

ETA 物理教学法在大学物理实验教学中的应用 ——以弦振动与驻波实验教学为例

姜永静 武晓霞 郑月峰 那日苏

(内蒙古师范大学物理与电子信息学院, 内蒙古 呼和浩特 010022)

摘要 ETA 物理认知模型是关于物理认知规律的研究总结。根据 ETA 物理认知模型, 完整的物理认知由实验物理 (Experimental Physics) 认知、理论物理 (Theoretical Physics) 认知和应用物理 (Applying Physics) 认知构成。按照 ETA 模型的认知规律教学为 ETA 物理教学法。本文以“弦振动与驻波实验”为例, 根据 ETA 物理教学法的思路构建教学内容和教学过程, 对理论、实验、应用及其之间的关系进行深层次的理解, 以提升大学物理实验教学的深度和广度, 培养学生的物理认知能力, 养成其物理精神。

关键词 ETA 物理认知模型; ETA 物理教学法; 弦振动与驻波实验; 物理精神

APPLICATION OF ETA PHYSICAL TEACHING METHOD IN COLLEGE PHYSICS EXPERIMENT TEACHING —TAKING THE STRING VIBRATION AND STANDING WAVE EXPERIMENT TEACHING AS AN EXAMPLE

JIANG Yongjing WU Xiaoxia ZHENG Yuefeng NARSU B.

(College of Physics and Electronic Information, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010022)

Abstract ETA physical cognition model is a summary of research on the laws of physical cognition. According to the ETA physical cognition model, a complete physical cognition process is composed of experimental physics cognition, theoretical physics cognition, and applying physics cognition. Teaching according to the cognitive laws of the ETA model is the ETA physics teaching method. Taking the “string vibration and standing wave experiment” as an example, this paper constructs the teaching content and process based on the ETA physics teaching method, deepens the understanding of the relationship between theory, experiment, application, and their relationship, enhances the depth and breadth of college physics experiment teaching, cultivates students’ scientific cognitive ability, and develops the spirits of physicists.

Key words ETA physical cognition model; ETA physics teaching method; string vibration and standing wave experiment; physical spirit

收稿日期: 2023-12-13

通信作者: 那日苏, 内蒙古师范大学物理与电子信息学院教授, nars@imnu.edu.cn。

引文格式: 姜永静, 武晓霞, 郑月峰, 等. ETA 物理教学法在大学物理实验教学中的应用——以弦振动与驻波实验教学为例[J]. 物理与工程, 2024, 34(4): 91-97.

Cite this article: JIANG Y J, WU X X, ZHENG Y F, et al. Application of ETA physical teaching method in college physics experiment teaching—Taking the string vibration and standing wave experiment teaching as an example[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(4): 91-97. (in Chinese)

大学物理实验是高等学校理工科学生的必修基础课,是学生接受系统实验方法和实验技能训练的开端,能培养学生的动手能力、创新精神和科学素养,对培养科技创新型人才具有非常重要的作用和意义。目前,大学物理实验教学多采用传统模式,即教师介绍实验目的、实验原理、实验仪器和注意事项并演示实验过程,学生被动地重复实验步骤,得到实验数据验证实验结果。传统的教学模式忽略了学生认知过程中的主观能动性,限制了学生创新能力的培养。学生对课程不重视、缺乏学习动力、做实验不认真、不思考、不会进行数据处理从而不能验证实验的结果,这些问题导致实验课教学不能达到理想的效果。根据发展素质教育、培养拔尖创新人才的教育目标,教师在教学中应该探索建设拔尖创新人才培养的新范式^[1]。因此,解决大学物理实验课程的教与学中存在的问题是非常重要的。

