

# DIS 辅助验证牛顿第二定律并分析 $a - F$ 图像的误差率

陈鸿翔

(湖州市菱湖中学 浙江 湖州 313018)

(收稿日期:2019-01-09)

**摘要:**在 DIS 实验平台下,对于  $M$  与  $m$  的倍数关系与  $a - F$  图像相对误差之间的联系进行分析探讨,作出不同的  $M$  与  $m$  倍数关系下的  $a - F$  图像,并从图像中获取小车质量的实验值  $M'$ ,且与实际小车质量  $M$  进行比较,同时作出质量的相对误差率  $\eta$  与  $M$  与  $m$  倍数关系的图线,并得出结论.

**关键词:**牛顿第二定律 Excel 图表  $a - F$  图像 相对误差率

## 1 实验装置平衡摩擦力

安装好力学轨道,调节 T 型支撑架端的轨道高度,并将 20 mm 宽的 I 型挡光片安装在小车上,调节光电门传感器的位置,使其左右位置和上下位置合适,如图 1 所示.



图 1 调节好的力学轨道与光电门传感器、小车

将小车放置到轨道的不带滑轮的一端,轻推小车,观察小车通过两个光电门的挡光时间,当发现两时间非常接近(如图 2 所示),则说明已经平衡摩擦力.

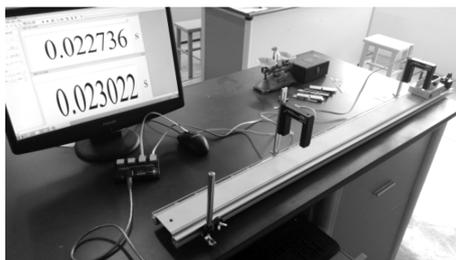


图 2 小车通过两个光电门的挡光时间

## 2 测量传感器无法采集的实验数据

实验当中所用到的器材如图 3 所示,其中牵引

小车的小桶质量  $m_0$ , 小车质量  $M$ , 两个光电门之间的距离  $l$  均无法利用传感器读出,因此,需要在实验当中利用天平与刻度尺加以测量并记录在表 1 中.其中配重片的质量每片约为 50 g,可在具体使用时再用天平测量.



图 3 本实验所用到的实验器材

表 1 实验数据测量结果

序号	物理量代号	测量结果	使用的仪器(工具)
1	$m_0$	6.2 g	天平
2	$M$	101.8 g	天平
3	$l$	60.00 cm	轨道刻度尺

## 3 实验的具体操作

将两个光电门依次接在采集器的 1,2 通道,将采集器连接电脑,设置相关参数,然后依次在小桶中增加砝码,利用细绳牵引小车在轨道上运动,并在通用软件界面下,用计算表格记录实验数据,在计算表格中,增加所需要的变量,并输入已知的和表格 1 中需要直接测量的数据,如图 4 所示.

计算表格	$t_1$	$t_2$	遮光片宽度 $d$	两个光电门距离 $l$	小车质量 $M$	砝码质量 $m$
1	0.118 528	0.048 128	0.02	0.6	0.898 1	0.011 2
2	0.097 046	0.039 140	0.02	0.6	0.898 1	0.016 2
3	0.089 830	0.034 990	0.02	0.6	0.898 1	0.021 2
4	0.077 034	0.031 132	0.02	0.6	0.898 1	0.026 2
5	0.072 248	0.028 850	0.02	0.6	0.898 1	0.031 2
6	0.069 234	0.027 058	0.02	0.6	0.898 1	0.036 2

图4 计算表格记录数据采集器的数据以及输入的变量  
将计算表格中采集到的实验数据导入 Excel 表

格当中,利用计算公式,分别计算出不同砝码牵引下的细绳拉力  $F$  (取当地重力加速度  $g = 9.794 \text{ m/s}^2$ ) 与之对应的小车加速度  $a$ 。

