

相对论的先驱——马赫

杨永超

侯新杰

爱因斯坦创立的广义相对论是现代物理学的重要基石,是20世纪自然科学的伟大发现,对物理学、天文学乃至哲学都有着深远影响。爱因斯坦是如何创立相对论的?他曾受到哪位物理学家思想的启发?要回答这个问题,我们就不得不提到著名的物理学家和哲学家恩斯特·马赫(Ernst Mach)。

马赫是著名的物理学家、哲学家、生物学家和心理学家,1838年2月18日出生于奥地利摩拉维亚地区布尔诺附近的切尔利斯·图拉斯,自幼受到良好教育,在维也纳大学学习5年后,于1860年以放电和感应的论文获得博士学位。他精通拉丁文、希腊文、法文、意大利文和英文。1864~1867年在格拉茨大学先后任数学教授和实验物理学教授,1867~1895年在布拉格大学任实验物理学教授,曾经两度被选为校长。1901年退休后,在家继续从事科学著述。1916年2月19日在德国特斯特逝世。

马赫作为唯心主义哲学家而广为人知,他是维也纳学派的先师和逻辑经验论的始祖,是经验批判主义的创始人,在哲学上颇有建树。然而,大多数人

可能并不知道他曾对经典物理学理论进行过深刻的批判,从而拉开了20世纪物理学革命的序幕,他的思想直接或间接影响了很多物理学家,比如玻尔、海森堡等哥本哈根学派的一些主要成员。受马赫思想影响最大的当属爱因斯坦,马赫对牛顿的绝对时间、绝对空间的批判及对惯性的理解,他那坚不可摧的对经典力学的怀疑态度,以及对经典力学基础的深刻洞察无一不给爱因斯坦以激励和启迪。

马赫一生主要致力于实验物理学和哲学的研究。他在声学、电学、空气动力学、光学、热力学等物理学的各个领域成就斐然,一生共发表了100多篇关于力学、声学和光学的研究论文及科学报告。有不少物理学术语以其姓氏命名,如空气动力学中广泛使用的马赫数、马赫波、马赫角等。他研究了物体在气体中的高速运动,发现了激波,确定以物速与声速的比值(即马赫数)来描述物体的超音速运动。他还首先用仪器演示了声学多普勒效应,并提出 n 维原子理论等。马赫在视觉、听觉和运动感觉方面的研究也卓有建树,发现了以他姓氏命名的“马赫带”。

和 $83.05 \pm 7.05 \text{ GeV}$,这与温伯格、萨拉姆的预言值极其符合。同年5月4日,UA1实验组又发现了 Z^0 ,并测得其质量约为 100 GeV ,也与理论预言值符合得很好。中间玻色子 W^\pm 和 Z^0 的发现,成功验证了弱电统一理论。

启示

在弱电统一理论的建立过程中,费米的物理直觉主要表现在两个方面:一是在 β 衰变的费米理论中,他凭直觉指出:在 β 衰变中起作用的是矢量相互作用;二是在研究 μ 衰变和 μ 俘获的过程中,他凭直觉指出:“ μ 衰变、 μ 俘获和 β 衰变耦合常数之间的类似不是偶然的,而是有深刻意义的。”正是费米的物理直觉指引后来的物理学家确立了普适 $V-A$ 费米相互作用,并最终导致弱电统一理论的建立。

那么,究竟什么是直觉呢?历史上有许多学者曾给出过不同的定义。目前,许多科学家把直觉看作是从事到理论、从旧理论到新理论转变的一种思维工具,而这种思维工具是非逻辑的。广义地说,

直觉是包括直接的认识、情感和意志活动在内的一种心理现象;狭义地说,直觉是人类一种基本的思维方式,包括直觉的判别、想象和启发,是非逻辑或超逻辑的。直觉来源于知识的积累和日常的实践,直觉是在实践经验基础上依赖高级思维活动而形成的对客观事物的一种比较迅速的、直接的综合判断。我们在了解费米的学术生涯后会发现,他的物理基础非常扎实,不仅在理论物理方面有很高的造诣,而且也是一个杰出的实验物理学家,他领导建立了世界上第一个核反应堆,被誉为物理学史上最后一位既是理论物理学家又是实验物理学家的科学家。

费米的物理直觉给我们的启示是,只有具有渊博的科学知识和丰富的实践经验,才能在科学研究过程中做出正确的预见。

(国家自然科学基金资助项目,批准号10575028;杨建辉,江苏省南京市晓庄学院物理系210017;厉光烈,北京市中国科学院高能物理研究所100049)

