

# 物理学科本质视域下的大学物理教育

张俊, 胡光, 唐亚陆, 崔玉

淮阴工学院数理学院, 江苏 淮安

收稿日期: 2023年10月16日; 录用日期: 2023年11月17日; 发布日期: 2023年11月24日

## 摘要

面对日新月异的科技发展, 培养具有独创性思维的创新型专业人才, 是当前高等教育的首要任务。本文基于物理学三维结构模型, 提出物理学科本质极其构成要素, 从物理学科本质角度出发, 从教学实践角度提出大学物理教学改革建议, 为物理教育研究提供了新的视角, 促进创新型人才的培养。

## 关键词

科学本质, 物理学科本质, 物理核心素养, 教学改革

# College Physics Education from the Perspective of the Essence of Physics

Jun Zhang, Guang Hu, Yalu Tang, Yu Cui

Faculty of Mathematics and Physics, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an Jiangsu

Received: Oct. 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Nov. 17<sup>th</sup>, 2023; published: Nov. 24<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In light of the dynamic advancements in technology, the primary aim of higher education is to cultivate innovative individuals with creative abilities. This article adopts a three-dimensional structural model of physics to elucidate the fundamental nature and constituent elements of physics. By examining the nature of physics and drawing on teaching methods, the article proposes suggestions for improving college physics instruction. As a result, it presents a novel viewpoint for research in physics education and supports the cultivation of innovative individuals.

## Keywords

Nature of Science, Nature of Physics, Core Physical Literacy, Teaching Reform

Copyright © 2023 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

物理学是人类在对自然的观察、实践和认知中不断深入发展的学科，其研究成果和方法对社会发展、人类观念产生了深刻变化，也必将对未来科技发展和社会进步起到重要作用。因此，各高等院校理工科专业都开设了《大学物理》课程，以助力大学生养成科学的数理逻辑思维，提高大学生科学素养、创新思维和职业发展潜力。从大学物理教学内容上来看，涵盖了力、热、电、磁、光、近代物理等内容，其中还穿插了科技前瞻性内容，内容跨度大。由于我们国家的物理教育是“螺旋式上升”的，在刚接触大学物理时，很多内容尤其是力学部分的概念是中学物理的拓展，很多同学认为比较“简单”，存在一定的轻视思想；而随着教学的深入，又出现了理解困难、高等数学应用困难、缺乏解题思路等问题，所以如何有效实施大学物理教育，是物理学教育界一直在不断思考的问题。

大学物理从其学科性质上来说，是具有绪论性、方法论性质的课程，为大学专业的学习提供基础思维训练，所以大学物理的教学不仅要让学生掌握物理学的基本概念、基本理论，更要注重科学素养的培养，让学生在之后的专业课程中，能够顺利理解和应用相关的物理学原理，促进相关的学科学习和科学研究。那么从物理学科本质出发，物理学科的核心本质是什么？其基本构成要素是什么？这些问题影响了大学物理学科教育。本文从物理学科本质视角出发，探索大学物理教学模式，为培养优秀的现代化专业人才奠定基础。

## 2. 物理学科的本质

1989年，美国科学促进协会在《面向全体美国人的科学》中，对科学的本质从科学世界观、科学探究、科学事业三个方面进行了阐述，对科学素养的定义为：“理解科学核心概念和原理；熟悉自然界，认识自然界的多样性和统一性；能够按个人和社会目的运用科学知识和科学的思维方法”[1]。总结起来，就是要培养学生必备的基础学科知识，培养科学的思维方式，形成科学的世界观。物理学属于科学，因此在很多情况下，研究者直接用科学的本质来解释物理学科的本质[2]。从物理学科本身角度来说，物理学科的本质与科学本质有交集但也存在很大不同。

二十世纪70年代，美国学者霍尔顿提出了物理学的三维模型，即：基于实验的X、物理思想的Y和数学的Z[3]。这种模型奠定了物理学学科结构和教学规律的研究基础，也是物理学科本质的基本构成要素。这些基本构成要素相对比较简略，深入分析这些基本要素，有助于我们深入理解物理学科的本质，并有助于指导教学实施。

