

论科学发现的提问方法

李 光 杨 敏 才

“首先是问题的提法,其次是问题的解答”。^①这是诺贝尔物理学奖获得者 W·海森堡长期从事科学探索的深刻体会,也是他对科学发现的经验之谈。确实,提出问题、分析问题和解决问题,并且循环往复,是科学认识活动中必须遵循的规律。在科学认识这种高级认识形态的活动中,在错综复杂的科学发现过程中,无疑要以科学问题作为始点,要解决一系列的科学问题,而其中必有一些涉及科学对象本质且贯穿始终的科学问题。因此,科学认识主体从事科学发现活动,首先就要提出有价值的科学问题。诚然,创造性思维都是围绕这些科学问题展开的,正确地提出这些科学问题乃是创造性思维的始端,并且决定着创造性思维以后的发展方向。如何提出有意义、有价值的科学问题,也就自然而然地成为科学发现中一种既基本又普遍且重要的科学方法。

科学问题在科学发现过程中具有重要的意义。从科学认识主体的认识发生,到科学发现的最终确立,往往要经历一系列的发展阶段。要从认识科学对象的一级现象、一级本质,逐渐深入到科学对象的二级现象、二级本质……。不同的发展阶段,都必须以科学问题为先声,也伴随着各种科学问题的不断产生和解决。即使是通过科学发现所得到的相对真理,也仍然需要在科学问题产生和解决的矛盾统一之中向前发展。相对于科学对象的本质而言,科学发现过程中的科学问题是有层次的,并且在动态中向前发展,从低层次向高层次不可逆转,逐渐向科学对象的本质逼近。我们将不同层次的科学问题划分为“初始型科学问题”、“逼近型科学问题”和“本质型科学问题”三类。这就意味着并非所有的科学问题都能够直接导致科学发现的确立。

在科学发现的过程中,科学认识主体最初涉足所提出的科学问题,往往是不清晰且不深刻的,这种“初始型”的科学问题很难直接涉及到科学对象的本质。只有当他们通过思考的步骤或操作的步骤,逐渐深入到科学对象的本质,且达到一定的程度时,提出的“逼近型”或“本质型”科学问题才对科学发现有直接的意义。“本质型科学问题”是真正触及科学对象本质的问题,能够直接地导致科学发现的确立。它是科学认识主体从提出问题到解决问题的转折点,并为科学发现的确立辅平了道路,从而使科学发现在大多数情况下以有限的时间为条件。爱因斯坦认为:“提出一个问题往往比解决一个问题更重要,因为解决问题也许仅是一个数学上或实验上的技能而已,而提出新的问题,新的可能性,从新的角度去看旧的问题,却需要创造性的想象力,而且标志着科学的真正进步。”^②这段名言中提及的问题,显然是属于“本质型科学问题”。

从“初始型科学问题”、“逼近型科学问题”到“本质型科学问题”的陈述,直观上表明了科

学问题在科学发现过程中的发展方向。诚然,由于科学认识主体把握科学方法的程度不同,对提问方法的运用不一,提出科学问题的过程并不具有严格的模式。印度科学家 N·K·简在论述现代科学方法模式时指出:“对科学方法的分解,并不意味着一位科学家应自觉按这些步骤工作。他没有必要把第一天用于对问题的认识,第二天进行实验,第三天用于观察,第四天进行抽象,第五天去验证。有时,这五个过程几乎是同时而又很不自觉地进行着。……另外,每一个步骤常常是由不同的人来完成的”。③事实上,提出科学问题的过程也无不是如此。科学认识主体可以从“初始型科学问题”始足,循序渐进,逐步逼近;他们也可以跨越一定的阶段,或者以“逼近型科学问题”作为起点,或者通过遐思远眺直接提出“本质型科学问题”。

科学问题在科学发现过程中的地位和作用,已经引进学术界的普遍重视。但是,有关科学认识主体怎样有效地提出科学问题的著述却实属少见。笔者认为,注重科学问题固然重要,倘若从科学方法论的高度探索如何提出科学问题,那就更有意义了。工欲善其事必先利其器。科学认识主体提出科学问题的数量多少及其科学价值大小,在很大程度上取决于他们把握科学发现提问方法的深度,取决于他们对提问方法适时适当的运用。

