

多功能平抛运动实验装置的创新设计与实验

焦政翰

(青海师范大学物理与电子信息工程学院 青海 西宁 810008)

田建民

(青海师范大学物理与电子信息工程学院 青海 西宁 810008;

高原科学与可持续发展研究院 青海 西宁 810008)

(收稿日期:2023-05-14)

摘 要:针对现有平抛运动实验装置设计不足、操作繁琐等问题,设计了多功能平抛运动实验装置.设计制作的装置将讨论平抛运动水平与竖直分运动、演示不同高度和初速度的平抛运动、验证平抛运动轨迹是抛物线等多种功能相融合,方便实验教学的开展.通过现象的观察和数据的处理,从多角度引导学生归纳平抛运动的规律,为提升科学探究能力提供良好的教学资源.

关键词:惯性;惯性现象;实验教具;教具改进

平抛运动是高中物理必选课程第二册曲线运动与万有引力定律主题下的重要物理模型,2020 年版普通高中物理课标要求:通过实验,探究并认识平抛运动的规律.会用运动合成与分解的方法分析平抛运动.体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想^[1].研究平抛运动的规律,重点要讨论平抛运动的速度、平抛运动的位移与轨迹.教材首先在实验探究平抛运动的特点基础上,进一步对平抛运动的规律进行了理论推导.这一设计表明,实验在探究平抛运动的规律中所发挥的重要教学价值.因此,选择操作简单、现象明显的实验装置能够提升课堂实验操作效率,助力学生科学探究能力的培养.

1 教材实验方案和装置的分析

人教版普通高中物理教科书必修第二册中,提供了两种探究平抛运动特点的实验方案^[2].如图 1 所示,利用频闪拍照技术获取小球做平抛运动的频闪照片,记录小球水平方向和竖直方向的位移随时间变化的具体数据,独立分析水平方向和竖直方向小球的运动规律.图 2 为使用两种实验装置进行探究的示意图.如图 2(a) 所示,用小锤击打弹性金属片,A 球做平抛运动;同时 B 球下落,做自由落体运动,比较两小球落地时间的先后,探究平抛运动竖直分运动的特点.如图 2(b) 所示,将钢球从斜槽某一

高度释放,从水平末端飞出做平抛运动,落在水平挡板 N 上.上下调节挡板 N,通过多次实验,在白纸上留下多个印记点,并用光滑曲线将其连接,得到小球平抛运动的轨迹,进而利用运动学知识探究平抛运动水平运动的特点.

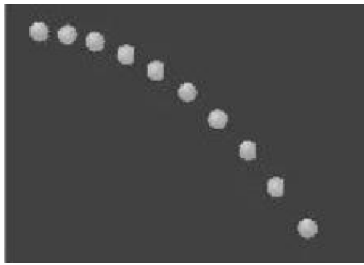


图 1 小球做平抛运动的频闪照片

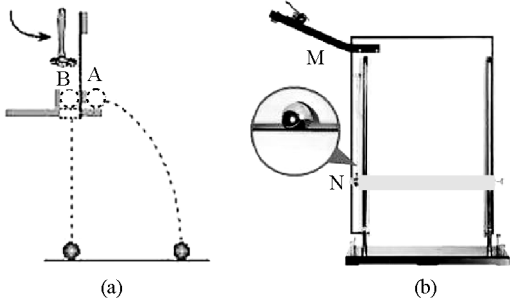


图 2 探究平抛运动特点的两种实验装置

以上两种方案在课堂教学中都有着广泛的应用,但通过实际操作,两种实验方案也显露出一些不足.

(1) 利用频闪照相技术拍摄实验过程,操作难

度较大,产生的图片文件多,数据处理麻烦,实验精度较低,且频闪照相需要在黑暗环境中进行,不便于实验教学的开展。

(2) 图 2(a) 所示装置通过两个小球下落撞击地面的声音对竖直方向的运动进行描述,但操作发现由于小球重力原因,很难在金属片与挡板之间将其卡稳,容易发生掉落。

(3) 图 2(b) 所示装置进行实验时需要重复多组,还需控制每一次小球释放的高度相同,实验操作繁杂、耗时长,并且实验演示过程时间很短,很难通过肉眼直观观察小球做平抛运动时的轨迹。

