

“探究加速度与力、质量的关系实验”的难点及教学对策

余杰 孙佼尔 夏诗琪

(浙江省舟山中学 浙江 舟山 316000)

(收稿日期:2022-08-31)

摘要:高中物理中,实验是重要的教学环节,也是帮助学生形成物理概念、掌握物理规律的有效途径,但在实际教学过程中会出现学生在实验后依然存在认知困难的情况.以一个经典的实验——“探究加速度与力、质量的关系实验”为例,抽取一所本地重点高中进行问卷调查后,研究小组对“探究加速度与力、质量的关系”实验中中学生长期存在的认知困难进行了深层次分析;同时基于学生认知水平,利用“气垫导轨+力传感器”改进装置,通过调整前概念、外显实验现象,有效突破了学生原有的认知难点,为该探究性实验教学提出了一种新的尝试.

关键词:牛顿第二定律;学生实验;认知规律

1 实验教学中学生遇到的认知困难

人教版教材用“探究加速度与力、质量的关系”这一实验引出牛顿第二定律的教学,在教材编写中作为学生探究性思维培养的一个重要载体,对牛顿运动定律的教学起到承前启后的作用.本实验不仅帮助学生构建出加速度与力、质量之间的定量联系,同时也深化了对力学实验基本方法的应用^[1-4].实验的基本思路是:如图1所示,通过控制变量法分别控制小车质量不变改变槽码(或者小桶中的钩码)质量,以及小车拉力不变改变小车质量,得到两组实验数据,作出 $a-F$ 图和 $a-\frac{1}{m}$ 图,理想情况下,两个图像都是过原点的直线,从而判断出加速度 a 与拉力 F 成正比,与质量 m 成反比.

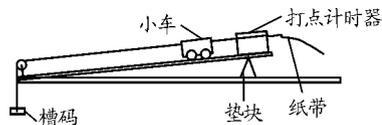


图1 教材实验装置

为了更好地还原教学常态真实情况,笔者对全校3个年段师生进行了问卷调查,调查结果显示多数教师在讲授时往往选择倒置教材顺序,超过80%的学生表示在实验前已经掌握了牛顿第二定律,而非按照教材编写的先后顺序,以探究方式进行该实

验的教学,整个实验教学过程以培养核心素养为主要目标.深究其原因,教师教学策略的转变归根结底来自于探究性实验本身的难度与学生当前认知水平匹配度有一定差距.通过调查我们也发现,许多学生直到高三仍未很好地掌握本实验.结合问卷深度剖析,学生的认知困难主要集中在以下两大方面.

1.1 补偿阻力的三大认知误区

摩擦力作为一个干扰因素需要被补偿是实验前的一个共识,“为什么补偿阻力”在绝大部分学生的认知范围内.然而,在阻力补偿解决方案的具体细节上,学生容易陷入三大认知误区.

(1) 静摩擦力与滑动摩擦力性质混淆产生的操作条件判断误区

“怎么补偿阻力?”首次进入实验室时学生往往会提出这个问题.关于补偿阻力的操作评判标准,许多学生并不笃定,笔者以问卷方式检测不同年级段学生的掌握情况,在对于“缓慢增大长木板的角速度,直到小车刚好能发生运动时摩擦力就平衡了”的是非判断中,自高一至高三分别有13%、17%、11%的学生选择了肯定回答.数据显示,相当一部分学生对实验需要平衡的摩擦力性质概念不清,也有人将最大静摩擦和实验中的滑动(滚动)摩擦力简单地画上了等号.人教版教材表述“调节木板的倾斜度,使小车在不受力的时候能拖动纸带沿木板匀

速运动”精准描述了实验所需平衡的摩擦力产生的条件及物体相应的运动状态,学生对于实际问题中滑动(滚动)摩擦力略小于最大静摩擦力这一前概念掌握不到位易使其陷入操作误区。

(2) 阻力成因分析不全面产生的载重误区

补偿阻力时是否需要拖纸带、放砝码、挂槽码(重物)是本实验操作过程的一个高频考点。调查显示,仍有15.7%的学生未掌握补偿阻力“拖带”操作以对纸带上的阻力同步补偿;令我们感到意外的是,在完整教学完成后高一段有高达44.7%的学生未掌握补偿阻力“空载”操作,在补偿阻力的过程中增加了砝码或槽码,这一比例直至高三经过反复训练才被降低至2.9%。可见,初学者在被多要素干扰的实验中存在成因分析全面性方面的困难,建立实验主线脉络和对每一个研究对象的清晰认知需要反复训练。实验对阻力的补偿本质是为了将合外力的来源从多个力转化为单一来源(槽码或重物重力),深究学生的认知困难产生原因,笔者认为根本在于学生对补偿阻力的这一根本目的认知不到位。