#### 4 数据处理与分析

在小车上增加配重片,使小车质量  $M$  达到约为砝码与砝码桶  $m$  最大质量的 5 倍。取小车质量  $M = 0.1818 \text{ kg}$ ,记录数据如表 2 所示。

表2 增加配重片测量实验数据

计算表格	$t_1/s$	$t_2/s$	$d/m$	$l/m$	$M/kg$	$m/kg$	$a/(m \cdot s^{-2})$	$F/N$
1	0.058 260	0.023 830	0.02	0.6	0.181 8	0.011 2	0.488 783 997	0.109 693
2	0.054 484	0.019 868	0.02	0.6	0.181 8	0.016 2	0.732 153 279	0.158 663
3	0.050 034	0.017 550	0.02	0.6	0.181 8	0.021 2	0.949 090 113	0.207 633
4	0.043 976	0.015 888	0.02	0.6	0.181 8	0.026 2	1.148 141 417	0.256 603
5	0.039 822	0.014 452	0.02	0.6	0.181 8	0.031 2	1.385 763 126	0.305 573
6	0.036 688	0.013 656	0.02	0.6	0.181 8	0.036 2	1.539 795 425	0.354 543

根据表格中的数据可以作出当

$$\frac{M}{m} = \frac{0.1818 \text{ kg}}{0.0362 \text{ kg}} = 5.02$$

时小车加速度  $a$  与小车受到拉力  $F$  的图像关系如图 5 所示,并给图线添加线性趋势线同时显示趋势线方程。

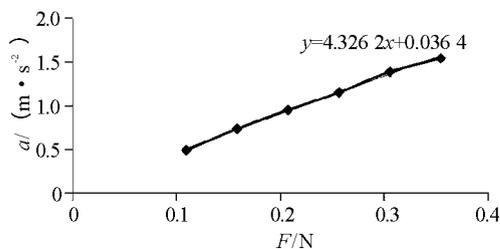


图5 小车质量  $M$  是砝码最大质量  $m$  的 5 倍时的  $a-F$  图

通过趋势线性方程的斜率  $k = 4.3262$  可以获得小车质量的实验值为  $M' = 0.231 \text{ kg}$ ,将获得的小车质量的实验值代入到质量的相对误差率的公式当中,可得到在小车质量  $M$  是砝码最大质量  $m$  的 5 倍条件下的相对误差率

$$\eta = 27.15\%$$

可见为了提高本实验的精确度,需要加大小车质量与砝码质量的倍数。因此,在实验过程中可以对小车质量  $M$  与砝码最大质量  $m$  的倍数取 10 倍、15 倍、20 倍、25 倍关系下的  $a-F$  图像。在实验过程中可以通过增减小车上的配重片来改变小车的质量  $M$ ,并在不同的倍数关系下进行多次实验,从而记录下多组数据如表 3 所示。

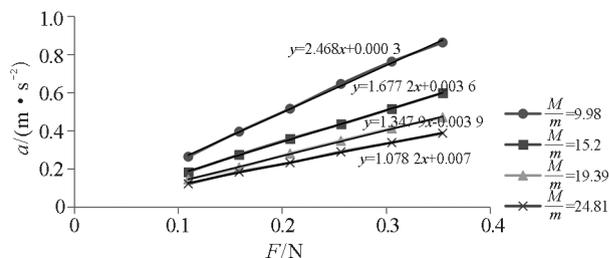
表3 改变小车质量与砝码质量的倍数实验数据

$\frac{M}{m}$	计算表格	$t_1/s$	$t_2/s$	$d/m$	$l/m$	$M/kg$	$m/kg$	$a/(m \cdot s^{-2})$	$F/N$
9.98	1	0.117 352	0.034 100	0.02	0.6	0.361 2	0.011 2	0.262 457	0.109 693
	2	0.075 280	0.027 128	0.02	0.6	0.361 2	0.016 2	0.394 123	0.158 663
	3	0.065 202	0.023 714	0.02	0.6	0.361 2	0.021 2	0.514 339	0.207 633
	4	0.059 888	0.021 260	0.02	0.6	0.361 2	0.026 2	0.644 544	0.256 603
	5	0.051 836	0.019 400	0.02	0.6	0.361 2	0.031 2	0.761 621	0.305 573

