



科里奥利力几种常见错误认识的解析*

邹越

(西南大学 物理科学与技术学院 重庆 400715)

王惠敏

(中国科学技术大学化学与材料科学学院 安徽 合肥 230026)

黄韵瑾

(西南大学 食品科学学院 重庆 400715)

郭庆 贾伟尧

(西南大学 物理科学与技术学院 重庆 400715)

(收稿日期:2015-08-17)

摘要:指出了转动参考系教学中有关科里奥利力的几个典型的错误认识,并对这些认识进行了详细解析和纠正,从而帮助广大师生更好地理解科里奥利力。

关键词:科里奥利力 偏转 错误认识

科里奥利力^[1]是质点相对于转动的参考系有相对速度时产生的惯性力。它既是高中物理主要的科普内容,也是高中物理竞赛的重要题材^[2],还是大学物理课程的重要内容^[1]。与加速平动参考系中的惯性力相比,由转动和相对运动的共同作用而产生的科里奥利力要复杂抽象得多,学生往往很难理解。尽管关于科里奥利力的分析和探讨很多^[3,4],但不少师生还是对此存在一些理解上的误区^[5]。针对这个问题,我们总结了3个典型的错误认识,并对这些问题进行了详细分析和纠正,希望能够帮助师生更好地理解科里奥利力。

1 沿纬线运动物体的地转偏向力是离心惯性力沿地表的一个分力

“‘地转偏向力’与‘科里奥利力’”一文中有关地转偏向力的探讨结论是:“只有沿经线运动物体的地转偏向力才是科里奥利力。而沿纬线运动物体的地转偏向力是离心惯性力沿地表的一个分力。”^[6]

1.1 科里奥利力

首先,我们以科里奥利力(以下简称科氏力)的物理分析过程为切入点来剖析其正确性。地球既有自转又有公转,所以是非惯性参考系。由于公转的角加速度很小,所以只需考虑自转的影响^[1]。相对于地球运动的物体的运动方程式为

$$m\mathbf{a}_{\text{相}} = \mathbf{F} + m\omega^2\mathbf{R} - 2m\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}_{\text{相}}^{[1]}$$

其中, m 为物体的质量; $\mathbf{a}_{\text{相}}$ 为物体相对地球的加速度; \mathbf{F} 为物体所受合外力; \mathbf{R} 为物体到转动轴的垂直距离; $m\omega^2\mathbf{R}$ 为惯性离心力; $\mathbf{v}_{\text{相}}$ 为物体相对地球的速度; $-2m\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}_{\text{相}}$ 为科氏力,用 \mathbf{f}_{K} 表示。

当 $\mathbf{v}_{\text{相}}$ 为零时,我们只需考虑惯性离心力的影响;而当物体 $\mathbf{v}_{\text{相}}$ 不为零时,还需考虑 \mathbf{f}_{K} 的效应^[6]。也就是说,相对地球运动的物体会受到惯性离心力和科氏力 \mathbf{f}_{K} 的共同作用,其中科氏力 \mathbf{f}_{K} 是因物体做相对运动产生的。当研究地球上物体的相对运动时,因物体到地轴的距离变化太小,所以可忽略惯性

* 系西南大学网络与继续教育教学研究项目,编号:wj2014016

离心力的效应,从而认为重力等于引力,这时就只需考虑科氏力 f_K 的效应^[1]. 因此,我们认为科氏力是使相对于地球运动的物体相对于地球产生运动轨迹偏移的主要原因. 且文献[7]提到,“由于地球自转,促使水平运动物体方向发生偏离的力,称为地转偏向力”. 所以所谓的“地转偏向力”实际上主要就是科氏力在水平方向上的分力(以下简称地转偏向力 $f_{偏}$).

