

高中生“斜面模型”的心智模型进阶研究*

李安田

(东莞市松山湖莞美学校 广东 东莞 523000)

曾文玉

(东莞市大岭山中学 广东 东莞 523820)

(收稿日期:2023-03-07)

摘要:以高中生对物理“斜面模型”的心智模型为例进行分析,探讨并提出心智模型进阶方案.帮助教师正确诊断学生学习物理模型过程中出现的心智模型,纠正错误的物理观念,正确理解物理概念与公式,将有瑕疵的心智模型进阶为科学模型,提升学生科学探究与解决问题的能力.

关键词:高中物理;斜面模型;心智模型;科瑕模型;科学模型

1 引言

《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》^[1]出现了69处有关模型的用语,提升了物理模型学习的重要性,对于物理模型的学习提出了更高的要求.对于物理模型的认识,许多学生是错误的、片面的、不科学的,这给众多学生的物理学习造成了极大的阻碍.学生普遍反映高中物理难学,似乎课堂上听懂了,可是课后做题又不会了,更无法深刻理解物理原理.这就需要学生面对原始物理问题时,能抓住物理本质,构建相应的物理模型,进而解决问题.

但是,学生建立的物理模型与解决问题需要的科学物理模型有时存在一定差别,甚至这种差别还比较大,导致影响问题的解决,这和学生的心智模型有关.心智模型是指个体由于本能或通过后天观察、学习等途径形成的对事物、问题的动态的认知结构,它带有一定的解释与预测性.本文采用文献^[2]的分类,将心智模型分为无模型、非科学模型、科瑕模型和科学模型等4个层级.科学模型是最高层级.本文通过分析高中物理的“斜面模型”,以3种典型情况为例,研究部分学生可能出现的不科学或有瑕疵的心智模型,将它们进行整理分类,并据此提出心智模型进阶方案.

2 几种常见的“斜面模型”

2.1 滑块静止放在光滑的固定斜面上的心智模型进阶

物理建模 1:已知斜面倾角为 θ ,滑块的质量为 m ,重力加速度为 g ,求滑块的运动情况.

几乎所有的学生都知道滑块会沿斜面向下运动.但是到底是什么运动性质呢?据调查研究,部分学生的心智模型总结如下.

(1) 无模型或非科学模型:知道滑块会沿斜面向下运动,但不知道是何种运动.

(2) 科瑕模型:知道滑块会沿斜面向下加速运动,知道加速度 a 恒定不变,但不知道加速度 a 等于多少.

出现(1)的可能原因:学生不会对滑块进行受力分析、不理解牛顿第二定律;出现(2)的可能原因:学生不会进行正确的力的合成与分解,不会用数学知识进行求解.

针对以上问题,笔者在教学过程中尝试用下面的思路解决问题,取得了很好的效果.

(1) 首先梳理力与运动的关系.复习牛顿第一定律和牛顿第二定律,根据 $F_{\text{合}} = ma$,可求出加速度 a .

(2) 然后对滑块进行受力分析.画出重力和支持力,抛出问题“如何求出合力”,引导学生思考选择

* 系“培养高中生物理建模能力的教学实践研究”课题研究成果,课题编号:2022GH838.

哪种方法:力的合成法还是力的正交分解法.通过回顾与分析,发现在斜面问题中,选择力的正交分解法更容易回归问题的本质,也更容易理解.

(3) 再对重力进行正交分解.强调画图过程,并通过几何知识确定哪个角是 θ (这一步非常重要,一定不能省略),分别求出 $G_x = mg \sin \theta, G_y = mg \cos \theta$,如图1所示.

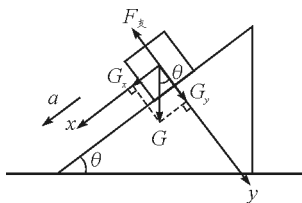


图1 重力的正交分解

(4) 最后求出加速度.由于合力 $F = mg \sin \theta$,根据牛顿第二定律: $F = ma$,求出 $a = g \sin \theta$.

据以上分析,可总结出物理建模1的科学模型:滑块会沿斜面向下做初速度为零、加速度 $a = g \sin \theta$ 的匀加速直线运动.

