

DIS 实验新探

DIS 无线向心力实验器

冯容士 李 鼎 (上海市中小学数字化实验系统研发中心 上海 200072)

“向心力加速度和向心力”是上海高中物理教材(拓展 I)中的内容,基于该定律的重要地位及学习难度,课程标准将其学习水平确定为 B 级要求,不仅要求学生初步掌握学习内容的由来、意义和主要特征,还要求明了知识的确切含义,并能应用、分析、解决简单的实际问题。

一、原有实验方案

研究向心力加速度和向心力的实验器材很多。

图 1 为手摇式向心力演示器。该演示器直观性较好,在构思、原理、方法上均有可取之处,亦便于学生理解。缺点是在手摇转动时转速不甚稳定,尽管可对向心力做定量演示,但只能通过目测转速来验证向心力的大小,因而误差较大。

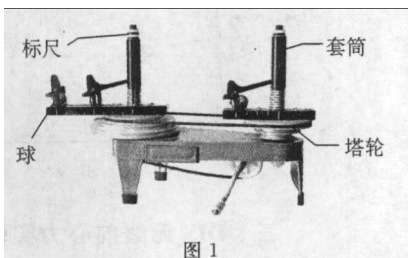


图 1

图 2 所示器材可用来验证向心力公式,但前提是要保持物体做匀速圆周运动,才能准确地测量其周期。这对于实验操作者的要求过于苛刻。

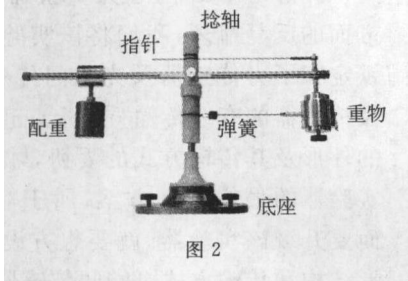


图 2

图 3 所示的简易实验装置也可以用来验证向心力公式。用细绳穿过竖直的玻璃管(或空心笔杆),上端拴橡皮塞,下端悬挂垫片做重物。手

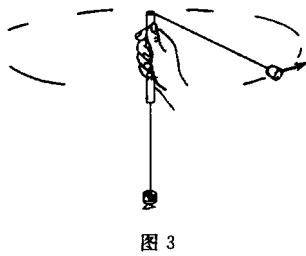


图 3

持玻璃管摆动,使橡皮塞围绕玻璃管做匀速圆周运动。作用在橡皮塞上的拉力,就提供了圆周运动所需的向心力,而绳的拉力可以从垫片数量得到。

二、上海二期课改的需求与 DIS 向心力实验器

2002 年上海“课程标准”在拓展课程 I 部分的“活动建议及说明”中指出:在“向心加速度、向心力”的学习中,可将向心力与哪些因素有关作为探究内容,也可以用 DIS 进行实验。

研发中心根据此要求,于 2003 年起,历时两年研发了 DIS 向心力实验器(图 4)。

1. DIS 向心力实验器的构成

如图 4 所示。旋臂可绕轴水平转动,其中一侧置有质量为 m 的砝码,此砝码由连动装置与力传感器相连,可将水平圆周运动向心力转化为垂直方向的拉力。悬臂转动,使挡光杆通过光电门;光电门捕捉挡光杆通过的同时触发力传感器采集拉力(即水平圆周运动向心力)数据;力传感器和光电门均接入数据采集器,数据采集器将传感器数据处理后上传至计算机,计算机基于光电门挡光时间算出角速度 ω ,对应同时上传的向心力值 F ,在 $F-\omega$ 坐标系中绘出数据点。

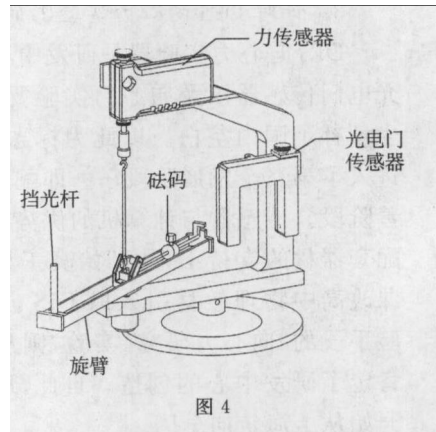


图 4

砝码的质量可选择 0.01 kg 或 0.02 kg。移动砝码的位置,可改变圆周运动的半径 r 。运用控制变量的方法,通过对实验数据、图象的分析和归纳,可以得出向心力 F 与物体质量 m 、运动角速度 ω 以及运动半径 r 之间的关系。

