

ETA物理认知模型在高中物理教学中的应用： 以“圆周运动”为例

杨树林, 周 阳*, 兰智高

黄冈师范学院物理与电信学院, 湖北 黄冈

收稿日期: 2025年5月19日; 录用日期: 2025年6月18日; 发布日期: 2025年6月26日

摘 要

ETA物理教学法基于物理认知模型, 从物理现象入手, 通过实验物理(E)、理论物理(T)和应用物理(A)三个阶段的认知过程, 促使学生对所学课程知识形成系统化和深入的理解与掌握。文章以人教版高中物理教材必修2中的“圆周运动”为例, 运用ETA物理认知模型对知识点进行重构, 并编写相应的教学设计。通过引导学生从观察现象出发, 分析和掌握实验现象背后的物理理论和知识, 再将所学物理知识应用于实际情境, 最终培养学生系统的物理认知能力, 提升学生分析和解决实际问题的核心素养。

关键词

ETA物理认知模型, ETA物理教学方法, “圆周运动”

Application of the ETA Physics Cognitive Model in High School Physics Teaching: Taking “Circular Motion” as an Example

Shulin Yang, Yang Zhou*, Zhigao Lan

School of Physics and Telecommunications, Huanggang Normal University, Huanggang Hubei

Received: May 19th, 2025; accepted: Jun. 18th, 2025; published: Jun. 26th, 2025

Abstract

The ETA Physics Teaching Method is based on the physics cognitive model, starting from physical phenomena and progressing through three stages of cognitive processes: Experimental Physics (E),

*通讯作者。

文章引用: 杨树林, 周阳, 兰智高. ETA物理认知模型在高中物理教学中的应用: 以“圆周运动”为例[J]. 教育进展, 2025, 15(6): 846-855. DOI: 10.12677/ae.2025.1561070

Theoretical Physics (T), and Applying Physics (A). This approach facilitates students in forming a systematic and deep understanding and mastery of the knowledge they learn in their courses. In this paper, we use the “Circular Motion” chapter from the compulsory Part 2 of the People’s Education Edition high school physics textbook as an example. By applying the ETA Physics Cognitive Model, we restructure the knowledge points and develop corresponding teaching designs. By guiding students to start with observing phenomena, analyzing and mastering the physical theories and knowledge behind experimental phenomena, and then applying the learned physics knowledge to real-world scenarios, we ultimately cultivate students’ systematic physics cognitive abilities and enhance their core competencies in analyzing and solving practical problems.

Keywords

ETA Physical Cognitive Model, ETA Physics Teaching Method, “Circular Motion”

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

高中物理知识点繁多，模型抽象，学生理解和掌握难度大。当前，在高中物理教学中，传统教学模式仍旧屡见不鲜。然而，在传统的物理教学中，教育往往被视为信息的单向传递过程，教师主导着学习的方向和进程。学生往往被动地接收和记忆教师所传达的信息，而这样的学习方式容易导致学生对知识的浅显理解。学生在课堂上会记住一些零散的知识点，但由于缺乏深层次的理解，他们在面对实际问题时往往感到无所适从。同时，这种单一的教学方式难以有效激发学生的思辨和探究欲望。学生对知识的掌握常常停留在表面，难以真正深入理解和内化，导致在解决现实问题时缺乏灵活运用能力。在这样的教学环境下，学生会遇到“知识点记住了，但真正理解掌握的却不多”的困境，难以将问题中的实际情境转化成解决问题的物理情境，无法准确建立相应的物理模型，导致运用物理知识解决实际问题的能力欠佳。

2. ETA 物理认知模型破解传统教学模式困局

传统教学模式存在固有的局限性，它未能有效激发学生的主动学习兴趣和深层次的思考能力。学生被动接受信息，容易陷入“死记硬背”的学习方式，而无法形成对知识的真正理解。因此，在基于实际问题的物理题目解析中，学生可能会显得力不从心，无法将学到的知识运用到具体场景中，解答这类题目的能力也相对薄弱。在传统教学的框架下，学生往往面临着机械记忆知识点的困境，而无法深入思考知识的内在联系和应用场景。这种被动学习的模式，既限制了学生的创造性解题思维，也妨碍了他们在未知领域的探索 and 发现。如何突破传统教学模式困局，成为提高教学质量和学生课程知识点掌握水平的关键问题。

