初中园地

创新作业设计 助力素养提升*

——探究滑动摩擦力的大小和质量、重力是否有关

叶鸣扬 (南京师范大学附属中学树人学校 江苏 210011;南京师范大学教师教育学院 江苏 210023)

摘 要 教育部于2021年4月颁布了《教育部办公厅关于加强义务教育学校作业管理的通知》,其中明确提出:创新作业类型方式,根据学科特点合理布置包括科学探究在内的不同类型的作业,鼓励科学设计探究性作业和实践性作业。文章以一节观摩课中获取的灵感,设计一份创新型探究性作业,将《通知》要求落到实处。

关键词 作业设计 滑动摩擦力

文章编号 1002-0748(2024)5-0030 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

1 观摩课引发的思考

1.1 授课现场片段

2023年3月16日,笔者前往兄弟学校,观摩了一节八年级物理“摩擦力”的新授课。在“探究影响滑动摩擦力大小的因素”的猜想环节中,有学生提出猜想:影响因素可能有物体的质量、物体所受的重力。

针对这样的猜想,授课教师进行了以下处理。

师:请同学们将手掌轻轻放在桌面,前后滑动。(稍等片刻后)接下来,请同学们将手掌用力按压在桌面上,再次前后滑动。前后两次对比,你有什么不同的感受?

生:第一次感到轻松,手掌受到的滑动摩擦力小;第二次感到费劲,手掌受到的滑动摩擦力大。

师:两次实验,我们并没有改变自己的质量或重力,但是两次滑动摩擦力的大小是不一样的,这说明了滑动摩擦力的大小和物体的质量或重力有没有关系?

生:无关……

该环节中对控制变量法的使用正确吗?能够合理得出“无关”的结论吗?

1.2 分析与思考

按照控制变量法的要求,欲探究滑动摩擦力的大小与质量(或重力)是否有关,应该仅改变物体的质量,而控制包括压力在内的其他量相同,看是否会影响滑动摩擦力的大小。若有影响,说明滑动摩擦力大小与质量有关;若无影响,则说明无关。

然而授课教师却控制了质量不变,改变了压力,由此造成的滑动摩擦力改变的现象,只能说明滑动摩擦力大小和压力有关,但不可以说明滑动摩擦力大小和质量无关。

再举一例,控制导体的阻值不变,改变导体两端的电压,可以发现流过导体的电流发生变化。这一现象只能说明电流和电压有关,但如果得出“电流和电阻无关”这一结论,显然就是荒谬的了。

质量和重力似乎也在影响着物体所受滑动摩擦力的大小,这十分符合学生学习物理之前的直观生活经验。笔者在过往的教学经历中也时常发现以下现象:相当一部分学生只是被动地接受了“影响滑动摩擦力大小的因素之一是压力,而不是质量或重力”这一结论,但并不能准确地说出其中的差别;少数学生在笔者的“一再强调”后依然频繁混淆,在答题过程中屡屡出错。

针对这一普遍存在的易混淆点,究竟怎样设计实验才能证明滑动摩擦力大小和物体的质量或重力无关?怎样进行教学才能深入学生内心,最大限度地发挥出教学育人价值?笔者学习领会教育部办公厅《关于加强义务教育学校作业管理的通知》和《南京市义务教育阶段作业管理指南·初中物理》(以下简称《指南》)的精神,对正在任教的九年级学生布置

* 基金项目:本文系江苏省中小学教学研究第十四期学科发展示范(创新)中心专项课题“基于课堂实验培养初中生物理思维能力的实践研究”(课题编号:2021JY14-XK-L05)的研究成果。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

了一份创新作业，内容如下：

作业　请你发挥聪明才智，设计一个实验方案，探究滑动摩擦力的大小与物体的质量是否有关。设计时请注意正确使用控制变量法，并设计实验方案，说明详细操作步骤，必要时加上配图。

2　典型案例与实施过程

一周后，笔者收到学生作业40余份。经过筛选与归类，笔者遴选出五例作为代表，开展进一步探讨，力求优化方案，并进行实践检验。

2.1　案例一：以水平下表面为摩擦面-1

如图1所示。选择重力分别为3 N、5 N、7 N的木块作为研究对象，它们的质量不同。通过弹簧测力计A对木块施加向上的拉力：对7 N的木块施加4 N的拉力、对5 N的木块施加2 N的拉力、对3 N的木块不施加拉力，以控制木块对桌面的压力相同。将A挂在光滑的轨道上，再用弹簧测力计B水平向左拉动木块做匀速直线运动，分别读出B的示数，比较是否相同。