2. DIS 向心力实验器的应用实例

(1) 当物体质量保持不变时,向心力与角速度的关系

- 选定砝码质量 m , 物体运动半径 r , 转动悬臂, 得到一组“ $F - \omega$ ”数据点。选择“曲线拟合”, 发现只有“二次拟合”曲线与数据点吻合。

- 保持质量 m 不变, 改变半径 r , 重复上述实验, 可得到另两条曲线。拟合之后, 可见数据点的分布亦符合“二次拟合”的曲线特征。

- 点击专用软件上的“ $F - \omega^2$ ”, 可得线性分布的数据点。

- 上述实验结果显示, 当物体质量和运动半径保持不变时, 向心力与角速度的平方成正比。

(2) 当运动半径保持不变时, 向心力与角速度的关系

- 保持运动半径不变, 改变质量, 重复实验, 基于实验数据点进行拟合。

- 结果显示, 当运动半径保持不变时, 尽管改变物体质量, 但向心力总与角速度成二次方关系。

- 由图象和数据的分析, 还发现向心力与物体的质量成正比(对牛顿第二定律的又一次验证!), 与运动的半径成反比。

3. 针对 DIS 向心力实验器的改进意向

DIS 向心力实验器是研发中心基于力传感器和光电门传感器以及向心力实验要求的再创造, 其诞生填补了国内空白。以此为标志, 国内数字化实验进入了第二个发展阶段——即配套器材的开发与完善阶段。传感器与计算机的优势在量身定做的各种配套器材的支持下, 才开始真正显现。而上海二期课改高中物理教材引入以 DIS 向心力实验器为实验手段的“向心力研究”实验, 则从教材建设的高度肯定了研发中心的创造。自此, DIS 向心力实验器开始从上海走向全国。

随着 DIS 向心力实验器在全国范围内的广泛应用, 广大教师在赞叹之余, 也对研发中心提出了针对 DIS 向心力实验器的更高期望, 如进一步提高测量精度, 尽可能优化实验流程以避免误操作等等。著名物理教学专家黄恕伯等则提出: 要求 DIS 向心力实验器能够改变旋转平面, 以满足类似“垂直立面向心力研究”等不同的实验需求。面对这些要求, 研发中心既感到兴奋, 又有些许忐忑。兴奋在于 DIS 向心力实验器一石激起千层浪, 引发了这么多同行们的关注; 忐忑在于我们深知该实验器的命门所在——尽管这一结构已经在实验精度和稳定性方面

达到了国际先进水平, 但提升的余地已经不大, 针对改变旋转平面等要求的改进潜力更是有限。尽管我们曾经急中生智将 DIS 向心力实验器旋转 90° (图 5) 并当场满足了黄恕伯老师的实验要求——在转速逐渐减慢的情况下研究垂直立面圆周运动向心力的变化 (图 6, 其中纵坐标为向心力 F , 横坐标为时间 t), 并成功地在实验中做出了转速减慢时向心力为负的结果, 但也就是从那时候起, 一个新的研发目标开始形成——要开发 DIS 向心力实验器的换代版!

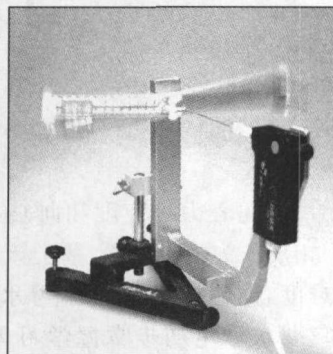


图 5

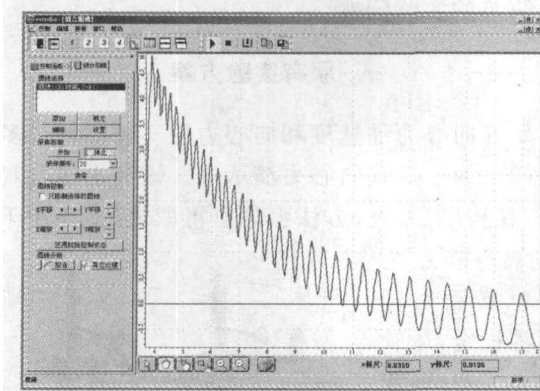


图 6

三、DIS 无线向心力实验器的研发

1. 改进方案的形成

经过对 DIS 向心力实验器结构和应用等诸多方面的反复梳理, 我们将该实验器系统的根本缺陷锁定在了力传感器及光电门传感器的外形结构, 以及传感器的有线传输方式上。正是对这两种传感器的外形及其传输方式的妥协, 才形成了 DIS 向心力实验器的最终设计方案, 属于“器材适应传感器”。而要升级该实验器, 就要想方设法改变传感器的外形结构和传输方式, 做到“传感器适应器材”。