2.2 滑块静止放在粗糙的固定斜面上的心智模型进阶

物理建模2:已知斜面倾角为 θ ,滑块的质量为 m ,动摩擦因数为 μ ,重力加速度为 g ,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,求滑块的运动.

有些学生会下意识地认为滑块静止不动,还有些学生不确定滑块的状态,知道要讨论,却无从入手.这反应了学生的心智模型存在问题,部分学生的心智模型有以下几种.

(1) 无模型或非科学模型:认为滑块静止.

(2) 无模型或非科学模型:认为滑块会沿斜面向下运动.

(3) 科瑕模型:认为滑块可能静止,也可能沿斜面向下运动,但不知道原因.

(4) 科瑕模型:认为滑块可能静止,也可能沿斜面向下运动.当 $\mu \geq \tan \theta$ 时,滑块静止;当 $\mu < \tan \theta$ 时,滑块沿斜面向下做初速度为零、加速度 $a = g \sin \theta - \mu g$ 的匀加速直线运动.

出现(1)、(2)的可能原因:学生不理解力与运动的关系,只是凭经验得出结论.出现(3)的可能原因:学生或者不知摩擦力种类的判断,或者不知如何求解摩擦力的大小,又或者不清楚力的合成与分解.出现(4)的可能原因:学生把斜面上的摩擦力当成

与在水平面上一样,认为摩擦力等于 μmg .

针对以上问题,笔者在课堂上尝试用下面的思路解决问题,取得了很好的效果.

(1) 首先继续梳理力与运动的关系.强调解决问题的关键是求出加速度 a .

(2) 然后对滑块受力分析.先画出重力和弹力,在画摩擦力的时候提问学生“摩擦力的方向与种类是什么”.一般情况下学生能够判断出摩擦力的方向沿斜面向上.判断摩擦力的种类时,学生就会出现疑惑,到底是滑动摩擦力还是静摩擦力?题目又没说滑块静止还是运动.实际上这就是解决问题的关键点.在这里笔者会引导学生思考:滑块动与不动的条件是什么.再回顾一遍力与运动的关系,加深学生对物体所受合力的理解.

(3) 再引导学生先不管摩擦力的种类,尝试去分析滑块所受合力,反过来再来判断摩擦力的种类.选择力的正交分解法,对重力正交分解,容易发现要想研究滑块的运动就需要比较重力沿斜面向下的分力 $mg \sin \theta$ 与 f 的关系.提问学生 f 在这里取什么值比较合适,学生通过思考会觉得只能是最大静摩擦力,也即滑动摩擦力的大小 $\mu mg \cos \theta$,因为静摩擦力也不知道大小,在这里,笔者会着重强调 $F_N = mg \cos \theta$,而不是 mg ,并且滑动摩擦力 $f = \mu F_N = \mu mg \cos \theta$.

(4) 最后就可以进行讨论了:

1) 如图2所示,当 $mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$ 时,即 $\mu = \tan \theta$,此时合力为零,加速度为零,滑块静止,摩擦力 f 刚好为最大静摩擦力,大小就等于滑动摩擦力;

2) 如图2所示,当 $mg \sin \theta < \mu mg \cos \theta$ 时,即 $\mu > \tan \theta$,此时抛个小问题“滑块会不会沿斜面向上走”.这里提醒学生注意,此时滑块也不会沿斜面向上运动.因为重力沿斜面向下的分力克服不了最大静摩擦力,所以滑块会保持静止.此时滑块受到的摩擦力为静摩擦力,不能用滑动摩擦力的公式来计算摩擦力,而应根据力的平衡条件得出 $f = mg \sin \theta$;

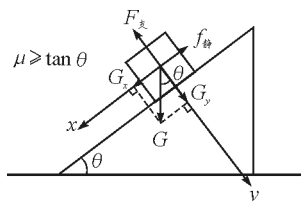


图2 $\mu \geq \tan \theta$ 时滑块受力分析

3) 如图3所示,当 $mg \sin \theta > \mu mg \cos \theta$ 时,即 $\mu < \tan \theta$,合力方向沿斜面向下,滑块将沿斜面向下加速运动,根据 $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$,求出 $a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta)$.

