教学论坛

高中生物理质疑能力的水平划分及评价框架建构

邓丽芳 (深圳市新安中学(集团)高中部 广东 518101)
张军朋 (华南师范大学物理与电信工程学院 广东 510006)

摘 要 在界定了物理质疑能力的概念基础上,基于国内外课程标准的内容,分析并综合了物理学科能力要求的相关研究,划分了物理质疑能力的水平层次。同时,基于"基于证据的推理"进行系统评价设计的ECD理论,设计了物理质疑能力评价模型及框架。

关键词 物理质疑能力 水平层次 ECD理论 评价模型 评价框架
文章编号 1002-0748(2020)7-0004 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

培养学生质疑能力对个体自身发展和对社会发展都至关重要,这一重要性也体现在了最近的课程改革中。2017年教育部颁布的《普通高中物理课程标准(2017年版)》(下面简称"新课标")中提出物理核心素养,其主要由"物理观念""科学思维""科学探究""科学态度与责任"等四个方面构成,而质疑是"科学思维"中一个主要构成要素。要通过物理课程的学习培养学生的质疑能力,则需要了解学生的质疑能力现状处于什么水平层次,有了解才能有针对性地开展教学。本研究的重点,是在明晰了物理质疑能力的概念基础上,通过相关理论的研究构建一个能够测量评价高中生物理质疑能力的评价框架。

质疑是学生根据事实和已掌握的物理知识进行分析后,表示对已有观点或结论的同意与否,并给出依据。质疑是产生问题的一种方式。但这一问题不应该是那些现成的问题,比如"这道物理习题怎么解",也不是一般地不懂的问题;而是那些观察者在充分运用了自己的知识却仍不能解释的,带有一定难度的问题,是学生自主发现的,能揭示事物、理论内部矛盾的问题[1][2]。在本研究中,物理质疑能力的界定为:学生在学习物理的过程中,根据事实和已掌握的物理知识对已有观点或结论进行分析后,提出疑问或是新观点的能力。

根据Patricia提问的层次划分:事实层次(factual),推论层次(inferential),批判层次(critical)[3]。质疑能力提出的疑问属于批判层次,是评价性的疑问。在本研究中认为,提问能力包含了质疑能力,但两者并不等同。

1 物理质疑能力的水平划分

要对物理质疑能力进行评价,必须厘清物理质疑能力水平层级关系。下面通过对最新课程标准和美国科学素养标准中与质疑能力相关的内容进行分析,并参考学者们对物理学科能力要求的研究,在此基础上划分物理质疑能力的水平层次。

1.1 国内课程标准

质疑能力作为物理核心素养中科学思维下的一个关键要素,在科学思维内涵中提到:学生能基于事实证据和科学推理对不同观点和结论提出质疑和批判[1]。新课标中明确了学生在完成高中物理学科的学习任务后,物理核心素养应该达到的水平,该水平的关键表现即构成学业质量评价的标准。表1整理了新课标中,要求学生在完成高中物理学科的学习任务后,质疑能力应该达到的水平(如表1所示)。

表1 新课标科学思维中质疑能力的水平划分

水平	质量描述
水平1	知道质疑的重要性
水平2	具有质疑的意识
水平3	对已有观点提出质疑
水平4	能对已有的结论提出有依据的质疑
水平5	能从多个视角审视检验结论

1.2 美国科学教育框架及《科学素养的基准》

美国科学教育框架中没有直接运用质疑或是质疑能力去描述对学生行为表现的要求。但是科学与

工程要求的八大实践能力中，根据证据进行论证里体现了学生应该具有质疑能力。而科学与工程实践是美国新一代科学标准的三大主题之一[5]。此外《科学素养的基准》作为美国 2061 计划项目的产物，书中在思维习惯的章节里明确了学生在经过相应年级的学习后，其“批判—反应能力”应该达到的要求[6]。对他人观点或是科学现象进行批判的过程也体现了学生的质疑能力。

