# 第五单元 电磁感应及其应用

本单元主要由楞次定律、法拉第电磁感应定律、自感现象和涡流现象、正弦交变电流、变压器、发电机和电动机等内容组成.本单元内容与必修课程中的电磁感应现象构成了电磁学的基础知识.学生在了解磁场及必修课程相关知识的基础上，通过本单元的学习，进一步理解电与磁的相互联系，建立关于电磁场的物质观念、运动与相互作用观念和能量观念，为后续电磁振荡与电磁波的学习做好知识与方法的储备。

本单元课程内容学习建议安排 14 课时。

## 一、教学要点

### 1．单元内容结构

感应电流

感应电动势

电磁学的

应用

感应电流的方向

楞次定律

图像

右手定则

导线切割磁感线运动

的感应电动势 *E* = *Blv*

法拉第电磁感应定律

*E* = *n*

电

磁

感

应

感应电流的大小

自感

涡流

交变电流

发电机

电动机

应用

产生及变化规律

正弦交变电流

公式

周期与频率

最大值与有效值

变压器

远距离高压输电

### 2．单元学习要求

本单元对应《2017年版高中物理课标》选择性必修 2 的“电磁感应及其应用”主题，下表中的“标引”与《2017 年版高中物理课标》【内容要求】下的序号一致，“内容”是根据【内容要求】提炼出的单元主要内容，“具体要求举例”是针对主要内容给出的表现性要求的示例。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标引 | 内容 | 具体要求举例 |
| 2.2.1 | 探究影响感应电流方向的因素（学生实验） | **会“探究影响感应电流方向的因素”**。能简述实验目的、实验原理和实验器材；能提出问题并制定探究实验的方案；能正确连接实验装置；会确定灵敏电流计电流流入方向与指针偏转方向的关系；会正确操作并记录磁场方向、感应电流方向和感应电流磁场方向；能根据实验现象分析、归纳得出感应电流方向与磁通量变化的关系；能写出完整的科学探究报告。 |
| 楞次定律 | **理解楞次定律**。能在实验探究基础上归纳出楞次定律；能简述楞次定律；会用能量的观点解释楞次定律；能用楞次定律分析和判 断感应电流的方向。 |
| 2.2.2 | 法拉第电磁感应定律 | **理解法拉第电磁感应定律**。能简述感应电动势的概念；能阐述法拉第电磁感应定律；会用 DIS 研究感应电动势的大小与磁感应强度变化的关系；能在简单的实际情境中用法拉第电磁感应定律进行相关分析和计算。  **会计算导体切割磁感线运动时感应电动势的大小**。能从功与能量转化角度得到导体切割磁感线运动时感应电动势的表达式；知道该表达式与法拉第电磁感应定律的内在联系；能在简单的实际问题中应用该表达式进行相关分析；能以导体切割磁感线所产生的感应电动势为重点，运用运动学、力学、电路等相关知识，解决新情境下的简单物理问题。 |
| 2.2.3 | 自感现象 | **了解自感现象**。能简述自感现象；能说出自感现象产生的原因：能举例说明自感现象在生产生活中的应用与危害；能说出自感电动势产生的原因；能说出自感电动势与哪些因素有关。 |
| 涡流现象 | **了解涡流现象**。能简述涡流现象；能说出涡流现象产生的原因：能举例说明涡流现象在生产生活中的应用；能简述电磁炉的结构和原理。 |
| 2.2.4 | 正弦交变电流 | **认识交变电流，会描述正弦交变电流**。能简述什么是交变电流；能通过实验了解交变电流产生的原因；会用 DIS 观察正弦交变电流的电压随时间变化的规律；能用公式和图像描述正弦交变电流；能阐述正弦交变电流的周期和频率；能说出正弦交变电流的峰值和有效值的物理意义。 |
| 2.2.5 | 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系（学生实验） | **会“探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系”**。能简述实验目的、实验原理、实验装置与方法；能正确连接实验装置；会用数字式多用电表正确测量并记录原、副线圈的输入、输出电压；能根据实验数据分析、归纳得出变压器原、副线圈电压与匝数的关系；能写出完整的科学探究报告。 |
| 变压器与远距离高压输电 | **了解变压器与远距离高压输电**。能说出什么是变压器；能简述变压器的原理和构造；能用变压器原、副线圈电压与匝数的关系进行简单的计算；能说出什么是电能的输送；知道远距离输电时通常采用高压输电的原因；能阐述变压器在远距离高压输电中的作用。 |
| 2.2.6 | 发电机和电动机 | **了解发电机、电动机工作过程中的能量转化**。能简述什么是发电机、什么是电动机；能简述发电机和电动机的工作过程及该过程中的能量转化；能简述电磁学在人类生活和社会发展中的作用。 |

