

多重表征促进概念理解的实施策略 ——以《机械波的形成和传播》为例

周文质, 梅孝安

湖南理工学院, 湖南 岳阳 414006

摘要: 物理学习的实质就是多重表征建立、联系并转换的过程。多重表征下的教与学有着多样性、互补性、层次性和转换性的特点。教师应该按照多感官联动导入增强直观体验、多模态表征深化认知结构、情境化表征连接理论与实际的三大原则合理安排表征形式降低学习负荷。

关键词: 概念理解, 中学物理教学, 多重表征

1 表征和多重表征

现代认知心理学认为, 表征或表征系统是人们在心理活动中呈现和记录信息的方式, 又称心理表征。它反映了外部世界在头脑中的信息存储。外部客体在心理活动中可以以具体形象、表象、图形、词语或概念等形式呈现。表征既是外部事物的反映, 也是内部心理加工的对象。对于学习和教学来说, 表征不断被建立、重构、修正、复述、联系的过程就是物理知识结构建立的过程。

从动态视角来看, 物理表征展现出表征形式间的相互转换, 这种转换是将未知结构转化为已知结构, 或是实现内在表征与外在表征之间的切换。而从静态结构的角度观察, 物理表征则体现为图像图表、语言文字、实验操作、公式符号等多种形式。正所谓万变不离其宗, 高度抽象凝练的物理原型往往需要借助多元表征的手段来实现。为了便于观察教学功能, 本文所描述的表征特指外部表征。

2 物理多重表征的特点

物理多重表征教学能够促进学习者的表征能力发展、增强学习兴趣并适用不同的学习风格。笔者认为物理多元表征学习有着如下特点:

多样性: 对于同一个研究问题, 学生可能

以自己擅长的方式进行多样化的表征, 这种个人经验往往还夹杂着对于某个特例的记忆。例如: 对于追及相遇问题, 部分学习者会擅长用示意图描述运动过程、部分学习者会优先使用 $v-t$ 图像进行分析和特殊点预测、部分学习者会偏向于建立方程求解。但是对于不同物理情境各种表征建立的负荷是不同的。因此, 表征也会有高度个体化差异。表现在表征的质和量等方面。多元表征的呈现有可能发挥学习者原有表征优势, 也可能弥补学习者的表征能力不足, 从而加深物理理解^[1]。

互补性: 同一物理命题的不同表征形式相互补充、同构等价的。数学公式可以精确描述物理关系, 而图形图表则能直观展示变化趋势, 数形结合有助于深化理解。除了高度简洁精准的物理文字表述, 还有不少形象实用的小口诀: 动者恒动, 静者恒静, 除非外力来捣乱。(牛顿第一定律) 入射反射角相等, 法线中间来牵线。(光的反射定理) 这些口诀通过押韵、比喻和简洁的语言, 帮助学生快速记忆知识, 但是理解并应用物理规律还要与数理运算进一步相结合^[2]。

层次性: 物理表征可以从具体到抽象, 从现象到本质, 形成多层次、全方位的理解。以圆周运动为例, 在初学时往往会首先展示大量生活实例帮助学生建立对圆周运动的直观印

象。随后用图像描述圆周运动,并结合图像构建一系列概念。这一步旨在将具体现象半抽象为几何模型,帮助学生理解运动的方向和轨迹。接着用数学公式和符号精准描述圆周运动的规律,帮助学生从定性理解过渡到定量计算。在后续学习中,还可以将圆周运动迁移到更复杂的物理情境或理论中,包括对非匀速圆周运动、离心运动的讨论^[3]。

所以物理教学的表征设计一般从鲜明的具体形象到半抽象化的几何图形,过渡至数学符号和物理模型,最后进阶辐射到更广的应用范围。每一层次都建立在上一层次的基础上,逐步深化学生对同一核心概念的理解。这种层次性不仅帮助学生发展并完善了知识结构,还培养了他们的抽象思维和问题解决能力。

转换性:多重表征不仅仅代表多种形式的罗列和进阶,更强调不同表征形式之间的灵活转换。例如通过实验观察弹簧振子的运动,将其转化为简谐运动的数学模型是为从具体到抽象的转化。反之,基于原有文字题目表述想象并还原物理运动情形是化抽象为具体的逆运算。在将物理公式转化为图形表示时,可能对斜率、截距、面积等几何含义理解有误导致信息丢失或误解。

