

反直觉物理问题的内涵及其形成原因

付朝林 李太华 许西伶

(西南大学教师教育学院 重庆 400715)

朱志新

(四川省冕宁中学 四川 凉山 615000)

(收稿日期:2023-07-03)

摘要:反直觉物理问题是一类与认知主体直觉思维相违背的物理问题,常常给学习者带来认知的困难.本文结合文献和实例,对反直觉物理问题的内涵作出诠释,并梳理了反直觉物理问题的形成原因.其中,物理学中的加法问题属于典型的反直觉物理问题,正确使用加法需要充分考虑物理量的单位、应用场域和规则.

关键词:反直觉;直觉思维;反直觉物理问题;加法的应用

反直觉物理问题普遍存在于各个学段的物理课程中,并常常给学习者带来困惑,从而阻碍概念的理解和问题的解决.在教学中,运用这类问题可以很好地引发认知冲突,激发学生对课程内容的兴趣和好奇心^[1].同时,由于反直觉物理问题往往和学生的信念、经验和已有知识结构相违背,学生往往又会表现出惊讶和困惑^[2].因此,反直觉物理问题的存在既有积极影响,也有消极影响,有必要对其内涵作出诠释,并分析其形成的原因,使之成为教学研究的对象,从而提升教学的质量.

1 反直觉物理问题的内涵

1.1 直觉思维与反直觉物理问题

直觉,即直觉思维.在一般性口语交流中,直觉一词有“直觉思维”和“直觉思维的结果”两种含义,本文所指“直觉”均是指直觉思维.在思维的分类中,依据思维的过程是否基于理性的推理和判断,可将思维分为逻辑思维和直觉思维,前者的基本思维形式是概念、判断、推理,后者则刚好相反,它是未经逻辑推理的感性认识,具有快速性、直接性的特点^[3].此外,不同于逻辑思维的分析性和建构性,直觉思维的知识基础是整体的、模块化的,是认知主体对问题的突然的顿悟和理解,因此往往具有很大的不成熟性、模糊性和或然性^[4].由此可见,直觉思维具有很强的非理性,并试图直达事物的本质,缺乏有

效的推理过程.直觉思维虽然不同于逻辑思维包含有严密的推理,但存在一定的知识基础,因此可以包含有简单的推理过程.然而,这并不意味着直觉思维的结果总是消极的.有时,直觉可以帮助人们快速做出决策,并直达事物的本质,得到期望的结果.类似地,有观点认为,直觉使人有可能经过长期的认识、实践活动积聚起奇特的创造性,使人对世界的认识有可能出现创造性的飞跃和升华^[5].

顾名思义,“反直觉的”是指与直觉相违背的,反直觉现象是指与某一认知主体直觉相违背的现象.现象或问题本身是否是反直觉的,既取决于现象本身,也取决于认知主体自身的知识经验.例如,在人的视觉中,太阳和月亮几乎具有相同的大小,因此,对于一个没有受过科学教育的认知主体而言,“太阳体积大约是月亮体积的6 500万倍”便极有可能是反直觉的,相反,对于一个受过良好科学教育的人而言,则是符合直觉的.正因为如此,有研究者直接将“反直觉的”(counterintuitive)定义为“对先前掌握的知识或经验的违反”^[6].采用这种定义的优点是可以大大简化问题的讨论,缺点是忽略了直觉本身,从而扩大了概念的范畴.因而,在教学中,一个恰当的解释是,当学生对某个问题或现象的结果有一个主要的直觉指向,并且该指向与最终的科学结果相违背时,就说该问题是反直觉的.

综上所述,反直觉现象是相对于人的直觉而言

的^[7],是指直觉思维的结果与正确的结果不相符时出现的一类现象.因此,凡是与直觉相违背的一系列现象都可以称之为反直觉现象.在认知活动中,反直觉现象的产生主要有3方面的原因.

第一,直觉思维由于不受固定的逻辑约束,往往表现出非理性^[8],这种非理性容易使认知主体错误地把握认知对象,此时认知对象相对于认知主体而言就具有反直觉性.

