

科学实在论与工具主义之争在高中 物理教学中的隐形表征^{*}

焦政翰 宋善炎^{**} 李勇强 徐平川 (湖南师范大学教育科学学院 湖南 410081;
西华师范大学物理与天文学院 四川 637002)

摘 要 科学实在论与工具主义之争作为科学哲学的经典议题,以隐形方式深刻表征于高中物理教学的教材编写逻辑、教师课堂话语与实验教学形态之中。文章借鉴雅各比高中物理教材的文本分析框架与阿尔曼德关于教师认识论取向与教学语言关系的实证研究,剖析教材对理论实体的分层处理方法、教师语言的认识论切换策略以及实验教学中求真取向与实用方法的融合方式,揭示科学实在论与工具主义的对立通过教学中介转化为培育学生科学素养的独特动力。

关键词 科学实在论 工具主义 批判实在论 高中物理教学

文章编号 1002-0748(2026)9-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

电子是否真实存在?学生在物理课堂上的类似追问,指向科学哲学的核心论题,即科学理论究竟是世界的真实描述,还是仅服务于预测现象的有用工具?这一争论从古希腊天文学的“拯救现象”传统,到十九世纪末马赫与普朗克的著名论战,始终是科学哲学的核心议题^[1]。科学实在论主张理论实体真实存在,科学理论逼近真理^[2];工具主义则认为理论仅为有用的虚构,价值在于预测现象^[3]。然而,这场看似纯粹的哲学争论,实则深刻嵌入科学教育实践。雅各比的教材分析发现,高中物理教材处理理论实体时普遍呈现工具主义表述倾向,却可借此引导学生走向实在论^[4];阿尔曼德的教师语言研究揭示,教师的认识论取向与其课堂语言的确信程度显著相关^[5]。在此基础上,本文进一步阐述这场哲学争论如何表征于教材、教师语言与实验教学之中,论证高中物理教学实践中形成的认识论平衡。

1 实在论与工具主义的分歧及其教学实践意涵

科学实在论与工具主义的分歧,根植于对科学理论本质的不同理解。实在论者追问“世界究竟是什么样的”,将科学视为对客观实在的真理性描述;工具主义者则关注“如何有效解释和预测现象”,将

科学理论定位为组织经验的有用工具。这一分歧并非纯粹的形而上思辨,而是深刻地影响着科学教育的实践走向。

1.1 实在论的核心主张

科学实在论的核心要义可概括为三个相互关联的命题。本体论层面,实在论者相信,现实不仅包含感官经验所给予的东西,理论所揭示的不可观察实体同样构成世界的真实组成部分^[6]。认识论层面,主张成熟科学理论是对客观世界的真理性描述,且随着科学的发展不断逼近真理。这意味着牛顿力学并非仅为有用的虚构,而是在其适用范围内揭示了物体运动的真实规律。语义学层面,坚持理论术语指向真实世界的实体,理论陈述具有确定的真值。

从教学实践角度看,实在论立场具有双重意涵。积极层面,它为科学探究提供了根本的动力,驱动着科学家也驱动着学习者不断追问、不断探索。科伯恩和洛文深刻指出:实在论真的就是常识,即离开了对物理世界客观存在的信念,科学教育将失去其最根本的吸引力^[7]。消极层面,朴素的经验主义实在论则可能导致科学知识的教条化,使学生将特定历史条件下的理论模型误认为终极真理,从而在接触科学史时产生认知冲突。

^{*} 基金项目:西华师范大学 2024 年研究生优秀教材项目“中学物理课程与教材研究”(项目编号:2024JC04)和 2026 年度南充市社会科学规划青年项目“AI 赋能初中物理跨学科实践主题教学的案例开发与实施路径研究”(项目编号:NC26C270)的阶段性研究成果。

