, 1822—1888 德国物理学家)于 1850 年提出热力学第二定律, 1865 年提出熵的概念, 并将热力学第二定律表述为“宇宙的能量是不变的, 而它的熵则总在增加。”现在, 熵这个概念已经远远超出了热力学、统计物理学范畴, 直接扩展到信息论、控制论、概率论、数论、天体物理、宇宙论、科学管理以及生命系统等各个不同领域。因此, 如何在教学中让学生深入理解熵的概念, 是一个重要的课题。

## 一、态函数——熵

熵是态函数。由克劳修斯等式  $dS \frac{\delta Q}{T} = 0$ , 可以证明熵函数的存在:  $dS \geq \frac{\delta Q}{T}$ 。

在可逆过程中, 熵的变化等于系统所吸收的热量与热源的绝对温度之比。在不可逆过程中, 这个比值小于熵的变

$$\text{化: } dS > \frac{\delta Q}{T}.$$

不可逆过程进行的方向是按照熵函数的变化来判定的, 不可逆过程的实质是“一切不可逆过程都是向着混乱度增加的方向进行。”当系统由非平衡态达到平衡态时, 其熵达到最大值, 系统内粒子的热运动更加无序。

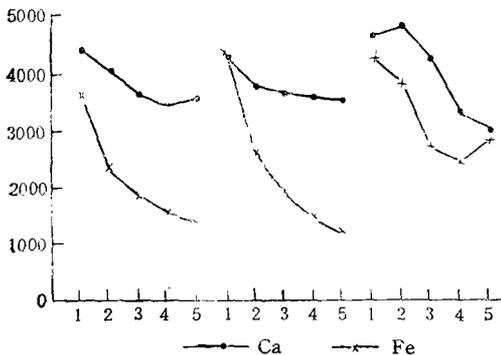


图5 不同部位头发的微量元素变化

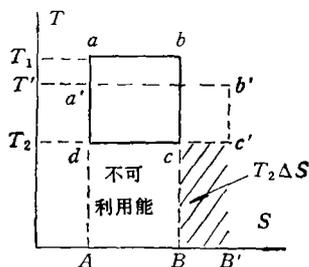
## 二、熵是能量在空间分布均匀度的量度

若将能量用于做功, 必须造成一定的空间中能量密度有差异。能量从高密度传到低密度区的过程中就可以获得功。克劳修斯提出把  $S$  命名为熵的理由之一, 就是因为熵和能量有密切的联系, 因而用熵来表征任何系统的能量在空间分布的均匀程度。“能量分布越不均匀, 熵值就越小, 能量转化为功的效率也就越高。反之, 能量分布越是均匀的, 其熵就越大, 能量转化为功的效率也就越低。若系统能量分布已完全均匀, 熵达到最大, 这时不可能再发生能量从这一区域转到另一区域的宏观传递, 也就不能再获得功。”由此可见, 只有造成能量的不均匀分布, 即形成一种“势”差, 才能获得功。

因此, 熵可以作为能量在空间分布均匀的量度。这就是熵的宏观意义。

## 三、熵是不可利用能量变化的量度

从热机能量变化过程中, 还能说明熵和熵增加原



理的意义。对于可逆卡诺热机, 对外做功为

$$W = Q_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right), (T_1 > T_2)$$

用  $T-S$  图可表示卡诺热机循环做功。

在图中, 矩形  $abBA$  代表  $Q_1$ ,  $dCBA$  代表  $Q_2$ , 则  $abcd$  代表热机对外界所作的功  $W$ , 这一面积就是从  $Q_1$  中转变为  $W$  的那部分能量, 称为可利用能; 而面积  $dCBA$  就是必须消耗的那部分热量, 称为不可利用能。传给低温热源的热量之差为  $\Delta Q_2 = T_2 \Delta S$  就是

我们取了 4 个人的头发, 测定了发中铁、锌、铜、氯、钾等元素的动态变化。以图 4 为例, 可以看出不同人头发中微量元素变化是不同的, 同一人在不同部位取的头发虽然微量元素含量有所不同, 但其变化趋势基本是一致的, 见图 5。因此在法学鉴定中可以根据头发中多种微量元素来进行判定犯罪分子。

## · 语丝 · 科学美 · 周培源

科学本身并不全是枯燥的公式, 而是有着潜在的美和无穷的趣味, 科学探索本身也充满了诗意。



### (七) 冼鼎昌教授

冼鼎昌 中国科学院高能物理研究所研究员。1935年8月出生于广东省广州市。1956年毕业于北京大学物理系并被聘入中国科学院近代物理研究所进行科学研究。1959年至1964年在苏联杜布纳联合原子核研究所进行科学研究。1965年后，先后被聘为中国科学院原子能研究所、高能物理研究所副研究员、研究员、高能物理研究所同步辐射实验室主任。1980年曾任美国纽约州立大学

