

猜想建模求证质疑 提升学生核心素养

黄镇宇 (浙江省杭州第二中学 浙江 310053)

摘 要 课题研究对培养学生的核心素养有很好的效果,整个过程中教师始终以学生的认知为主导,引导学生从一段生活中的视频出发,通过简化、猜想、建模、求证、质疑、改进模型等将研究不断深入,通过理论分析、实验探究、几何画板仿真实验等将问题剖析清晰,逐步获得更好的解释。学生在课题研究中体验从生活实际出发,通过观察、分析、总结规律,最后指导实践的过程。

关键词 猜想 建模 求证 质疑 核心素养

文章编号 1002-0748(2022)2-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》提出的物理学科核心素养包括:物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任^[1]。这些核心素养的培养必须通过扎扎实实的教学活动来实现。课题研究不仅教会学生如何进行科学探究,也教会学生如何根据研究的问题建立合理的模型,跟课堂上的学习活动实现优势互补,进一步提升学生的科研素养和创造能力^[2]。新教材将科学探究作为一种精神、思维方式和研究手段贯穿学习始终,并设置专门的实验探究和课题研究^[3]。以下就是我们以学生的认知为主导,利用学生课外探究为主、教师课堂引导助力的课题探究实践。

1 观看视频,提出猜想

1.1 教师播放视频创设情境,引发疑问

中央电视台科教频道的节目为我们物理学科提供了大量可供学生学习和探究的素材。该频道曾经播放过这样一段视频:一个年轻力壮的运动员无论怎样用力都无法推动一个太极选手,如图 1 所示。



图 1

1.2 学生讨论、交流,提出初步猜想

看完这段视频,我向同学们提出了一个研究课题:年轻力壮的运动员为什么推不动太极选手?同学们议论纷纷,提出了各种各样的猜想。同学们的猜想有:①推的人力气还不够大;②太极选手的鞋子不容易打滑;③太极选手力气很大;④太极选手有技巧;⑤这是假的,他们可能是在演戏。

1.3 教师引导学生亲身体验,简化问题,排除主观因素,修正猜想

1.3.1 教师引导、组织学生亲身体验

在猜测的同时,有的同学还跃跃欲试,想亲身体验一下。于是我组织了几对同学在教室内的空地让他们试验了一番。由于同学们并不掌握其中的技巧,有时同学被推动了,有时没有被推动,因此对上述猜测仍然争论不休。

1.3.2 教师引导学生简化问题,排除主观因素,修正猜想

为了反驳同学中认为他们是在演戏的猜测,有同学想到就地取材,将自己的椅子作为对象,亲身体验。通过同学们的亲身体验,发现推力比较小或推力的方向比较陡(与竖直方向的夹角小)时会推不动椅子。同学们也觉得这样的简化很有意义,通过将对象简化处理,排除了太极选手主观因素的影响,以及太极选手力气大小等因素的影响。

同学们对源自课外的素材表现出极大的兴趣,在引入情境,并初步探讨之后的一周多时间内,课间仍在体验运动员推太极选手的过程,这充分说明教师充分开发与学生生活密切相关的物理情境、素材

对激发学生的学习兴趣和探究热情的重要性。学生在认识一个情境的过程中往往会根据经验,用类比的方法做出直观、简单、定性的判断,作为教师要引导学生能透过现象看本质,通过逻辑推理来发现本质规律,提高学生的逻辑思维能力。

2 教师引导学生建模,进行理论分析,寻找理论依据

在分析和猜想的基础上,我们引导学生思考如何定量、准确地探寻现象的本质。部分同学首先想到可以将探究的情境转化为下面这个常见的物理情境。

问题:已知物体的质量为 m ,与地面的摩擦因数为 μ ,分析在什么情况下不管用多大的力都推不动物体。

此时这部分同学认为,太极选手在被推动之前可以认为是静止的,将太极选手简化为一个物块,并视作质点。同学们在独立推导的基础上分享了各自的方法,归结有以下两种方法。

2.1 分析方法一

以物块为研究对象,受力分析如图 2 所示, θ 为推力 F 与竖直方向的夹角。

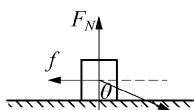


图 2

物块静止时受到的摩擦力为: $f_{\text{静}} = F \sin \theta$ 。

物块与地面间的最大静摩擦力为:

$$f_{\text{max}} = \mu F_N = \mu(mg + F \cos \theta)$$

要使物块不动须满足: $f_{\text{静}} \leq f_{\text{max}}$, 即

$$F \sin \theta \leq \mu mg + \mu F \cos \theta$$

$$\sin \theta - \mu \cos \theta \leq \frac{mg\mu}{F} = 0 \quad (\text{其中 } F \text{ 趋向无穷大})$$

