

高中物理教科书中 学生实验科学探究特征的演变及启示

谢孟耘, 罗 莹

(北京师范大学 物理学系, 北京 100875)

摘要:科学探究是中学生适应社会和科技发展的必备能力, 更是物理学科核心素养的关键维度。物理实验是高中物理教学中提升学生科学探究素养的最基本、最重要的途径。通过分析 70 多年来人教版高中物理教科书中学生实验的内容, 发现物理学生实验的科学探究特征随物理课程教材的发展经历了相应演变, 依次呈现出天然的、觉醒的和全面发展的三类科学探究特征, 展现了不同时期物理教育领域对科学探究的认识特点。根据当前物理教科书中学生实验的特征, 凝练了物理实验教学三个要点, 以切实落实全面培养科学探究素养的教学目标。

关键词:科学探究; 高中物理教科书; 学生实验; 文本分析

中图分类号:G634.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-0186(2021)12-0094-07

纵观全球的科学教育发展历程, 科学探究已成为近几十年来科学教育研究领域的重要组成部分, 受到世界各国和地区的广泛重视。各国近年来颁布的科学教育课程标准都不约而同地将培养科学探究能力作为科学教育目标的核心内容。《普通高中物理课程标准(2017 年版)》(以下简称《课标》)将科学探究作为物理学科核心素养的重要维度, 指出科学探究是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。^[1]显然, 科学探究是探索自然世界的系列科学研究方法和能力, 是学生在未来社会中获得终身发展的必备素养之一。高中物理教学要让学生经历充分、真实、有效的科

学探究, 特别是实践体验性最强的学生实验, 以实现促进学生科学探究素养发展的教学目标。

学生实验一直是中学物理课程的重要组成部分, 更是全方位培养学生科学探究能力的重要载体。为此, 本文对新中国成立 70 多年来高中物理教科书中的学生实验进行基于科学探究的文本分析, 以厘清学生实验展现出的科学探究特征及其演变过程。在此基础上, 为充分发挥学生实验培养科学探究素养的功能, 推动科学探究素养在课堂教学中更好落地, 提出有效组织学生实验和培养科学探究素养的建议。

一、科学探究的内涵及其在物理教科书中的特征

梳理科学探究的相关研究可以发现, 杜威、

作者简介:谢孟耘, 北京师范大学物理学系博士研究生, 主要从事物理课程与教学论研究; 罗莹, 北京师范大学物理学系教授, 博士生导师, 主要从事物理课程与教学论、物理教育测量与评价等研究。

施瓦布等教育学家关于探究教学的观点和理论对科学探究素养的内涵界定产生了深远的影响。杜威曾指出,科学学习不仅是接受科学知识的传递,其重要意义更在于学习的过程和方法。^[2]他提出的“做中学”理念被众多学者视为当代科学探究教学的理论依据和来源。随后,施瓦布提出了探究课程,指出对科学知识本身的探究以及对教与学过程中教学方法、方式的探究都隶属科学探究,科学探究涵盖“科学即探究”(science as inquiry)和“探究性教与学”(teaching by inquiry)两个方面。^[3-4]这一观点将科学知识 with 获取知识的过程联系起来,阐明科学探究至少具有概念和过程两个维度。

此后,科学教育研究领域出现了两类科学探究素养内涵的界定。一类是将科学探究素养视作单一维度,即在一系列科学探究过程中开展活动的的能力、采用的方法或形成的思维。比如,认为科学探究就是在探究过程中经历的活动以及收获的技能,其中较为典型的有我国《普通高中物理课程标准(实验)》中提出的提出问题、猜想与假设、制订计划与设计实验等七个要素。^[5]另一类则强调科学探究素养是解决问题过程中的多维复杂模型。以英国约克大学 PACKS (The

Procedural and Conceptual Knowledge in Science)^[6]项目为代表,认为科学探究包括知识、技能和认知等方面对各探究环节的影响。尽管科学教育研究领域对科学探究素养的维度划分还未达成统一,但科学探究素养具有多维内涵的观点已被国内外科学教育研究者和科学课程标准广泛接受。^[7-8]其中大多数研究认为,科学探究素养的内涵应具有三个维度:在探究中建构科学概念的能力,在探究中应用科学方法和技能(如控制变量、提问、设计方案、收集证据等)的能力,正确的科学探究本质观。^[9-10]

