

核心素养视角下的高中物理教科书内容设计研究

——如何促进学生科学思维的发展

人民教育出版社物理室 魏昕

摘要：贯彻落实核心素养的要求是教科书编写的中心任务，对“科学思维”的凸显则是本次物理课改的一个显著特征。从现有教科书为起点，通过对当前高中物理教科书的文本研究，发现：现有教科书重视学生科学思维的发展，较为全面地呈现了各种物理思维方法；在涉及各种科学思维时，相当比例的内容通过直接陈述的方式呈现给学生，未能为学生的思维参与创造良好环境。这些结果表明教科书需通过变革内容设计来提升学生的思维参与程度与强度。在内容设计上应突出引导学生自我建构思维，突出思维培养的痕迹，突出学生的问题意识和质疑能力。

关键词：教科书；核心素养；科学思维；内容设计

自本世纪初课程改革实施以来，物理课程理念发生了巨大变化，《普通高中物理课程标准（2003版）》（以下简称《标准》）从科学本质的角度重新提出了物理课程的培养目标，强调以人的发展为本、提升全体学生的科学素养。具体而言，从以往只重视物理基本知识、基本技能拓展到关注学生的科学探究能力，以及对科学、技术和社会之间关系的理解；从只关注学习结果逐步转向过程与结果并重；从单一的讲授式教学向启发、探究等多样化的教学方式转变。随着实践的不断深入，诸多实证研究肯定了课程改革的巨大成就，同时也指出了其中仍然存在且亟待解决的重要问题。例如，对“探究”的理解过于狭隘，将探究与实验等同起来，仅强调学生的动手操作能力。探究的过程过于僵化，忽视了对学生的思维发展，未能通过探究的方式将科学思维、核心概念等进行有效的融合与整合，等等。

为了解决问题，继续深化课程改革，在参考世界其他主要国家关于课程标准、“核心概念”“学科共通概念”等相关研究的基础上，我国教育研究者提出了“核心素养”的概念，将其定义为学生在接受相应学段的教育过程中，逐步形成的适应个人终生发展和社会发展需要的必备品格与关键能力（林崇德，2016）。此次改革以培养“全面发展的人”为核心目标，以“核心素养”为抓手来统领、协调各个学科的课程目标与顶层设计，实现学生在文化基础（人文底蕴、科学精神）、自主发展（学会学习、健康生活）、社会参与（责任担当、实践创新）三个方面的全面发展。

对于物理学科而言，在坚持上一轮课改“物理课程应注重体现物理学本质”和“科学探究”的同时，本次在修订课程标准的过程中将“知识与技能”“过程与方法”“情感、

态度、价值观”的三维课程目标重新整合为“物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任”四个方面，更加强调学生通过对基本概念、规律的学习后进一步提炼和升华形成诸如“物质”“能量”“相互作用”等大概概念，能用这些大概概念描述自然界的图景。此外，在坚持“科学探究”的同时加强对学生“科学思维”的重视程度，在科学探究的过程中不仅注重动手能力，更加注重对学生模型建构、科学推理、科学论证等动脑能力的培养。

在物理核心素养的统领下，教科书要在继承和发扬之前教科书精华的基础上继续完善。本研究的主要目的在于探讨如何在坚持现有教科书科学探究的基础上，从强调科学思维的角度来审视教材的内容设计，找出当前内容设计与核心素养要求的差异，并提出完善教科书的建议。

一、物理教科书内容与核心素养间的关系

按照课程标准的要求，物理教科书的内容与物理学的本质有着密切的联系，而物理学核心素养则需要以教学内容为载体传递给学生。

（一）基于科学本质的物理教学内容

无论是 2001 年《课标》还是本次修订后的《课标》，都始终坚持“高中物理课程要注重体现物理学科的本质”的原则。根据 Abd-EL-Khali (1997)，Lederman(2007)以及 Osborne 等人(2003)的研究结果，科学本质可以从“科学的方法”“科学是人类的活动”“科学知识及其局限”三个主要方面进行描述，三个方面相互交叉并紧密相连。

从“科学的方法”方面来看，强调：1) 物理学产生、需要并且依赖于实证证据；2) 物理学具有一些共通元素，如思维习惯、研究范式、逻辑推理，以及仔细观察、细心记录的习惯等；3) 实验不是获取知识的唯一方法，演绎与推理同样可以获取新知；4) 没有唯一的、按部就班的研究方法，只有大致的原则性步骤；