(3) 补偿阻力次数判定中近似处理的认知矛盾误区

实验要求补偿阻力时“拖带”操作的另一方面重要原因是利用纸带外显小车的匀速直线运动,然而“拖带”这一操作也对学生形成了实验中纸带上的阻力不能忽略的心理暗示,正因如此许多学生在阻力补偿的次数分析上产生了疑问,认为改变小车质量需要重新补偿阻力。事实上,纸带上的阻力相对小车的阻力非常小,可近似忽略,实验中在补偿阻力次数的问题上也做了此近似处理,得到了改变小车质量后下滑力和摩擦力等比变化的结论。同一实验中对于同一个力采取了“保留”与“忽略”的两种分析策略,学生在分析问题时易陷入理论认知矛盾。

1.2 悬挂物质量与小车质量大小关系的理解困难

教材的实验方案是一个近似连接体问题,需要定量公式分析悬挂物和小车质量的大小关系。根据学生的认知逻辑,这部分的教学需要在牛顿第二定

律学习完成后才能有效开展,即便如此,到高二、高三依然有不在少数的学生不能理解这一操作要求的本质原因。

(1) 基于惯性定律的解释抽象且限于定性

新课教学中教师可以在已有的知识背景下通过惯性定律对这一问题进行定性解释:力是改变运动状态的原因,用悬挂物的重力近似代替小车受到的拉力,而悬挂物本身也处于加速运动中,重力的一部分提供给它自身的加速度。这就表明小车受到的拉力是小于悬挂物重力的。至于“小于”的程度,需要在后续教学中逐步给出具体解释。

(2) “远小于”的数值界定缺乏理论分析

悬挂物质量必须远小于小车质量,具体应该小多少?学生们的回答集中在 $\frac{1}{10}$ 、 $\frac{1}{20}$ 、 $\frac{1}{50}$ 、 $\frac{1}{100}$ 和 $\frac{1}{200}$ 这些比例上。从这些五花八门的直觉性回答中不难看出,事实上很少有学生对“远小于”这个概念有感性认知,更不用提给出这些数据的科学依据,教师在教学中对此往往也是一笔带过。

事实上,受实验室仪器精度的影响,高中物理实验的相对误差允许范围通常为0~5%。为此,小车所受拉力的真实值和测量值的相对误差应小于5%,用 m 表示悬挂物质量, g 为重力加速度, M 为小车总质量, $F_{\text{真}}$ 为小车所受的实际拉力, $F_{\text{测}}$ 为小车所受拉力的测量值,利用类连接体问题的处理方法易得小车所受的实际拉力是

$$F_{\text{真}} = \frac{mM}{(m+M)}g \quad (1)$$

教材的实验方案中,用悬挂物的重力近似替代小车所受拉力,拉力的测量值为

$$F_{\text{测}} = mg \quad (2)$$

二者需满足

$$\frac{F_{\text{测}} - F_{\text{真}}}{F_{\text{真}}} \leq 5\% \quad (3)$$

解得

$$m \leq \frac{M}{20} \quad (4)$$

即悬挂物质量需小于等于小车质量的 $\frac{1}{20}$ 。

2 基于学生认知水平的创新型探究性教学对策

2.1 实验器材和原理

图2为改进后的实验装置示意图,图3为实物图,主要特点是去掉了干扰学生主线认知的悬挂物,为减小阻力影响用气垫导轨代替了普通导轨,同时在气垫导轨的一侧增加了升降台便于调节倾角,为使读数更加便捷精准,使用力传感器、光电门以及数字计时器进行测量和记录。