穆良柱将物理认知规律总结为 ETA 物理认知模型^[2],并基于此模型提出了 ETA 物理教学法和 ETA 物理学习法^[3-5],分析回答了物理教育中存在的问题并以 ETA 模型为指导给出解决的方法。ETA 教学法能全面培养学生物理认知能力和科学探索能力,将教与学以及应对考试的过程全部统一,解决应试教育和素质教育不兼容等各种问题,满足国家对创新型人才的需求,为物理实验的教与学提供一种新范式。下面先介绍 ETA 物理认知模型和 ETA 物理教学法,然后以弦振动与驻波实验为例介绍 ETA 物理教学法在大学物理实验教学中的应用。

1 ETA 物理认知模型

ETA 物理认知模型可以划分为实验物理认知、理论物理认知、应用物理认知三个阶段,由 11 个具体认知步骤构成,如图 1 所示。实验物理认知和理论物理认知对应的是科学探索过程,应用物理认知则对应技术应用过程。这里实验物理、理论物理、应用物理强调的是认知上的含义,并非知识角度的理解。理解此模型之前,不妨先思考一个问题,“物理”是什么?“物理”是物理学家采用实验和理论相结合的方法对整个自然界的客观对象进行有效认知的积累,这些认知至少要符合可证伪性的要求。ETA 物理认知模型就是对“物理”概念的深入理解,从而给出物理的“教与学”指导性方法。

实验物理认知是第一阶段。物理起源于人对自然的探索,用天生的感知能力去观察世界。现实世界的各种现象是复杂的,先挑最简单的研究对象,观察物理现象、简化物理特性、量化描述物理过程、找出物理性质之间的关系,这就是实验物理认知的过程。这一过程的认知是片面的、零散的,物理学家更希望得到系统的、整体的公理化认知,即物理认知的下一阶段理论物理认知阶段。

在得到一系列经验规律后,物理学家开始探索这些经验规律背后更本质更简单的原因,借鉴数学认知系统从经验规律中找到基本定理或者假设基本公理并只用数理逻辑系统化推导出所有的经验规律,来构建一个对研究对象的系统理解。这种构建有效公理化体系认知的过程是 ETA 的

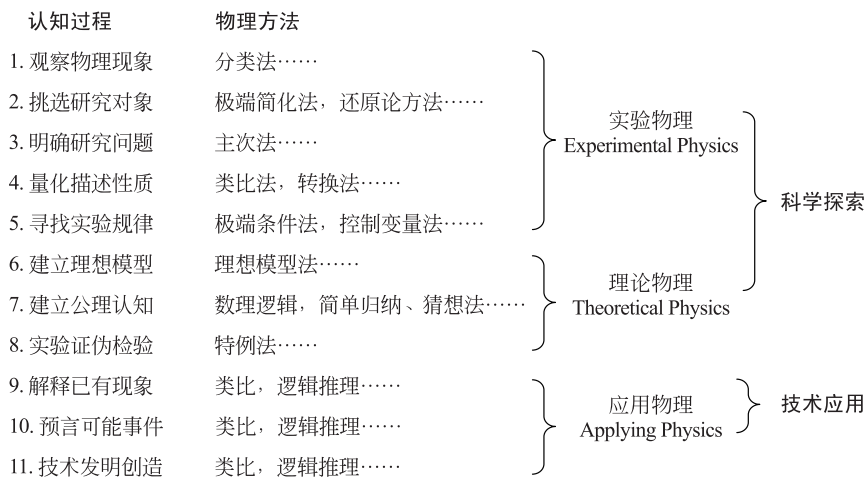


图 1 ETA 物理认知模型

第二阶段——理论物理认知。在这个阶段,首先建立一个理想模型,再构建公理化认知体系,这套理论是否正确是很重要的一个问题,物理的认知逻辑要求可以用实验来检验。不可证伪的理论,实验检验是没有意义的,因为它总是对的,可证伪的理论,如果它是错误的,则一定可以证伪,如果还没错,就认为是有效认知,暂时可以使用,证伪的意义在于可以找到有效的理论认知边界,这一点非常重要,在边界内,这套理论是有效的,在边界外理论失效,则需要重新构建。

