

物理实验



## 剖析实验干扰因素 培养科学探究能力\*

——以改进牛顿第二定律验证实验为例

项姿睿 孙宝印 徐亚东

(苏州大学物理科学与技术学院 江苏 苏州 215006)

(收稿日期:2021-05-08)

**摘要:**文章以牛顿第二定律验证实验为例,介绍了如何指导学生在实验中剖析影响实验测量结果的干扰因素,并提出消除这些干扰项的实验改进方案,以此来培养学生的科学探究能力,对在实验教学中促进学生核心素养的养成具有一定的参考意义。

**关键词:**探究能力 干扰因素 牛顿第二定律 空气粘滞力

实验是学生认知事物规律的重要过程,合理的实验设计是促使学生对实验原理进行更深层次的认识、培养学生实验技能与创新精神的关键。但是,往往实验中存在的某些“干扰因素”会对实验结果与学生的理解造成一定的误导,例如用示波器演示声现象时杂音对波形的干扰、测定金属比热容时环境温度对实验数据的影响等。

在实验教学中,教师不应回避这些“干扰因素”,而应当带领中学生进行分析并尝试改进实验,进而清除“干扰因素”的影响。由此在实验教学过程中培养中学生分析问题和解决问题的能力,为他们科研能力的高度发展打下基础。下面以“牛顿第二定律验证实验”为例,辨析传统实验中的“干扰因素”并详述得以促进学生科学探究能力培养的改进方案。

## 1 牛顿第二定律验证实验“干扰因素”分析

实验的改进建立在原有实验方案的基础上,因此实验教学初期教师应先带领学生打好实验理论基础并熟悉操作步骤,注意促成学生在此过程中由陈述性知识向程序性知识的转变。同时鼓励学生对实验进行记录与反思,带领学生思考实验中所存在的“干扰因素”及其影响。

验证牛顿第二定律的传统思想为验证物体的质

量  $m$  和加速度  $a$  的乘积与作用在物体上的合外力相等,实验的关键点在于精确求得物体的加速度与作用在物体上的合外力大小<sup>[1]</sup>。传统实验方案为:调整木板倾角平衡摩擦力;通过细绳连接在滑块上的小桶和砝码的总重力提供合外力;通过打点计时器测出滑块的位移和时间,进而得出其加速度。但由于小桶和砝码在运动过程中具有自身的加速度且小车运动过程中细线不能始终平行于木板,小车所受合外力不稳定,实验的系统误差较大。

为提高实验精度,对上述方案加以改进。以滑块沿斜面的重力分量充当稳定的合外力,利用数字化信息系统实验室(Digital Information System Laboratory,简称DISLab)快速求出该力的大小;用气垫导轨代替木板可以消除摩擦力的干扰,但仍需考虑空气粘滞力这一“干扰因素”对滑块的阻碍作用,设计空气粘滞力模型计算粘滞力对实验结果的影响因子,用该因子修正实验数据,提高精确性;同时基于DISLab技术“直观、简单、方便”的优势<sup>[2]</sup>,进而方便学生探究,提高教学效率。

## 2 基于DISLab的实验改进方案

### 2.1 实验装置

本实验的装置示意图如图1所示,系统由气垫

\* 苏州大学第二十三批大学生课外学术科研基金资助项目,项目编号:KY20210061A;湖北高校省级教学研究项目“金课视角下理论物理课程群建设与实践探索”,项目编号:2020660

导轨、滑块、DISLab 组成. 安装时将发射传感器 A 固定在滑块上, 接收传感器 B 固定在导轨上.

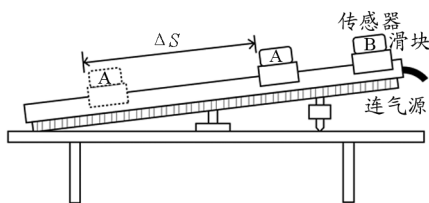


图1 实验装置示意图

DISLab 是由传感器、数据采集器、实验软件包和计算机构成的新型实验系统. 作为现代教育技术发展的产物, 与传统实验器材相比, 能够简化实验操作、加快数据采集与处理的速度并提高计算精度, 能够实现抽象理论形象化、实验过程生动化, 有助于促进学生对知识的理解和提升学生的现代化信息技术水平与数形分析能力<sup>[3,4]</sup>.