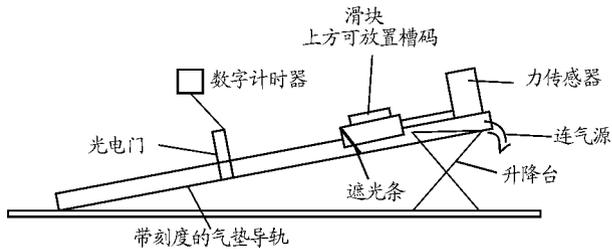


图2 改进后的实验装置

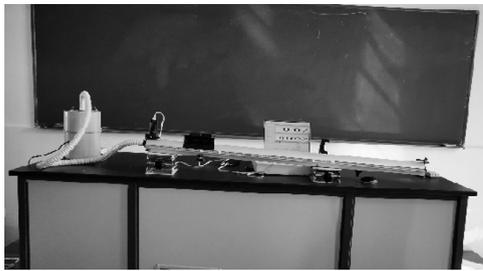


图3 实验装置实物图

实验的第一阶段,我们控制滑块和遮光条总质量 m 不变. 将滑块与力传感器用细绳连接,滑块静止时利用力传感器读出细绳的拉力 F . 取下细绳,定点静止释放滑块,滑块沿导轨下滑,实验中我们近似忽略了气垫导轨与滑块间极小的摩擦力,根据力平衡原理,下滑时滑块所受外力大小近似等于传感器读数. 使用光电门和数字计时器读出时间 t ,通过气垫导轨的刻度尺直接读出下滑位移 x ,利用运动学公式 $d=vt$, $2ax=v^2$ 得到滑块的加速度 a . 保持滑块和遮光条总质量不变,改变升降台高度,即改变自变量 F 大小,得到一组关于 a 和 F 的数据,用计算机拟合形成 $a-F$ 图.

实验的第二阶段,控制外力 F 不变. 尽管改变滑块和遮光条总质量 m 时会引起外力变化,但我们通过调节升降台高度,可以使不同质量的滑块在静止时力传感器的读数一致,确保外力 F 不变.

取下细绳后定点静止释放滑块,依然用上一阶段的方法测量加速度 a . 多次改变总质量 m ,得到一组关于 a 和 m 的数据,利用计算机拟合形成 $a-m$ 图及 $a-\frac{1}{m}$ 图.

2.2 创新实验的三大优势

“探究加速度与力、质量的关系实验”本质上是一个探究实验,改进后的实验装置既可以达到探究的目的,又与学生认知水平相符,具体体现出三大优势.

(1) 巧选器材,回避阻力补偿. 实验利用了气垫导轨、传感器、数字计时器,将力的近似替代思想付诸于摩擦力,降低了思维难度.

(2) 学以致用,调整前概念. 实验利用共点力平衡知识点,以滑块下滑力取代悬挂物提供给小车的拉力,降低了加速度求解计算量,保留了控制变量法、图像法、化曲为直思想等物理思想和方法. 通过改进,将教材中以未学过的牛顿第二定律公式作为前概念调整为学生中低水平认知范围内的前概念,从而达到知识结构螺旋上升的构建目标.

(3) 简化操作,外显实验现象. 实验越简单,操作越方便,现象越明显. 改进实验数据显示更广泛的外显,利用计算机进行繁琐的数学计算,提高实验效率,使得教学过程的主线物理思维能够更有效、更清晰地呈现和渗透. 同时,实验去掉了悬挂物,将研究对象由系统转变为单一物体,研究对象更为突出.

2.3 实验结果及数据分析

(1) m 不变时 a 和 F 的关系

根据上述实验原理和步骤,我们进行了第一阶段实验后,得到滑块和遮光条总质量 m 不变时关于 a 和 F 的数据. 计算机记录的数据如表1所示, F 为外力, t 为遮光条通过光电门所用时间,遮光条宽度

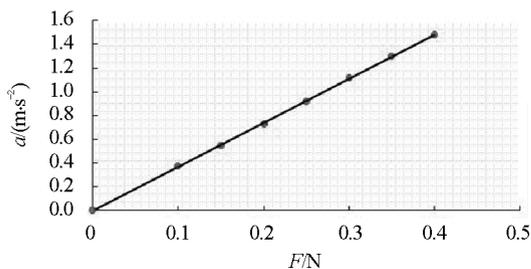
$$d = 5 \text{ mm}$$

遮光条静止释放时的位置到光电门的距离 $x = 1.24 \text{ m}$, a 为滑块的加速度.

通过数据处理,计算机拟合得到如图4所示的 $a-F$ 图.