在有效的理论认知边界内,可以解释之前发生的现象,也可以运用理论去预言将会发生什么现象,这些理论认知可以指导人类去和世界交互,进行各种技术发明创造,这就是应用物理认知阶段。ETA 物理认知模型的本质是人的认知规律,并且是被人类实践检验过的有效规律。

2 ETA 物理教学法介绍

按照物理认知规律教学,从物理现象开始,逐步由实验认知到理论认知,再到应用认知,在教学过程中建立系统化的物理认识,称为 ETA 物理教学法^[3]。ETA 教学法将教学内容组织成物理认知案例,强调学生认知能力的培养,而不是简单的知识层面的学习。在实验物理阶段,主要是引导学生对研究对象的实验性质进行探索,构建直观认识。在理论物理认知阶段,主要目的是引导学生如何构建最简化有效的系统化认知。在应用物理认知阶段,引导学生如何根据实际需要灵活类比使用有效物理认知,进而深入理解认知规律、学会物理方法、养成物理精神。下面按照 ETA 物理认知模型组织构建弦振动实验的教学案例,根据不同认知阶段的目标任务完成具体的教学组织。

3 ETA 教学法应用案例——“弦振动与驻波实验”教学

弦振动与驻波实验是大学物理实验中的基本实验之一,弦振动的研究广泛而富有趣味性,被选为 2021 年国际青年物理学家锦标赛(IYPT)的第 11 题^[6]。振动是指物体偏离它的平衡位置所作的往复运动,振动的传播产生波动现象。弦振动实验的内容是观察弦在振源的驱动下振动时,在共

振状态下弦线上产生的驻波现象,掌握驻波的形成原因以及弦振动的固有频率与弦线密度、弦长和张力 T 的关系,并进行测量和验证。下面按照 ETA 认知模型组织构建弦振动与驻波实验教学内容,根据 ETA 教学法安排弦振动与驻波实验的教学。

3.1 实验物理认知

在实验认知中,人类用全身的感官去接触自然,再描述所感受的世界。让学生接触大量系统的探索性实验,用自身的感知能力去感受研究对象的各种性质,在此阶段不需要强调理论,想方设法地去探索研究对象的性质即可。在实验现象中发现一些关联,为理论认知提供线索。

3.1.1 观察物理现象

此实验来源于人类对声音的感知、思考和研究。声音是人类感受自然界的一种基本方式,风声、鸟鸣等大自然的声音,悠扬的乐曲或者机器运作的轰鸣声这些都是我们熟悉的现象。细心观察,我们还可以发现,伴随着声音物体会有振动现象产生。从远古时期开始,人类就有振动产生声音的感性经验,如利用振动发声的哨、石磬等原始乐器,中国古代的鱼洗盆又叫青铜喷水震盆,当用手摩擦鱼洗双耳时,会形成浪花和飞溅的水珠,并发出嗡鸣声。这些声现象和与之伴随的振动现象引起人们的注意和思考。

3.1.2 挑选研究现象

在具体研究物理问题时,往往挑选同一类中最简单的那一个,甚至可以极端简化。乐音听起来心情愉悦而且相对于噪音似乎听起来更简洁,是最早引起科学家研究兴趣的声音现象。通常情况下声音是振动在三维空间的传播,声音在鼓面、鱼洗水面上的传播可简化为二维情况,而本着挑选最简单情况的原则,可以挑选一维振动发声情况作为研究对象。

公元前六世纪希腊哲学家毕达哥拉斯(Pythagoras)的振动实验室是最早的关于乐器声音的研究实验室,他挑选最简单的一维情况——特制的纯粹用于科学实验的单弦琴进行弦振动实验。1860 年, Franz Melde 研究了音叉带动弦的振动问题并观察到驻波现象,大物实验中的弦振动与驻波实验是 Franz Melde 的实验的继承和发展。