为了完善教材中实验装置的不足,笔者创新设计多功能持续性平抛运动实验装置。

2 装置的设计与制作

2.1 装置的制作材料

利用 CAD 软件绘制的创新实验装置示意图如图 3 所示。

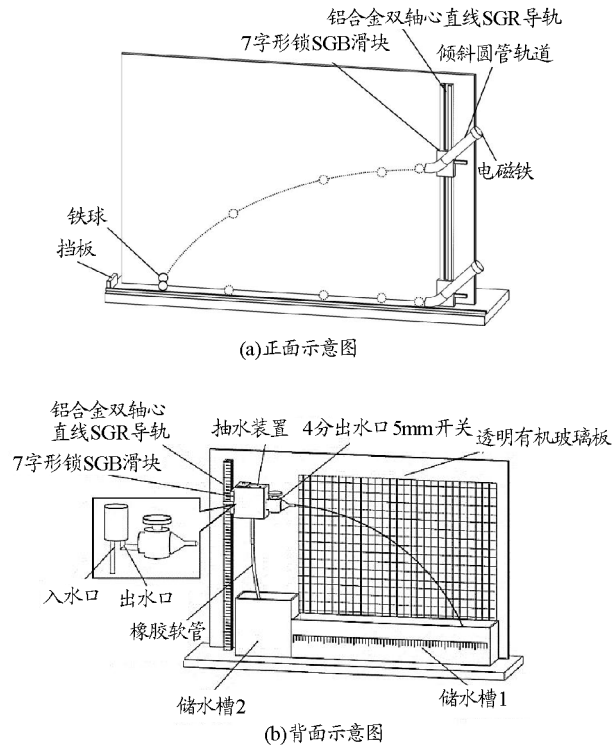


图 3 多功能平抛运动装置示意图

制作所需的主要材料有:透明有机玻璃板、有机玻璃圆管、有机玻璃弯头、铝合金双轴心直线 SGR 导轨($L=50\text{ cm}$)、7 字形锁 SGB 滑块、小铁球、电磁铁、导线、开关、直流电源、抽水装置、储水槽、4 分出水口 5 mm 开关、橡胶软管、硬质泡沫板、透明塑料

坐标纸($30\text{ cm}\times 60\text{ cm}$)、刻度贴纸、白板笔等。

2.2 实验装置的制作

2.2.1 制作装置正面

(1) 透明有机玻璃板竖直固定于硬质泡沫板上。在有机玻璃板上打孔,并用螺丝将铝合金导轨竖直安装在有机玻璃板左侧。

(2) 裁切相同长度的有机玻璃圆管,弯头分别安装在两个圆管一端。利用热熔胶将两个组装好的圆管轨道固定在滑块上,并且保证两个轨道弯头管口水平。滑块竖直插入导轨中,基本完成倾斜轨道的制作。

(3) 将两个 5 V 电磁铁串联在直流电源两端,电路闭合电磁铁有磁性将两个铁球吸引,然后放置在倾斜圆管轨道口。

(4) 为防止两铁球发生碰撞后滚落,在硬质泡沫板底部周围固定挡板。

2.2.2 制作装置背面

(1) 为了使用方便,利用单片机 HT66F004、电泵等部件搭建了可充电式电动抽水装置。电动抽水系统由 HT66F004 控制模块、外设模块和供电模块组成。其中控制模块是 8 位具有高性能精简指令集的 Flash 单片机 HT66F004,其具有多个定时器模块用于 PWM 输出、单脉冲输出、捕捉输入等,可以用来控制 LED 系统和电泵驱动等;外设模块主要由按键、LED 灯和电泵组成,主要用于驱动和指示抽水系统的工作状况;供电系统主要包括两部分,分别为电压检测及充电检测,电压检测用于监测当前电源中的电量情况,充电检测为电源充电提供保护。电动抽水装置搭建框图如图 4 所示。

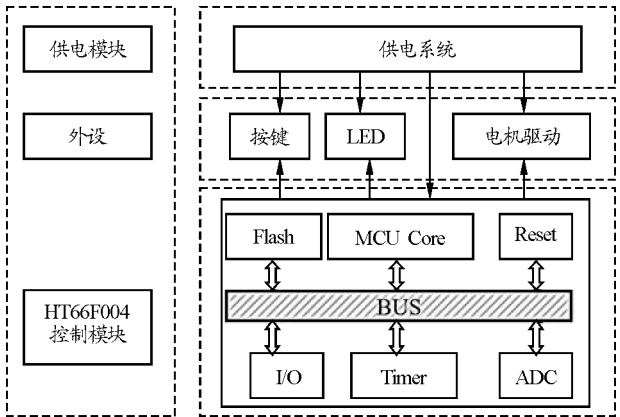


图 4 电动抽水装置搭建框图

(2) 利用有机玻璃板制作盛放水泵的盒子和两个储水槽。在盒子侧边和底部开孔,将抽水装置安装在内部,盒子整体固定在滑块上。金属导轨用直角金属支架竖直安装在硬质泡沫板一端,将滑块插入导轨。