近年来，北京大学穆良柱教授总结提出了 ETA 物理认知模型，共包含三种认知阶段和 11 个物理认知过程(见图 1)。ETA 物理认知模型指出完整的物理认知过程由实验物理(Experimental Physics)认知、理论物理(Theoretical Physics)认知和应用物理(Applying Physics)认知构成[1]-[4]。相应地，通过 ETA 物理认知模型分析和讲解课程知识点，就实现了从实验、理论再到应用的有机递进。相比传统教学模式，基于 ETA 物理认知模型的教学强调学生通过实践和探索构建自己的认知框架，从而更深刻地理解和掌握知识。ETA 模型的教学方法让学生成为问题的研究者和解决者，培养了他们主动探索的精神和批判性思维。在

这个过程中，学生逐渐形成对知识的系统性认识，而非仅仅停留在零散的知识点。此外，ETA 物理认知模型还注重培养学生的实践能力和团队协作精神。学生通过实验和项目实践，更好地理解和应用所学知识，从而提升了他们在学习解答基于现实问题题目的能力。这种教学方式不仅关注学生的学科知识，更关注他们的学习方法和解决问题能力的全面发展。本文基于 ETA 物理认知模型设计教学内容和教学过程，以期破解学生知识点理解肤浅和难以灵活运用的难题，突破传统教学模式的限制，为提高课堂教学质量和学生培养质量提供参考。

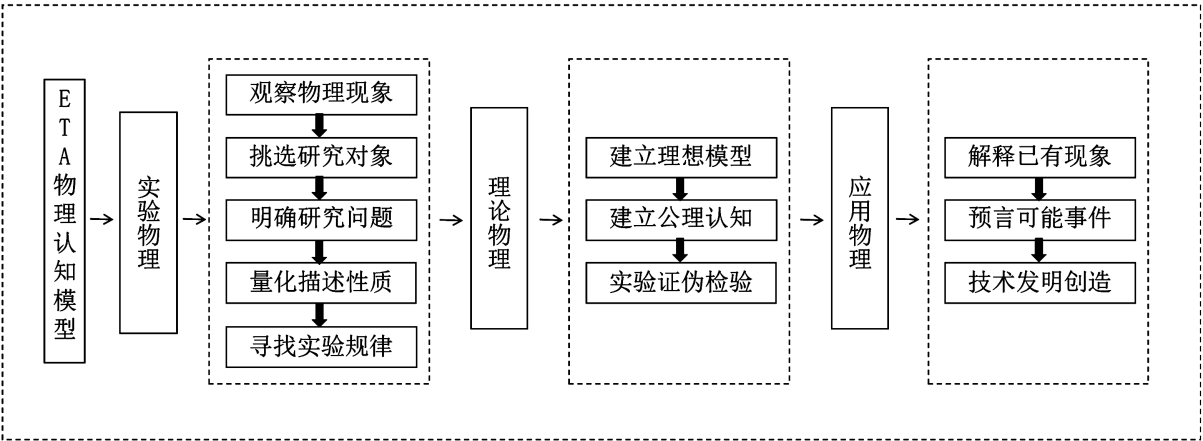


Figure 1. ETA physical cognitive model structure diagram
图 1. ETA 物理认知模型结构图

3. ETA 物理认知模型优势

在教育事业发展多年的现在，教学模型层出不穷，他们各有优势，但也有难以修复的缺点，相对于大部分教学模型而言，ETA 物理认知模型显得更加全面。

例如传统讲授型模型，它使学生被动接受知识，缺乏主动探索的精神，对教师的要求也极高；在 1989 年，美国生物学课程研究会提出了 5E 教学模型，该教学模型具有激发学生学习兴趣等优点，但存在耗时长，对教学内容具有一定的局限性等缺点；翻转课堂也是公众较为认可的一种教学模式，它可以有效提高学生的参与度，但存在对学生的自律性十分依赖，并且对课前预习要求较高等缺点；项目式学习模式可以培养学生的综合能力，但是实现标准化较为困难。

