



# 批判性科学思维在狭义相对论 时空观问题中的应用两例\*

林辉 张本健 景佳 唐琼 李国祥

(合肥工业大学电子科学与应用物理学院物理系 安徽合肥 230009)

(收稿日期:2017-09-08)

**摘要:**批判性思维是创新型人才培养的前提,对问题的标准答案不是简单地接受和盲从,而是更深层次地解读、分析、评价、推理,才可获得更好的学习效果.通过采用批判性科学思维,分析了两个相对论时空观典型例题,通过正向与逆向思维对比,启发式与探究式讲解相结合,以及代入具体数据分析客观现实性,启发学生多角度考虑抽象的时空观问题.

**关键词:**批判性思维 相对论时空观 多角度思考

## 1 引言

教育部2010年颁布了高等学校物理学与应用物理学本科指导性专业规范<sup>[1]</sup>,提出了培养学生“具有创造性思维能力、独立思考及批判性思维能力”的要求.“我疑故我知、我思故我在”,使学生会更富于批判性地思考周围的科学世界,从简单被动地接受知识,到探究性地学习,进而掌握学习新知识的要领,并将科学思维之方法应用于将来的学习和工作之中<sup>[2]</sup>.

批判性思维不是简单的挑错、反驳、甚至叛逆,而是解读、分析、评价、推理<sup>[2,3]</sup>.批判性思维是智力的训练过程,它意味着坚持不懈地聚焦于某个重要问题,客观地遵循引导走向正确答案的理由和证据.

爱因斯坦狭义相对论基于“光速不变原理”,建立起同时的相对性、长度收缩、时间膨胀等相对论时空观,认为时间、空间的判断是根据观测者运动状态的不同而不同的<sup>[4]</sup>.这些抽象的理论本身对于初学者来说就比较晦涩难懂,而用到具体的实例更容易

使学生产生困惑,常常是正向考虑还觉得有道理,反过来思考就出问题了.难理解、难计算是学生学后若干年还留存的记忆.

有专家建议在大学物理教学中适当引入批判性思维训练,这包括生动的事例、问题的探究、结果的分析、选判题的设计<sup>[3]</sup>.本文以两例让学生容易迷惑的狭义相对论时空观问题,采取将知识融于问题中,通过逆向思维分析,启发式与探究式讲解相结合,提升学生对相对论时空观的理解能力.

## 2 教学实例

### 2.1 关于光速不变原理问题

爱因斯坦狭义相对论建立的两块基石(基本假设)之一“光速不变原理”:光在真空中的速度与发射体的运动状态无关<sup>[4]</sup>.即不管光源有无运动,光在真空中的传播速度都是 $c$ .这对于具有传统“顺水行舟则快,逆水行舟则慢”固化图像观念的初学者(新大学生)来讲,“顺水、逆水速度一样”的观点则难以想象.课堂上教师常常举例投球实验启发学生思考

\* 校定平台通识教育必修课程优化建设项目,编号:KCWT1606;中央高校基本科研业务费.

作者简介:林辉(1973- ),女,博士,副教授,主要从事物理教学与研究,科研方向为医学物理、计算物理方法研究.

(图 1).