3.1.3 明确研究问题

挑选研究对象后,继续明确研究问题:乐音中

的音高究竟与哪些物理量相关? 这是一个复杂的问题。为何同一根弦, 有时候发出的是乐音, 而有时候发出的是噪音, 乐音也存在不同的音高, 音高究竟与什么有关? Pythagoras 依次改变弦的长度、直径、弦力而比较弦的音响, 通过实验观测得到弦线振动发出的声音的音高与弦线的长度、直径和张力的关系。伽利略通过一系列的观察和实验证实了声音是一种机械振动现象, 并提出了音高本质的因素: 频率(当时称之为振动数)。进而可以明确研究的问题是: 弦线形成稳定振动时发出的声音的频率与弦长、弦线密度和弦线中的张力之间是什么关系? 弦中振动传播的形状是什么样?

3.1.4 量化描述性质

为了建立现代科学体系, 确定要研究的具体问题后要量化描述研究对象的各种物理性质。经典的弦振动实验装置如图 2 所示, 为了建立弦线振动发声的频率 f 与相关物理量的关系, 先对振动和频率进行描述, 再将各个物理量进行量化描述。振动是一种特殊的振荡, 即平衡位置附近微小或有限的振荡, 振动频率 f 是物体在单位时间内振动循环的次数, 记实验中弦线的长度为 l 、线密度为 ρ 、弦中的张力为 T , 振动在弦线中传播形式是波动, 记波长为 λ , 波速为 v , 波长、波速和频率之间的关系为 $v = f \cdot \lambda$ 。

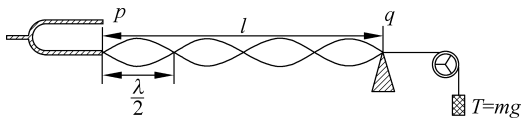


图 2 弦振动实验装置

实验中, 弦线的一端 p 固定在电子振源上, 另一端 q 与拉力传感器连接(或者连接质量为 m 的砝码), 这样可以给出弦线上的张力 T 。

3.1.5 寻找实验规律

对弦振动与驻波实验的各物理量进行量化描述后, 我们寻找各物理量之间的关系, 以回答所研究的问题, 并利用数学语言(如函数、微积分方程)描述这种关系。1636 年法国科学家梅森(Mersenne)成功地研究了弦振动问题, 给出了四条梅森基本定律: (1)弦振动的频率与弦长成反比; (2)弦振动的频率与弦张力的平方根成正比; (3)弦振动的频率与弦直径成反比; (4)弦振动的频率与弦的质量密度

的平方根成反比。梅森基本定律可以理解为

$$f \propto \frac{1}{l} \sqrt{\frac{T}{\rho_v \sigma}}$$

其中, l 为弦长, T 为弦中张力, ρ_v 为弦密度, σ 为弦线横截面积。

弦中振动传播的形状是什么样? 泰勒和约翰·伯努利的研究确定了弦振动的形状是正弦曲线。欧拉、达朗贝尔和丹尼尔·伯努利给出弦振动问题的数学解释。

以上是实验物理认知的内容, 教学中安排学生在预习环节完成以上内容的学习。考虑教学课时有限, 可采用多种方式结合的教学方法以达到良好的教学效果。教师可采用线上教学把实验的发展史讲授给学生, 引起学生兴趣并引导学生总结物理学家在实验物理认知阶段用到的方法。然后安排预习作业, 让学生去感受声音——自然界和生活中的声音, 思考为何有乐音和噪声之分? 振动是声音产生的原因, 让学生观察生活中伴随声音的振动现象, 思考振动是如何传播的? 将观察的现象以照片或者视频的形式进行记录, 可以锻炼学生的观察能力。完成以上内容后, 学生对弦振动与驻波实验的发展史有了直观的认知和初步的思考, 能更深刻地理解弦振动与驻波实验的目的和实验内容, 并能有效地完成实验报告的预习内容。

