

# 高中物理“双循环”课程内容设计模式下的教学设计\*

——以“电磁波的发现及应用”为例

董鑫鑫

(首都师范大学教师教育学院 北京 100048)

李杰

(北京第十九中学 北京 100089)

邢红军

(首都师范大学教师教育学院 北京 100048)

(收稿日期:2021-03-17)

**摘要:**“电磁波的发现及应用”是高中物理教材的重点内容,因此,教材设计了“双循环”模式进行教学.开展电磁波初步教学就是要把握第一轮循环的教学要求,辨明两次循环的差异.通过设置振荡电荷模型阐释电磁波产生的机制,再以赫兹实验和技术应用凸显教学主旨,既能够说明电磁波的物理本质,又能突出教学的逻辑性,从而较好地体现了“电磁波的发现及应用”的物理本质.

**关键词:**电磁波 模型方法 赫兹实验单摆

## 1 教材编写分析

电磁波作为信息时代最重要的信息传播媒介,在很大程度上构建了如今万物互联的社会.可以说,电磁波当属推动现代社会生活方式发生深层次变革的重要物理媒介.在高中物理课程中,进行电磁波教学可以帮助学生认识科学、技术与生活之间的关系,意识到电磁波在信息时代对人类社会所起到的关联作用,能够充分反映学科育人的进步性和时代性.然而,如何认识电磁波的本质及其应用,却是以往高中物理教学中较少“驻足”的地方,不能不说是一个遗憾.新一轮课程改革后,“电磁波的发现及应用”处于高中物理教材的必修3,是全体学生必须学习的内容,在教学要求上反映了对电磁波教学的重视程度,也为高中分科奠定了知识基础.然而,新教材中电磁波的编写能否很好地实现教学目标,仍然是一个需要进一步讨论的问题.

首先,现行教材在编写上遵循“双循环”模式<sup>[1]</sup>,即在必修3对电磁波进行“初步”涉及,再在选择性必修2继续“深化”.“电磁波的发现及应用”一节教

学契合学生的认知发展水平,客观地降低了高中物理教学的难度.然而,分析《课标》要求,第一次循环有1节,其内容要求为:通过实验,了解电磁波,知道电磁场的物质性;通过实例,了解电磁波的应用及其带来的影响.第二次循环有3节,其要求为:知道电磁波的发射、传播和接收;认识电磁波谱,知道各个波段的电磁波的名称、特征和典型应用<sup>[2]</sup>.不难看出,第一轮循环相较于第二轮循环,教学要求更为基础,教学内容覆盖面基本一致,起着衔接后续教学的作用.但是,教材中“电磁波的发现及应用”一节压缩了教学内容,仅仅依靠理论引导和概念说明安排教学,忽视了电磁波产生的物理本质,将赫兹实验安排在“做一做”栏目中,导致教材内容的连贯性欠缺,这样的安排较难实现第一轮循环的教学目标.

其次,法拉第电磁感应定律揭示了电与磁的物理本质相互统一,当穿过闭合导体回路的磁通量发生变化时,回路中就产生感应电流,其实质是“变化的磁场产生电场”.麦克斯韦出于对物理规律“对称性”的认识,提出了“变化的电场产生磁场”的假设.于是,设想磁场与电场相互激发,预言了电磁波的存在.

\* 全国教育科学“十三五”规划2019年度国家一般课题“核心素养的关键能力构成及其表现研究”的研究成果,项目编号:BBA190024

作者简介:董鑫鑫(1993-),男,在读硕士研究生,研究方向为物理教学论.

通讯作者:邢红军(1960-),男,教授,博士生导师,主要从事物理教学论、教师专业发展研究.

在.教材在麦克斯韦对电磁波的预言上着墨较多,试图通过麦克斯韦的理论创见阐释电磁波产生的物理机制.然而,由于在中学教材中“电通量”和“位移电流”概念是缺失的.因此,教师在解释和说明电磁波的物理机制上往往难以言清,无法帮助学生解释清楚电磁波是如何产生的,导致学生只知道电磁波“为何物”,而不知“物为何”.

