

—1958 (1983)

- [4] 华东师大化学系, 潘道皐、高剑南、林海伦, 西德西根大学第八专业史瓦兹: 关于环丙烷中化学键的新理论(摘要), (第五次国际量子化学会议论文集, 加拿大(1985))
- [5] 高剑南《华东师大教学研究》1 48(1986)
- [6] 高剑南《华东师大教学研究》1 39—41 (1984)
- [7] 钮泽富、高剑南、施振东、刘珊林: 《华东师大教学研究》1, 21—25 (1981)
- [8] 高剑南、林海伦、冯大本、潘道皐: 《华东师大学报》(自然科学版) 2, 84—89 (1985)
- [9] (a) K. Ruedenberg. *Rev. Modern Physics* 34(2), (1962)
(b) C. A. Coulson. *Valence*, 125, Oxford University Press (1961)
(c) E. Steiner, The determination and interpretation of molecular wave functions 潘道皐、钮泽富译 龚坦校, 上海科技出版社出版 (1983)

关于气体粘滞系数公式的讨论

杭 瑚

(中国科学技术大学 近代化学系 合肥)

从气体分子运动论的观点来看, 流动气体的分子除了具有热运动动量以外, 还附加有定向运动的动量。气体的粘滞性乃是由于气体分子间互相碰撞后交换定向动量的结果。

流动气体内沿着流动方向的各层气体之间流速不同, 任意相邻两层之间存在着沿流动方向的切向粘滞力

$$f = \eta A \frac{dv_x}{dy} \quad (1)$$

式中 η 为粘滞系数, A 为两层之间的接触面积, v_x 是气体沿流动方向的定向速度, y 是垂直于 x 方向的距离。

根据分子运动理论, 很容易计算出:

1. 不同流体层中单个分子的动量;
2. 单位时间内穿过平行于流动方向的单位面积的分子数。

于是可求得单位时间内平行于流动方向的相邻气流层间的定向动量交换量, 此即粘滞力 f , 与公式 (1) 比较便得 η 的表达式。

问题在于作者所见到国内出版的所有物理学、热学和物理化学教科书以及国外的某

些这类书籍中, 给出的粘度系数公式为:

$$\eta = \frac{1}{3} \rho v_a \lambda^{[1-4]} \quad (2)$$

式中 ρ 是气体密度, v_a 是气体分子的平均运动速度, λ 为分子运动的平均自由程。

而国外近年来出版的部分物理化学教科书则给出了具有不同常数的下列公式:

$$\eta = \frac{1}{2} \rho v_a \lambda^{[5-7]} \quad (3)$$

(2)、(3) 两式中常数系数之所以不同, 是由于上文中 2 的计算方法不同而算得不同的交换动量的分子数。

(2) 式在推导过程中采用了比较简单、直观的物理模型: 在一群流动分子当中, 上下、左右、前后运动的分子数各占总数的 $1/3$; 由此得出: 单位时间内自上而下或自下而上穿过平行于流动方向的单位面积的分子数为

$$Z = \frac{1}{6} v_a \bar{N} \quad (4)$$

\bar{N} 是单位体积内的分子数。这个物理模型易于为学生所接受, 计算也简单, 因此它在教

科书中已被采用多年。但由此模型导出的(4)式是不准确的,因为根据分子运动的统计理论,气体分子在单位时间内与单位面积器壁或单位面积的任一假想平面的碰撞频率 Z' 为

$$Z' = N \left(\frac{kT}{2\pi m} \right)^{1/2} \quad (5)$$

式中 k 为波兹曼常数, T 为绝对温度, m 是气体分子的质量。又因气体分子运动的平均

速度 $v_a = \left(\frac{8kT}{\pi m} \right)^{1/2}$,代入(5)式使得

$$Z' = \frac{1}{4} v_a N \quad (6)$$

将此数乘以单位时间内每个分子动量的变化值得到粘滞力 f 的表达式,与(1)式比较使得

$$\eta = \frac{1}{2} \rho v_a \lambda$$

值得指出的是,也有的作者取 $Z' = \frac{1}{4} v_a N$,可是对各个方向运动的分子之角度

取平均后,却得到公式 $\eta = \frac{1}{3} \rho v_a \lambda$ [8]。然而Levine在写出此式后立即指出:因为某些假设很粗糙,这个系数公式是不好的;对于刚球型分子,严格的结果应当是

$$\eta = \frac{5\pi}{32} \rho v_a \lambda \quad (7)$$

与此相当的精确解亦可表达为

$$\eta = \frac{5(\pi m k T)^{1/2}}{16\pi \sigma^2} \quad (8)$$

当实际气体的压力在0.01~10大气压范围内时,此公式已得到证实[9]。式中 σ 是气体分子的有效直径。

(7)、(8)两式完全等同,都给出同样的粘度系数值 $\eta = 0.491 \rho v_a \lambda$ 。其实,早在1940年,Jeans已经指出,准确的理论公式[10]是

$$\eta = 0.499 \frac{m \bar{c}}{\sqrt{2} \pi \sigma^2} \quad (9)$$

式中 $\bar{c} = v_a$,是气体分子的平均运动速度。

(9)式与(7)、(8)式是相近的。

总的看来,(3)式的推导就理论上来说虽然也不完全严格,但它给出的粘滞系数值比(2)式接近精确解,而且(6)式中的 Z' 值比(4)式中的 Z' 值较为合理,物理意义更明确。鉴于教学中在讲述气体粘度等输运过程之前已经讲过气体分子运动论,教科书也都是这样安排,因此(6)式以及(3)式的导出十分简单明确,似乎比采用(4)式与(2)式要合适一些。

出于同样的理由,导热系数和扩散系数跟气体分子微观参数间的关系式的系数也要考虑作相应的修正[5-7]。

参 考 文 献

- [1] 程守洙、江之永编,朱泳春等修订,《普通物理学》,高教出版社,264(1982年修订本)
- [2] 黄淑清、聂宜如、申先甲编《热学教程》高教出版社,228(1985)
- [3] M.Alonso, E.J.Finn合著,梁宝洪译《大学物理学基础(I)》,高教出版社,524(1983)
- [4] 傅献彩、陈瑞华编,《物理化学》(上册),高教出版社,48(1979年修订本)
- [5] A.W.Adamson, A Textbook of Physical Chemistry, Academic Press, 63(1973)
- [6] W.J.Moore, Physical Chemistry, Longman, 155(1976)
- [7] V.Fried, H.F.Hameka and U. Blukis, Physical Chemistry Macmillan Pub.Co., Inc., 64(1975)
- [8] I.Levine, Physical Chemistry, McGraw-Hill, Inc., 462(1983)
- [9] R.A.Alberty, F.Daniels, Physical Chemistry, John Wiley & Sons, 473(1979)
- [10] S.J.Jeans, An Introduction to the Kinetic Theory of Gases, Cambridge University Press, 163(1940)