从“科学是人类的活动”方面来看，强调：5) 科学有创造性的成分；6) 观察、假设、理论并不是完全客观的，在科学中，主观方面的影响既有积极的作用，也有消极的影响；7) 历史、社会和文化都会左右科学的发展方向；

从“科学知识及其局限”方面来看，强调：8) 科学和技术相互影响，但并不相同；9) 物理知识不能回答所有问题，只能解释物理框架能够覆盖的范畴。

（二）物理核心素养

物理核心素养是学生在接受物理教育过程中逐步形成的适应个人终身发展和社会发展需要的必备品格和关键能力，是学生通过物理学习内化的带有物理学科特性的品质，是学生科学素养的关键成分。物理核心素养主要由“物理观念”“科学思维”“科学探究”“科学态度与责任”四个方面的要素构成。

“物理观念”主要指物理学科的核心概念，包括物质观念、运动观念、相互作用观念、能量观念及其应用等要素。“科学探究”则包括提出科学问题、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、反思等过程。“科学态度与责任”强调在认识科学本质，理解科学、技术、社会、环境关系的基础上，逐渐形成的对科学和技术应有的正确态度以及责任感。

“科学思维”是从物理学视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识方式；是基于经验事实建构理想模型的抽象概括过程；是分析综合、推理论证等方法的内化；是基于事实证据和科学推理对不同观点和结论提出质疑、批判，进而提出创造性见解的能力与品质。

“科学思维”是学生学习物理的过程中形成的关键能力，是物理核心素养的主要内容。不论是学生进行科学探究活动，还是在“物理观念”和“科学态度与责任”的形成过程中，都需通过科学思维，而且科学思维水平的高低明显影响着其他物理核心素养的水平。

“科学思维”主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等要素。

通过高中阶段的学习，学生应具有建构理想模型的意识 and 能力；能正确运用科学思维方法，从定性和定量两个方面进行科学推理、找出规律、形成结论，并能解释自然现象和解决实际问题；具有使用科学证据的意识和评估科学证据的能力，能运用证据对研究的问题进行描述、解释和预测；具有批判性思维的意识，能基于证据大胆质疑，从不同角度思考问题，追求科技创新。

（三）物理核心素养与物理教学内容间的关系

学生在学的过程中有着自身的认知过程，这个过程通常起始于学生已有的认知基础，如生活中积累的各种经验，或是观察到的各种现象，甚至是自身根据观察和经验所形成的原始“理论”。在这个基础上，学生或是利用实验、观察的方式归纳得出事物间的规律和联系，在教师的引导和帮助下，将规律上升为理论或模型；或是通过演绎的方式，通过逻辑推理形成有待检验的科学假设，而后利用实验对其进行检验，最终形成物理理论或模型（Gopnik,1994；Carey,1984）。

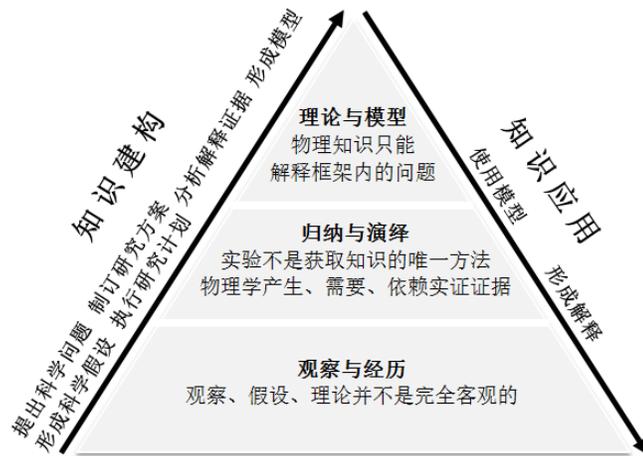


图 1 学生学习物理知识的一般过程

从观察出发，经过逻辑的加工，最后上升为理论，这是获取知识的一般过程，而帮助学生顺利完成这一过程的途径便是科学探究。在不同的阶段，学生不仅习得了知识，同时掌握了相应的方法、背后的思维方式，以及在科学本质的层面获得相应的意识与认识。以下就以科学探究的各个阶段为单元进行划分，说明每个阶段与之相关的重要物理思维能力以及应该体现的物理本质理念。

提出科学问题与形成科学假设阶段。利用生活中的真实经历与课堂观察创设真实的问题情境，在情境中培养学生的问题意识，引导其提出可研究的科学问题，形成可检验的科学假设。在这个过程中应当承认科学具有主观性，允许学生针对同一现象形成不同的科学问题以及做出不同的科学假设。教科书应当鼓励学生运用批判性思维进行质疑，通过去伪存真的过程保留可被探究的若干科学猜想。

