分子热运动角度建立凹凸液面饱和蒸气压的物理图像*

吕睿洋 朱立巍 杨龙坤 赵丽明 李志鹏**

(首都师范大学物理系,北京 100048)

摘要:为了帮助学生更直观地建立弯曲液面饱和蒸气压的物理图像过程,通过对比2本热学教材在平液面位置如何选择及其物理内涵阐述等内容,从微观分子逸出的角度,给出分子逸出时位置相关的平液面选择方式,建立了较清晰的物理图像,使学生更易于理解和掌握.

关键词:热学;分子热运动;饱和蒸气压;凹凸液面

中图分类号:O552.6 **DOI**:10.19789/j.1004-9398.2020.06.013

0 引 言

热学是物理学的重要组成部分,是以物质的热运动以及热运动与其他运动形态之间的转化规律为研究对象的一门学科[1-3].相对其他物理专业课程,热学特别强调学生对数学和物理图像的建立和理解[4-6].如:基于无相互作用粒子的碰撞模型来理解压强的微观本质;基于刚球模型来理解气体分子的平均自由程及其输运过程.在热学的教学内容中,饱和蒸气压的概念十分重要,涉及压强这一热力学中重要的宏观状态参量,还是气液相变的关键临界点[7-8].建立正确的饱和蒸气压物理图像更是运用气体动理论理解沸点、相变等物理现象的基础.实验中发现饱和蒸气压的大小除了与温度、压强和液体的性质有关[9],还与液面的凹凸有关[10].凸液面上方的饱和蒸气压大于平液面的饱和蒸气压;反之,凹液面的饱和蒸气压小于平液面的饱和蒸气压[11-14].如果气体缺乏凝结核,即使蒸气压大于在该温度下平液面的饱和蒸气压,气体仍无法液化,此时的蒸气称为过饱和蒸气.过饱和蒸气可应用于云室,观察微观粒子的运动轨迹.高能带电粒子从一端射入,在其路径上会形成许多离子凝结核,从而在其路径上形成雾状痕迹.

在生活中,很多物理现象涉及到弯曲液面的饱和蒸汽压[15].如飞机在天空飞过会形成云带,这是由于飞机尾部所喷射出的微粒作为凝结核使空气中的水分子凝结[16].人工降雨就是在高空释放凝结核(如碘化银粉末),从而使水汽更容易凝结形成降雨.而久经煮沸的液体缺少汽化核,当温度达到沸点,液体内形成的极小气泡具有很大的曲率.此时气泡内饱和蒸气压小于液面上方的气体压强,故液体达到沸点也无法沸腾,极易发生暴沸现象[17-18].饱和蒸气压的学习,可以让学生依此解释气液相变的诸多现象.然而,现行的热学教材对于凸凹液面饱和蒸气压物理图像的描述切入点各有不同,尤其是在平液面选择问题上,无明确论述和解释.学生在学习及教师在授课过程中容易忽略其中的关键科学问题.

因此,本文参考了2本热学教材,深入分析教材中关于凸凹液面饱和蒸气压的引入和论述方式.在综合对比和总结的基础上,提出一种更加直观和易于理解的物理图像,即从微观分子的角度选择凹凸液面,并对相应的饱和蒸气压做出合理的物理解释.该物理图像的优点在于,充分考虑了分子动理论中分子热运动的物理本质,明确了分子从凸凹液面逸出时需要额外克服哪些分子的引力,从而帮助学生正确理解分子的蒸发和凝结过程,建立正确物理图像,为学生后续的专业学习打下坚实的物理基础.

收稿日期:2019-09-09

*国家自然科学基金(11774245);首都师范大学重大(重点)培育项目

**通信作者:zpli@cnu.edu.cn

1　教材对比

在《热学教程》(第 3 版)[1]中弯曲液面与平液面的选择对饱和蒸气压的解释为:“在摒除液体的种类、温度等影响因素之外,液面的凹凸也会影响饱和蒸气压的大小. 在凹(凸)液面情况下,分子由气相进入液相的概率比平液面情况的概率大(小).”

如图 1(a)所示,以凹液面的饱和蒸气压物理图像为例. 若选择 P_1 面为平液面,气相分子以图中所示路径更容易进入凹液面 α. 然而若选择 P_2 为平液面,则可以得出气相分子更容易进入平液面 P_2 而非凹液面 α 的结论. 凸液面同理. 不同平液面的选择使学生对饱和蒸气压的理解上产生了干扰. 如何选择弯曲液面对应的平液面的相对位置及其物理依据是,理解凹凸液面饱和蒸气压的关键.

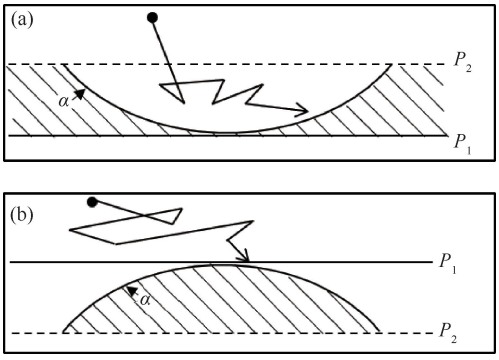


图 1　《热学教程》(第 3 版)弯曲液面的饱和蒸气压
(a)凹液面;(b)凸液面

在《热学》(第 3 版)[19]中,饱和蒸气压的大小与液面的形状有关,凹液面时,分子逸出液面所需做的功比平液面时大,要克服液体分子的引力而做功比平液面时得大.