好在技术的积累和进步已经使研发中心具备了令传感器适应器材的开发、设计能力——2006 年, “斜面上力的分解实验器”实现了将力传感器“嵌入”斜面, 传感器适应器材已经成为可能; 而随着朗威® DISLab V7.0、朗威® DISLab 无线气象站等新产品的开发完善, “测量端-计算机”的无线传输已成为成熟的解决方案。

有了上述基础,以“简化设计、提升性能、拓展应用”为设计目标的“DIS 无线向心力实验器”的设计方案也就呼之欲出了:

(1)取消转向连接杆机构,进而消除为了安装力传感器和光电门传感器而设计的梁架,优化向心力实验必须的旋臂结构,将力传感器的核心部件嵌入旋臂,将可更换砝码通过刚性杆直接连接在力传感器的核心部件上;(2)重新设计光电门使其小型化,便于其在新实验器材上的布设;(3)将原有的“传感器-采集器-计算机”三级有线传输结构改为“实验器-计算机”两级无线传输结构,而此时的“实验器”已经凭借其集数据采集、数据处理和数据传输于一体的功能,超越“数字化”而实现了“智能化”。

图 7 所示即为“DIS 无线向心力实验器”的电路框图。

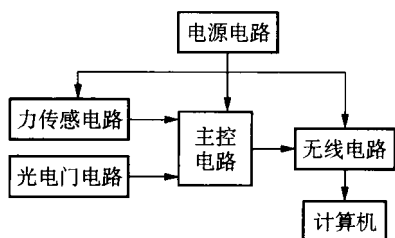


图 7

2. 改进方案的实现

有了完善的设计规划,不等于就获得了期望中的产品。理想和现实之间的鸿沟,还需要反复尝试和不懈努力去填平。

“DIS 无线向心力实验器”于 2010 年初立项,2011 年完成四种设计方案。经过半年的使用及测评,在 2012 年初才最终完工。以下就是其中一种设计方案的介绍。

如图 8 所示,“DIS 无线向心力实验器”主要由立柱、角度转换器、皮带轮、旋臂、挡光片、砝码、电机(可选装)等组成。位于旋转臂中心的力传感器核心部件的一侧直接连接固定杆,砝码套在固定杆做圆周运动,并可根据实验要求改变半径。另一侧连接用于平衡的配平杆。旋臂固定在支架上,可以改变旋转平面。旋臂可直接拨动旋转,亦可由选装的电机通过皮带轮带动旋转。

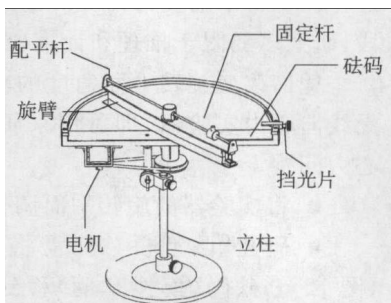


图 8

3. “DIS 无线向心力实验器”应用实例

“DIS 无线向心力实验器”可用来研究相同质量下向心力和旋转半径的关系;相同旋转半径下向心力和质量的关系;并可用于研究不同角度旋转平面的向心力大小,如模拟凸型桥、凹型桥以及车辆转弯时的向心力研究。

(1) 水平圆周运动向心力研究

● 图 9(a)所示为利用“DIS 无线向心力实验器”的实验中,相同砝码质量、不同旋转半径下,向心力和角速度的关系图线。通过“二次拟合”,可说明向心力和角速度的关系是二次函数关系。

