

电磁观念的层次划分与高三复习阶段的教学建构策略

解学仁（浙江工业大学附属德清高级中学 浙江 313200）
颜国英*（广西教育研究院 广西 530028）

摘要 文章依据课程标准中物理观念的表述提出电磁观念，结合教学实际指出电磁观念建构的重要性。把电磁现象、电磁概念规律、电磁观念作为一个维度，结合教材梳理电磁相关内容形成另一个维度，由此对电磁观念进行层次划分，最后提出高三复习阶段建构电磁观念的三种教学策略。

关键词 物理观念 电磁观念 层次划分 高三复习阶段 观念建构策略

文章编号 1002-0748(2024)6-0012

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

1 电磁观念的提出

高三教学复习中提问：电生磁与磁生电中的“电”的含义是什么？回答问题的学生基本上把“电”理解成电流，即电流产生磁场、磁场产生感应电流，这是对电磁关系低层面的认知。更上一层面的有关电场与磁场相互转化、电磁场与电磁波作为一种物质形态及其本质机理等，学生对此的认知更加模糊碎片化。在解释如图1所示的电磁现象时，很多教师从阻碍磁通量变化与切割磁感线受安培力这两种思路展开解释，为此觉得很圆满。若深究下去，同一个物理现象用两种模型解释，这两种模型本质是否统一？选择不同参考系会出现不同的物理现象：磁体移动时周围有电场产生而线框移动却没有电场产生。对此，很多教师并没有做进一步思考，可见教师对电磁相关内容的认知也需要作提升。

课程标准指出，物理观念是从物理学视角形成的关于物质、运动与相互作用、能量等的基本认识，那么从高中物理电磁学视角对物质、运动与相互作用、能量等的基本认识可称之为电磁观念。高中电磁相关内容包括：电场、电路、磁场、电磁感应、交流电、波动光学、原子物理、狭义相对论、物质波粒二象性，其中电磁场、电磁波、物质波这种非实体物质形态使师生的认知产生很大的观念变革。正如爱因斯

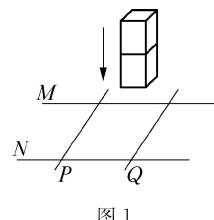


图1

坦指出：“场的物质性观念变革是物理学自牛顿以来的一次最深刻、最富有成效的变革。”

电磁观念的形成不仅有助于学生进一步掌握电磁学概念、规律，也为学生后续学习量子力学等物理学内容提供了基础，同时提升学生对物质观、运动观、时空观、能量观等物理观念的理解。

2 电磁观念的层次划分

课程标准中“物理观念”是从三个方面来表述的，是以物理现象为基础，对物理概念规律的提炼和升华。表述表明，通过对电磁现象的分析解释过程形成了电磁相关概念规律，在对物理概念、规律的分析提炼过程中形成了电磁观念。因此把电磁现象、电磁概念规律、电磁观念作为电磁观念表述的一个维度。

对高中教材中电磁相关内容的梳理发现，从电场到磁场，从电磁感应到电磁场，从电磁波到光波，从黑体辐射到光电效应，从原子光谱到氢原子量子化模型、从电磁波到物质波，循着历史足迹循序渐进，符合认知水平层次分明，突出电磁内容的内在联系利于教学，因此把电磁内容认知水平的有序提升作为另一个维度，形成如下层次划分。

层次1主要突出电场与磁场是独立的，正如吉尔伯特在1600年出版的《论磁、磁体和作为一个巨大的磁体的地球》一书中指出电现象和磁现象之间的差异，认为电和磁是两种截然无关的现象，但表明电场与磁场的客观存在性。

* 通讯作者：颜国英。

表 1

| | 电磁现象 | 电磁概念规律 | 电磁观念 |
|---------|-------------------------|-----------------------------|------------------|
| 层次 1 | 摩擦带电吸引轻小物体、电场力做功、电容器充放电 | 正负电荷、元电荷、电子转移、电场、电势、电势差、电场能 | 电场的客观性 电场的力属性 |
| | 磁体吸引铁物质、高温退磁、地球是大磁体 | 磁化、磁极、漏磁、磁偏角、磁场 | 磁场的客观性 |

层次 2 基于奥斯特实验以及电磁感应现象,突出电与磁的相互联系和转化,通过分析电荷在电场中加速与偏转,通过分析电荷在磁场中受洛伦兹力不做功,突出电场与磁场的动力学性质以及理解电场能与磁场能。