以上为部分教学模型举例，ETA 物理认知模型在理论与应用上已较为成熟，穆良柱教授在《什么是 ETA 物理认知模型》中对该模型进行了描述，形成了一套完整的实施过程，并且对该方法的解题过程进行了描述总结[5]，诸多学者使用 ETA 物理认知模型撰写了多篇教学实施过程，涉及大学物理与高中物理等内容，可见此模型使用普遍性之广泛，在此过程中取得的成果十分丰富。

相对而言，ETA 物理认知模型具有其独特的优势，它可以让学生全程参与到教学过程之中，这是其他教学模式难以实现的，并且让学生掌握自我学习知识的能力，实现知识的举一反三，这也是长久教学所要解决却始终难以解决的问题。综上所述，ETA 物理认知模型理论完善，过程完整，具有其独特优势。

4. 基于 ETA 物理认知模型的“圆周运动”教学内容设计

圆周运动描述了一个物体在平面上沿圆形或部分圆形轨迹运动的现象。接下来利用 ETA 物理认知模型来展开“圆周运动”的教学内容[6]-[13]。

4.1. 实验物理认知教学过程

4.1.1. 观察物理现象

对高中生而言，圆周运动在日常生活中随处可见。因此，在观察实验现象阶段，展示生活中常见的圆周运动现象，例如自行车轮转动、风车旋转、地球周围的天体运动等，可以通过图片、视频或教学器材进行展示。这种方式能够让学生更直观地理解圆周运动，并对相关原理有一个自我的理解，为之后的知识重构奠定基础。

4.1.2. 挑选研究对象

根据人教版高中物理教材必修2第六章的内容，选择圆周运动中的质点为研究对象。

4.1.3. 明确研究问题

在圆周运动中，对质点的运动规律进行描述，并研究质点究竟受到了哪些力的影响，以及所受力的大小与哪些因素相关。

4.1.4. 量化描述性质

1) 教学活动：老师播放视频之前，先让同学们进行猜测，思考当水桶移动时，水桶做什么运动？运动过程中是否会有水溢出？并阐述自己的理由。播放视频后，观察到不论水桶到达何处，水桶均做圆周运动，且水桶内部水都不会溢出，呈现类似图2的情景。

设计意图：引导学生思考为何水桶中的水不会溢出，是什么让水桶内的水克服了重力并保持不洒出来。在学生思考后，让学生说出自己的想法，使其原有认知暴露出来，之后讲述圆周运动的规律，初步引入离心力的概念，使其原有认知与现有认知发生冲突，激发学生的学习兴趣。

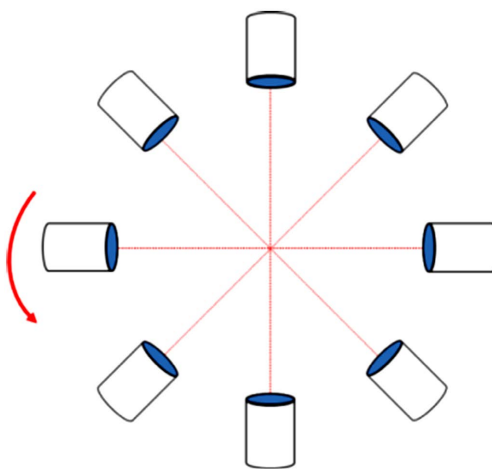


Figure 2. Schematic diagram of circular motion of water bucket
图 2. 水桶的圆周运动示意图

2) 引入线速度 v 、角速度 ω 等描述质点圆周运动的规律。

线速度公式为：

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (\text{式 1})$$

线速度是描述物体上任一点在定轴进行圆周运动时的速度。

角速度公式为：

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (\text{式 2})$$

角速度用于描述做圆周运动的物体围绕圆心旋转的快慢程度。

线速度与角速度的关系为：

$$v = \omega r \quad (\text{式 3})$$

在圆周运动中，线速度的大小等于角速度的大小与半径的乘积。

通过这些公式，学生对圆周运动有了全新的认识，使学生的认知水平从一开始认为转圈就是圆周运动的实验物理认知阶段向圆周运动包括角速度、线速度等物理量的物理认知阶段过渡，深化了对圆周运动的理解，也完成了初步的知识重构过程。

