

# 用分级教学方法来提升学生科学探究素养\*

——以“万有引力定律”教学为例

韩晓宇 芦小刚

(北京师范大学第二附属中学未来科技城学校 北京 100088)

(收稿日期:2022-05-03)

**摘要:**科学探究在科学课中有着重要的角色和地位,课程标准指出科学探究要渗透在课程内容之中,两者不能割裂.科学探究素养的培养不仅仅是以学生实验课程为载体的,在很多概念、规律推理的内容中也都体现了科学探究要素.课程标准同时也具体地描述了学业质量水平的5个等级,就科学探究素养来说,5个等级如何实现是一线教师需要思考的.以“万有引力定律”的教学为例,阐述在规律课中,如何通过分级的教学方法,培养学生的科学探究素养,教学设计中又是如何体现科学探究要素的培养策略.

**关键词:**物理规律课;科学探究素养;分级教学策略

科学探究是我国课程标准关注的重要内容<sup>[1]</sup>.从其他国家课程标准文件对科学探究的具体要求可以看出,绝大多数课程文件将实验探究作为核心探究活动,我国课程标准与这种情况一致,实验探究作为培养学生科学探究能力的载体,涵盖了探究所需的具体知识和能力.此外,我国课程标准对其他一些重要部分也有所涉及,这就能推断,我国物理学科科学探究素养的培养不仅仅依托于实验探究课程,而应该涉及在物理学习的每节课中.本文以“万有引力定律”这节课为例,探索在规律课中培养学生科学探究素养的策略.

必修二仍是面向全体学生的教学,又由于必修一的学习和体会,部分学生有明确的选择意向,针对选考生和非选考生的目标差异,根据课程标准中对学生学业水平的等级划分,教师应面向选考生(A级)和非选考生(B级)有不同的教学策略,即采用分级教学,同时针对学生的水平适当地采用合适的教学策略.

## 1 物理学史——熏陶探究思想

物理学是基于观察、实验来建构物理模型,通过科学推理来论证解释自然界物质的基本结构、相互作用和运动规律的学科;在前辈探究自然的过程中,总结了很多研究方法、逻辑思维,通过史实学习,让学生了解万有引力定律的发展过程,就是对学生探究思维的启发.

A级和B级学生均应该了解这段研究史(表1),B级更侧重研究方法的总结和结果提炼,通过寻找证据证明结果.对于A级学生,教师可以带领学生进行完整的研究史学习,从问题的提出,到证据和推理过程,从结果的得到方法到结果的分析思考,进一步讨论反思结果.整个过程的学习不仅让学生体会了物理学家研究问题的艰辛,让学生跟着物理学家去研究,更有助于学生面对问题时的思考和探究意识的提升.

牛顿善于继承前人的成果,这是和他的奋发好学、勤于思考分不开的.他总结了前辈的数学、力学、

\* 北京市教育科学“十三五”规划2020年度一般课题“通过分级教学培养高中学生物理学科科学探究素养的行动研究”的成果,课题批准号:CDD2020334.

作者简介:韩晓宇(1991-),女,硕士,中教一级,研究方向为中学物理教学和中学德育.

通讯作者:芦小刚(1980-),男,博士,中教一级,研究方向为中学物理教学和中学德育.

天文学成果,才逐渐形成了万有引力的思想.有人问牛顿是怎样发现万有引力定律的,他回答说:“靠不停的思考.”学习物理不仅仅是知识点,不只是象征性的实验,而是真正对科学的探究,了解物理的本

质,通过物理学史给学生呈现前辈的探究过程,不仅能熏陶学生的科学探究思想,还能让学生学会像科学家一样思考,才能逐渐培养起学生的科学探究素养.