(3) 在储水槽 1 和金属导轨上粘贴塑料刻度纸,便于读取水柱射出的初始高度和水平方向射出的距离。同时在有机玻璃板上粘贴透明塑料坐标纸,便于确定坐标,绘制平抛运动的轨迹。

3 实验操作与数据处理

3.1 水平方向的运动

打开控制电磁铁电路的开关,电磁铁通电时有磁性,将吸引小铁球。并将两个电磁铁同铁球一起分别放置在上下倾斜圆管管口处。断开开关,电磁铁的磁性消失,两个小球同时在倾斜圆管轨道中下滑,滑出轨道弯头。若不计空气阻力和摩擦力,上方铁球做平抛运动,下方铁球做匀速直线运动。实验者能够观察到两个小球发生碰撞的现象,听见两个小球相碰的声音。滑动滑块改变上方小球做平抛运动的高度,发现不论高度如何变化,两铁球都会发生碰撞。进行多组实验,得出结论:两个铁球在水平方向的位移相同,即上方做平抛运动的铁球在水平方向做匀速直线运动。

3.2 竖直方向的运动

为了使平抛运动状态持续地进行,选用一股细小的水流,让其水平持续射出。若将水流分割为很小的水柱段,每一段都可视为质点。因此,将小球的平抛过程转换为无数个连续的质点平抛运动,能够实现对平抛轨迹的持续性演示^[4]。

将抽水装置的橡胶管放入储水槽 1 中,并在储水槽 1 中注入足够的水。如图 5 所示,打开抽水装置和出水开关,形成一股持续喷出的细小水流。用白板笔在透明有机玻璃板背面的坐标纸上标记水流喷出的初始位置,并建立直角坐标系。如图 6 所示,在坐标纸上从初始位置开始依次在水平方向选取等间隔的多个点,分别标记为 x_1 、 x_2 、 x_3 、 $\cdots$ 。以 x_1 、 x_2 、 x_3 、 $\cdots$ 为横坐标,在坐标纸上描出与喷出的水柱上等高的一系列对应点,其对应的纵坐标标记为 y_1 、 y_2 、 y_3 、 $\cdots$ 。

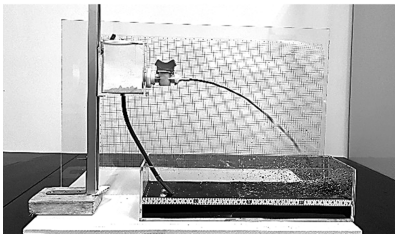


图 5 实验装置演示水柱的喷射

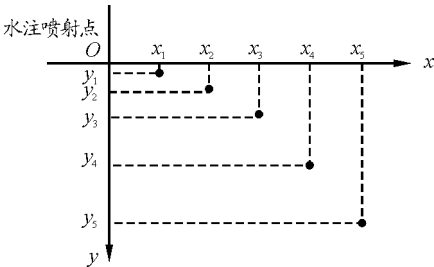


图 6 实验操作获取的坐标纸

实验 1 中,探究得出平抛运动水平方向的分运动为匀速直线运动。初速度为零的匀加速直线运动在相同时间间隔内的位移之比为 $s_1:s_2:s_3:\cdots=1^2:2^2:3^2:\cdots$ 。若 $y_1:y_2:y_3:\cdots=1^2:2^2:3^2:\cdots$ 则可以说明喷出的水柱竖直方向的运动为自由落体运动。实验数据如表 1 所示,各点纵坐标之比接近 $1^2:2^2:3^2:\cdots$,故平抛运动竖直方向的分运动为自由落体运动。

表 1 实验测得 x 、 y 的具体数值

x/cm	5.12	9.94	14.87	20.05	25.11
y/cm	1.07	3.89	9.21	15.97	24.72

3.3 平抛运动水平初速度的计算

由实验 1 和实验 2 已经证明了平抛运动水平方向的分运动是匀速直线运动,竖直方向的分运动是自由落体运动。水平方向匀速直线运动的速度也可以通过两种方案计算获得。

方案 1: 将抽水装置的橡胶软管放入储水槽 1 中,观察并读取水柱流入储水槽 1 中的水平位置;从滑轨的竖直刻度上读取水柱喷射的初始位置与储水槽 1 中液面的高度差,并计算平抛运动的时间,由匀速直线运动公式 $v=\frac{x}{t}$ 获得平抛运动水平方向的初速度。