教科书作为关键的教学工具,直接影响着科学探究教学的成败。要全面提升学生的科学探究素养,教科书中的科学探究文本必须立足科学探究素养内涵进行精心设计。为准确评估教科书中学生实验支持科学探究素养发展的质量,需深入细化科学探究素养内涵的三个维度,以获得表征具体的文本内容是否具备相应科学探究特征的标准。在梳理其他学科相关研究^[11]的基础上,结合我国物理课程标准对科学探究素养的要求,基于科学探究素养的三维内涵,笔者总结梳理了物理教科书中科学探究文本的特征和具体表征(见表1)。

表 1 物理教科书中科学探究文本的特征和具体表征

维度	特征	具体表征
支持建构科学概念	1. 与《课标》一致	涉及的科学概念与《课标》中必做实验的要求一致
引领探究过程	2. 提出问题	引导并启发学生从观察事实经验中发现问题,或要求学生提出探究中的主要研究问题
	3. 猜想与假设	要求学生预测可能出现的现象,或要求学生可能对可能出现的结果进行推测和假设
	4. 设计实验与制订计划:明确目的	提供充分的已知条件,表述清晰的实验目的
	5. 设计实验与制订计划:选取方法	体现具体的科学方法,或虽没有具体的科学方法,但要求学生基于探究目的选择合适的方法,如控制变量、等效替代等
	6. 设计实验与制订计划:制订步骤	不包含具体的步骤指引
	7. 进行实验与收集证据:收集证据	要求学生通过观察、探究或从公共信息资源中正确收集数据或证据,如多次测量求平均值
	8. 进行实验与收集证据:正确使用仪器、规范操作	包含器材的正确使用或操作说明,或明确要求学生注意安全和操作规范

续表

维度	特征	具体表征
引领探究过程	9. 分析与论证：描述、处理数据	要求学生描述证据或处理数据，如描述观察到的现象，或通过计算、利用图像求取物理量的数值
	10. 分析与论证：论证、解释数据	要求学生解释、推理或归纳数据（证据）背后的因果关系，如总结科学规律
	11. 评估	要求学生探究过程或结果进行评估、反思或改进
	12. 交流与合作	要求学生合作完成探究或进行讨论交流
树立对科学探究本质的认识	13. 科学探究都是从问题开始的，不一定是验证某个假说	满足特征 2，且不属于验证型探究，不要求学生提出假设
	14. 探究没有一个或一系列固定的方法和步骤	未采用传统的“提出问题—提出假设—明确操作……”的探究模式，不要求学生遵循一套确定的过程
	15. 探究的过程是由提出的问题引领的	提出的研究问题定义明确、科学且相关，提供的程序均以提出的问题为指导
	16. 步骤相同的科学探究可能会得到不同的结果	体现为任务的预期结果是不确定的，如存在实验误差、测量对象不同会造成测量值不同、建议与标准数据进行比较等
	17. 探究的过程会影响结果	允许或鼓励学生自己设计某个或多个探究过程
	18. 探究的结论是真实的	要求学生根据收集的数据得出结论
	19. 科学数据与科学证据是不同的	要求学生将除数据以外的观察结果、操作方法等作为证据
	20. 解释是基于收集的数据和已有的知识建构	要求学生结合收集的数据和已有知识进行解释

表 1 展示的科学探究文本特征包含三个维度，与上文提到的科学探究内涵的三个维度相对应。在支持建构科学概念维度，因为在教科书中安排科学探究的目的是让学生掌握《课标》要求的内容^[11]，所以教科书中科学探究文本的具体表征是保证与《课标》的要求一致。引领探究过程维度主要考查教科书中科学探究文本是否支持学生提升科学方法和技能（如控制变量、提问、设计方案、收集证据等），具体特征的确立考虑了《普通高中物理课程标准（实验）》提出的七个科学探究要素，即完整的科学探究过程需经历的从提出问题到评估交流的七个环节。树立对科学探究本质的认识维度旨在评估科学探究文本对支持学生树立理性的科学探究本质观的作用，具体特征采纳了相关研究提出并经过实证检验的八个条目^[10,12]，并将其修改为适合文本特征的表述形式。综上，形成本研究所用的科学探究特征文本分析框架。