3 多重表征融入物理课堂的实施策略

《机械波的形成和传播》是波动的起始章节,围绕“源于振带于波动”的物理观念展开。教材主要分为三部分展开:(1)通过大量实例展示机械波的普遍性,理解波源和介质的概念、归纳波的形成条件。(2)通过人波模拟活动建立“质点振动连续带动”的传播模型,理解质点振而不动的特征。通过观察起振方向和传播方向的示意图,预测特定时刻波的传播图像。(3)用横波和纵波的区别和联系深度理解机械波传递能量和运动形式的物理本质。

根据上述分析,综合学习者已有知识基础和思维特征,笔者认为可能存在如下学习障碍:学生已学习单个质点的机械振动,但对“多质

点协同运动”缺乏经验,容易形成“波是质点的整体移动”的典型迷思概念。生活中接触过水波、声波等现象,但对传播机理认识模糊且无法区别机械波和电磁波的区别。空间想象力不足,难以建立依次带动传播过程的动态模型。

对于生活中的机械波究竟是“单一”的横波或者纵波有着机械化的简化倾向。

本节内容思维难度不大,但是概念多、生活经验丰富、情境杂,需要精简素材、选择合适的核心现象或者场景进行表征重组。一方面应该避免生活经验的负迁移干扰,另一方面应该围绕核心场景精心设计多形式、可重复的多重表征。呈现互补的物理素材、适当放慢脚步,在学生头脑中建立动态传播的机理草图和相位示意图^[4]。

3.1 以形象表征为概念建立的着手点

【实验演示】抖动长绳生成绳波,观察波形传播。通过展示彩带形成波浪的画面,引导学生观察并思考:彩带是如何运动的?这种运动包含振动吗?

要求学生主动观察并描述波的动态图景,体会波动的往复性,直观上搭建振动和波动的联系。

【提问】你们在生活中还见过哪些波?

将“波”这一上位概念分为必修三已经学过的电磁波、今天即将登场的机械波和引力波。

【引出课题】今天我们就来学习机械波的形成与传播。

设计意图:避免素材的罗列和堆砌,只精选了绳波作为演示实验。借助提问要求学生回忆波的普遍性,了解学生的已有认识水平并及时分化出机械波的概念。为后续电磁波传播不需要介质而机械波传播需要介质埋下伏笔。

3.2 以具身表征为概念建立的关键点

【演示 1】播放开课前所录制的脉冲绳波视频,让学生在一段大幅度快速上下各抖动一次。

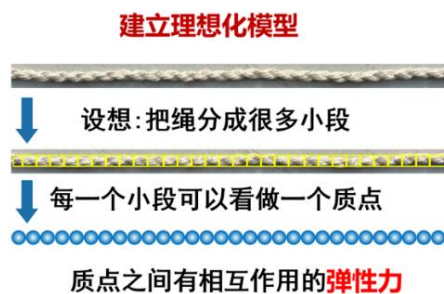
通过慢放让全体学生观察绳子上每个点是否前进？

3.2.1 学生头脑中初步构建起依次带动的动态传播画面，通过现象击破“随波逐流”的疑点。

3.2.2 借助手抖动端和绳子的关系介绍波源和弹性介质：波源是产生振动的源头，而弹性介质是波动传播的载体。声波的波源则是人的声带，介质是空气。

3.2.3 追问：如果绳子在中途截断后续还能传播吗？如果没有某一点的能量输入波动可能发生吗？学生不难想象绳子截断即缺少弹性介质和作用力后波形无法继续传播。顺势归纳出机械波的产生条件：波源和弹性介质缺一不可。

【演示 2】让学生握住绳子并开始连续上



设计意图：“绳波”这一典型场景分别以视频播放和学生操作的表征形式再次出现。旨在首先通过慢放观察归纳机械波的产生条件，同时击破“随波逐流”的错误认识。再次邀请学生操作演示时则训练重点不再仅限于表面的观察和感知上，更希望引导学生通过半模型化的图像表征转化逐渐关注机械波传播的物理规律。

3.3 以图像表征为概念建立的固着点

【平移法】

3.3.1 利用受迫振动特性：首先引导学生复习波的传播特性即波形在传播过程中保持不变，只是沿着传播方向进行平移。请学生在 $\frac{T}{4}$ 图像中标出波的传播方向和各个点的振动方向。