方案 2: 如图 7 所示,将抽水装置的橡胶管放入储水槽 2 中,并在储水槽 2 中放入定量的水,利用秒表记录从抽水开始到结束的时间,根据流体流速公式 $v=\frac{V}{St}$ (V 为储水槽 2 中水的总体积, S 为出水开关

出水口的截面面积),也可计算平抛运动水平方向的初速度.两种方案计算得到的数据如表2和表3所示,结果比较接近,但由于方案2在抽水的最后过程中,水量减少,导致抽水时间比理论值要大,因此计算得到平抛运动水平初速度比方案1的计算结果小.

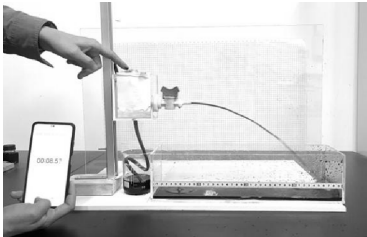


图7 方案2测算平抛运动水平初速度的操作

表2 方案1的实验数据

水柱注入储水槽1中的水平位置 x/cm	39.2
水柱初始位置与液面的高度差 y/cm	28.9
平抛运动的时间 $t(=\sqrt{\frac{2y}{g}})/\text{s}$	0.24
平抛运动水平初速度 $v(=\frac{x}{t})/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	1.633

表3 方案2的实验数据

水槽2中的储水量 V/mL	200
抽水开始到结束经历的时间 t/s	45.87
开关出水口的截面面积 S/m^2	0.002 8
平抛运动水平初速度 $v(=\frac{V}{St})/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	1.54

3.4 不同初速度平抛运动轨迹的演示

通过实验1证实了平抛运动水平方向的分运动为匀速直线运动,水柱喷出的高度一定时,水柱中各小段做平抛运动的时间也相等.如图8所示,调整出水开关的阀门,不断增大水柱的水平初速度,其在水平方向射出的位移随之增大.

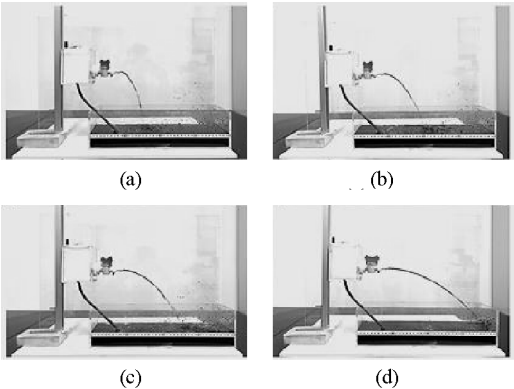


图8 不同初速度平抛运动轨迹的演示

3.5 不同高度平抛运动轨迹的演示

通过实验2证实了平抛运动竖直方向的分运动为自由落体运动,水柱喷出的水平初速度一定.如图9所示,调整滑块不断减小水柱的喷出高度,水柱中各小段运动时间也不断减小,其在水平方向射出的位移随之减小.

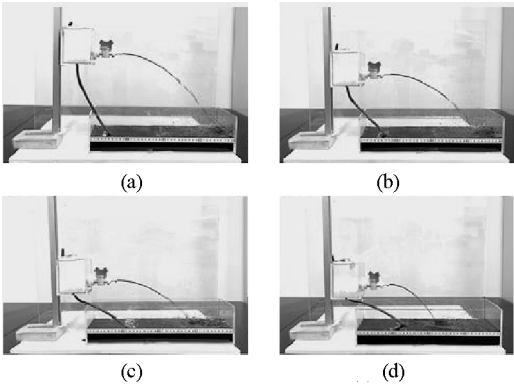


图9 不同高度平抛运动轨迹的演示

3.6 验证平抛运动轨迹是抛物线

同实验1,用白板笔在透明有机玻璃板背面的坐标纸上标记水流喷出的初始位置,并建立直角坐标系.透过有机玻璃板,参考水柱的流动曲线,任意选取如表4所示的多个点.如图10所示,利用 Origin 软件绘制散点图,使用软件已有函数 $y=axb$ 进行模拟,拟合得到参数 $a=0.544, b=1.97$.拟合函数与二次函数极为接近,所以证实平抛运动轨迹是抛物线.