● 图 9(b)是基于图 10(a)所获得的数据绘出的“ $F-\omega^2$ ”关系图线。通过“一次拟合”,可说明向心力和角速度的平方是一次函数关系。

● 图 9(c)所示为实验中点击“选取 F 值”,利用专用软件提供的“竖线”工具将相同角速度、不同旋转半径对应的向心力值记录到数据表格中。

● 如图 9(d)所示,将图 7(c)表格中向心力的值和旋转半径的值建立坐标系进行绘图,可以说明同一角速度下,向心力和旋转半径成正比。

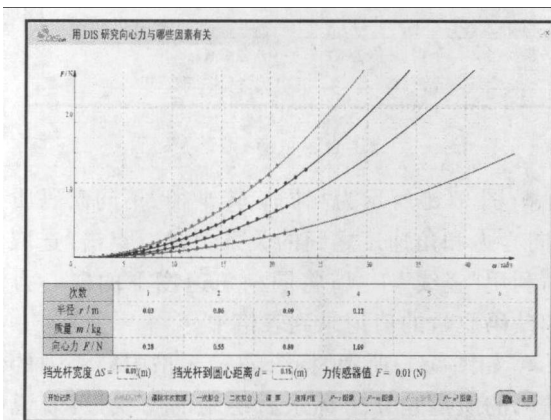


图 9(a)

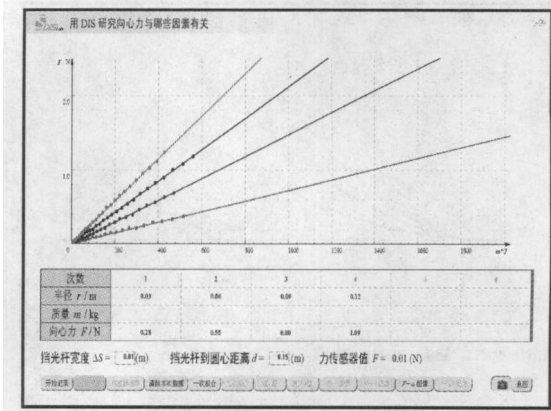


图 9(b)

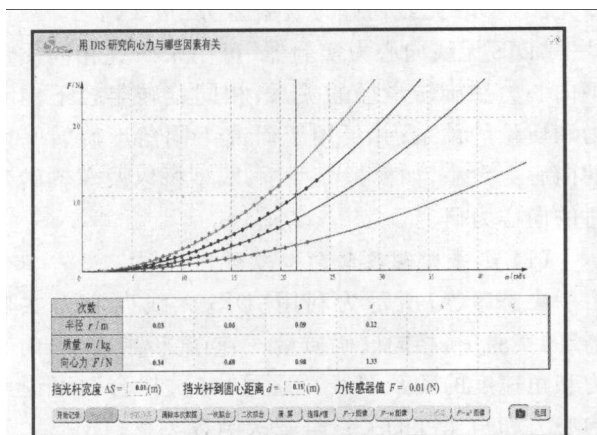


图 9(c)

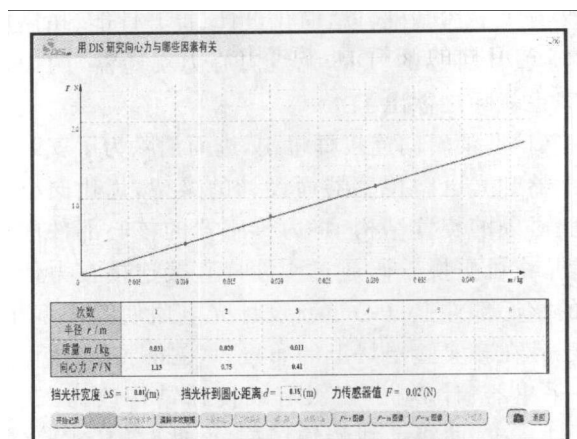


图 9(f)

上述实验结果说明,“DIS 无线向心力实验器”已完全具备原“DIS 向心力实验器”的功能,并在精度上有了较大提高。

(2) 车辆过桥系列向心力问题研究

一般的桥面都是向上拱起,称为“凸型桥”,凸型桥的中央段可看成一段圆弧,如图 10 所示。汽车通过“凸型桥”的最高点时,向心力方向应该竖直向下,向心力 $F_{向}$ (图中未画出)就是汽车的重力 mg 和桥面的支持力 F_N 的合力,即: $F_{向} = mg - F_N$,可得 $F_N = mg - F_{向}$,说明汽车通过“凸型桥”时,桥面对汽车的支持力小于汽车的重力。