## 2.2 对位移传感器的认识

位移传感器是一种能够反映物体运动位置、速度和相应物理量随时间变化的测量工具, 能在极短的时间内获得大量的数据.

测量时, 传感器 A 向 B 发射一束持续时间较短的信号波, 该信号波由红外线与超声波构成, 二者在空气中分别以光速和声速传播. 由于光速远大于声速, B 先接收到红外信号, 此时软件开始计时, 而后在超声信号传到 B 时, 软件完成计时, 由此得到一组时间的数据. 经过短暂的时间间隔后, 发射器自动发射一束新的信号波, 进而得到多组数据.

软件对数据进行处理, 通过确定物体的初始位置与各时间段内位置的变化量, 即位移大小, 进而得到物体各时刻的位置. 除此之外, 由公式

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

可以算得物体在该时间段的平均速度, 因为测量时间间隔极短, 该速度可表示为瞬时速度.

令对一组信号波测得的时间为  $\Delta t$ , 则可得出该时间段内物体的位移  $\Delta S$  满足关系式

$$\frac{\Delta S}{v_{\text{声}}} - \frac{\Delta S}{c} = \Delta t \quad (1)$$

考虑到  $c \approx 3 \times 10^8$  m/s, 由此得到一组位移数据

$$\Delta S_1 \approx \Delta t_1 \times v_{\text{声}}$$

## 2.3 消除“干扰因素”的理论基础

较之于传统实验中的木板, 气垫导轨能消除滑块与导轨面之间的直接摩擦, 但空气对小车的粘滞阻力仍造成了一定的系统误差. 为提高实验的精确性, 需求得在一定实验环境中空气粘滞力对实验结果的影响程度并对结果进行修正.

当小车的速度较小时, 空气粘滞力与滑块的速度成正比关系, 阻力的大小随滑块速度变化而变化. 令导轨与水平面的夹角为  $\theta$ , 空气阻力系数为  $k$ , 小滑块的质量为  $m$ , 瞬时速度与加速度为  $v$  与  $a$ . 由牛顿第二定律可得关系式

$$ma = mg \sin \theta - kv \quad (2)$$

但由于气垫导轨的长度有限, 滑块在导轨上运动的速度和加速度都不是很大, 空气粘滞阻力比较小, 滑块的运动仍可以近似看成匀变速运动. 由此用平均值代替瞬时值<sup>[5]</sup>, 做出近似并整理如下

$$\bar{a} = g \sin \theta - \frac{k}{m} \bar{v} \quad (3)$$

让小车从一定倾角滑轨的不同初位置释放, 记录下小车通过两光电门的速度  $v_1$  和  $v_2$  与通过两光电门的时间间隔  $t_{12}$ , 则在该过程中小滑块的平均速度  $\bar{v}$  与平均加速度  $\bar{a}$  表示如下

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (4)$$

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_{12}} \quad (5)$$

通过对实验数据进行拟合可得到  $\bar{v}$  与  $\bar{a}$  之间的线性关系与相关系数, 通过此关系式可得空气粘滞力对实验结果的影响因子. 倾角不同时, 空气粘滞阻力对实验结果的影响基本相同, 因此结果可以用于不同的实验情况<sup>[5]</sup>.

在求得空气粘滞力对实验结果的影响因子后, 通过 DISLab 实验系统可快速获得滑块的加速度  $a$ , 测量不同斜面倾角下滑块的加速度并用影响因子对结果进行修正, 同时计算其沿斜面的合外力, 并做出  $a - F_{\text{合}}$  图像.

