

## Research on the application of computer in thermal teaching

Chen Ping

Tianjin University of Technology and Education, Tianjin

**Abstract:** This paper introduces the function of using microcomputer to make complicated calculation and chart quickly and accurately.

**Key words:** Velocity distribution; Molecular rays; Carnot cycle

Received: 2019-09-18; Accepted: 2019-11-12; Published: 2019-11-20

---

## 计算机在热学教学中的应用研究

陈 萍

天津职业技术师范大学, 天津

邮箱: pc2009@sina.com.cn

**摘 要:** 介绍了应用微机的快速、精确地进行复杂计算并绘制图表的功能, 在

热学辅助教学及教学研究方面所做的一些工作。

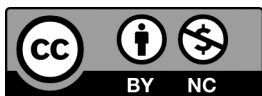
**关键词：**速度分布；分子射线；卡诺循环

收稿日期：2019-09-18；录用日期：2019-11-12；发表日期：2019-11-20

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## 1 引言

应用微机的快速计算功能，可以快速处理热学中的复杂运算或需要精确求解的问题。如计算范德瓦耳斯气体体积，求解三次方程的问题；计算速率或速度小于、大于某一给定值的分子数，介于某一给定区间内的分子数；计算在一定区间内分子出现的概率。

应用计算机的计算及绘制图表的功能，解决热学教学及教学研究中的问题，可以提高教学质量及研究水平。如可用计算机快速、精确地绘制分子射线中分子的速率分布曲线，并与蒸气源中分子的速率分布曲线进行比较，讨论两种分布的区别。

用计算机辅助进行热学教学，有助于处理热学教学中的难点。如用计算机绘制速度分量分布函数曲线及两个速度分量分布函数曲面，并讨论它们的极大值，既形象地描述了这些分布的关系，又解决了按相同的速度间隔，则在原点附近单位速度间隔内分子出现的概率最大；而按相同的速率间隔，则在最概然速率附近单位速率间隔内分子出现的概率最大的问题。用计算机绘图便于处理一些热学中的难点。如有些书中的卡诺循环的  $p$ - $V$  图与正确的曲线差得很远，存在

一些问题. 而用计算机就能方便的解决这一问题, 绘出准确的卡诺循环的  $p$ - $V$  曲线。

## 2 计算范德瓦耳斯气体的体积

范德瓦耳斯方程是考虑了分子力的影响而得出的实际气体的二级近似方程. 在压强不太高时, 可用范德瓦耳斯方程来处理实际气体.  $1\text{mol}$  气体的范德瓦耳斯方程为

$$(p + a/v^2)(v - b) = RT \quad (1)$$

任意质量  $m$  的范德瓦耳斯气体方程为

$$\left(p + \frac{m^2 a}{M^2 v^2}\right) \left(v - \frac{m}{M} b\right) = \frac{m}{M} RT \quad (2)$$

式中  $a$ 、 $b$  为该气体的范德瓦耳斯修正数,  $M$  为气体的摩尔质量,  $m$  为气体质量. 对于一定质量的气体, 只要已知压强  $p$ 、体积  $V$ 、温度  $T$  中的任意两个参量, 就可以计算出另一个参量. 但是对于范德瓦耳斯气体, 在已知压强  $p$  和温度  $T$ , 要计算范德瓦耳斯气体的体积  $V$  时, 因为范德瓦耳斯方程为  $V$  的三次方程, 则不易求解. 由于各种实际气体的范德瓦耳斯修正数  $a$ 、 $b$  都较小, 故可采用迭代法求解。

将范德瓦耳斯方程式 (2) 改写为

$$V = \frac{m}{M} b + \left( \frac{m}{M} RT \right) \sqrt[3]{p + \frac{m^2 a}{M^2 V^2}} \quad (3)$$

用迭代法计算体积时, 由于修正项范德瓦耳斯常数  $a$ 、 $b$  较小, 作零级近似时, 可忽略  $a$ 、 $b$  修正项, 视为理想气体, 将零级近似代入式 (3), 得到一级近似. 再将一级近似代入式 (3), 得到二级近似. 这样逐次迭代下去, 直到某一级近似与下一级近似的值近似相等, 则该近似值就是此体积的解 [1]. 由于近似精度的要求不同, 则迭代次数不同. 迭代的次数很多时, 计算很复杂, 且易出错, 因而在大多数教材的习题中大都避开计算范德瓦耳斯气体体积的习题. 而应用计算机数学软件迭代计算式 (3), 可根据精度要求来决定迭代次数, 也可自动迭代计算, 还可列出一系列迭代后的近似值. 用计算机快速、准确地进行迭代计算, 除了能计算范德瓦耳斯气体的体积外, 还可以对其他物理问题的函数进行近似

