

谈高中狭义相对论教学的三大关系

黄 晓 胡炳元

早在 1985 年查有梁先生就提出:对于相对论的基本原理只要在教学内容和方法上有所突破,正如牛顿力学一样,也可能较系统地教懂中学生。时代的发展与科学的进步使中学物理教育中逐渐关注了包含相对论在内的现代物理学内容。物理新课程标准中就相对论教学提出了相关要求:初步了解经典时空观与相对论的时空观,知道相对论对人类认识世界的影响。基于新课标的各套教材中也将相对论等同于其他现代物理知识内容编写入其中。内容上的突破同时要求方法上的革新,因而需要多层面的开展相对论的教学研究。赞可夫曾指出:如果我们对于教师要掌握教育学和心理学知识这一点估计不足,那也是错误的。有了这方面的知识,教师才有可能把教材变成学生的真正财富。教学中要根据学生的智力发展水平来考虑教学内容的深度和广度。由于高中学生具有一定的抽象思维能力、形象思维能力和一定的直觉思维能力,能在呈现典型经验事实和体验的基础上获得对结论与内容的理解。因而相对论的教学,不应是作为新闻式的介绍与随意的解释与类比,而是能让学生通过了解相对论的科学发生过程、主要观点,让学生理解狭义相对论中的效应是由物体做高速运动时所产生的,而不是物质结构发生的变化,进而理解相对论蕴含的思想与方法论价值。本文不是详细地介绍某一具体的教学方法,而是在理解相对论相关内容的基础上,提出高中物理相对论教学过程中要处理好三大关系,即定量与定性,绝对性与相对性,基础与拓展。希望能够为高中物理相对论教学的研究起到一个抛砖引玉的作用。

一、定性与定量

物理学是一门高度量化的学科,自牛顿重要著作《自然哲学的数学原理》中显现量化以来,麦克斯韦、爱因斯坦等物理学家的成就无不凸显了物理学与数学的关系,即用数学的语言定量地展现物理学内容。同时,物理学的发展,促使用以表述新的物理定律的数学形式体系也在发展。由三维矢量运算处理普通空间的物理学问题,发展到时间作为四维矢量运算引入,动量与能量也同时视为同一

四维体系的不同方面。然而,并非各种场合都要追求繁复的计算,有时定性方法更为有效。费曼在其回忆录中写道:“……我心中有了特殊的物理实例,这正是他企图分析的问题,我从直觉和经验知道这件事的性质。……因为我总不问数学方程,而是问他们想搞问题的物理实例,”赵凯华先生曾说:当一位成熟的物理学家进行探索性的科学研究时,常常从定性的或半定量的方法入手,这包括对称性的考虑和守恒量的利用、量纲分析、数量级估计、极限情形和特例的讨论、简化模型的选取,以至概念和方法的类比等等。他们通过定性的思考或半定量的试验,力求先对问题的性质、解的概貌取得一个总体地估计和理解。

基于高中学生内化的知识结构中还没有完全具备相应的数学工具,考虑高中物理课程标准对狭义相对论内容的定位,高中狭义相对论教学应更多地让学生形成定性认识与理解。使学生在面对问题而不知问题的来龙去脉时,不会总是用系统的理论工具去作详尽地定量计算,或利用现有的仪器埋头于细致的测量。而是能用定性的或半定量的方法理解问题的来源及其蕴含的物理含义。从教材的内容来看,高中物理虽然都涉及了狭义相对论中的重要结论:同时的相对性,时间与空间的相对性,甚至洛伦兹变换,但都只是以结论或公式的形式呈现,没有详细的数据推导与证明。如教学过程中可以只呈现洛伦兹变换的结论,而不需考虑其具体的推导过程,这为学生定性认识相对论提供了前提。

定性理解为学生选择性地学习提供了前提,有兴趣进一步学习的学生可以在定性了解相对论基本概念的基础上,半定量地认识狭义相对论的同时性、长度的相对性、时间间隔的相对性,甚至通过定量的表述速度叠加的定量公式、相对论质量与能量的关系式等,加深对该内容的理解。如在介绍迈克尔逊-莫雷实验时,详细给出光程差,即表示为光速乘以光垂直以太风方向的往返时间与光平行以太风方向传播的往返时间之差,从而得到可移动的条纹数。这同时可以促进学生对物理学各部分知识相互联系的认识。

