

基于 SOLO 分类理论的实验探究活动设计的思考^{*}

——以“测量电源的电动势和内阻”实验教学为例

许 健 (华东师范大学第三附属中学 上海 201514)

摘 要 本文缘起如何通过课程标准的内容要求来确定具体的课时目标。将 SOLO 分类理论与核心素养水平相融合,尝试在“测量电源的电动势和内阻”的实验教学设计中,将 SOLO 分类理论运用到教学目标的确定、教学流程的规划和教学策略的选择等方面,让课标内容要求变得具体化,让需达成的素养水平更加符合学生的认知水平,让教学活动的实施更有利于提升学生的思维水平。

关键词 SOLO 分类理论 科学探究 教学设计

文章编号 1002-0748(2023)5-0024

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)》中指出高中物理课程中应注重科学探究,尤其应注重物理实验在培养学生的探究能力和科学态度等方面的重要作用^[1]。课程标准将“科学探究”素养划分为五个不同的认知水平,并且描述了各个水平的具体含义。作为学科核心素养的表现性评价依据,学业质量水平同样划分为五个水平,学业质量是教学与评价的基础,可以运用学业质量水平标准来规范教学目标、教学过程和教学评价^[2]。但是在实际教学设计的过程中,很难准确把握每一个素养目标处于哪个水平,很难选择合适的情境推进实验探究活动,从而提升学生的科学探究能力。

约翰·B·彼格斯提出的“可观察的学习成果结构”,即 SOLO 分类理论,是一种从能力、思维操作、一致性与收敛、回答结构四个方面进行五个不同水平分类的学习质量评价分类方法。通过对比科学探究素养认知水平和 SOLO 层次,发现两者之间存在对应关系。本文以“测量电源的电动势和内阻”实验教学为例,尝试应用 SOLO 分类理论来确定教学目标、教学任务和教学策略,进行实验探究活动设计,落实学生科学探究素养的培养。

1 SOLO 分类理论与科学探究水平的表现对照

基于皮亚杰的发展阶段论建立的 SOLO 分类理论认为,人的认知水平和具体事件的执行力都具有阶段性,该特性可以通过比较、测试等检测手段观察到,并将学生的学习结果按照思维从低到高分五个不同层次,依次为前结构、单点结构、多点结构、关联结构和抽象拓展结构^[3]。其中,前结构是指“学生缺乏回答问题所需的基本知识”,学生的思维操作是回避问题、同义反复等情况,可能是不认真地、胡乱地回答,然而在《课程标准》中不存在前结构水平,因此只需要研究剩下的四种水平。

对课程标准中关于“科学探究”素养的五个水平描述和学业质量的五个水平描述进行比较,发现只是在学业质量的五个水平描述时,水平 1、2 中关于“证据”描述中多了“所学”一词,水平 3 中关于“问题”描述中用“猜想”替换了“假设”,除以上三点以外其他描述基本一致,体现了学科核心素养是学业质量水平制定的基础,因此只需要研究 SOLO 分类层次与科学探究的表现参照,具体见表 1 所示。

^{*} 基金项目:2021 年上海市金山区中小幼学校教育科学研究项目一般课题“指向核心素养的高中物理演示实验教学设计的实践研究”(课题立项编号:BZ21005)的阶段性研究成果。

表 1 SOLO 分类层次与科学探究的表现对照表^[1]

科学探究	SOLO 层次	具体表现
水平 1	单点结构	能说出简单的物理模型,说出单个相关点,简单分析常见的物理现象
水平 2	多点结构	能描述常见的物理模型,列举多个孤立相关点,分析简单的物理现象
水平 3	关联结构	能选用恰当的物理模型,将各点相互联系起来,解决简单的物理问题
水平 4		能将实际问题转化成物理模型,将各点相互联系起来,采用不同的方式解决问题
水平 5	抽象拓展结构	能将复杂的实际问题转化成物理模型,能运用新颖方式解决综合性物理问题

SOLO 分类层次与科学探究的表现对照表有助于教师在实验教学设计环节准确把握教材内容、精准分析学生的认知水平,从而明确教学目标、选择合适的教学策略,以此来提升学生的实验探究能力。