求解. 这是应用计算机处理物理问题的一种很好的方法。

### 3 快速精确计算分子数及分子概率

在实际应用中, 经常需要计算速率或速度分量小于、大于某一给定值的分子数和介于某一给定区间内的分子数, 计算在一定区间内分子出现的概率. 应用麦克斯韦分布律来处理这类问题时常会遇到数学计算上的困难, 需用概率论和数理统计中的误差函数的级数关系及误差函数来处理, 计算较复杂. 在数学手册中也只有在 0.000 ~ 0.499 范围内的表,  $x$  取值的间隔为 0.001, 若实际应用中需要计算的更广泛、精度更高, 则查手册也不能解决.

用计算机数学软件能快速、精确地计算速率小于  $v$  的分子数  $\Delta N_{0-v}$ ; 速率大于  $v$  的分子数  $\Delta N_{v-\infty}$ ; 速度  $x$  分量小于  $v_x$  的分子数  $\Delta N_{0-v_x}$ ; 速度  $x$  分量大于  $v_x$  的分子数  $\Delta N_{v_x-\infty}$ ; 计算某一区间内的分子数  $\Delta N_{v_1-v_2}$ ; 速度  $x$  分量介于某一区间内的分子数  $\Delta N_{v_{x1}-v_{x2}}$ . 也可以计算在某一区间内分子出现的概率  $\Delta N_{0-v}/N$ ,  $\Delta N_{v-\infty}/N$ ,  $\Delta N_{0-v_x}/N$ ,  $\Delta N_{v_x-\infty}/N$ ,  $\Delta N_{v_1-v_2}/N$ ,  $\Delta N_{v_{x1}-v_{x2}}/N$ .

### 4 计算机绘制分布曲线并讨论分布函数及曲线的性质

在讨论麦克斯韦分布函数及分布函数曲线性质时, 会涉及到: 当气体一定时分布函数与温度的关系, 当温度一定时分布函数与气体的关系, 分布函数的归一化条件等问题, 这时可将计算机计算并绘制的分布曲线给学生看, 增强实感, 也可给学生布置一课外选作作业, 让学生自己用数学软件编程来进行计算. 这样既训练了学生用计算机处理物理学问题的能力, 又培养了学生的独立工作能力。

### 5 计算机绘图研究分子射线中分子的速率分布

分子射线的研究对于科学的发展起着重要的作用. 分子射线是热学教学反映科学前沿及联系实际的很好的内容. 包括推导分子射线中分子的速率分布、速度分布, 求分子射线中分子的平均速率、最概然速率及方均根速率. 以室温 ( $T=300K$ )

时氧气为例, 用计算机快速、精确地绘制分子射线中分子的速率分布曲线, 并与蒸气源中分子的速率分布曲线进行对比讨论, 如图 1 所示. 由图可以看出, 两种速率分布曲线不重合. 分子射线中的分子速率分布函数  $f_B(v) \propto v^3 e^{-mv^2/2kT}$ , 容器中分子的速率分布函数  $f(v) \propto v^2 e^{-mv^2/2kT}$ . 分子射线中分子的速率分布曲线极大值对应的速率 ( $v_{pB}$ ) 位于容器中分子的速率分布曲线极大值对应的速率 ( $v_p$ ) 的右方 [2].

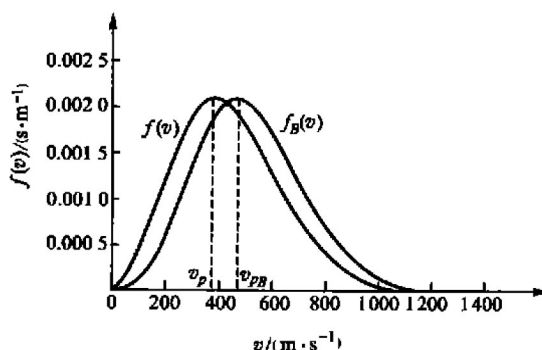


图 1

## 6 计算机绘图研究蒸气源中分子的概率的极大值

按照麦克斯韦速度分布律在  $v_x=0$ 、 $v_y=0$ 、 $v_z=0$  附近, 单位间隔内分子出现的概率最大; 按照麦克斯韦速率分布律, 在最概然速率  $v_p$  处有一极大值, 分子在最概然速率附近出现的概率最大. 在热学教学中就出现了一个容易困惑的问题: 究竟是在原点附近单位间隔内的分子出现的概率大, 还是在最概然速率附近单位间隔内分子出现的概率大?