### 3．单元内容与核心素养

在本单元学习中，学生经历楞次定律、法拉第电磁感应定律、自感现象和涡流现象，以及交变电流、发电机与电动机、远距离高压输电等内容的学习过程，建立关于电磁场的物质观念、运动与相互作用观念和能量观念；通过对感应电流、变压器等相关问题的科学探究，掌握对实验现象、实验结果进行归纳推理的方法，并完成实验报告，提升学生对实验结果定性、定量分析的能力，从而提升科学思维与科学探究的能力；经历用推理分析得出楞次定律的过程，体会归纳推理的方法；经历用右手定则和法拉第电磁感应定律推导得出正弦交变电流方向和大小规律的过程，体会建立模型与推理分析的思维方法；通过对电磁感应、交变电流等内容的学习，了解科技对人类生活和社会发展的影响，体会基础科学的重大发现在工业革命和社会发展中的作用。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 编号 | 核心内容 | 物理观念 | 科学思维 | 科学探究 | 科学态度与责任 |
| 5.1 | 探究影响感应电流方向的因素（学生实验） | ● | ● | ● | ○ |
| 5.2 | 楞次定律 | ◎ | ◎ | ● | ○ |
| 5.3 | 法拉第电磁感应定律 | ◎ | ● | ◎ | ○ |
| 5.4 | 导体切割磁感线运动时感应电动势的大小 | ◎ | ● | ◎ | ○ |
| 5.5 | 自感现象 | ● | ○ | ○ | ◎ |
| 5.6 | 涡流现象 | ● | ○ | ○ | ◎ |
| 5.7 | 正弦交变电流 | ◎ | ● | ◎ | ○ |
| 5.8 | 变压器与远距离高压输电 | ◎ | ○ | ○ | ● |
| 5.9 | 探究变压器原、副线圈电压与  匝数的关系（学生实验） | ○ | ◎ | ● | ○ |
| 5.10 | 发电机与电动机 | ◎ | ○ | ○ | ● |

## 二、单元实施

### 1．单元任务设计

本单元的任务设计思考路径是：在研读《2017 年版高中物理课标》的基础上，发掘出学生完成本单元学习后能够处理的一项任务，将其作为本单元学习的核心任务。《2017 年版高中物理课标》选择性必修 2“电磁感应及其应用”主题的【内容要求】中的活动建议有“查阅资料，撰写报告分析奥斯特电流磁效应和法拉第电磁感应定律对第二次工业革命的贡献，体会科学技术对社会发展的意义”，此活动可以反映出学生在学习过程中的调查研究、文献查阅、合作学习等综合能力与素养，因此将本单元的核心任务确定为“撰写关于人类建立电磁学理论并引发第二次工业革命的调查报告”。在教学中核心任务还需要进一步分解，以利于逐步落实，具体的任务分解、相关的教学内容及课时安排详见下表。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 核心任务（问题）及其分解 | | 教学内容 | 课时安排 |
| 撰写关于人类建立电磁学理论并引发第二次工业革命的调查报告 | 收集有关奥斯特、安培、楞次等物理学家在电与磁关系方面的发现与研究的历史资料，完成调查报告一。 | 楞次定律 | 2 |
| 收集有关法拉第的生平事迹及其在申 磁感应方面的研究成果的资料，完成语查报告二。 | 法拉第电磁感应定律 | 2 |
| 导体切割磁感线运动时感应电动势的大小 | 2 |
| 收集、查阅自感现象、涡流现象是如何发现的，以及对这些现象的发现与研究作出重要贡献的物理学家（如亨利等）的历史资料，完成调查报告三。 | 自感现象  涡流现象 | 1 |
| 收集资料，调查发电机、电动机的发明历程，在这一历程中物理学家、发明家工程师所作出的贡献，以及这些发明对人类文明发展和工业革命的影响，完成调查报告四。 | 正弦交变电流 | 2 |
| 变压器与远距离高压输电 | 3 |
| 发电机与电动机 | 2 |