4.1.5. 寻找实验规律

学生们已经了解了质点圆周运动的现象，以及运动过程中质点所受向心力的存在，并且对各物理量进行了量化描述，接下来带领他们寻找各物理量之间的关系，即引导他们思考向心力与哪些因素相关。

教学活动：在课堂上，邀请同学们上台进行实验，以探究质点运动过程中向心力的大小与哪些因素有关。为此准备了不同长度的绳子和不同重量的砝码。学生通过亲身实验，如图 3 所示，发现手部所感受到的运动砝码所受向心力与绳子的长度、砝码质量大小以及转速有关。

设计意图：学生通过亲身感受手上受力的变化，联想到圆周运动中砝码所受向心力的改变，体会绳子的长度、砝码质量大小以及转速对向心力的影响，在认知冲突的作用下，学生急于证明自我认知的正确性，便会逐步提高对向心力的学习兴趣。

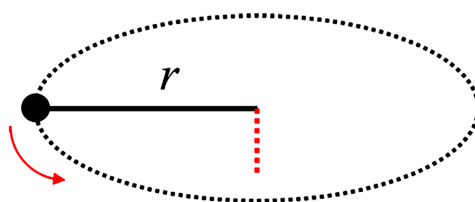


Figure 3. Schematic diagram of circular motion of weights
图 3. 砝码做圆周运动示意图

1) 引出圆周运动过程中质点的向心力公式。

向心力的大小可以表示为两种形式：

$$F_n = m\omega^2 r$$

或者

$$F_n = m \frac{v^2}{r}$$

在学生进行实验和学习线速度以及角速度后，他们能够更好地理解和应用向心力的这些公式。这些公式为他们提供了计算向心力大小的方法，基于物体的质量、角速度和半径等变量，使他们能够更深入地探究圆周运动中的力学规律。同时，解释图 2 中水桶里的水不会溢出的原因正是离心力的作用，该教学过程摒弃了传统单向灌输的教学方法，而是使用物理实验验证知识点的教学过程，对教学过程进行了重建。

2) 教学活动：给学生播放运动员投掷链球的视频，运动员拿着链球进行旋转，并最终将链球投出，展示类似于图 4 的场景。让学生思考在运动员旋转链球的过程中，链球所受的受力特点。随后，要求学

生绘制链球在变速圆周运动中所受的受力图。学生可能会发现这次的受力情况相较之前学过的受力更为复杂。在学生充分思考后，公布正确答案。

设计意图：这种实践性的教学方法可以让学生亲身观察和理解链球在变速圆周运动中所受的力，激发学生的探究欲望，加深对圆周运动中受力情况的理解。同时，引导学生观察和分析复杂的受力情况有助于提高他们分析和解决问题的能力。

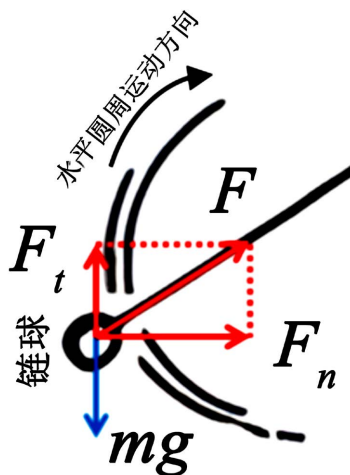


Figure 4. Schematic diagram of throwing a chain ball and force analysis

图 4. 抛掷链球及受力分析示意图

图 4 中 F 代表绳子的拉力，根据学生先前学过的力的分解知识，可以将 F 分解为两个相互垂直的分力： F_t 和 F_n 。其中， F_n 指向圆心，为链球做圆周运动所需的向心力，改变链球速度的方向；而 F_t 与链球运动速度的方向相同。这种力的分解对于理解链球在圆周运动中所受的力有着重要的作用，有助于学生更深入地探究物体在圆周运动中的力学特性。