得: $\tan \theta \leq \mu$ 。

2.2 分析方法二

以物块为研究对象,受力分析如图 2 所示。

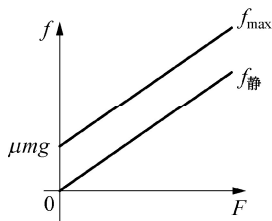


图 3

物块静止时受到的摩擦力为: $f_{\text{静}} = F \sin \theta$ 。

物块与地面间的最大静摩擦力为:

$$f_{\text{max}} = \mu F_N = \mu(mg + F \cos \theta)$$

画出物块的摩擦力随推力 F 变化的图线,如图 3 所示。

由图线可知,物块静止的条件是

$$f_{\text{静}} \text{ 的斜率} \leq f_{\text{max}} \text{ 的斜率}$$

即: $\sin \theta \leq \mu \cos \theta$, $\tan \theta \leq \mu$ 。

此时,不管用多大的推力,物块都不会滑动。

由以上方法都可以从理论上推得:当推力与竖直方向的夹角 θ 小于或等于 $\arctan \mu$ 时,不管用多大的力都推不动物块。到这里,同学们可以基本确认,当推力和竖直方向的夹角越小物体越不容易推动,且临界夹角与接触面之间的粗糙程度有关的猜想是正确的。

3 教师引导学生从理论走向实验探究

3.1 实验装置

经过多轮讨论、改进以后,同学们设计制作了如图 4 所示的实验装置。由于推力方向不容易确定,该装置将推力改成了绳子的拉力,通过绳子和竖直方向的夹角 θ 来确定拉力的方向。装置的箱子为中空,中间开了一条缝,绳子的一端固定在箱子的左上角,绳子的右端可以连接测力仪器。力的测量使用了力传感器(量程为 $-20 \sim 20$ N),由于力传感器的量程较小,实验中还使用了称量计甚至直接用已知质量的重物,并由此得到拉力的大小。实验中箱子的尺寸如图 5 所示,水平底板上固定了橡胶垫。



图 4

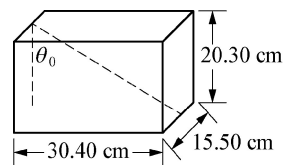


图 5

3.2 获取数据

实验测得:箱子的质量 $m = 1.735$ kg, 水平拉动箱子瞬间的拉力(最大静摩擦力) $f_{\text{max}} = 10.80$ N。由此可以测得橡胶垫和木板之间的摩擦因数: $\mu = \frac{10.84}{17.35} = 0.62$, 其对应的临界角为 $\theta_c = \arctan \mu = 31.9^\circ$ 。矩形截面的对角线与竖直方向的夹角 $\theta_0 = 56.3^\circ$ 。按如图 6 所示放置时测得的具体

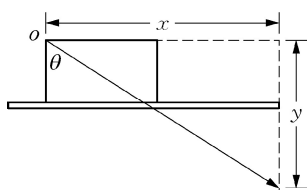


图 6

数据见表 1。

表 1

	x/cm	y/cm	$\theta/度$	平动	转动	拉力/N	测力工具	理论值/N
1	65.00	0.00	90	是	否	10.80	传感器	
2	65.00	37.60	60	是	否	19.70	传感器	19.20
3	65.00	65.00	45	是	否	41	电子称	39.50
4	65.00	112.10	30	否	否	650	挂重物	自锁

按如图 7 所示放置时,水平拉动箱子瞬间的拉力(最大静摩擦力) $f_{\max} = 9.93 \text{ N}$ 。由此可以测得橡胶垫和木板之间的摩擦因数: $\mu = \frac{9.93}{17.35} = 0.57$, 其对应的临界角为 $\theta_c = \arctan \mu = 29.8^\circ$ 。矩形截面的对角线与竖直方向的夹角 $\theta_0 = 33.7^\circ$ 。

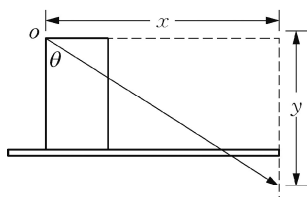


图 7

测得的实验数据见表 2。

表 2

	x/cm	y/cm	$\theta/度$	平动	转动	拉力/N	测力工具	理论值/N
1	65.00	0.00	90	否	是	6.10	传感器	5.85
2	65.00	37.60	60	否	是	11.24	传感器	10.87
3	65.00	65.00	45	否	是	25.10	电子称	24.50
4	65.00	112.10	30	否	否	650	挂重物	自锁