2 SOLO 分类理论在实验探究活动设计中的应用

“测量电源的电动势和内阻”是沪科版必修教材的最后一个探究性学生实验,位于必修 3 第十章“电路及其应用”的第六节“电源电动势和内阻的测量”。通过该实验,让学生完整经历实验探究的各个环节,有利于学生经历科学探究过程,形成能量观。

2.1 制定教学目标,分析能力水平

《课程标准》对本课时提出的具体要求,见表 2。

表 2 《课程标准》中关于“电源电动势和内阻的测量”的描述^[1]

板块	内容要求
内容要求	会测量电源的电动势和内阻
教学提示	努力创设激发学生探究欲望的问题情境,引导学生进行科学探究,培养学生实验设计、分析论证、反思评估等能力
学业要求	能在教师指导下制定实验方案,能选用实验器材进行实验,获取实验数据,会用图象处理实验数据,能根据图象获得结论,能分析实验中存在的误差,并能提出减小误差的方法

依据沪科版必修 3《普通高中物理教学参考资料》的阐述,本课时的教学内容包括学生实验“测量电源的电动势和内阻”和串联电池组。基于《课程标

准》制定课时教学目标,见表 3。

表 3 课时教学目标

学科素养	内容
物理观念	知道测定电源电动势和内阻的实验原理,了解串联电池组电动势和内阻的规律
科学思维	能用闭合电路欧姆定律和伏安法制定实验方案,能用图象法处理数据,知道 $U-I$ 图象的纵截距表示电池的电动势,斜率的绝对值表示电源内阻
科学探究	经历实验方案设计、数据获取和数据处理、基于证据得出结论等探究过程,体会实验方案以及图象分析在物理学中的重要作用
科学态度与责任	经历实验探究的过程,体会科学探究的一般方法,养成实事求是的科学精神,树立科学用电的意识

依据《学科教学基本要求》,进一步细化课时教学目标,见表 4。

表 4 教学内容的具体表现

内容	具体表现
会测量电源的电动势和内阻	① 能应用闭合电路欧姆定律制订实验方案
	② 会根据实验方案,独立完成电路连接、数据测量和记录
	③ 会根据实验数据画出 $U-I$ 图象,能根据图象求得电源的电动势和内阻
	④ 能分析实验误差的来源,能列举减小误差的方法
	⑤ 能运用物理术语撰写实验报告
了解串联电池组	⑥ 能描述串联电池组总电动势和总内阻

描述单点结构层次的常用词包括说出、识别……,描述多点结构层次的常用词包括描述、计算……,描述关联结构层次的常用词包括分析、制定……,描述抽象拓展结构层次的常用词包括概括、设计……。“①能应用闭合电路欧姆定律制订实验方案”的行为动词是“制定”,具有多点关联、高阶思维的特性,因此它具有关联结构的特点,同时与“科学探究”有强联系。使用类似的方法,描述具体表现的水平,见表 5。

表 5 教学内容的表现水平

表现水平	物理观念	科学思维	科学探究	科学态度与责任
单点结构				
多点结构	①	①	②、③	
关联结构			①、④、⑤	④
抽象拓展结构				

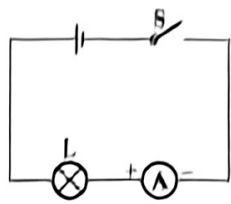
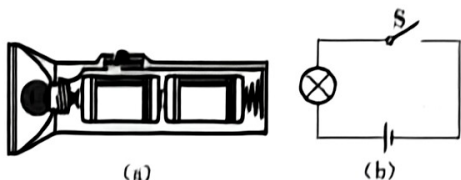
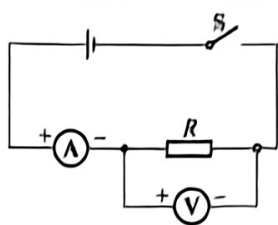
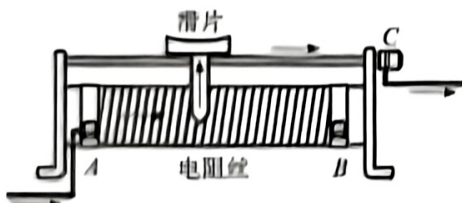
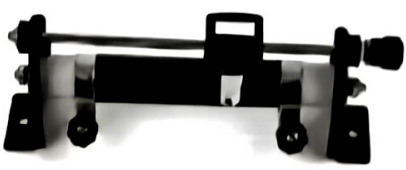
2.2 制定教学流程,规划教学活动