科学发现的提问方法具有历史发展的过程。只是随着社会生产和人类思维方法的发展,科学认识主体才从古代消极、被动地在生产实践中碰到问题,逐渐发展到在科学实践中创造性的、超前于生产实践的觉察和提出科学问题,从而加速了科学发现的确立。从“不可回避”到“主动进取”问题的历史演变中,科学认识主体的能动性越来越强,自由度也越来越大。同时,由于科学问题的科学价值标准逐渐明确,要求科学认识主体必须掌握怎样有效地提出科学问题的科学方法。科学问题的科学价值标准,往往从历史的、现实的意义上来考察,以同一科学领域特定历史时期的发展现状为参照。对于特定的科学发现过程来说,衡量科学问题的价值大小,在于它触及科学对象本质的程度,即科学问题所导致科学发现的直接性。当然,还有一些因素也可以作为衡量指标,但相对来说是次要的。这也就是说,“本质型科学问题”的科学价值,相对于“逼近型科学问题”、“初始型科学问题”来说要大,高层次科学问题比低层次科学问题的科学价值要高。著名数学家 D·希尔伯特认为:对科学问题价值的最终判断,取决于科学从该问题得到的获益。从科学发现过程的实际要求来说,为了提出许多有科学价值且科学价值大的科学问题,就必须深入研究提出科学问题的思维形式,并且认识它在科学方法论体系中的地位,发挥它在科学发现中的重要作用。正如英国著名科学家 E·阿什比指出:科学方法论启发人们考虑那些如果不依靠科学方法就根本不会考虑的问题。

诉诸科学发现的典型案例,考察一些科学发现孕育的复杂过程,我们认为科学发现的提问方法至少有三种基本形态:

违悖提问方法 所谓“违悖”亦指实验观察与科学理论、经验与实验事实、理论与理论之间等方面发生的矛盾。毛泽东同志曾指出:“问题就是事物的矛盾”。④在科学发现最终确立以前,各种各样的矛盾是经常发生的,这些内在的矛盾推动着科学发现的进程。以科学发现过程中各种显见的矛盾或违悖现象为基础,从中觉察和确定科学问题的思考步骤就是违悖提问方法。在科学探索的过程中,违悖现象的出现频率是较高的,适时准确地运用违悖提问方法,将有助于科学认识主体有效地提出科学问题。英国物理学家 J·W·S·瑞利因发现氦元素荣获1904年度诺贝尔奖,其科学发现曾得力于违悖提问方法。

十九世纪九十年代初,瑞利在卡文迪什实验室测定气体重量时,发现从空气中获得的氮比从氨中分解出的氮大约重 5×10^{-3} 。面对两个实验暴露出来的矛盾,瑞利对此违悖现象进

行了积极的思索。他提出了可能解释上述现象的4个问题：(1)是否从空气中获得的氮还含有微量的氧？(2)从氨中分解出的氮是否混杂了氢？(3)从空气中获得的氮是否含有密度较大的 N_2 分子？(4)从氨中分解出的氮是否已扩散了一部分？⑤通过实验逐步逼近，以上4个问题都被逐一否定了。瑞利对此百思而不得其解，于1892年9月24日投稿于《自然》杂志，介绍了自己的试验结果。在英国皇家学会1894年4月19日的学术会议上，他又宣读了实验报告。会后，化学家W·拉姆塞提出了一个“本质型科学问题”——从空气中获得的氮里是否还有一种尚未发现的气体？他愿意和瑞利一起探索。这个触及科学对象本质的科学问题，向他们敞开了科学发现的大门。瑞利和拉姆塞精诚协作，围绕这个科学问题展开研究。他们对空气中获得的氮进行光谱分析的结果表明，除了氮的谱线及其它已知气体的谱线以外，显然还存在着未知的谱线。按照已有的经验，谱线表征着元素的性质，未知的谱线必定对应着一种新的元素。通过进一步的实验分析，他们终于对上述违悖现象作出了正确的解释，完成了对氩元素的科学发现。