^{**} 通信作者:宋善炎。

1.2 工具主义的核心主张

工具主义起源于古希腊天文学“拯救现象”的传统,在马赫的实证主义哲学中得到系统阐发。其核心主张在于:科学理论的功能不在于揭示世界的本质,而在于对经验现象进行经济而有效的描述和预测。马赫明确主张,科学应当局限于对感觉经验的分析,像原子这样的理论实体不过是“思维的经济”,不应被赋予实在论的地位^[8]。从语义学角度看,工具主义否认理论术语具有指向功能,理论陈述的价值在于其预测效力而非真值。

工具主义的教学实践意涵同样具有两面性。积极层面,提醒教育者保持认识论的谦逊,即科学知识具有内在的暂定性,理论模型是对现象的逼近描述而非终极真理。这种谦逊态度有助于培养学生的批判性思维,避免将特定时期的科学认识绝对化。消极层面,极端的工具主义可能滑向相对主义和主观主义,使科学理论被视为随用随弃的虚构,从而消解科学知识的客观性根基。

1.3 批判实在论对二元对立的超越

无论是工具主义的虚无倾向还是朴素实在论的独断倾向,都不足以支撑全面的科学教育。真正需要的是“一种既承认经验物理世界‘在那里’,又承认科学知识的建构性本质的实在论”,此即批判实在论。

批判实在论的认识论架构包含三个层次。第一,本体论实在论层面,物理世界客观存在,独立于认识活动。第二,认识论建构主义层面,科学知识是对这个世界的建构性描述,具有暂定性和发展性。第三,认识论进步主义层面,随着科学的发展,人类认识不断逼近对实在的更准确描述。虽然每个物理模型都是建构的产物,但建构并非随意,而是受到实验证据的约束,并在历史进程中呈现明确的进步趋向。批判实在论的教学实践意义在于,既避免了朴素实在论的独断倾向,也抵御了工具主义的虚无风险。为学生提供了科学既是对实在的探索,也是对实在的建构。这一立场构成了理解高中物理教学隐形表征的理论基点。

2 教材呈现:理论实体的认知阶梯

雅各比在对 23 种高中物理教材的系统分析中发现,教材在处理不可观察的理论实体时,普遍遵循着深层逻辑,既不能回避学生对“电子是否真实存在”的本体论追问,又必须尊重初学者从直观到抽象的认知规律。这种深层逻辑的核心,就是为理论实

体的理解搭建递进的认知阶梯,使学生在工具辅助下,逐步走向对物理实在的观念承诺。

2.1 分层递进:从工具主义到科学实在论

教材中的工具主义倾向并非缺陷,而是帮助学生走向实在论的必要教学策略。以人教版教材“原子核的组成”内容为例,教材呈现了清晰的认知阶梯(见图 1):首先从天然放射现象出发,通过磁场中射线分裂、放射性 with 化学状态无关等证据,引导学生推理出“射线来自原子核”的结论,但此时原子核尚是解释现象的工具性假设;继而介绍卢瑟福打出质子的实验,再通过质量与电荷量之比的逻辑矛盾引出中子猜想,最终以查德威克的实验证实完成从假设到实在的确认。教材通过实验证据、历史案例和逻辑推理搭建认知阶梯。威耳逊云室中 β 射线的清晰径迹,为电子存在提供了直观证据;居里夫妇确认放射性“起因于原子内部”的研究历程,展现了科学实在论的建立过程。这种从现象到本质、从工具到实在的设计,既尊重了初学者的认知规律,又通过科学论证引导学生完成认识论的进阶,即从将理论实体视为解释现象的工具,到最终物理观念的确立。