通过对美国科学教育框架及《科学素养的基准》相关内容的分析，可以发现质疑能力是科学素养里的一个要素，学生通过科学的学习，应该能通过证据分析，对已有观点或结论进行再思考，做出自己的判断，而这一行为体现的就是质疑。随着年级进阶，要求也是不断提高。首先是要培养自己的质疑意识，然后是培养能够提出质疑的能力。而随着掌握科学知识的增长，慢慢要求能够利用数据、理论、推理等提出有依据的质疑，随着能力的增长，依据应该越来越充分，考虑的角度越来越全面。

1.3　学科能力中对质疑能力的水平要求

续佩君教授在其 1996 年出版的《物理能力测量研究》中提到，物理学每一个阶段性进展几乎都是从质疑开始的[2]。他在书中提出物理中的质疑一般包括四个层次，如表 2 所示。正如书中所讨论的，对于学习物理学的人，第一层次和第二层次的质疑是难以分开的。有可能是因为掌握的知识不够全面才造成对问题本身缺乏清晰的了解。

表 2　物理中的质疑一般包括四个层次

层次	层次描述	示例
第一层次	由于对问题本身缺乏清晰了解而形成质疑	如对质子结合为核子的质疑，源于对核子缺乏了解
第二层次	由于已有知识不够，致使问题无法解释而形成质疑	例如光电效应的质疑，源于波动说的局限
第三层次	由于察觉了问题的解释与原有的理论解释相矛盾而形成质疑	伽利略对落体的质疑，用亚里士多德的理论从不同角度解释同一问题将有相悖的两个结论
第四层次	由于理论内部的不自洽而形成质疑	例如麦克斯韦对介质中没有电流将使电磁理论不自洽而提出的质疑；又如爱因斯坦就经典力学规律对伽利略变换协变，但对洛伦兹变换不协变这一问题而进行的质疑等等

郭玉英教授主持的“中小学生物理学科能力表现研究”课题，其团队通过书签法对物理学科能力进行水平划分，总共划分了七个层次。从物理学科能力的水平描述中可见，物理学科能力里包括质疑能力，而且质疑能力是中上水平的物理学科能力。关于质疑能力的水平描述整理如表 3 所示。

表 3　物理学科能力中有关质疑能力的描述[7]

水平等级	水平描述
水平 4	具有质疑和创新的意识
水平 5	能使用证据质疑已有结论
水平 6	能使用证据质疑和评估已有结论
水平 7	综合使用理论和事实证据质疑和评估已有结论

叶兵等学者在建构初中物理核心素养与关键能力的研究中，阐述了在初中阶段学生应该具备的物理关键能力及其表现水平。他们将初中生关键能力的表现水平分为三个水平，水平一为合格水平，水平二为良好水平，水平三为优秀水平。质疑作为关键能力之一，各个水平的具体表现整理如表 4 所示。

表 4　初中物理关键能力表现水平中有关质疑能力的描述[8]

级别	水平描述
水平一	知道科学结论都有一定的成立条件，不是绝对正确的
水平二	知道权威的观点也可以质疑，能对不同的观点发表自己的见解
水平三	能基于证据对权威观点大胆质疑，并能在质疑的基础上，形成批判性的评价

对比郭玉英教授和叶兵学者两个团队建构的学科能力表现水平的描述，两者划分水平是比较一致的，都是从“知道可以对已有结论进行质疑——能够提出质疑——质疑评估”等划分三或是四个层次。而新课标中的学业水平的要求则描述得更加详细，对测量学生质疑能力的操作指导性更强。续佩君教授的划分方式则侧重于质疑的形成原因，但这种划分方式，其测量的操作难度比较大，一是层次一、二之间难以区分，二是层次四对普通的物理学习者来说要求太高，难以达到。