制订研究方案和执行研究方案阶段。物理研究没有唯一、固定的方法和程序，在强调动手探究，通过实验搜集证据、归纳结论的同时，也应注意引导学生领略逻辑的力量。在既能通过实验探究，又能通过理论推理（而后验证）得出结论的地方提供多种方案供学生选择，促使学生理解科学方法、手段的多样性，理解科学推理的重要性。

分析解释与形成物理概念、原理与规律阶段。物理理论、核心概念是在已获得的有限事实的基础上进行的进一步概括和抽象，在这个过程中要引导学生具有谨慎和事实求是的科学态度，在得出物理理论、模型、概念的同时注意它们的适用条件，认识到任何物理理论都具有局限性。

使用模型和解释应用阶段。引导学生正确提取主要因素，忽略次要因素，建立恰当的物理图景，从而为恰当使用模型做准备。在解释的过程中，应当注重强调科学论证的重要性。即结论与事实并非必然地联系在一起，需要利用科学理论和推理将二者合理的整合在一起，形成有说服力的科学解释。

二、对当前高中物理教科书的实证分析

(一) 样本

研究者选取了人教版普通高中教科书必修 1、必修 2、选修 3-1、选修 3-2、选修 3-5 作为研究样本，共计 5 本，覆盖运动学、牛顿力学、静电学、电路、磁学、近代物理等高中物理学习的主要领域以及如牛顿第二定律、万有引力定律、机械能守恒定律、动量守恒定律、库仑定律、法拉第电磁感应定律等核心概念、定律和原理，共计 20 章 109 节。通过对不同知识主题的比较，能够找出教科书在科学思维方面设计的共同特征。

(二) 数据收集与分析方法

本研究将教科书中的章节内容首先以概念、定律和原理为单位进行划分，将 109 节重新划分为 82 个分析单元（如表 1）。

表 1 样本分析单元划分示例

分析单元名称	模块	教材节名
牛顿第二定律	必修 1	实验：探究加速度与力、质量的关系
		牛顿第二定律
		力学单位制
机械能守恒定律	必修 2	机械能守恒定律
		实验：验证机械能守恒定律
法拉第电磁感应定律	选修 3-2	划时代的发现
		探究感应电流的产生条件
		楞次定律
		法拉第电磁感应定律

对每个分析单元分别从提出科学问题和形成科学假设、制订和执行研究方案、分析解释与建立模型、使用模型与形成解释四个方面进行文本分析。针对各个方面，则从关注科学思维的视角出发，将教科书对与科学思维有关的处理方式分为不涉及思维过程、直接呈现思维过程和引导学生自我建构思维过程三个类别加以分析。

(三) 分析与结果

1. 提出科学问题和形成科学假设

从科学思维以及情境的类型角度看，样本教科书在此方面的内容设计可以划分为以下六类。日常经验包括学生曾经经历的实例以及曾经观察过的现象等，学科知识则主要指学

生在之前课堂上曾经学习的知识、实验等。推理过程既包括依据知识的逻辑推理（归纳、演绎），也包括类比等迁移创新型推理。

	以日常经验为情境	以已有知识为情境
无推理过程	教科书联系学生的日常经验或给出熟悉的事例来构建情境，不经过科学推理便直接给出科学问题（或猜想）	教科书以之前的所学知识为情境，不经过科学推理便直接给出科学问题（或猜想）
直接给出推理过程	教科书联系学生的日常经验或给出熟悉的事例来构建情境，通过文字、图表等方式向学生呈现推理过程，最后给出科学问题（或猜想）	教科书以之前的所学知识为情境，通过文字、图表等方式向学生展示科学推理过程，最后给出科学问题（或猜想）
引导学生构建推理过程	教科书联系学生的日常经验或给出熟悉的事例来构建情境，通过文字、图表等方式向学生设问，搭建脚手架帮助学生经历推理过程，并在最后形成科学问题（或猜想）	教科书以之前的所学知识为情境，通过文字、图表等方式向学生设问，搭建脚手架帮助学生经历推理过程，并在最后形成科学问题（或猜想）