如图 2 所示,以凹液面的饱和蒸气压物理图像为例. 若选择凹液面 α 的平液面为 P_1 面,凹液面 α 的表面液相分子逸出因受到阴影处的液相分子引力,其逸出功高于平液面 P_1 的逸出功. 然而若选择 P_2 为平液面,则可以得出凹液面 α 的表面液相分子逸出小于平液面 P_2 的逸出功. 凸液面同理.

通过对 2 本教材相应内容的讨论和分析,在现有教材中都存在着同样的问题,即没有以单个分子作为微观图像的研究对象,解释如何选择弯曲液面对应平液面的位置. 学生在学习这部分内容的过程中难以建立明确的微观图像.

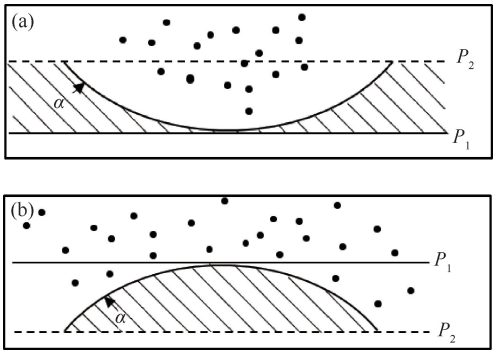


图 2　《热学》(第 3 版)弯曲液面的饱和蒸气压
(a)凹液面;(b)凸液面

2　以微观分子的角度选择凹凸液面对应的平液面

根据饱和蒸气压的定义:在一密闭容器内的某种液体在温度恒定时,从宏观上看蒸发停止,液面不再变化,从微观上看气相分子进入液相的分子个数与液相分子逸出到气相的数量相等,即蒸气与液体达到动态平衡,此时的蒸气压强称为饱和蒸气压. 由此可知,影响饱和蒸气压大小的因素是温度和气液相分子的进入和逸出个数. 根据 $p = nkT$(因为饱和蒸气压都不大,可以用理想气体公式),式中 p 是压强,n 是气相分子数密度,k 是玻尔兹曼常数,T 是温度. 可得出在温度恒定条件下,饱和蒸气压的大小只由气相分子数密度 n 决定. 因此,在研究凹凸液面上方的饱和蒸气压时,只研究凹凸液面对上方气相分子数目的影响即可. 采用微元法将弯曲液面离散化,以单个分子作为微观图像的研究对象,并以此作为选择凹凸液面相对应的平液面的物理依据.

以凹液面为例(图 3),过凹液面上任一点做切线,以 A 点为例,做切线 P_A,A 点所在的平液面为 P_A,凹液面为 α. A 点分子若要逸出凹液面 α,要多受到一部分来自液相分子(图中红色阴影部分)对 A 点的液相分子引力. 凹液面的表面分子相对平液面更难逸出,即液面上方分子数密度 $n_{凹} < n_{平}$,所以凹液面 α 上方的饱和蒸气压小于平液面 P_A 上方的饱和蒸气压. 同理,凹液面上的其他分子,如 B 位置和 C 位置,分别过 B、C 点做切线 P_B 和 P_C(即 B、C 点相对应的平液面 P_B 和 P_C),可得出这些位置的分子离开液面变成气体分子,同样要比 P_B 和 P_C 平液面多克服一部分液体分子的吸引力. 凸液面也可以用相似的方法进行分析. 因此,分析凹凸液面饱和蒸

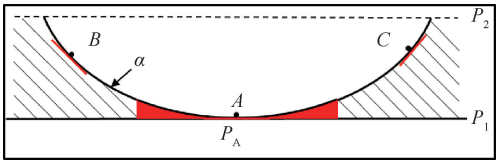


图 3 凹液面的饱和蒸气压微观物理图像

气压在选择相对应的平液面时,要以研究分子所在位置的相切平液面作为参考液面. 当然,还要考虑到弯曲液面每个位置的曲率半径可能不相同. 因此,在这些位置上,分子逸出液面时受到的液体内分子的引力也不同. 根据气体动理论,饱和蒸气压这一宏观物理量是大量分子行为统计的结果. 当大量无规则运动分子进入和逸出液面达到动态平衡时,体系达到确定的饱和蒸气压.

3 结 论

本文深入分析了 2 本教科书,表明在学习凹凸液面上方的饱和蒸气压时,要利用凹凸液面的对应平液面辅助学生学习饱和蒸气压. 本文以物理的常用研究思想——微元法,将研究对象弯曲液面 α 离散化,以微小量——单一微观分子作为研究对象. 弯曲液面上任意选取 1 个液相分子,此分子的切线就是弯曲液面上该分子对应的平液面. 弯曲液面对应的平液面是由研究分子所在位置决定的. 该物理图像充分考虑了分子动理论中分子热运动的物理本质,明确了分子从凸凹液面逸出时需要额外克服哪些分子的引力,能够帮助学生正确理解气液相变过程,为学生后续的专业学习打下坚实的物理基础[20-21].