从物理学本身出发，物理学思想是对物理学的知识以及研究方法的深层认知，包含了物理知识与方法，是物理概念和物理规律的凝练与升华形成的物理学观念。因此，物理学科本质要素可认为是物理实验、物理知识、物理方法与数学应用。

此外，物理学思想还包含着深刻的科学与人文精神。利用物理学观念去解释人们生活中遇到的各种问题，有助于人们形成正确的物质观、世界观，对人生观、价值观有着极大的影响，对人格的发展起到了塑造作用，因此，物理教育一方面要通过物理知识的讲授培育科学精神，另一方面还需要进行人文精神的教育，以展现对人类精神文化的敬畏，关切并维护人类的普适价值。所以物理学科不仅要培育科学精神，还必须重视人文精神的教育，避免落入唯科学主义论[4]。

综上所述，我们从霍尔顿的三维模型出发，通过对物理学思想的解构，将物理学科本质概括为：物理知识、物理方法、物理思想、数学、物理实验、科学与人文精神等六个层面，在教育教学中也应从这些层面出发，实现教育目标。

### 3. 物理学科本质的解读

#### 3.1. 知识本质

物理学是人类对自然世界的观察、实践活动中，对客观世界的认知，包括感性认知与理性认知。感性认知主要反应的是对事物的客观现象和外部联系，主要是表象认知；理性认知则是对事物的本质属性及内部关联认知，主要表现是形成基本概念和原理。物理学科就是科学总结物理学中的概念和原理，利用数学工具形成严密的理论科学，具有严格的逻辑体系。对于这种物理学体系，如何实现物理学的本质教育，就需要从物理学本质出发，培养学生物理学的认知。

对教育来说，其根本在于传承知识并教会人思考，最终使个人能力得以升华。比如在弹性力中，我们一般的定义都是“因外力产生形变后的回复力”，尽管我们学生对支持力、张力等中学的基本概念有了一定的了解，但是对其产生的本质并不清楚，在大学物理教育中，就必须深入阐述这一产生的微观机制，即分子力的作用机制。进一步来可以阐释，相对于分子来说，所谓的接触是分子外层电子的接触……这些物理学概念的阐释，跨越了物理学数百年知识，深入到物理学现象形成的微观机制，这才能让大学生触及到物理知识的本质，并认识到物理学发展的思想与历程。

#### 3.2. 方法本质

物理方法是物理学的重要组成部分，是在认识和改造物理世界过程中形成的具象化的物理学概念，是人类对世界认知的途径和方式，它对构建物理学知识有着重要作用。比如物理学的量纲中，物理量各种单位的来源及其定义。速度、加速度、电场强度、电势等相关物理量都是利用物理量的比值进行的定义，都是为了得到某些物质的本身属性[5][6]。从确定物理量的单位，再到各种比较复杂的物理量的定义，比如电流的单位等，让学生认识到，我们今天的物理量、物理定律，都是无数科学家在认识和改造自然界中形成的方法论的集合。对这些物理方法的认知，能够促进学生对科学研究方法的思考和应用。

#### 3.3. 思想本质

物理思想是物理学家在研究和探索物理学过程中所形成的思想内涵，包括物理学家思考与灵感来源，是众多物理学家形成的思想结晶，并引领了物理学的发展和完善[7]。物理学思想主要包括：对称思想、等效思想、不可逆思想、转化思想等十大类。以库仑定律为例，库伦在进行实验之前，认为电荷之间受力与万有引力类似，具有距离平方反比特性，并通过库伦扭秤进行验证，从而得出正确的结论。正是因为他的这种等效思想，让他成为电学研究的奠基人；再比如，爱因斯坦从等效原理出发，在思考惯性质量与引力质量的过程中，发展出相对论。

#### 3.4. 数学本质

物理学的基础是实验，但物理学形成的定律则是物理学的主干。人类与自然的对话必须使用数学描述，物理定律都要用数学式子来表示，数学是物理学阐述、解释物质世界的语言和工具，所以，数学是物理学的本质构成要素之一。

在物理学中，所有的物理学定律的最终形式都是简洁的。比如质能方程  $E = mc^2$ ，再比如薛定谔方程  $i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi$ 。尽管从物理学推导过程来看，数学应用很复杂，但是最终的物理学理论框