最后,教材对电磁场的传播缺乏清晰的说明,往往会导致学生产生模糊认识.教材基于“变化的电场和变化的磁场交替产生,由近及远地向周围传播”,构建了电磁波的产生与传播的示意图,如图1(a)所示.而在选择性必修2中,对于电磁波的传播则直接说明了电场强度与磁感应强度相互垂直,并与传播方向垂直,如图1(b)所示,从图中也可看出磁矢量和电矢量是同相的.在“电磁波的发现及应用”的教学中,示意图呈现的“交替产生”的物理意义则容易被误解为电矢量和磁矢量之间相位交错.这只能说明,示意图只说明了电磁波传播的大致状态,并没有交代清楚传播过程的细节.有学者分析,如果不说明电磁波的物理本质则会导致学生难以区分稳恒电场和涡旋电场的性质,而试图通过磁场的变化率来决定电场强度大小<sup>[3]</sup>,则会使学生在进入第二次循环之前对电磁波的物理本质一直存在错误的认识.

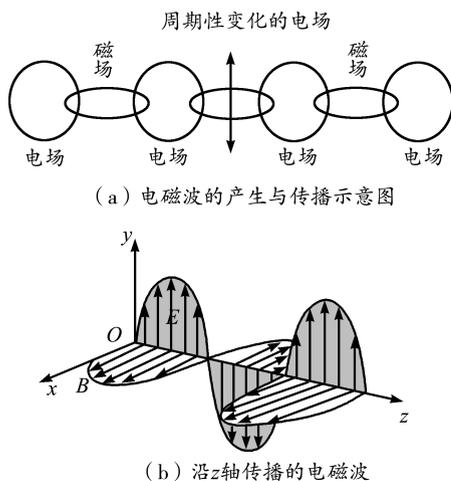


图1 电磁波在必修3和选择性必修3传播示意图

笔者认为,产生以上问题的根源,在于教材简化了复杂的麦克斯韦电磁场理论,未能较好地解决电磁波如何产生的问题.而教材内容的“留白”处理,又容易造成教材内容编写的理论线索缺失和思维链条断裂,导致在教学中很难取得好的效果.有鉴于此,本文以高端备课的理念出发,从微观机制入手,说明电磁波的产生和传播机制,并以实验与应用凸

显其“发现及应用”的主题.

## 2 电磁波发现及应用的教学设计

教学设计作为教学过程的提前谋划,首要任务就是对接学生.这不仅需要基于学生原有的认知水平,还需要分析教学进程和学生的知识基础.在“双循环”模式下,第一次循环同样需要把握好教学的“度”.基于这样的认识,我们设计教学过程如下.

### 2.1 理论具象 说明电磁波产生的物理机制

根据物理教学理论,直接依据抽象的麦克斯韦电磁场理论进行电磁波教学,对于高中生并不适合.因此,就需要将抽象的理论转化为容易理解的物理具象.鉴于学生已经学习过电场和磁场的概念,明确了电场线和磁感线这两个描述场的物理概念模型,这就为描述电磁波提供了最核心的具象工具.

麦克斯韦的电磁理论提出了“变化的电场产生磁场”和“变化的磁场产生电场”的假设,认为磁场和电场相互激发可以产生电磁波.依循这样的思路,只需要有变化运动的电荷和磁荷,便可以激发出电场和磁场.然而,麦克斯韦的电磁场理论并不容纳磁荷,所以,就无法以磁荷的运动来激发电磁场,因此,电荷便成为构建激发电磁场的必然选择.

振荡电荷模型可以激发“变化的电场”,它是由两个相距很近的等量异号点电荷组成的系统,正负电荷上下振荡的区域位于两条临界线之间,如图2所示.由电荷之间的库仑力作用和能量守恒定律可知,电荷加速度方向始终垂直指向中位线,电荷在彼此临近的运动过程中速度和加速度变大,当位于中位线时其速度和加速度均达到最大值;在远离过程中速度和加速度变小,当运动到临界线时速度为零,加速度达到最小值.电荷上下振荡呈现周期性变化的特点,符合麦克斯韦电磁场理论中变化的电场条件,因而可以形象描述电磁波的产生机制,帮助学生加深对电磁波本质的理解.

以振荡电荷运动的其中一条电场线为研究对象(图2).电场线由正电荷发出,接收于负电荷.在 $0 \sim \frac{1}{4}T$ 时间内,正负电荷由中间位置彼此远离,电场线被不断延长.当正负电荷运动到临界线后,两个电荷运动方向发生变化,开始彼此靠近.在 $\frac{1}{4}T \sim \frac{1}{2}T$ 时间内,电场线开始在形态上回缩.当正负电荷回到中间位置后,电场线最终在形态上发生闭合.