统计结果如图 2 所示。样本中有 65% 左右的情境是依据学生的日常经验构建的，另外 35% 左右则是以学科知识为基础展开的。在利用日常经验搭建的情境中，其中 50% 左右仅给出了情境中的实例，在不涉呈现及任何思维过程的情况下直接给出科学假设；在另外 30% 左右的情境中则通过文字、图表、旁批等方式直接展示了具体的推理过程，而后给出科学猜想；只有 20% 左右的情境中，教科书通过设问、搭建脚手架的方式引导学生自行进行推理并最终形成科学假设。在利用已有知识建构的情境中，75% 会直接呈现出推理过程，另外 10% 左右的情境会引导学生自己建构科学假设。

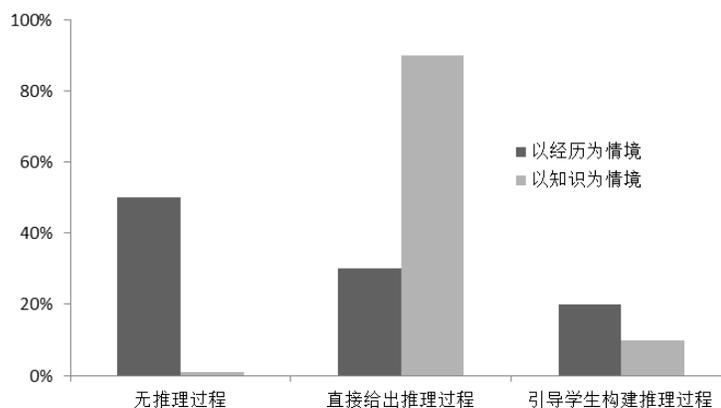


图 2 “提出科学问题和形成科学假设”统计图

无推理过程的内容设计。如在选修 3-1 库仑定律部分中，教科书通过教师演示实验的方式让学生感性认识到“电荷之间的相互作用力随着电荷量的增大而增大，随着距离的增大而减小”，而后直接指出“电荷之间的作用力会不会与万有引力具有相似的形式呢？”的猜想。教科书在此处虽然提及“电荷之间的作用力与引力的相似性早已引起当年一些研

究者的注意”，但并未呈现或引导学生分析带电体相互作用（类比对象）和行星间相互作用（类比本体）间的特征以及异同点，没有体现出“类比”这种思维方式的本质和内涵。

直接给出推理过程的内容设计。例如在必修 1 牛顿第二定律内容的处理上，教科书首先通过文字和赛车图片，利用学生的日常经验“受力大的汽车加速快”“质量轻的汽车加速快”，通过归纳的推理方式得出“物体的质量一定时，受力越大，它获得的加速度越大；物体受力一定时，它的质量越小，加速度越大”的初步假设。在进一步假设“物体加速度与物体受力成正比、与物体质量成反比”之前，教科书再一次向学生直接指出做此假设的理由，即“加速度和质量可能成反比，也可能和质量的平方成反比，甚至有更复杂的关系……我们是从最简单的情况入手”。教科书并没有在此进行设问，引导学生思考三个物理量之间会有怎样的定量关系，而是直接给出推理过程和结果。

引导学生经历推理过程的内容设计。与之不同的是，在楞次定律中，教科书首先利用一个学生之前已经熟悉的实验创设情境，要求学生“用草图的方式记录电流的方向、磁铁的极性和运动方向”，从而引导学生自行归纳得出其中的关系，进而形成科学假设。教科书考虑到学生的已有知识水平以及思维能力水平，接下来引导学生顺着“当我们很难概括两者的关系时，是不是可以通过一个‘中介’——‘感应电流的磁场’来表述这种关系？……”的思路进行思考，从而得出最终的科学假设。在这个过程中，教科书采取脚手架的策略为学生逐级搭建台阶，使学生真正体验了科学猜想的过程。

2. 制订研究方案与执行研究计划

在本环节，教科书的内容设计同样可以从学生的思维参与程度以及研究方案的开放程度上进行分类，如下表所示。

分类	多种方案	单一方案
给出具体研究方案	教科书提供两种或两种以上的研究方案，并且给出具体的操作步骤，但不讲解方案的设计思路。	教科书提供一种研究方案，并且给出具体的操作步骤，但不讲解方案的设计思路。
给出思路以及具体方案	教科书提供两种或两种以上的研究方案，讲解研究方案的设计思路，同时也给出具体的研究方案。	教科书提供一种研究方案，讲解研究方案的设计思路，同时也给出具体的研究方案。
引导学生自我构建研究方案	教科书给出必要的提示，搭建脚手架引导学生自我制订研究方案，允许学生通过不同思路制订不同的研究方案。	教科书给出必要的提示，搭建脚手架引导学生自我制订研究方案。