3.2 理论物理认知

实验得到的认知是零散的、片面的、大量的非系统化认知, 继续探索这些经验规律背后更本质的原因, 也就是建立公理化认知系统, 是物理认知系统极大的简化和进步, 这就是理论物理认知阶段。

3.2.1 建立理想模型

理论认知的第一步要构建理想模型, 将弦振动问题简化, 设弦线为粗细均匀的理想柔软弦, 弦上的张力只有切向分量, 没有法向分量, 弦的振动为微小横振动, 取弦线上的一小段微元 ds (趋近无穷小) 将其视为质点, 使用牛顿第二定律进行受力分析构建一个关于弦振动问题的理论体系, 从而可得出—维弦振动的微分方程(—维波动方程)。

3.2.2 建立公理认知

公理化体系的构造是根据之前发现的实验规律和已经建立的理想模型, 靠纯逻辑的方式推导出实验上看到的各种规律和现象。这一步是探寻

本质,可以看成是各种实验规律和现象的逻辑关系的整理。对弦振动与驻波实验,在这一步建立弦线的固有频率与物理量的关系,共振现象、波的干涉现象的数学逻辑解释。现在利用之前定义的物理量弦线的长度 l 、线密度 ρ 、弦中的张力 T 、波长 λ 、波速 v 、振动频率 f 以及弦线的微元模型、牛顿第二定律为公理,建立弦振动满足的微分方程及求解,然后解释弦振动实验中的现象。

弦微元受力分析如图3所示,取弦的平衡位置为 x 轴,两端分别为 $x=0$ 和 $x=l$,设 $u(x,t)$ 为弦上一点 x 在 t 时刻 y 方向上的横向位移。在弦上取一小段弦元 ds 进行受力分析,在其两端 x 和 $x+dx$ 处受到张力 T 和 T' 的作用。

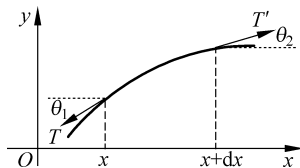


图3 弦微元受力分析

因为弦完全柔软,所以弦中的张力 T 只有切向力,无法向力, dx 足够小,可视为质点,根据牛顿第二定律,在 x 方向和 y 方向的动力学方程为

$$(T' \cos \theta_2) - (T \cos \theta_1) = 0 \quad (1)$$

$$(T' \sin \theta_2) - (T \sin \theta_1) - \rho g ds = dm \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2)$$

弦在 x 方向不受力,所以 $T=T'$,均匀弦中有 $dm=\rho ds$, ds 足够小所以 $ds \approx dx$,弦在 y 方向上为微小振动,所以有 $\cos \theta \approx 1$,则方程(2)可化为

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{T}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (3)$$

上式是弦的微小横振动所满足的一维波动方程,其中 $v^2 = \frac{T}{\rho}$, v 是振动传播的速度。设弦的两端固定,在点 $x=c$ ($0 < x < l$) 处向上拉起 h ,而后放开作自由振动,边界条件为式(4),初始条件为式(5)

$$u(0,t)=0 \quad u(l,t)=0 \quad (4)$$

$$u(x,0) = \begin{cases} \frac{h}{c}x & (0 < x \leq c) \\ \frac{h}{l-c}(l-x) & (c < x \leq l) \end{cases}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x,0)=0 \quad (5)$$

利用分离变量法求解式(3)、(4)和式(5)构成的定解问题,问题的解 $u(x,t)$ 为

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(x,t)$$

$$= \frac{2hl^2}{\pi^2 c(l-c)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin \frac{n\pi c}{l} \sin \frac{n\pi}{l} x \cos \frac{n\pi v}{l} t \quad (6)$$

$u(x,t)$ 是 $u_n(x,t)$ 的叠加,其中 $u_n(x,t) = N_n \sin \frac{n\pi}{l} x \cos \frac{n\pi v}{l} t$ 为弦的本征振动:振幅为

