

大学物理教材一道习题答案的讨论

陆逸州 朱西硕

(北京理工大学 100081)

相对论是大学物理学习中比较抽象的一个部分,无法正确的理解和运用洛伦兹变换、明确各个变量所在的时间与空间状态以及正确认识观察者的概念往往会导致思路混乱,从而在求解问题的过程中产生错误。

在学习此课程的过程中许多同学在来自文献 [1] P.166 中的一道相对论习题的解法上产生了疑问,其题目如下:

两个粒子 A, B 以 $0.6c$ 的相对速度互相接近,如果 A 所在参考系的观测者测得两粒子距离为时 $3 \times 10^8 \text{m}$, B 所在参考系的观察者测得两粒子还要经过多长时间碰撞?

与此类似的例题在许多教材中均有出现,在这些教材中的解法也大致相同。其解法大致可以理解为 B 粒子所在参考系下的两粒子间的距离为原长,而 A 粒子所在参考系中测得的粒子间的距离是运动长度。运用原长与运动长度之间的关系,求出 B 粒子所在参考系下的两粒子间的距离,进而可以用速度公式解出答案。

以下是此题在文献 [1] 的配套解析教材——文献 [2] 中给出的解答:

解 设 A, B 粒子所在的参考系分别为 S 系和 S' 系,系相对于系的运动速度为 $u=0.6c$ 。 S 系的观测者测得两粒子距离为 $3 \times 10^8 \text{m}$ 时, A, B 粒子的时空坐标设为 (x_1, t) 和 (x_2, t) , 按题意, $x_2 - x_1 = 3 \times 10^8 \text{m}$, 由洛伦兹坐标变换, 得此时 S' 系中两粒子的距离

$$\begin{aligned} x'_2 - x'_1 &= \frac{(x_2 - x_1) - u(t - t)}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{1 - 0.6^2}} \\ &= 3.75 \times 10^8 (\text{m}) \end{aligned}$$

所以 B 粒子所在的参考系 (S' 系) 的观察者测得两粒子在碰撞前所经历的时间为

$$\Delta t' = \frac{x'_2 - x'_1}{|u|} = \frac{3.75 \times 10^8}{0.6 \times 3 \times 10^8} = 2.08 (\text{s})$$

这种解法只考虑到了在转换参考系时空间位置的

变换而忽视了其所带来的时间上的改变, 因为通过洛伦兹变换得到的 S' 参考系下 A, B 两点的位置坐标 x'_1, x'_2 不是在同一时间点上的坐标, 这就意味着这两个坐标已经失去了作为测量两点之间位置关系的能力, 上面的计算也就失去了意义。

不仅上述的是这种做法, 下面还有一种容易被人所接受但是实际上存在错误的解题方式:

解 由于题目中未涉及第三者的存在, 故可认为两者在时间上是“对称”的, 不论以 A 粒子为参考系还是以 B 粒子为参考系, 从测量到碰撞所经过的时间必然是相等的。

所以 B 粒子所在参考系测得两粒子在碰撞前所经历的时间为

$$\Delta t' = \Delta t = \frac{x_2 - x_1}{|u|} = \frac{3 \times 10^8}{0.6 \times 3 \times 10^8} = 1.67 (\text{s})$$

这种方法可以认为是 B 粒子所在参考系的观察者事先就知道 A 粒子所在参考系的观察者在进行测量, 于是 B 处的观察者也在进行测量。当 A 测得规定的长度时, 固然 B 也测得此长度。但是, 从题目看来, 是 A 测量完成后 B 才知道的, 因此这种做法也是不正确的。

可以总结出设计相对论习题时应避免的一个错误:

在相对论中, 如果在两个不同的参考系下分别测量时间和空间量, 其中空间 (时间) 的测量是等时 (定位) 的, 并且空间 (时间) 测量会控制时间 (空间) 测量量, 那么必须要指明各个参考系发出信号的位置。

这类题目由于符合我们的习惯性思维方式, 因而很难发现题目的问题。因此在教学过程中, 因尽量少让学生接触这类题目。尤其是在学生刚刚接收到新的概念、还未完全梳理清楚知识脉络的时候。这样会使学生对自我的分析能力产生动摇心理, 并且对相对论心生畏惧。但是, 这道题目也是一很好的例子, 如果

能给学生逐步分析题目出现问题的原因，引导学生一步步的梳理好各个参考系下的时空关系，同样能达到加深同学们对相对论知识与概念的巩固和理解的目的。

以上是对文献[1]中一道题的答案的讨论，其中提出了一些看法。本文的目的是希望向有关的读者学习和商榷。

参考文献

- [1] 苟秉聪, 胡海云. 大学物理下册 (第2版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011. 166-167.
- [2] 苟秉聪, 胡海云. 大学物理学习指导与习题解答 (第2版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011. 179.

封面照片说明

北京时间 2016 年 8 月 16 日 1 时 40 分, 在我国酒泉卫星发射中心长征二号丁运载火箭成功将世界首颗量子科学实验卫星“墨子号”发射升空, 这标志着我国不论是在量子通信科研领域还是应用领域, 都处于世界的最前端, 是我国空间科学研究的重要事件, 其意义十分重大。

量子科学实验卫星质量约 640 千克, 轨道高度为 500 千米, 倾角 97.37° 设计寿命为 2 年。卫星包括 4 个有效载荷: 量子密钥通信机、量子纠缠发射机、量子纠缠源、量子试验控制与处理机。卫星平台有: 结构与机构分系统、热控分系统、电源分系统、测控分系统、姿控分系统、星务分系统、数传通信分系统。量子卫星将从太空向地面传输加密密钥, 同时揭示量子纠缠的科学现象。量子通信的安全性基于量子物理

的基本原理, 即单光子的不可分割性和量子的不可复制性, 从而保证了信息的不可窃听和不可破解, 从根本上永久性解决信息安全问题。

随着量子卫星升空和“京沪干线”的完工, 一个“天地一体化”的量子通信网络将初步形成, 未来量子通信的技术进步速度将提高。在量子存储和量子中继技术得以突破后, 将进一步延伸量子信道传输距离, 量子通信有望逐步商用化。量子通信产业将在量子通信光器件、量子通信基础建设和系统服务及信息安全应用领域得到蓬勃发展。这次发射引起了世界各国科学家和政府的高度关注, 人们对它后续的发展充满了无尽的期许。

(李之 / 供稿)

【小贴士】为什么叫“墨子号”？

墨子在两千多年前就发现了光线沿直线传播, 并设计了小孔成像实验, 奠定了光通信、量子通信的基础。“就像国外有伽利略卫星、开普勒望远镜一样, 以中国古代伟大科学先贤的名字来命名全球首颗量子卫星, 将提升我国的文化自信。”量子科学实验卫星首席科学家潘建伟院士这样阐释。

(李之 / 供稿)

