



学生应对“反例”的策略*

——运用有层次的测评工具测试学生电流概念的学习

张运科

(邯郸市第四中学 河北 邯郸 056000)

谭利华

(广西师范大学科学教育研究所 广西 桂林 541004)

冯士季

(广西师范大学教育学部 广西 桂林 541004)

(收稿日期:2021-09-17)

摘要:分析学生如何应对与自己观念相冲突的理论和实验证据对于理解学生物理概念的学习非常重要.通过设计有层次性的研究工具,让学生经过“陈述模型”“评价理论”和“评价实验”3个阶段的测评.

关键词:迷思概念 认知策略 电流消耗模型 物理测评

《普通高中物理课程标准(2017)》将物理观念作为物理学科核心素养要素,并指出“物理观念的形成和发展需要学生通过物理概念、物理规律等内容的学习及运用才能逐步形成”^[1].关于概念学习的研究,自20世纪80年代随着建构主义思潮的兴起,研究者便开始关注学生前概念向科学概念的转变过程,旨在揭示学生错误概念及其转变的规律,并将其视为科学学习中的核心问题^[2].很多学者认为概念转变的过程就是认知冲突的引发及其解决的过程,引发认知冲突是进行概念转变的重要条件^[3].研究同时表明,即使面对认知冲突,概念转变也并非常常发生^[4].因此,理解学生如何应对与自己观念相冲突的理论和实验证据(即“反例”)对于理解学生的概念学习和相应物理观念的发展非常重要.

本研究设计了一种有层次的测评方法,让学生经过“陈述模型”“评价理论”和“评价实验”3个阶段,对学生心中的电流模型进行测评,归类学生面对与自己观点相矛盾的理论和实验证据时采用的应对策略.测试结果表明,学完初高中电学的学生中仍然

有很大比例持有电流消耗模型.学生在面对与自己模型相矛盾的理论和实验证据时将采用“忽略他人理论”“用证据来反驳别人的理论”“用自己的理论重新解释现象”“对原有理论作外围的改变”“接受他人科学理论”“拒绝他人的理论”等应对策略,其中只有“接受他人科学理论”导致已有理论改变.“评价理论”阶段的修改率远低于“评价实验”阶段,说明实验事实对于学生物理概念的学习与发展非常重要.在测量学生心中原有概念的基础上,通过呈现出与学生原有认知相冲突的实验理论和实验现象来归类学生面对此类“反例”时采用的策略和概念转变情况,以期为我们理解学生物理概念的学习、开展有效教学提供一定启示.

1 指向理解学生概念学习的试题问卷设计

1.1 测试概念的选择

电流的概念贯穿中学物理电学的全部内容,电流概念学习与能量、物质等重要物理观念的发展相

* 2019年度教育部人文社会科学研究青年基金项目“中小学生科技创新素养的评价标准研究”,项目编号:19YJC880021;2020年广西研究生教育创新计划项目“从传承到创造:教育类专业研究生的理论思维能力培育研究”阶段性成果,项目编号:2020007

作者简介:张运科(1984-),男,硕士,主要从事中学物理教学及研究.

通讯作者:冯士季(1984-),男,博士,研究方向为物理教育.

关.在生活中,学生有大量使用电器的经验.许多研究表明,无论哪个学段都有一定比例的学生持有电流被消耗模型,即认为电路中的电流在经过灯泡、电阻等元件后会被部分消耗或全部消耗,且该想法难以转变,影响了学生对物理概念的学习^[5].

因此,选用电流概念进行讨论,有利于发现学生面对“反例”时的应对策略,以及迷思概念难以转变的真正原因.

1.2 试题层次的设计

设计有层次性的问卷,让学生依次经历如下3个阶段:

(1)陈述模型阶段.让学生针对问题陈述自己的想法,了解学生持有的认识情况,挖掘学生电流迷思概念的种类.

(2)评价理论阶段.以同学间交流的形式呈现科学的解释,让学生对同学的观点进行评价,通过学生的评价,了解学生在面对非“权威话语”(如来自课本、教师、专家等)的观点时认知发生的变化和反应,分析学生对待科学理论的方式和特点.

(3)评价实验阶段.通过呈现实验中的关键事实证据,让学生评价提供的实验结果,了解学生面对事实证据时认知发生的变化和反应,分析学生对待实验证据的方式和特点.