### 2．重点活动设计

#### （1）单元活动

##### 活动名称 撰写关于人类建立电磁学理论并引发第二次工业革命的调查报告

**活动资源** 教科书、课外读物（如《电机史话》等相关书籍）、网上资料。

**活动系列**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 对应课时 | 活动过程 | 活动说明 |
| 第二课时 | **交流探讨**。课前查阅收集有关奥斯特、安培、楞次等物理学家在电与磁关系方面的研究历程和成就的资料；在课内探讨。 | 引导学生学会资料查阅，学会文献检索。通过资料收集了解物理学史，了解物理学家们的研究史，激发学生物理学习和科学探究的激情。 |
| 第四课时 | **交流探讨**。课前查阅收集有关法拉第的生平事迹与研究成果的资料在课内探讨。 | 学生通过资料查阅，了解法拉第的生平事迹及其在电磁感应方面的研究成果，可以了解物理学的发展对人类生活和社会发展的深远影响。 |
| 第七课时 | **交流发言**。课前查阅收集有关自感现象、涡流现象发现过程的资料以及对此作出重要贡献的物理学家的历史资料：在课内探讨。 | 了解自感现象、涡流现象的发现过程。了解对此作出重要贡献的物理学家亨利的生平，可更深刻地理解人类对电磁感应现象的发现过程。 |
| 第十三课时 | **交流展示**。课前查阅收集有关发电机、电动机发明过程的历史资料了解主要物理学家、发明家、工程师所作出的贡献，以及这些发明的历史意义。课内汇总并交流展示。 | 查阅收集资料并进行汇总可以提升学生的研究能力。从法拉第、格拉姆、爱迪生、特斯拉、丹尼尔森等物理学家、发明家、工程师所作出的贡献以及他们的生平事迹入手，可以用他们的“一人一事件”贯穿电磁学发展的历史进程，了解物理学发展对生产技术革命的重要作用。 |

**设计意图** 从电磁感应现象的发现，到发电机、电动机的发明，电磁理论的发展对人类社会工业革命的影响是深远的。本单元通过收集资料、撰写调查报告和交流发言等活动，使学生在学习楞次定律、法拉第电磁感应定律及其应用过程中，了解电磁理论的发展历史及科学家们的努力与贡献，了解科技对人类生活和社会发展的影响，体会基础科学的重大发现在工业革命和社会发展中的作用。培养学生学习物理的好奇心与求知欲，认识科学的本质，认识科学·技术·社会·环境的关系，形成探索自然的内动力，培养学生严谨认真、实事求是、持之以恒的科学态度与社会责任感。

#### （2）课时活动

##### 活动 1 收集有关奥斯特、安培、楞次等物理学家在电与磁关系方面的发现与研究的历史资料，完成调查报告

**活动资源** 网上相关材料、相关书籍。

**活动过程**

查阅收集 上网或进图书馆，收集有关奥斯特、安培、楞次等物理学家在电与磁关系方面的发现与研究的历史资料。

整理汇总 以小组的形式，把收集的相关资料按成果的时间顺序、物理学家的贡献等条目进行整理，形成小组集体报告。

交流讨论 在小组成员合作完成资料整理汇总、形成小组报告后，进行小组交流发言，各小组相互交流、相互补充。

**活动说明** 该活动是在完成学生实验“探究影响感应电流方向的因素”后进行的查阅并汇总文献的研究性学习活动。通过活动引导学生学会在互联网上查阅相关资料，筛选恰当的内容；学会在图书馆检索相关的书籍并进行资料摘录和收集；同时，在活动过程中学会合作学习和交流互助。

