

熵教学过程中的难点析疑

高书霞

(烟台大学光电信息技术学院 山东 264000)

在“熵及熵增加原理”一节的教学过程中,有不少学生较难理解“将卡诺循环结果推广到任意可逆循环”,经过反复交流,我认为出现困难的焦点在于对推导过程中的做功问题理解不透,而该方面问题的解释,笔者查阅了大量的资料均未见报道或载录。

现行各版本教材及教参中,对熵概念引入的表述基本相似,现载录南京大学编《物理化学》中之一段为例:“如图1所示是任意的可逆过程。考虑其中的任意过程 PQ (P 、 Q 两点实际上可取得很近,只是为了说明问题才把图线夸大),通过 P 、 Q 两点做两条绝热线 RS 和 TU ,然后在 PQ 间通过 O 点画一条等温线 VW ,使三角形 PVO 的面积等于三角形 OWQ

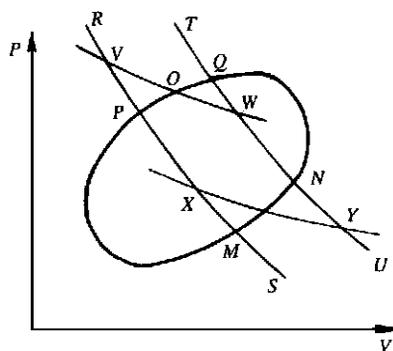


图1

的面积。折线所经过的过程 $PVOWQ$ 与直接由 P 到 Q 的过程中所做的功相同,由于这两个过程的始终

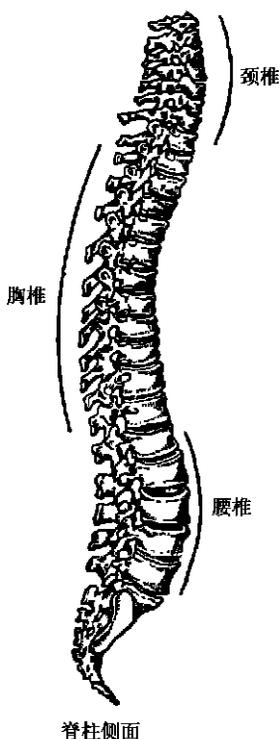


图4

于阳极端,虽然 X 射线强度较弱,但因体层较薄,吸收的 X 射线也少,X 射线衰减也少;而下部置阴极端,虽然 X 射线强度较大,但因体层较厚,吸收的 X 射线较多,X 射线衰减也就越大。这样 X 射线弱的地方衰减

它的吸收越多;越靠近 OA 方向,靶对它的吸收越小。所以越靠近阳极一侧 X 射线辐射强度下降越多的现象即阳极效应,也称“足跟效应”。

在 X 射线照相时,要考虑阳极效应。比如拍人腰椎(或胸椎)的正位片时,应把腰椎(或胸椎)的上部置于 X 射线管的阳极端,即人的头部在 X 射线管的阳极端,脚部在 X 射线管的阴极端,如图2所示,这样才能拍出浓度均匀的照片。人的脊柱侧面图如图4所示,从颈椎到腰椎,脊柱逐渐变粗。由于腰(或胸)椎的上部置

小,X 射线强度大的地方衰减大。腰椎(或胸椎)上下各部位均衡起来,就使从腰椎(或胸椎)上下各部射出的 X 射线强度一致,从而拍出浓度均匀的照片。

(上接49页)

程光和近程光(在图5中 M_2 就起到这样的分光作用),最后分时到达光电接收元件——光电二极管,经处理后通过示波器显示出来。通过改变可移动反射镜的位置来改变远进程光的光程差,使此值正好等于一个拍频波波长,而此时示波器显示远进程光信号波形应属于同位相状态,这样就可计算出光速。

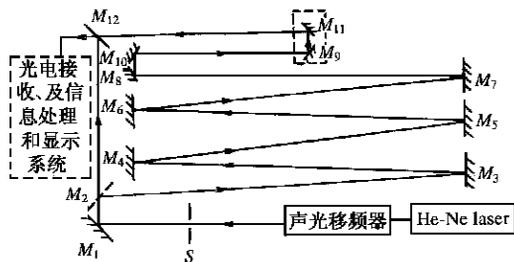


图5

实验中采用 He-Ne 激光作光源,利用公式 $v = 2F \cdot \Delta L$ (其中 F 代表超声波的频率, ΔL 代表远进程光光程差)就可以测得 He-Ne 激光 632.8nm 的光在空气中的传播速度,基本上可以满足学生实验中掌握实验原理并达到锻炼动手能力能力的要求。

状态相同,内能变化相同,所以这两个过程中的热效应也一样……”。下面对教学过程中学生理解困难的“折线所经过的过程 $PVOWQ$ 与直接由 P 到 Q 的过程中所做的功相同”进行详细推证。