$\left| N_n \sin \frac{n\pi}{l} x \right|$, 频率为 $f_n = \frac{nv}{2l} = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ 的简谐振动。

弦的这种形态的振动称为驻波,弦上 $x = \frac{ml}{n}$ ($m=0,1,\dots,n$) 处的点在振动过程中保持不动,称为波节; $x = \frac{(1+2m)l}{2n}$ ($m=0,1,\dots,n-1$) 处的点振幅最大,称为波腹;驻波波长为相邻波节之间的距离(或者相邻波腹之间的距离),记为 $l_n = \frac{l}{n}$, n

为半波数; ρ 、 T 、 l_n 与频率的关系为: $f_n = \frac{1}{2l_n} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ 。

弦所发出的声音,其音调由振动频率决定,强度由振幅决定,频率 f_n 称为弦的固有频率,当 $n=1$ 时

$f_1 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ 称为基频(基音),其余频率为基频的

整数倍,为倍频(或称谐频、泛音)。根据弦振动方程及其数学解(6),自由振动时弦振动时所发出的声音是由基频 f_1 和倍频 f_n 组成。如在一固定端加一个边界条件 $u(l,t) = A \sin \omega t$,利用分离变量法求解定解问题其数学解为^[7,8]

$$u(x,t) = \frac{A}{l} x \sin \omega t + 2A\omega l \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^2}{(n\pi a)^2 - (\omega l)^2} \times$$

$$\left(a \sin \frac{n\pi a}{l} t - \frac{\omega l}{nt} \sin \omega t \right) \sin \frac{n\pi}{l} x \quad (7)$$

3.2.3 实验验证伪检验

弦振动模型及其相关理论与实际的实验结果是否都相符呢?目前的实验教材中,形成驻波的频率写为单一的振源频率,用理想情况简化数学推导,而弦振动实验的实际情况是驻波的频率除基频(或振源频率)以外还包含谐频(基频或振源频率的倍频)。实验中,当外加振源的频率与弦的某一个固有频率 f_n 相同时,会发生共振现象,弦上会出现稳定的振幅较大的驻波,此时的驻波存

在倍频,与理论中单一频率形成的驻波有什么不同,可以做进一步研究探讨^[9-11]。实验中,在弦线一端连接振源,振动时此端点非固定点,显然会影响节点位置,因此弦线的长度并非驻波长的整数倍,可进一步观察和探索它会对驻波产生什么样的影响。细致观察我们可以发现,有些情况下弦振动的几何变形并不是微小变形,这样沿弦长度方向上的张力 T 不是常量,此情况下的微分方程形式需进一步研究^[12]。实验证伪检验的质疑之后,可以对弦振动实验相关理论和现象成立的范围有了清晰的了解,同时也为进一步探索给出了方向。

以上是理论物理认知过程,引导学生构建最简化有效的系统化认知并进行实验证伪。在实验课程之前学生已在大学物理课程中学习了相关的理论知识,所以在实验操作之前可以完成建立理想模型和建立公理认知部分的内容,教师提供相应课件学生自学即可。而后,学生可以进行弦振动实验的实际操作。在操作过程中,教师可以提问学生形成驻波的条件以加深对理论的理解。进一步提问学生在本实验中形成驻波的是否为单一频率的波?如果谐频存在,则对驻波的形状会产生什么样的影响?连接振源的弦线一端不固定时,如何测定弦线长度?实验操作及数据处理完成后,教师可以组织学生进行线上讨论,对实验操作中出现的问题进行分析讨论,如果出现实验结果与理论不符的现象,提醒学生要认真思考分析原因。这样组织的教学过程,可以引导学生探索认知的有效边界,初步尝试对已有物理知识进行实验证伪检验,只要学生对认知边界进行探索甚至更向前迈一步就可以超越教师,这是培养学生科学素养的重要环节。