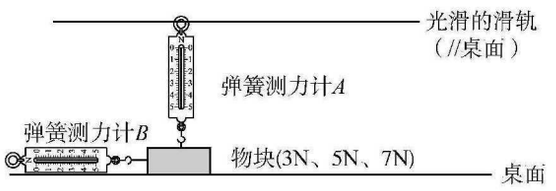


图1

笔者设计了三个问题，和学生一起思考改进方案。

问题1：你考虑到了A随木块一起运动时，会受到滑轨的阻力，影响测量结果，所以选用了“光滑的轨道”，非常好！然而现实中是不存在绝对光滑的轨道的，拉动过程中也很难保证完美的匀速直线运动，如何改进？

可以让木块置于木板上，实验时水平向右抽出木板，以保证A、B、木块均相对于地面静止。由于A不再滑动，所以其上方的滑轨就不需要绝对光滑了。此外，对于木板来说，就不需要保证匀速直线拉动了。

问题2：你定制了三个质量不同的木块作为研究对象，有没有办法只用一个木块，搭配其他器材，来改变研究对象的质量？

可以选用挖有凹槽的木块，通过在凹槽中放入数量不同的钩码，以实现对研究对象质量的改变。

问题3：每当木块中加入了一个钩码，它对木板的压力增量就等于一个钩码的重量。有没有更简单的方法对木块施加一个方向竖直向上、大小为一个钩码自重的拉力？

撤去弹簧测力计A和滑轨，改用定滑轮。通过定滑轮可以改变施力方向这一特点，用另一钩码对木块施加一个竖直向上的拉力。

方案改进后的实验装置如图2所示。经过探究，得出数据如表1所示。

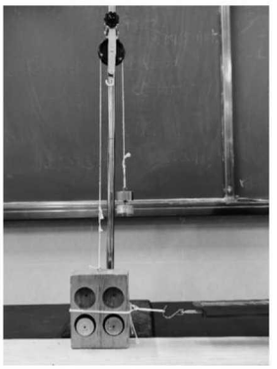


图2

表1　方案一改进后的实验数据

实验序号	木块中的钩码数	定滑轮自由端的钩码数	弹簧测力计示数F/N
1	0	0	0.35
2	1	1	0.35
3	2	2	0.34
4	3	3	0.35
5	4	4	0.35

由实验数据可以发现，尽管木块整体质量发生了改变，但是在保证接触面粗糙程度和压力大小相同的情况下，滑动摩擦力大小最多相差0.01 N，由此得出初步结论：物体所受滑动摩擦力大小与物体质量无关。

2.2　案例二：以水平下表面为摩擦面-2

有学生受案例一启发，又交了第二份作业，设计方案如图3所示。实验器材有：长方体铁制茶叶盒、弹簧测力计、玻璃材质的大水槽、托盘天平、砝码、沙子。

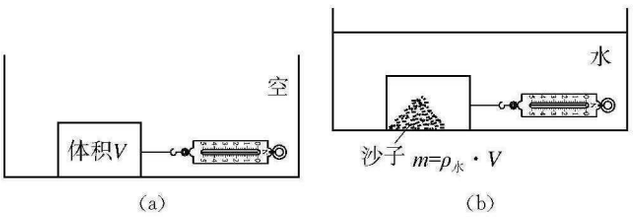


图3

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

实验步骤：

(1) 在空水槽中用弹簧测力计水平拉动封闭的空茶叶盒做匀速直线运动，读出示数 F_1；

(2) 测出茶叶盒的体积 V；

(3) 用托盘天平称取质量 $m = \rho_{水} V$ 的沙子，装入茶叶盒后，将茶叶盒密封；

(4) 在大水槽中加水，水位超过茶叶盒的高，将弹簧测力计和茶叶盒浸没在水中，再次水平拉动茶叶盒做匀速直线运动，读出示数 F_2；

若 $F_1 \neq F_2$，则初步说明滑动摩擦力大小和质量有关；若 $F_1 = F_2$，则可初步说明无关。

该方案试图通过浮力来平衡茶叶盒中的沙子的重力，以达到“质量不同而压力相同”的目标，理论可行且十分巧妙。然而实际操作后发现 F_1 小于 F_2，且差距不可忽略。笔者和该生一起思考，问题可能出在以下三个方面：