参 考 文 献

[1] 黄淑清,聂宜如,申先甲. 热学教程[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,2011:240-245.
[2] YOUNG H D, FREEDMAN R A. 西尔斯当代大学物理[M]. 英文版. 12 版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
[3] 张灿灵. 生活中的热学[J]. 物理教学, 2011, 33(6): 63-64.
[4] 黄淑清. 热学课的教材组织与智能培养[J]. 北京师院学报(自然科学版), 1984(2): 30-33.
[5] 王遵敬, 陈民, 过增元. 蒸发与凝结现象的分子动力学研究[J]. 西安交通大学学报, 2001, 35(11): 1126-1130.
[6] 王士平, 韦中燊. 热力学第二定律的微观解释与统计思想的引入[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2005, 26(2): 30-35.
[7] 衣守志, 王强, 马沛生. 饱和蒸气压测定方法评述[J]. 天津轻工业学院学报, 2001(2): 1-4.
[8] 龚楚清, 邓媛, 邓立志, 等. 纯液体饱和蒸气压测定实验中新型平衡管的应用[J]. 化学通报, 2015, 78(10): 956-959.
[9] 周越, 张国锋. 外压对饱和蒸气压的影响[J]. 大学物理, 2012, 31(5): 29-31.
[10] 杨庆贤. 液体饱和蒸汽压与液面曲率半径的关系[J]. 大学物理, 1985(11): 1-4.
[11] 侯天助. 关于用分子力解释饱和蒸气压与液面形状关系的浅见[J]. 大学物理, 1992, 11(12): 20-21.
[12] 黄桂芹. 饱和蒸气压与液面形状的关系[J]. 大学物理, 1998, 17(8): 10-12.
[13] 秦玉明. 弯曲液面饱和蒸气压的研究[J]. 大学物理, 2007, 26(2): 13-16.
[14] 唐建辉, 袁琳, 沈抗存. 弯曲液面上的饱和蒸气压[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2009, 34(6): 212-215.
[15] 韦尚戟. 毛细管公式和弯曲液面上方饱和蒸气压公式[J]. 大学物理, 1994, 13(9): 4-5.
[16] 秦允豪. 热学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2011.
[17] 温淑敏, 王勇. 沸腾现象的分析[J]. 集宁师专学报, 2001, 23(4): 46-47.
[18] 项贤民. 分子动理论对水的沸腾现象的解释[J]. 物理教师, 2002, 23(9): 42-44.
[19] 李椿,章立源, 钱尚武. 热学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2015: 246-249.
[20] 董庆祥. 热学教学应加强统计和概率的讲授[J]. 中国高教研究, 1999(2): 61-62.
[21] 陈清梅, 邢红华, 赵艳岭, 等. 原始物理问题教学:大学物理教学的新取向[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(5): 29-33.

(下转第 96 页)

Comparison and Empirical Analysis Based on the Ranking System of Global Universities

LI Bijing

(Development Planning and Education Evaluation Center, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning Guangxi 530200)

Abstract: Under the background of "Double First-class" university construction in China, the competition among universities is becoming increasingly fierce. In order to clarify the main sources of competitiveness among universities and the gaps, this study used the four global ranking systems of QS(Quacquarelli Symonds), THE (Times Higher Education), ARWU(Academic Ranking of World Universities) and USNEWS(US News & World Report) as the basic framework, compared the similarities and differences of the four ranking systems, and analyzed their constituent factors. At the same time, it was supplemented by the empirical analysis of nine universities of "Project 985" in China and the Ivy League Colleges university group in the United States. The results showed that the four ranking institutions were concerned about the comprehensive performance of universities in three aspects of education quality, scientific research achievements and teacher quality. Therefore, in the future, colleges and universities should strengthen the construction of "Double First-class" universities from the aspects of improving the education quality, scientific research achievements and teacher quality.

Keywords: first-class universities; ranking system; comparison; empirical analysis

(上接第 82 页)

Physical Image of the Saturated Vapor Pressure on Curvered Liquid Surface Through Molecular Thermal Motion

LYU Ruiyang ZHU Liwei YANG Longkun ZHAO Liming LI Zhipeng

(Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100048)

Abstract: To help student visualize the physical image of saturated vapor pressure on curved liquid surface. This study compared in two textbooks, it was found that how to choose the position of the flat liquid surface and its physical connotation were not elaborated in detail during the establishment of the physical image of the saturated vapor pressure of the curved liquid surface, which was easy to cause difficulties for students to understand. By analyzing the process of microscopic molecular escape, the method of selecting the liquid level related to the position of the molecular escape was given, and a clearer physical image was established to make it easier for students to understand and master.

Keywords: thermology; molecular thermal motion; staturated vapor pressure; curvered liquid surface