如图 2 所示的任意可逆循环,考虑其中的任意过程 BD (B 、 D 两点实际上可取得很近,只是为了说明问题才把图线夸大),通过 B 、 D 两点做两条绝热线 MN 和 LG ,然后在 BD 间通过 C 点画一条等温线 RS ,使曲边三角形 ABC 的面积等于曲边三角形 CDF 的面积。

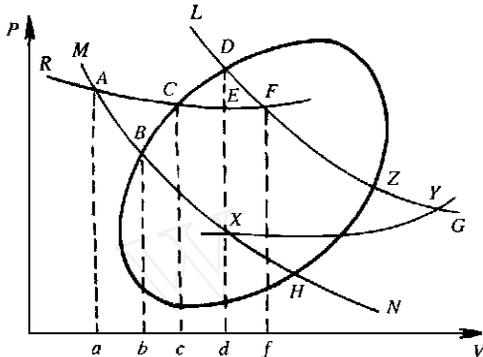


图 2

折线 $BACFD$ 经过的过程所做的总功为:

$$W_{BACFD} = W_{BA} + W_{AC} + W_{CF} + W_{FD}$$

以上 4 个小过程所做的功可以用 PV 图中曲线与 OV 轴线间所夹的面积表示出来。

W_{BA} = 曲边四边形 $ABba$ 的面积

W_{AC} = 曲边四边形 $ACca$ 的面积

W_{CF} = 曲边四边形 $CFfc$ 的面积

W_{FD} = 曲边四边形 $DFfd$ 的面积

由于在折线 $BACFD$ 所经过的过程中,由 $B \rightarrow A$ 的过程为压缩过程,该过程中环境对体系做功;由 $A \rightarrow C \rightarrow F$ 的过程为膨胀过程,该过程中体系对环境做功;而由 $F \rightarrow D$ 的过程也为压缩过程,同样该过程也是环境对体系做功。由此可见,在折线 $BACFD$ 经过的过程中各小段过程的功有正、有负,它们可以部分相互抵消,最终折线 $BACFD$ 经过的过程所做的总功可以表示为:

W_{BACFD} = 三角形 ABC 的面积 + 四边形 $BCcb$ 的面积 + 四边形 $CEdc$ 的面积 - 三角形 EFD 的面积
又因为:三角形 ABC 的面积 = 三角形 CDF 的面积。
所以: W_{BACFD} = 大曲边四边形 $BDdb$ 的面积。
而直接由 $B \rightarrow D$ 的任意过程所做的功:

$$W_{BD} = \text{大曲边四边形 } BDdb \text{ 的面积。}$$

由此证得:折线 $BACFD$ 经过的过程所做的功与直接由 B 到 D 的过程所做的功相同。

由于以上两种不同过程的始终状态相同,即内能的变化相同,所以这两个过程的热效应也相同。

同理,在弧线 HZ 上,也可以通过推证得出与上类似结论。这样由 $AFYX$ 构成一个卡诺循环。

如果用若干彼此排列极为接近的绝热线和等温线,将一个任意可逆循环划分成很多个小的卡诺循环(如图 3 所示),对于每个小的卡诺循环都有下列关系:

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0, \quad \frac{Q_4}{T_4} + \frac{Q_3}{T_3} = 0$$

将上列各式相加,则得:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_3}{T_3} + \frac{Q_4}{T_4} + \dots = 0$$

或简写成: $\sum_i \frac{Q_i}{T_i}_{\text{可逆}} = 0$

其中, T_1, T_2, \dots 是热源的温度,在可逆过程中也就是系统的温度。如果每一个卡诺循环都取得非常小,并且前一个循环的绝热膨胀线在下一个循环中成为绝热压缩线(如图 3 中的虚线部分),这些过程中的功恰好彼此抵消。因此,这些小卡诺循环的综合结果与整个封闭曲线结果一致,即可用一连串的无限小的卡诺循环来代替一个任意的可逆循环过程。因此,对于一个任意的可逆循环过程,其热温熵的总和就可以用下式表示:

$$\sum_i \left(\frac{Q_i}{T_i} \right)_{\text{可逆}} = 0$$

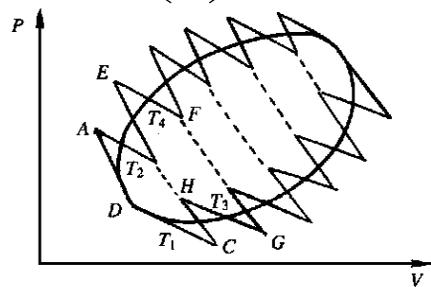


图 3

如果将以上过程取极限,则上式便可推广为:

$$\oint \left(\frac{dQ}{T} \right)_{\text{可逆}} = 0$$

式中 dQ 为系统从温度为 T 的热源中吸取的微小热量。该式表明,系统经历任意可逆循环过程一周后,其热温熵之和为零。