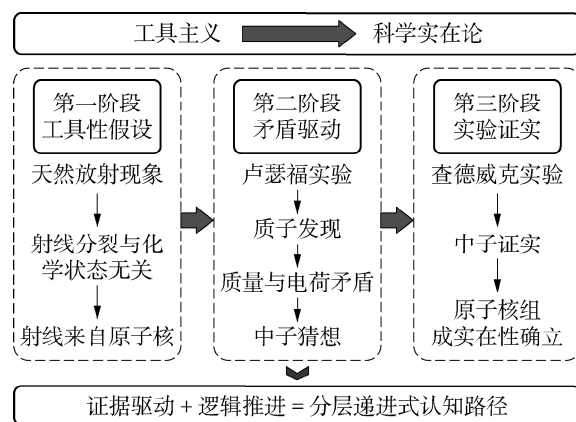


图 1 人教版教材“原子核的组成”内容设计

2.2 多维渗透:教材的认识论表达

除了在理论实体引入环节采用分层递进策略外,教材还在科学史编排、概念定义等多个维度上渗透着实在论与工具主义的认识论立场,共同构成教材的认识论表达系统。

2.2.1 科学史编排的认识论功能

教材对科学史的编排承载着深刻的认识论意涵。以“光的本性”为例,教材中通常呈现粒子说与波动说的历史争论(见图 2):牛顿的微粒说、惠更斯的波动说、杨氏的双缝干涉实验、泊松亮斑、光电效应与爱因斯坦的光子理论。这种历史叙述的认识论功

能在于,让学生直观看到,科学理论是在争论中发展的,不同时代的科学家都曾坚信自己揭示了光的“真实本质”,而科学进步正是通过这种争论得以实现。

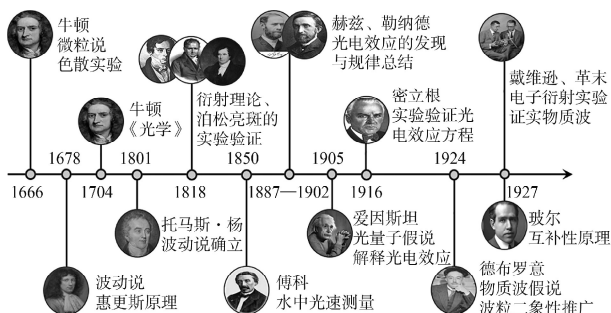


图2 “光的本性”历史探索与发展

然而,教材内容并未停留于历史复杂性层面。在此基础上,教材提炼出波粒二象性的统一图景,引导学生理解:光既不是纯粹的粒子,也不是纯粹的波动,而是兼具两者性质的量子客体。这种处理既避免了朴素实在论的独断,即将某一历史阶段的理论奉为绝对真理;也避免了工具主义的虚无,即将理论视为随用随弃的虚构。学生自然形成的理解是,科学认识不断深化,波粒二象性比单纯的粒子说或波动说更接近光的真实面目,但对光的认识仍然在发展之中。

2.2.2 概念定义的认识论立场

教材中对核心概念的定义方式,同样内含着特定的认识论立场。高中物理教材对概念定义大致可分为两种类型:理论性定义和操作性定义。

理论性定义明确做出本体论承诺,带有实在论色彩。电场概念的认识论框架如图3所示,在引入“电场”概念时,人教版教材开篇即明确:在电荷的周围存在着由它产生的电场;并进一步论述:电场以及磁场已被证明是一种客观存在。场像分子、原子等实物粒子一样具有能量,因而场也是物质存在的一种形式。这一定义将电场提升为与实物同等的物理实在,赋予其物质的本体论地位。

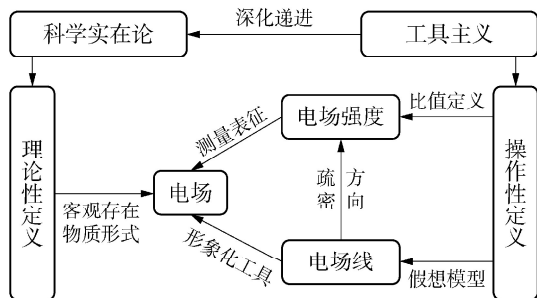


图3 “电场”概念的认识论框架

操作性定义侧重于测量和计算,带有工具主义色彩。例如,教材内容上首先通过试探电荷所受静电力与电荷量之比来定义电场强度。明确指出,这是“通过物理量之比定义的新物理量”,并在“科学方法”栏目中系统介绍了比值定义法。这一定义告诉学生如何测量电场强度、如何在计算中运用这一概念。

