

# 试论“科学探究”素养的实质与教学实现<sup>\*</sup>

## ——问题解决的视角

陈刚 (华东师范大学教师教育学院 上海 200062)

**摘要** “科学探究”素养本质上是通过个体运用科学探究的方法解决各子环节问题体现出来的。不同子问题的解决需要不同的认知策略和必要技能。教师只有厘清具体课堂学习中所遇到的各子问题解决的策略,才有可能帮助学生运用科学方法解决子问题。而课堂时间和资源有限,不可能为每一位学生提供解决问题的完整经历,教师应综合课外活动和课堂学习中问题解决来实现对学生科学探究素养的培养。

**关键词** 科学探究 问题解决 教学

**文章编号** 1002-0748(2021)8-0002

**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)》提出培养学生科学探究素养的目标。“科学探究”素养是指基于观察和实验提出物理问题、形成猜想和假设、设计实验与制订方案、获取和处理信息、基于证据得出结论并作出解释,以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思的能力<sup>[1]</sup>。

如果用完整的语言加以描述,学习者具有科学探究素养,表现为“具有运用科学探究方法解决物理问题的能力以及对研究结果的解释交流能力”。前一种能力更能反映学习者物理课程学习的水平,后一种能力则偏重于一般意义交流能力的迁移,与物理课程学习关系不如前者紧密。个体表现出解决特定问题的能力,本质上就是其运用相应的方法选择解决问题所需必要技能的过程。所以,讨论“能力”,就应阐述与此能力对应的方法和需要的必要技能。

本文将依据问题解决心理学的相关研究,结合物理学科具体实例,阐述“科学探究”素养中解决问题的实质以及教学实现等问题。主要回答以下问题:

**问题1** 学生表现出科学探究的能力,其背后的心理机制为何?

**问题2** 课堂教学中培养学生科学探究素养,如何有效实施?

## 1 问题解决相关研究

### 1.1 问题

所有问题都有三个基本成分:①问题的起始状态;②问题的目标状态;③障碍。由起始状态到目标状态都不是通过直觉或回忆而能实现的,其间存在障碍,需要进行思维活动。“如果我们在回答一个问题或者实现某个目标的时候需要克服一些障碍,此时我们便卷入了问题解决。如果我们很快地从记忆中提取答案,那么我们面临的并不是问题,只有当我们不能提取出直接的答案时,才能称之为需要解决的问题。”<sup>[2]</sup>

如果问题的起始状态、目标状态,以及从起点到终点的路径都是清楚的,此类问题就称为结构良好的问题。反之,只要问题的起始状态、目标状态以及路径有一个不明确,则此类问题就称为结构不良的问题。

显然,课堂教学所需要达到的目标是清楚的,在教学前教师都会选择出所需的教学素材,即起始条件也明确了,从学习的起始条件到最终目标达成的途径也就清楚了,所以课堂教学中的学习问题属于结构良好的问题。

### 1.2 问题解决过程与策略

现代信息加工心理学把问题解决分为以下几个阶段:形成问题空间、确定问题的解决策略、运用算

\* 基金项目:本文系上海市“立德树人”基础教育教材建设重点研究基地项目(编号:2020基1-1-49)的研究成果。

子、评价当前状态<sup>[3]</sup>。

算子是指能够将问题空间中的一种状态转化成另一种状态的操作行动。在物理问题解决中,算子就是解决问题所必需的物理概念和规律等。问题解决需运用一系列的算子,究竟选择哪些算子,将它们组成什么样的序列,都依赖于人们采取哪种问题解决的方案或计划,问题解决的方案、计划或办法等都称作问题解决的策略,它决定着问题解决的具体步骤<sup>[3]</sup>。

认知心理学认为,问题解决是问题解决者在认知策略引导下,从认知结构中搜索出解决问题所需必要技能并做先后排列的过程。

问题解决的策略主要有两种类型:强方法和弱方法。强方法适用解决问题的范围比较窄,每一步基本聚焦于解决此类问题所需的必要技能,解决者在认知结构中搜索必要技能范围就小,其解决一类问题的效率就比较高。