第一，步骤(1)中的茶叶盒直接在玻璃表面摩擦，而步骤(4)中的茶叶盒与玻璃表面之间隔了一层“水膜”。水对玻璃和铁都浸润，固液分子之间的引力导致茶叶盒浸入水后更难拉动；

第二，无法严格确保茶叶盒做匀速直线运动，且水槽内拉动空间有限，弹簧测力计示数很不稳定；

第三，木块在水中前进时，不可避免地还会受到来自于水的阻力。

尽管该方案存在着一些暂时无法克服的缺点，但笔者认为，学生在本例中所展现出的发散思维的能力和对知识的综合运用能力依然值得鼓励！

2.3　案例三：以水平上表面为摩擦面

以小车为研究对象，设计方案如图4所示，钩住木块的弹簧测力计固定于墙上，缓慢抽出木块下方的小车，可以通过读取弹簧测力计示数获得木块所受滑动摩擦力的大小。由于小车对木块的滑动摩擦力与木块对小车的滑动摩擦力是一对相互作用力，所以该示数也是小车受到的滑动摩擦力的大小。

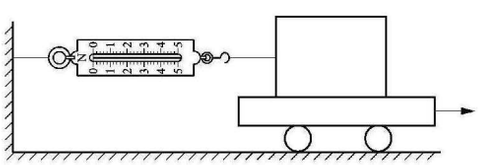
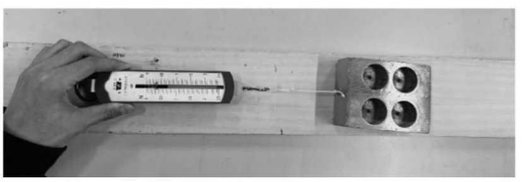


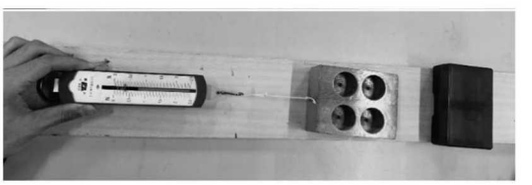
图4

设法改变小车的质量，重复上述操作。由于小车在木块的下方，接触面上的压力大小依然等于木块的重力，并不会因小车质量的改变而改变。所以，若两次示数不同，可初步说明滑动摩擦力大小与物体质量有关；若两次示数相同，则可说明猜想不成立。

如图5所示，在实际操作中，我们以木板取代小车，通过在木板上放置钩码盒(内置4个200 g钩码)的方法来改变研究对象整体的质量。通过对比发现，两次弹簧测力计的示数均为0.35 N，由此得出初步结论：物体所受滑动摩擦力的大小与物体质量无关。



(a)



(b)

图5

2.4　案例四：以竖直表面为摩擦面

如图6所示，取质量为100 g和500 g的木块，分别用同样的压力将其压在同一面墙上，测量它们与墙面滑动摩擦力的大小。若滑动摩擦力大小相等，说明它与物体质量无关。

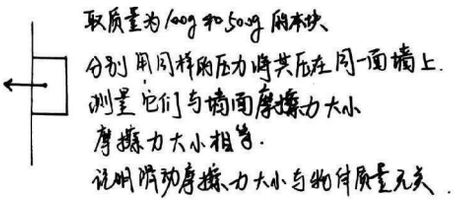


图6

笔者设计了两个问题，和学生一起思考改进方案。

问题4：你将如何确保对两个木块的压力相同？联想教室的条件，能否给你一些改进的提示？

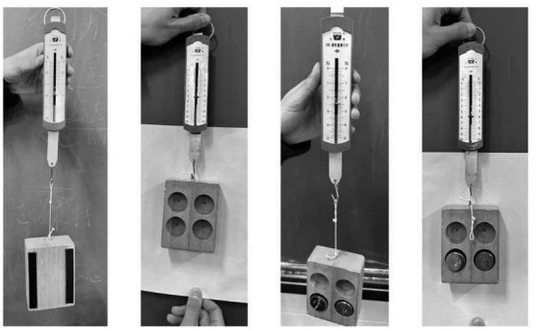
本校教室配备的黑板为磁吸式黑板。可将原方案中的墙面改为黑板，在木块的背面贴上磁条，通过磁力来提供木块对黑板的压力，容易实现压力相同这一条件。

问题5：黑板难以拉动，木块难以保证匀速直线拉动，如何测量木块受到的滑动摩擦力更为准确？

在木块和黑板间夹一层白纸，让木块和弹簧测力计相对于地面保持静止，抽出白纸，弹簧测力计示数就等于木块所受到的滑动摩擦力的大小。显然，这里白纸的作用与案例一中木板的作用相同。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