二、高中物理教科书中学生实验的内容选定与分析

（一）分析对象的选定

物理学是一门实验科学，对物理现象和规律的探索都以严密的物理实验为基础。物理教科书中的学生实验是最具科学探究特征的内容，因此，本研究以物理教科书中的学生实验文本为分析对象。

一方面，选取的教科书须满足以下两条标准：一是具有足够长时间的发展历程；二是要在全国范围内广泛使用，具有代表性和影响力。纵观我国物理教科书的发展历程，符合上述标准的只有人教社出版的高中物理教科书。新中国成立以来，人教社紧跟课程标准或教学大纲的改革步伐^[13]，配合不同时期的高中阶段课程标准或教学大纲^[14]，在 70 多年间正式出版了 10 套高中物理教科书。更为可贵的是，人教版教科书在全

国各地广泛使用,对新中国教育事业产生了巨大影响,是新中国青少年的必读教科书。因此,本研究以人教版高中物理教科书作为研究对象。

另一方面,由于不同时期教科书中实验的数量、内容有所不同,要研究探讨学生实验的科学探究特征演变,纵向比较不同时期的特点,需要统一待分析的具体学生实验。本文以《课标》规定的21个必做实验为范围,选取10套人教版高中物理教科书中与必做实验内容有关的学生实验作为分析样本,整理出10套教科书中的131个学生实验,形成本研究的131个分析样本。

(二) 对学生实验文本的分析

基于表1的文本分析框架,本研究对样本内容进行了分析编码。当样本文本符合表1中的某条特征表述时,将相应的特征条目标记为1,否则记为0,由此得到131个样本的科学探究特征数据。单个样本的科学探究特征值最高为20,所得分值越接近20,表明该样本越契合科学探究的整体要求。换言之,样本的得分越高,表示该学生实验的科学探究特质越明显。

本研究采用SPSS软件对获得的数据进行统计分析。在信度方面,样本分析编码由一位物理教育研究者和一位物理教学论专业的博士研究生独立进行,经一致性检验,两位编码者所得数据的Kappa系数为0.91,表明编码结果具有良好的可靠性。所有不一致的编码结果经过讨论后达成一致,形成最终数据。取某版本教科书中所有学生实验科学探究特征值的平均值,作为该教科书的科学探究特征值,以反映该教科书中学生实验的科学探究特征整体情况。

三、高中物理教科书中学生实验科学探究特征的演变

通过对上述数据的处理,本研究获得了不同时期高中物理教科书中学生实验的科学探究特征值变化趋势(见图1)。

图1中的科学探究特征值曲线呈现出三个明显的演变阶段。在1964年版之前,科学探究特征值呈缓慢上升趋势。1979年版科学探究特征值明显提升,并在后续一段时间内持续波动。在1990年版之后,科学探究特征值再次恢复上升趋势,直到2019年最新版教科书达到顶峰。上

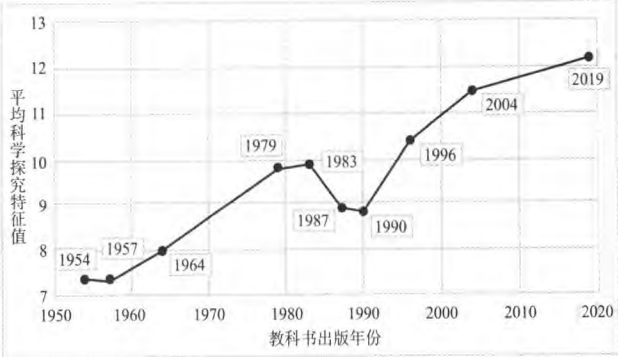


图1 人教版高中物理教科书中学生实验科学探究特征值变化趋势

述结果表明,新中国成立后人教版高中物理教科书中学生实验的科学探究特征整体上呈现出显著增强中略有波动的趋势。

结合我国中学物理课程发展和教材建设的历程,可对高中物理教科书中学生实验的科学探究特征演变进行更为全面的解读。以往研究常将新中国成立后的高中物理课程或教材发展划分为过渡时期、学习苏联、探索改革、拨乱反正、探索必修、新课程改革等多个时期。^[13,15]考虑到数据分析结果仅呈现出三个明显的演变阶段,本研究在参考上述文献时期划分的基础上,从新中国成立至“文革”前、恢复与快速发展时期、必修探索与新课程改革三个阶段,解读高中物理教科书中学生实验的科学探究特征演变历程。

