

吉布斯佯谬与 EPR 佯谬

侯吉旋 赵双良 王 鑫

(湖南大学物理系 长沙 410082)

吉布斯佯谬指的是理想气体的熵必须用量子统计的方法才可以计算出正确结果。而用经典统计计算出来的结果则与实验不符。EPR 佯谬指的是两个全同的微观粒子之间一旦发生关联,则在没有被观测之前总是处在关联态,无论它们之间的距离有多远。用定域实在论是解释不了这一事实的。

一般人认为,研究 EPR 佯谬要采用专门设计的尖端实验,与我们的日常生活关系不大。事实上,日常生活的空气就可以当作理想气体来近似处理,而吉布斯佯谬就是 EPR 佯谬在日常生活中的表现。在理想气体中,如果 2 个全同粒子某时刻发生了碰撞或足够靠近以至于波包发生明显重叠,则此后这两个粒子永远不可再分辨,无论德布罗意波长比热波长小多少。由于气体系统中不同的粒子之间总是不停地碰撞,则整个气体中的粒子就变得不可分辨,这一点与相互之间的平均距离无关。也就是说,气体再稀薄,平均距离比热波长几个数量级,非定域的统计关联也总是存在的。正是由于这种关联的存在,使得理想气体也必须考虑到微观粒子的不可分辨性,否则就会产生吉布斯佯谬。

值得注意的是,统计的关联是不能用能量的观点来讨论的。理想气体除了相互碰撞外,是没有相互作用力的,设系统中分子数为 N ,则总能量为 $U = 3/2(NkT)$ 。如果认为在气体中,微弱的量子效应能引起能量修正,这一结果是

$$U_{\text{修正}} = \frac{3}{2} NkT(1 + \frac{d}{v}) \quad (1)$$

其中, $d = \pm \frac{1}{4\sqrt{2}g} \left(\frac{h^2}{2\pi mkT} \right)^{3/2}$,“+”号对应于费米气体;“-”号对应于玻色气体。 g 是粒子可能具有自旋而引入的简并度。 v 为单粒子所占据的平均体积。容易算出在标准状态下, $v \approx 3.72 \times 10^{-26}$, $d \approx \pm 3.46 \times 10^{-33}$;即 $d/v \approx 0.93 \times 10^{-7}$ 。这一极小的能量修正比范德瓦耳斯力引起的能量修正还要小 4 个量级。在考虑范德瓦耳斯力的情况下,能量修正具有和(1)式完全相同的形式,不过 $d \approx 6.26 \times 10^{-29}$ 。

因此,统计力学中的吉布斯佯谬和 EPR 佯谬都是量子非局域性的表现,而这种非局域性引起的关联不是通过相互作用而联系的。

通过观察和实验去直接认识的,而是只有通过思辨地提出的理论结构或公理假设才能认识的,这些理论结构或公理假设只有通过由它推演出来的结论间接地在实验上加以检验。因此,为了探知科学知识的对象,我们必须走向它的理论假设。”我们在观察和实验之前必然受到一种关于自然的理论的指导,正是理论的指导才使我们进行了实验和观察方面的设计,通过这种设计了一组人为条件,在这组条件下实验者的意图完全定义了与自然相关的问题。也就是说我们的观察和实验总是渗透着理论的,纯粹自然的、客观的观察和实验是不存在的,即物理学的

实验数据的取得及相关的方法是由理论结构或公理假设所决定的。

由上所知 17 世纪实验方法的兴起对于自然的研究尤其是物理理论的形成、发展具有极为重要的作用,可以说没有实验方法也就没有今日的物理学,也促进了人们对自然在深度和广度方面的认识。由于物理理论的发展也促进了化学、生物学等方面的研究;时至今日,实验方法仍是自然科学的一个典型特征,形成了科学和技术互相促进、互相发展,二者缺一不可的局面。科学和技术也成为人类文明的极其重要和关键的组成部分。