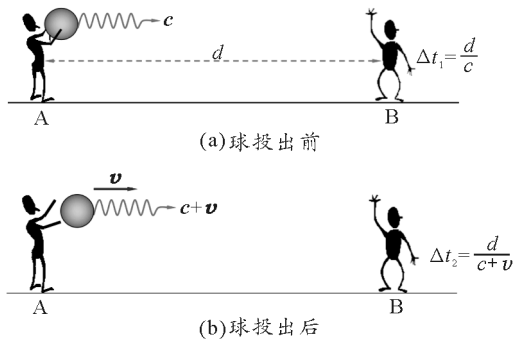


图 1 投球实验

如图 1 所示, 设球投出前有一束光线 1 从投球者 A 所举静球球面发出, 经过  $d$  距离后传播到观察者 B 的眼中, 则历时  $\Delta t_1 = \frac{d}{c}$ ; 而投球者 A 将球投出后, 又有一束光线 2 从动球球面发出, 设球水平方向运动的速度为  $v$ , 若按照经典力学理论速度为  $c+v$ , 则历时  $\Delta t_2 = \frac{d}{c+v}$  后光线 2 到达观察者 B. 由于  $\Delta t_1 > \Delta t_2$ , 这样观察者 B 得到结论: 先看到投出后的球, 后看到投出前的球. 而这与事件发生的先后秩序是矛盾的! 因此反证法得到结论: 光相对于动球速度仍然是  $c$ .

这个例子结果对于初学者刚一听觉得是很有道理的, 但是仔细分析后也存在矛盾!

在这个例子中, 爱因斯坦是把静球和动球“发出”光信号, 以及观察者 B“接收”光信号, 作为两个独立的事件, 推导出了较为直观的矛盾结论. 然而若把光信号传播作为一个过程分析会怎样呢?

如若假设地面为  $S$  系, 而  $S'$  系与动球捆绑在一起. 则  $S$  系中静球到观测者 B 之间的距离  $d$  应为固有长度, 而对于  $S'$  中的观察者来说, 这个距离符合长度收缩后为  $\frac{d}{\gamma}$ . 这样若  $S$  系和  $S'$  系中看到光速都为  $c$ , 则动球发出的光信号传播到测量者 B 眼中需要的时间  $\frac{d}{\gamma c}$ , 还是比静球发出的光信号传播到测量者 B 眼中所需要的时间  $\frac{d}{c}$  短, 这样仍然得到矛盾的结论!

那这个问题究竟出在哪里呢?

经过分析发现, 其实球静止和运动是两个不能同时并存的状态. 按照事件发展的先后次序, 应该是先静止, 然后经过一个时间差  $\Delta\tau$  后, 开始运动了. 因此, 这实际上是属于两个同地不同时发出的光信号事件, 则到达观测者先后秩序颠倒是有可能的!

设静球光信号 1 传输到观测者 B 的时间为

$$t_1 = \frac{d}{c}$$

动球光信号 2 传输到观测者 B 的时间为

$$t_2 = \frac{d}{\gamma c}$$

$$\text{令 } \Delta t = t_1 - t_2 = \frac{(\gamma - 1)d}{\gamma c} =$$

$$\left(1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right) \cdot \frac{d}{c}$$

则(1)若  $\Delta t > \Delta\tau$ , 则是先看到动球发出的光信号 2, 后看到静球发出的光信号 1;

(2)若  $\Delta t = \Delta\tau$ , 则是同时看到静球和动球发出的光信号 1 和 2;

(3)若  $\Delta t < \Delta\tau$ , 则是先看到静球发出的光信号 1, 后看到动球发出的光信号 2;

若假设动球的运动速度为  $0.6c$ ,  $d$  为  $1\ 000\ \text{m}$ , 则  $\Delta t = 6.67 \times 10^{-7}\ \text{s}$ , 因此这相当于观测者 B 接收信号的时间间隔  $\Delta\tau$  要能小到比  $\Delta t$  还小, 才能看到情况 1 的反常现象; 其实即使是看到反常情况 2 也是不大可能的; 所以情况 3 才是生活中常见的场景.

## 2.2 关于相对长度和同时性问题

在狭义相对论问题中, 批判性逆向思维常常也是讲解问题的技巧之一. 通常一个问题, 从正面向学生讲授很难让他们接受, 这时当话锋一转掉个思路, 就可让学生豁然开朗.

如图 2 所示, 火车以恒定速度通过隧道, 火车与隧道的静长相等. 从地面上观察, 当火车的前端 b 到达隧道的前端 B 的同时, 有一道闪电击中隧道的后端 A. 问这闪电能否在火车的后端 a 留下痕迹?

设地面为  $S$  参考系, 运动的火车为  $S'$  参考系. 则从地面  $S$  系出发, 很容易理解由于火车长度要缩短, 隧道 A 端的闪电不会在火车的 a 端留下痕迹.