(一) 新中国成立至“文革”前(天然的科学探究特征)

这一阶段的研究对象包括1954年版、1957年版、1964年版三套教科书。当时的学生实验文本在某些特征上已经有了优秀的表现,反映出物理教科书中学生实验与科学探究之间存在的某些天然联系。在这三套教科书中,几乎所有的学生实验都表现出支持建构科学概念(特征1)、表明实验目的(特征4)、引导学生收集证据(特征7)、正确使用仪器(特征8)、计算数据(特征9)、解释数据(特征10)以及要求探究结论具有真实性(特征18)等特征。分析科学探究与学生实验之间的关系可以发现,这是由物理实验本身性质引发的。因此,本研究称这部分科学探究特征为天然的科学探究特征。

这一时期教科书中展现出的天然的科学探究特征反映了物理实验教学的必然要求,即以训练学生实验技能为主要目的。这与该时期的物理课

程标准或教学大纲的要求密切相关。《高中物理精简纲要（草案）》《中学物理教学大纲》《全日制中学物理教学大纲（草案）》等新中国成立初期的国家物理课程标准无一例外地强调学生实验教学必须注重物理现象与物理规律、实验数据与结论的因果逻辑关系。^[16]依据实验目的，正确使用仪器收集数据，处理并解释数据，得出结论等，在该时期教科书的学生实验中已经成为基本教学要求。这一时期的学生实验文本一般分为实验标题、实验器材和实验步骤三个部分。实验标题明确地告诉教材使用者该实验的目的；详细罗列的实验器材明确了器材的正确使用方法；实验步骤则是一系列具体的、外显的操作指示文字，对测量数据、计算数据、基于数据总结规律等提出了明确要求。相关实验文本强调了传递物理知识，力求使学生体会物理实验中的一般性过程与技能。这样的方式虽然能够引导学生科学严谨、实事求是地完成实验，但相对刻板和严格的规定也会在一定程度上削弱学生的自主思考和设计。

（二）恢复与快速发展时期（觉醒的科学探究特征）

“文革”是我国发展的特殊时期，这一阶段我国的中学物理统编教科书进入了空白期，各地主持地方教材编写，有些省市甚至将物理教科书简化为“三机一泵”（拖拉机、柴油机、电动机、水泵）。

1978年恢复高考后，我国的基础教育事业重新迈上了尊重知识、重视教育的轨道。在这一时期，1979年、1983年和1987年三版教科书中学生实验的科学探究特征值都在10左右波动，相比天然的科学探究特征时期已有一定增长。教科书中呈现出一批此前实验文本中不曾出现的科学探究特征，包括选取方法（特征5）、制订步骤（特征6）、评估探究过程或结果（特征11）、科学探究不一定是验证某个假说（特征13）、步骤相同的科学探究可能会得到不同的结果（特征16）、探究的过程会影响结果（特征17）、科学数据与科学证据是不同的（特征19）以及解释是基于收集的数据和已有知识建构的（特征20）。本研究将这一时期出现的上述特征称为觉醒的科学探究特征。

改革开放让我国迎来了科学与教育的春天，

也给物理教科书中的学生实验带来改变。根据课程标准等文件的要求，觉醒的科学探究特征呈现出引导学生主动探究的鲜明特点。1979年1月，教育部颁布《全日制十年制学校中学物理教学大纲（试行草案）》，明确了实验要承担支持物理概念建构和提升实验技能两个方面的任务。高中物理教科书中的学生实验从按部就班地要求学生“复刻”转向引领学生主动探究。由此，1979年版教科书大胆删除了大部分实验的具体步骤指引，首次引入开放的探究过程。此后的教科书不但继续精简学生实验文本的步骤指引，还将“请你设计”等引导类关键词的比例提升至40%左右。这些改变切实地为学生留出了设计实验、制订计划的探究空间。随后，根据《高中数学、物理、化学三科两种要求的教学纲要》中较高要求编写的1983年版甲种本教科书更是增加了一些此前不曾出现的学生实验，凸显了不同类别学生实验的特点。比如验证性实验有提出假设、收集数据、用证据检验假设的过程，探究性实验则没有假设，一切步骤均源自想要解决的问题。这些实验文本的转变，向学生传达了科学探究具有多样性、主动性等科学探究本质认识，为科学探究全面进入物理实验做好了铺垫。

