

DIS 实验探究弹簧振子系统中的机械能守恒定律

曹政 倪敏 张悦 李天发 徐小林 韩唯伟

(上海师范大学数理学院 上海 200234)

(收稿日期:2016-05-19)

摘要:介绍一种用 DIS 研究机械能守恒定律的实验方法,不仅为验证机械能守恒提出了一种新的方法——振动法,也从物体动能、重力势能和弹性势能三者相互转化的角度验证机械能守恒,更全面地阐明了机械能守恒的条件,加深学生对机械能守恒定律的理解.

关键词:机械能守恒 DIS 实验 弹性势能

1 引言

机械能守恒定律是一条重要的物理定律,是人教版高中《物理·必修2》第七章第8节的内容.传统的实验采用打点计时器的验证方式,这个方式中打点计时器与限位孔及振针存在一定误差问题^[1]. DIS 实验具有灵敏度高,精确性高等优点.验证机械能守恒定律的 DIS 实验有很多方法,如摆球法、斜轨法、光栅法等.传统的实验和其他用 DIS 验证机械能守恒定律的方法有很多,但都存在一定局限性,都是通过动能和重力势能的转化来验证机械能守恒的^[2].机械能守恒定律是指在只有重力或弹力做功的系统内,动能与势能可以互相转化,而总的机械能保持不变.实际上,机械能守恒也可以是动能、重力势能、弹性势能三者之间的转化.类似于自由落体等重力做功的物理模型在学生的脑海中容易产生和形成,也根深蒂固.这种验证方式容易让学生以为机械能守恒定律仅限于重力做功,从而忽视弹力做功.该问题若在传统的实验中改进,将产生实验数据不便于测量等问题.因此,笔者设计了动能、重力势能、弹性势能三者之间相互转化的 DIS 实验来进行改进^[3].

2 实验器材

朗威 DISLab(光电门、力传感器和数据采集器)1套,计算机1台,铁架台1套,轻质弹簧1个,细线1根,砝码1个,透明塑料尺1把.实验装置示意图如图1所示.

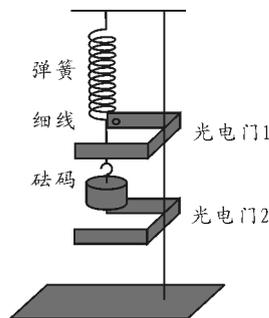


图1 实验装置示意图

3 实验原理

机械能包括动能 E_k 和势能,势能又包括重力势能 E_p 和弹性势能 E_p' . 弹簧和一重物悬挂后,在弹性限度内竖直方向往复振动,系统只有重力或弹力做功,满足机械能守恒定律,系统的机械能为 $E = E_k + E_p + E_p'$. 机械能守恒定律的表达式是 $E_2 = E_1$, 即系统的机械能守恒表达式为

$$E_{k2} + E_{p2} + E_{p2}' = E_{k1} + E_{p1} + E_{p1}'$$

如图1所示,将两个光电门固定在铁架台上,将弹簧的上端固定,下端系一根带有砝码的细线,使砝

作者简介:曹政(1988-),男,在读研究生,学科教学(物理)专业.

指导教师:倪敏(1960-),女,副教授,主要从事物理教育和物理实验研究.

码位于两个光电门的激光孔之间. 当砝码竖直方向振动时, 弹簧和砝码构成的系统机械能守恒. 机械能守恒的初末状态为砝码经过光电门的两个时刻. 记录砝码通过两个光电门的时间 t_1 和 t_2 , 测量砝码的厚度 d , 从而算出初末时刻的速度 $\frac{d}{t_1}$ 与 $\frac{d}{t_2}$, 进而算出砝码的动能. 选定下端光电门中激光孔所在的水平面为零势面, 通过测量两个光电门激光孔之间的距离 h , 计算出砝码经过上端光电门时刻所具有的重力势能 $E_p = mgh$. 先通过 DIS 实验测量出弹簧的劲度系数 κ , 再通过测量弹簧初末时刻的拉伸长度来计算弹簧的弹性势能 $E_p' = \frac{1}{2}\kappa x^2$, 弹簧选择轻质弹簧, 这里忽略弹簧的重力势能和动能. 要验证的机械能的表达式整理后为

$$E_{k2} + E_{p2} + E_{p2}' = E_{k1} + E_{p1} + E_{p1}'$$

式中 E_k 表示砝码的动能, E_p 表示砝码的重力势能, E_p' 表示弹簧的弹性势能.