最终确定的实验方案如图7所示。步骤如下：



(a)　(b)　(c)　(d)

图7

(1) 测量已在背面贴上磁条的木块的重力1.45 N；

(2) 将木块隔着一层白纸吸在黑板上，向下缓缓抽出白纸，弹簧测力计示数为5.1 N；

(3) 在木块凹槽内放入两个50 g的钩码，测得总重力为2.4 N；

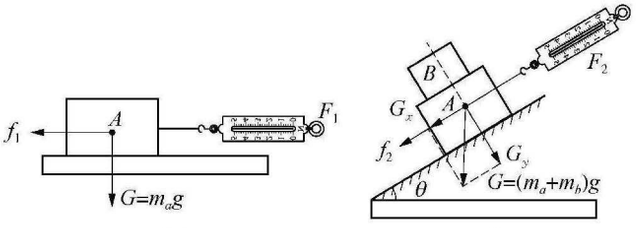
(4) 用(3)步的木块重复(2)步操作，弹簧测力计示数为6.0 N。

数据分析：竖直向下抽出白纸的过程中，木块受到竖直向下的重力、竖直向下的滑动摩擦力以及竖直向上的拉力，由于木块保持静止，所以$f_{滑}=F_{拉}-G$，由此可以算出空木块受到滑动摩擦力3.65 N，加入两个钩码的木块受到滑动摩擦力3.6 N，相对误差仅1%。由此初步得出结论：物体所受滑动摩擦力的大小与物体质量无关。

2.5　案例五：以斜面为摩擦面

还有学生预习过一些高中物理知识，设计了如图8所示的方案。

实验操作：



(a)　(b)

图8

取质量为m_a的物块A置于水平木板上，它对木板的压力大小为m_ag，易测出物块A受到的滑动摩擦力f_1。

取另一质量为m_b的物块B置于物块A上，它们的总质量变为了m_a+m_b。将木板一端抬高，使它成为倾角$\theta=\arccos\dfrac{m_a}{m_a+m_b}$的斜面。这样，物块总质量虽然增大了，但是它们对斜面的压力依然为m_ag。拉动A(和B一起)在斜面上做匀速直线运动，测出拉力F、斜面上移动的距离s以及上升的高度h，则滑动摩擦力$f_2=\dfrac{Fs-(m_a+m_b)gh}{s}$。比较$f_1$和$f_2$是否相同，便可说明滑动摩擦力和质量是否有关。

本方案需要一定的高中物理基础，不宜展示给全班学生，但它依然不失为一理想素材。笔者设计了几个问题，使本方案向着适应初中学生的知识水平和理解能力方向优化。

问题6：生活中什么器材可以以数据的形式让大家直观看到物体对接触面的压力大小？

电子秤。将物块放在电子秤上，电子秤可以显示物块的质量。此时若将电子秤适当倾斜，可以看到示数减小。

问题7：电子秤倾斜后，物块对电子秤的压力减小，你有什么办法让木块对电子秤的压力恢复到之前水平时的数值？

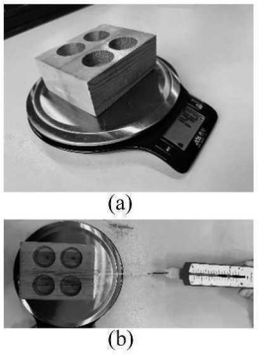
可以在物块中添加米粒，当倾斜的电子秤示数等于水平时的示数时，便实现了控制压力相同，物块质量不同的目的。

实验操作步骤如下：

(1) 如图9所示，电子秤水平放置，将空木块放在秤盘上，读取示数140 g；

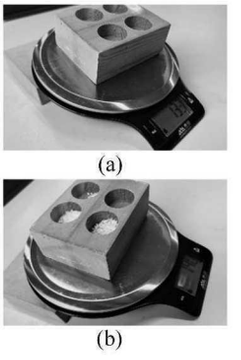
(2) 用水平的弹簧测力计钩住木块保持静止，反方向抽出电子秤，读取弹簧测力计示数为0.55 N；

(3) 如图10所示，将载有木块的电子秤倾斜一个小角度，发现电子秤示数变为133 g。向木块凹槽中添加米粒，直至电子秤示数恢复至140 g；



(a)　(b)

图9



(a)　(b)