若图像经过坐标轴原点, 且对图像进行拟合后得出该图像的斜率近似等于滑块质量的倒数的大小, 即证得滑块在沿斜面方向的加速度正比于滑块

在该方向所受的合外力,且比值大小为滑块质量的倒数,由此验证牛顿第二定律

$$F_{\text{合}} = ma \quad (6)$$

### 3 实验过程及测量结果

#### 3.1 测定空气粘滞力影响因子

测定方法为:调整气垫导轨的倾角并用高精度坡度仪测量其大小,本次实验选取导轨倾角  $\theta_0 = 2.3^\circ$ ;根据导轨与小车的位置调整两光电门之间相距  $s$  约为 0.6 m 并将光电门接入数据采集器;打开通用软件,设置变量挡光片宽度  $l = 0.005 \text{ m}$ , 根据公

式(7)~(9)在软件中分别编写  $v_1, v_2, a$  的函数.

$$v_1 = \frac{s}{t_1} \quad (7)$$

$$v_2 = \frac{s}{t_2} \quad (8)$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_{12}} \quad (9)$$

接着,打开气垫导轨开关并点击“开始”键,释放小滑块,当小滑块通过第二个光电门后得一组数据,调整小滑块的释放高度,重复操作得到多组数据,点击“结束”键结束实验.实验系统操作界面如图2所示.

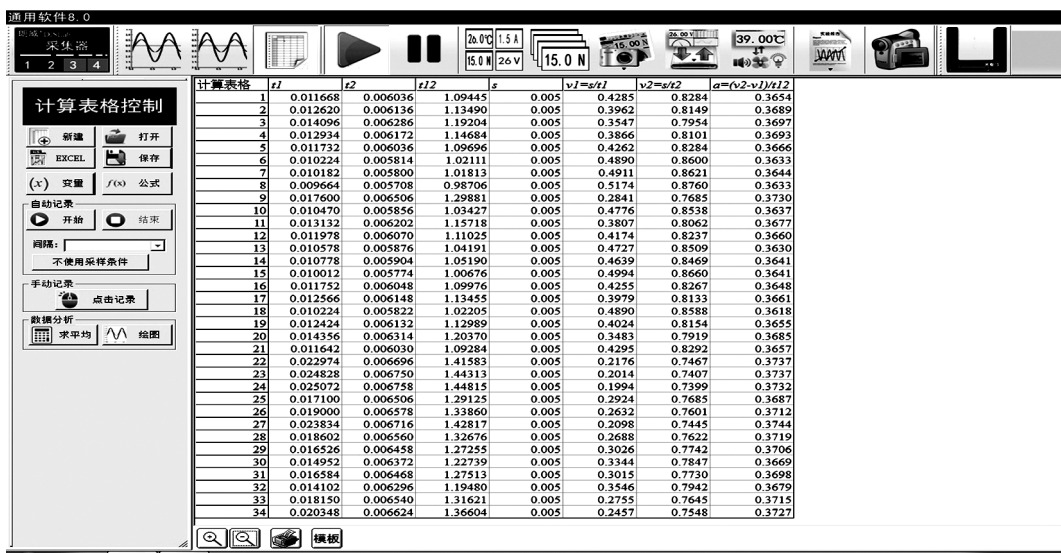


图2 测量小滑块平均速度与平均加速度

将数据导入 Excel 中,作  $\bar{a} - \bar{v}$  图像并进行拟合,

如图3所示,由此得趋势线方程

$$\bar{a} = -0.0499\bar{v} + 0.3972$$

$$\eta = \frac{0.0499\bar{v}}{0.3972} \times 100\% =$$

$$\frac{0.0499 \times 0.5908}{0.3972} \times 100\% = 7.30\% \quad (10)$$

由此可得若无空气粘滞力影响,滑块的加速度为实验测得值的 107.30%.

#### 3.2 验证牛顿第二定律

将滑块与信号接收器组合体的质量填入表格中;用高精度坡度仪测量导轨的角度并计算滑块所受的合外力,将数据填入表格;点击“开始记录”,释放滑块,当滑块通过第二个光电门后点击“结束记录”;点击“选择区域”选择符合线性关系的图像,此时加速度的数据自动出现在表格之中;多次改变导轨的倾斜程度并重复实验得到多组数据,如图4所示.