从对样本的分析来看，在 45%的情况下，教科书会提供多种研究方案供学生选择，促使学生加深了对科学方法和手段多样性的理解。在另外 55%的情况下，教科书仅给出了单一的研究方案。在提供多种方案的样本中，教科书几乎都会直接提供制订研究方案的思路和推理过程，只在个别情况下会适当引导学生对方案的局部进行推理和建构。在只提供

一种方案的样本中，有 60%左右的方案中只提供具体的操作步骤，而不涉及制订这一方案的背后的思维过程，另有 40%左右的方案中会引导学生自行思考、构建研究方案。

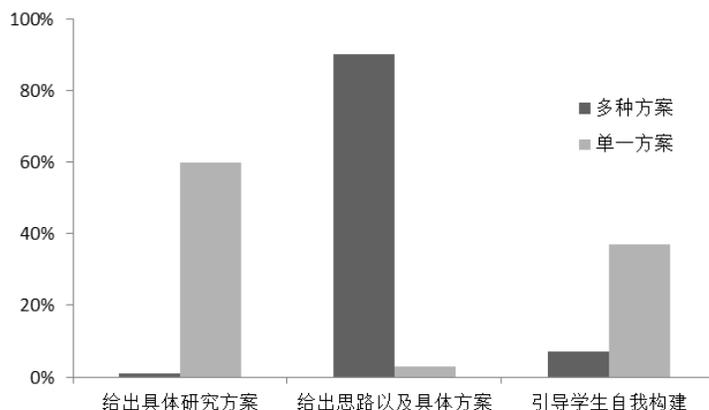


图 3 “制订研究方案与执行研究计划”统计图

动手操作的内容设计。选修 3-2 关于感应电流的内容中，教科书给出了实验的装置图，以及具体的操作步骤和所要记录的数据要求等，学生只需根据提示进行动手操作，并将相应的数据记录在现成的表格中即可。目的是为了获得数据，为接下来的归纳分析做铺垫。

直接给出研究思路和方案的内容设计。例如，必修 1 牛顿第二定律部分直接给出了制订研究方案的思路，如“保持物体的质量不变，测量物体在不同的力的作用下的加速度，分析加速度与力的关系……”以及对可能遇到的问题的解决方法，如“怎样测量（或比较）物体的加速度”等。在给出研究思路的基础上，进而直接提供了两个完整的研究方案供学生进行参考，但并未给出具体的实验步骤，仍为学生留有一定的思考余地。

引导学生自我构建的内容设计。必修 2 关于弹性势能的内容中，教科书向学生提出了“弹性势能的表达式可能与哪几个物理量有关？”“弹簧的弹性势能与拉力做的功有什么关系？”“怎样计算拉力做的功”以及“怎样计算这个求和式”等四个问题。并分别针对这些问题进行了相应的提示和引导，在引导的过程中，不仅有“问题串”式的继续设问，同样还包括了“这两个猜测并不能准确地告诉我们弹性势能的表达式，如果探究的结果与这些猜测结果相矛盾，意味着很可能出现了错误，需要慎重地评估探究的各个环节”的思维提示。

3. 分析解释与得出结论

在这个环节，所选样本都是从所呈现的数据、图表等证据出发，在学生认知水平可接受的范围内通过论证和推理的方式得出科学结论的。所不同的是，70%的推理过程是由教科书直接给出的，其中既包括通常的数学推理，也包括诸如理想实验等思维方法的呈现。另外 30%左右则是给出学生必要的提示，通过搭建脚手架来引导学生经历从证据到结论的推理论证过程的。

在第二类的情况中，既有演绎的推理方式，又有归纳的推理方式。例如，在必修 1 研究匀变速直线运动的位移与时间关系时，教科书以师生对话的方式呈现了课堂讨论的一个场景，引导学生思考如何利用速度-时间图象计算物体的位移。在这个过程中，教科书假借“老师”和“学生”的角色，利用同学间的对话以及老师的提示来启发学生意识到可以利用将斜线看做“无数段平直线段”的极限思维来解决问题。

在必修 2 探究功与速度变化关系的内容中，教科书提示学生注意二者之间可能存在多种关系的可能性，如何通过图像来找出它们之间的确切关系呢？教科书并未给出最后的结论，而是通过旁批的形式提示学生回忆之前的类似情况进行处理。这种开放式的结尾迫使学生不得不通过自身的推理来得出最终的结论，并且也促使学生之间的交流和相互质疑，有利于学生思维能力的多维度发展。