困惑提问方法 科学对象的复杂性，决定了科学发现的艰难性和科学认识主体的工作之艰辛。在科学探索的过程中，并不是所有的矛盾都暴露无遗，使人一目了然。在诸种因素的限制下，前面叙述的违悖现象往往是隐含着的。譬如，当人们面临新的实验事实时，会出现一些令人困惑不解的情况，或者现有科学理论软弱无力，或者现有科学理论并不直观的与之发生矛盾，却又无法予以令人满意的阐释，等等。事实上，这些情况往往隐含着矛盾，可能是现有科学理论在时间上和适用范围上的局限，需要进行修正和完善，也可能是由于实验观察的不充分，必须进行更深入细致的工作，或者是建立全新的科学理论体系的必然性等。科学认识主体在困惑中觉察和确定科学问题的思考步骤，就是科学发现的困惑提问方法。在早期量子论创立的过程中，这种方法起到了一定的作用。

1900年，英国物理学家瑞利、金斯对黑体辐射的能量密度作了一个经典的计算，但其使用经典理论计算的结果，却与实验结果存在着严重的矛盾。在长波范围，理论计算结果和实验数据基本上一致，对比曲线大体相符。但是，在短波范围却出现了巨大的偏差。这种违悖现象即物理学史上记载的“紫外灾难”。同时期，德国物理学家W·维恩为适应光谱高频端的实验而找出的关系式，也因仅适用于短波和低温范围而流产。这就出现了令人困惑不解的奇怪现象——两种经典的关系必须互补才能吻合实验数据。其中，显然隐含着矛盾，是否需要一种新的物理原理？或者物理学经典理论必须修改？德国著名物理学家M·普朗克进行了新的尝试。他凭自己在热力学领域中的优势，用半经验的方法找到了新的公式。这一以《论维恩光谱方程之完善》为题的理论成果，完全能与实验数据吻合。然而，曾使普朗克深感困惑地是：作为运算中合乎逻辑的步骤，似乎必定要假设普朗克黑体辐射公式中的能量 ϵ 是一个分立的(不连续的)变量。只有使用这种崭新的观念，才可以得到与实验相符合的平均能量 ϵ 。这就促使他考虑这种假设是否必要的问题。事实上，普朗克的选择即形成了一个“本质型科学问题”，对以后的科学发现具有十分重要的意义。为了使其理论与实验数据尽可能的吻合，普朗克定出了以其姓氏命名的普适常数 h 。尽管他起初并不明确自己引进 h 是一个数学上的技巧，还是具有深刻物理意义的重大事件，其结果是导致了物理学史上的一场深刻的革命。正如H·冈罗所说：普朗克辐射定律在世纪之交时期的发展，开辟了一个全新的研究领域，被公认为物理学史上的一个里程碑。⑥

困惑提问方法在科学发现中的应用较为广泛，历史上的科学发现案例证实了这一点。“马格纳斯效应”的发现也得力于这种方法。人们早在一、二个世纪以前就观察到，大炮发射的球

型炮弹一旦出膛，常常会拐个弯，从而偏离目标，这种现象曾使当时的炮手乃至科学家们困惑不解，进而确定了这一应该深究底蕴的科学问题。德国物理学家马格纳斯认真地研究了这一现象，从力学角度分析这个问题，最终发现了以其姓氏命名的效应。