3.3 实验结论

通过对以上数据分析,我们可以得到以下结论:

①推力和竖直方向的夹角 θ 越小,物体越难被推动。当夹角 θ 接近或小于临界角 θ_c 时,推力很大物体也不会移动(见表 1、表 2 的记录 4);②物体在拉力作用下可能会平动(见表 1),也可能会转动(见表 2);③物体放置时底边越窄,竖直边越大(即 θ_0 越小),物体越容易转动。

实验探究结论看似简单,但过程非常曲折。同学们在实验过程中遇到许多困难并想办法克服:①推力的大小和方向确定有困难,同学们将其转换为测拉力的大小和方向;②拉力的方向同学们开始想用手机 App 测量,但是发现不容易测量准确,最后把角度的测量转化为竖直、水平方向边长的测量;③实验用的绳子尝试用了钢丝、棉线、塑料绳等材质,最后发现用双股的棉线比较理想,既容易固定,也比较牢固;④对接触面的材料选取,同学们也进行了多次对比,发现所用的材料应该不容易变形,否则在拉力不同时接触面之间的摩擦因数就变了。通过实验探究,同学们的动手能力、交流能力有了很大的提高,成功的喜悦、挫折的激励帮助同学们树立科学研究中正确的态度、责任感。另外实验探究也促进了学生的逻辑性、灵活性、质疑性、创造性等思维品质的不断提升。

4 提出新的模型,讨论不会推倒条件

在同学们提出上述猜想并验证的过程中,有同学提出:太极选手可能不会平动,但会被推倒吗?这些同学还是以前面的椅子为实验器材,初步验证自己的猜想,发现当椅子和地面间摩擦力较大,且推力越接近水平时,越容易将椅子推倒,而不是平移了。上面的实验也证实了同学们的初步判断。

同学们进一步体会到,应该以物体的运动和受力情况相结合,修正模型,将人看作一个长方体(刚体)更为合理。由于人的两脚与地面相互作用区域宽度小,下面简单地分析在竖直平面内的情况。

参考前面的方法,将太极选手视为一个有一定大小的长方体,如图 8 所示,竖直平面内高为 b , 宽为 a 。推力作用在长方体的左上角,长方体受力见图 8。不会平动的条件前面已经分析,这里仅分析不会被推倒的条件。

要使长方体不被推倒,以 F_N 和 F_f 的等效作用点 O_1 为支点,由力矩平衡得: $M_G + M_F = 0$, 即: $mg \left(\frac{a}{2} - x \cot \theta \right) - Fx = 0$ 。式中 $x \cot \theta$ 为 O_1 到 F 作用线的垂直距离, x 为 O_1 到 F 作用线的垂直距离。

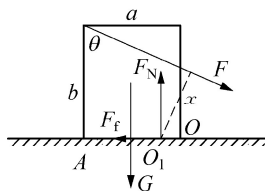


图 8

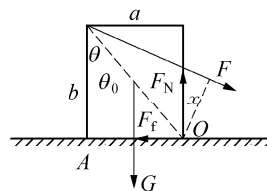


图 9

由公式可得,当 F 增大时, x_{O_1} 、 x 应该减小,即等效作用点 O_1 向右移,最终移到 O 点,如图 9 所示。当等效作用点移到长方体最右端 O 后,以 O 为支点,由力矩平衡得: $mg \frac{a}{2} - F \sqrt{a^2 + b^2} \sin(\theta - \theta_0) = 0$ 。由公式可知,要使长方体不被推倒,则只能减小推力与竖直方向的夹角 θ 来实现。由以上分析可得,当 $\theta \leq \theta_0$ 时,即推力的作用线在 A 、 O 之间时,不管推力多大,长方体都不会被推倒。

经过前述的实验探究和理论分析、推理后,我和同学们又一起重新观看了中央台的这一段视频。这时大家都注意到,年轻运动员推太极选手时手的作用位置在太极选手的腰以下(髋部),运动员越高大推力方向就越接近竖直方向(减小推力与竖直的夹角 θ)。同时我们还注意到太极选手两脚跨得特别大,相当于增加了长方体的底边长度(a 增大),同时降低了重心(b 减小),使自己更加稳定,并用双手控制住运动员的双臂,使其上臂的延长线落在后脚与前脚之间,相当于使推力的作用线通过前、后脚之间,确保自己不会被推倒。至此同学们对视频中太极选手的动作及作用和不会被推动的原因有了一个全新的认识,他们因此而非常兴奋!