续表

$\frac{M}{m}$	计算表格	$t_1/s$	$t_2/s$	$d/m$	$l/m$	$M/kg$	$m/kg$	$a/(m \cdot s^{-2})$	$F/N$
15.2	1	0.104 414	0.039 500	0.02	0.6	0.550 3	0.011 2	0.183 066	0.109 693
	2	0.099 402	0.032 960	0.02	0.6	0.550 3	0.016 2	0.273 099	0.158 663
	3	0.073 884	0.028 266	0.02	0.6	0.550 3	0.021 2	0.356 143	0.207 633
	4	0.069 014	0.025 750	0.02	0.6	0.550 3	0.026 2	0.432 733	0.256 603
	5	0.062 950	0.023 590	0.02	0.6	0.550 3	0.031 2	0.514 877	0.305 573
19.39	1	0.146 292	0.045 834	0.02	0.6	0.701 8	0.011 2	0.143 098	0.109 693
	2	0.112 068	0.037 854	0.02	0.6	0.701 8	0.016 2	0.206 083	0.158 663
	3	0.097 222	0.032 562	0.02	0.6	0.701 8	0.021 2	0.279 116	0.207 633
	4	0.080 644	0.028 968	0.02	0.6	0.701 8	0.026 2	0.345 975	0.256 603
	5	0.076 752	0.026 710	0.02	0.6	0.701 8	0.031 2	0.410 646	0.305 573
24.81	1	0.118 528	0.048 128	0.02	0.6	0.898 1	0.011 2	0.120 181	0.109 693
	2	0.097 046	0.039 140	0.02	0.6	0.898 1	0.016 2	0.182 196	0.158 663
	3	0.089 830	0.034 990	0.02	0.6	0.898 1	0.021 2	0.230 956	0.207 633
	4	0.077 034	0.031 132	0.02	0.6	0.898 1	0.026 2	0.287 755	0.256 603
	5	0.072 248	0.028 850	0.02	0.6	0.898 1	0.031 2	0.336 626	0.305 573

将记录的数据导入 Excel 图表当中,利用散点图功能,可作出不同  $\frac{M}{m}$  值下小车的加速度与受力的  $a-F$  图像,如图 6 所示。

图6 不同  $M$  与  $m$  比值下小车的  $a-F$  图像

在图像当中添加各条图线的趋势线方程,并从

各条趋势线方程的斜率当中获得小车质量的实验值  $M'$ ,并和小车质量的实际值  $M$  代入到质量相对误差率  $\eta$  的公式中计算出相对误差率,将记录的数据与计算得到的结果记录到表 4 中。

根据表格 4 的数据作出  $\eta - \frac{M}{m}$  图像如图 7 所示。

从图像明显可以看到  $\frac{M}{m} = 5$  与  $\frac{M}{m} = 10$  相比,图线的纵向变化趋势非常明显,且变化幅度很大,甚至超过  $\frac{M}{m} = 10$  到  $\frac{M}{m} = 25$  的总的变化幅度,而从  $\frac{M}{m} = 10$  到  $\frac{M}{m} = 25$  的图像纵向变化的趋势相对变缓,幅度也较小,说明相对误差率  $\eta$  的变化也基本趋于稳定。

表4 相对误差率结果

计算表格	$M/m$	斜率 $k/(kg^{-1})$	$M/kg$	$M'/kg$	$\eta/\%$
1	5.02	4.326 0	0.181 8	0.231 160	27.15
2	9.98	2.468 0	0.361 2	0.405 186	12.17
3	15.20	1.667 2	0.550 3	0.599 808	9.00
4	19.39	1.347 9	0.701 8	0.741 895	5.71
5	24.81	1.078 2	0.898 1	0.927 472	3.27