**评价要点**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 评价内容 | 评价标准 | 表现水平 | | |
| 优秀 | 良好 | 一般 |
| 收集资料 | 资料内容丰富详实、来源可靠。 |  |  |  |
| 观点表述 | 能清晰阐述各物理学家的贡献与不足。 |  |  |  |
| 解释说明 | 能联系所学物理知识解释资料中的相关内容。 |  |  |  |
| 交流互动 | 能对其他同学的提问作出详细解答；同时能对同学的观点提出质疑，并说明理由。 |  |  |  |
| 操作说明：学生对照评价标准，根据符合程度对自己的表现水平进行评价，“优秀”表示完全符合，“良好”表示基本符合，“一般”表示不太符合。 | | | | |

**设计意图** 从发现电磁感应现象到研究感应电流方向的规律，物理学家经历了艰辛的探索与无数次的失败。本活动通过“查阅收集”“整理汇总”“交流讨论”等环节，使学生在学习楞次定律的过程中，更好地从资料中了解物理学的发展历史及科学家们的努力与贡献，了解物理学家们进行科学探究、获取证据的艰苦经历，培养严谨认真、实事求是、持之以恒的科学态度。

##### 活动 2 观察影响感应电动势大小的因素

**活动资源** 钕磁铁若干、玻璃管、不同匝数的线圈、DIS 电压传感器。

**活动过程**

观察讨论 如图所示钕磁铁在玻璃管中自由释放，观察下列三种情况，讨论每种情况的相同点和不同点：①线圈匝数相同，同一磁铁从不同高度释放并穿过线圈；②线圈匝数相同，磁性强度不同的磁铁从同一高度释放并穿过线圈；③线圈匝数不同，同一磁铁从同一高度释放并穿过线圈。

钕磁铁

玻璃管

线圈

电压

传感器

分析归纳 分别比较磁铁穿越线圈时间、磁通量变化量、线圈匝数与电压传感器示数的大小关系。分析归纳得出感应电动势与磁通量变化率、线圈匝数之间的定性关系。

**活动说明** 本活动安排在自主活动“研究感应电动势大小与磁感应强度变化率之间的关系”之前开展。装置如图所示，将钕磁铁从玻璃管上方由静止平稳释放，尽量控制好钕磁铁下落过程不翻转。线圈两端与电压传感器连接，电压传感器示数表示感应电动势大小。分别改变钕磁铁下落高度、钕磁铁个数、线圈匝数，观察电压传感器示数并记录，重复实验，定性描述感应电动势大小与这三者之间的关系。要求学生在整个实验观察记录过程中控制好变量，最终得出感应电动势大小与磁通量的变化率正相关、与线圈匝数正相关的定性结论。

**设计意图** 本活动作为法拉第电磁感应定律课堂教学的引入，为《选必二》第六章第二节第一个“自主活动”做好铺垫。本活动通过简易的定性实验，使学生经历“观察讨论”“分析归纳”等环节，培养学生科学探究意识、证据意识，以及对科学探究过程和结果进行归纳、交流与反思的能力。

##### 活动 3 观察和感受自感现象

**活动资源** 自感现象演示器（含通电自感和断电自感两种电路）、稳压电源（或电池）、日光灯的镇流器。

**活动过程**

观察思考 ①将稳压电源（或电池）接入自感现象演示器上的通电自感电路，如图（a）所示，观察在开关闭合瞬间两个灯泡发光有无延迟的现象；②将稳压电源（或电池）接入自感现象演示器上的断电自感电路，如图（b）所示，闭合开关，观察在开关断开瞬间，灯泡有无延迟熄灭或闪亮现象。思考这些现象产生的原因。

*E*

*R*

A1

A2

*L*

*R*1

S

（a）

（b）

*E*

A

*L*

S

体验交流 按如图所示，将一节干电池和日光灯的镇流器用导线连接，制成简易的自感线圈，几位学生“串联”在电路中。闭合开关 S，让学生谈谈有什么感受（无感觉）；断开开关 S瞬间，学生会突然感觉受到电击。学生感到惊奇并提出疑问，进而开展交流。