1.4　物理质疑能力水平层次的建构

由上述分析可知，质疑能力作为学生学习物理过程中，应该掌握的学科能力之一，可以从学生对能力的了解、掌握、运用程度来划分学生的能力水平。本文对物理质疑能力水平层次的划分主要借鉴课程标准以及郭玉英教授团队的研究结果进行建构，如图 1 所示。物理质疑能力的水平分为五个层次，最低水平反映学生知道质疑的重要性，最高水平对应学生能够综合使用理论和事实证据从多个视角审视检验结论，进而提出质疑或是自己的见解。

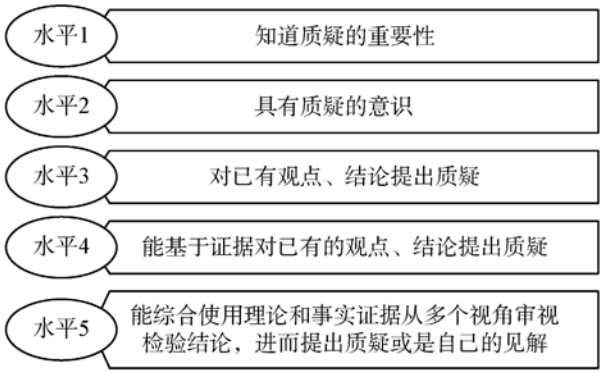

图 1　物理质疑能力水平层次建构

2　物理质疑能力评价框架

2.1　评价设计理论——ECD 理论

袁建林博士和刘红云教授在《核心素养测量：理论依据与实践指向》一文中指出，对核心素养的测量设计中，传统教育测量范式面临着巨大的挑战，而 ECD 理论却很好地满足了核心素养测量的理论需求[9]。由美国教育测验服务公司（Educational Testing Service，ETS）的 Mislevy 等人研发的 ECD（Evidence-Centered Design）理论是一套“基于证据的推理”进行系统评价设计的方法[10]。Mislevy 是基于“评价被视为是基于证据的推理”这一观点，提出了“证据中心的设计”理论，即 ECD 理论。ECD 理论指导的测验设计逻辑主要包括三个层面：建构任务诱发表现，依据表现提取证据，依据证据进行推理。ECD 模型提供了一个概念性设计框架（如图 2 所示），以确保收集到的证据和对证据的解释与学生潜在的知识和评估目的相一致[11]。该概念设计框架主要包括学生模式（Student Model）、证据模式（Evidence Model）、任务模式（Task Model）、组合模式（Assembly Model）、呈现模式（Presentation Model）。学生模式主要是说明“我们要测量什么”，如本文讨论的，我们需要测量的是学生的物理质疑能力。证据模式是解决“我们怎么测量”的问题。能力是学生内隐的心理特质，很难直接观测，需要通过收集学生的行为表现作为证据推测其相应能力水平。证据模式包括证据规则和测量模型两个部分，证据规则是指导如何对收集的学生反应进行评分，测量模式是指选择怎样的模型分析学生的变量与观察变量之间的关联信息，执行从证据到推论的推理过程。任务模式回答的是“使用什么测量”的问题。组合模式是指“我们需要测量的程度”，其意义在于描述如何将学生模式、证据模式和任务模式组合在一起，协同运作。呈现模式是在说明“评价如何呈现”，即怎样将测验材料呈现给被试，以及如何回收材料。