然而要是从火车  $S'$  系来看会怎么样呢?

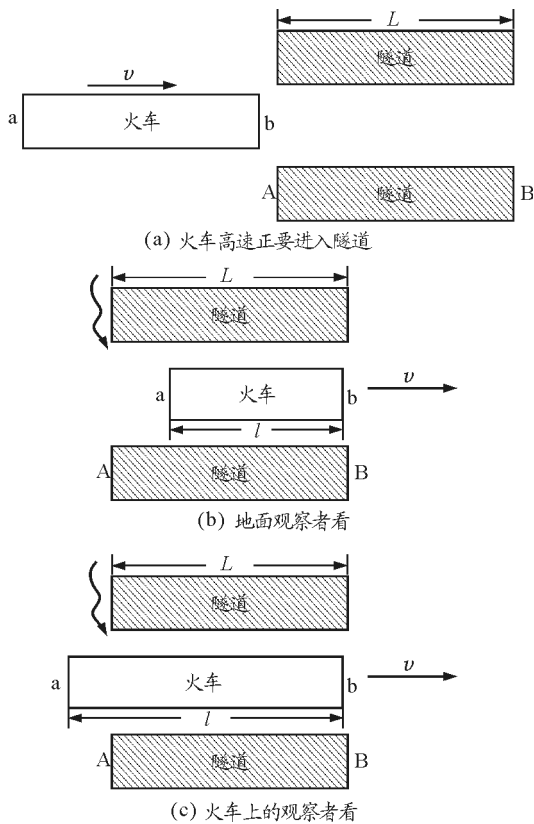


图2 火车、隧道实验

从火车上的观察者角度来看,隧道长度也会缩短而小于火车的固有长度,因此判断:击中隧道的后端 A 的闪电虽然不会击中火车的 a 端,但会击中火车车身。

而这个结论与前面基于地面  $S$  系判断得到的结论是相矛盾的!

经过进一步分析发现,在地面  $S$  参考系中,火车的前端 b 到达隧道的前端 B 这一事件 1 与闪电击中隧道的后端 A 这一事件 2 是“同时”发生的,因此对于地面  $S$  参考系中的观察者来看,这属于“同时不同地”的两个事件,而这对于火车  $S'$  参考系中的观察者来讲,是绝对不可能“同时”发生的<sup>[4]</sup>。

由于在火车参考系中看隧道缩短了,因此应该是火车头 b 先与隧道 B 相遇,而后 A 处发生闪电. 这两个事件的时间差为

$$\Delta t' = \gamma \left( \Delta t - \frac{v}{c^2} \Delta x \right) = \gamma \left( \frac{v}{c^2} L_0 \right)$$

在  $\Delta t'$  时间里移动的距离

$$\Delta s' = v \Delta t' = \frac{\left( \frac{v^2}{c^2} L_0 \right)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

当隧道 B 端与火车 b 端相遇时,火车露在隧道外面的长度  $\Delta L'$  为

$$\Delta L' = L_0 - L' = L_0 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right) = L_0 \left[ \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right]$$

因为  $\Delta L' < \Delta s'$ , 则当 A 端发生闪电时,火车的 a 端已进入隧道内,所以闪电仍不能击中火车. 这样就可以得到与地面参考系一致的结论。

在这个解法中要提醒学生:无论从正向,还是逆向分析,得到的结论要具有一致性! 否则就要逆向寻找问题之所在;此外,虽然从地面  $S$  系就可获得直观的结论,然而逆向思维反推问题,可帮助学生更加清晰地理解概念和理论。

在这个例子中也可以将低速与高速情况结合起来对比讨论,启发学生思考:什么情况下能让隧道 A 端的闪电正好击中火车的 a 端呢?

在火车系中,设  $\Delta L' = \Delta s'$ , 则推出

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1$$

这样当  $v \leq c$  (即  $v \leq 10^6$  m/s) 才成立;而其实此时  $\Delta L'$  和  $\Delta s'$  都近似等于零了. 这也就是牛顿力学所理解的宏观低速现象了!