在教学设计时利用 SOLO 分类理论确定教学的重点和难点。“测量电源的电动势和内阻”作为学生实验是培育学生科学思维,提升科学探究素养的关键,是本课时的教学重点。“能分析实验误差的来源,能列举减小误差的方法”作为关联结构,是本课时的教学难点。然而单课时很难实现既抓住重点,又突破难点,需要利用 SOLO 分类理论分析学习的

认知负荷,从单元视角制定教学流程。利用引入环节的情境构建物理模型,使用学生熟悉的模型贯穿整节课,将有限的教学时间多分配给实验探究活动。

学生的已备知识是最重要的影响学习因素,教师应该帮助学生确认他们的已备知识,以此来制定教学计划^[1]。什么模型是学生熟悉的呢?查阅上教版初中物理教材,在第七章“电路”各节中出现的模型,见表 6。

表 6 初中教材中使用的模型

知识点	内容	教材中的描述	教材中使用的模型
电流	电流表的正确接法	将电流表串联在被测电路中,电流从电流表的“+”接线柱流入,从“-”接线柱流出	 图 1
电压	电池组	每节电池的电压为 U , n 节相同的电池串联,提供的电压可达 nU	 图 2
欧姆定律	伏安法测定导体阻值	用电压表测出导体两端的电压 U ,用电流表测出通过导体的电流 I ,它们的比值 U/I 即为该导体的阻值	 图 3
变阻器	滑动变阻器	 图 4	 图 5

在初中教材中,干电池、小灯泡和滑动变阻器都是常见的电路元件,由它们构成的简单电路是学生

熟悉的模型,本课时围绕该模型进行活动设计,教学流程图见图 6。

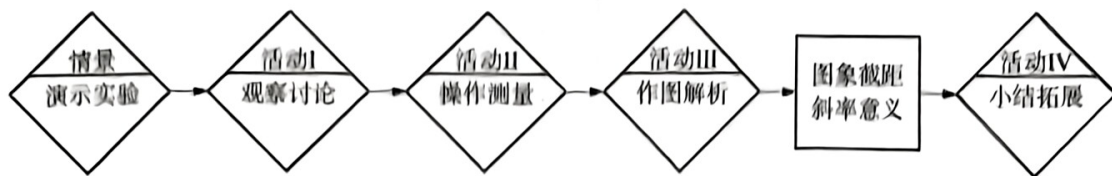


图 6 教学流程图

教学流程图的说明,见表 7。

表 7 教学流程图说明

模块	活动类型	内容
情景	演示实验	使用三节干电池给小灯泡供电,小灯泡的亮度反而变暗了,回顾电源的电动势和内阻
活动 I	观察讨论	展示不同的实验方案,进行交流讨论
活动 II	操作测量	运用伏安法进行分组实验,测量,记录实验数据
活动 III	作图解析	运用实验数据绘制 $U-I$ 图象,解析图象,获得图象截距、斜率的意义,分析一节和两节干电池的 $U-I$ 特征曲线,获得串联电池组的电动势和内阻的规律
活动 IV	小结拓展	利用干电池和小灯泡的 $U-I$ 特征曲线,分析演示实验“反常”现象的成因

2.3 运用教学策略,培养核心素养

2.3.1 创设问题情境,形成思维阶梯

SOLO 分类理论的各层次水平间呈现阶梯状递进,随着水平的提升内容的表现会越来越复杂。真实的情境可以激发学生的学习兴趣,从情境引申的真实问题能引起学生的共鸣,环环相扣的问题链不断提升学生的思维水平,课时引入环节的问题设计如下:

情景 1:分别用一节干电池、两节干电池串联给小灯泡供电,观察小灯泡亮度的变化。(小灯泡的额定电压为 3.8 V)

现象 1:一节干电池供电时小灯泡发出微弱的光,两节干电池串联供电时小灯泡变亮。

问题 1:如果三节干电池串联给小灯泡供电,小灯泡会更亮吗?

现象 2:三节干电池给串联小灯泡供电时,小灯泡基本不亮。(三节干电池串联供电电路见图 7)

问题 2:小灯泡不亮是因为电路断路吗?