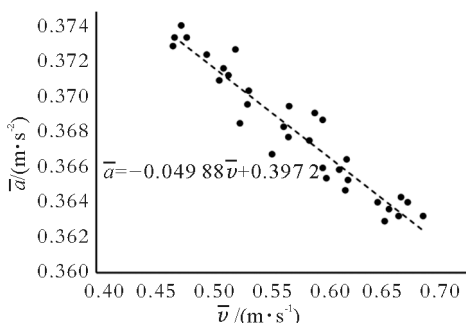
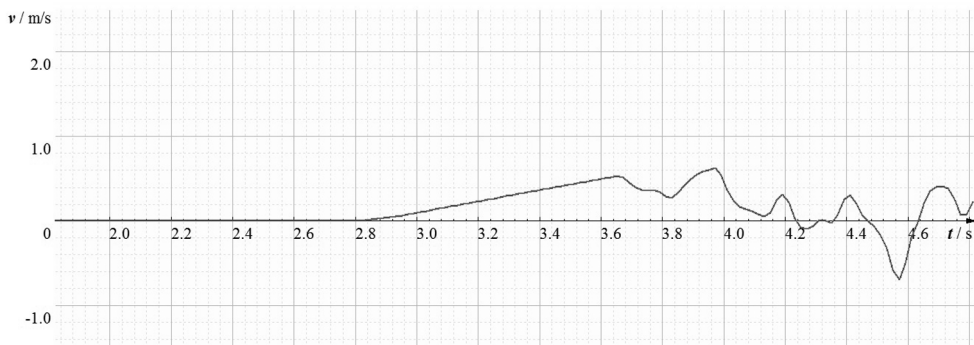


图3 图像及趋势线性方程

由于空气粘滞力的存在使实验结果偏小,代入实验测得所有平均速度的平均值,求出所测得加速度的平均偏小率  $\eta$  为

## 朗威®DISLab 牛顿第二定律



次数	1	2	3	4	5	6
力 $F/N$	0.0300	0.0450	0.0598	0.0750	0.0900	0.1199
质量 $m/kg$	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755
加速度 $a/m/s^2$	0.13	0.25	0.34	0.40	0.48	0.64

开始记录 停止记录 清除本次数据 选择区域  $a-F$  图像  $a-m$  图像  $a-\frac{1}{m}$  图像 返回

图4 DISLab系统实验操作界面

根据修正系数  $\eta$  对实验值进行修正得  $a_{\text{修正}}$ , 修

$$a_{\text{修正}} = a_{\text{原始}} \times 107.30\% \quad (11)$$

正公式如式(11)所示

所得实验值及修正值如表1所示.

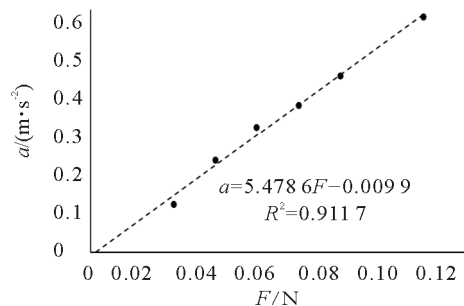
表1 实验数据处理

$F/N$	0.030 0	0.045 0	0.059 8	0.075 0	0.090 0	0.119 9
$a_{\text{原始}}/(m \cdot s^{-2})$	0.13	0.25	0.34	0.40	0.48	0.64
$a_{\text{修正}}/(m \cdot s^{-2})$	0.139 5	0.268 3	0.364 8	0.429 2	0.515 0	0.686 7

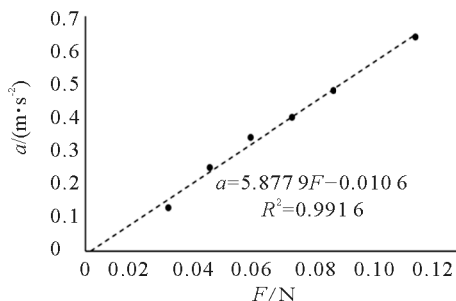
将原始实验数据进行拟合得图像如图5所示, 拟合方程为

$$a = 5.4786F - 0.0099$$

根据已知滑块质量得到质量倒数为 5.869, 拟合方程的斜率与滑块质量的倒数之间的偏差为 7.13%, 置信度为 0.9117.

图5 Excel拟合原始  $a-F$  图像

信度为 0.9916). 拟合直线的斜率与质量倒数之间的偏差为 1.52%, 由此可得, 图像斜率与小车质量的倒数近似相等, 即证得牛顿第二定律. 与修正“干扰因素”前的实验结果相比, 改进方案的标准偏差降低了 5.61%.