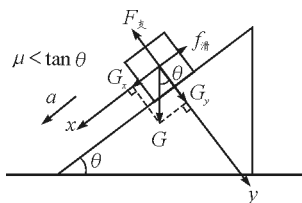


图3 $\mu < \tan \theta$ 时滑块受力分析

综合以上讨论,发现1)、2)可以合并,进一步总结可得出物理建模2的科学模型是:当 $\mu \geq \tan \theta$ 时,滑块静止;当 $\mu < \tan \theta$ 时,滑块沿斜面向下做初速度为零,加速度 $a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta)$ 的匀加速直线运动。

在解决问题的过程中,针对部分学生的迷思概念 $f = \mu mg$ 需要着重强调,纠正学生对于 F_N 的认识,这是两个相互接触的物体间的弹力,不是想当然地认为 $F_N = mg$,还要强调 $f = \mu F_N$ 只是滑动摩擦力的公式,不能用于静摩擦力的计算。

2.3 滑块静止放在粗糙的固定斜面上 受到沿斜面向上的推力作用的心智模型进阶

物理建模3: 已知斜面倾角为 θ ,滑块的质量为 m ,动摩擦因数为 μ ,滑块受到沿斜面向上的推力为 F ,重力加速度为 g ,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,求滑块的运动。

学生会下意识地认为滑块会沿斜面向上运动,这显然不够科学.部分学生的心智模型有以下几种。

- (1) 无模型:认为滑块静止;
- (2) 无模型:认为滑块沿斜面向上加速运动;
- (3) 非科学模型:认为滑块可能静止,可能向上加速运动;
- (4) 科瑕模型:认为 F 较大时,滑块沿斜面向上加速运动, F 较小时,滑块保持静止,但不能定量地分析问题;
- (5) 科瑕模型:认为当 $F > mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时,滑块沿斜面向上运动,当 $F \leq mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时,滑块静止。

出现(1)的可能原因是学生完全不理解力与运

动的关系;出现(2)的可能原因是学生对力与运动的关系欠缺理解,认为推力朝哪个方向,滑块就会向哪个方向运动;出现(3)、(4)的可能原因是学生嫌弃定量计算太麻烦,不愿意深入研究,或是不知从何入手,或是不清楚摩擦力的表达式,或是不会求合力等;出现(5)的可能原因是学生没有考虑到会存在沿斜面向下运动的可能性,或是考虑不到 μ 的大小会影响到讨论的选择等。

针对学生出现的问题,笔者在课堂中尝试用下面的思路解决问题,取得了很好的效果:

(1) 首先进一步梳理力与运动的关系,强调解决问题的关键是求出加速度 a 。

(2) 然后对滑块受力分析.重力 G 、支持力 F_N 、推力 F 容易画出来,而在画摩擦力的时候,可以引导学生思考有还是没有摩擦力、是滑动摩擦力还是静摩擦力、摩擦力的大小是多少、方向朝哪里,等等.思考之后学生就会发现摩擦力的有无、种类和大小的判断与 F 有关.采用极限法分析,如果推力 F 足够大,能够克服重力沿斜面向下的分力和摩擦力,滑块自然会沿斜面向上加速运动,如图4所示;如果推力 F 很小,不妨假设为零时,由物理建模2的科学模型可知,滑块的运动状态与 μ 的大小有关,可能静止也可能沿斜面向下加速运动,可见需要进行分类讨论。

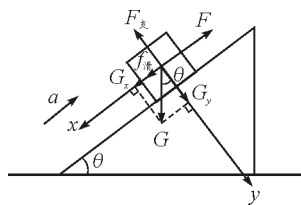


图4 滑块受力分析

(3) 再次总结以上分析,可得出当 $F > mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时,滑块沿斜面向上做匀加速直线运动,与 μ 的大小无关,如图4所示,根据牛顿第二定律: $F - mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$,可以求出加速度 $a = \frac{F - (mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta)}{m}$,而当 $F \leq mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时,由于滑块不能向上运动,所以可能静止或沿斜面向下加速运动。

(4) 最后进一步讨论:当 $F \leq mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时

1) 如果 $\mu \geq \tan \theta$, 即使 F 很小, 由于滑块的最大静摩擦力足够大, 滑块只能静止, 如图 5 所示;