二、相对性与绝对性

相对性思想使爱因斯坦找到了通向狭义相对论的两个楔子：否定以太绝对参照系和否定同时绝对性，他在深入思考了光行差实验与斐索实验后，觉察到以太不参与物体的运动，提出：绝对静止的概念，不仅在力学中，而且在电动力学中也不符合现象的特性。认为凡是对力学方程适用的一切坐标系，对于上述电动力学和光学的定律也一样适用。……我们要把这个猜想（它的内容后来就称之为‘相对性原理’）提升为公设。爱因斯坦进一步考察发现，作为反映电磁场变化规律的麦克斯韦方程既然适用于一切惯性参考系，就意味着在相互作用匀速运动的一切参考系中光速不变，但这又导致了与经典速度合成法则的矛盾，他通过对“同时性”概念的理解，发现了“同时性的相对性”。可见，在相对论的创立过程中，显现了“相对性”，它是相对论的中心问题，是一切结论的基础，因而在高中相对论教学中要紧扣“相对”，充分地展现相对论区别与牛顿力学的不同观念，让学生理解同时的相对性、时间的相对性与空间的相对性，把握相对论所体现的相对性思想。在教学过程中要让学生明确坐标系的选择，分清观察者与被测者的对象、主体与客体。对于时间相对性表述的定量式中，强调 $\Delta\tau$ 是位于相对于事件静止的坐标系上的观测者测得的时间， Δt 是位于相对于事件运动的坐标系上的观测者所测得的同一事件所经历的时间。对于空间相对性表述的定量式中，强调 l_0 是由位于相对于物体静止的坐标系上的观测者测量的物体长度，而 l 是由位于相对于物体运动的坐标系上的观测者测得的物体沿运动方向的长度。借以两把固定于相互运动的参考系中的相同尺子长度的观测（从两个参考系上观测）这一则与学生生活密切相关的例子，让学生理解物体的运动或静止同样是相对于观测者而言，谁作出判断就以谁为中心。

在相对论将经典力学中的绝对时间和绝对空间降为相对的同时，将另一些概念由相对升级为绝对，只有了解这些“绝对”，才能更全面而深入地理解相对论中的“相对”。正如牛顿的经典力学是以绝对时间和绝对空间作为其理论的出发点，狭义相对论则是以光速不变和狭义相对性原理为出发点。光速不变原理是狭义相对论两个基本原理之一，其绝对性很明显。在所有惯性系中，真空中的光沿各个方向

传播的速率都相等，与光源和观察者的运动状态无关，这是一个绝对速率。这结论也可称为光速的绝对性原理。狭义相对性原理指明物理规律在所有惯性系中具有相同的形式，这既包含着不同惯性系中对某些物理量的测量是相对的，而且说明物理规律的不变性具有绝对意义。狭义相对论中长度测量、时间测量、质量测量都具有相对性，即测量的长度、时间与质量都与参照系的运动有关，但其本征量都是绝对的，是与参照系的运动无关。此外，在相对论中单独的空间间隔与单独的时间间隔是相对的，但闵可夫斯基空间的两点之间的时空间隔是一个与惯性系选择无关的不变量。相对论中的动量与能量都是相对的，但他们的组合量即 $E^2 - p^2 c^2$ 是绝对的。此外，狭义相对论只是相对时空结构理论，只是证明了时间与空间是相对的，只是证明了时空的相对性结构保证了一切自然界定律对运动的不变性与对称性，并没有否定自然界定律的不变性与绝对性。可见，相对论体现了相对性与绝对性的统一。

基于学生对相对论中相对性概念的认识与理解，基于新课程中所强调的内容的现代性与选择性，对于有兴趣进一步理解的学生，应让他们认识到相对论中有比牛顿的经典力学更多的具有绝对意义的内容。正如量子物理的奠基人普朗克所说：相对本身就必须以存在绝对为前提，而相对只是在有某种绝对与之对立的时候才有意义。……有相对的原理中就有某种绝对的东西。特别引入的课题正是去寻找那个赋予它真正意义的相对中的绝对的东西。

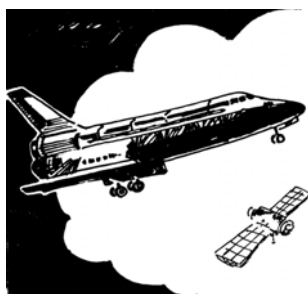
三、基础与拓展

相对论教学中要处理的基础与拓展主要体现在教学内容层面。尽管相对论是作为现代物理学知识引入的，但在相应的教学具有需要学生掌握的基础内容——体现为各套高中物理新教材相关内容的表述中——都介绍了迈克尔逊-莫雷实验历史原因及实验过程。从狭义相对论的两条公设出发，把伽利略相对性原理推广为适用于一般物理规律的相对性原理及符合相对性原理的洛伦兹变换，进而呈现狭义相对论的重要结论：同时的相对性、时间与空间的相对性，时间延缓与长度收缩等。