质疑提问方法 任何科学理论都是时代的产物，都要受到当时的主观条件和客观条件的限制。科学发现所反映和揭示的客观规律，都不可能是终极真理，还必须不断地修改、补充和完善。质疑是科学认识主体的一种思维形式，质疑提问方法就是运用具有试探、否定和不确定等特性的质疑思考步骤，觉察和确定科学问题。诺贝尔奖获得者O·迈耶霍夫曾深刻指出：“作学问而不疑，则永远不得真正的进步！我人若不疑，这世界还停顿在牛顿三定律的时代里”。爱因斯坦正是对牛顿经典力学体系的基本概念产生质疑，才终于醒悟到时间是可疑的⑦。他从新的角度确定了“本质型科学问题”，完成了相对论的重大科学发现。在科学发展史上，一些貌似科学真端的经验或理论，曾经统治一时，窒息了新的生命，阻碍了通往科学发现之路。对于这种十分深刻的教训，科学哲学家I·拉卡托斯认为：科学行为的标志是甚至对最受珍爱的理论都持怀疑。

1957年，华裔物理学家李政道、杨振宁因发现弱相互作用中宇称不守恒荣获诺贝尔物理学奖。在这一著名的科学发现中，他们得力于质疑提问方法。在1956年以前，人们发现的物理规律都满足于空间对称，称之为镜像反射不变性，即宇称守恒。当时，物理学实验已精确地表明，在强相互作用和电磁相互作用中，宇称是守恒的。但是，物理学家们发现了两种荷电奇异粒子 θ 和 τ 的“反常”现象。它们的衰变方式不同，前者可衰变为2个 π 介子($\theta^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^0$)，后者可衰变为3个 π 介子($\tau^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{\pm} + \pi^{\mp}$)，但两者的质量、寿命、自旋、电荷等，在实验误差范围内却完全一致。R·H·达里兹等人对 θ 、 τ 衰变产物的分析表明，上述2个介子态具有偶宇称，而3个介子态则具有奇宇称。按照宇称守恒律，不同的衰变方式意味着同其他粒子有着不同的相互作用，必然要引起质量诸方面的差异。 θ 、 τ 的质量、寿命等方面如此相近，但衰变方式却实属殊异，这是令人迷惑的。这就是物理学史上著名的“ θ - τ 疑难”，这个疑难隐含着两种可能性：如果 θ 、 τ 是同一种介子，则在弱相互作用中宇称不守恒；如果物理规律是严格的宇称守恒，即宇称守恒律具有普适性，则 θ 、 τ 介子就不是同种粒子。

在本世纪五十年代中期，宇称守恒律的地位被看作与经典守恒定律一样，近乎于神圣而不可侵犯。但是，李政道、杨振宁冲出了当时进退维谷的境地，注意到实验事实隐含的矛盾。他们对以往所有关于弱相互作用的实验进行了分析，发现它们对宇称是否守恒的问题都不能予以回答⑧，即我们以往用实验的方法向自然提问，其中竟然没有一个问题涉及到宇称是否守恒的实质。李政道、杨振宁对宇称守恒律的普适性提出了质疑，并形成了一个“本质型科学问题”——“在弱相互作用中，宇称守恒却至今不过是一个没有得到实验证据支持的推论而已”⑨，从而建立了在弱相互作用中宇称可能不守恒的科学假说，并由实验物理学家吴健雄等人的实验所确证⑩。我国宋朝学者张载说过：于不疑处有疑，方是进矣。显然，质疑并非科学认识之目的，还必须形成科学问题，向科学发现过程的纵深发展。

以上考察了提问方法的三种基本形态，在科学发现中运用的却远不止这些。不仅如此，由于科学发现过程的复杂性、艰难性以及科学问题的不同类型，它们在科学发现过程中并不是单独出现的，而往往是适时恰当的综合运用。

