

实验方法在物理学中的作用

方玉田 邢永忠

(天水师范学院物理系 甘肃 741000)

17世纪是现代自然科学的开端,其有三个重要的标志:一是专业研究学会的形成;二是仪器的发明,且17世纪为我们制造了大量科学研究的基础工具;三是无形的仪器——实验方法。实验方法的提出和形成极大地改变了我们认识世界的方式,实验方法通过实验仪器的发明和使用为我们提供了一种和自然界交流的手段和工具,是我们获取有关自然的信息的极为有效和重要的方法之一,因此分析实验方法在物理学中的地位和作用对目前的科学研究仍然具有极为重要的价值和意义。

在古希腊科学中形成了一种以“挽救现象”为标志的探索自然的方法,所谓“挽救现象”是“要么意指不同的假设或解释能同样好地解释某个特定的物理现象,要么意指一个解释可能显得比别的解释更可信一些。两种情况下,解释的机制都不必涉及物理实在。”例如在古希腊天文学中为了解释行星的视运动采用了偏心轮和本轮,但他们在多数情况下却又回避偏心轮和本轮代表行星的真实运动的说法。这种以“挽救现象”为标志的探索自然的方法居于统治地位一直到中世纪末期。直到哥白尼的时代才出现了一种全新的探索自然的新方法,而“哥白尼与传统的分野在于他坚信地球确有一个真实的物理运动和从这个深邃的信念而来的方法论意义上的理论解释。”

从古希腊到中世纪末期科学并没有取得多大的成就,因而对更早方法的幻想破灭了。故17世纪有很多人致力于方法的研究,例如培根的《新工具》和笛卡尔的《方法论》,这些方法的研究为现代科学的出现铺平了道路,培根就是实验方法的鼻祖。实验方法是指在实验者限定的条件下对自然界的积极怀疑,而不是只对自然界自发出现的现象的纯粹观察。到了17世纪,实验方法才成了科学研究的一个被广泛使用的工具。实验方法也就是通过实验者的设计,把个别的现象从自然的整体中分离出来,然后应

用科学仪器——人类感官的延伸——进行细致的研究,获取有关物理世界的信息,从而增进了人类对自然的了解和认识。物理学史上第一个著名的实验就是17世纪40年代的托里拆利真空实验,“没有实验者的设计,托里拆利观察到的现象将永远不会发生。”表明在实验方法中充分体现了人的主观能动性和人在探索自然中的重要作用是不可低估的。

在17世纪机械论哲学的兴起为实验仪器和实验方法及结果的描述提供了恰当的描述语言和解释语言,没有机械论哲学的发展和完善也就没有实验方法。机械论哲学为当时的自然科学提供了一个总体的工作框架。而现代的实验方法、仪器及结果是用经典物理学的语言描述的。正是通过实验方法为科学研究提供了必要的经验基础,此种经验基础为科学理论的形成、发展和完善提供了必要的前提和条件。牛顿就是把他的观点建立在实验的基础上。与中世纪及以前不同,最终确立了经验的权威。经验事实是人类有意识地利用科学仪器通过实验方法取得的,正是伽利略通过理想化的条件对人们的日常经验进行了重新诠释,这体现了一种看待旧事实的新方式。“就在亚里士多德从经验出发的始端,伽利略从理想化情况出发,而实际情况只是理想化的情况的一个不完美的体现。”正是通过理想化,实验现象适于用数学进行描述和发现现象背后的客观规律性。17世纪进行的实验的另一个特征是定量化,此种定量化的实验还可使实验者的问题在概念上适于实验检验,从而使实验成为一个检验物理学理论是否正确的依据和标准。

实验方法指一种可区别于别的,如历史研究或逻辑上的质疑过程的研究过程,因此实验方法成为一种了解和认识自然的全新的研究方法,科学史已经表明实验方法是极其成功且在改造世界方面也是卓有成效的。17世纪笛卡尔区分了精神实体和物质实体,自然科学的研究对象正是这种物质实在,关