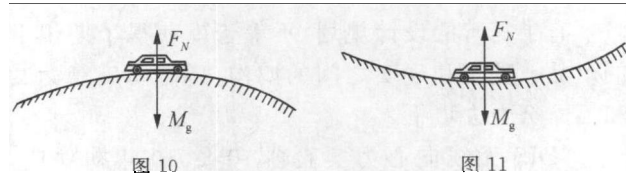


图 9(d)

● 图 9(e)所示为相同旋转半径、不同砝码质量下,向心力和角速度之间的关系图线。点击“选取 F 值”,利用“竖线”工具,将同一角速度下的向心力的值和砝码质量的值记录到表格中。

● 如图 9(f)所示,将图 7(e)表格中向心力的值和砝码的质量建立坐标系后绘制的图线,可以说明在同一角速度下,向心力和质量成正比。

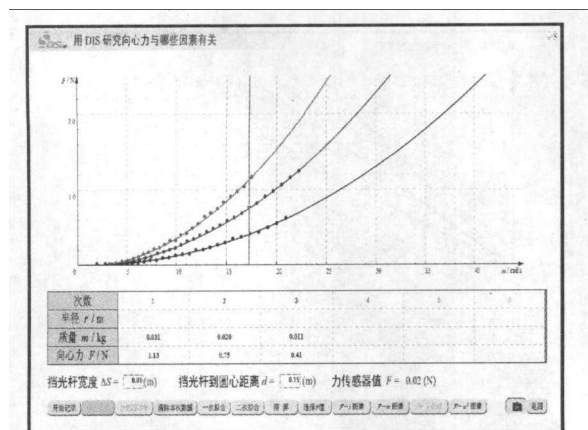


图 9(e)

反之,当汽车通过如图 11 所示的“凹型桥”时,向心力方向应该竖直向上,可得 $F_N = mg + F_{向}$,说明汽车通过“凹型桥”时,桥面对汽车的支持力大于汽车的重力。当然,如果汽车停在桥面上,向心力为零,无论是“凸型桥”或“凹型桥”,桥面对汽车的支持力都等于汽车的重力。实际使用凹形的桥梁很少,但教学中为了使学生更好地理解向心力,在演示中多进行两种桥面的受力情况对比研究。受制于实验手段,研究多局限于推理和计算,真实实验难以开展。

凭借改变旋转平面角度的功能,竖起来的“DIS 无线向心力实验器”即可用来研究汽车过桥系列向心力问题。

● 将实验器的旋转平面调整为竖直。

● 研究“凸型桥”时,需将挡光片置于最高点(图 12)。砝码(模拟车辆)移到半径为 R 处固定。当砝码在最高点(半径 R 处)静止时,模拟车辆停在

半径为 R 的桥面最高处; 砝码受到固定杆的支持力, 模拟桥面对车辆的支持力 F_N 。此时测得模拟桥面的受力情况: $F = mg$ 。当旋臂旋转时, 可测得砝码通过最高点时 $F < mg$, 这正对应了汽车通过凸型桥时桥面受力小于重力的现象。

● 反之, 研究“凹型桥”时, 需将挡光片置于最低点。当砝码通过该点时, 可测得 $F > mg$, 这正对应了汽车通过凹型桥时桥面受力大于重力的现象。

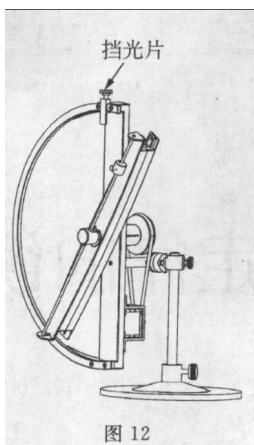


图 12

(3) 研究火车转弯中的向心力问题

火车在水平轨道上转弯时, 依靠轨道对车轮缘的水平作用产生向心力, 但长期行驶对车轮和轨道的磨损都较大。

通常使轨道平面与水平面保持一个倾角, 以提供向心力。图 13 中表示火车的外轨高于内轨时, 火车重力 G 与铁轨支持力 F_N 的合力 F , 就提供了使火车转弯的向心力。