3) 向学生提问：在必修一中学习的与力相关的章节中，有力的出现一般伴随着什么？在研究物体运动的过程中，物体的运动状态可能会发生改变，这种变化与力的作用有关。那么，表示物体变化速度的快慢应该用什么来表示呢？

学生思考后回答可能是加速度。接着，让学生根据之前学习的加速度知识尝试写出质点向心加速度的表达式。

根据牛顿第二定律 $F = ma$ 和向心力的表达式 $F_n = m \frac{v^2}{r}$ ，可以得出向心加速度的表达式：

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

或者

$$a_n = \omega^2 r$$

4) 离心运动

当物体在做圆周运动时，由于惯性，其速度总是沿着切线方向。假设链球没有绳子牵引，它会沿着切线飞出去。这是因为向心力消失，但仅在向心力消失的情况下才会飞出去吗？其实不是。当作圆周运动的物体所受合力不足以提供向心力时，虽然物体不会立即沿切线飞出去，但其运动会逐渐偏离圆心，这种运动被称为离心运动。在航空航天领域，星球之间的运动可以视为圆周运动的例子。例如，绕地球

做圆周运动的卫星，当其速度超过 11.2 千米/秒时，就会脱离地球的引力，进行离心运动，因为地球的逃逸速度约为 11.2 千米/秒。

4.2. 理论物理认知教学过程

实验物理认知过程得到的只是片面的认知，教师需要带领学生继续探索片面认知背后的本质原因，即理论物理认知阶段，老师可以通过例题教学来达到此目的。

例 1：在可旋转圆盘上放置一个质量为 m 的正方形木块，如图 5 所示，木块与圆盘中心距离为 r ，已知木块与圆盘之间的摩擦系数是 μ ，圆盘按顺时针方向进行匀加速旋转，当木块刚开始做离心运动时，求木块速度大小。

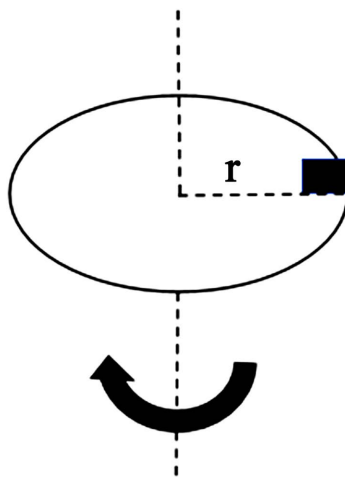


Figure 5. Example 1 experimental diagram
图 5. 例 1 实验图

教学活动：教师让学生先自己做题，然后指导学生运用 ETA 物理认知模型来解决此类问题。

1) 建立理想模型：将圆盘上的木块视为一个质点。

2) 建立公理认知：当木块开始运动时，木块所受到的向心力大小刚好等于木块所受到的滑动摩擦力的大小，木块与圆盘之间的摩擦系数是 μ ，木块的质量是 m ，则 $f_{\text{摩擦力}} = \mu mg$ ，解得 $F_{\text{向}} = \mu mg$ 。由向心力的表达式：

$$F_n = m \frac{v^2}{r}$$

解得：

$$v = \sqrt{\mu gr}$$

4.3. 实验证伪检验

关于圆周运动的相关公式以及从圆周运动转变为离心运动的条件与实际的实验结果是否相符呢？在人教版高中物理教科书中对相关的公式和做离心运动的条件进行了阐述。在不考虑空气阻力等外部环境的理想条件下，以上认知内容皆正确，当不是理想条件下时，学生会产生进行实验证伪检验的思想，这让学生对之后所要探索的问题有了清晰的思路与方向。

在进行实验证伪检验之前，老师应该引导学生构建最简单有效的实验方案来进行实验证伪。在进行实验之前，学生已经学习了相关的理论知识，并且已经完成了公理认知和理想模型建立的步骤，这为之