5 利用几何画板软件进一步探究

实验过程中同学们发现,受到传感器测量量程的限制,拉力大小的测量会比较困难,当需要的拉力较大时实际很难实现。一部分同学修学了校本课程“几何画板在物理上的应用”,这些同学发现可以用几何画板来进一步分析这个问题(见图 10)。物块静止时的静摩擦力: $f_{\text{静}} = F \sin \theta$,物块与地面间的最大静摩擦力: $f_{\text{max}} = \mu(mg + F \cos \theta)$ (其中 m 、 μ 、 θ 可以改变),以 F (在软件中取为 x) 为自变量画出函数图线①、②,分别代表两个摩擦力随 F 变化的规律。同样可以画出以 O 为支点重力的力矩 M_G 和拉力的力矩 M_F 随 F 变化的图线③、④。图线①、②的交点 I 的横坐标 I_x 表示物体恰好开始平动的时拉力大小,图线③、④的交点 J 的横坐标 J_x 表示物体恰好能绕 O 点转动时拉力的大小。比较 I_x 和 J_x 的大小可知物体更易平动还是转动。当在第一象限交点 I 消失时表示物体不会发生平动,当在第一象限交点 J 消失时表示物体不会发生转动。

用几何画板来仿真实验过程,由于参数可以任意调节,同学们很快发现物块是否能被推动跟摩擦因数大小和推力的方向有关。另外还可以消除实际实

验时推力测量、夹角测量、摩擦因数测量中出现的各种干扰、不稳定因素,可以直观、简便地验证理论分析。作为一种辅助手段,尽管它不能代替实际的实验,但多了一种分析、处理信息的途径。将计算机技术引入物理课堂,可以促进学生的跨学科综合应用能力。

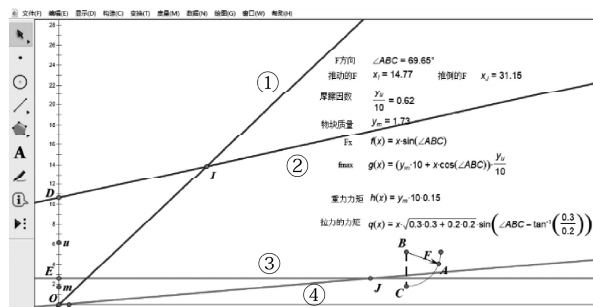


图 10

6 交流反思探究过程与结果

最初我们将实际情境做适当的简化,用一把椅子代替人进行研究从而排除了可能演戏等人为因素。接着我们又把人视为物块(质点),通过对研究对象受力分析,确定太极选手不会平动的条件。最后同学们根据受力情况和运动情况把人看作一个长方体(把人视为刚体,且只研究了一个竖直平面),此时我们不仅可以分析它的平动问题,还能分析它的转动问题。综合研究得到在太极选手能承受的情况下,能否被推动和下列因素有关:①鞋子和地面的粗糙程度;②推力的大小和方向。太极选手通过自己的力量和技巧使年轻运动员对自己的推力尽量接近竖直可以使自己很难被推倒,即上述分析中同时满足 $\theta \leq \theta_0$, $\theta \leq \theta_c$ 时,太极选手既不会平动也不会被推倒。

7 知识拓展,实际应用

7.1 体育课上跳箱用的踏跳板

为了防止运动员踏上踏板时踏跳板往前滑,踏板的倾角会设计得比较小,同时在底座上还固定了防滑橡胶以增大踏板与地面的摩擦因数。为了防止侧翻,踏跳板也设计得比较宽。

7.2 汽车驻车时垫的石块

汽车在陡坡停车时,除了挂档、拉手刹之外,有时司机还会在车轮下垫上石块或砖块等物体防止溜坡。对所垫物体的形状应该选择有较大厚度但倾角较小的物体,可以防止物体打滑。

(下转第 77 页)

$$\begin{aligned} &= f(l, \sin \alpha) - f(l_0, \sin \alpha_0) \\ &= \Delta f \end{aligned} \quad (9)$$

在微振动条件下 $\Delta x = x - x_0 = dx$ 很小, $d\alpha$ 、 dl 、 df 皆是微量, 故有

$$\begin{aligned} F &= \Delta f \approx df = f'_l|_C dl + f'_{\sin \alpha}|_C d(\sin \alpha) \\ &= 2k \sin \alpha_0 dl + 2k(l_0 - L) d(\sin \alpha) \\ &= 2k \sin \alpha_0 \cdot \sin \alpha_0 dx + \frac{mg}{\sin \alpha_0} \cdot \frac{\cos^2 \alpha_0}{l_0} dx \\ &= \left(2k \sin^2 \alpha_0 + \frac{mg \cos^2 \alpha_0}{l_0 \sin \alpha_0} \right) dx \end{aligned} \quad (10)$$