弱方法通常解决问题范围比较广,用于对解决者起指引思考方向的作用,并不聚焦解决具体问题的必要技能,因而解决问题效率较低。

有研究指出:认知策略和方法是同性质的概念<sup>[4]</sup>。

## 2 科学探究素养的实质

### 2.1 科学探究是解决一系列子问题的过程

科学课程标准解读提出,“科学探究要素”包括:提出问题、假设猜测、制定方案、获取事实与证据、验证等<sup>[5]</sup>。

对于一个待研究的科学问题,如果个体确定通过实验来进行研究,那么他就会面对如下问题:如何通过实验研究这个具体的科学课题?

此时,“科学探究要素”可以引导个体的思考方向,一步一个台阶,较之面对问题时无从思考、不知如何行动,其解决问题效率更高,所以,“科学探究要素”属于认知策略,但由于没有聚焦于解决具体问题所需的技能,属于认知策略中的弱方法。

遵循科学探究过程要素进行问题研究时,又会遭遇到一系列的子问题,如:

① 遵循何种方法,提出并用科学术语界定待研究现象?

② 遵循何种方法,猜测待研究现象的相关因素?

③ 猜测出待研究现象的相关因素,遵循何种方法规划出研究方案?

④ 依据规划好的方案,遵循何种方法设计出待研究现象与其影响因素关系的实验装置?

⑤ 获得数据后,遵循何种方法对数据进行整理?遵循何种方法对数据进行加工获得结论?

⑥ 遵循何种方法,对获得结论的正确性做出检验?研究表明,科学探究各子环节的策略如表 1 所示<sup>[6]</sup>。

表 1 实验探究学习途径子环节中问题解决的策略

子环节		所用方法
提出问题		模型法等
假设与猜测		归纳法中的穆勒五法、演绎法、类比法等
制订探究方案	规划方案	控制变量法、归纳法中的穆勒五法、演绎法等
	设计实验	设计实验通用策略、等效替代法、转换法等
获取事实与证据	整理数据	列表法、图象法等
	获得结论	归纳法、演绎法、理想实验法等
验证		验证方法

### 2.2 科学探究素养的实质

下面结合“实验研究滑动摩擦力的物理性质”课例对上述子问题解决过程作出解释。

#### 2.2.1 “假设猜测”环节

##### (1) 问题

根据何种方法,猜测影响滑动摩擦力大小的因素?

猜测不是瞎猜,学习者最常运用归纳法形成假设。

教学片断:

师:请同学们想一想滑动摩擦力的大小可能与什么因素有关系?将你的猜想说出来。

生:滑动摩擦力可能与接触面之间的压力有关,因为擦黑板时,越是用力按板擦,板擦在黑板上滑动越费力。

生:滑动摩擦力可能与接触面粗糙程度有关,因为冬天可以在冰面上滑行,在地面上却不行。

生:滑动摩擦力可能与接触面的大小有关,因为摩擦力发生在两个物体的接触面之间,而接触面有大小。

师:同学们做了有依据的猜想,接下来我们将通过实验来研究滑动摩擦力的大小与这些因素是否有关。

##### (2) 解决问题的机制

本例主要采用探究因果联系的穆勒五法作出猜测。

探究因果联系的归纳法,包括求同法、差异法、共变法、求同求异法和剩余法。其中,共变法是指通

过考察被研究现象发生变化的若干场合中,确定是否只有一个情况发生相应变化,如果是,那么这个发生了相应变化的情况与被研究现象之间存在联系。其结构可以如表 2 所示。

表 2 共变法的结构

场合	先行情况	被研究现象
1	$A_1$ 、 $B$ 、 $C$	$a_1$
2	$A_2$ 、 $B$ 、 $C$	$a_2$
3	$A_3$ 、 $B$ 、 $C$	$a_3$
所以, $A$ 与 $a$ 有关		