表 2

| | 电磁现象 | 电磁概念规律 | 电磁观念 |
|---------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| 层次 2 | 闪电改变钢铁物件磁性、奥斯特实验、安培的平行通电导体吸引排斥实验 | 安培环流说、磁场、磁感应强度、磁场线与磁通量、推导出电流元相互作用的规律 | 电生磁 |
| | 阿拉果的实验、法拉第日记实验、亨利的磁生电流与电火花的自感现象 | 感生电流、感生电动势、磁通量改变、法拉第电磁感应定律、交流电源与交流电路 | 磁生电;远距离输电 |

层次 3 突出非实体的“感生电场”、电磁场、电磁波,建立了完整的电磁场理论体系,不仅科学地预言了电磁波的存在,而且揭示了光、电、磁现象的内在联系及统一性,完成了物理学的又一次大综合。

表 3

| | 电磁现象 | 电磁概念规律 | 电磁观念 |
|---------|---|--|-------------------------------------|
| 层次 3 | 法拉第的力线思想、变化的磁场产生感应电流 | 涡旋电场,用数学精准表述力线思想;电磁场规律(麦克斯韦方程组) | 类比思想:带电导体静电力分布与固体热流相比较;电现象和弹性现象的类似性 |
| | $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$; 赫兹实验、LC 震荡电路、无线电波 | 电场和磁场两者相互垂直并都垂直于传播方向,构成了统一的电磁场以横波的形式在空间以光速传播; 振荡电偶极子,本质是球上电量的正弦式变化,等效于一个交变电流元 | 电磁波的客观性、物质性; 预测光是电磁波 |

杨氏干涉实验、牛顿环、衍射现象

光的波动性,满足惠更斯原理;

光是电磁波

续 表

| | 电磁现象 | 电磁概念规律 | 电磁观念 |
|---------|--------------------|------------------------|-------------------------------|
| 层次 4 | 象、泊松亮斑 | 光的干涉,测定光的波长; 光的衍射现象 | |
| | 冰洲石双折射现象、起偏器、布鲁斯特角 | 光的偏振现象表明光是横波 | 电场和磁场两者相互垂直并都垂直于传播方向,而且不会发生干涉 |

层次 4 涉及诸多经典的物理实验,提出能量量子化,明确了电磁波形成的“跃迁”机理,突出物质波观念,认识到普朗克常数的重要性,认识相对论时空观与经典力学时空观的差异,初步建立对量子力学的一些基本认知。

表 4

| | 电磁现象 | 电磁概念规律 | 电磁观念 |
|---------|--|---|--|
| 层次 4 | 麦克斯韦方程组没有涉及两个不同参考系问题,引入洛伦兹变换 | 对两个参考系中的电磁场量之间的变换方程以及电磁场方程的协变性问题 | 不同参考系具有相同的形式,同时性的相对性,相对论时空观,并得以验证 |
| | 黑体辐射的实验研究; 光电效应现象 | 普朗克常量 h 是大自然的基本常量之一; 1905 年爱因斯坦提出光量子概念,解释光电效应,揭示了光的粒子性,进而提出光的波粒二象性 | |
| 层次 4 | 原子光谱实验 | “原子塌陷”,电磁理论不适用; 里德伯常数,玻尔原子结构假设 | 玻尔量子论,定态和跃迁概念 |
| | 康普顿效应 | 波长变长的光子模型解释; 光子具有能量 $E = h\nu$ 和动量 $p = h\nu/c = h/\lambda$ | 证实了光子假设的正确性、微观世界能量守恒和动量守恒定律 |
| 层次 4 | 电子衍射(电子轰击镍靶)、氢分子束和氦原子束对准氟化锂晶体的整理面、中子在铁上的衍射 | 粒子性和波动性的联系: $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = h\nu$ $p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ $= \frac{h}{\lambda}$ | 1924 年德布罗意提出物质波假说,他设想每一个运动的粒子都和一个对应的波相联系 |
| | 复杂原子的光谱 | 薛定谔根据德布罗意的物质波思想,建立了薛定谔方程 | 玻恩认为微观领域中单个粒子本身也是不确定的,概率是第一性的,在原子世界中放弃决定论; 爱因斯坦反对这一概率解释,深信上帝不是在掷骰子 |

3 电磁观念的教学建构策略

学生对电磁概念规律的认知是一个不断内化、螺旋上升的过程,进而形成电磁观念,同时概念结构越完整越有序,就越利于建构电磁观念。高三便是一个很好的教学阶段,为此结合自身高三教学中的一些实践提出以下电磁观念的建构策略。