表1 物理学史学习<sup>[2]</sup>

代表人物	观点原因	研究方法	价值体现
亚里士多德	局部运动理论,将物理学从生产、生活中提炼,符合人的认知规律	观察+直觉	对数学、天文学、物理学加了太多自然哲学原理,但也说明物理来源于生活又应用于生活
托勒密	地球是宇宙的中心,并且静止不动,一切行星都围绕地球做圆周运动	主观+神秘	宗教神学:地球是宇宙中心,能解释一些天文现象,又符合人们的日常经验
哥白尼	日心说:太阳是宇宙的中心,并且静止不动,一切行星都围绕太阳做圆周运动	观察+观测	有对称、统一思想,使古代科学走向了近代的牛顿力学,使自然科学从精神中独立出来,构造了崭新的宇宙体系
第谷	精准测量行星位置	观察+天文测算	重视实际观测,致力于对仪器精准度的追求、改进,把人们测量天体位置的误差大约是 $10'$ 缩小到 $2'$
开普勒	行星的运动是受到了来自太阳的类似于磁力的作用	实验+数学	重视实验和数学,总结开普勒三大定律,著《新天文学》,提出力与距离成反比
伽利略	一切物体都有合并的趋势,这种趋势导致物体做圆周运动	实验+逻辑推理	著《星界信使》,标志“物理学真正的开端”,把实验方法引入物理研究中,强调物理学科是“实验”的
笛卡儿	在行星的周围有旋转的物质(以太)作用在行星上,使得行星绕太阳运动	数学推理	真正科学的出发点,实验可以提供“原始前提的必要素材”,寻求“自然的第一原因”的思想,开始对实验方法进行研究
布里阿德	提出著名假设:从太阳发出的力,应与距太阳距离的平方成反比例	数学推理	为后期数学证明提供了方向
胡克	行星的运动是太阳吸引的缘故,并且力的大小与行星到太阳距离的平方成反比	数学+实验推理	觉察到引力和重力有同样的本质
牛顿	发现了万有引力定律	实验+数学+推理	牛顿:如果说我看得比别人更远,那是因为我站在巨人的肩膀上

## 2 模型建构——开启探究旅程

建模贯穿于物理问题解决的全过程,建构物理模型,就是对实际的复杂问题进行抽象概括的过程,也是针对真实情境提炼物理问题的过程.科学建模有助于培养学生面对真实问题的解决能力,有助于提高学生面对陌生问题的思考能力,有助于提升学生的科学思维,从而培养物理学科素养,这也是对A级学生的要求;B级学生则可以在教师的引导下建构模型,教师带领下梳理要研究的问题,进而寻找证据得出结论.

万有引力定律的得出就是基于建模之上的问题,宇宙、星球远离学生,运动轨迹不直观,力概念的

抽象是解决问题的困难之处.因此建模就是非常必要的.建模是一项忽略次要因素、强调主要因素,在复杂问题中突出主要问题、将抽象问题显现出来的活动,这里的模型建构如图1所示.

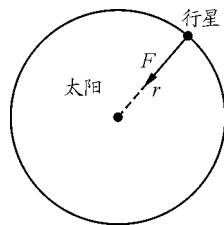


图1 模型建构

(1) 行星绕太阳的运动轨迹是椭圆,我们简化为圆轨道;

(2) 行星绕太阳的运动是变速的,简化为匀速

圆周运动；

(3) 所有天体都看作质点；

(4) 解决的主要问题：行星和太阳之间的力与什么因素有关，有怎样的关系。

通过模型和问题的提出，学生猜想与太阳、行星

之间的距离有关，还可能与太阳和行星的质量有关，进而用已有的匀速圆周运动知识对行星受力分析，学生推导得出向心力表达式  $F$  与  $r$  和  $m_{\text{太}}$ 、 $m$  的关系。表 2 提供了教师在理论推导的教学中如何向 A 和 B 级学生渗透科学探究的思想。