马赫作为“相对论的先驱”，首先要从他的一部重要著作说起，这就是他于 1883 年出版的《力学及其发展的历史批判概论》，这本书在当时影响很大，该书用德文总共出了 9 版，并被陆续译为英文、法文、意大利文和俄文，后来又出现了日文等译本，几乎传遍了全世界。马赫在书中详细介绍了经典力学的基本观点，高度评价了牛顿对经典力学做出的巨大贡献，同时突破传统观念的束缚，对经典力学进行了深刻批判，指出经典力学理论框架的局限性。可以说，马赫在《力学及其发展的历史批判概论》中对经典力学的批判是物理学革命行将到来的先声。

下面我们介绍一下他在《力学及其发展的历史批判概论》一书中对牛顿的绝对时间观、绝对空间观及对惯性概念的批判，因为这些批判对爱因斯坦广义相对论的建立有着深刻影响，并且成为爱因斯坦写出引力场方程的依据。

牛顿在其巨著《自然哲学的数学原理》中，提出绝对时间和绝对空间的概念，并用著名的旋转水桶实验论证绝对空间的存在。马赫则设想：“如果桶壁愈来愈厚、愈来愈重，最后达到好几千米厚时，那时就没有人说出这个实验会得出什么结果”，从而成功反驳了牛顿的旋转水桶实验。马赫否认绝对空间的存在，认为一切运动都是相对的，“我们不应该忘记世界上的一切事物都是互相联系、互相依赖的，并且我们本身和我们所有的思想也是世界的一部分”。

马赫对牛顿的绝对时间观也进行了批判，认为绝对时间是不能独立存在的，世界上所有的东西都是相互联系和相互依存的。不存在什么绝对的时间，凡时间都是与事物的运动变化相关的，一种与运动变化无关的时间是没有什么正当理由的。这种绝对时间“可以不与运动相比较而度量出来”，认为“时间是一种抽象”，绝对时间“既无实践价值，也无科学价值，是一种无用的、行而上学的概念”。

以牛顿为代表的经典物理学家们认为，惯性是物体的固有属性。马赫反对这种看法，认为一切运动都是相对的，同绝对空间相联系的惯性系、惯性质量、惯性力等，本身也是相对的。在一个孤立空间里，物体是没有惯性的，谈论孤立物体的惯性也是毫无意义的。他断言：“把惯性看作是自明的，或者企图从‘因果持续’这个一般原则推出惯性，无论如何是完全错误的”。他认为惯性来源于宇宙间物质的相互作用，应当把它看作物体与宇宙之间动力联系

所规定的本质。马赫关于惯性的论述给爱因斯坦以很大启发，后来爱因斯坦在《关于广义相对论的原理》一书中，把马赫关于惯性的思想称为“马赫原理”，并且认为马赫原理已经具备了相对论的雏形，马赫“已清楚地看出了古典力学的薄弱方面，离提出相对论已经不远了，而这几乎是一个世纪之前的事情”，并认为“倘若马赫还是在精力充沛的青年时代，光速不变这个重要性问题已经激动了很多物理学家，那么马赫也许会发现相对论，这不是不可能的”。

19 世纪末~ 20 世纪初，马赫对经典力学的批判及他在《力学及其发展的历史批判概论》中所表达的科学思想，对当时的物理学家产生了深远影响。马赫的理论解放思想，启迪人们去重新审视经典物理学理论，为物理学新发现和新理论的提出创造了一种必不可少的自由气氛，并导致了对经典物理学的科学与哲学基础的热烈讨论。爱因斯坦认为：“马赫曾以其历史的批判的著作，对我们这一代自然科学家产生了巨大的影响。我甚至相信，那些自命为马赫反对派的人，可以说不知道他们曾经如同吮吸他们母亲的乳汁那样吸取了马赫的多少思考方式”。马赫思想对当时物理学家的影响，由此可见一斑。

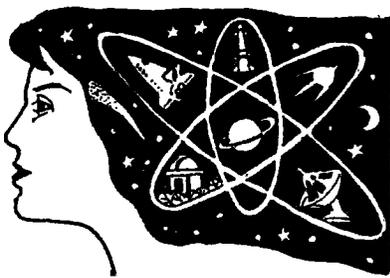
按照爱因斯坦的说法，马赫在《力学及其发展的历史批判概论》中对经典力学的批判及提出的新见解，对其建立相对论产生了深远影响。爱因斯坦于 1907 年首次提出等效原理，同时把狭义相对论的思想做了初步推广，由于这一理论同传统观念差别太大，不好理解，人们拒绝接受这一理论。爱因斯坦借用马赫关于惯性相对性的观点，论证自己的引力理论同马赫原理的一致性。例如他在 1913 年和格罗斯曼合作的文章中及在维也纳所做的报告中，都极力强调“广义相对论符合马赫的大胆的思想”，企图用马赫原理论证自己新理论的正确性。