(1) 关联电磁内容的概念与规律,帮助学生建构完整的认知结构。

梳理电磁相关概念并设计教学呈现方式,在此基础上让学生辨析,进而帮助学生提炼和升华。

比如课堂提问学生:关联“电”的概念有哪些?让学生回忆,交流归纳出如图 2 所示的概念图,然后教师找相近概念,比如静电场、稳恒电场、涡旋电场,请学生说说这三个概念的逻辑关联与差异,学生若表达不佳教师不要急于呈现结论,而是鼓励学生去看教材,几分钟后再展开讨论。接着从中选出尽量

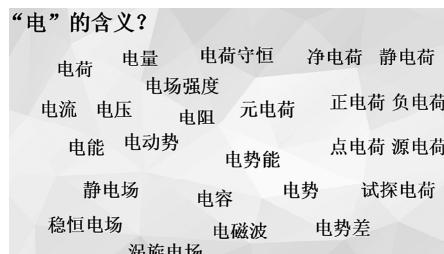


图 2

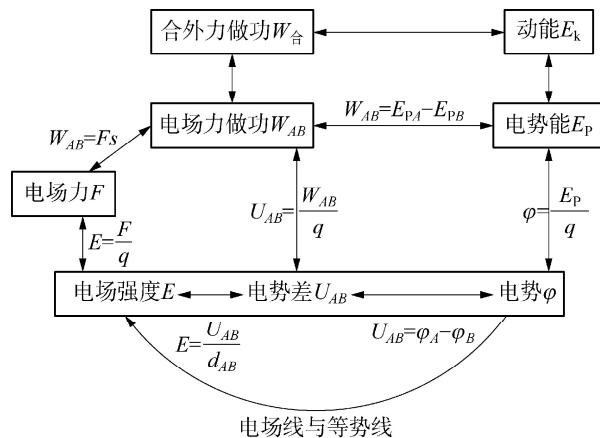


图 3

多的概念让学生串接,形成概念串,比如电场章节可形成如图 3 所示的概念串接图。一节课过程可以帮助学生形成较为完整的概念规律的内在结构,能更好地提炼概念规律,转化为与电磁相关的一些观念。

为加强学生对概念的深入理解,笔者开展了“概念再回首”系列专题,高三后期回头看某一概念时已经不再是单一的、零碎的,而是从大单元整体性来认识,通过横向发展轴看,也从纵向关联线看,两方面展开形成一个整体认知。比如“物质——渐明又糊的物理学研究对象”这一专题,设计了如图 4 所示的教学路径。

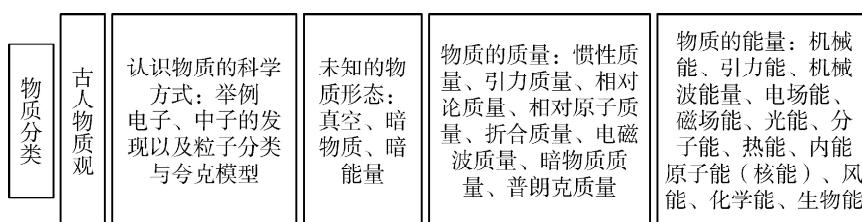


图 4

通过这种整合与呈现,学生能更好地自我内化“物质观”,形成相关的电磁观念,也进一步激发了对物理学习的兴趣。

(2) 结合物理实验,关联历史故事,帮助学生更丰富体验电磁认知。

电磁内容中有很多演示实验,设计好演示实验的教学要素,特别是其中与科学家相关的认知以及真实的历史进展,通过教学激发学生的学习兴趣,在潜移默化中促进学生电磁观念的形成。

例如奥斯特实验,很多老师觉得没有必要演示,若把该演示实验改为学生操作,教师只要增加奥斯

特所处时代背景的讲解,就可以让学生在更高层面上理解该实验,激发学生的学习兴趣。

又例如让学生观察牛顿环的鱼眼条纹动态变化,该实验现象体现了光的波动性,而牛顿更倾向于光的微粒说,那他如何在理论上自圆其说? 学生对此一定更加感兴趣。在 1704 年(胡克死后一年)发表的《光学》著作中,牛顿认为“光微粒在介质界面处所激起的以太振动会在介质中传播开,而且是快于光速的,因而可以追上光线。由于这种追得上光线的以太振动的作用,使光微粒时而被加速时而被减速,从而使它一阵容易透射,一阵容易被反射,形成周期性间隔”。

把这些内容呈现给学生,让学生讨论分析,课堂表现非常活跃,也同时让学生明白个人观点的错误是一件很正常的事情。直到 1804 年托马斯·杨完成双缝干涉实验,干涉原理可以科学地解释“牛顿环”现象。

(3) 结合问题解决,帮助学生学会在利用电磁观念思考解决问题的同时建构电磁观念。

对物理观念的考查,浙江省 2021 年 1 月份的物理选考卷中出现过,针对量子计算机“九章”处理“高斯玻色取样”的速度比目前最快的超级计算机“富岳”快一百万亿倍,问学生关于量子的电磁观念是连续还是不连续?类比哪些对象?