现象 3:电流表的指针发生偏转,说明电路没有断路。

问题 3:为什么三节干电池供电时小灯泡反而不亮?

讨论:第三节电池可能是一节旧电池,它的电动势和内阻与前面两节都不同。

一节暗、两节亮,三节反而不亮。通过反转的剧情,吸引学生思考现象背后的本质,顺势引出本节课时的任务——测量干电池的电动势和内阻。

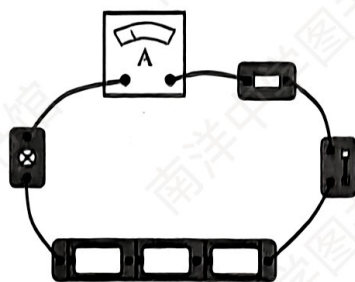


图 7 三节干电池串联供电电路

2.3.2 分析实验数据,提升思维水平

当学生面对大量的实验数据时会不知所措,如果仅仅是让学生按照学习任务单进行处理数据,没有经历实验数据的分析、质疑等过程,学生最终呈现单点结构的思维特征,只能运用在原有的情境中,而不能运用于其他情景,而且不利于证据意识的培养,无法树立实事求是的价值观。

实验数据见表 8,其中小灯泡的实验数据来自于本章第二节“电阻定律”的自主活动。

表 8 实验数据

小灯		1 节干电池		2 节干电池		3 节干电池	
I/A	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V	I/A	U/V
0.08	0.15	0.04	1.45	0.14	2.78	0.02	3.78
0.13	0.50	0.08	1.41	0.18	2.69	0.04	3.52
0.18	1.00	0.12	1.37	0.22	2.62	0.06	3.15
0.21	1.51	0.16	1.34	0.30	2.46	0.08	2.75
0.24	2.00	0.20	1.28	0.36	2.37	0.10	2.52
0.30	3.00	0.24	1.25	0.48	2.16	0.12	2.20
0.32	3.80	0.28	1.20	0.57	2.00	0.14	1.92
		0.32	1.17	0.68	1.72	0.16	1.57
		0.37	1.11	0.82	1.51	0.18	1.23
		0.42	1.07	1.01	1.30	0.20	0.93

任务 1:绘制一节电池和两节电池串联的伏安特征曲线(见图 8)。

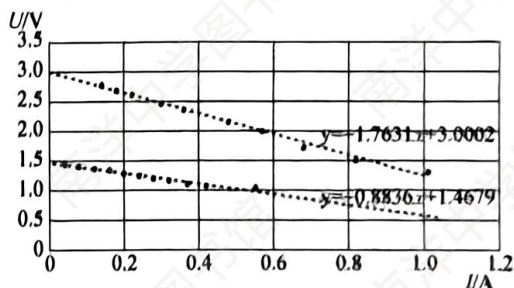


图 8 电源的伏安特征曲线 1

问题 1:电源的伏安特征曲线的斜率和截距有什么意义?

讨论:图象纵轴的截距是电源的电动势,斜率是内阻的负值。一节电池的电动势为 1.47 V、内阻为 0.88 Ω ,两节电池串联的电动势为 3.00 V、内阻为 1.76 Ω 。

问题 2:一节干电池和两节干电池串联的电动势和内阻存在怎样的关系?

讨论:两节干电池串联的电动势和内阻几乎是一节电池的两倍。如果是 n 节完全相同的电池串联,那么可以获得串联电池总电动势和总内阻的规

律: $E_{\text{总}} = nE$, $r_{\text{总}} = nr$ 。

任务 2: 绘制三节干电池串联的伏安特征曲线(见图 9)。

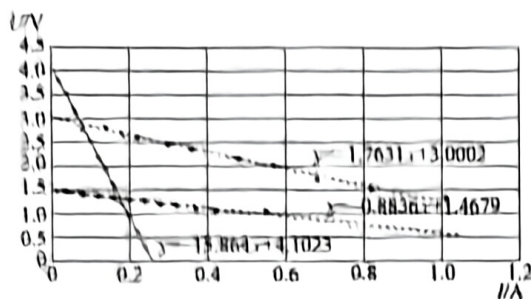


图 9 电源的伏安特征曲线 2

问题 3: 三节干电池串联的电动势和内阻为多少?