爱因斯坦在创立引力论后，为了使该理论得到更多人的理解和支持，必须给新理论找到一个令人信服的理论基础，这时，爱因斯坦又一次想到了马赫原理，认为“这个理论，今天在我看来，依据三个绝非互不相干的基本观点，这三个基本观点就是相对性原理、等效原理和马赫原理”，可见，爱因斯坦已经把马赫原理作为其新引力理论的基本原理之一了。

爱因斯坦曾多次指出：“马赫为相对论的发展铺平了道路”，并公开承认他继承了马赫的工作：“是恩斯特·马赫，在他的《力学及其发展的历史批判概论》

漫谈物理中的类比思维

孙枝莲



一、类比思维的概念及心理机制

类比思维是根据两个(或两类)对象在某些属性上相似而推出其在另一些属性上也可能相似的一种思维形式。其具体过程是:通过对两个不同的对象进行比较,找出其相似点,然后以此为依据,把其中某一对象的有关知识或结论推移到另一对象中去。由此可见,运用类比思维有三个要素:一是要有本象(即类比思维中包含有待进一步认识的对象);二是类象(进行类比的对象);三是本象与类象之间具有某些相似点。有了这三个基本要素后,再将类象具有而本象是否具有未知属性或关系作为思维的出发点进行思考,对相似关系进一步引申或重新构造,最后推出本象也可能具有类似的属性或关系。类比思维是一种创造性的思维形式,其过程是抽象思维、形象思维和直觉思维的辩证统一过程。因此,研究类比思维对于全面训练学生的思维能力、培养学生的创造力具有重要意义。

二、类比思维在物理学史上的成功应用

物理学家最常用的一种思维方法就是类比法。正如康德所说:“每当理智缺乏可靠论证的思路时,类比这个方法往往能指引我们前进。”历史上的很多重大物理学发现、发明发端于类比,归纳起来大致有三个方面:一是运用类比提出科学假说。类比思维是借助两个事物之间的相似性,通过比较,将一种已经掌握的特殊对象的知识推移到另一种新的特殊对象上去。这说明类比方法既借助已有知识,又超越其框架,使两个看似不相干的事物联系起来,进而产生新的信息、提出新的假说。例如,托马斯·杨提出的

光的波动说,是将光现象与声波、水波进行类比提出的;狄拉克著名的“正电子”假说,是根据物质的对称关系提出的;卢瑟福原子结构的“太阳系模型”假说,是将原子与太阳系类比提出的。二是运用类比方法阐述和证明假说。在科学发展史上,由类

比方法得出的结论,可以作为科学家证明事实或规律的证据。如伽利略宣传哥白尼的日心说时,将自己发现的“木星-卫星”系统做类比,证明各种行星围绕太阳运转的可能性;奥地利物理学家薛定谔将类比法和数学方法相结合,从哈密顿的分析力学中悟出经典力学与几何光学类似的思想,由此推导出薛定谔方程,创立了波动力学。三是运用类比法直接得出定律或规律,如库仑定律的确立。在库仑定律确立之前,人们已经发现带电金属空腔对腔内电荷无作用力,有人将这一现象与质量均匀分布的球壳对壳内质点无作用力这一现象类比,猜测电力与万有引力相似,与距离的平方成反比。正是基于这一猜测,卡文迪许、麦克斯韦建立了精确检验电场力与距离平方成反比的理论,并设计了相应的实验进行测量。他们的方法一直沿用至今,使表述电场力与距离平方成反比的库仑定律成为当今最精确的实验定律之一。

三、类比思维在物理教学中的应用

类比法,虽然是一种非逻辑思维方法,但却是最富有创造性的。通过类比,无论异同,都可以借助已知的熟悉对象达到对未知生疏对象的某种理解和启发,起到由此及彼、触类旁通的作用。类比虽然不是逻辑论证,但可为新内容的阐述提供依托和支持,对

中冲去了这种教条式的信念,当我还是一个学生的时候,这本书正是在这方面对我产生了深刻的影响”。他认为“广义相对论的思想的整个方向是同马赫的思想一致的”,因此称马赫为“相对论的先驱”。

马赫不迷信权威,以惊人的勇气冲破旧有观念的束缚,以睿智的目光审视经典理论,以大无畏的气魄对经典理论发起了攻击。他的独到见解和深邃思

维,启迪后来者重新审视物理学的旧有基础,从而拉开了近代物理学革命的序幕,其批判性思想是对物理学革命性变革的重要启蒙和推动。爱因斯坦指出:“马赫的真正伟大,在于他的坚不可摧的怀疑态度和独立性”。这正是对马赫的最好评价。

(新乡市河南师范大学物理与信息工程学院 453000)