由于重物小球很难精确做到小球直径恰好通过光电门的红外线发射孔, 笔者采用圆柱形砝码进行实验, 以减小实验误差. 同时, 用一根细线将砝码和弹簧相连, 来避免弹簧经过光电门影响数据采集.

将砝码在适当高度释放, 确保砝码在竖直方向上下振动, 开始采集数据. 让砝码在光电门之间, 做往复运动. 通过添加公式, 计算砝码的动能、重力势能, 弹簧的弹性势能, 求出总的机械能. 从实验结果上, 根据系统的初末状态的机械能, 验证机械能守恒定律.

4 实验过程

(1) 在验证机械能守恒定律之前, 利用朗威 DISLab 胡克定律实验测量弹簧的劲度系数, 弹簧劲度系数如表 1 所示.

(2) 将朗威 DISLab 机械能守恒实验器材按图 1 安装好, 把两个光电门固定在铁架台上后, 并接入数据采集器的第一通道和第二通道.

(3) 将砝码通过细线悬挂在弹簧下端, 调整细线的长度, 使砝码处于两个光电门之间.

(4) 调整光电门或砝码位置, 确保砝码可在光电门的激光孔之外上下往复振动.

(5) 打开“计算表格”, 点击“自动记录”中的“开始”, 将砝码在适当高度释放, 确保在砝码竖直上下

振动过程中, 满足振动的最高点时, 砝码的最低点高于光电门 1 的激光孔, 同时在振动的最低点, 砝码的最高点低于光电门 2 的激光孔. 否则清除数据, 重复步骤(5).

(6) 点击“变量”, 分别定义“ m ”表示砝码质量, “ h ”表示两个光电门激光孔之间的距离, “ x_1 ”表示砝码在经过光电门 1 时弹簧的拉伸量, “ x_2 ”表示砝码在经过光电门 2 时弹簧的拉伸量, “ d ”表示砝码的厚度, “ κ ”弹簧的劲度系数.

(7) 点击“公式”, 输入 $v_1 = \frac{d}{t_1}$, 表示砝码经过光电门 1 时的速度; 输入 $v_2 = \frac{d}{t_2}$, 表示砝码经过光电门 2 时的速度; 输入 $E_{k1} = 0.5mv_1^2$, 表示砝码在光电门 1 位置时的动能; 输入 $E_{k2} = 0.5mv_2^2$, 表示砝码在光电门 2 位置时的动能; 输入 $E_{p1}' = 0.5\kappa x_1^2$, 表示砝码在光电门 1 位置时, 弹簧的弹性势能; 输入 $E_{p2}' = 0.5\kappa x_2^2$, 表示砝码在光电门 2 位置时, 弹簧的弹性势能; 输入 $E_1 = E_{p1}' + E_{k1} + 9.794mh$, 表示在光电门 1 时, 系统的机械能; 输入 $E_2 = E_{p2}' + E_{k2}$, 表示在光电门 2 时, 系统的机械能; 输入 $n = \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2}$, 表示相对

误差. (注: 上海地区重力加速度 $g = 9.794 \text{ N/kg}$)

5 实验结果及分析

5.1 弹簧劲度系数实验结果

利用拉伸法验证机械能守恒实验中所用到的轻质弹簧的劲度系数(公式 $\kappa = \frac{F_1}{x}$). 实验数据如表 1 所示, 从表中可得 κ 的平均值 $\bar{\kappa} = 8.4476 \text{ N/m}$.