值得注意的是,教材在处理“电场强度”时,呈现出从工具主义到实在论的递进关系。教材首先给出操作性定义,聚焦于如何测量和计算;待学生建立一定理解后,教材通过“电场线”的引入,帮助学生理解电场的空间分布。教材指出,“电场线不是实际存在的线,而是为了形象地描述电场而假想的线”,这一定位既承认了电场线的工具性,又通过电场线的疏密与电场强度大小的对应关系,强化了电场本身的实在性。这种定义方式的选择,体现了教材在工具主义认知便利与实在论本体承诺之间的审慎平衡。

3 教师语言:认识论立场的情境性表达

教师在课堂上的语言表达,是哲学立场最直接、最微妙的表征方式。阿尔曼德对102名科学教师的定量研究表明,教师的哲学倾向确实影响其语言选择,但经验丰富的教师能够在不同语言风格之间自如切换,这种切换能力是教学专业性的重要体现。

3.1 确定性语言与开放性语言的功能分化

教师语言在确定性程度上的差异,关联着实在论与工具主义的认识论取向。确定性语言倾向于将科学知识呈现为确定无疑的真理,这与实在论的科学观相契合;开放性语言则强调科学知识的暂定性和建构性,这与工具主义的认识论倾向相呼应。

确定性语言(如“根据定律可知……”)的典型特征是将科学陈述呈现为不容置疑的定论。教师使用“电场是存在于电荷周围空间的一种特殊物质”这样的表述时,重点传递物质观念,即电场是真实存在的物理实在。确定性语言的教学功能在于为学习者提供认知安全感,在首次引入核心概念时有助于学生建立稳定的心理表征。开放性语言(如“我们可以这样理解……”)则强调科学知识的暂定性和建构性。教师使用“目前我们用电子云模型来描述原子中电子的行为”这样的表述时,暗示这一模型是当前最好的描述方式,但未来可能会有更深入的认识。开放性语言的教学功能在于培养学生对科学暂定性的理解,在讨论科学前沿或有争议的问题时尤为恰当,有助于学生理解科学知识是不断发展、修正和完善的。

过程。

阿尔曼德的定量研究揭示了:倾向于实在论的教师更常使用确定性语言,而倾向于工具主义的教师则更多使用体现科学暂定性的表达。这一发现具有重要的教学实践意义,教师的认识论立场会通过语言这一中介,潜移默化地影响学生,故两种语言风格的平衡运用至关重要。

3.2 教学语言的情境性切换

经验丰富的教师能够在不同教学情境中自如切换语言风格,这种切换遵循着一定的情境性原则。对于基础性、经过充分检验的知识,倾向于采用确定性语言;对于发展性、仍在探索中的知识,倾向于采用开放性语言。这种切换并非哲学立场的混乱,而是教学智慧的体现。

案例:某教龄 27 年的物理教师课堂实录。

引入牛顿第一定律时,教师表述:“伽利略通过理想斜面实验发现,如果完全没有摩擦,物体将一直运动下去。在此基础上,牛顿总结出:一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态,除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。这就是牛顿第一定律,它是经典力学的基石。”

教师讲述中前半部分呈现科学发现的历史过程(开放性),让学生理解定律的来源和建构过程,明晰伽利略如何通过理想实验突破亚里士多德的传统观念,牛顿如何在伽利略工作的基础上进行概括提升。后半部分以确定性语言陈述定律内容(实在论),让学生建立对定律的观念,将其作为后续学习的基础。这种组合既让学生理解知识的来源,又建立对定律的信任,兼顾了发生学理解和实质性理解。

4 实验教学:认识论立场的实践融合

实验教学作为科学认识论在实践层面的集中体现,其哲学基础与教学形态之间的内在关联,构成了理解实在论与工具主义之争如何融入教学实践的关键环节。高中物理实验大致可分为两种:验证性实验和探究性实验。