1.2 $f_{偏}$ 的方向

接下来,我们再分析科氏力与运动方向的关系. 因为地球的自转轴和质心轴虽然不在同一条直线上,但偏差却非常小,所以在讨论科氏力的时候可以忽略这一微小偏差. 物体在近地表运动时,由速度的合成原理可知,水平运动速度 v 均可分解为沿经线的速度 $v_{经}$ 和沿纬线的速度 $v_{纬}$. 物体因 $v_{经}$ 而受到科氏力 f_E , 因 $v_{纬}$ 而受到科氏力 f_r . 由于 f_r 不在水平面内,需要将其在地表坐标系中分解 f_1 和 f_2 , 其中 f_2 为 f_r 的水平分力. 因此,物体受到的 $f_{偏}$ 应是 f_E 与 f_2 的合力,且 $f_{偏} \perp v$. 由右手螺旋定则可判定,科氏力的方向为 $-\omega \times v$ 的方向. 因此,在北半球内 $f_{偏}$ 沿速度方向垂直向右,如图 1 所示. 同理,可以得到,在南半球内 $f_{偏}$ 沿速度方向垂直向左. 这说明,除了物体沿赤道运动的情况,不管物体沿什么方向运动,运动方向均发生偏转,且 $f_{偏}$ 只能改变 v 的方向,而不能改变 v 的大小.

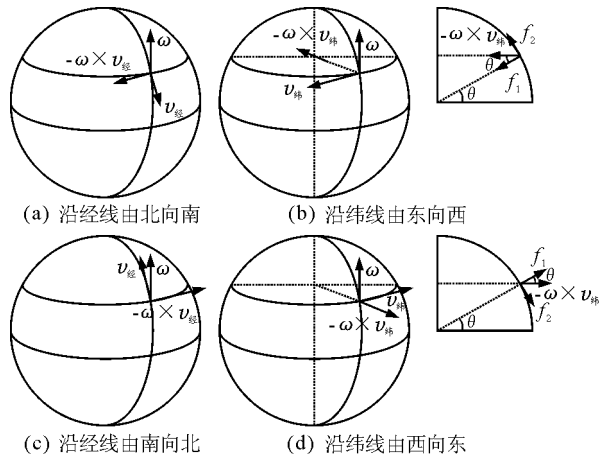


图 1 北半球上运动物体的科里奥利力矢量图

1.3 $f_{偏}$ 的大小

设在纬度为 θ 的 A 点有一质量为 m 的物体在水平面内具有速度 v , 把 v 按经线和纬线方向分解, 以图 1 中(c)、(d) 为例进行分析. 如图 2(a) 所示, ω 与 $v_{经}$ 的夹角等于纬度角 θ , 物体因 $v_{经}$ 受到的科氏力 f_E 在纬线的切线方向上向东, 大小为

$$f_E = 2m\omega v_{经} \sin \theta$$

如图 2(a) 所示, ω 与 $v_{纬}$ 的夹角等于 $\frac{\pi}{2}$, 物体因 $v_{纬}$ 受到的科氏力 f_r 在垂直地轴方向上向外, 大小为

$$f_r = 2m\omega v_{纬}$$

再建立地面坐标系将 f_r 分解为垂直向上的 f_1 和在经线的切线方向上向南的 f_2 , 则

$$f_1 = f_r \cos \theta \quad f_2 = f_r \sin \theta$$

于是

$$f_{偏} = \sqrt{f_E^2 + f_2^2} = 2mv\omega \sin \theta$$

由此可知, 物体在地球表面运动所受的 $f_{偏}$ 的大小只与物体的速率 v 和其所在纬度 θ 有关, 而与速度的方向无关.

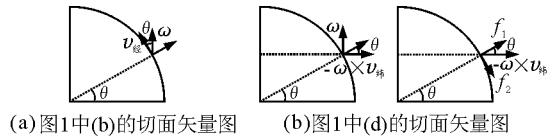


图 2 物体运动的切面矢量图

综上所述, 我们认为文献[6]中所提观点是不全面的.

2 右侧通行比左侧通行更安全

有人认为在北半球右侧通行比左侧通行更安全, 其主要原因是行驶中的车辆受到的 $f_{偏}$ 沿速度方向垂直向右, 若按左侧通行, 车头容易发生向右的偏转, 以致发生车祸^[5].