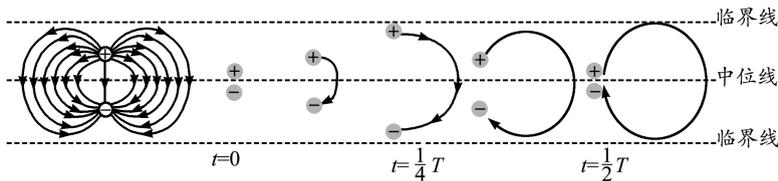


图2 振荡电荷模型

同理,在余下的半个周期内,电荷运动状态相同,但与前半个周期电荷相反.因此,电场线的形态变化情况相同,但产生的闭合电场线方向相反.并且,根据电场线模型相关知识可知,中位线上的电场强度随着电荷彼此临近逐渐变大,彼此远离则逐渐变小.

根据麦克斯韦电磁相互统一的观点,变化的电场产生磁场,那么振荡电荷在一定程度上可以视为是在振荡空间内形成的变化电流元,因此,同样可以产生磁场.在“磁场 磁感线”教学中,学生已经掌握了右手螺旋定则,知道变化的电流所激发的磁场与电场线相互垂直.通过“探究感应电流产生的条件”实验,得知磁感应强度变化与电流变化正相关<sup>[4]</sup>,那么振荡电荷运动变化快则磁感应强度大,振荡电荷运动变化慢则磁感应强度小.可见,电场和磁场的强

度变化是协调一致的.

当空间内存在周期性变化电场,那么它就会引起周期性变化的磁场.周期性变化的磁场又引起周期性变化的电场.电场和磁场相互激发,最终在空间内形成形似水波不断发生强弱变化的电磁场,并向周围传播,而这正是电磁波.

## 2.2 赫兹实验 理论和实验的完美契合

在电磁波预言提出的很长一段时间内,人们都无法证实其存在.1879年,亥姆霍兹为普鲁士科学院提供了“建立磁力和绝缘体的介质极化之间的联系”的科学问题悬赏.而这被认为是赫兹着手研究电磁波的肇始.在1887年与1888年间,他多次进行了实验以探求电磁波的存在和性质,所设计的发现电磁波实验装置如图3所示.



图3 赫兹实验装置

实验由两个部分组成,左侧为振荡器,右侧为谐振器.振荡器的感应圈提供的是周期运动的电荷,正负电荷在振子A,B端来回运动.根据振荡电荷模型所演示的那样,此时的振子如放大版的振荡电荷,能够不断向外界发射电磁波.在谐振器内,由于受到电磁波的作用,其内部电荷便会随电磁波周期定向移动,产生感应电动势.当振子接通感应圈,调节电压后,振子之间产生电火花.与此同时,谐振器上的小球之间同样跳动了电火花.这一发现鼓舞了赫兹,使他对“光和电之间的联系所存在的模糊认识最终得以澄清”,也证实了麦克斯韦的电磁波预言.电磁理论认为,光其实就是一种电磁波,电磁波在真空中的传播速度为光速.赫兹为了全面验证麦克斯韦理论的正确性,在后续实验中又对电磁波进行了研究,发现电磁波具有光的属性,而这正与麦克斯韦的电磁场理论相一致.可以说,麦克斯韦为电磁理论建构了主体建筑,而赫兹则为这座宏伟的电磁大厦封了顶.

有研究表明,法拉第曾对电磁波进行过早期猜测和实验<sup>[5]</sup>.遗憾的是,当时电磁理论尚未发展成型,法拉第仅凭对电磁感应现象的认识,采用闭合线圈进行实验,自然也就无法发现电磁波.而赫兹实验成功的关键则在于抓住了电磁波的理论内核,洞悉了电磁波产生的条件.首先,振荡器的电路需要开放.正如振荡电荷模型所描绘的那样,闭合电路将电场线拘束在导体中,就无法产生激发磁场,更不用说产生电磁波.而赫兹实验则采用了不闭合振子,由振子所产生的电场线能够很好地向外辐射.其次,赫兹采用的是高频振荡的感应圈.这是因为,当电场和磁场相互激发传播时,振荡频率较低的电磁波所具有的能量较弱,只能使接收的谐振器产生较低的电动势.反之,振荡频率较高的电磁波所具有的能量较强,能够使接收的谐振器产生较高的电动势,从而击穿空气产生电火花.赫兹的实验在振子间和谐振器上均出现了电火花,从而通过这些直观的物理现象