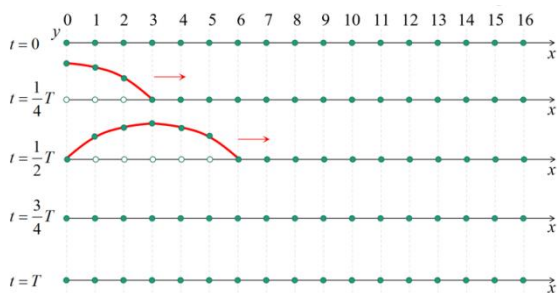
3.3.2 预测传播距离和时间：然后任取一点距离波波源的长度为波的传播距离，通过距离和

下振动，观察带有标记点的运动轨迹。请所有学生观察并尝试解释：振动和波动有什么关系呢？

学生再次将目光聚焦于单个标记点，发现单个点仅围绕平衡位置振动，由此发现振动和波动在研究对象上的区别。比喻：每一个质点在自己的平衡位置依次振动就组成了波动的群像。

从能量传播来看，波源就是能量的输入端最先开始起振的点。如果不计损失，

【建立模型】学生首先将研究对象整个绳子分解成无数小段，每一个极小段可以看成是质点。而且各个质点并不是孤立存在，可以通过绳子弹力发生作用。



波速就可以预测任意位置的起振时间。如波速为 v ，距离 x 处起振时间在计时起点后 $\frac{x}{v}$ s

(1) 平移波形：用透明卡纸提前做好一个周期内的波形图沿着传播方向平移，然后请学生根据时间间隔，计算波的传播距离，并沿着传播方向平移波形。

4 以实例表征为概念分化的关键点

【演示 3】请学生沿着弹簧方向推拉大号弹簧，演示纵波的形成。然后借助绳波和弹簧波两个典型实例来分析横波和纵波在波形和方向上的区别。

(1) 迁移波的传播机制：弹簧质点有发生移动吗？那么振动是通过什么方式传播的呢？学生类比绳波传播机制，在老师帮助下解释每个弹簧圈位置的超前会带来起振时间的落后。弹簧一段的左右振动会导致弹簧内部各

个小圈相对位置的改变，从而影响弹力传递振动形式。

（纵波）的波形特征，并解释两种不同给波形的形成原因？

（2）请分别描述绳波（横波）和弹簧波

	横波/峰谷波	纵波/疏密波
波形特征	波峰和波谷的交替出现。绳子在不同位置上下振动：波峰代表向上振动的最大位置，波谷代表向下振动的最大位置。	弹簧出现压缩和拉伸的交替区域。密集区域代表弹簧被压缩，稀疏区域代表弹簧被拉伸。
形成原因	在绳上形成的波的传播方向和振动方向相互垂直。	质点振动方向与波的传播方向在同一直线上。
传播介质	横波需要介质的切变弹性来传播，仅限于在固体中传播。	纵波则依赖于介质的压缩和稀疏性质，则可以在固体、液体和气体中传播。

（3）声波是纵波吗？你要如何证明呢？

声波振动方向与传播方向一致，可通过压缩空气实验验证。

设计意图：通过先综合后分化的方式对比建立横波和纵波的异同，借助表格工具引导学生由典型的物理图景逐步追溯背后的成因。注意帮助初学者区别传播方向和振动方向，并且用峰谷波和疏密波的别称反复强化两者的特征。