通过对学生在上述3个阶段作答的分析,我们可比较不同信息材料对学生认识产生的影响,发现学生在面对其他理论和实验证据的挑战下所采用应对策略的类型和特点.

1.3 情境及应答形式的设计

情境上,除直接测试“电流”概念外,还设计同层次结构的“电阻”和“电源”试题.研究表明,学生心中的电流模型是学生理解电阻和电源的关键^[7-9].电阻和电源试题实际上是为考查学生心中电流模型提供了另一种情境.

应答形式上,第一套卷设置为选择题或简答题,要求学生表明自己所持观点,后两套卷询问学生对讨论和实验的看法,说明是否修改自己的观点及

理由.

根据预测试结果进行调整,问卷最终分为试卷A、试卷B、试卷C 3个部分(分别对应陈述模型、评价理论和评价实验3阶段),每套试卷各3道题目,依次要求学生结合具体题目表达对电流、电阻、电源的认识^[10](限于篇幅,这里只呈现电流部分的试题).

【卷A】(1)如图1所示电路,其中导线A连接电池的正极,电流由导线A通过灯泡后,会()

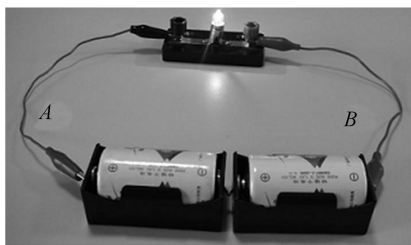


图1 卷A第(1)题插图件 被点亮的灯泡

- 全部被消耗掉,变成光和热
- 部分被消耗掉,变成光和热,剩余的通过导线B回到电池负极
- 通过导线B流向电池负极
- 通过导线A流向电池正极

【卷B】(1)卷A第(1)题小刚选C,他认为在串联电路中,电流处处相等.如图2所示就是一个串联电路,开关闭合后,A,B,C 3处电流相同,即灯泡前后的电流应该一样.由此他推断卷A第(1)题导线A和B中的电流应该相同,即电流没有被消耗.

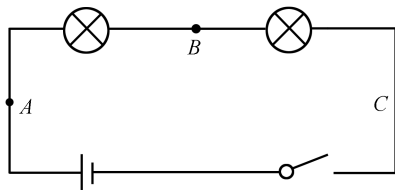


图2 卷B第(1)题插图 串联电路图

- 你同意他的观点吗,理由是什么?
- 现在你是否需要修改卷A第(1)题的答案,如需修改,请在下面写出你的答案.

【卷C】(1)小刚用两个相同规格的电流表测量灯泡两边导线中的电流,如图3所示,发现两个电流表显示的示数都是0.31 A.

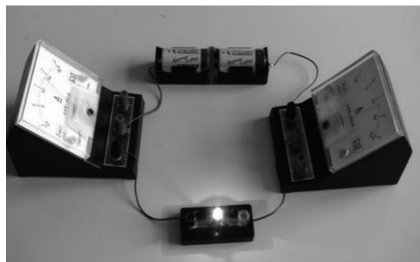


图3 卷C第(1)题插图 电流检测图

1) 看到他的实验结果,你是否修改卷A第(1)题的答案?如需修改,请在下面作答。

2) “既然小灯泡两边的电流一样,那么电流经过灯泡后没有被消耗”,你觉得可以得到这个结论吗?

理由是什么?越详细越好!

2 测试结果分析

测试对象为广西桂林市某所完全中学随机选择的1个初中班(48人)、2个高中班(85人)的全体学生,进行测试时所有学生均已学完相应的电学内容。测试时,学生依次作答试卷A、B、C。

2.1 陈述模型阶段

在陈述模型阶段,通过对学生的回答进行分类,归纳出学生所持的电流模型。表1是正式测试时卷A第(1)题的作答情况。

表1 电流模型分布状况

电流模型	选项类型	高二人数/人	所占比例/%	初三人数/人	所占比例/%
电流消耗模型	A	2	2.4	0	0
	B	76	89.4	36	75
科学模型	C	6	7.1	12	25
其他模型	D	1	1.2	0	0
总计		85	100	48	100

可以发现,两个年级的被试对象持有电流消耗模型的比例均很高,其中高二为91.8%,初三为75%。经非参数的卡方检验,二年级作答该题的正确率存在显著差异($P = 0.000 < 0.01$),初三正确率明显优于高二。由此可以推测,高二被试虽然对电学进行了更深入的学习,但未对他们转变电流消耗模型起显著作用。

