

物理建模能力培养的实践探索*

——从剑桥大学一道弹性碰撞测试题谈起

张红洋 马小虎

(陕西师范大学物理学与信息技术学院 陕西 西安 710062)

(收稿日期:2015-04-29)

摘要:以剑桥大学一道弹性碰撞测试题为例,分析、讨论了在大学物理教学中如何培养学生的物理建模能力等问题.

关键词:弹性碰撞 建模能力培养 物理模型

1 问题的引出

对教学活动有效性的追求是教育永恒的主题之一.建模是人类认知和科学探究的基础,是一种能够有效激发、支持和评估学习者概念转变的强有力的策略.物理教学活动中,对学生建模能力的重视和培养,将会为学生学习和教师教学提供新的动力和支持.建模可以帮助学生把自己的思维表达出来并外显化,使其隐性的思维过程可视化并得到检验,从而可使学生进行有意义的学习.

剑桥大学为了检验学生的学习质量和教学的有效性,曾设计了一套题目测试学生的物理建模能力,仅有30%的学生能够正确解答,结果很不理想^[1].笔者在教学实践中,曾用这些题目对陕西师范大学物理专业的3届大学三年级的学生进行测试,发现学生对这些问题难以正确地分析和解决,究其原因,这些题目均需要学生能从题目描述的物理情境中抽象并构建出合适的物理模型,而传统的物理教学则对学生的建模能力没有足够重视.

下面以剑桥大学一道物体碰撞的题目为例,做些讨论分析.

【题目】如图1所示,乒乓球和高尔夫球(乒乓球在高尔夫球上面)同时从距地1 m高的地方自由下落,请问乒乓球会弹起多高?

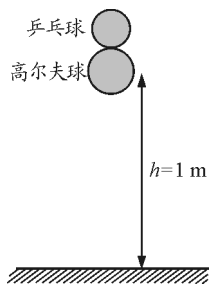


图 1

要解决这个问题,首先需要从真实的实际问题情境中构建出正确的物理模型.物理模型是人们为更好揭示事物本质和内在特性而建立起的一种简化模型.建模能力是物理学习的核心能力之一,也是学生解决实际问题的重要途径和方法^[2].

2 运用动量守恒定律和能量守恒定律求解

建模 1:将实际情境中的高尔夫球和乒乓球进行理想化建模,作为理想刚体,并根据其质量特点,认为高尔夫球的质量远远大于乒乓球.

建模 2:将其碰撞过程和作用过程(球与地面的

* 陕西省教育科学规划课题“基于课堂教学案例促进教师专业发展的研究”,项目编号:SGH13061;陕西师范大学基础教育课程中心“基于课堂视频案例促进教师专业发展研究”的研究成果,项目编号:JCJY201007

作者简介:张红洋(1973-),男,博士,副教授,硕士生导师,主要从事大学物理教育研究.

作用过程和高尔夫球与乒乓球的作用过程)建模为理想化碰撞过程,即其过程中动量和能量守恒.

设高尔夫球的质量为 M ,乒乓球的质量为 m .由于高尔夫球的质量远远大于乒乓球的质量,即 $M \gg m$,当高尔夫球与地面碰撞后(此碰撞过程较易理解,在此不做讨论)以大小不变的速度跳起时,两球以方向相反、大小相同的速度 v_0 做完全弹性的对心碰撞,如图2所示^[3].

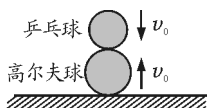


图2

设两球相互碰撞后高尔夫球的速度为 v_1 ,乒乓球的速度为 v_2 ,并规定竖直向上为正方向,如图3所示.