图10

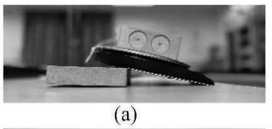
(4) 如图11所示，用弹簧测力计沿斜面拉动木块做匀速直线运动，读取弹簧测力计示数为0.85 N；

(5) 如图12所示，拍摄斜面的左视图，运用手机测量软件测得斜面长和斜面高之比约为52∶11。

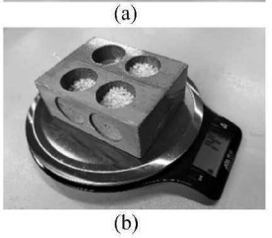
(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



图11



(a)



(b)

图12

最后将电子秤恢复至水平，读取装米后的木块质量为147 g。

数据分析：空木块在水平面上受到的滑动摩擦力为 $f_1 = 0.55\ \mathrm{N}$；装米后的木块在斜面上受到的滑动摩擦力 $f_2 = \dfrac{0.85\ \mathrm{N}\times 52 - 1.47\ \mathrm{N}\times 11}{52} \approx 0.54\ \mathrm{N}$，两次数据近似相等，可以初步说明滑动摩擦力大小与物体质量无关。

3　后　记

《指南》中将初中物理作业分为四个类型："巩固型"作业、"矫正型"作业、"融合型"作业和"实践型"作业，各作业类型特点如表2所示。本次创新作业属于"实践型"作业，但在作业生成及其后续的活动实施中，处处兼容着"巩固""矫正"和"融合"的效果。

表2　四种作业类型及其特点

作业类型名称	区分依据及特点
"巩固型"作业	通过定时定量的练习，巩固和检验学生对课内所获得的知识的过程与方法的理解，提升应用物理知识解决实际问题的能力
"矫正型"作业	在单元或板块知识学习完后，通过检测发现学生所存在的易错点、易混点、盲点和堵点，教师采取针对性的矫正训练以进行巩固与补漏
"融合型"作业	通过同一个抓手把不同章节或不同学科间的知识有效地串联起来，通过专项练习，使学生形成知识由点到线到面到体的认知新构建
"实践型"作业	强调让学生从实际情境中发现问题，并将其转化为物理问题，形成相关实践任务，在完成任务过程中培养跨学科意识，增强合作与创新能力

3.1　"巩固"效果的体现

在物理观念方面，学生通过实验方案的自主设计，优化和实施的过程，更加清晰地认识到重力和压力的区别，更加深刻地理解了影响滑动摩擦力大小的一个因素是压力，而非质量或重力；在科学探究方面，学生通过实践操作，复习了课程标准中必做实验"用弹簧测力计测量力""探究滑动摩擦力大小与哪些因素有关"中的许多关键操作。所以，本次作业虽非书面习题，但依然发挥着理想的"巩固"效果。

3.2　"矫正"效果的体现

与平时课堂上设计实验的形式不同，本次的设计，没有课本现成的案例，没有教师的提示引导。相对独立自主的环境下，更易暴露出学生平时没有理解掌握到位的问题。例如，在收回的作业中，存在着少量未能成功控制变量的情况（质量和压力同时改变了），存在着如同观摩课例上授课教师用错控制变量法的情况等。对这部分作业的跟进反馈过程，其实就是针对学生科学思维方面存在的隐蔽问题的"矫正"过程。

3.3　"融合"效果的体现

本次作业的设计对象是已经进入中考复习阶段的九年级学生，他们已将初中物理知识全部学完。在典型案例中，我们发现学生已经有意识地将其他章节（除第八章"力"）中的知识和方法融合进本次作业中进行综合运用。例如运用定滑轮给物体提供向上的力、运用浮力给物体提供向上的力、借助额外功求斜面上的滑动摩擦力等。跨章节综合运用知识解决实际问题，恰是"融合"的特征。

3.4　在"实践"中发展能力，提升素养

纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行。物理知识的获得离不开科学探究，核心素养的提升须依托实践创新。笔者感动于，在方案的优化过程中，没有一位设计者因第一稿方案"完成了作业"便就此止步。相反地，他们无不积极地跟进思考，尝试实践。这种探索自然的内在动力以及严谨认真、持之以恒的品质，正是我们希望看到的科学态度与责任。

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准（2022年版）[S]. 北京：北京师范大学出版社，2022.

[2] 冯莉. 滑动摩擦力探究实验装置改进[J]. 物理教师，2023，44(2)：64　66.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net