2.2 评价理论阶段

当学生作答完试卷A后,开始作答试卷B,即进入评价理论阶段,该阶段要求学生对别人的观点

(科学理论)进行评价,并表明是否修改自己的观点。

2.2.1 评价理论阶段修改情况

表2是两个年级中持有电流消耗模型的被试在评价理论阶段修改率(即修改自己错误想法的人数占持有错误想法总人数的比例),可以发现,当给这些被试提供题干中的科学理论时,两个年级被试在评价理论阶段的修改率基本相近,均都低于20%。是什么原因让这些被试坚信电流被消耗而不同意题干中的科学解释呢?

表2 持有电流消耗模型的比例及其修改率

年级	总人数/人	持有电流消耗模型的比例/%	修改人数/人	修改率/%
初三	48	75.0	6	16.7
高二	85	91.8	12	15.4

2.2.2 持有电流消耗模型的被试如何评价与自己冲突的理论

文献[11]提出,学生在处理不支持已有知识理论的数据时可能采用“忽略反例”“拒绝反例”“将反例排除于理论之外”“暂时持有反例”“重新解释反

例”等多种不同的策略。借鉴其分类框架对学生作答的反应方式进行分类,分类结果如表3所示。表中呈现了持有电流消耗模型的被试在评价他人理论时采取的主要策略及其回答样例与人数分布。下面就各类学生所具有的典型表现进行分析。

表3 持有异类电流模型的学生评价理论阶段作答情况

应对方式	学生回答样例	占比/%	
		初中	高中
忽略他人理论	例1:理由是只要电路中有用电器,电流就会被消耗. 例2:电流不可能没有被消耗	11.1	19.5
用证据来反驳别人的理论	例1:这样的话,电池不就用不完了吗?电灯会发光,说明消耗了一部分电流. 例2:因为电流由导线A通过灯泡并且灯泡亮了,说明灯泡消耗了由导线A传过来的电流,所以不是处处相等	8.3	10.4
用自己的理论重新解释现象	例1:因为灯泡相同于电阻,电阻会阻碍电流的通过,但电流流速快,所以被消耗的电流小. 例2:因为电流在做功时,一部分成为 $W_{有用}$ 使灯泡发亮,而一部分则变成热散发出去,第一盏灯已用了一部分电流,剩下的电流,就留给第二盏用.所以两盏灯电流不同	41.7	29.9
对原有理论作外围的改变	例1:在串联电路中,电流处处相等.开关闭合后,A,B,C3处电流相同,A,B导线中的电流应相同,但电流有被消耗,各处消耗的电流也一样. 例2:电流不可能不被消耗,可能是消耗了由电源继续补充使电路中电流相等,要不然蓄电电池就不会用完了	13.8	23.4
接受他人科学理论	例1:就如他所说,这是一个串联电路,电流处处相等. 例2:电流没有被消耗,是消耗了电能. 例3:因为电流在串联电路中是一个定值	19.4	10.4
拒绝他人的理论	例1:串联电路中,电流不是处处相等,靠近灯泡的一端是电池正极,闭合开关,灯泡会亮点. 例2:因为他分析了串联的性质,但并没有分析电路中的电势. 例3:在卷B图2中,B处电流只经过一个灯泡,而A处经过了两个灯泡	0	3.9

(1)“忽略他人理论”.这类被试忽视了他人的理论,没有去考虑这些不同理论的合理性.他们认为电流经过用电器或电阻后被消耗是必然的事情,根本不必怀疑.

(2)“用证据来反驳别人的理论”.著名的科学哲学家拉卡托斯认为,科学发展的模式不是一个理论去代替另外一个理论,而是各种理论不断的竞争,科学的发展就是竞争力强(即有很好的预测力和解释力)的理论去代替竞争力弱的理论.在这个问题上,这类被试相信自己的理论是正确、完备的,并提出了一些现象作为反驳证据.在他们看来,这些现象用自己的理论可以轻而易举解释清楚,别人的理论却不能,因而能对别人的理论构成严峻的打击.比如他们坚信灯泡亮了就必然消耗电流,如果电流在串

联电路中处处相等就不能说明为何灯泡亮了.