3.3 应用认知

在理论认知的边界内,与振动和干涉驻波相关的理论就可以拿来用了。在应用认知时,先解释已有的各种现象,再看这个理论是否可以对没发生的现象进行预言,最后考虑理论认知如何指导生产实践。下面利用弦振动和驻波的理论解释相关现象,给出其生产应用实例。

3.3.1 解释已有现象

根据弦长、弦的张力和弦的密度与音高(频率)的关系,可以解释弦乐器发声的规律:张力和密度都相同的弦,其音高就决定于弦的长度,所以小提琴手总是用手指去不断变换弦的振动长度,

以奏出不同的音高;而同样长度同样张力但线密度不同的两根空弦奏出的音高也是不同的。摩擦鱼洗两耳可使盆壁振动,当发生共振时会有嗡鸣声,振动在水中传播发生干涉形成水驻波所以水面有水波纹,波动伴随能量的传播,所以在波腹处会出现飞溅的水珠。

提起共振现象,我们很容易想到桥梁坍塌事件。塔科马大桥风毁事件被认为是卡门涡街和共振的典型案列,冯·卡门的观点是涡激共振,大桥在风的作用下以其扭转固有频率发生振动,并最终导致破坏。而后的研究人员复现塔科马大桥的涡激共振发现,大桥刚硬断面的扰流涡并不等于其固有频率,相差很大,塔科马大桥风毁的机理是扭转模态为主的颤振导致的结构失稳,并非卡门涡街激励的结构共振。虎门大桥出现波浪形弯曲振动,很多学者用涡激共振解释,也有研究认为卡门涡街诱发了结构失稳而不是直接推动结构发生共振^[13]。桥梁振动、倒塌与振动有关,但不能简单地用共振解释。

生活中常见的轮胎驻波现象是汽车在高速行驶过程中发生爆胎的主因之一。汽车在行驶时,轮胎与地面接触部分会压缩,当轮胎离开地面时又会恢复原有形状,其恢复时间长短与车速、负荷、轮胎温度高低等因素有关。轮胎负荷越大,车速越高,轮胎胎面产生的离心力越大,离心力增大使胎面反向产生形变,胎面会产生波动。当轮胎恢复时间 t 大于或等于轮胎转动一周的时间 T 时轮胎会重复变形,形变叠加会发生驻波现象,此时轮胎变形幅度会急剧增大,胎体温度迅速上升,材料性能快速下降,轮胎在短时间内破坏,容易造成爆胎发生。

3.3.2 预言可能事件

谐波共振现象被应用于地震预测。赵玉林、钱复业提出了“潮汐力谐振共振波短临地震预测法”,当发生地震时震源区断裂带中的介质将随潮汐力而谐振至共振,从而产生微弱但清晰的与潮汐力有关的各种周期的 HRT(共振周期将等于系统一破裂断层的固有周期)从震中向外传播,被抗电(磁)干扰的、主要反映孔裂隙中流体运动的 PS-100HRT 波台网接收。并成功于 2004 年 12 月 26 日印尼 9 级海啸地震 2 个月开始到 3 天前,在世界上第一次记录发现了来自震源体的潮汐力谐振共振波(HRT 波),汶川地震前也有 HRT 波短临前兆记录^[14,15],这些数据表明,这种利用了共振现

象的地震预测是可行的。

3.3.3 技术发明应用

利用驻波共振知识可以发展各种技术。根据弦振动原理制作的振弦式传感器是以拉紧的金属弦作为敏感元件的谐振式传感器,当弦的长度确定后,其固有振动频率的变化量可表征弦所受拉力的大小。工作时,振弦一端固定、一端连接在受力机构上,不同的受力机构可以做成测压力、扭矩或加速度等物理量的各种振弦式传感器。常用的振弦式传感器有振弦式钢筋计、振弦式轴力计、振弦式应变计、振弦式位移计、振弦式渗压计等,应用于多种行业的结构检测中。