架都是简洁的。杨振宁教授在《美与物理学》中，将数学列于物理学最基础的位置，并用“双叶关系”来形容两者[8]。在物理教学中，有必要详细阐述数学尤其是高等数学的分析和应用。

### 3.5. 实验本质

物理学是一门以实验为基础的科学，伽利略之所以被称为近代物理学奠基人，就在于他首创了研究自然科学的新方法，即实验和科学推理方法[9]。实验就是利用各种仪器和设备，分析各种物理要素并排除次要因素的干扰，去研究、验证物理现象及其规律的活动。在开设大学物理课的专业，基本都开设了相应的物理实验课程。当然，作为大学生来说，一定要教导他们“做什么不重要，为什么做才重要”的思想。因为如果只把实验看作操作过程，而没有相应的思维过程，物理实验“不重要”的观念一定会喧嚣尘上，而这也是大学物理实验教学中的常态。很多学生只知道操作仪器，但是对实验原理、实验现象、数据处理等过程则不重视甚至漠视，这会造成实验与教育本质严重脱节。

### 3.6. 科学与人文精神

虽然物理学是自然科学，但是物理学包含了丰富的人文精神。人类的人生观、价值观、世界观会随着现实世界发生变化。当前，因为各种科技的应用，人们对科学并不陌生，对自然世界的理解和对精神生活的追求也发生着相应的变化。科学精神是对求真务实的科学价值取向的追求，人文精神则是对真善美等人类普适价值的追求。科学精神与人文精神在推动人类文明进步方面是相辅相成的，在人类发展史中是共存的。科学保证了人文精神的实现，人文精神则保证了科学的正确发展方向。

正是人文精神的缺失，科学家弗里茨·哈伯成为了“化学战之父”[10]。一战时期的首次毒气战就有一万五千人中毒，五千人在窒息中死亡。二战后，爱因斯坦等一大批科学家意识到核战的威胁，为反对核战争奔走[11]。正是因为这些科学家的努力，减缓了核军备竞赛。没有科学精神，人类进步会极其缓慢，甚至有被淘汰的威胁；但只执着于科学，会使人只知“丛林进化论”而忽视人文精神，同样可能导致人类灭亡。所以，当技术飞速发展时，人类更需要人文精神审视科学前进的方位。

## 4. 物理学科本质对教育的启示

### 4.1. 综合创新内容体系

中国的初高中以至大学物理教学内容是螺旋式上升的，因此有必要对大学物理的内容进行相应的调整。在教学内容上，开发具有启发性的学习内容，结合生活经验，有助于真实问题情境的建构与解决；在形式上，激发学生主动参与、主动学习、主动探索。

比如在万有引力定律教学中，由于学生对万有引力概念已经很熟悉，可以通过综合、总结相关的物理教学内容，引导学生去思考： $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ，能不能够说明  $r \rightarrow 0$ ， $F \rightarrow \infty$ ？为什么？如果将地球挖通，那么掉入洞中的小球是怎样运动的？从高等数学角度怎么去解释这种现象？由此展开面元、立体角等数学概念的应用及讨论，如图 1。这样，既增强了学生对物理概念的理解，又加强了他们对高等数学在物理学中的应用能力培养，实现学生对知识通识性和前沿性的结构性把握。再进一步还可以讨论：为什么引力质量与惯性质量是一样的？科学依据在哪里？这样逐步引导内容的深化，既让学生不至于有“重复”太多的思想懈怠，又能够让学生了解物理学发展的过程，增强学习兴趣。