第二,由于认知主体对认知对象的简单推理,没有深入考虑事物的本质,从而使得认知的结果与知识或经验相违背,此时认知对象对认知主体而言,同样表现出反直觉性.例如:用刀将地球仪沿赤道切开,可以分别得到北半球和南半球,这符合绝大多数物理初学者的经验.因此,可以类比推知,将条形磁铁沿中间切开,可以分别得到南极磁铁和北极磁铁.类似的认知过程虽然包含有推理的思维形式,但推理仅仅是停留在表面的粗浅推理,没有深入分析问题的本质.

第三,由于“迷思概念”的存在,新概念相对于原有的概念直接表现出反直觉性.“迷思概念”是一个人或一群人依据自身经验所形成的一种自认为合理的概念,它是基于日常经验对事物或现象做出的解释,这种解释往往与科学概念相悖^[9].在物理学习中,由于“迷思概念”往往是学习者长期的知识经验累积的结果,当新的概念与其相违背时,新的概念就表现出反直觉性.例如:在一些初学者的现实经验中,当运动的物体缺乏一个持续的动力时,其运动就会停止,便形成了“运动需要力的维持”的“迷思概念”,且这一“迷思概念”得到了大量的生活经验的印证.这时,“物体的运动不需要力的维持”这一概念对于学习者来说,就是反直觉的.

反直觉物理现象在概念学习和问题解决中均有可能发生,二者分别对应于反直觉物理概念和反直觉物理问题,若将概念理解看作问题解决的前提,把概念理解归属到问题解决的过程中,则可以统称为反直觉物理问题. Balta(2016)将反直觉物理问题定义为正确的问题解决方案偏离学生的期望或预测的一类物理问题^[1].也有研究者认为(Everett & Pennathur, 2007),反直觉问题是指一类似乎拥有显而易见的答

案,但答案却不正确,有违常识的一类问题^[10].此外, Campanario(1998)在研究学生解决牛顿第二定律、超重和向心力的问题中指出,反直觉问题具有以下特征:正确答案与学生的预期不相符;学生往往会犯一些典型的错误来获得问题的答案^[11].可见,反直觉物理问题是认知主体依靠直觉思维,获得与其自身知识经验相违背的答案的一类物理问题.因此,反直觉物理问题是对于一定认知主体而言的,物理问题是否是反直觉的,依赖于认知主体的知识经验和问题解决时的心理状态.

1.2 物理学悖论的反直觉性

在物理学习中,物理学悖论往往具有反直觉性,这类问题对大多数物理初学者而言,往往是反直觉的.悖论的反直觉性一般是由于所知与所见相违背引起的,例如:在初中物理实验教学中,电动机串联于电路中,初学者往往会直接使用欧姆定律计算通过电动机的电流,但实验测量的结果却和计算结果相去甚远,此时,所见与所知相违背,表现出反直觉性.这一反直觉现象诞生的原因重点不在于学习者缺乏知识的广度,而在于缺乏知识的深度,具体来说,由于学习者没有真正理解欧姆定律的含义,缺乏对欧姆定律适用范围的理解,将电动机和纯电阻进行简单对比,盲目进行数学演算,进而导致理论和实验的不一致.此外,悖论本身的特点也是其表现出反直觉的原因.在物理学中,有的悖论是基于看似严谨的“逻辑推理”而形成的,同一个命题或现象往往会得到两个截然相反的结论,如著名的“飞矢不动”.在这一悖论中,得到的结论是“运动的箭是静止的”而这与学习者的知识、经验是相违背的,从而表现出反直觉性.在教学实践中,由于悖论容易引起学生认知的冲突,恰当利用可以促进学生对概念的深度理解^[12].

2 反直觉物理问题的形成原因

2.1 对物理概念语义理解的不深入

物理教材往往会将重要的概念和规律以文字或公式的形式呈现给学习者,以帮助学习者更好地掌握物理概念.但是,部分学习者在阅读教材时,由于阅读障碍或缺乏足够的逻辑推理能力,对文字的理解