*E*

S

*L*

分析讨论 分析讨论一节电池为什么会使这些学生受到电击；运用电磁感应定律分析、解释两种自感现象产生的原因，并进行交流发言。可以进一步分析讨论，产生这两种自感现象时流过灯泡的电流方向有什么不同。

**活动说明** 如图所示的学生体验活动所涉器材比较简单，容易在生活中获取。通过此实验学生亲历自感现象，但应提醒学生需要在教师指导下用干电池做实验，不要课后自行用其他电源尝试。

**设计意图** 自感现象是电磁感应现象在生产生活中的常见实例，无论是观察两种自感现象还是体验“电击”，都是为了让学生对自感现象产生直观感受。特别是请多位学生一同体验一节电池的“电击”，可以给学生留下非常深刻的印象，很好地激发学生的探究欲望，为后续引入自感电动势埋下伏笔。本活动通过“观察思考”“体验交流”“分析讨论”等环节，使学生学会用所学电磁学知识解释生活中简单的自感现象，培养学生推理分析的思维能力和理论联系实际的综合能力。

#### （3）学生实验

##### 学生实验 1 探究影响感应电流方向的因素

**主要器材** 感应线圈、零刻度在刻度盘中央的灵敏电流计、条形磁铁、旧电池、几十千欧的限流电阻。

**实验要点**

① 该实验方案是在感应线圈中将条形磁铁 N（或 S）极插入或拔出，观察与感应线圈组成闭合回路的灵敏电流计指针的偏转情况，分析、归纳感应线圈中感应电流方向的规律。

② 探究前首先要确定灵敏电流计电流流入方向与指针偏转方向的关系。因灵敏电流计允许通过的最大电流很小，需要将旧电池、高阻值限流电阻与灵敏电流计串联，闭合开关后采用瞬间接触的方法，尽可能缩短通电时间，以保护灵敏电流计。

③ 该实验的难点之一是通过分析归纳现象得出结论。可先请学生判断感应线圈内磁通量 *Φ* 是增大还是减小，再引导学生观察感应电流的磁场方向与原磁场方向的关系，最后请学生用一句话概括实验结论，从而得出楞次定律的内容。

④ 学生经历本实验的探究、分析等过程，提升科学探究能力；学生经历推理、分析和归纳的过程，体会归纳推理的科学方法。

##### 学生实验 2 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系

**主要器材** 可拆式变压器（含铁芯、两个已知匝数的线圈）、数字式多用电表、低压交流电源、小灯泡（额定电压 6 V）。

**实验要点**

① 该实验分为两个环节。环节一，在变压器原线圈上接电压为 12 V 的交流电源，在副线圈电路中接一个额定电压为 6 V 的小灯泡，观察小灯泡的发光情况，并用多用电表交流电压挡测出小灯泡两端的电压。环节二，采用控制变量的方法，通过改变原、副线圈的匝数比，或者改变接在变压器原线圈上交流电源的电压值，探究原、副线圈的电压比与匝数比的关系。

② 在实验环节二中，要注意引导学生正确操作实验器材，获得可靠实验数据。首先保持原线圈电压和匝数不变，探究副线圈电压与其匝数的关系；然后改变原线圈电压和匝数并保持副线圈电压和匝数不变，重复实验，记录获得的数据。最后根据实验数据分别计算变压器原、副线圈的匝数比和原、副线圈的电压比，分析归纳两者之间的关系。

③ 连接导线时务必断开电源，谨防触电；使用数字式多用电表测量原、副线圈的电压时，要选择合适的交流电压挡，注意安全。严禁在不插入铁芯时将变压器线圈接上电源（因不插铁芯的线圈电感很小，感抗小而电流大，极易烧坏线圈）。