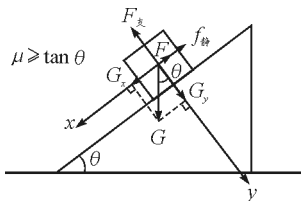


图 5 $\mu \geq \tan \theta$ 时滑块受力分析

2) 如果 $\mu < \tan \theta$, 当 F 足够小时所受合力沿斜面向下, 是可以沿斜面向下加速运动的如图 6 所示, 这个足够小的临界值即为 $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta$, 即当 $F < mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta$ 时, 滑块会沿斜面加速下滑, 根据 $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta - F = ma$, 可求出

$$a = \frac{mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta - F}{m}$$

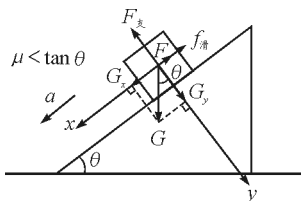


图 6 $\mu < \tan \theta$ 滑块向下运动时受力分析

当 $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta \leq F \leq mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时, 由上述分析可知滑块既不能沿斜面向上运动也不能沿斜面向下运动, 只能保持静止状态, 如图 7 所示.

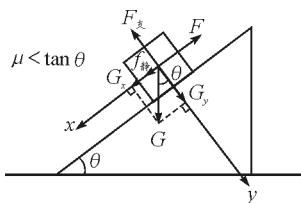


图 7 $\mu < \tan \theta$ 滑块静止时受力分析

综合以上分析, 可总结得出物理建模 3 的科学模型是:

(1) 当 $F > mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时, 滑块沿斜面向上做初速度为零、加速度为 a 的匀加速直线运动, 有

$$a = \frac{F - (mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta)}{m}$$

(2) 当 $F \leq mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时,

1) 如果 $\mu \geq \tan \theta$, 滑块静止;

2) 如果 $\mu < \tan \theta$, 当 $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta \leq$

$F \leq mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$ 时, 滑块静止; 当 $F < mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta$ 时, 滑块沿斜面向下做初速度为零、加速度为 a 的匀加速直线运动, 有

$$a = \frac{mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta - F}{m}$$

通过对这 3 个有关斜面模型的情景分析, 展现了部分学生的心智模型. 将它们分类之后进行归因分析, 发现部分学生的心智模型不够完善的原因有以下几种情况: 对力与运动的关系理解模糊、对力的合成与分解把握不准确、对静摩擦力的理解欠缺、对滑动摩擦力公式中的压力容易直接用重力替代、对摩擦力的种类和大小不确定之后的不知所措等. 教师可以针对学生出现的问题, 逐个分析解决, 通过纠正学生错误的物理观念, 纠正学生错误的思维方式, 培养学生的科学思维, 帮助学生建立科学的心智模型.

当然, 关于斜面模型的种类远远不止这 3 种, 在这里, 笔者只是选择了其中比较典型、简单的 3 种类型做了初步的尝试. 部分学生对于斜面模型是又爱又怕的, 感觉自己什么都懂了, 许多题目也都能轻松地解决, 但是碰到复杂一些的问题又不知从何入手, 瞬间感觉又不会了. 实际上, 这往往是由于学生的心智模型仍然存在瑕疵, 仍然有需要修正的地方. 教师可以从学生的心智模型入手, 找准学生脑海中根深蒂固的、或由于学习不到位产生的错误的观念, 循序渐进, 理清思路, 让问题得以真正意义上的解决.

3 展望

随着教育改革的进一步深化, 国家越来越重视学生模型建构能力的培养, 重视学生科学思维能力的培养和科学素养的提升. 教师通过分析学生的心智模型, 有助于对症下药, 帮助学生纠正错误的物理观念, 正确理解物理概念与公式, 将有瑕疵的心智模型进阶为科学模型, 提升学生科学探究与解决问题的能力, 为社会培养更多的科学人才.

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.
- [2] 张静. 基于心智模型进阶的物理建模教学研究[M]. 南宁: 广西教育出版社, 2020: 91-92.