解仅仅停留在表面,造成对概念的错误理解,从而在问题解决过程中呈现出反直觉性.例如,在浮力一节的教学,教材将浮力的大小概括为“浮力的大小等于物体排开液体所受的重力”.但部分学习者没有理解“排开液体”和“所受重力”的真正含义,往往会犯三类错误.第一类:认为排开液体的体积必须小于液体的体积,当被问及重10 N的水是否可以产生15 N的浮力时,他们的回答是“否”,理由是“既然水只有10 N,那被排开的水就不会大于10 N”.第二类:没有理解重力对浮力产生的真正意义,认为失重条件下也会产生浮力.当被问及悬浮于水中的小球随水桶自由下落时是否受到浮力,他们的回答是“受到浮力”,理由是“小球排开了一部分水”.第三类:没有意识到浮力的产生是由于压强差,进而盲目地使用公式 $F = \rho g V$ 进行计算.典型的问题是,当一块 1 cm^3 的方形橡皮泥紧贴装满水的水桶底部时,橡皮泥是否受到浮力,浮力为多大?他们的回答是“受到0.01 N的浮力”,理由是“橡皮泥排开了 1 cm^3 的水”.另一个典型的教学现象是,在高中数学学习完矢量后,由于教材中提及“同一深度,液体向各个方向压强相等”“电流的方向”等词汇,部分学生由于忽视物理量被视为矢量需要满足平行四边形法则,仅从字面将这里的“方向”理解为矢量中的方向,认为压强和电流也是矢量.

2.2 新的概念和已有知识经验相违背

感性认识往往和生活经验直接相关,并由此产生基于生活经验的直觉思维模式.但是,在物理学习过程中,由于已有的知识和经验与新的概念发生冲突,直觉思维对正确认识问题存在阻碍,从而造成反直觉物理现象的发生.例如:在生活经验中,往往是家中电器越多,功率越大,保险丝越容易熔断.当部分学习者被问及“电路中,连接的小灯泡越多,电路的功率是否越大”时,他们的回答是“是”,理由是“这和生活经验一致”.此外,由于学习进程的不断推进,新旧知识的“不一致”而造成反直觉现象的诞生.例如:在初中学习完“光沿直线传播”后,当学习者第一次接触光的衍射时,发现光可以绕过障碍物而传播,因而觉得不可思议.

2.3 没有深入问题的本质 对问题进行简单推理

在物理问题解决过程中,除了概念理解的偏差以外,反直觉现象的诞生多是因为学习者的简单推理造成的.例如:因为函数 $y = \frac{x}{k} (k > 0)$ 中, y 随 x 增大而增大,因此学习者认为欧姆定律 $(R = \frac{U}{I})$ 中 R 随 U 的增大而增大,将物理关系和数学关系进行等价;因为安培力是洛伦兹力的宏观效应,而洛伦兹力不做功,学习者往往忽视不做功的必要条件,所以认为安培力也不做功;如图1所示,将货物置于圆木之上运输时,若圆木向前滚动1 m,则货物向前移动多少米?部分学习者认为,因为货物随圆木滚动,所以货物也向前运动1 m.这一错误的根源在于,忽视了圆木边缘的点速度并不相同,或是错误地将圆木的运动和传送带的运动等价.

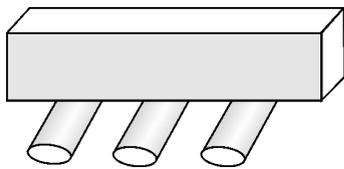


图1 使用圆木运输货物

还有如图2所示,跨过定滑轮(忽略摩擦),人利用绳子使用400 N的力拉动一货物以 10 m/s^2 的加速度向上运动,现将人更换为一个40 kg的箱子,使其系于绳子上拉动货物自由运动,货物的加速度为多少?

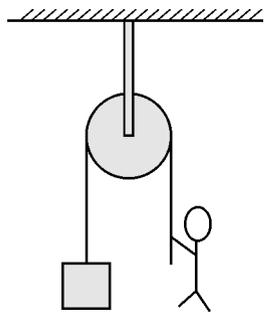


图2 利用滑轮拉动货物

在这一问题中,部分学习者认为,因为箱子重400 N,所以它拉动绳子的力也是400 N,因此加速度仍然为 10 m/s^2 .这一错误的根源在于,忽视了箱子本身也在做加速度运动,将箱子所受重力和人的拉力进行简单类比.

3 物理学中加法应用的演化

反直觉物理问题可作为物理教学的突破口,促进学生的概念理解与问题解决.其中,物理学中的加法问题属于典型的反直觉物理问题.加法是四则运算的一种,表示数或量的和,如“ $3+4=7$ ”.当加入单位时,单位本身并不参与相加,如“3个苹果+4个苹果=7个苹果”.此外,带有单位的数相加一般还需要保持单位的一致.在生活中,当单位不一致时,有时勉强可以说明它的意义,例如“3个苹果加4个香蕉”,其结果是“7个水果”,这种单位不一致的情况往往使得加法运算后单位的扩展.但是,在物理学中,当引入单位的概念后,物理量的相加则必须保持单位的一致,不同单位的物理量相加后,很难说明其物理意义,如“3 kg加 4 m/s^2 ”,因此,这种单位不一致的相加是错误的或没有意义的.所以,当单位引入后,保持单位的一致不仅是物理量相加的原则,同时也是判断一个物理公式的推导或演算是否正确的重要方法.