(石溪)理论物理研究所研究员，1981年曾任比利时布鲁塞尔自由大学物理系访问教授，1990年至1991年曾任日本东京大学物性研究所客座教授。1991年11月当选为中国科学院数学物理学部委员。主要从事理论物理及同步辐射应用等方面的科学研究并取得多项重要成果。60年代初发现了当时广为流行的由双重色散

关系推导出的  $\pi-\pi$  散射振幅所服从的方程的方法有错误，因此方程包含有不应有的奇异性，从而否定了国际上这方面的研究；同时深入研究了粒子反应过程中的对称性，得到了粒子不同的高能反应过程之间的一系列联系；1965年至1966年间对强子结构的层子模型理论的建立作出了重要贡献。70年代对经典规范场理论进行了系统的研究，引进了曲面上的标架、联络与规范势对应的方法及同步变换的概念，得到一系列已知的以及未曾得到过的非阿贝尔磁单极解和类粒子解。80年代前期提出并发展了一种在格点规范理论中能有效地作逐步提高近似精度的解析方法；指出了规范不变是 Wilson 圈图所遵从的动力学方程在解析分析中的重要作用，这种方法的有效性已为国际上许多大型计算机进行的数值计算结果所证实，并至今被国内外广泛引用和得到进一步发展。从1985年起领导建造北京正负电子对撞机同步辐射装置，对北京同步辐射光源在专用和兼用模式下进行了详尽的分析，奠定了光束线和实验站的设计的物理基础，对不同波长的不同光束线的各种性能进行了系统的研究，并在此基础上对具有国际水平的工程设计作出了决策；对各实验站进行了物理设计，并在此基础上领导了工程设计和首批光束线及实验站的调试，及时解决了工程建

增加的不可利用能。因此，熵的变化在宏观意义上可作为不可利用能变化的量度。熵增加意味着不可利用能的增加。即能量分布的均匀度增加。不可利用能增加的根本原因是由于过程的不可逆性。

#### 四、熵是系统分子混乱度(无序度)的量度

一个孤立系统中所发生的自发的不可逆过程都是向混乱度增加的方向进行。而自发不可逆过程正是熵增大的过程。一切自发的不可逆过程总是从非平衡趋向平衡的过程，达到平衡态时过程停止，熵也达到最大。可见平衡态对应着高熵态，也就是混乱度大(无序程度大)的状态。非平衡态对应着低熵态，也就是混乱度小(更有序)的状态。熵增大也就是混乱度增大。所以熵在微观意义上代表系统内部分子运动的混乱程度，是系统内分子无序程度的量度。熵增原理也就是孤立系统从有序趋向无序的原理。

#### 五、熵是系统失去信息(知识)多少的量度

一个系统的状态越是有序，它告诉我们的“知识”(信息)就越多；状态越是无序，它给我们的“知识”就减少。所谓知识就是信息，信息量的大小就代表知识的多少，熵增加就意味着信息的减少。所以玻耳兹曼写道：“熵是一个系统失去信息的量度”。一个系统有序度越高，它的熵越小，信息量就越大，还可以说：熵代表无知的程度，信息代表知识的多少，二者是互补的关系。

#### 六、熵是系统的热力学几率的自然对数

热力学几率是系统某一微观态出现的概率。也可把它理解为一个宏观态所能包含的所有微观态的数目。由玻耳兹曼原理：

$$S(N, U) = K \ln W(N, U)$$

[其中  $S(N, U)$  是系统的熵， $K$  为玻耳兹曼常数  $W(N, U)$  是系统的热力学几率。] 可知系统的熵反映了这一宏观态所对应的微观态数目多少，微观态个数多少又反映了系统无序度的大小，所以，熵的大小说明系统趋向平衡态的程度。熵越大，说明越趋近平衡态；当系统达到平衡态时，其熵值为最大，系统所包含的微观态的数目也达到最大值。

总之，熵是极为重要而又非常深刻的物理量，可从各个不同的角度来加深对它的理解。最后，我们把熵与有关物理量的关系以图表的形式列出，以供同志们参考。

	熵 $S$	热力学几率 $W$	混乱度 (无序度)	能量密 度分布	信息	不可利 用能
非平衡态 ↓	较小	较小	较小 (有序状态)	不均匀	得到 信息	较小
平衡态	最大	最大	最大 (无序状态)	均匀	失去 信息 (负熵)	增大