证实了电磁波存在。

### 2.3 技术应用 电磁波的价值与功能

事实上,赫兹的实验不仅验证了麦克斯韦的电磁理论,同时还指向了潜在的应用价值。电磁波被发现之始,德国工程师胡布尔便向赫兹请教,是否可以用电磁波进行通讯。受制于当时信息处理的硬件限制,赫兹对电磁波通信的观点并不认同。

然而,理论预示着可能,而这种可能则总是推动着有心人在探索的道路上不断前进。1896年,俄国的波波夫和意大利的马可尼各自独立发明了利用电磁波进行无线电通讯。其中,马可尼还因在无线电报和无线电通讯方面的贡献荣获1909年的诺贝尔物理学奖。早期的无线通信主要服务于军事。比如,电影《永不消逝的电波》中,主人公李侠就利用电台在上海与延安保持联系。电磁波信息传递的功能突破了时空的限制,在相隔大约在1500 km的两地之间架起了信息传递的“空中桥梁”。当时他所用的电台功率极低,不到10 W。可见电磁波通信技术具有低功耗、传输远、传递快的优点。随着科学技术的发展,无线通信技术也逐渐进入寻常百姓家。比如我们日常使用的手机、收音机等都属于利用电磁波通信的设备。相应的,电磁波通信的功能也不断丰富,优点逐步加强,如我国领先的5G技术就具有信息传输量大和低延迟的特点。

随着电磁通信的广泛应用,电磁环境日益复杂,电磁干扰状况逐渐严重。人们为了区分电磁波,就需要将电磁波划分利用,而区分的主要指标就是频率。比如,北京人民广播电台交通台FM103.9,其中103.9对应的就是频率103.9 MHz。可以说,频率成了识别电磁波的“指纹”,人们将电磁波依据频率(或波长大小)排列为电磁波谱,具体如下表1所示。

表1 电磁波谱分类表

分类名称	波长(波速与频率之比)/m	产生和应用
无线电波	$3\ 000\sim 10^{-3}$	电台广播、手机通讯
微波	$1\sim 10^{-3}$	微波炉、雷达
红外线	$10^{-3}\sim 7.8\times 10^{-7}$	热成像、遥控器
可见光	$(7.8\sim 3.8)\times 10^{-7}$	灯泡
紫外线	$(380\sim 10)\times 10^{-9}$	消毒等
伦琴射线	$(10\sim 0.01)\times 10^{-9}$	医疗X光
伽马射线	$<10^{-10}$	伽玛刀

从表中可以看出,电磁波不仅包含通信功能,还

具有传递能量、医疗卫生等其他价值。总的来看,电磁波的社会功能和价值已经被充分地释放,它的应用早就遍布于我们生活之中,深刻地改变了我们的生活方式,为我们提供了更加便利的现代化生活。当然,这都离不开法拉第、麦克斯韦、赫兹等科学开拓者的对电磁理论的执着探究。

### 3 研究启示

总结以上电磁波发现及应用的研究过程,可以得到如下启示。

#### 3.1 巧妙设置物理模型 把控第一次循环的教学张弛

教学的“张力”来自于对教学目标实现的要求,而教学的“松弛”则是基于对教学实际的把控,要求在学生认知的基础上和教学进程中实现教学效果的最优化。在“双循环”教学模式下,电磁波教学的第一轮循环可以说是对第二轮循环的压缩,在内容编制上自然无法全面兼顾所有方面。比如,电磁波的波的性质和光的属性的揭示需要通过选择性必修1,而电磁方面的内容又需要通过选择性必修2的教学进一步推进。因此,处于第一次循环的“电磁波初步”的教学就更需要张弛有度,有的放矢。

物理模型是将复杂的原型客体简化和纯化的思维工具,反映了物理原型的本质特征,能够生动地帮助学生建立对科学理论的认识<sup>[6]</sup>。因此,将抽象的科学理论转化为具象化的物理模型则成为控制教学张弛的关键。自法拉第提出具有近距作用的“场”的观点以来,电荷、电场线和磁感线等一直都是物理教学中极具解释力的物理概念模型。因此,在电磁波教学中,运用振荡电荷和电场线模型可以有效地将电磁波产生的物理机制变为直观的动态过程,为学生将实验和应用与模型类比进行理解提供参照,使得电磁波的教学难度降低。概而言之,模型方法是控制物理教学“张弛”的最佳科学方法,能够发挥核心作用。