表 1 弹簧劲度系数实验数据

计算表格	F_1/N	x/m	$\kappa/(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$
1	0.64	0.80	8.000 0
2	0.82	0.10	8.200 0
3	0.99	0.12	8.250 0
4	1.18	0.14	8.428 6
5	1.37	0.16	8.562 5
6	1.56	0.18	8.666 7
7	1.74	0.20	8.700 0
8	1.93	0.22	8.772 7
平均值			8.447 6

5.2 验证机械能守恒实验结果

通过光电门测量砝码经过光电门所用的时间 t_1, t_2 以及“变量”砝码质量 m , 两个光电门激光孔之间的距离 h , 砝码在经过光电门 1 时弹簧的拉伸量 x_1 , 砝码经过光电门 2 时弹簧的拉伸量 x_2 , 砝码的厚度 d 如表 2 所示.

添加的“公式”: 砝码经过光电门 1 时的速度 v_1 , 砝码经过光电门 2 时的速度 v_2 , 砝码在光电门 1 位置时的动能 E_{k1} , 砝码在光电门 2 位置时的动能 E_{k2} , 砝码在光电门 1 位置时弹簧的弹性势能 E'_{p1} 、砝码在光电门 2 位置时弹簧的弹性势能 E'_{p2} , 光电门 1 时系

统的机械能 E_1 , 在光电门 2 时系统的机械能 E_2 以及相对误差 n 如表 3 所示.

表 2 各变量的实验结果

t_1/s	t_2/s	m/kg	h/m	x_1/m	x_2/m	d/m
0.053 43	0.056 03	0.0505	0.035	0.045	0.080	0.014
0.057 72	0.079 42					
0.053 68	0.067 04					
0.049 08	0.065 26					
0.065 31	0.070 15					
0.055 09	0.065 40					

表 3 数据计算结果

$v_1/(m \cdot s^{-1})$	$v_2/(m \cdot s^{-1})$	E_{k1}/J	E_{k2}/J	E'_{p1}/J	E'_{p2}/J	E_1/J	E_2/J	n
0.262 0	0.249 9	0.001 7	0.001 6	0.008 4	0.002 64	0.027 4	0.028 0	-0.021 7
0.242 6	0.176 3	0.001 5	0.000 8			0.027 2	0.027 2	0.000 0
0.260 8	0.208 8	0.001 7	0.001 1			0.027 4	0.027 5	-0.003 6
0.285 2	0.214 5	0.002 1	0.001 2			0.027 8	0.027 6	0.007 2
0.214 4	0.199 6	0.001 2	0.001 0			0.026 9	0.027 4	-0.018 4
0.254 1	0.214 1	0.001 6	0.001 2			0.027 3	0.027 6	-0.010 9

5.3 实验分析

根据表 3 中的数据, 可得出机械能的损失仅在 $0 \sim 2.17\%$ 之间. 计算相对误差 n 的平均值, 得平均相对误差 $\bar{n} = -0.79\%$, 控制在 $-1\% \sim 1\%$ 以内^[4].

实验中, 把系统机械能的表达式用 $E_{\text{机械能}} = E_{k\text{砝码}} + E_{p\text{砝码}} + E_{p\text{弹簧}}$ 来表示, 这本身就存在着近似, 忽略弹簧的动能和势能, 也或者可以近似地认为弹簧运动过程中的动能和势能之和保持不变; 在实际操作中, 近似地认为弹簧竖直上下振动. 因此, 实验的误差主要来源于这两个近似, 分析可知:

(1) 弹簧存在一定的动能和势能, 同时, 砝码在运动到平衡位置以上时, 动能、重力势能成反变关系可以近似为之和保持不变, 但当砝码运动到平衡位置以下时, 动能减小, 重力势能仍然减小, 则不可这样近似. 但是实验中弹簧为轻质弹簧, 弹簧的动能计算有些复杂, 且实验的误差小于 1% , 实验也达到了利用三者能量转化相对地验证机械能守恒定律的目的.

(2) 实际操作中, 很难保证弹簧竖直上下振动,

所以实验中要求操作人员, 多次实验选取实验较为准确的数据, 同时在实验过程中也要注意观察, 防止实验数据产生较大误差的同时也要保护好光电门.