(3)“用自己的理论重新解释现象”.在这个问题上,这类被试比较详细地说明了电流是如何被消耗的,保持了他们原有的朴素理论而不涉及或者提起他人的科学理论.“重新解释现象”与“忽略他人理论”之间的区别是,重新解释者用自己的理论重新解释相关现象或者进一步阐述自己的理论,而不是简单地忽略别人的理论.

(4)“对原有理论作外围的改变”.拉卡托斯指出,各个理论由“硬核”和“保护带”两部分组成.“硬核”是这个理论的核心部分,坚韧和不容反驳.而“保护带”是理论的外围弹性地带,一旦理论遭遇反例,拥护者就会提出种种保护“硬核”免受破坏的辅助性假说,组成“保护带”来应对反例.对于这个

问题,“电流经过用电器或者电阻后被消耗”就是这类被试心中理论的“硬核”.在评价他人科学理论时,这些被试经过思考或者回忆课本上的一些结论性的话语,承认了他人理论中串联电路电流处处相等的部分,但是仍然坚信电流被消耗.

(5)“接受他人科学理论”.在这个问题上,这类被试在看到他人的理论后,改变了自己原来持有的电流消耗的想法,接受了用电器前后电流是相等的说法.当然,这类被试是否真的完全理解、接受了科学结论,仍值得进一步探讨.

(6)“拒绝他人的理论”.这类被试认为他人的理论是错的或者不全面的,并明确指出错误之处,而不会修改自己的理论.在这个问题上,这类被试否认了电流处处相等的说法,或是指出其他的问题.

2.3 评价实验阶段

当学生作答完试卷B后,开始作答试卷C,即进入评价实验阶段.在评价实验阶段,给学生呈现的是一系列针对试卷A的实验结果,让学生根据这些实验事实,来确定自己是否修改试卷A中的原始想法.

事后通过卷C第2)问的追问发现,面对实验证据,持有电流消耗模型学生的应对策略主要有以下类型:

(1)拒绝反例.面对提供的实验证据,这些被试意识到实验事实和自己的想法有冲突了,但他们坚信自己的理论是正确的,他们会寻找各种理由来拒绝这个事实.如有人强调:“灯泡工作需要电,用电就必须消耗电,所以才会出现电池被用完的现象,而两边导线中电流相等的现象,只是说明了电流大小相等.”又或是说:“两个电流表在串联中测得的是电源电流,而不是小灯泡的.”

(2)暂时持有反例,将其搁置起来不作评论.这类被试遇到反例时,他们并不立即对这些反例给出

自己的态度,而是暂时搁置那些反例,再次用自己的理论强调一下自己的看法,保持原有理论不变.当看到呈现的实验事实时,这类被试只是再次强调了一下“电流被消耗”的想法,而没有对实验事实做出什么说明.如强调:“因为小灯泡亮了,就一定会消耗电流.”

(3)重新解释反例.当实验事实呈现时,这类被试并没有意识到这个事实和自己的电流消耗想法有什么冲突.他们觉得电流表两边的电流一样太正常了,因为串联电路中电流处处相等是他们学习到的科学规律,他们承认这个规律,但并不认为这能说明电流没有被消耗.被试没有感到任何认知冲突,也根本没有改变理论的需求.如有人说:“因为电流通过小灯泡时,有一部分电能会转化为光能和热能释放出来,但因为这是一个串联电路,所以在串联电路中电流处处相等,所以灯泡两边的电流表示数相同,电流被消耗了.”或是说:“因为串联电路中,电流处处相等,但不能说明电流没有被消耗.”

(4)理论外围改变.面对提供的实验事实,这类学生承认这个实验事实,并且也意识到了事实和自己的想法有冲突,在有冲突的情况下,他们会把这个事实吸收到自己的理论体系中,使理论更加精致,更加具有解释力.如有的学生说:“因为在串联电路中,各处电流相等,所以就算有消耗,电路中的电流大小也是一样的.”又有人说:“因为电流通过灯泡被消耗了一部分,而电源源源不断供给电流.”他们对理论的外围进行了改变,但“电流经过用电器或者电阻后被消耗”这个理论的“硬核”极难被突破.

2.4 理论和实验两阶段修改率的差别

表4是初三和高二两年级持有电流消耗模型的被试依次经历评价理论和评价实验阶段时的修改率情况.