表4 实验选取点的坐标

cm		
(3.21,0.55)	(5.56,1.61)	(6.74,2.33)
(8.91,3.81)	(13.82,9.77)	(14.37,10.55)
(16.25,13.01)	(18.44,17.51)	(20.18,20.11)
(22.03,24.67)	(23.75,28.31)	(26.31,33.01)

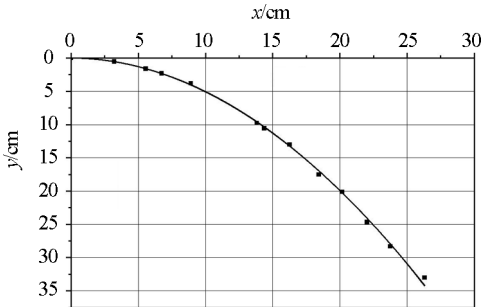


图10 Origin 拟合平抛运动轨迹

4 多功能平抛运动实验装置的优势

(1) 利用电磁铁电路的通断,控制平抛运动小

POE 和 PBL 教学策略下的物理实验探究

——以楞次定律为例

柳 佳

(苏州中学园区校高中部 江苏 苏州 215000)

(收稿日期:2023-04-23)

摘 要:很多教师在“探究影响感应电流方向的因素”实验中对于如何有效引导学生提出感应电流磁场这一概念,归纳形成简洁的、具有普遍意义的结论心存疑惑.在 POE 教学策略和 PBL 问题导向下,从物理规律出发,巧妙改进教材中实验情境,利用力学知识,深度分析楞次定律的内涵本质.

关键词:楞次定律;POE 教学策略;PBL 问题导向

1 问题的提出

物理教学不能仅限于学生获得知识,也应重视物理课程对学生物理学科核心素养的培养.应将“物理观念”“科学思维”“科学探究”等落实于教学活动中^[1].但在实际的物理教学中,特别是对于探究性实验的内容,部分教师不探究,直接给出结论;部分教师“假”探究,只是按照教材的既定步骤讲述一遍,没有把注意力集中在以学生为主体,让学生萌发问题、观察现象、收集信息、处理数据等,从而运用逻辑

推导和现有知识进行科学论证和解释,违背了核心素养的要求.

2 POE 和 PBL 的概念

POE 是 Predict-Observe-Explain 的缩写.它是从学生理解科学的探究方法中演化而来,建立在“观察渗透”理论哲学观念和建构主义、前概念、概念转变等教育理论基础上的的一种教学策略.该策略的基本程序是创设情境、学生预测、演示观察、(教师引导)学生解释.

球和匀速直线运动小球运动的同时性,从视觉和听觉获取信息,探究平抛运动水平方向的分运动.

(2) 持续水平喷射的细小水柱替换小球,实现平抛运动轨迹的持续性演示,并结合运动学规律,定量讨论了平抛运动竖直方向的分运动.

(3) 调整出水开关和滑块高度,能够演示不同初速度和不同高度平抛运动轨迹的变化,通过现象的分析,加深学生对平抛运动规律的认识.

(4) 透过有机玻璃板,参考水柱的轨迹,可以便捷地选取坐标,绘制平抛运动轨迹.

5 结束语

实验器具的改进与开发总是针对教学主题或教学内容,利用生活与社会资源设计的物理实验总体上要适合实际课堂教学,利用人的感官直接感知或借助技术手段能够间接接触感知物理现象,辅助抽

象物理概念和规律的建构整合.开展教具的设计与制作,不仅能够提升教师的知识水平、创新思维、专业素养,而且通过自制教具开展课堂教学,能够打造出具有特色的教学环境,通过立体、直观的实验现象有效激发学生的科学探究欲望,拓展物理学习视野,助推物理学科核心素养发展.

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版 2020 年修订)[S].北京:人民教育出版社,2020.
- [2] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.普通高中教科书物理必修第二册[M].北京:人民教育出版社,2020:10-13.
- [3] 彭钟樊,代伟,邹勤,等.多功能平抛运动演示仪[J].物理通报,2019(1):79-81.
- [4] 赵星宇.多功能光学与平抛演示仪[J].物理通报,2023(5):87,92.
- [5] 焦政翰,田建民,田博雅.多功能遥控式惯性现象演示装置的设计与教学实践[J].中学物理,2023,41(8):58-60.