显然,本环节中学习者建立“滑动摩擦力大小与物体间压力大小(可能)存在因果关系”“滑动摩擦力大小与接触面粗糙程度可能有关”的猜测,用的就是共变法。

(3)“科学探究”素养之形成猜想和假设的实质研究表明,除了归纳法,学习者还可以运用类比法,依据已有经验通过演绎推理或者运用理论分析进行猜测。

“科学探究”素养之形成猜想和假设实质上就是学习者运用穆勒五法、类比法或者理论分析等方法形成待研究因素与可能相关因素联系的过程。

### 2.2.2 “规划方案”环节

#### (1) 问题

经过猜测环节,学习者已经猜测出滑动摩擦力可能与物体间压力大小、接触面粗糙程度、接触面大小有关。

此时学习者将面对问题:如何安排接下来的研究活动,研究滑动摩擦力与相关因素间是否存在关系以及存在何种关系。

#### (2) 解决问题的机制

本例中研究方案的规划可采用控制变量法。

控制变量法:经过“猜测”环节已猜测出被研究现象多个可能的影响因素,且因素间满足一一对应关系,在安排实验研究方案时,可运用控制变量法。其基本步骤为:

① 确定被研究现象  $A$ ,以及  $A$  的可能影响因素  $B$ 、 $C$  等。

② 分别研究  $A$  与  $B$ 、 $A$  与  $C$  等间的关系。

研究  $A$  与  $B$  的关系:保持  $C$  等因素不变,只改变  $B$  因素,观察  $A$  的变化情况;

研究  $A$  与  $C$  的关系:保持  $B$  等因素不变,只改变  $C$  因素,观察  $A$  的变化情况;

.....

根据控制变量法,本例中规划方案如下:

① 滑动摩擦力与正压力大小是否有关。保证实验中只有压力大小发生变化,而其他条件不变,观察滑动摩擦力大小是否变化;

② 滑动摩擦力与接触面粗糙程度是否有关。保证实验中只有接触面粗糙程度发生变化,而其他条件不变,观察滑动摩擦力是否变化;

③ 滑动摩擦力与接触面大小是否有关。保证实验中只有接触面大小发生变化,而其他条件不变,观察滑动摩擦力大小是否变化。

由规划好的方案,可初步形成实验记录表,如表 3 所示。

表 3 实验记录表

研究问题	实验次数	变化条件	滑动摩擦力	不变条件
滑动摩擦力与压力大小是否有关	1	$N_1$	$f_1$	接触面粗糙程度、接触面积
	2	$N_2$	$f_2$	
	.....			
滑动摩擦力与接触面粗糙程度是否有关	1			接触面正压力、接触面大小
	2			
	.....			
滑动摩擦力与接触面大小是否有关	1			接触面正压力、接触面粗糙程度
	2			
	.....			

#### (3)“科学探究”素养之规划方案的实质

规划方案的方法主要有控制变量法、归纳法(求同、差异等)、演绎法(或理论分析)等。因此,“科学探究”之规划方案本质上是学习者运用控制变量法等方法形成初步研究方案的过程。

### 2.2.3 “设计实验”环节

#### (1) 问题

如何设计实验来研究滑动摩擦力与正压力大小等的关系?

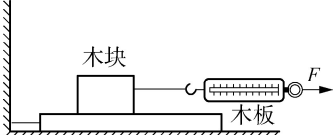
教材中提供的实验仪器有:长木板、长方体小木块、砝码若干、粗棉布、弹簧秤等。

#### (2) 解决问题的机制

本例可遵循设计实验的通用策略解决。

设计实验通用策略:①确定实验目的;②确定实验中的研究对象;③确定实验中研究物体的状态及过程;④确定需要测量的物理量以及各物理量测量的原理;⑤确定测量各物理量的实验仪器;⑥确定每次实验中物理量的变化方式;⑦确定实验仪器的连接方式。