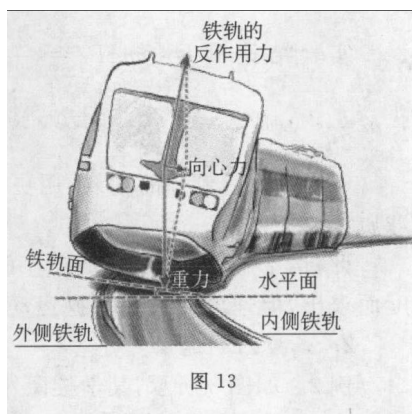


图 13

火车转弯问题的研究一直以来都是借助公式推导, DIS 无线向心力实验器则为研究这个问题提供了一种实验手段。

● 将无线向心力实验器的旋转平面调整为水平(模拟火车在水平轨道转弯)。旋转旋臂, 绘出此时的“ $F - \omega$ ”数据点。如图 14 中(a)所示。

● 使旋转平面倾斜一定的角度(模拟火车内外轨有一定的高度差)。将挡光片放置在最高点, 旋转旋臂, 绘出此时的“ $F - \omega$ ”数据点。如图 14 中(b)所示。可以看到随着旋转角速度的减小, 向心力的数值越来越小, 表示外轨的受力越来越小。

● 加大旋转平面倾斜角度(模拟火车内外轨有更大的高度差)。旋转旋臂, 绘出此时的“ $F - \omega$ ”数据点。如图 14 中(c)所示。

● 观察图 14 可知: 随着旋转平面倾斜角度的加大, 数据点的分布在下移。

● 选取(b)分布点与横坐标轴的交叉点为参考点, 画一竖直线, 这一竖直线与(a)、(b)、(c)分布点的交点表示同一旋转角速度、不同角度旋转平面下向心力的值。

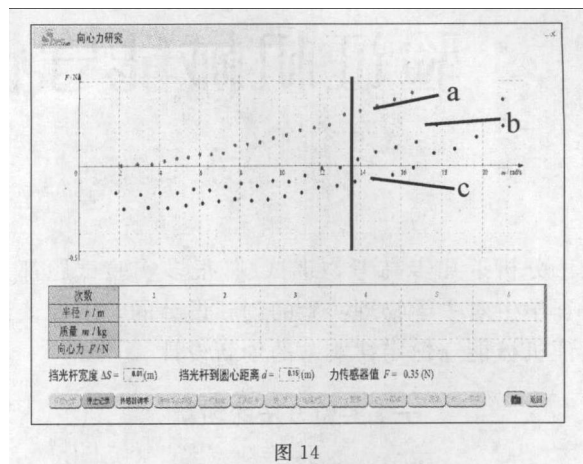


图 14

因此: 当旋转平面的倾斜角度为零(内外轨无高度差)时(对应 a 分布点), 力为正值。这说明火车以角速度 ω 转弯时, 外轨受到水平向外的压力; 当旋转平面达到一定角度时(对应 b 分布点), 力值为 0, 显示倾斜状态中砝码的重力的分力恰好提供向心力。这说明火车以角速度 ω 转弯时, 只要当内外轨有恰当的高度差, 内外轨均可以不受水平方向的力。

当旋转平面的倾斜角度加大时(对应 c 分布点), 力为负值, 表示因倾斜角度过大, 砝码的重力的分力大于向心力的值。这说明火车以角速度 ω 转弯时, 如果内外轨的高度差过大, 内轨会受到水平向内的压力。

● 对不同的火车质量、旋转半径, 都可以通过此实验器进行模拟。

研发体会:

向心力实验从传统到“数字化”直到“智能化”的不断演变, 是教学活动和教学手段在时代背景下的提升和完善。2003~2012, 两代 DIS 向心力实验器跨越十年的研发, 让我们自身感触良多。

工具的改进, 为促进学习方式优化、帮助学生学会学习、倡导自主探究、充实学生实践体验和促进学生合作交流提供了帮助。古人云“见多识广”, 在两代 DIS 向心力实验器的帮助下, 学生思维的广度和深度以及灵活性自然会有增加, 其想象空间会相应拓展, 其联想和发现能力也会得到提升。

借助实验, 不仅要验证理论, 更要发现新知、启迪思维、培养创造力, 进而传播科学思想、塑造科学精神。这正是上海市二期课改引入 DIS 改造传统

(下转第 38 页)

换上一次性筷子做实验。但是结果和之前一样,还是提不起来。

后来我去雅虎网搜索到正确的操作方法,才知道要放些水让米潮湿,并且要把米放在玻璃杯里才行。可是因为性急,“潮湿”两个字忘了,在玻璃杯中倒入很多水,果然实验又一次失败了(如图 6 乙)。