表 2 A 级、B 级学生在推导过程中的科学探究思想渗透

分级学生要求	推导过程	科学探究思维方法
A 级学生独立完成推导，在教师指导下得出结论。 B 级学生在教师指导下逐步完成推导过程和分析过程得出结论	探究问题： $F$ 与 $r$ 、 $m_{\text{太}}$ 、 $m$ 的关系	① 在推导过程中要能将变量转化为所研究的物理量； ② 渗透“控制变量”“统一变量”的思想
	探究结果分析	将推导结果进行分析，得到探究结论：力与 $r^2$ 成反比，与 $m$ 成正比
	根据结果进行解释	相互作用的物理观念，转化研究对象，从太阳对行星的引力推导行星对太阳的引力，行星和太阳的地位完全相当，这是一种类比学习方法
	反思和交流，最后得出结论	① 根据牛顿第三定律将两个引力的关系式整合，得到引力关系； ② 根据比例关系猜想数量关系式，和各物理量的意义，推导完成

### 3 反思检验——活化探究思维

“科学的推导和逻辑推理，学生已经得出了自己的结果，结果是否准确，是否能应用到更一般的情况下呢？如果能，我们如何检验求证呢？”这是教师经常用来引导学生进一步思考的问题，对于 B 级学生问题意识的激发有一定的作用；相比之下，A 级学

生这个引导应该有更高位的目标，我们总说要提升学生的探究素养，就要培养学生从科学家的角度来看世界，假如现在我们处于牛顿那个年代，也推理得出太阳与行星之间具有这样的引力关系，那么下一步我们该思考什么样的问题呢？图 2 展示了思维链，让探究过程更显化。

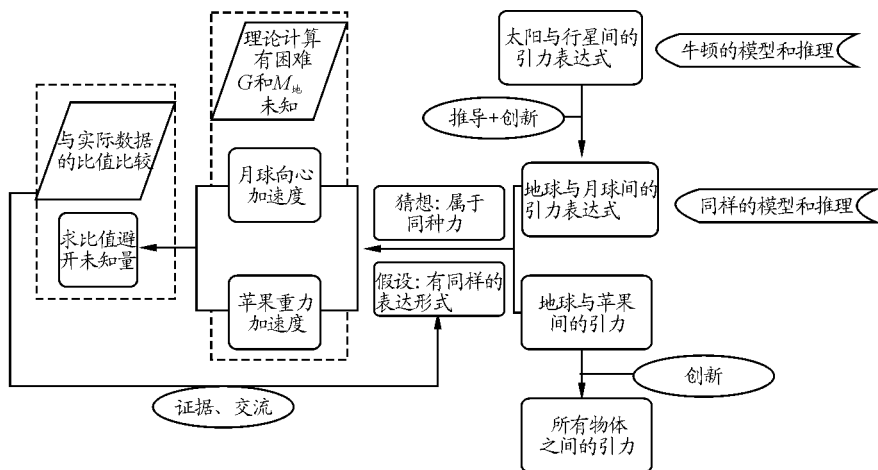


图 2 探究思维链

这个探究过程没有实验的帮助，学生通过从实际问题中建模进行科学探究，同样经过猜想、假设、证明、交流的探究过程<sup>[3]</sup>。活化思维，能激发学生的能力，带领 A 级学生引发对地球与月球之间引力的关系推理，这个模型与太阳-行星模型类似，因此得出地球-月球之间的引力也可以有同样的表达形式；

再从地-月系统转移到地球能吸引表面的任何一个物体，即苹果落地所受的重力也可能具有同种表达形式(猜测)；再拓展到任何两个物体之间的引力，这是一个循序渐进的过程，无论对于当时的牛顿还是现在的学生，这无疑都是一个大胆的创新、一个猜想、一个前所未有的突破；从浩瀚的宇宙星体，到可

视的地月系统、苹果落地现象,逐渐拉近学生与所探寻的引力表达式间的距离.下一步就是验证猜想的环节,我们使用假设法来证明.这部分是推理的更高阶的能力要求,A级学生要求能独立完成:“月-地验证”的方案和检验推理计算过程;B级学生则在教师给出问题后,引导学生研究验证方案并带领学生推理,得出结论.通过推理证明:月球向心加速度与苹果落地加速度之比的假设结果和真实的观测结果一致,学生讨论交流后得出结果:地球吸引月球的引力和吸引苹果落地的引力是同一性质的力,都可以用一个共同的表达式来表示.这个学习过程学生经历了从真实问题—设计模型—提出检验问题—结果反思,最终得到结论.