① 问题专题化,提升电磁观念的水平层次。

例题 下列有关波动现象的特性与应用的说法中正确的是 ()

(A) 医院用“B 超”仪器设备诊断人体内脏,是利用超声波的多普勒效应

(B) 5G 通信技术(采用 3 300~5 000 MHz 频段),相比现有的 4G 通信技术(采用 1880~2 635 MHz 频段),5G 容量更大,信号粒子性更显著

(C) 在镜头前装偏振片,可以减弱镜头反射光

(D) 电子显微镜的电子束速度越大,电子显微镜分辨本领越强

本题的几个选项把相关的概念或观念放在一起,通过辨析能较好地帮助学生理解并形成电磁观念。选项 A 对比了“B 超”与“彩超”,B 超利用超声波的反射时间与强弱,而“彩超”利用多普勒效应判断血液流动速度的大小与方向;选项 B 对比了“5G”与“4G”,5G 采用 3 300~5 000 MHz 频段,而 4G 采用 1 880~2 635 MHz 频段,5G 容量更大,信号的频率更大,所以粒子性更显著;选项 C 对比了“偏振片”与“增透膜”,在镜头前装偏振片,利用透射光是

(上接第 29 页)

等,并且量纲分析表明它具有质量的量纲,这充分验证了“质量是惯性的唯一量度”。

4 小结

通过 DIS 实验,我们可以更好地利用数据解答学生在面临表 1 中的两种情境时产生的疑惑。 F 、 t 和 $(v_t - v_0)$ 都是物体运动状态改变的难易程度的外在表象,透过现象究其本质,质量才是惯性大小的唯一量度。

在 DIS 实验不断发展的今天,作为物理教师要善于利用 DIS 技术的灵活性和便捷性的特点,引导

偏振光,可以减弱透射光,而增透膜是利用相消干涉增加透射光;选项 D 对比了“光学显微镜”与“离子显微镜”“电子显微镜”,可见光波长比电子长,而波长越短对应的分辨本领越高,电子显微镜中电子束速度越大,能量越高,对应的频率越高,波长越短分辨率越高,还可进一步拓展“不确定关系”。

通过这样的对比关联,能尽快提升学生的电磁认知,促进电磁观念的形成。

② 问题真实化,提升电磁观念的水平层次。

例如:光缆利用可见光传输信息,其他波段的电磁波能利用光缆传输信息吗?远距离高压输电系统可以传播可见光信息吗?

这一真实问题包含诸多电磁认知。光缆利用全反射原理传播可见光,因 X 射线频率很高、能量更大,能穿透光缆材料故无法采用;因光缆材料含共振吸收紫外线电子跃迁的材料,对紫外线来说也不能传播;因无线电波波长较长,其传播不需要光缆传播,往往在空中直接传播电磁能量。可见光也可以直接在空中传播,比如激光,也可以携带信号,那可见光为何用光缆线传输?因为大气状况不稳定,同时雾、沙尘、雨雪等天气变化影响可见光在空中的传播,而借助光缆输送能更稳定。

远距离高压输电系统传播的是频率只有 50~60 Hz 的交流电,其本质是电场力推动电子移动,若用高压输电线输送可见光信息,因能量级别不同,估计设备无法承受高能态。

参考文献

- [1] 赵凯华,陈熙谋. 电磁学(第 3 版)[M]. 北京:高等教育出版社,2011.
- [2] 蔡铁权,郑璐. 物理观念的内涵、层次和架构[J]. 物理教学,2019(6):2—5,70.

学生通过 DIS 实验探究问题的本质,创造出高效思维的物理课堂。

参考文献

- [1] 李娟. 基于概念转变的教学活动设计和实践——以“牛顿运动定律”为例[J]. 物理教师,2021(4):7—10.
- [2] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2022 年版)[S]. 北京:北京师范大学出版社,2022.
- [3] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020.
- [4] 彭前程,黄恕伯. 普通高中教科书 物理(必修第一册)[M]. 北京:人民教育出版社,2019.