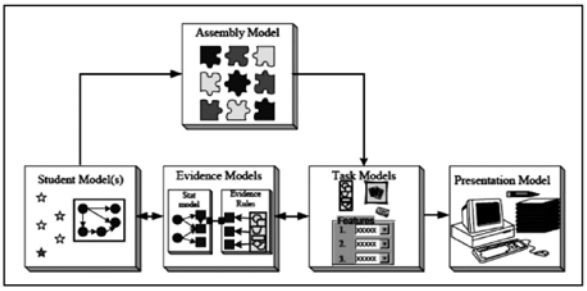

图 2　ECD 理论的概念设计框架

2.2　物理学科研究发展特点分析

物理质疑能力作为一种个性心理特征，具有内隐性，并不能直接进行测量，需要通过特定的外显行为表现去间接测量。质疑的外显行为主要表现是通过分析实验事实和已有观点、结论的矛盾，又或者是社会技术要求与实际情况之间的矛盾等等提出疑问或是自己新观点。而物理学的研究正是始于问题，物理问题的提出是进行物理探索和研究的前提。提出物理问题的基本方法[12]主要有：(1)分析物理事物之间的联系及关系。(2)分析实验事实与已有理论的矛盾。当矛盾产生时，人们就容易产生问题：是继续用已有的理论解释新的事实和现象，还是要变革原有理论，寻找新理论？这将推动物理学理论的发展。(3)分析物理理论内部的逻辑困难。寻找物理理论内部的逻辑困难，从而向该理论提出质疑。(4)对比多种假说之间的差别。不同的假说可能都可以从其相应的角度对物理现象进行解释，但哪种假说才是正确或是更全面的呢？这将促使人们提出进一步探索的问题。(5)分析物理学与其他学科之间的矛盾。

2.3　物理质疑能力评价框架

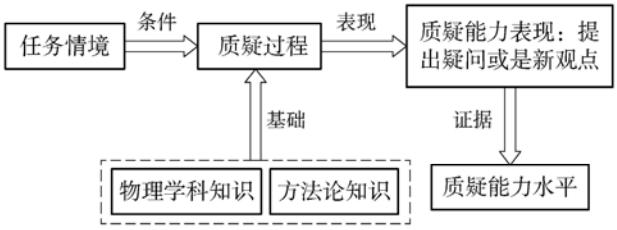

图 3　物理质疑能力评价模型

本研究设计的物理质疑能力评价模型如图 3 所示。结合物理学科研究发展特点的分析和前面对物理质疑能力水平层次的划分，建构物理质疑能力的评价框架如表 5 所示。

表 5　物理质疑能力评价框架

层次	物理质疑能力的具体表现
水平 1	知道高中教材中介绍的科学家们曾提出过的质疑及其推动相关理论的发展；知道在物理学的发展历程中，任何新概念的提出和新理论的创立，都是科学家在对前人的结论提出质疑的基础上进行的
水平 2	对在教师、课本或网络中提出的一些观点或结论不盲目轻信，具有检测物理情景中知识、观点、结论等信息是否恰当、是否科学的意识；能逐渐表现出不满足于教师或是课本对物理事物的描述和解释，哪怕是专家权威的观点、结论，也有进行检验评估的强烈意识
水平 3	能对教师、课本或网络中描述的一些观点、结论提出质疑；能够判断物理情境中知识、观点、结论等信息的陷阱或漏洞；能对观察到的物理现象提出质疑。但缺乏分析过程，没有理论依据
水平 4	对于教师、课本或网络中提出的一些观点或结论，能运用已掌握的知识、相关理论、生活经验等单一角度进行简单分析推理形成依据，对已有的观点、结论提出质疑；能揭示物理现象与原有理论的矛盾；能够洞察到物理情境中知识、观点、结论等信息的不合理之处，根据事实证据提出质疑
水平 5	能综合运用已掌握的知识、相关理论或生活经验等进行分析，能从已有结论的形成条件、过程以及结论自身等不同的角度对物理情景进行检验评估，进而提出质疑或自己的见解

3　结语

通过对物理质疑能力水平层级关系的划分，以及具体行为表现的建构，意在为测评物理质疑能力搭建一个系统可行的框架。另外希望利用 ECD 理论设计的物理质疑能力评价模型，能成为科学核心素养测量设计的一个应用研究案例。

参考文献

[1] 张勇. 物理教学中学生质疑意识的发展现状及思考[J]. 中学物理教学参考，2016(18).