后的实验验证奠定了基础。教师提供相关的实验环境与器材,也可适当提供物理模拟实验 APP。在实验过程中,教师可以提供给学生实验操作手册和数据记录表,将学生实验过程的大方向规定下来,避免实验过程中发生安全事故。在实验过程中老师可以向学生提问,物体从圆周运动转变为离心运动过程中需要满足什么条件,各物理量之间的关系是否与书本上的一致,在学生记录和处理完数据之后,会发现实际的数据与理论数据有偏差,老师应向学生指出因为存在空气阻力等方面的影响,数据会有一些的误差,应告诉学生误差允许的范围,并让学生验证数据是否在误差范围之内,对于部分数据结果超过误差范围的学生,应该组织他们重新进行实验,并分析之前出现误差的原因。带领学生进行实验验证伪检验,可以加强学生对所学知识的可信度,这个过程也可以有效培养学生的动手操作能力和实验探究的能力,是培养学生科学素养的有效环节[12]。

5. 应用物理认知教学过程

5.1. 解释已有现象

学习了圆周运动这一章节后,同学们能够解释一些生活中的现象。众所周知,地球无时无刻都在自转,但为什么地球上的物体不会被甩出去呢?这个问题在许多人小时候都曾引发思考。人们认为可能会被地球甩出去是因为物体在地球上会经历一种离心运动。然而,学习了这一章的知识后,同学们就可以解释这个问题。地球上的物体之所以没有被甩出去,是因为地球的自转速度还不足以克服自身引力,因此才始终留在地球表面。只有当地球自转达到第一宇宙速度时,物体才会真正经历离心运动,离开地球。类似的例子在日常生活中随处可见,比如在游乐园坐旋转椅时,游玩的人们之所以没有被甩出去,是因为向心力始终将游客固定在椅子上。这些例子生动地展示了圆周运动概念在现实生活中的应用,帮助同学们理解为何人类不会从地球上被甩出去。

在完成这一步骤之后,学生的知识结构也就基本建立起来了,通过一次次的理论与实验操作,学生对建立起来的知识深信不疑,这不仅是知识的重构,也是教学过程的重构。

5.2. 预言可能事件

以上理论对于人们日常生活中预测圆周运动的情况有很大帮助。在电视上观看赛车比赛时,大家都知道赛车比赛中的胜负常常取决于微小的细节。特别是在赛车经过弯道时,发生侧翻可能导致整场比赛输掉。因此,在专业赛车团队进行比赛前,他们会测试赛车在每个弯道所能达到的最大速度,以防止赛车在转弯时发生侧翻。赛车在弯道中的运动可以视为圆周运动,为了避免赛车发生离心运动,赛车团队可以通过计算来确定赛车在转弯时的最大速度。

5.3. 技术发明创造

在生活和科技领域,有很多运用圆周运动和离心力等制备和组装的产品。例如,斯坦福大学生物工程师 Manu Prakash 领导的设计团队,受到历史悠久的拉线飞轮玩具启发,以常见的纸张、细线等材料创造性地组装了简易手动纸质离心机[14]。当操作该纸质离心机时,细线会在拉动过程中不断形成螺旋状,这是驱动力的关键。当细线螺旋超过一个限定值时,细线会在原来的基础上再形成一个螺旋。细线在形成螺旋过程中不断积聚能量,积聚的能量越多,圆形纸张就会转得越快。Manu Prakash 团队设计的纸质离心机生产成本极低,材料价值仅 20 美分,其分离速度高达每分钟 125,000 转,这意味着在 90 秒内就可以从血液样品中分离出血浆。相比之下,传统的 StatSpin MP 离心机最高转速仅为每分钟 15,800 转,且耗时长达 120 秒才能完成血浆的分离。由于重量轻、造价低廉、不耗电,且不需要复杂的机械设备和昂贵的替换部件,因此非常适合在资源匮乏的地区使用。纸质离心机作为一种革命性的医疗设备,展示

了平凡材料的不平凡价值和 designs 的力量。通过简单的手工操作，它在医疗诊断领域展现出与商业离心机相当甚至更出色的性能，同时具有极低的制造和运营成本。这项基于圆周运动制备的纸质离心机发明不仅解决了资源匮乏地区医疗设备获取和维护的问题，还体现了科技为善的潜力，未来有望在公共卫生领域发挥重大作用。