（三）必选修探索与新课程改革时期（全面发展的科学探究特征）

20世纪90年代到21世纪初，随着我国综合国力的增强和基础教育的普及，教育领域越来越关注学生的全面发展。尤其是党的十八大报告把“立德树人”明确为教育的根本任务后，如何使教育满足学生个体的终身发展需要成为高中物理课程改革探索的关键方向。这一时期的物理教科书学生实验文本逐渐出现提出问题（特征2）、提出猜想（特征3）、交流合作（特征12）、探究没有一个或一系列固定的方法和步骤（特征14）、由问题引领探究的过程（特征15）五个此前未曾出现的科学探究特征。至此，物理学生实验的科学探究特征呈现出全面发展的态势。

2003年，《普通高中物理课程标准（实验）》首次提出了科学探究的七个要素及相应的基本要求。《课标》对科学探究能力做了进一步补充，并将其列为物理学习过程中学生必备的核心素养之一，强调基于物理实验全面培养学生的

科学探究素养。随着上述课程标准的调整,物理教科书中的验证性、探究性和测量性三类学生实验也发生了相应变化,主要表现在两个方面。一是实验类别的调整,将一些原来的验证性实验修改为探究性实验,增加探究性实验所占比例;二是实验内容的调整,在许多实验中赋予学生更多的选择自由与探究空间。比如,2019年版教科书中,每个探究性实验都会向学生提供2~3种探究思路,鼓励学生自主选择或设计实验方案。对物理学科而言,三种不同类型的学生实验都是不可缺少的。保留不同类型的学生实验,并不会阻碍利用物理实验培养科学探究素养,反而能让学生对解决科学问题建立起宏观、系统的认识,实现科学探究本质认识的渗透;能让学生学会根据问题的主要矛盾,大胆猜想、提问并交流合作,顺利选取适当的问题解决方法。总体来看,这一阶段物理教科书中的学生实验文本逐渐全方位地展现出科学探究特征,标志着我国物理教育界对科学探究和物理实验的认识日益全面和深刻。

四、启示与建议

本研究分析了人教版高中物理教科书中学生实验科学探究特征70多年来的演变历程,得出科学探究发展的三个时期以及不同时期呈现的特点。上述结果与各时期我国物理教育的发展息息相关,也反映出70多年来物理教育领域对科学探究理解与认识的变迁。物理教科书中的学生实验经历了从训练基本实验技能、强化物理知识,到引导学生开展主动探究,再到当前的全面培养科学探究素养,形成科学、理性的探究本质认识的发展历程,对应的学生实验文本分别展现出上述三类科学探究特征。这些结论为实现全面提升科学探究素养的物理实验教学提供了新的视角。基于此,本研究对高中物理学生实验教学提出如下建议。

首先,物理教科书中的学生实验文本针对自然科学探究特征的要求非常丰富。掌握基本的物理实验技能是教科书始终关注和强调的内容。教师在备课时需要重点注意以下内容:明确学生实验在收集和处理数据、正确使用仪器等实验基本素养方面的培养目标,领会教科书文本内涵,做好扎实的探究技能训练。

其次,与觉醒的科学探究特征相关的“设计”和“选择”等实验活动,在2019年版教科书中占有很大比例。为了在实验教学中有效引导学生完成主动探究,教师需要特别注意预留足够的时间与空间,给予学生主动思考的机会。在实验教学中,应通过循序渐进的训练,逐步培养学生的主观能动性,使他们形成基本的探究意识和素养。