6 结束语

从实验结果上可以看出, 用振动法验证机械能守恒的 DIS 实验全面地验证了动能、重力势能、弹性势能三者之间的能量守恒关系. 本次实验在验证了机械能守恒定律的同时, 完整地应和了机械能守恒定律的概念, 加深了学生对于机械能守恒定律的含义和适用条件的理解^[5]. 实验也提出了验证机械能守恒定律的一种新方法, 更好地发挥出了 DIS 实验的优势, 对促进学生的思维能力和培养学生探究能力起到重要作用. 本实验的研究对象和以往的实验也有所不同, 不再是单一的重物, 而是用重物和弹簧的系统进行分析, 在实验设计上也提出了一种新的思路^[6].

(下转第 78 页)

5 结束语

本文介绍了北京科技大学天津学院大学物理实验教学管理系统的设计需求、总体结构设计、模块和功能设计、网页设计等。该系统从2014年9月份开始筹划,经过一年多的设计研究,现在已基本开发完成,并进入了实际的测试运行阶段。系统共设有普物实验教学系统、演示实验教学系统、实验成绩管理系统、开放预约系统、实验论坛等5个主要的功能模块,基本满足了学生进行预习、复习、预约实验、查询信息、下载资料,教师进行成绩管理、答疑、发布信息等各用户的需求。它具有网络化、智能化、高性能、低维护、界面友好、操作简单、功能强大、管理方便、平台优秀等一系列的优点,能够完全按照开发设计的初衷,稳定、安全、快速地运行于校园局域网之上,实现了校园网内的任意计算机都能进行物理实验信息的查询、下载、打印,实验预约、成绩管理、师生互动等操作,访问相关信息。

大学物理实验教学管理系统的设计开发实现了以下功能:(1)通过系统平台,实现了教学资源共

享,有效缓解了仪器设备有限和学生学习需求之间的矛盾;使更多的学生不受时间和空间的限制进行学习,有效扩大学生的受益面,实现教学内容、空间、时间、人员、设备等的高效利用。(2)解决了教学过程中学生预习难、复习难、教师成绩管理难等问题。(3)实现了教学管理的信息化、规范化、系统化,达到了改善实验教学效果和提高管理效率的目的,更好地满足了开放式实验教学的需求。

参考文献

- 1 谭佐军,卢军,谢静,等.中心开放式大学物理实验教学管理系统的设计.大学物理实验,2013,26(5):118~121
- 2 王墨林,罗乐.“大学物理实验”网络教学系统的设计,实验室研究与探索.2012,31(12):140~144
- 3 赵龙.大学物理实验教学与管理系统的研究.信息系统工程,2012(1):145~146
- 4 谭司庭,何毅,徐富新.大学物理实验教学辅导系统的开发设计.物理实验,2012,32(9):18~21
- 5 庄发文.实验教学管理系统的主要功能及实现.长春理工大学学报,2012(8):137~139
- 6 何玉洁.数据库原理与应用.北京:机械工业出版社,2003.120~138

Development and Design on the *Teaching Management System of University Physics Experiment*

Bi Huiying Xu Meilin Xu Yishuang Cai Guishuang Zhang Xin Zhang Sujie Li Hui

(Tianjin College, University of Science and Technology Beijing, Tianjin 301830)

Abstract: The research on the teaching management system of college physics experiment is based on the physics experiment teaching management needs of Tianjin college, university of science and technology Beijing. The purpose is that sharing teaching resource and achieving information management. With the establishment of the system platform, the difficult problem of preview, review and management in the experimental teaching process are resolved. Consequently, teaching effect and management efficiency are improved. In this paper, the author conclude the results on system design requirements, overall structure design, function design and web design.

Key words: college physics experiment; teaching management; system design; research

(上接第73页)

参考文献

- 1 冯克诚.中学物理实验改进设计与规范操作实用全书.北京:中国对外翻译出版公司,1999.1388
- 2 潘志民.DIS实验对“摩擦力”一节教学的帮助.物理教师,2011,32(8):38
- 3 马丽娜.DIS验证恒力做功的动能定理及其改进.中学物

理教学参考,2015,44(10):95

- 4 孟小兵.DIS技术与传统实验的结合——机械能守恒定律的实验教学.物理教学探讨,2011,29(9):53
- 5 王剑.DIS实验探究教学初探——机械能守恒的教学设计.物理教师,2009,30(11):42
- 6 孙广铭,唐根宝.用DIS验证机械能守恒定律.教学仪器与实验,2015,31(1):59