用计算机定量绘制速度分量分布函数曲线及两个速度分量曲面就能很形象地讨论它们的极大值问题. 以室温 ( $T=300K$ ) 时氧气为例, 用计算机定量绘制速度分量分布曲线, 如图 2 所示, 可看出极大值在原点附近.

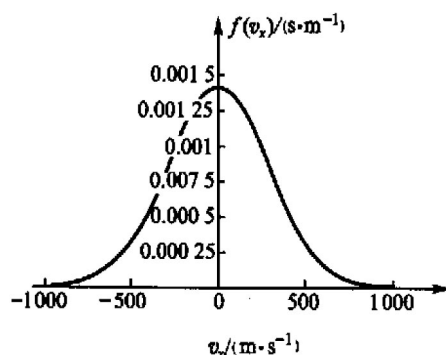


图 2

我们对任意两个速度分量加以限制, 如对速度  $x$  分量、 $y$  分量加以限制, 得到两个速度分量分布函数为 [2]

$$f(v_x, v_y) = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right) e^{-m(v_x^2 + v_y^2)/2kT} \quad (4)$$

用计算机计算并绘制式 (4) 的分布如图 3 所示. 图中的小方格表示相同的速度分量间隔  $dv_x dv_y$ , 小方格的高度表示在该速度分量间隔内分子出现的概率大小. 由图可以清楚地看出, 相同的速度分量间隔  $dv_x dv_y$ , 在原点附近表面的高度最大, 即表示在原点附近分子出现的概率最大。

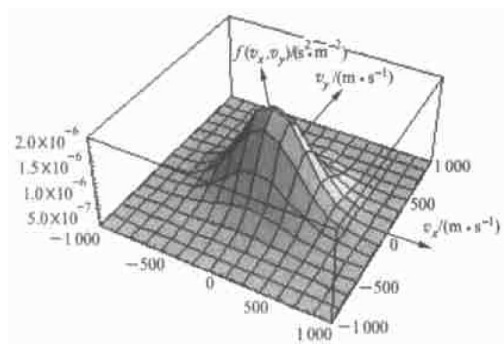


图 3

由于三个速度分量分布函数形式相似, 任意选择两个分量都得到同样的结果. 可见, 在速度空间中, 相同的速度间隔  $d\omega = dv_x dv_y dv_z$ , 在原点附近分子出现的概率最大。

由计算机绘图我们可以清楚地看到, 讨论分布与所选取的间隔紧密相关. 若按相同的速度间隔  $d\omega = dv_x dv_y dv_z$ , 则在原点附近单位速度间隔内分子出现的

概率最大. 若按相同的速率间隔  $dv$ , 则在最概然速率  $v_p$  附近单位速率间隔内分子出现的概率最大。

## 7 计算机绘制准确的卡诺循环的 $p-V$ 图

通常教材中卡诺循环的  $p-V$  图大都是定性画的, 但个别书中的卡诺循环的  $p-V$  曲线与实际的卡诺循环曲线相差甚远, 存在一些问题: 在  $p-V$  图中的卡诺循环曲线近似为平行四边形, 两条绝热曲线下的面积相差甚大。为了使学生对卡诺循环的  $p-V$  曲线有一个正确的认识, 可用计算机定量地绘制出准确的卡诺循环  $p-V$  图, 并由此讨论两条绝热线下的面积须相等才不违背热力学第一定律 [3] 的结论。

以上讨论说明, 用计算机计算和绘图, 可以从很多方面辅助热学的教学工作及促进热学教学研究的深入开展。

## 参考文献

- [1] 吴剑峰, 黄金聪, 吴瑞贤. 计算范德瓦耳斯气体的体积的简单方法 [J]. 大学物理, 1999, 18 (7): 17.
- [2] 吴瑞贤, 吴剑峰. 用计算机绘图研究分子射线及蒸气源中分子的速率分布 [J]. 大学物理, 1998, 17 (7): 7.
- [3] 吴剑峰, 朱琴. 卡诺循环的  $p-V$  图 [J]. 大学物理, 2001, 20 (5): 21.