图6 Excel拟合修正后的  $a-F$  图像

将修正后的数据导入 Excel 表格中进行拟合, 得到  $a-F$  图如图6所示; 图像近似经过原点, 趋势线方程  $a = 5.8779F - 0.0106$ , 具有很高的置信度(置

## 4 总结

教师在传统实验方案的基础上, 带领学生分析实验“干扰因素”并尝试改进实验, 能有效地培养学



# 自制云室观察射线径迹

梁振华

(德清县第一中学 浙江 湖州 313200)

(收稿日期:2021-03-27)

**摘要:**自制云室利用上端恒温加热板和底部制冷片在温室内建立较大的温差,能够在短时间快速形成过饱和蒸气层,而且可以长时间观察,整个装置一体化设计,操作时只需加入酒精和放射源,一键开机后短时间内就可以观察到射线的径迹,使用实际生活中的相关物品作为辐射源,观察射线径迹.

**关键词:**自制云室 射线径迹 观察

如图1所示,云室由英国科学家威尔逊发明,它通过产生过饱和蒸气来观测带电粒子的径迹,由于其采用绝热膨胀的方式来产生过饱和蒸气,操作复杂,观察时间短,并且无法连续工作.

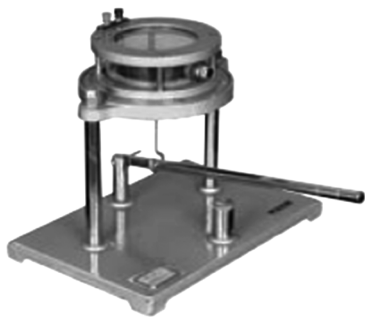


图1 威尔逊云室

本装置利用温差产生过饱和蒸气,通过高温端产生酒精蒸气,低温端将蒸气冷却到过饱和状态,而带电粒子穿过过饱和酒精蒸气空间时,会在其运动路径将酒精蒸气凝结为液滴从而可以被观察到.根据这一原理,设计并制作出了高低温扩散云室,并使

用实际生活中的相关物品作为发射源,观察射线径迹.

## 1 原理

云室主要类型有膨胀型云室和扩散型云室,都是通过产生过饱和蒸气来观察带电粒子,不同的是,膨胀型云室是用机械方法使得容器内气体体积瞬间绝热膨胀,从而得到过饱和蒸气;而扩散型云室内的顶部温度较高,底部温度较低,蒸气从顶部高温端向底部低温端扩散时,会在底部附近形成过饱和蒸气.当带电粒子(如 $\alpha$ 粒子、电子等)穿过该过饱和蒸气区域时,就会在飞行路径上使气体(空气)电离,形成的“电子-离子对”会吸附过饱和酒精蒸气分子,从而凝结为小液滴,在强光的照射下,便可以观察到带电粒子的径迹<sup>[1,2]</sup>.

本云室利用上端恒温加热板和底部制冷片在温室内建立较大的温差,能够在短时间快速形成过饱

生科学探究能力.本文以改进牛顿第二定律验证实验为例,提出基于DISLab系统及气垫导轨的改进方案,通过求解空气粘滞力对实验的影响因子改进实验,有效提高了实验的准确度.事实证明对实验中所存在的“干扰因素”的探索与改进有利于突出该实验的核心内容,更好地助力学生理解实验与促进物理核心素养的养成.

## 参考文献

1 魏明,刘高福,王平端.探究加速度与力、质量的关系实验结果分析与相对误差推证[J].物理教学,2019,

41(11):34~37,46

2 胡华愉,杨晓梅.利用DISLab定量探究焦耳定律[J].物理通报,2021(4):33~35

3 夏良英,李永洪,张喜林.DIS实验和传统物理实验在教学实践中的对比研究[J].物理教师,2014,35(4):42~45,58

4 卢政,李德安.利用无线DIS创新演示固体微小形变[J].物理通报,2021(3):86~88,92

5 董刚.减小气垫导轨实验系统误差的分析研究[J].楚雄师范学院学报,2009,24(6):40~43