表4 持有电流消耗模型的被试在两阶段修改率

年级	总人数/人	持电流消耗模型的比例/%	修改率		最终未修改/%
			评价理论阶段/%	评价实验阶段/%	
初三	48	75.0	16.7	53	38.9
高二	85	91.8	15.4	48	45.3

可以发现,当那些经历了理论阶段但仍持有电流消耗模型的被试看到提供的实验事实后,与评价理论阶段相比修改率发生了明显的提高,初三被试的修改率从评价理论阶段的16.7%上升到53%(16/30),而高二的被试则由15.4%上升到48%(31/66).对初三和高二年级在两阶段的修改率进行非参数的卡方检验,sig值分别为0.007和0.000,远小于0.05,可见两个年级被试在评价理论阶段和评价实验阶段的修改率有显著差别.

3 思考与讨论

就本次测试而言,学习完初中和高中电学的学生中仍然有很大比例的学生持有电流消耗模型.如果仅仅告诉他们串联电路中电流处处相等,电流经过用电器后没有被消耗,学生大多不会放弃自己的原始想法;如果再给呈现一些实验事实,则他们的修改率会有明显提高.由此可见,在物理教学中,实验事实对于学生理解物理概念具有很大的作用.面对学生难以理解的问题,只采用讲授法,其效率可能很低.

电流消耗的想法之所以难以转变,是因为学生自己构建了一套符合逻辑和经验的电学概念系统:电池是提供恒定电流的装置;电路闭合时,电流像水流一样从电池的正/负极流出来,沿着导线逐步覆盖电路;电流到达灯泡后,灯泡消耗掉部分的或者全部的电流从而发光发热,这样回到电池负极的电流就少了;故电池中的电流会被慢慢消耗掉,所以平时电池用久了总会用完,需要不时更换.在这套系统中,电流的物质观念和能量观念是混淆的.建构正确电流模型的关键是要让学生理解灯泡发光发热消耗掉的不是由电荷形成的电流,而是电荷携带的能量(电能).

学生在面对与自己原有理论相冲突的理论和事实时,采用的策略是多种多样的,体现了学生概念发展过程和认知特点的多样性.对于学生科学概念的形成,机械的讲述是无效的,通过实验事实与证据的呈现更有利于学生概念学习和科学思维的发展.在教学中,教师应该关注学生思维的过程,尽管拒绝了

所谓“正确”的理论和实验事实,但部分学生的思维方式和应对策略一定程度上“复演”了科学史中某些理论的发展.正如有的学者所言,对于科学教育而言,教育重演论具有特殊的意义^[12].

人类认识的初始水平往往就是学生认识的起点水平,某些学生的“错误认识”或许正是科学史上认识事物曲折过程的反映,突破过去便能进一步把握概念的本质,使其对上位的物理观念有更深刻的理解.而在这个通过基于实验证据进行反思、辩论的过程中,学生的科学思维也得到了一定发展,这是我们每位教师所乐见的.

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[S].北京:人民教育出版社,2020
- 2 吴娴,罗星凯,辛涛.概念转变理论及其发展评述[J].心理科学进展,2008,16(6):880~886
- 3 Stella Vosniadou. International Handbook of Research on Conceptual Change [M]. ROUTLEDGE/TAYLOR & FRANCIS GROUP,2013
- 4 P. H. Scott, H. M. Asoko, R. H. Driver, 等. “为概念转变而教”策略综述[J]. 物理教师,2003,24(5):1~3
- 5 陈启明.发展纸笔测验以探究高一学生对直流电路的迷思模型[J]. 科学教育,1992:21~72
- 6 弗·卡约里.物理学史(第2版)[M].戴念祖,译.北京:中国人民大学出版社,2010.121~266
- 7 Johsua, S., Dupin, J. J.. Taking into account student conceptions in instructional strategy: An example in physics [J]. Cognition and Instruction, 4, 117~135
- 8 唐安琪,黄云,袁海泉.基于“类比脚手架模型”的电流概念教学研究[J].物理教师,2018,39(9):30~32
- 9 翟冰茹.基于概念转变策略的电流教学实践研究[D].桂林:广西师范大学,2015.50~52
- 10 张运科.中学生持有电流消耗模型之成因及其转变的实证研究[D].桂林:广西师范大学,2011.51~58
- 11 Chinn, C. A. & Brewer, W. F.. The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction [J]. Review of Educational Research, 1993, (63):4~11
- 12 张红霞,小学科学课程与教学(第2版)[M].北京:高等教育出版社,2010.102~105