通过两次的检验过程,先假设是同种力,做出猜想:可以写成同种表达形式,根据猜想寻找可证明的方法,通过推理计算,证明猜想、验证假设,学生对理论问题的探究过程更加熟悉,过程中包涵了科学探究的4个要素,也包涵了物理探究的思路和方法,学生学会了用“归纳法”得出结论的物理研究方法;学会解决真实问题的建模方法;学会科学探究问题的研究方法.学生不仅熟悉了科学探究的过程,也了解了科学探究是不断假设、不断猜想、不断验证、不断检验的过程,最后得出结论.

#### 4 结果完善——形成探究结论

这节课的教学设计从太阳系拓展到地球系,从遥远的天边拓展到身边的苹果,继续解放思想,我们还可以拓展到任意两个物体之间.牛顿就是这样思考的,总结了万有引力定律.当然这期间万有引力接受了各种事实直接或间接的验证.

上述过程我们解决了万物之间皆有引力作用的问题,然而,万有引力的表达式还不够完善,比例系数是多少?为何生活中感受不到这个引力的存在?这些问题的存在都有一个明确的指向:比例系数一定很小,只有测出这个值,以上问题就迎刃而解.那么它小到什么程度呢?怎么测定?

上述与万有引力相关的一系列问题,在物理学史上曾经有不少科学家进行了研究和探索,一直没

有得到理想的结果,直到牛顿提出万有引力定律100多年后,英国物理学家卡文迪什比较准确地测出了引力常量 $G$ , $G=6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ .卡文迪什测量引力常量的装置巧妙地利用了扭秤装置,如图3所示.学生阅读材料,在阅读中提炼实验思想和原理,体会微小作用力两次放大的巧妙.至此,我们的探究形成了结论:自然界中任何两个物体都相互吸引,这个引力有着简洁而一致的表达形式和科学规律.也正是这种对简洁性的追求启迪科学家们不断探索物理理论的统一.

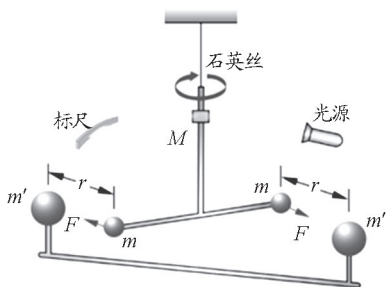


图3 扭秤装置

综上所述,这节课的教学设计着重以万有引力定律的得出过程为主线,通过学习物理学史感受探究过程的艰辛,通过推导切身体会探究的过程,通过两个检验过程让学生完成探究,学会交流和反思. A级和B级学生都在这个过程中体会从特殊到一般的科学归纳法,这些科学方法是在教学过程中无形中体现的,对学生科学探究和物理思维的影响是巨大而深远的.而基于学生的目标质量的要求,相比于对B级学生的教师带领探究,教师更应该着重放手对A级学生的实践引导,加强思维能力的训练;教学的本质是培养人,物理教学的重要目标是培养学生核心素养,通过科学探究过程,让学生对研究过程更加清楚,科学素养更加浓厚,科学思维更加灵活而有灵魂.

#### 参考文献

- [1] 刘思山,曹保义.普通高中物理课程标准(2017年版)解读[M].北京:高等教育出版社,2020.
- [2] 李艳平,申先甲.物理学史教程[M].北京:北京科学出版社,2003.
- [3] 王高.科学探究:思维不能缺席[J].物理教师,2021(4): 18-20.