下面, 我们以处于北纬 30° , 自重量约 1.5 t, 行驶速度为 60 km/h 的轿车为例进行分析. 已知地球自转角速度 $\omega \approx 7.3 \times 10^{-5}$ rad/s, 根据 $f_{偏} = 2mv\omega \sin \theta$ 可估算出 $f_{偏} \approx 1.8$ N, 如图 3 所示. 一般情况下, 在户外行驶的汽车, 都会受到从侧面吹来的风的压力. 那么 1.8 N 的力相当于速度多大的风垂直车的侧面对车的作用呢? 风压就是垂直于气流方

向的平面所受到的风的压力,标准风压公式为

$$\omega p = \frac{rv^2}{2g}$$

其中 ωp 为风压, r 为空气密度, v 为风速, g 为重力加速度. 在标准状态下, 空气密度 $r = 0.01225 \text{ kN/m}^3$, 北纬 30° 的重力加速度 $g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$, 车的侧面面积 $S \approx 2 \text{ m}^2$. 由于 $F_{\text{压}} = \omega p S$, 我们得到 $F_{\text{压}} = 1.25v^2$. 令 $F_{\text{压}} = 1.8 \text{ N}$, 得到 $v = 1.2 \text{ m/s}$. 风速为 1.2 m/s 的风属于一级风, 仅能使“炊烟缭绕”而不能使风向标转动. 这样的风当然更不能使车发生偏转. 所以, 科氏力对车辆通行的安全性影响可以忽略. 因此, “右侧通行比左侧通行更安全”这一观点是不正确的.

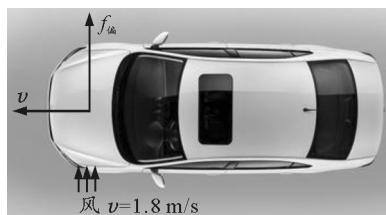
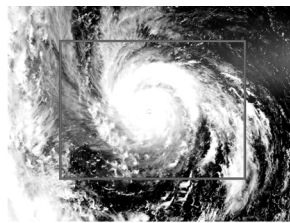


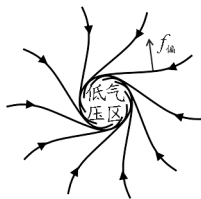
图3 行驶中的车辆受力分析简图

3 北半球旋风和旋涡因科氏力呈逆时针方向旋转

因为北半球科氏力偏向运动物体的右侧, 导致北半球的旋风和马桶冲水(漏斗漏水)等产生的旋涡都是按逆时针方向旋转的^[5].



(a) “苏迪罗”台风



(b) 台风形成原理图

图4

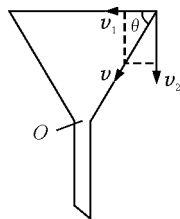
我们先讨论旋风的问题. 在北半球, 大的旋风(如台风), 确实是由于科氏力引起的. 以图4(a)中的“苏迪罗”台风为例, 由于中间是低气压, 使得周围空气分子向中心区域运动. 这些分子因受到沿速度方向垂直向右的 $f_{\text{偏}}$, 导致运动方向向右偏转. 当空气分子的运动方向改变 90° 时, 这些分子就相对

低压区做圆周运动, 其受到的空气压力正好提供向心力, 从而形成逆时针的旋涡, 如图4(b)所示. 那么, 要经历多长和距离才能使空气分子的运动方向偏转 90° 呢? “苏迪罗”台风在台北的风速为13级(即空气团速度为 38 m/s)^[8], 空气团所在纬度角为 25° , 先忽略纬度角变化对科氏力的影响, 则可以粗略估算出空气团方向改变 90° 时间及运动轨迹(看作是圆周运动的 $\frac{1}{4}$). 此时 $f_{\text{偏}}$ 提供向心力, 有

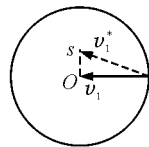
$$a = 2v\omega \sin \theta = \frac{v^2}{\rho}$$

得 $\rho = \frac{v}{2\omega \sin \theta} \approx 619 \text{ km}$

则运动轨迹约 $\frac{2\pi\rho}{4} = 971 \text{ km}$. 而实际上, 苏迪罗的直径超过 600 km ^[8], 与我们估算的数量级是相符的. 由此可以看出, 在北半球内只有大范围的旋风按逆时针旋转才是由科氏力引起的, 而小范围的形成原因复杂, 不能一概而论.