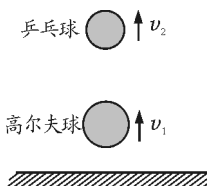


图3

由题意可得

$$Mv_0 - mv_0 = Mv_1 + mv_2 \quad (1)$$

$$\frac{1}{2}Mv_0^2 + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}Mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (2)$$

由式(1)和(2)联立求解得出

$$\begin{cases} v_1 = \frac{M-m}{M+m}v_0 + \frac{2m}{M+m}v_0 \\ v_2 = \frac{M-m}{M+m}v_0 + \frac{2M}{M+m}v_0 \end{cases}$$

又因为 $M \gg m$,容易得出碰撞后高尔夫球的速度 $v_1 = v_0$,而乒乓球的速度 $v_2 = 3v_0$,根据位移-速度公式

$$v_0^2 - 0 = 2ah \quad (3)$$

得乒乓球从高度 $h = 1 \text{ m}$ 落至地面时的速度为 v_0

$$v_0^2 = 2gh \quad (4)$$

根据动量能量守恒得,当乒乓球经弹性碰撞速度方向向上时,速度大小为 $3v_0$,根据式(3)得

$$(3v_0)^2 = 2gh_1 \quad (5)$$

由式(4)和式(5)得

$$h_1 = 9h \quad (6)$$

不难得出,乒乓球碰撞后弹起高度为 9 m .

这种解法的关键是构建动量与能量守恒模型.能量与动量都是物体运动量的量度方式.在研究小球碰撞问题时,该系统只在碰撞物体间内力的相互作用下,当一种运动转化为另一种运动形式时,一方面能量发生传递与转化,同时在另一方面也必伴随着动量的传递与转化,而且它们都遵循各自的守恒定律.因此当把问题转换为模型时,只需考虑守恒问题^[4].

3 运用弹性碰撞模型和参考系转换方法求解

这种解法的总体思路是:通过对物理碰撞过程的情景分析,构建多个物理碰撞模型,并灵活运用参考系变换方法,将抽象复杂的物理问题转换成简单具体的物理模型,从而实现不用复杂的数学公式和计算,高屋建瓴地解决问题,体现物理思想与方法的博大精深.

知识准备与模型构建 1:小球以速度 v_0 运动,如图4(a)所示,与墙碰撞后,该小球会以方向相反,大小与 v_0 相同的方式运动,如图4(b)所示.

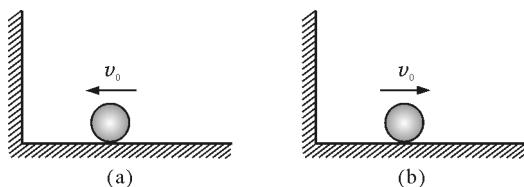
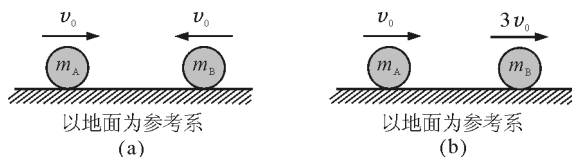


图4

知识准备与模型构建 2:若球A的质量 m_A 远远大于球B的质量 m_B ,小球A,B速度大小均为 v_0 ,相向而行.若以A为参考系(参考系转换),则B的速度为 $2v_0$,相撞后A的速度可视为不变(因为 m_A 远远大于 m_B),而球B则会以 $2v_0$ 的速度与初始运动方向相反的方向运动.再通过参考系转换将球A参考系转换为地面参考系,则可以得出球B的速度为 $3v_0$,如图5所示.



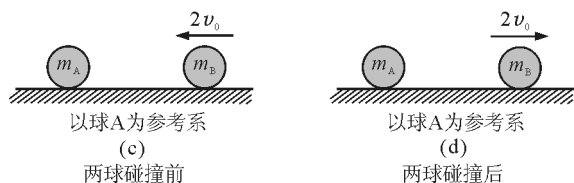


图 5

基于以上两方面的知识准备与模型构建,本问题的解决过程如下.