表 4 “滑动摩擦力大小”物理性质的实验设计

① 确定实验目的	研究滑动摩擦力大小与正压力间的关系	
② 确定实验中的研究对象	长方形木块在长木板上运动所受滑动摩擦力	
③ 确定实验中研究物体的过程、状态	木块受力在长木板上滑动	
④ 确定需要测量的物理量及各物理量测量的原理	测量木块所受滑动摩擦力； 测量木块与木板接触面间的正压力	子问题①的解决方法：转化法
	滑动摩擦力大小的测量：构成子问题①； 正压力的测量：放置在水平面上的物体，对水平面的压力，大小等于物体所受重力	
⑤ 确定测量各物理量的实验仪器	受力用弹簧秤测量	
⑥ 确定每次实验中的条件(如物理量的变化方式)	通过增加木块上砝码的数量，增加接触面间的压力	
⑦ 确定实验仪器的连接方式	 <p style="text-align: center;">图 1 方案一</p>	

子问题①：在实验设计第 4 步中，需要确定滑动摩擦力大小的测量原理。滑动摩擦力无法直接测量，此时如何测量滑动摩擦力的大小呢？

该问题可运用转化法解决。

转化法：如果待求物理量无法直接测量或测量较复杂，可通过适当的物理规律，将待求量的测量转化为易测物理量的测量来解决。

本例中，根据提供的实验仪器，滑动摩擦力可运用转化法“根据二力平衡，将物体所受滑动摩擦力大小的测量转化为其匀速运动时拉力大小的测量”来间接测量。

子问题②：如何更准确地测量出木块受木板的滑动摩擦力？

实验中发现，用弹簧秤拖动木块在木板上运动时，弹簧秤示数不稳定，也就是测量中所需的状态不满足，构成又一个子问题。

解决过程：滑动摩擦力发生在两个相互运动的物体之间，将木块相对木板的匀速运动，替换为木板相对木块的匀速运动，两者间的滑动摩擦力性质一致，但木板相对木块做匀速运动的状态更稳定，如图 2 所示。

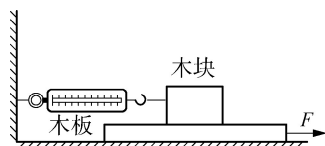


图 2 方案二

解决子问题②的方法：在“等效”滑动摩擦力的条件下，通过两物体相对运动方式的改变，达到实验所需过程和状态的实现，即运用的方法是等效替代法。

由以上分析可知，在“滑动摩擦力大小影响因素”的研究中，可遵循设计实验的通用策略完成实验设计。当物理量无法或难以测量时，可运用“转化法”解决。当实验状态难以完成物理量的有效测量时，可运用“等效替代法”解决。

### (3) “科学探究”素养之设计实验的本质

研究表明，对“设计实验”环节的子问题，其解决需要运用设计实验通用策略以及转化法、等效替代法等方法来完成。因此，“科学探究”素养之设计实验的本质是学习者在设计实验通用策略、转化法、等效替代法等方法引导下，从认知结构中选择出物理量测量原理、仪器操作技能等必要技能，形成实验装置方案的过程。

#### 2.2.4 “处理数据，获得结论”环节

##### (1) 问题

① 获得滑动摩擦力与正压力的实验数据后，如何整理数据？

② 用图象法整理数据后，发现滑动摩擦力与正压力的关系图线是过原点的一条直线，如何获得结论？

##### (2) 解决问题的内在机制

对于问题①，可运用图象法整理数据。

图象法的适用条件：研究物理量间满足的数学关系。

基本步骤：

① 在方格纸上画出一条水平线( $x$ 轴)和一条垂直线( $y$ 轴)。

② 给  $x$  轴标上自变量名称，给  $y$  轴标上应变量名称，并标明单位。

③ 在两条轴上分别标上刻度。单位数值的间距要相同,数值范围要能包含所有实验数据。

④ 把每一个数据在图中所对应点标出。

⑤ 用实线连接各个数据点。在某些情况下,可能需要画一条能反映数据的总趋势的直线,这条线应处于所有点的中间,使分布在线上下点数大致相同。

⑥ 如果是曲线,那么可以设法对其中一个物理量做变换(如取倒数等),然后通过变换后的物理量与另一个待研究物理量,通过所作图象是否是直线来确定两个物理量间的关系。

本例中通过图象法,可获得“滑动摩擦力与正压力的关系图象是过原点的一条直线”。

对于问题②的解决,可运用演绎推理获得。

演绎推理:由反映一般性知识的前提得出有关特殊性知识的结论的一种推理,其最基本的形式是三段论,由大前提、小前提、结论构成。

本例中:

如果两个量成正比,则其图象是过原点的直线(大前提);

滑动摩擦力与正压力的关系图象是过原点的直线(小前提);

滑动摩擦力大小与正压力成正比(结论)。

(3)“科学探究”素养之获取事实与证据的实质“科学探究”素养之获取事实与证据本质上是学习者运用图象法等方法整理数据,运用演绎推理、归纳推理等逻辑方法建立物理量间因果关系的过程。

小结:由以上讨论可知,科学探究本质上就是学习者运用相应策略解决各环节子问题的过程。对

表 5 教学流程

教学活动	教学活动说明	
① 师:前面我们规划了实验方案,要分别研究滑动摩擦力与正压力、接触面粗糙程度、接触面大小等的关系。我们先来研究滑动摩擦力与正压力的关系。请同学们观察桌上的实验器材,我们可以选择哪个物体作为研究对象? 生:有一块长木板、一些长方形木块、弹簧秤等,我们可以研究长方形木块在长木板上滑动时受到的滑动摩擦力与影响因素间的关系	引导学生思考方向:确定实验目的、选择实验对象	
② 师:根据研究目的和规划的方案,研究中,小木块应出现何种过程和状态?需要测哪些物理量? 生 1:长方形木块应该在长木板上滑动。 生 2:测出木块受到的滑动摩擦力,以及相应的木块对木板的正压力	引导学生确定实验中应出现的状态,确定实验中需要测量的物理量	
③ 师:实验中木块所受的滑动摩擦力可以直接测量吗? 生(思考):没有办法测量。 ④ 师:对于没有办法直接测量的物理量,以往的研究中我们通常采用何种方法来获得? 生:可用转化法。 ⑤ 师:转化法是…… 生:通过物理量间的关系,将待测物理量转化为易测物理量实现。(如学生不能回答,教师可提示转化法或提供前期学习中转化法的样例) ⑥ 师:那么,滑动时木块所受的摩擦力大小与哪个物理量或过程有关呢? 生(思考):……	确定滑动摩擦力测量的原理(引导学生遵循转化法解决该子问题)	引导学生确定物理量的测量原理

标课程标准的描述,学生主要是在实验探究学习途径中经历并表现出科学探究素养,因此实验探究学习途径是培养学生科学探究素养的重要场合。

此为对问题 1 的回答。

### 3 科学探究素养的培养

既然学习是学生运用一定策略解决各环节子问题、习得相应学习结果的过程,那么教学就是教师遵循各环节中相应策略的引导,帮助学生选择解决问题的技能,从而解决问题、习得所学知识的过程。

教学方式主要有三种:

① 传授式教学。教师遵循相应方法的结构,自己选择解决问题所需知识和技能,并解决问题。

② 启发式教学。教师遵循相应方法的结构,引导学生获取解决问题所需知识和技能,逐步有序地解决问题。

③ 探究式教学。教师提供问题情景,由学生自己遵循相应方法的结构,解决相应问题。

此为对问题 2 的回答。

下面以滑动摩擦力大小一节教学中“设计实验”环节为例做一说明。

教学内容:滑动摩擦力大小一节“设计实验”环节。

教学目标:经历设计滑动摩擦力大小影响因素的实验,体验设计实验的通用策略及转化法等方法运用;增加科学探究素养之设计实验的经验。

教学方法选择:启发式教学。

教师引导学生经历设计实验通用策略的步骤,完成实验设计的任务。教学流程如表 5 所示。

续 表

教学活动	教学活动说明
⑦ 师：物体从静止到滑动起来，一般需要……？ 生：对它施加拉力或推力。 ⑧ 师：滑动摩擦力与拉力或推力间有关系吗？ 生：如果物体做匀速运动，根据二力平衡，那么滑动摩擦力等于拉力大小。 ⑨ 师：是不是可以通过这种方法，测量木块滑动摩擦力的大小？ 生：可以的，用拉力作用，保持木块在长木板上做匀速直线运动，用弹簧测力计测出拉力大小，其值就等于木块此时滑动摩擦力大小	
(10) 师：前面解决了实验中滑动摩擦力大小的测量。本实验研究滑动摩擦力大小与正压力的关系，那么木块对接触面的正压力如何测量？ 生：在物体水平放置时，其对接触面的压力大小等于物体所受重力大小，所以我们只要测出木块的重量就可以了	确定正压力的测量原理
(11) 师：实验中需要在正压力变化条件下测量滑动摩擦力大小，如何实现正压力大小的变化呢？ 生：可以通过增加木块上砝码数量的方式	引导学生确定实验中变化条件的实现方式
(12) 师：上面我们讨论了实验的对象、相应物理量的测量，请同学们完成实验装置选择和组合	引导学生完成实验装置的组合

本案例教学中，教师遵循设计实验的通用策略，引导学生根据提供的实验装置，完成实验设计。在确定滑动摩擦力的测量原理时，引导学生遵循转换法的步骤，尝试解决子问题。整个教学中，学生经历了设计实验通用方法、转换法的运用，教学中每一步都有据可依，体现出科学探究本身的科学、严谨的特征。

#### 4 结束语

物理概念和规律的课堂教学中，通常都提供明确的实验装置。实验装置一旦给定，那么课堂中学生需要解决的问题就属于结构良好的问题了，其起始条件、目标状态、可能遭遇的子问题、解决问题所需的策略和必要技能都将是确定的。如果教师在教学中遵循各子环节问题解决的策略，引导学习者选择解决各子问题所需技能，从而解决问题，学生就可以体验问题解决中“科学方法”的运用。而受课堂教学中时间和资源所限，无法给全体同学都提供真正解决问题的机会。

所以，对“科学探究”素养的培养，课堂教学可达成的目标是：科学方法的运用经历、科学方法意义的学习（也就将科学方法的适用条件和步骤显性化呈现给学生）。

课外活动中需要学生解决科学类或技术类小课题，其研究方案、实验装置等都需要学生自己来确定。在实际完成课题过程中，不同个体遭遇到的子问题不同，解决子问题所需的策略和必要技能就不同。所以，课外活动的物理学科课题所构成的问题（对学生而言）是结构不良的问题，学生只能运用科学方法等弱方法来解决，这种条件下学生经历的才

是真正意义上的问题解决。课外活动是培养学生科学探究、科学思维素养适合的场所。

所以，对“科学探究”素养的培养，课外活动实现的目标是：科学知识以及科学方法的真实“运用”。

学习心理学研究表明：能否成功地运用一般解决问题的策略和一般推理规则（即各种弱方法）其关键是，人是否已具备了特定领域的相应知识。也就是说，要运用科学探究方法（含各子问题解决所需策略）解决物理问题，其关键在于个体在物理学科领域所习得知识的数量和质量。因此在教学实践中，应该重视每一概念和规律的物理意义与物理性质的习得，帮助学生经历科学方法的运用，增加科学方法运用的体会。然后在课外活动中，开设适合中学生研究的课题，以利于学生在真正的问题解决中，运用科学方法选择科学知识解决问题，提升自己的科学探究能力。总而言之，学生科学探究素养的培养应通过综合课堂学习和课外活动中的问题解决才有可能实现。

#### 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: 5.
- [2] Robert J. Sternberg. 认知心理学(第三版)[M]. 杨炳钧, 等译. 北京: 中国轻工业出版社, 2006: 289.
- [3] 王甦, 汪安圣. 认知心理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992: 288.
- [4] 陈刚, 刘金梅. 试论“科学思维”素养的实质与教学实现[J]. 物理教学, 2021(7): 7—12, 18.
- [5] 教育部基础教育课程教材专家工作委员会. 义务教育初中科学课程标准(2011年版)解读[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012年: 115—118.
- [6] 陈刚. 物理学习与教学论[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2019: 104.