再后来我在杯子里少倒入一些水,然后我再按上面的方法做了一次,终于成功了(如图 7 甲、乙)。

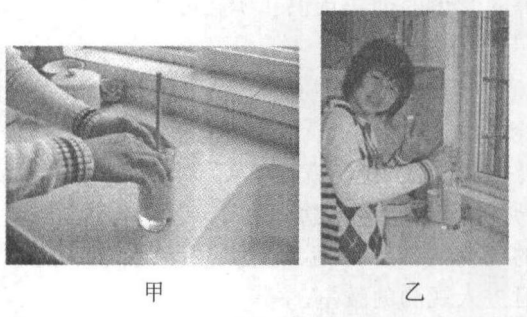


图 7

这样的家庭实验,学生既体会到实验成功的快乐和成就感,又对自己实验失败的原因得以充分的分析。无论是优秀生还是学困生都能不同程度的获取知识,体会科学探究的乐趣。

3. 制作比赛

我们学校每年都会组织科学小制作比赛,比赛内容有:地球仪、水火箭、会运动的可乐瓶、鸡蛋砸地球、机翼模型、气垫船、反冲汽车等,如图 8 所示。一项项小小的制作,闪耀着学生们智慧的火花,激发了学生探究的热情,提高了他们的动手操作能力,培养了学生的创新意识和实践能力。

我们相信:学生动手实验就会动脑思考。对于实验



水火箭

反冲汽车

图 8

教学,唯有让学生动手,让学生多做实验、巧做实验、真做实验,才能促使学生主动获取科学知识,发展科学探究能力,提升科学素养。我们认为,学生动手机会多了,感受多了,对知识的理解就更透彻,同时科学素养也就更高。我们舍得让学生为多做实验而占用课堂时间,因为只要学生能够动手实验,他们就会动脑思考;因为课堂本来就是学生的课堂,学生的主体地位是不容忽视的;因为一直在动手实验的学生动手能力一定不断增强,他们在课堂实验中的操作会越来越顺利。我们不节约学生动手实验的时间,只有考虑压缩题型操练、章节测试、习题讲评等的时间,力求精选精讲。我们追求精致高效的课堂教学过程、营造浓厚学术氛围,以实验为基础,力争开设随堂实验,力求落实观察实验,力图完美演示实验,力增学生探究活动,将探究活动延伸到课外,让科学探究充满趣味性、艺术性,让智慧在科学探究中闪光,以实施“高质量、轻负担”的科学课堂教学。近年来的实验教学有效实施的探索,让我们感觉到让学生在动手实验中探索、感悟、理解,对学生思维的拓展、分析问题、解决问题等能力的提高很有帮助,并且,在这个过程中培养起来的学生的科学素养对其以后的发展是很有好处的。也许这就是“磨刀不误砍柴工”的道理吧。

(上接第 27 页)

实验的根本目标。所以,研发中心不仅重视改造实验手段,更重视借助实验手段和实验过程,向学生进行思想、方法、情感、态度和价值观的传递。

因此,建议教师们开展向心力研究教学的时候,可做以下尝试:首先从教学目标和要求出发,让学生自己设计实验;在学生的思维活动被激活之后,再结合传统实验器材对学生的创新思维进行归纳,同时指出其优缺点;导出 DIS 向心力实验器,演示分析之后,最终向学生呈现 DIS 无线向心力实验器。借助这个过程,不仅可逐层递进式地强化向心力的各个知识点,更可为学生展示围绕各个知识点所进行的实验探求。而研发中心十年间基于 DIS 向心力实验器的研发历程,此刻就可以转化为生动

的教学资源,从而为学生发展提供更深远的助益。

参考文献

- [1] 教育部教学仪器研究所编. 中学理科教学仪器配备目录, 2000 年 6 月.
- [2] 教育部教学仪器研究所编. 中小学教师继续教育教材·高中物理学生实验. 人民教育出版社出版, 2003 年 6 月第一版.
- [3] 冯容士, 陈燮荣编著. 中学物理实验汇编(力学·上册). 知识出版社出版, 1982 年 9 月第 1 版.
- [4] 杨介信, 张大同主编. 中学物理实验大全. 上海教育出版社出版, 1995 年 12 月第一版.
- [5] 张同侬, 方玉珍, 马淑美编. 物理(甲种本)(乙种本)第三册. 人民教育出版社出版, 1985 年 11 月第 1 版.
- [6] 上海市教育委员会编. 上海市中学物理课程标准(试行稿). 上海教育出版社出版, 2004 年 10 月第 2 版.