[2] 续佩君. 物理能力测量研究[M]. 南宁：广西教育出版社，1996. 12.

[3] 杨小洋. 中学生提问能力发展及与其阅读理解能力关系的研究[D]. 北京：北京师范大学，2003：5，7.

[4] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准[S]. 北京：人民教育出版社，2018. 1.

[5] NRC. A framework for K－12 science education：Practices，crosscutting concepts，and core ideas [M]. *National Academies Press*，2012.

[6] 美国科学促进协会. 科学素养的基准[M]. 中国科学技术协会，评. 北京：科学普及出版社，2001.

[7] 郭玉英，张玉峰，姚建欣. 物理学科能力及其表现研究[J]. 教育学报，2016，12(04)：57—63.

[8] 叶兵，孙德生. 初中物理核心素养与关键能力的研究及测评实践[J]. 物理教学，2017，39(12)：39—43.

[9] 袁建林，刘红云. 核心素养测量：理论依据与实践指向[J]. 教育研究，2017，38(07)：21—28＋36.

[10] Mislevy R J，et al. A Brief Introduction to Evidence-centered Design [J]. *ETS Research Report Series*，2003(1).

[11] 柏毅，吕泽恩. 美国教育评估系统的 ECD 模型[J]. 教育测量与评价(理论版)，2016(01)：35—39.

[12] 田世昆，胡卫平. 物理思维论[M]. 南宁：广西教育出版社，1996. 12.

（上接第 3 页）

可用于插入/脱出离子的最大数目；(2)提高正极的电压；(3)降低材料的质量。而高电压不仅可以带来更高的能量密度，还能提高电池的输出功率等其他性能，因此研究者们一直都在为找到高电压的正极材料而努力。电池的电压是由正极(阴极)和负极(阳极)之间的电势之差决定。这意味着正极的电势应当尽量高，而负极应当尽量低。从电子结构角度来看，正极需要高氧化态以及低能的能带。换句话来说，正极中具有氧化还原活性的金属离子的价带能量越低电压则越高[8]。因此电压调控的问题变成了金属离子的选择问题。如果把正极材料比喻成一块蛋糕，金属离子可能只是上面的奶油，而阴离子则是这块蛋糕的内核。第一块锂离子电池正极材料为 TiS_2，受 S 元素的影响，硫化物类的正极电压始终不能突破 2.5 V。基于以上对电子结构的理解，古迪纳夫以氧替代硫，提出了氧化物正极材料。其电压突破了当时的极限，达到了 4 V，让锂离子电池性能得到了飞跃，直到现在这些氧化物材料仍然十分实用。

4　结论

以上这些问题仅仅是锂离子电池领域中基本科学问题的冰山一角。通过以上简单的介绍，可以明显感受到锂离子电池中的机理除物理以外还有化学、计算机等学科问题。作为多学科交叉的领域，仅仅从一个视角去看问题显然不够全面及深刻，在教学中，我们也应当鼓励学生从多个学科的角度去分析问题。

参考文献

[1] Dahn J. *Physical Review B*，1991，44(17)：9170.

[2] Mehrer H. Diffusion in Solids：Fundamentals，Methods，Materials，Diffusion-Controlled Processes [M]. *Berlin*：*Springer Press*，2010.

[3] Kamaya，N. et al. *Nat. Mater*，2011，10(9)，682－686.

[4] Mo Y.，Ong S. P.，Ceder G. *Chem. Mater*，2012，24(1)：15－17.

[5] Xu M.，Ding J.，Ma E. *Phys. Lett*，2012，101(3)：031901.

[6] Adams S.，Prasada Rao R. *J. Mater. Chem*，2012，22(16)：7687.

[7] 彭佳悦，祖晨曦，李泓. 锂电池基础科学问题(Ⅰ)——化学储能电池理论能量密度的估算[J]. 储能科学与技术，2013，2(01)：55—62.

[8] Manthiram. *Nat Commun*，2020(11)：1550.