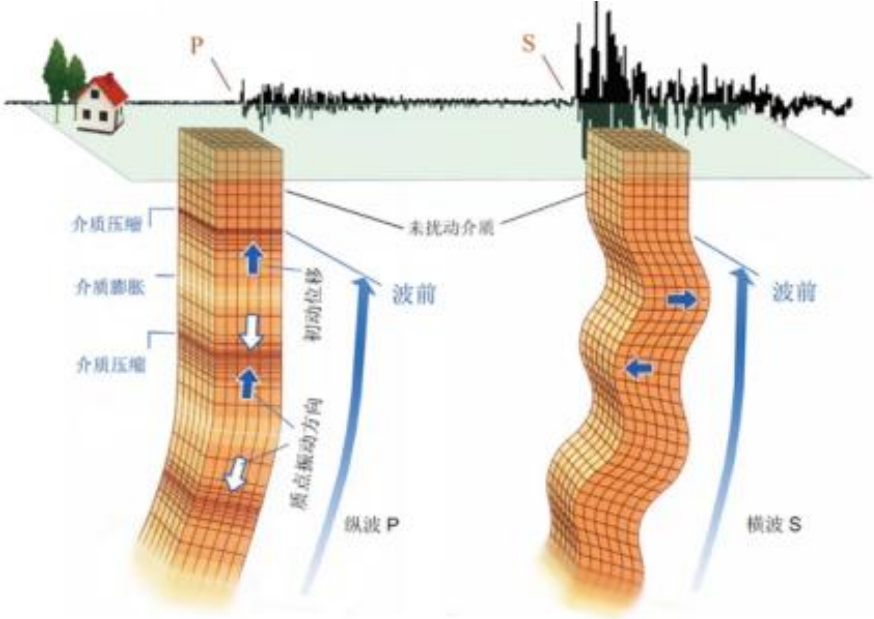
【跨学科情景分析】地震波的复合性与预警原理

（1）展示地震图片并提问：地震波到底是什么类型的波？为什么纵波先到？

生借助原有地理知识和今天所学物理知识可知：地震并不是单纯的横波或者纵波，而是和生活中大部分的波一样既有横波的成分又有纵波的成分。纵波是挤压传播，在固体中速度更快。横波是拉扯传播，速度慢。

（2）地震预警是利用什么物理原理设计的呢？

阅读材料后总结：检测到纵波后，计算横波到达时间，利用时间差逃生。



（4）机械波传播的不是质点那是什么呢？请谈谈你的理解。

机械波能传递运动形式、信息和能量。首先，其他质点会重复波源处的振动信息，即振动幅度和方向都一致。同时，波在传播振动形式的过程中，同时将能量由近及远传递，但介质本身并不随波传播。机械波还可以携带和传递信息：声波可以传递声音信息，光波可以传

递图像信息等。

4.1 以多重表征为概念整合的进阶点

以师生问答的形式，板书总结机械波的定义、形成条件、特点、分类等。并引导学生对比振动和波动的区别和联系，自主建立个性化的表征树。

表 1 多重表征分析表

教学环节	表征方式	活动内容	学习目标
导入	视觉、动觉表征	丝带波动	感受波的普遍性
绳波演示	视频播放、实物操作	分步演示脉冲波和简谐横波	归纳机械波的形成条件并初步感知传播情境
波形图分析	图像表征	借助两种方法预测不同时刻的波形图	深入分析机械波传播过程
弹簧波演示	实物操作、语言表征	弹簧疏密变化和质点运动轨迹	区别横波和纵波
地震波分析	视频、言语讨论	地震波传播和预警案例	分析复合波的实际应用

经过上述分析和实践，笔者认为多重表征融入物理概念课堂应该遵循如下原则：（1）多感官联动导入增强直观体验。部分物理概念较为抽象，导入时尽量调动多感官参与，将抽象概念转化为具体经验，降低理解门槛。

（2）多模态表征深化认知结构。同一情境素材可以使用语言描述、图像分析、实物操作、角色扮演等多种表征形式反复分析。帮助学生从不同角度构建知识网络，避免单一表征的局限性。例如本节内容以“绳波”为关键情境串联了三组问题的分析，既能保持思维的连贯性还能不断抽象化直指物理原型。

（3）情境化表征连接理论与实际
在概念学习中适当融入生活案例、社会热

点构建真实情境，可以有效促进知识迁移、发展学生的问题表征和解决能力。如上文地震预警分析既是一次跨学科的科学素养教育也是关于自救的生命安全教育。让学生处处感受到物理的有趣、有用^[5]。

结语

多重表征的教与学能提升学生对于概念理解的深度与广度，增强学习者学习动机与参与度，促进高阶思维发展。同时还有着支持个性化学习与差异化教学的独特价值，在教学中培养学生多重表征能力是一件持续而有意义的事情。希望更多物理教师在实际课堂中加强对于多重表征教学的实践和理论探索。

参考文献

[1] 张正严, 唐欣, 钱慧玲, 等. 物理概念学习的三重表征理论建构[J]. 物理教学, 2023, 45(07): 2-6+56.
[2] 孔德昊, 冯利. 从观念的视角谈物理观念的内涵、表征及生成[J]. 物理教师, 2023, 44(04): 31-34.

- [3]陆永华.高中生物理问题表征的差异分析及教学策略[J].物理教师,2018,39(11):31-35.
- [4]段玉文.探析物理语言表征的形式及其特点[J].物理教学,2015,37(12):12-14.
- [5]韦松英,夏向荣,朱海英.基于核心素养的教学设计——以"波的形成"教学为例[J].物理教学,2020,42(3):5.

作者简介:周文质(1996-),女,汉族,研究生学历,研究方向中学物理教学

通讯作者:梅孝安(1973-),男,副教授,硕士生导师,主要从事物理实验与物理教学法研究。