#### 3.2 理解科学发展的本质 透析理论与实验的共进关系

科学是借助理论和实验两只脚前进的。有时是理论这只脚先迈出一步,有时则是实验这只脚先迈出一步,但是科学的前进要靠两只脚<sup>[7]</sup>。麦克斯韦预言电磁波可以说是一种典型的“理论先行”科学发展案例。但是,缺乏实验验证的预言总归是科学的假设和想象。贾德的迁移实验已经证实,掌握理论的人往

往在探索中能够取得更好的结果,而赫兹正是那个透彻掌握理论并善用应用于实践的人.赫兹实验真正地洞悉了电磁波的物理原理,满足了产生电磁波的多重条件,用直观的物理现象证实了麦克斯韦的预言.由此可见,在物理学发展进程中,理论离不开实验,实验同样离不开理论,二者相辅相成,共同成长.表现在物理教学中,就是要倡导“知行合一”的物理教学新境界,不能将物理学的学习视为是公式的推导和数学的运算,因为物理学还包含着指向实践的成分.

### 3.3 揭示科学与技术应用价值 反映物理教育的时代气息

恩格斯指出,科学的发生与发展一开始就是由生产决定的.科学是人类认识世界的产物,而技术是人类改造世界的结晶,是科学与社会生产的桥梁<sup>[8]</sup>.中学物理教学作为学生认识世界的重要“窗口”,不仅肩负着教授科学理论的责任,同样要使学生具有能够理解和解释生活中科技的能力.物理教学涉及电磁波应用的内容与影响,反映在新科技革命下的时代特征,也使得学生能够从“书中楼阁”走向“现实生活”,更加广泛地认识到“科技改变生活”的意蕴.以此作为出发点,在电磁波下一轮循环学习中,随着学生对电磁波原理的更深程度揭示,他们就能够更

加透彻地了解电磁波技术的物理原理,切实提高自身的科学和技术素养,进而能够更加全面地解释和应用相关技术,更好地理解 and 处理物理与技术和社会生活的关系.

### 参考文献

- 1 吴金艳,袁海泉.高中物理“双循环”课程内容设计模式的特征分析——对《普通高中物理课程标准》(2017版)的解读[J].物理通报,2018(12):12~14
- 2 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2018.20
- 3 郭卫强.“电磁波的发现”教学中中学生常提出的疑问及相应解释[J].物理通报,2015(10):48~49
- 4 人民教育出版社,课程教材研究所.普通高中课程标准实验教科书物理·必修3[M].北京:人民教育出版社,2019.115~116
- 5 李国峰,白欣.法拉第对电磁波早期猜测的实验研究[J].物理教师,2015,36(11):77~81
- 6 邢红军.论科学教育中的模型方法教育[J].教育研究,1997(7):53~56
- 7 密立根·R·A.从实验观点看电子和光量子[A].诺贝尔奖获得者演讲集:物理学(第二卷)[C].宋玉升,郑锡琰,惠和兴,等译.北京:科学出版社,1984.45
- 8 周海忠.浅论中学物理课程中的技术教育[J].物理教师,1996(5):3~5

## The Teaching Design under the Course Contents Design Mode of *Double Cycle* of High School Physics

——Taking the *Discovery and Application of Electromagnetic Waves* as an Example

Dong Xinxin

(College of Teacher Education, Capital Normal University, Beijing 100048)

Li Jie

(No. 19 Middle School of Beijing, Beijing 100089)

Xing Hongjun

(College of Teacher Education, Capital Normal University, Beijing 100048)

**Abstract:** "The discovery and application of electromagnetic wave" is the key content of high school physics textbooks. Therefore, the teaching materials design a "double cycle" mode for teaching. To carry out the preliminary teaching of electromagnetic wave is to grasp the teaching requirements of the first cycle and distinguish the differences between the two cycles. By setting up the oscillating charge model to explain the mechanism of the generation of electromagnetic waves, and then highlighting the teaching theme with Hertz experiment and technical application, it can not only explain the physical nature of electroma.

**Key words:** electromagnetic wave; model method; Hertz experiment