表1 m 不变时 a 和 F 的关系

测量序次	F/N	t/s	$v/(m \cdot s^{-1})$	$a/(m \cdot s^{-2})$
1	0.40	0.003 69	1.355 0	1.480 6
2	0.35	0.003 94	1.269 0	1.298 7
3	0.30	0.004 24	1.179 2	1.121 4
4	0.25	0.004 69	1.066 1	0.916 6
5	0.20	0.005 27	0.948 8	0.726 0
6	0.15	0.006 08	0.822 4	0.545 4
7	0.10	0.007 35	0.680 3	0.373 2

图4 $a-F$ 图

图像接近于一条过原点的直线,在误差允许范围内, m 不变时 a 与 F 成正比。

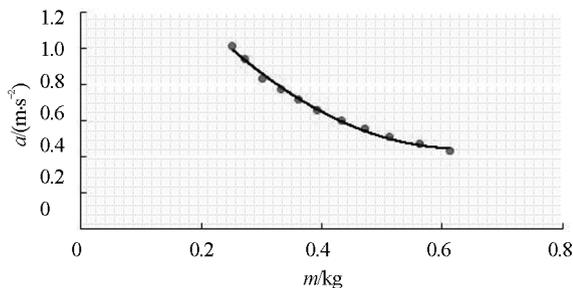
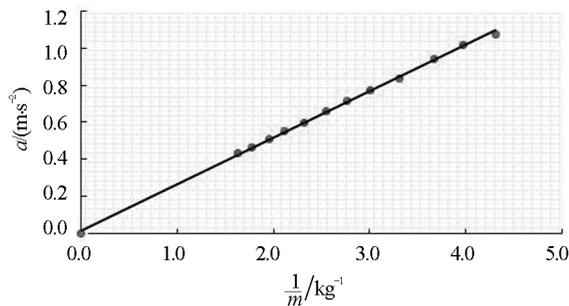
(2) F 不变时 a 和 m 的关系

测得控制 F 不变时 a 和 m 的数据,表2中 m 为滑块、遮光条和加在滑块上的槽码的总质量。

表2 F 不变时 a 和 m 的关系

测量序次	m/kg	t/s	$v/(m \cdot s^{-1})$	$a/(m \cdot s^{-2})$
1	0.232	0.004 33	1.154 7	1.075 2
2	0.252	0.004 46	1.121 1	1.013 6
3	0.272	0.004 63	1.079 9	0.940 5
4	0.302	0.004 92	1.016 3	0.833 0
5	0.332	0.005 10	0.980 4	0.775 2
6	0.362	0.005 31	0.941 6	0.715 0
7	0.392	0.005 54	0.902 5	0.656 9
8	0.432	0.005 81	0.860 6	0.597 3
9	0.472	0.006 03	0.829 2	0.554 5
10	0.512	0.006 28	0.796 2	0.511 2
11	0.562	0.006 57	0.761 0	0.467 0
12	0.612	0.006 83	0.732 1	0.432 3

通过数据处理,利用计算机拟合出 $a-m$ 图及 $a-\frac{1}{m}$ 图,如图5、图6所示。

图5 $a-m$ 图图6 $a-\frac{1}{m}$ 图

$a-\frac{1}{m}$ 图接近于一条过原点的直线,在误差允许范围内, F 不变时 a 与 m 成反比。

3 总结与反思

经过实际测量,实验结果证明了方案的可行性,实验过程操作简便,实验现象和数据更为直观和外显,有助于学生进一步理解实验原理中的逻辑主线。诚然,新的实验方案对教师的操作和数据处理分析能力要求较高,实验也存在一些操作上的不稳定和数据上的细微偏差,但整体上改进实验提高了本实验的精确性,有效避免了操作复杂、耗时过长、计算繁琐等方面的问题,为本实验的探究性教学提出了一种新的有效尝试。

参考文献

- [1] 任伟. 关于消除“探究加速度与力、质量的关系”实验中系统误差的再探讨[J]. 中学物理(高中版),2012,30(4):69-70.
- [2] 黄瑞香. “探究加速度与力、质量的关系”实验的改进[J]. 福建教育学院学报,2016,17(2):96-98.
- [3] 汪小明. 创新实验方案培育学科素养——探究加速度与力、质量的关系实验方案的改进[J]. 物理教师,2019,40(12):46-49.
- [4] 居津. 基于科学思维水平划分,构建递进物理课堂,培养质疑创新能力——以“探究加速度和力、质量的关系”为例[J]. 物理教师,2018,39(12):32-33,36.