于这种物质实在的基本假设之一是客观实在性,因此实验方法也就假设具有客观实在性;不可否认,每次实验观测对被观测的对象都有某种影响,但是一般假设,通过小心谨慎地做实验,可使这种影响任意地缩小。这正是经典物理学的一个基本前提,正是实验方法的客观性假设才保证了物理学理论的客观性,波普尔也就把这种物理学理论称为客观知识。正是这种物理实在的客观性假设要求实验具有可重复性,亦即实验的现象应具有可重复性,这样才保证了物理学理论具有描述、解释和预测自然的能力。然而“可重复实验的观点的前提条件是,无论何时何地,自然法则都是相同的。但如果场进化了,那么某类实验从本质上讲也许就是不可重复的了。”这正是后现代的研究者鲁珀特·谢尔德拉克所表明的,既然宇宙是不断演化的,那么自然法则也就是进化的产物,是一种习性,这样就要求我们对不可重复的实验和观察给予足够的重视和认真的对待。每一种关于自然的理论都以一定的自然实在观为前提,一定的物理实在观也是进行物理学研究的基础和前提,物理实在观在研究的过程中随着研究的深入和认识的深化也在不断地发生着一种内在的变化,因此新的物理现象的发现和也为新的物理实在观的形成提供了前提和条件。新的物理现象的发现和与研究与新实验方法的应用和新实验设备的使用是密不可分的。例如在牛顿之前人们假设自然光是白色的,正是通过三棱镜实验才使他认识到自然光是一种复色光,正是实验方法的应用才促进了对光本性的认识。因此实验方法也为更接近真实的物理世界的物理实在观的形成和完善提供了前提和条件。

采用实验方法就是细致地、量化地研究个别现象,我们希望从个别现象的研究中得到对其的描述及现象背后所隐藏的客观规律的数学描述,然后把所得的结论从个别上升到一般,从而得到能够解释更广范围现象的物理学基本原理,当然物理学的基本原理的获得离不开理想化、抽象化和思辨等方法的运用,因此物理实验方法的使用和物理实验现象的解释也为物理理论的形成、发展和完善指明了方向。实验方法也为表面上不同的物理现象之间建立联系提供了必要的途径和手段。例如人们以前认为电现象和磁现象是相互独立的,正是通过奥斯特的电流磁效应的实验在电现象和磁现象之间建立了有机的联系,然后通过法拉第的电磁感应实验最终完成了电磁现象的统一,从而对电磁现象也就有了

统一的解释模式——电磁学理论。实验方法为物理理论的统一提供了前提和条件。如1850年前后焦耳的热功等当性实验为在力学现象和热现象之间建立联系提供了桥梁和纽带,也为热学理论的完善提供了必要的实验基础,并且在此基础上逐步形成了能量的概念,正是通过能量概念在力学现象、热学现象和电磁等现象之间建立了广泛的联系并且发现不同现象之间能够相互转化,正是通过能量概念实现了在力学、热力学和电磁学等物理理论之间建立了有机的联系和实现了更大范围的物理理论的统一,也使我们有了了一幅关于世界的统一图景。实验方法也是我们揭示和认识物理实在构成要素的极为重要的途径和手段之一。例如法拉第在对电磁现象的研究中提出了场的概念,麦克斯韦又以场的概念为基础建立了完善的电磁学理论,电磁场成为一种新的物理实在,正是通过赫兹的实验证明了电磁场的存在。

由于在物理学的范围之内广泛地使用实验方法,物理理论就是尽可能把一定领域的经验纳入一个完备的理论框架之中,使经验事实条理化 and 秩序化,表现出自然的规律性和秩序。因此实验物理学和理论物理学是互相促进、共同发展的,正是二者的协同发展才促进了我们对自然的认识的不断深化和提高。

W·海森伯认为,“现代物理学的分析和发展的最重要特征之一是这样一个经验,就是:自然语言的概念既然是模糊地定义的,似乎在知识的扩展中,比起科学语言的准确术语更为稳定,因为这些科学语言只是从有限的一组现象中推导出来的一种理想化情形……另一方面,科学概念是理想化情形;它们是从用精密的实验工具所获得的经验推导出来的,并通过公理和定义准确地定义下来的。只有通过这些准确定义,它才能将概念和数学方案联系起来,并从数学上推导出这个领域内可能现象的无限多样性。”物理理论和实验事实之间是一种互补的关系,亦即仅从实验事实我们并不能形成一种物理理论,必须在实验事实的基础上通过思辨形成物理学的理论,再从假设的理论推演到事实和实验数据。物理理论的正确性又必须通过实验方法进行检验和验证。因此实验方法的广泛使用也为合适的概念体系的形成、发展和完善提供了必要的条件。

诺斯劳普认为,“断言物理学的实验数据不包含它的理论概念。由此可见,科学知识的对象决不是现代物理知识

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,平均距离比热波长大几个数量级,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

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

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,通过这种设计了的一组人为条件,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。