(下转第 118 页)

从图中可以看出,小车体积小,结构紧凑,制作成本低,并且可以稳定地悬浮在导轨中央,是一款比较好的展现电磁感应原理的实验教具。

### 3 结论

本文利用电磁感应基本原理设计了一款采用 Arduino UNO 作为控制中心,用手机 App 遥控的可控磁悬浮小车。采用 Vizimag 模拟电磁软件建立模型,利用普通长条磁铁、钕铁硼磁铁和黑磁铁层叠结构使小车稳定悬浮 8 mm,减小了小车在运行中的阻力;利用 PID 算法调节电流信号大小和方向,保证了小车始终位于导轨正中央。这一款小车结构紧凑、制备成本低,可以用手机控制它的启动、停止、前进、后退和调速,是一款比较好的展现电磁感应原理的

实验教具。

### 参考文献

- 1 秦伟,范瑜. 磁悬浮机构的电磁机理研究:[硕士学位论文]. 北京:北京交通大学,2019
- 2 陆一娣. 磁悬浮列车的原理及应用. 现代物理知识, 2009,21(6):43~47
- 3 叶新羽. 高温超导磁悬浮在轨道交通中的研究和应用. 电工材料,2018(4):27~31
- 4 何颖卓,李春芝. 磁悬浮列车简介. 科技创新与应用, 2017(27):22~24
- 5 魏庆朝,孔永健,时瑾. 磁浮铁路系统与技术. 北京:中国科学技术出版社,2010
- 6 金鑫. 磁浮交通技术的发展及应用现状简述. 四川建筑,2018(38):73~75

## Design on Controllable Maglev Trolley Driven by Single Side Short Stator

Yuan Jian Hu Yutao Li Dongzhe Lin Ruihe Liang Yisen Xiao Peng

(School of Physics and Optoelectronic Engineering, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000)

**Abstract:** The oriented and controllable compact size maglev trolley with the levitated height of 8 mm is designed on the basis of electromagnetic induction principle. In the design, Arduino UNO acts as control center and PID algorithm controls the orientation, which allows easy implementation of the intelligent control for start, stop advance and retreat of the maglev trolley by a mobile App. The trolley manufacture is helpful to enhance student's comprehension for electromagnetic induction principle and motivate student's interest in the design of electro-optical production.

**Key words:** maglev; electromagnetic induction; short stator; intelligent control

(上接第 115 页)

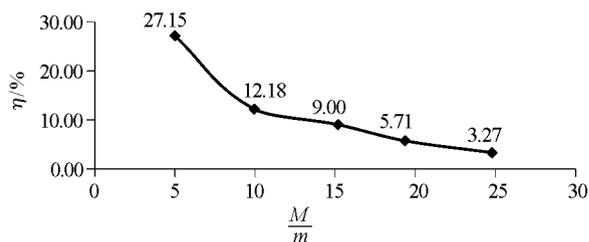


图7 小车质量相对误差率随倍数变化的关系图

### 5 结束语

从  $\eta - \frac{M}{m}$  图像可以发现,当小车质量  $M$  与砝码

质量  $m$  满足  $M \geq 10m$  的关系时,从  $a - F$  图像中,获得的小车质量的相对误差率趋向于稳定且变化幅度也较小。综上所述,我们可以在  $\frac{M}{m} = 10$  (该条件下便于进行实验操作) 时,进行实验操作,指导学生获取与处理实验数据,从而得出  $a \propto F$  与  $a \propto \frac{1}{m}$  的实验结论。

### 参考文献

- 1 谢杰妹,钱呈祥. “验证牛顿第二定律”的实验思想及误差来源刍议. 物理教学探讨,2013(9):66~68
- 2 孟宪松. 利用 Matlab 对“探究加速度与力、质量的关系”实验中  $m$ 、 $M$  取值的探讨. 物理教学探讨,2011(8):66~68