### 3 结束语

爱因斯坦的狭义相对论是《大学物理》教学中的必修内容<sup>[4]</sup>,特别是相对论时空观抽象的概念和理论,对具有笃实牛顿力学和绝对时空观基础的新大学生来讲往往带来很多困惑,许多同学反映理论与应用之间有种断代、割裂的感觉,虽然死记硬背了光速不变原理、时间膨胀、长度收缩等公式、原理,但是碰到具体问题时就思维混乱、无从下手了。

(下转第 102 页)

节可以看出,美国学生的实验场所更加多样,教材也更加注重相关原理、规律在实际生活中的应用,而中国教材中的实验一般只限于在教室或实验室内完成。

### 3.3.5 其他

除了上述差异,相较于美国教材,中国教材更多地关注实验中图像的获得和数据的计算、处理。美国教材在呈现实验时更具创意,教材中的每一个实验都被赋予了名称,这在某种程度上能更多地吸引学生的注意。在实验目的规范化、实验过程活动化、实验方案微型化、实验内容人性化、实验评价行为化等方面,中国教材都还有待加强。

## 4 总结

教材是教师进行教学活动的主要依据,也是学生进行物理学习的重要工具。而通过本文的比较,发现与国外教材相比,中国教材中对实验内容的设置虽然有其自身的独特性和优点,但还是存在着较多的不足。编者在改进物理教材时需要向国外教材多加学习,不断地优化我国的物理教材,特别是实验部

(上接第90页)

本文通过采用批判性科学思维(即解读、分析、评价、推理<sup>[2,3]</sup>),分析了两个相对论时空观典型例题,通过正向与逆向思维对比,启发式与探究式讲解相结合,以及代入具体分析客观现实性,启发学生多角度考虑抽象的时空观问题。特别是基于结论的一致性,通过逆向思维反推找到问题之所在,是解决相对论时空观问题的法宝之一。这正如洛伦兹(荷兰,1853~1928)评价爱因斯坦独特的研究方法:“爱因斯坦把方法倒了过来,他不是从已知的方程组出发去证明协变性是存在的,而是把协变性应当存在这一点作为假设提出来,并且用它演绎出方程组

分内容的呈现,完善教材中的实验设计,充分展现实验教学在物理教学中的基础性地位。通过实验的独特魅力,让学生感受到物理学习的趣味性的同时,了解到物理本身的科学性。

### 参考文献

- 1 李雪莹,高嵩.人教版教材与美国《物理原理与问题》教材的比较研究——以“自由落体运动”一节为例.物理通报,2017(05):127~129
- 2 祁映宏.中美2套高中物理教材学生实验的比较与研究.物理实验,2006(11):24~27
- 3 陈娴,梁玲,梁寒冰.从改革后的新教材看美国中学物理实验教学的主要特点及发展趋势.课程·教材·教法,2007(04):92~96
- 4 李兰.中美高中物理教材实验部分设置的比较研究:[硕士学位论文].长沙:湖南师范大学,2013
- 5 戚静芳.中美高中物理教材中物理实验的比较研究:[硕士学位论文].武汉:华中师范大学,2013
- 6 孟芳,郑修林,刘春兰.人教版与沪科版两种高中物理教材比较浅析——以“万有引力与航天”的内容为例.硅谷,2009(22):155

应有的形式”<sup>[5]</sup>,所带给我们巧妙的解题启示。

### 参考文献

- 1 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会.高等学校物理学本科指导性专业规范.北京:高等教育出版社,2011.7~10
- 2 包景东.格物致理——批判性科学思维.北京:科学出版社,2014
- 3 包景东.在大学物理教学中引入批判性思维.大学物理,2015,34(7):1~5
- 4 程守洙,江之永.普通物理学.北京:高等教育出版社,2006
- 5 许良英,等.爱因斯坦文集.北京:商务印书馆,1977