以上是应用物理认知相关设计内容，通过将圆周运动与实际应用实例相结合，有助于学生在深入理解圆周运动中质点运动规律的同时，深刻认识到圆周运动在生活和科技中的应用潜力。在应用物理认知的教学过程中，还可以融入课程思政的相关元素，讲解科学家精神，让学生在查阅课外文献资料的基础上，分组进行讨论，帮助学生开阔视野，提高理论与实践相结合的应用能力。在无形中培养了学生科学的思维方式，激发了他们的学习主动性和积极性，提升了他们的内在核心素养。

6. 结语

运用 ETA 物理教学法，对知识点进行重组和重构，并依据 ETA 物理认知模型进行教学设计，能够使教师在教学过程中巧妙地引导学生从实验观察入手，逐步过渡到理论分析，并最终迈向实际应用。这一过程不仅让学生全程积极参与，还能使他们深刻理解知识构建的本质，从而激发浓厚的学习兴趣。基于 ETA 物理认知和教学法的教学过程，将学习从单一的知识点罗列转变为一个充满乐趣的知识建构旅程，有效缓解了学生对学习的倦怠感，将消极情绪转化为积极的学习动力。通过实验、理论和应用的整合，ETA 模式不仅深化了学生对物理概念和规律的理解，还培养了他们的科学思维和问题解决能力，有助于提升学生的核心素养。

基金项目

- 1) 教育部物理学类专业教学指导委员会课程改革项目“利用第一性原理模拟软件提升固体物理教学的实践探索”(JZW-21-GT-05);
- 2) 黄冈市教育科学规划 2023 年度课题“ETA 教学法在物理类课程教学中的实践探索”(2023JB14);
- 3) 黄冈师范学院教学研究项目“专业核心课程多模态教学改革研究与实践——以半导体物理教学为例”(2024CE57)。

参考文献

- [1] 穆良柱. 什么是 ETA 物理认知模型[J]. 物理与工程, 2020, 30(1): 29-33.
- [2] 穆良柱. 什么是 ETA 物理教学法[J]. 物理与工程, 2020, 30(2): 32-36.
- [3] 穆良柱. 什么是物理与物理的认知过程[J]. 大学物理, 2018, 37(1): 21-24.
- [4] 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.
- [5] 穆良柱. 什么是 ETA 物理解题法——素质与应试的统一[J]. 物理与工程, 2024, 34(6): 5-12.
- [6] 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.
- [7] 穆良柱. 物理课程思政教育的核心是科学认知能力培养[J]. 物理与工程, 2021, 31(2): 9-15.
- [8] 樊祥民, 陈素娟. 基于物理认知模型的教学设计——以“平抛运动”教学为例[J]. 物理教师, 2020, 41(10): 25-28.
- [9] 李银. 基于“ETA 物理认知模型”建构《静电场》大单元教学设计——大学物理教学成果对中学物理教学的启迪[J]. 物理与工程, 2023, 33(1): 157-161.
- [10] 其木格. ETA 物理教学法在大学物理教学中的应用——以“稳恒磁场”教学为例[J]. 物理与工程, 2022, 32(3): 50-55.
- [11] 杨琴, 刘应开, 李红印. ETA 物理认知模型在高三物理习题教学中的应用——以“运动和力的关系”习题教学为例[J]. 中学物理教学参考, 2024, 53(6): 44-47.

-
- [12] 其木格, 吕琦. 基于 ETA 物理教学法的教学设计与实践——以“非纯电阻电路的电功及电功率”为例[J]. 物理通报, 2023(9): 156-159.
- [13] 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.
- [14] Bhamla, M.S., Benson, B., Chai, C., Katsikis, G., Johri, A. and Prakash, M. (2017) Hand-Powered Ultralow-Cost Paper Centrifuge. *Nature Biomedical Engineering*, **1**, Article No. 9. <https://doi.org/10.1038/s41551-016-0009>