最后,全面发展的科学探究特征主要涉及学生实验中的交互过程和理性的科学探究本质认识,与之相关的内容在当前的教科书实验文本中依然略显含蓄。将这部分特征内化为学生科学探究素养的一部分,对教师的实验教学设计提出了更高要求。教师不仅需要关注实验文本明确提出的基本要求,还应充分领会教科书精神,基于充沛的科学探究理论知识,进行一些积极的实验干预。如在组织实验过程中,适当地对学生的想法或操作进行追问。这既能为学生创造足够的交互、表达机会,使其深入体会某些具体操作或流程的意义,又能让学生意识到“问题”以及主动提问在科学探究过程中的重要意义。教师还可以在实验复习环节进行类比复习。横向比较同类实验,可以帮助学生总结解决类似问题的规律,纵向比较不同类别实验,可以帮助学生形成理性的探究态度,明确解决不同类型的问题时,可以尝试丰富的探究方法与过程。

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)[S]. 北京:人民教育出版社,2018:5.
- [2] 徐学福. 探究学习的内涵辨析[J]. 教育科学,2002(3):33-36.
- [3] Schwab J J. Inquiry, the Science Teacher, and the Educator[J]. School Review, 1960(2):176-195.
- [4] Schwab J J. The Teaching of Science as Enquiry[J]. Bulletin of the Atomic Scientists, 1958(9):374-379.
- [5] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(实验)[S]. 北京:人民教育出版社,2003:10-11.
- [6] Tiberghien A, Jossem E L, Barojas J. Connecting Research in Physics Education with Teacher Education[J]. The Physics Teacher, 2001(4):255.

- [7] 李雁冰. 科学探究、科学素养与科学教育 [J]. 全球教育展望, 2008 (12): 14-18.
- [8] National Research Council. Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning [M]. Washington D. C.: National Academies Press, 2000: 12-37.
- [9] 郭玉英. 学生的科学探究能力: 国外的研究及启示 [J]. 课程·教材·教法, 2005 (7): 93-96.
- [10] Lederman N G, Lederman J S. Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Instructional Capacity Through Professional Development [M] //Fraser B J, Tobin K, McRobbie C J. Second International Handbook of Science Education. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012: 335-359.
- [11] Yang W Y, Liu E S. Development and Validation of An Instrument for Evaluating Inquiry-based Tasks in Science Textbooks [J]. International Journal of Science Education, 2016 (18): 2688-2711.
- [12] Lederman J S, Lederman N G, Bartos S A, et al. Meaningful Assessment of Learners' Understandings About Scientific Inquiry-The Views About Scientific Inquiry (VASI) Questionnaire [J]. Journal of Research in Science Teaching, 2014 (1): 65-83.
- [13] 彭前程. 改革开放 40 年我国中学物理教材的建设 [J]. 课程·教材·教法, 2018 (12): 27-34.
- [14] 翟小铭, 郭玉英, 陈颖. 中学物理核心能力要求的百年沿革与展望——基于课程标准和教学大纲目标文本分析 [J]. 课程·教材·教法, 2015 (9): 59-67.
- [15] 课程教材研究所. 新中国中小学教材建设史 (1949—2000) 研究丛书 物理卷 [M]. 北京: 人民教育出版社, 2010: 目录 1-6.
- [16] 课程教材研究所. 20 世纪中国中小学课程标准·教学大纲汇编 物理卷 [M]. 北京: 人民教育出版社, 2001: 68, 140, 212-213.

(责任编辑: 郭晨跃)

The Evolution and Enlightenment of Scientific Inquiry Characteristic of Student Experiment in Physics Textbooks for General Senior High School

Xie Mengyun, Luo Ying

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Scientific inquiry is a necessary ability for students to adapt to the development of science, technology and society, as well as a key dimension of physics core competency. Physical experiment is the most basic and important way to improve scientific inquiry in high school physics teaching. Based on a content analysis of students' experiments in the physics textbooks for general senior high school published by People's Education Press (PEP) over the past 70 years, it is concluded that the development of scientific inquiry in students' experiments has experienced three stages: natural period, awakening period and all-round developing period. Three kinds of characteristics of scientific inquiry are found, which show the unique cognition and understanding of scientific inquiry in the field of physics education in three periods. Based on this, three key points in designing physics experiment teaching were put forward to effectively implement the teaching objective of cultivating scientific inquiry competency in an all-round way.

Key words: scientific inquiry; physics textbooks for general senior high school; students' experiments; text analysis