关于觉察、提出科学问题对科学发现的作用和意义，许多著名科学家曾以其亲身经历，作过不少精辟的经验性陈述。概括起来，提问方法的作用和意义至少有如下几个方面：

首先，运用提问方法能比较有效地觉察和确定科学问题，从而确定科学发现的起点及科

学发现过程的路标。科学问题既是科学发现的组成部分,又是推动思维去寻求新结果的实际需要的反映,只有它才能是科学发现的起点以及科学发现过程中不同阶段的路标。科学发现意味着特定的科学问题的解决,没有科学问题也就无所谓科学发现。控制论创始人之一 N·维纳指出:“只要我们没有提出正确的问题,那么我们就永远也不能期待问题的正确答案”。^⑪普朗克不仅定出了普适常数 h ,而且还首先计算出以 K 表示的另一自然常数,尽管被物理学家们命名为“玻尔兹曼常数”,但奥地利物理学家 L·玻尔兹曼本人并没有提出过这一常数,也未给自己提出过研究该常数数值的问题。科学问题存在的客观性,能使科学认识主体认识进行某种科学探索的必要性,看到科学发现的可能性。正如简指出:“在头脑中对所要解决的问题未形成一幅清晰而又精确的画面之前,没有任何问题会得到圆满的解决”。^⑫著名物理学家 N·玻尔在1913年利用普朗克的量子假说推进了原子理论,海森堡对此指出:“玻尔的理论开辟了一条新的研究路线……,从这个时候开始,在这方面物理学家才学会提出正确的问题;而提出正确的问题往往等于解决了问题的大半”^⑬。他认为“在物理学中,我们的科学工作在于用我们所掌握的语言来提出有关自然的问题,并且试图从我们随意部署的实验得到答案”。^⑭

其次,运用提问方法能比较科学地觉察和确定科学问题,从而对科学发现的探索起到定向的作用。提出科学问题必须具有背景知识,“提出问题本身就必然包括解决问题途径的知识”,^⑮这就不仅能使科学认识主体在战略上确定通往科学发现的方向,主导科学向纵深发展,向横向发展;而且能在战术上确定奔向科学发展的蹊径。从“初始型科学问题”向“本质型科学问题”逐渐逼近,使“问题的解答则在大多数情况下只是以时间为条件,它们必然要由于我们对经验事实的知识的扩大而逐渐失去其意义”。^⑯ DDT 杀虫剂的发现案例,充分表明了科学问题在科学发现中的定向作用。尽管德国化学家 O·柴德勒首先合成了 DDT,但由于他并没有带着发现杀虫剂的问题进行研究,从而功亏一篑,失去了科学发现的机会。瑞士化学家 P·H·米勒从一开始,就确定了自己要解决的科学问题——合成新型杀虫剂,从而在他以不同方法合成 DDT 后,虽然其化学结构并未显示出良好的杀出特性,但他却及时地把握了科学发现的契机,因发现 DDT 的杀虫特性而荣获诺贝尔奖^⑰。美国物理学家 J·惠勒认为:一个有经验的科学家通常知道许多悬而未决的科学问题,但却不一定知道哪些问题是“好”的问题。适时恰当地运用提问方法,就可能有效地抓住这些“好”的问题。

再次,运用提问方法能积极地觉察和提出科学问题,激发科学认识主体的创造性和进取精神,提高其遐思远眺的创造性思维能力,增强深究底蕴的必胜信念,从而加速科学发现的进程。英国科学家 W·I·B·贝弗里奇指出:“问题就是激励”。^⑱一旦觉察、确定科学问题后,这些问题将激励科学认识主体排除万难,前驱后继,寻求令人满意的答案。诚然,“只要科学家在研究一个他知道应该有答案的问题,他的整个态度就会不同,他在解决这个问题的道路上几乎正前进了一半”。^⑲匈牙利数学家鲍耶对非欧氏几何学的创立作出了贡献,他父亲曾为解决平行线问题也倾注了毕生精力。当老鲍耶得知儿子也醉心于这一问题时,以自己的“前车之鉴”恳求他不要轻举妄动。然而,鲍耶深受这个科学难题的激励,不惜任何代价而寻求解决。许多科学家都认为:“善于正确地提出问题,从前人知识中引出问题,这就意味着问题已经解决一半”。^⑳希尔伯特说得好:正是通过对科学问题的探索,科学家锻炼其钢铁意志,发现新方法和新观点。

鉴于科学问题在科学发现中的地位和作用,鉴于提问方法在觉察、确定科学问题中的作用,我们认为科学认识主体的创造性思维能力,无疑应首先表现在其是否能成功地运用提问方法这种主观手段,有效地觉察和提出有价值的科学问题。由于科学发现从一开始,也就是