上面的推导中倒数第二步依次用到⑤、⑥、⑧三式进行化简。⑩式表明回复力 F 正比于偏离平衡位置 C 的位移 dx , 此即线性回复力, 故物块的微振动是简谐振动。其角频率 ω 和周期 T 分别为:

$$\omega = \sqrt{\frac{2k \sin^2 \alpha_0 + \frac{mg \cos^2 \alpha_0}{l_0 \sin \alpha_0}}{m}} = \sqrt{\frac{2kl_0 \sin^3 \alpha_0 + mg \cos^2 \alpha_0}{ml_0 \sin \alpha_0}} \quad (11)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{ml_0 \sin \alpha_0}{2kl_0 \sin^3 \alpha_0 + mg \cos^2 \alpha_0}} \quad (12)$$

(上接第 5 页)

7.3 一个简单、有趣的木块小玩具

如图 11 所示, A 是一个有圆柱形凹槽的方形木块, B 是一个有圆锥顶的柱形木块。直接拿着 B 时发现很轻, 但当 B 放入 A 中后, 我们只能用手捏 B 的顶端才能将其取出, 但实际总不能成功。这就是

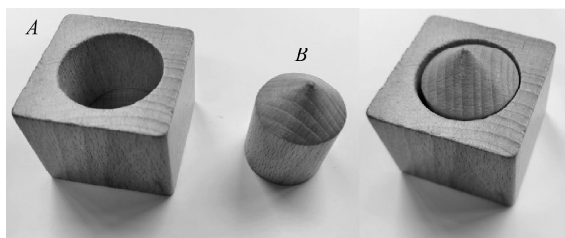


图 11

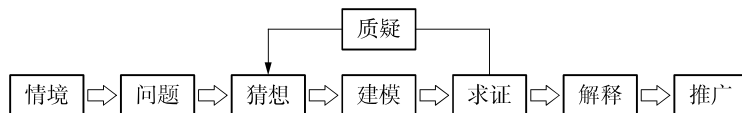


图 12

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版 2020年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020: 4.
[2] 彭前程, 黄想伯. 普通高中教科书 物理(必修 第一册)[M].

上述⑩、⑪、⑫式与文献[1]的结论完全一致, 但本文方法在数理方面更加清晰简捷, 而且易于在相关问题中推广应用。

顺便指出, 若 $\alpha_0 = \pi/2$, 则⑪、⑫式分别退化为 $\omega = \sqrt{2k/m}$, $T = 2\pi \sqrt{m/2k}$, 这正是劲度系数为 $2k$ 的普通竖直弹簧振子的角频率、周期公式, 此时固有振动频率表达式中不含弹簧静变形参量和重力加速度, 而⑪式却含有这两种类型的参量, 当然属于一般情况。至于在什么条件下固有频率表达式中不含弹簧静变形参量和重力加速度, 这是一个有趣而比较复杂的问题, 有兴趣的读者可参考陈奎孚的两篇论文^{[3][4]}, 里面对此有详尽的论述。

参考文献

- [1] 鲁斌, 向豪, 冯子江. 单自由度振动系统频率求解方法探讨[J]. 物理通报, 2020(6): 55—58.
[2] 龚昇. 简明微积分(第4版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 47, 48, 225, 226, 230.
[3] 陈奎孚, 蔡春. 弹簧静变形和重力加速度从固有频率表达式中消失的条件[J]. 大学物理, 2016(10): 23—27.
[4] 陈奎孚. 单自由度振系固有频率不含弹簧静变形的充要条件[J]. 大学物理, 2017(11): 18—24.

一个有关摩擦角的玩具。

8 结束语

本课题研究主要利用了学生的课余时间, 经历了如图 12 所示的探究过程, 采用多样化的教学方式, 利用现代信息技术, 引导学生认识物理本质, 增强了解决实验问题的能力。在教学过程中我们根据 STEAM 教育理念, 数理结合分析现象本质, 利用工程的思想设计、开发实验, 引入计算机等多媒体技术辅助教学, 促进学生跨学科综合能力的提高。通过实践和体验, 在问题的解决过程中使学生学会科学探究, 提升核心素养。

北京: 人民教育出版社, 2019: 112.

- [3] 杜明荣, 赵艺佳. 人教版高中物理新教材特色分析及使用建议[J]. 物理教学探讨, 2021(2): 20—23.