讨论: 三节干电池串联的电动势为 4.10 V 和内阻为 15.86 Ω 。显然不符合串联电池组的规律, 第三节电池的电阻远大于前面两节电池, 它应该是一节旧电池。

通过数据分析, 获得新旧电池的区别, 旧电池的电动势和内阻都有变化, 尤其是内阻明显增大, 回答了引入环节的猜想。

任务 3: 绘制小灯泡的伏安特征曲线(见图 10)。

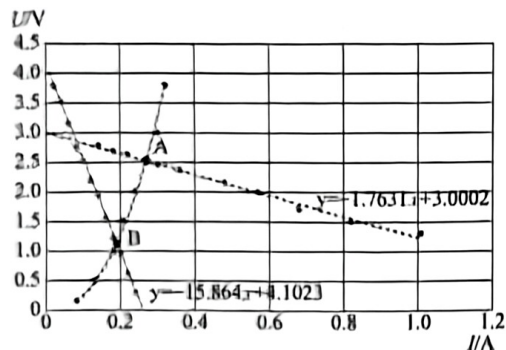


图 10 伏安特征曲线

问题 4: 图象焦点的意义是什么?

讨论: A 点代表小灯泡接在两节干电池串联供电的电路中, 此时小灯泡两端的电压 $U_1 = 2.55$ V、

电流 $I_1 = 0.27$ A, 实际功率 $P_1 = 0.69$ W。B 点代表小灯泡接在三节干电池串联供电的电路中, 此时小灯泡两端的电压 $U_2 = 1.12$ V、电流 $I_2 = 0.19$ A, 实际功率 $P_2 = 0.21$ W, 此时小灯泡两端的电压远小于额定电压, 因此小灯泡反而不亮, 解释了引入环节的演示实验呈现的反转现象。

实验数据处理过程包含整理数据、描点作图等单点结构的思维过程, 包含提取物理量、获得关系等多点结构的思维过程, 包含分析误差、解释现象等关联结构的思维过程, 实现思维的螺旋上升, 需要运用任务来驱动。

3 结束语

站在培育学科核心素养的角度, 实验教学的课标目标不仅仅有科学探究素养, 且会涵盖四大核心素养, 需要把 SOLO 分类理论与各个核心素养水平相融合。本文尝试在“测量电源的电动势和内阻”实验的教学目标的确定、教学流程的规划和教学策略的选择等方面运用 SOLO 分类理论, 让抽象的课标内容要求变得具体化, 让需达成的素养水平更加符合学生的认知水平, 让教学活动的实施更有利于提升学生的思维水平。

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, 53, 21—23.
- [2] 廖伯琴. 普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)解读[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020, 168—174.
- [3] 王敏过, 赵欢苗. SOLO 分类理论在物理教学设计中的应用[J]. 当代教师教育, 2019, 5(1), 57—62.
- [4] 沈文炳. 基于 SOLO 理论的物理教学设计的思考[J]. 物理教学, 2020, 42(1), 10—13.
- [5] (英)哈利·弗莱切·伍德. 基于问题导向的互动式、启发式与探究式课堂教学法[M]. 刘卓, 等, 译. 北京: 中国青年出版社, 2019, 23—37.

(上接第 37 页)

学习到分子动理论的三条内容。经历“假建模”的过程, 缺乏深层次的思考。运用信息化手段之后, 让学生将抽象的过程具象化, 提升学生的思维品质。学生在学习本节课之前, 已经有建模的思想, 比如儿童时期让孩子绘制简笔画, 孩子一般会抓住事物的主要特征, 这就是初期的建模思想。本节课的学习, 需要学生对于建模的认识从实验层面初步上升到理论层面, 在教师引导下进行建模, 学会建模, 学会对模型进行调整修正。从认知层面上升至元认知的层面, 从而提升课堂效率。

参考文献

- [1] 费志明, 陈懋. 基于科学思维培养的初中物理实验教学探索[J]. 物理教学, 2020, 42(09), 44—46.
- [2] 谢世军. 核心素养理念下初中物理观察建模的教学[J]. 中学物理教学参考, 2020, 49(12), 35.
- [3] 郭宝宏. 信息技术与学科教学的整合研究[J]. 科学咨询(教育科研), 2020(06), 173.
- [4] 王传兵. 高中物理学科和信息化教学整合探讨[J]. 中国新通信, 2019, 21(11), 180.