高尔夫球和乒乓球的弹性较强,故在本研究中,可以将其视为理想弹性物体,其每一次碰撞过程均被视为完全弹性碰撞过程,当乒乓球和高尔夫球从距地 1 m 处同时落下,到达地面时有相同的速度 v_0 ,如图 6 所示.

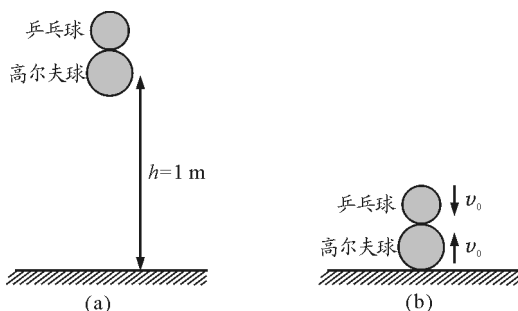


图 6

高尔夫球的质量远远大于乒乓球,高尔夫球击地后以与初速度大小相等,方向相反的速度向上弹回,故和知识准备与模型建构 2 相似. 高尔夫球相当于球 A,乒乓球则相当于球 B. 可得乒乓球在碰撞后的速度为 $3v_0$,如图 7 所示.

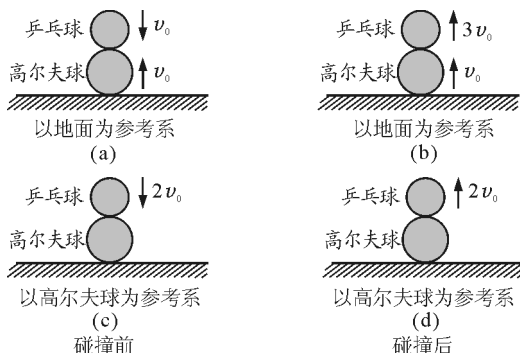


图 7

根据式(1)~(4)可得乒乓球弹起的高度是 9 m.

该解法的关键在于构建不同参考系下的物理模型,通过选好参考系,使解题思路更为简洁、清晰,使

解题过程更为简单、自然^[5]. 通过构建简化的运动模型,探究小球在不同参考系下的运动状态,掌握不同参考系之间的内在联系,实现参考系之间的数量变换,达到解决问题的目的.

4 小结

以上两种解法,解题方法虽存在差异,但正确构建物理模型则贯穿于问题解决的核心过程. 很多学生不能把题目中的对象和过程简化成理想的物理模型,仍然按常规逻辑思考,陷入如下误区,一是摩擦力做功可否忽略,二是两者质量关系不知道,用功能关系求解时有障碍,想用动量、能量方面的知识求解,却感觉无从下手. 这个问题并不是为了让学生认为高尔夫球的质量相对于乒乓球的质量来说是无穷大的. 一些学生在答题纸上写道:问题的答案取决于(它们的)重量. 有的学生认为两个球在下落之前是并排放置的(而不是一上一下). 由此可见,学生不能正确解答的重要原因在于不能通过题目中对物理情境的描述建立合适的物理模型.

因此建立正确、合理的物理模型,能透过现象识别和发现模型是解题的关键所在^[2]. 从这个题中可以看到,英国物理教育重在通过实验探究,利用形象、生动的模式,指导学生怎样去认识、分析、解决问题,通过总结、概括,进而提升到教会学生物理思想和物理方法的教育理念.

参考文献

- Sanjoy Mahajan, David MacKay. Physics Teaching. <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/teaching/survey>, 2014
- 陈淑萍. 教会学生用物理模型思考问题. 物理教师, 2012, 33(3)
- 曹磊, 谭树杰. 各国物理教学改革剖析. 上海: 上海教育出版社, 1996. 207 ~ 209
- 王光裕. 关于动量守恒与能量守恒问题. 南京工业大学学报(自然科学版), 1981, 36(5): 103 ~ 109
- 沈亮. 转换参考系巧解物理问题. 中学物理, 2013, 31(11): 88 ~ 89