### 4.2. 重视物理学方法演绎

在既定教学目标的基础上，注重物理原理及物理思想的理解和掌握，着眼于对典型物理问题的解决过程，以及在此基础上的演绎、推广，学习物理概念运用的精髓。

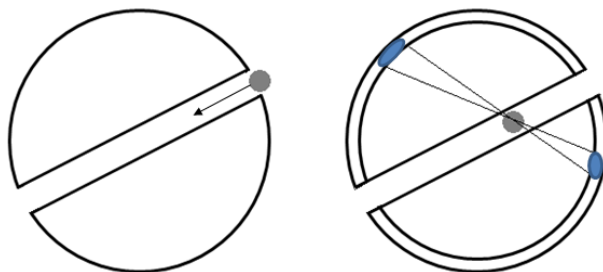


Figure 1. Example diagram of gravitation extension  
图 1. 万有引力拓展示例图

比如在刚体转动教学中，尽管学生高中阶段没有接触过刚体概念，但由于学生对质点运动学非常熟悉，因此在教学中可以采用知识的衍生、拓展式教学。如图 2 中，这三个物体分别受到大小相等的力的作用，分别会如何运动？B 与 C 的区别在哪里？那么 B 受到的这两个力会做功吗？功是能量转化的量度，这些功到哪里去了？通过逐步深入引导思考，再结合牛顿定律，引入  $E_k = \frac{1}{2}J\omega^2$ ，展开转动惯量的讨论，并与惯性质量进行对比，讨论其异同。这种对比，有利于从直观上理解转动过程中惯性的概念。

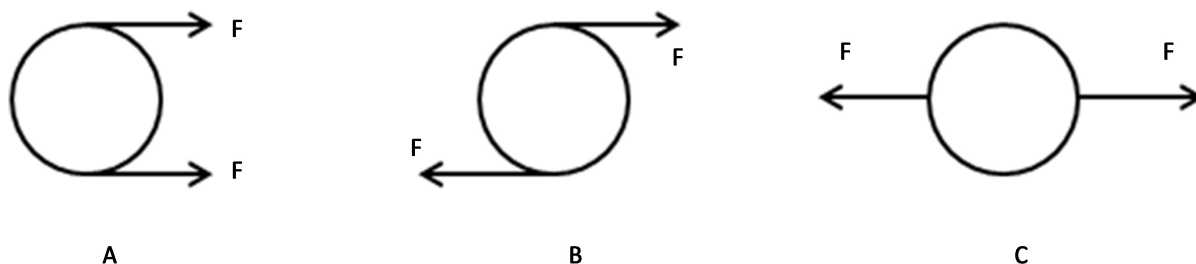


Figure 2. Schematic diagram of rigid body rotation  
图 2. 刚体转示意图

再比如在热学部分，定体摩尔热容、定压摩尔热容等物理概念在中学并没有接触，可以将其与中学的比热概念进行类比，它们在物理概念上的不同，是因为气体与固体、液体的不同，而其公式的形式则类似，这种类比，有助于形象记忆与物理概念的掌握。

#### 4.3. 重视高数应用能力的培养

高等数学是大学物理的基础研究工具。而由于课程设置和高等数学追求自身逻辑等问题，学生对高等数学应用能力比较欠缺。物理问题的求解，基本思路就是先建立物理模型，再根据模型应用数学方法求解。只有真正清楚高等数学的相关概念及求解思路，才有进一步研究的可能。

比如对于速度的定义， $v = \frac{dr}{dt}$ ，学生都能够写出相应的微分式，但是对技术应用中，如何得出瞬时速度则没有概念，这会影响到他们对物理定律的认知。这时，可以引导学生思考气垫导轨实验中，如何测量瞬时速度。在技术上，是计算极短时间内通过的距离，并求其比值获得瞬时速度，即： $dv = \frac{dx}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ，从而让学生明白，数学中极限与微元的含义。这样不仅有助于学生正确理解数学相关概念，对其在物理学中的应用也有着进一步的认识。

#### 4.4. 重视实验与理论结合

教学中，注意结合实验现象的讲解。比如，在讲解转动惯量中，如果用一根细铁丝把重物挂起来，

如图 3 所示, 让重物微小角度转动时, 会观察到什么现象? 这与单摆现象有何共同之处? 这说明物体在转动过程中也会发生与单摆类似的周期性运动, 那么这种周期性运动和什么有关?