4.1 验证性实验的双重认识论基础

验证性实验常被批评为工具主义,即仅为验证理论,过程沦为机械操作。这一批评忽视了其深层认识论意涵。验证性实验首先建立在实在论信念之上,如学生在改变力或质量测量加速度,绘制图像,体会力、质量与加速度之间的确定性关系。哈金指出,实验者通过操作干预物理过程,这种介入为理论实体的实在性提供了最强有力的辩护^[9]。另一方

面,验证性实验也具有工具主义色彩,即它教会学生用理论工具处理经验现象,学会测量、计算、分析误差、评估数据可靠性、绘制图像、拟合曲线。学生在实验中内化理论工具的使用方法,如何减小系统误差,如何判断数据是否支持理论预期。这些技术性操作承载着科学方法论的核心要素。

验证性实验的深层价值,在于将实在论的信念承诺与工具主义的方法自觉融为一体。以“验证机械能守恒定律”实验为例,学生通过测量重力势能减少与动能增加来验证两者相等。这一过程的认识论意涵在于,学生见证了能量守恒规律,建立起对物理世界的信念;学会实验技能与数据处理方法;理解实验与理论是复杂的逼近关系;当结果存在偏差时,需要判断是操作问题、测量问题还是理论适用边界问题,这种判断本身就在培养科学思维。

4.2 探究性实验的实在论追求与方法论工具

探究性实验更明显地体现着实在论的追求,学生面对未知或半未知的现象,通过实验揭示规律,获得对物理世界的新认识。其核心认识论特征在于学生从真实问题出发,提出思考。这种问题导向的设计,使学生扮演了发现者的角色,创造亲自揭示自然规律的认知体验。这种发现感对于培养科学热爱、建立对物理世界的信念具有不可替代的价值。探究性实验还让学生亲身体验到科学规律的客观性。不同小组用不同器材、不同方法进行探究,最终得到相似的结论。这种经验的普遍性向学生传递着深刻信息,即物理规律不是主观臆造的,而是客观存在的。探究性实验同样离不开工具主义的方法论。学生在探究中需要使用测量工具、构建数学模型、控制变量、处理数据、分析因果关系、评估结果可靠性,这些都是工具主义的实践活动。没有这些工具性活动,探究只能停留在模糊的直觉层面,无法形成对规律的清晰认识。在探究中习得的不仅是具体实验技能,更是科学探究的一般方法,这正是工具主义认识论所强调的理论功能。

验证性实验与探究性实验在认识论功能上构成互补关系(见图 4)。验证性实验侧重于建立对科学知识的信任,让学生体验物理世界的规律性和可预测性;探究性实验侧重于培养发现规律的能力,让学生体验科学探究的开放性和创造性。验证性实验强化实在论的观念承诺,探究性实验融合实在论追求与工具论方法。两者共同构成实验教学的完整认识论图景,使学生既能建立对科学的物理观念,又能掌握科学探究的方法。