设计弦乐器时,利用驻波共振原理设计出合理的共振腔能获得好的音色。驻波共振会在室内产生低音模糊不清、声音分布不均衡的现象,所以视听室、演播厅或者家用住房的声学设计中要充分考虑驻波共振现象的影响,一个好的听音房间,需要协调好驻波、混响时间和声染色问题,才能有好的听音效果。

以上是应用物理认知的内容,应用认知的一个主要驱动力是社会需求。教学方式可以灵活多样,教师以网课的形式展现一些应用的知识,引导学生结合自己的兴趣去自学相关知识,也可以线上或线下组织小组讨论。应用物理认知将课本知识与实际应用成功对接,有助于开阔学生眼界,回答长期困扰学生的一个疑问:我们学习这些知识究竟有什么用?这部分内容的教学自然而然融入了课程思政教育,帮助学生解决“空心病”问题。

4 结语

按照 ETA 物理认知模型分析重构“弦振动与驻波实验”的内容,根据 ETA 物理教学法组织教学,呈现出一个完整的认知过程和完整的教学过程。ETA 教学法引导学生从仔细观察实验现象开始,学会思考,整合零散知识点,着重强调证伪环节,激发学生的探索欲让学生找到认知边界超

越教师,实现教育的本质作用。这种教学法能训练科学认知能力,构建科学认知模型、训练科学方法、养成科学精神,提高教师的教学水平,提升学生的科学素养,满足培养创新型人才的需要,为大学物理实验教学提供了一种新范式。

参 考 文 献

- [1] 杜玉波. 推动高等教育高质量发展全面支撑中国式现代化建设[J]. 中国高教研究, 2022(11):1-2.
- [2] 穆良柱. 什么是 ETA 物理认知模型[J]. 物理与工程, 2020, 30(1):29-33.
- [3] 穆良柱. 什么是 ETA 物理教学法[J]. 物理与工程, 2020, 30(2):32-36.
- [4] 穆良柱, 华靖. ETA 物理教学法应用案例之静电场篇[J]. 物理与工程, 2021, 31(6):3-10.
- [5] 穆良柱. 什么是 ETA 物理学习法—基于物理认知规律的大学物理学习困难现象分析与应对策略[J]. 物理与工程, 2022, 32(5):5-10, 14.
- [6] International Olympic Committee. Problems for the 34th IYPT 2021[Z/OL]. [2022-01-29] <https://www.iypt.org/problems/problems-for-the-34th-iypt-2021>.
- [7] 谷超豪. 数学物理方程[M]. 北京:高等教育出版社, 2012.
- [8] 姚端正. 数学物理方法[M]. 北京:科学出版社, 2020.
- [9] 何家奇. 共振频率激励下弦振动定解问题的求解[J]. 大学物理, 2019, 38(6):45-47.
- [10] 罗艺豪, 陈宗强, 陈靖等. 电磁铁驱动下钢弦的受迫振动的研究[J]. 物理与工程, 2022, 32(5):87-91.
- [11] 姚久民, 田广志, 祝玉华. 用频谱分析法研究弦振动实验[J]. 物理实验, 2009, 29(12):30-33.
- [12] 潘渤. 十字弦结构非线性自由振动的频率分析[J]. 工程力学, 2012, 29(11):26-32.
- [13] 张伟伟. 桥梁若干流致振动与卡门涡街[J]. 空气动力学报, 2020, 38(3):405-412.
- [14] 赵玉林等. 印尼 MW9.0 地震的短临地电波(声波;潮汐力谐振共振波, HRT 波)波动前兆——HRT 波法进行短临地震准确预测可能性的探讨[J]. 国际地震动态, 2006, 8(332):6-21.
- [15] 钱复业等. 汶川 MS8.0 地震的短临地电波动(潮汐力谐振和共振波—HRT 波)前兆[J]. 国际地震动态, 2008, 7(355):1-10.