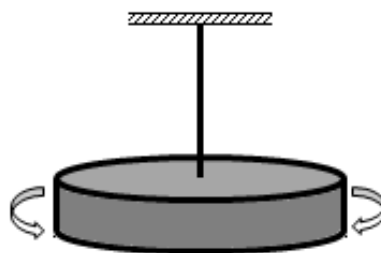


Figure 3. Moment of inertia measurement  
图 3. 转动惯量测量

根据转动定律,  $M = J\alpha$ , 这里转动的力矩由悬丝提供, 且始终与转动方向相反, 因此  $M = -K\theta$ 。  
 $-K\theta = J \frac{d^2\theta}{dt^2}$ , 假设  $\frac{K}{J} = \omega^2$ , 则  $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0$ , 解得:  $\theta = \theta_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$

在周期性运动中,  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{K}}$ , 假设已知  $K$ , 则只需要测出周期  $T$  的值即可求出转动惯量  $J$ 。

通过解题过程, 让学生清楚测量的原理, 让学生看穿复杂的测量过程, 直接获得其核心知识。其后, 可以督促学生思考有没有更好的方法测量? 如何用其它器具替代铁丝? 通过这些实验现象的讲解, 让学生理解物理实验的目的, 也能够让学生思考物理测量方法的改进。再比如在绝热过程的教学, 可以让学生对手心进行哈气和吹气, 让他们体会感觉到的不同, 进而启发学生联想在电饭锅出气孔处, 蒸汽所形成的运动轨迹, 想象手在不同位置感受到的温度, 总结成因, 增强学生对具体物理概念形成过程的了解, 有助于对具体问题的分析、拓展。

#### 4.5. 关注科学与人文精神的思考

物理学与人文精神是相辅相成的, 在物理学教育中关注要物理学与人文精神的培养, 这也与教育界最近推进的课程思政是一致的。文化的传承是人类存在的灵魂, 作为基础学科, 物理学要注意学生在学科教育中对人文、科学的思考, 要强调人类对优秀文化成果的继承与发扬, 注重让学生发展成为有着科学背景的有着高尚精神追求的人, 要求我们培养的学生兼具科学精神和人文情怀。就像我们前文所提到的爱因斯坦, 正是因为他注重物理学的科学价值和社会价值, 为世界和平贡献了自己作为学者的人文情怀。与之相反的朗道, 虽然在科学界是一位大师, 但是他利用自己的学术权威, 打击异己, 使得其学派的学生只能仰其鼻息, 遭人非议。即使现在的高校, 仍存在着类似的学术霸凌现象, 所以将科学与人文精神融入教学是必要的, 培养具有社会责任感的适应新时代发展的人才, 这也是课程思政的目的。

### 5. 结语

本文从霍尔顿物理学三维结构模型出发, 提出物理学科本质的构成要素, 并对相应的构成要素进行分析, 为大学物理学科的教育研究提供了新的视角, 为高等院校的课程改革提供参考, 以实现高质量的教学改革。

### 参考文献

- [1] 美国科学促进协会. 面向全体美国人的科学[M]. 中国科学技术协会, 译. 北京: 科学普及出版社, 2001: 3-11.
- [2] 邢红军, 董鑫鑫, 石尧. 论物理学科本质及其对物理教育的启示[J]. 物理实验, 2022, 42(4): 57-63.

- [3] Gerald Holton. 物理科学的概念和理论导论(上册) [M]. 张大卫, 戴念祖, 等, 译. 北京: 人民教育出版社, 1983: 323-325.
- [4] 邢红军. 物理学科核心素养: 透视、商榷与重构[J]. 教育科学研究, 2018(11): 5-14.
- [5] 许冉冉, 邢红军. 电动势教学的高端备课[J]. 物理教师, 2016, 37(5): 6-8.
- [6] 邢红军. 按照比值定义法的本质改进高中物理概念的编写[J]. 物理教师, 2004, 25(4): 5-7.
- [7] 邢红军, 张抗抗. 论物理思想的教育价值及其启示[J]. 教育科学研究, 2016(8): 61-68.
- [8] 杨振宁. 美与物理学[J]. 物理, 2002, 31(4): 193-199.
- [9] 李巧梅. “伽利略对话体著作中科学思想与方法探究”专题下的跨学科教学探索[J]. 中国教育学刊, 2023(S2): 51-52.
- [10] Sarah, E. (2015) German Chemists and Chemical Weapons: Fritz Haber and His Legacy. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*, **249**, 65-7727.
- [11] 陈晨星. 爱因斯坦的最后宣言[J]. 党员文摘, 2020(9): 48-49.