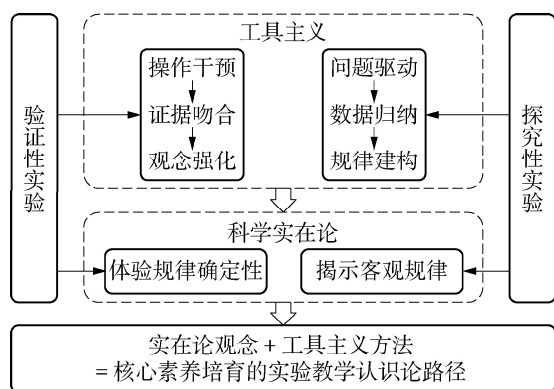


图 4 实验教学的哲学基础与类型特征

5 教学启示

5.1 提升教师对科学本质的自觉意识

教师对科学本质的理解通过认识论取向的隐性传递，塑造学生对科学知识性质的认知图式。科学实在论与工具主义的哲学论争，在教学中以教材设计、课堂教学用语与实验解释框架等形式呈现，构成科学本质教育的隐性课程载体。提升教师的自觉意识，要求其具备对自身认识论立场的元认知能力，识别并反思所传递的科学形象是否偏颇；理解学生本体论追问所蕴含的认识论意涵，给予哲学层面的回应而非简单回避；并将科学本质教育嵌入课程教学全过程。通过同行研讨与教学反思，教师可将科学本质教育从经验性的自发渗透提升为理论自觉的系统建构，实现从知识传授向科学素养培育的认识论跃迁。

5.2 优化教材的知识呈现方式

教材在理论实体引入、科学史编排与概念定义中承载着特定的认识论立场，教师应善用这些隐形资源，将其转化为认识论教育资源^[10]。在理论实体教学中，教师可遵循教材从工具性认知到实在性确立的递进逻辑，在初识阶段引导学生通过类比与操作性定义理解理论实体的功能意义，在进阶阶段借助实验证据帮助学生逐步确立其实在性地位。在科学史教学中，教师应超越事件罗列式的知识呈现，引导学生理解科学理论如何在经验约束与概念重构中演进，揭示科学认识从多元竞争走向共识建构的复杂过程^[11]。在概念教学中，教师应把握操作性定义与理论性定义的互补关系，使学生在掌握测量计算方法的同时，理解概念所承载的本体论承诺。

5.3 丰富实验教学的教育内涵

实验教学是科学认识论在实践层面的集中体

现，承载着实在论的信念承诺与工具主义的方法自觉，其教育价值应被理解为学生对科学知识性质、理论建构方式与经验世界关系进行实践性体认的核心实践^[12]。在验证性实验中，教师应引导学生超越对理论预期的简单印证，感知理论对物理世界的解释力与预测力，理解实验结果与理论预期之间的符合或偏差所揭示的理论对实在的逼近关系，将其重构为认识论训练。在探究性实验中，教师应引导学生经历科学知识的生成过程，感知科学知识的客观性与建构性的统一，从不同条件下得出相似结论的经验中感受物理规律的客观性，同时理解测量工具与推理方法在科学建构中的方法论价值。通过多种实验形态的有机整合，教师可使学生在实践中理解科学认识是对真实的逼近这一核心命题。

参考文献

- [1] Duhem P M M. To save the phenomena, an essay on the idea of physical theory from Plato to Galileo [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1969.
- [2] Psillos S. Scientific realism: how science tracks truth [M]. London; New York: Routledge, 1999.
- [3] Van Fraassen B C. The scientific image [M]. Oxford New York: Clarendon Press; Oxford University Press, 1980.
- [4] Jacoby B A. The extent and relevance of instrumentalism, constructivism and critical realism in high school physical science textbooks: a critical study [D]. Cape Town: University of Cape Town, 1990.
- [5] Almardi, A. M. Teachers' epistemological beliefs and their classroom language certainty: a correlational study [D]. Khartoum: Sudan University of Science and Technology, 2022.
- [6] Chakravartty A. A metaphysics for scientific realism: knowing the unobservable [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [7] Cobern W. W., Loving C. C. An Essay for Educators: Epistemological Realism Really is Common Sense [J]. Science & Education, 2008, 17(4): 425—447.
- [8] Banks E C. The Philosophical Roots of Ernst Mach's Economy of Thought [J]. Synthese, 2004, 139: 23—53.
- [9] Hacking I. Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- [10] 华吉俊. 科学哲学融入高中物理教学的路径与价值[J]. 物理教师, 2025(1): 9—14.
- [11] 王斌, 冯爽, 黎周. HPS 教育中科学哲学在中学物理实验教学中的独特价值与实践方法[J]. 物理教师, 2023(8): 64—68.
- [12] 牟兰娟. 中学物理教学的困顿与修正——基于科学哲学思潮转向的视角[J]. 教学与管理, 2017(9): 91—94.