



图2 处在封闭容器中热平衡气体的准静态过程(a), 可以和无限深势阱宽度缓慢变化的量子力学浸渐过程(b)对应

和对外做功

$$dW = \sum p_n dE_n(t).$$

前者是由于参数改变引起的内部能级跃迁, 产生了热交换; 而后者是由于参数改变(如拉动活塞改变势阱宽度导致能级改变), 导致对外做功. 对于量子力学的“浸渐”过程,  $dp_n = 0$ , 没有能级跃迁, 粒子布居数不变, 从而分布几率不变, 没有热交换( $dQ=0$ ), 自然对应于热力学的绝热过程. 按照上述功与热的量子力学划分, 我们可以严格定义各种“量子化”的热力学循环过程, 建立量子热力学的基本框架, 这对理解有限系统、有限时间多粒子统计热力学过程是有裨益的<sup>[5]</sup>.

最后需要指出, 并非所有的热力学绝热过程都可以由微观的量子浸渐的微观过程来实现. 可以存在这样一个过程, 系统变化得非常快, 量子“绝热(浸渐)条件”不成立, 产生内部激发. 但是, 让做功物质与环境完全隔离, 没有热交换, 这样一个宏观上的热力学绝热过程, 微观上并不是量子浸渐过程. 可以猜测, 由量子浸渐过程实现的热力学绝热过程通常是可逆的, 否则是不可逆的. 因为从微观角度看, 内部

非“绝热”激发不可能是一个可逆过程. 特别是, 如果系统的初态不是热平衡态, 当初态具有量子相干叠加, 系统的“热力学”表现出非常奇异的行为<sup>[6]</sup>. 研究做功物质的量子行为如何影响物理体系的热力学, 是目前物理学发展的一个前沿研究领域——量子热力学, 其中最重要的一步, 就是厘清热力学中的“绝热”与量子“浸渐”的关系.

以上的讨论主要是对赵凯华先生的精彩论述加以补充, 但愿不是狗尾续貂, 并多少能激发读者对量子热力学前沿研究的兴趣.

## 参考文献

- [1] 赵凯华. 物理, 2010, 39: 54 [Zhao K H. Wuli (Physics), 2010, 39: 54 (in Chinese)]
- [2] 汤川秀树(主编). 量子力学(I), 北京: 科学出版社, 1991. 366—371 [Yukawa H. Quantum Mechanics (I). Iwanami Shoten, Publishers (岩波书店), 1972. 356—364 (in Japanese)]
- [3] 孙昌璞, 张芄. 量子绝热近似理论与 Berry 相因子. 见: 量子力学新进展(第二辑). 北京: 北京大学出版社, 2001. 21—86 [Sun C P, Zhang P. Quantum Adiabatic Approximation and Berry's Phases. In: New Progress in Quantum Mechanics. Beijing: Peking University Press, 2001. 21—86 (in Chinese)]
- [4] Gemmer J, Michel M, Mahler G. Quantum Thermodynamics. Berlin: Springer, 2010 2nd Edition
- [5] Quan H T, Zhang P, Sun C P. Phys. Rev. E, 2005, 72: 056110; Quan H T, Liu Y X, Sun C P *et al.* Phys. Rev. E, 2007, 76: 031105
- [6] Scully M O, Zubairy M S, Agarwal G S *et al.* Science, 2003, 299: 862; Quan H T, Zhang P, Sun C P. Phys. Rev. E, 2006, 73: 036122; Quan H T, Wang Y D, Liu Y *et al.* Phys. Rev. Lett., 2006, 97: 180402

## · 读者和编者 ·

### 《中国大百科全书·物理学》(第二版)邮购信息

《中国大百科全书·物理学》(第二版)收条约 1700 条, 图表 1400 多幅, 200 多万字, 精装 16 开, 638 页, 全彩印刷, 订价 185 元. 为方便《物理》的读者订阅该书, 经与出版社协商, 《物理》编辑部获得该书的代理发行权, 并以 150 元/本的优惠价(8 折, 含邮费)发行, 欢迎各位读者向编辑部订阅. 订购款汇款方式:

#### 1、邮局汇款

地址: 北京 603 信箱, 邮编 100190

收件人: 《物理》编辑部

附言: 大百科全书

#### 2、银行汇款

户名: 中国科学院物理研究所

帐号: 30948821—250101040005699

开户行: 农行北京科院南路支行

又: 汇款时请注明“《物理》大百科全书”

请您汇款后及时发邮件到: physics@iphy.ac.cn, 告知收件人详细地址、发票抬头等详细订购信息, 以便书籍及时、准确的寄到您手里.

咨询电话: 010—82649029, 82649266