从提出科学问题开始起,就已经表现为理论的雏形和萌芽,因此“提出问题,表述问题是一件极其困难而严肃的事情”^①。李政道认为对于科学家来说,最重要的是会不会自己提出正确的问题,这是很重要的一步。这一步走得好不好,势必影响科学探索的效率和科学发现的周期。

法国著名物理学家 L·德布罗意说过:“我们任何时候都不应忘记(科学史证明了这一点),我们认识的每一个成就提出的问题,比解决问题还要多,在认识的领域中,新发现的每一片大地都可使我们推测到,还存在着我们尚未知晓的无边无际的大陆”。^②我们的科学知识随着科学问题的产生和解决将不断增加,知识的岛屿在无知的海洋中越是扩张,它与未知世界的接触面也越大。正如爱因斯坦所说,在科学发展史上,没有一个已经完全解决的问题,也没有一个永远不变的问题。从某种意义上来说,科学发展史也就是科学问题不断产生和解决的历史。当物理学家们发现 $W^\pm$ 粒子和 Z^0 粒子后,人们沉浸在弱电统一理论得到完全确认的喜悦之中。但是,他们不得不正视这样的事实:已得到的 16 个 Z^0 粒子事例中,有 3 个事例的衰变模式出现“反常”。它们的衰变模式不是 $Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$ 和 $Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ 的过程,而是 $Z^0 \rightarrow \gamma + e^+ + e^-$ 和 $Z^0 \rightarrow \gamma + \mu^+ + \mu^-$ 的过程。按照格拉肖—温伯格—萨拉姆理论,上述“反常”事例出现的概率为 0.5%,而实验观察却是 20%,即大了 40 倍!这就隐含着一系列的科学问题:这种“反常”现象是实验上偶然出现的统计涨落?还是提示弱电统一模型要作重要修改?或者是基本粒子物理学将进入更为深入的层次?物理学家们的科学发现又从科学问题开始了。科学发现始于科学问题又复归于新的科学问题,反复以至无穷。这就需要我们遵循科学发现活动的规律,正确认识提问方法在科学方法论体系中的地位及其在科学发现中的作用,适时准确地运用提问方法,建立起提出问题、分析问题和解决问题的良性循环。

注释:

①⑩ W·海森堡:《严密自然科学基础近年来的变化》,上海译文出版社,1978年,第149页,第20页。

② A·爱因斯坦等:《物理学的进化》,上海科学技术出版社,1962年,第66页。

③⑫ N·K·Jain: Science and Scientists in India, Indian Book Gallery, 1982. P77. P75.

④ 《毛泽东选集》(合订本),人民出版社,1969年,第796页。

⑤ M·E·韦克恩:《化学元素的发现》,商务印书馆,1965年,第401页。

⑥ H·Kamgro: Early History of Planck's Radiation Law, Taylor & Francis LTD. 1976. PI.

⑦ 《爱因斯坦文集》(第一卷),商务印书馆,1977年,第490页。

⑧ C·N·Yang, Science, 127, 567 (1958).

⑨ T. D. Lee, and C. N. Yang. Phys. Rev. 104, 254 (1956).

⑪ 李光: $\theta \rightarrow \tau$ 疑难的揭晓及其科学方法论启示,《社会科学》(上海),1986年第6期。

⑬⑭ 《维纳著作选》,上海译文出版社,1978年,第175页,第113页。

⑮⑯ W·海森堡:《物理学与哲学》,商务印书馆,1981年,第6~7页。

⑰⑱⑲ $\pi \rightarrow B$ ·柯普宁:《作为认识论和逻辑的辩证法》,华东师范大学出版社,1985年,第206页。

⑳ 李光、杨敏才: DDT 杀虫剂兴衰的启示,《科学·经济·社会》,1985年1期。

㉑ W·I·B·贝弗里奇:《科学研究的艺术》,科学出版社,1979年,第66页。

㉒ F·赫尔内克等:《原子时代的先驱者》,科学技术文献出版社,1981年,第288页。