(a) 漏斗切面图



(b) 漏斗俯视图

图5 漏斗漏水示意图

下面, 我们再讨论一下对旋涡的错误认识. 我们专门找了一个完全对称的锥形漏斗进行实验验证. 漏斗保持水平并装满水, 释放堵在漏嘴的手指后, 并没有发现涡旋产生. 接下来我们结合图5分析一下这一现象的原因. 若漏斗锥形部分的高度为 10 cm , 倾角 θ 为 45° , 那么水团从最高处到达漏斗 O 处时速度约为 1.4 m/s , 则科氏加速度约为 $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$. 在水团下落过程中, 水平方向平均速度 v_1 约为 0.5 m/s , 时间为约 0.2 s , 则科氏力产生的横向位移 s 约为 $2 \times 10^{-7} \text{ m}$, 这么小的位移, 需要显微镜才能观察到. 因此, 漏斗中不可能产生旋涡. 同理, 马桶中也不会因为科氏力产生旋涡. 我们观察到的马桶旋涡, 应该是马桶自身结构上设计的原因造成的.

基于 Blackboard 交互式物理教学设计

郭芳侠 李小艳

(陕西师范大学物理学与信息技术学院 陕西 西安 710119)

(收稿日期:2015-08-29)

摘要:本文依托 Blackboard 信息化教学平台,通过课前网上自主学习、课堂协作探究、课后巩固拓展3个环节的学习活动以及多元化的评价方式,旨在探究信息化背景下的物理交互式教学设计,倡导支架式教学,促进学生自主学习,改变学习习惯,培养终身学习发展的能力.

关键词:交互式教学 支架教学 自主学习

1 研究背景

传统的大学教学模式一般是教师在讲台上讲,学生被动地听,机械地记笔记,思想难免开小差,甚至有打瞌睡、玩手机上网等现象.课后相当数量的学生草草应付完成作业,临到考试的时候,突击复习、死记硬背,但不久后这些知识就会被抛之脑后,对学生的评价方法也较为单一.这种模式下的教与学,严重阻碍了学生学习的主动性、积极性和创造性的培养^[1];另一方面,枯燥的课堂、被动的地位、以及学生害怕出错的心理使得师生交流较少.现如今,随着信

息技术的发展应用,学生获取知识的手段和渠道也有了翻天覆地的变化,在信息化教学背景下,学生的学习环境日渐改善、学习终端日渐多样、教学媒体日渐丰富,学习不再受到时间空间的限制,学生可以随时随地学习,并且可以选择国内外不同学校的优质课程进行学习^[2],让优质教育资源世界共享,这是教育发展的趋势.那么教育也要跟上时代发展的步伐,充分利用现代信息网络,学习者是学习的主体,根据自己的需求来选择开课学校、教师和学习内容,教师的角色也发生了转变,不再仅仅是“传道授业解惑”,而更多的是服务、支持、指导、帮助学生.基于

4 结论

本文指出了几个有关科里奥利力的错误认识,同时这也从一定程度上说明学生缺乏严谨性,即在物理学习中经常会按某种固定的思路和模式去考虑问题,而不经科学分析就武断地得出结论.这是由于传统的教材和教法侧重于机械记忆加模仿,学生就逐渐养成了不求甚解、不问缘由的习惯,遇到问题就只能死记硬背生搬硬套.而大量实验证明,经过一定的训练以后,学生对严谨性的要求,是可以逐步适应的.因此,教师在教学中不仅要向学生传授系统的知识,还要培养学生独立分析问题的能力,不犯教条主义错误.

参考文献

- 1 周衍柏. 理论力学教程(第2版). 北京:高等教育出版社,1986. 248 ~ 259
- 2 程稼夫. 中学奥林匹克竞赛物理教程:力学篇(第2版). 合肥:中国科学技术大学出版社,2014
- 3 张勇,杨占营. 漫谈科里奥利力. 物理通报,2004(1):11 ~ 12
- 4 王洒,王玲,汪志云. 落体偏东在惯性系中的分析. 物理通报,2013(7):11 ~ 12
- 5 马凡杰. 科里奥利力及自然界中的科里奥利效应. <http://3y.uu456.com/>
- 6 徐锋,王莉萍. “地转偏向力”与“科里奥利力”. 高中数理化,2010(11):39 ~ 41
- 7 陶世龙,万天丰,程捷. 地球科学概论. 北京:地质出版社,1999. 38
- 8 张稚丹,吴亚明. 人民日报海外版. 2015-08-10