基于新课程标准在课程基本理念上强调在课程内容上体现时代性、基础性、选择性，强调加强与学生生活、现代社会及科技发展的联系，反映当代科学技术发展的重要成果和新的科学思想，关注物

影响和限制航天器发射窗口的主要因素

董书生



神舟七号载人航天飞船已于 2008 年 9 月 25 日晚上 9 时 10 分成功发射。

神舟五号、六号飞船的发射，经过各方面综合考虑，都选择在 10 月份。有关航天专家认为 9 月和 10 月均有较适合的发射窗口，但“神七”执行太空行走任务，9 月底升空时的太阳夹角更适合航天员出舱活动。这是“神七”选择 9 月 25 日晚上 9 时 10 分左右作为最合适发射窗口的重要原因之一。

那么，什么是航天器的发射窗口呢？航天器的发射窗口是指运载器(包括运载火箭和航天飞机)发射比较合适的一个时间范围(即允许运载器发射的时间范围)。它是根据天体运行轨道条件、航天器的轨道要求、航天器的工作条件要求和地面跟踪测控通信、气象要求等，建立一个数学模型、输入相关

数据，再经过精心计算推导出来的，因此比较复杂。窗口宽度有宽有窄，宽的以小时计，甚至以天计算，窄的只有几十秒钟，甚至为零。

由于每个航天器承担的任务不同，航天器上安装的仪器、设备使用要求不同，它们对发射窗口提出了种种要求和限制条件，而这些要求有时又互相矛盾，因此选择什么时间发射就必须考虑各方面的要求，经综合平衡后选择一个比较合适的发射窗口。影响和限制发射窗口的主要因素有：

地面观察的要求

在进行运载器发射试验时，一般都选在傍晚或黎明前来发射。因为这时太阳处在地平线附近，发射场区及运载器飞行路过地区的天空比较暗淡，而运载器点火升空到一定高度后就能受到阳光照射，使反射阳光的箭体与背景天空形成较大的反差，从而使地面的光学跟踪测量仪器可以清晰地跟踪测量



理学的技术应用所带来的社会问题，培养学生的社会参与意识和对社会负责的态度。在教学实施建议中也强调使物理贴近学生生活、联系社会实际。相对论教学中要关注的拓展表现为物理学贴近学生的生活，联系社会——它们可以是现代技术，可以是一般工业技术，也可以是生活实际、自然现象或人体生理现象等。如可以借助于生活例子引入相对论——海军卫星系统(NAVSTAR)的导航卫星系统可以把地球上任何地方的位置和速率分别确定到约 16m 和 2cm/s 以内。但若不考虑相对论效应，速率不可能确定得比 20cm/s 更准确。像导航这种实际的事情怎么会涉及像爱因斯坦的狭义相对论这种抽象的东西？在提及相对论基本假设之一即光速假设时，说明对于加速电子的速率存在极限已在 1964 年为 W·贝托齐的实验所证实，进而提出实验中已用高速运动的 π 介子验证。对于时间延缓，结合了许多实验证实：微观时钟(运动 μ 子的寿命与静止时的寿命)和宏观时钟证实爱因斯坦时钟延缓理论的预言在 10% 以内。在介绍光的多普勒效应时，将其与生活中的具体例子相关联——将光的多普勒效应

与生活中的警用雷达装置测车速相联系，用横向往多普勒效应解释为何现实生活中常使雷达束直接沿着车的路径传播，目的在于通过多普勒效应测定车的实际速度。此外，还表现为向科学史的拓展——借助于科学史，让学生理解科学发生过程，理解其中体现的科学思想与方法。

当然，除了内容方面的拓展外，还涉及教学的呈现方式上的拓展，表现为文字向图形的拓展，以图片辅助正文讲解，帮助学生建立直观图像。它们可以是“物理现象图”、“物理问题图”、“物理故事图”、“实验原理图”等。如相对论导入之时，以“双生子佯谬”的图像展开说明，提出与“时间延缓”相关的问题，介绍寻找“以太”的迈克尔逊实验时，展示迈克尔逊干涉仪和光路示意图，使学生能明晰地理解实验过程与得到的结果分析。在介绍同时的相对性等相关理想实验时，配有与学生生活相关的图片，以唤醒学生无意注意中积累的感性认识，激发探求原因、问题本质的探索。

(浙江师范大学教师教育学院 浙江 金华 321004)