物理学中,加法的应用除了需要保持单位的一致以外,还要考虑其适用的场域.例如,“3 kg的物质加4 kg的物质”,毫无疑问可以得到“7 kg的物质”.但是“3 Ω 的电阻加4 Ω 的电阻”并不一定得到7 Ω 的电阻,因为这里的“加”是“并接”还是“串接”存在歧义,当电阻置于电路中时,就有“并联”和“串联”两种方式,不同的方式得到的阻值并不相同,其根本在于电阻在电路中的阻值取决于其在电路中的连接方式.类似的,如图3所示,“电路中只有一个3 W的灯泡时(忽略电源内阻),电路功率为3 W,当接入两个3 W的灯泡时,其功率不一定是“ $3\text{ W}+3\text{ W}=6\text{ W}$ ”.在教学中,学习者由于受到“加法作为数或量的和”的影响,往往会在这类物理学场景中犯错.

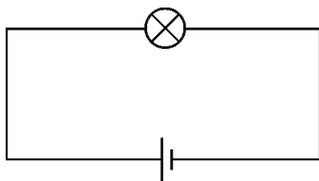


图3 电路中接入小灯泡

当引入矢量的概念后,加法的意义再一次扩展.在矢量的加法运算中,不仅需要考虑其大小,还需要

考虑其方向.对于学习者而言,一种自然的方法是,将矢量的大小和方向分开计算,大小的计算基于数或量的和,但方向的相加则存在困难,例如,“向北和向南相加”,直观上,“北”和“南”是两个完全相反的方向,类似于数学中的“1”和“-1”,结果应该是“没有方向或任何方向”,但事实却并非如此,除非这两个矢量大小刚好相等.因此,在高中物理中,矢量的相加引入了“三角形法则和平行四边形法则”,有时,在平面上难以刻画矢量的大小和方向时,往往又借助坐标系转化为代数进行运算.因此,正确使用加法需要充分考虑物理量的单位、应用场域和规则.

参考文献

- [1] Balta N, MOĞOL S. Counterintuitive physics questions and their effect on student achievement[J]. *Pegem Eğitim ve Öğretim Dergisi*, 2016, 6(1): 133-146.
- [2] Balta N, Eryılmaz A. Counterintuitive dynamics test[J]. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2017, 15(3): 411-431.
- [3] 张义生. 论直觉思维的思维形式——兼论直觉思维与逻辑思维的区别[J]. *南京社会科学*, 1998(12): 31-33.
- [4] 成龙. 哲学三大方法之比较[J]. *宝鸡文理学院学报(社会科学版)*, 2000(1): 23-28.
- [5] 高岸起. 论直觉在认识中的作用[J]. *科学技术与辩证法*, 2001(4): 29-31.
- [6] Russell, Y. I, Gobet, F. What is Counterintuitive? Religious Cognition and Natural Expectation[J]. *Rev. Phil. Psych*, 2013(4): 715-749.
- [7] 邵舒竹. 数学课程内容中反直觉现象举隅[J]. *课程·教材·教法*, 2020, 40(8): 72-77.
- [8] 李雁冰, 刁彭成. 科学教育中“迷思概念”初探[J]. *全球教育展望*, 2006, 35(5): 65-68.
- [9] 刘国建. 论直觉和灵感思维的自组织机制[J]. *科学技术与辩证法*, 2001(5): 25-27.
- [10] Everett L, Pennathur A. A design process for conceptually based, counterintuitive problems[C]. *Annual Conference & Exposition*, 2007: 12. 37. 1-12. 37. 15.
- [11] Campanario J M. Using counterintuitive problems in teaching Physics[J]. *The Physics Teacher*, 1998, 36(7): 439-441.
- [12] 孟拥军. 高中物理“导致悖论”教学法的设计和目標[J]. *物理教师*, 2019, 40(11): 30-33.