4. 知识应用和形成解释

知识应用主要是指利用所得出的概念、规律、原理等解决相应的物理问题。在教科书中，知识应用的主要形式则是对例题的编排和处理。教科书在每个重要的概念、规律和原理学习后都配有相应的例题供学生巩固所学知识。但教科书中的所有例题在问题解决过程的呈现方式上，未能凸显解决问题的一般步骤和方法。教科书因题而异，利用“分析”这一小标题对每到题目的难点和重点进行陈述性的讲解，彰显了解决物理问题的个性化一面，而使学生在整体层面了解解决物理问题的范式。

三、结论与建议

通过以上的分析，可以看出目前的高中物理教科书强调物理思维的重要性，同时也注重学生学习的差异性和个性化需求，并且将科学本质相关的内容渗透在教科书的内容当中。但在培养学生科学思维的方式上仍有进一步的改革空间和必要。为此，提出以下建议。

（一）突出引导学生自我建构思维

从上述分析可以看出，教科书虽然重视对学生物理思维能力的培养，但培养方式仍然以直接给出推理过程为主，使学生总是处于被动的接受地位。为了增强教科书对学生思维能力的培养功能，应当增加恰当的引导，采用搭建脚手架的方式，在正文或旁批中利用“问题串”等形式逐步引导学生进行深入思考，在学生较难自我逾越的思维难点上给予提醒和点拨，让学生真正经历自我生成科学假设、制订研究方案、分析解释相关数据以及得出相应结论的探究过程，从被动的观察者转变为主动的参与者。

（二）突出教科书的思维培养痕迹

在引导学生自行建构推理的过程中，教科书应当从呈现方式上凸显思维脚手架的痕迹，从而使学生意识到思考问题时应当从何处着手以及从何处突破。针对出现的每种重要科学

思维，教科书可以设置适当的栏目，对该种思维方式进行解释和说明，目的是帮助学生理解思维方式的内涵和关键。例如，在库仑定律一节中，“类比”的思维方式第一次出现时，教科书可以通过专门的栏目来解释如何将电荷间的相互作用与行星间的相互作用进行比较，如何找出其中的相同点和不同点以及基于怎样的考虑可以将二者联系起来。

在例题的处理上，应当凸显解决物理问题的基本步骤和方法，从而使得学生经历若干例题的学习后养成解决问题的良好思维习惯。这些基本步骤和方法可以从两个层面着手展开。第一个层面是基于解决整个高中阶段物理问题的思维方式，包括：（1）要建立待解决问题的物理图景（包含哪些物理量、物理量之间的相互关系等）；（2）利用公式、图像等对物理图景进行表征；（3）利用数学工具进行求解；（4）利用量纲分析的方法对结果进行评估等。第二个层面是则是具体到某一个领域的问题解决方法。以力学问题为例，应当进一步具体帮助学生认识到通过画受力分析图的方式来呈现物理图景，并表征各个物理量间的关系。

（三）突出学生的问题意识和质疑能力

目前，教科书中极少将情境作为帮助学生自我生成科学问题的平台。然而，能否提出一个好的科学问题是科学创新的第一步。教科书在今后的设计中应当更加开放，不仅仅给出多个研究方案，供不同思路的学生进行选择 and 比较，更应当根据学生的已有知识或经验营造恰当的情境，引导学生提出自己的科学问题。并利用各种方式对什么是科学问题进行详细的解释和说明。

教科书中的部分研究方案虽然有“评估”的环节，但对质疑和批判性思维的强调仍然可以进一步加强。鼓励学生对实验中得到反常数据进行认真研究和思考，在利用物理规律解释事件时特意设置“反常现象”对学生进行迷惑，帮助学生在不断的质疑和辨析中深入理解物理概念、规律和原理。

参考文献

- [1] 林崇德(2016). 21世纪学生发展核心素养研究. 北京：北京师范大学出版社出版.
- [2] 中华人民共和国教育部(2003). 普通高中物理课程标准. 北京：人民教育出版社.
- [3] Lederman, N. G. (2007). *Nature of science: Past, present, and future. Handbook of research on science education.*
- [4] Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *international journal of science education*, 25(9), 1049-1079. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.
- [5] Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1997). The nature of science and instructional practice: making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.

[6] Gopnik, A., & Wellman, H. M. (1994). The theory theory. *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*.

[7] Carey, S. . *Conceptual change in childhood. Conceptual change in childhood /*. MIT Press.