④ 在实验过程中，应结合法拉第电磁感应定律解释、推导并理解相关问题，强化对变压器工作原理的理解，同时也能培养学生的实验能力和理论分析能力。

⑤ 通过本实验，使学生感悟科学探究的方法，激发学习兴趣。引导学生在探究过程中对实验现象进行观察分类、归纳概括，提升分析与总结的能力。

### 3．评价示例

本单元评价包括四个部分：一是日常课堂活动评价，可以选择本单元的重点活动进行评价，例如在“观察影响感应电动势大小的因素”活动中的“观察讨论”环节可对学生观察能力和阐述能力进行评价，在“分析归纳”环节可以从表格设计、实验记录合理性等方面进行评价。二是日常作业评价，在学完本单元后，学生或教师根据作业的正确率、订正率等情况，完成本单元的日常作业评价。三是对“探究影响感应电流方向的因素”和“探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系”学生实验的评价，实验中要求学生提交撰写好的实验报告，教师可以根据学生提供的材料完成对学生实验过程的评价，依据实验报告完成对学生实验结果的评价。四是单元检测，教师根据学生在规定的时间内完成本单元检测的情况给出测试的成绩。“重点活动设计”中已给出课堂活动评价的示例，以下给出部分课堂例题、课后作业及单元检测的示例，供教师参考使用。

**示例 1** 如图所示，一闭合导体环沿水平方向固定，一条形磁铁 S 极朝下，沿过导体环圆心的竖直线向下穿过导体环，请判断在此过程中导体环中产生的感应电流方向。

N

S

*v*

**分析** 导体环感应电流方向与导体环中磁场方向和磁通量变化有关。根据楞次定律判断感应电流的一般步骤：先由题意得出穿过导体环的磁场方向，再判断磁铁运动时导体环中磁通量变化，最后根据楞次定律和右手螺旋定则判定感应电流方向。

**解答** 由磁铁放置情况可得穿过导体环的磁场方向向上，在磁铁向下穿过导体环的过程中，导体环中磁通量变化是先增大后减小，根据楞次定律，感应电流的磁场总要阻碍原磁场磁通量的变化，可以得出导体环中感应电流的方向，从上向下俯视为先顺时针方向后逆时针方向。

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 楞次定律 | 科学思维中“科学推理” | 能根据楞次定律判断磁通量变化过程中感应电流的方向。对应水平二。 |

**说明** 本示例建议在学习“楞次定律”后作为课堂例题使用，也可以作为课后作业或单元检测使用。通过对导体环中感应电流方向的推理和判断，体会楞次定律的内涵。本示例着重培养学生科学推理的能力。

**示例 2** 如图所示，竖直放置的平行光滑轨道间距为 *L*，上端连接一阻值为 *R* 的电阻。水平方向的匀强磁场垂直于纸面向外，其磁感应强度为 *B*，质量为 *m*、阻值为r的金属棒 ab，从静止释放后沿轨道下滑，下滑过程中 ab 始终保持水平，且与轨道接触良好，轨道电阻忽略不计，重力加速度为 *g*。求金属棒 ab 下滑的最大速度 *v*m。

a

b

*R*

*B*

**分析** 金属棒 ab 从静止释放后，初始时刻仅受重力的作用，开始向下做加速运动，在磁场中切割磁感线，产生感应电动势，由于电路闭合，进而产生感应电流，通过金属棒的感应电流在磁场中会受到与运动方向相反的安培力作用。随着金属棒速度不断增大，金属棒的加速度随之减小。当加速度减小至 0 时，金属棒速度不再增大，此时达到最大速度。

**解答** 金属棒 ab 从静止释放后，沿轨道加速下滑，受到的安培阻力不断增大，加速度不断减小。当加速度减小至 0 时，金属棒速度达到最大，此时金属棒 ab 受力平衡，则

*mg* = *F*安 = *BIL*

根据闭合电路欧姆定律

*I* =

导体切割磁感线所产生的感应电动势

*E* = *BLv*m

代入上式可得

*mg* =

所以金属棒 ab 下滑的最大速度为

*v*m =

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 导体切割磁感线运动时感应电动势的大小 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能运用动力学、电路等知识分析导体棒切割磁感线的运动规律，解释相关现象。对应水平三。 |
| 科学思维中“科学推理” | 能以导体棒切割磁感线所产生的感应电动势为重点，运用动力学、电路等知识对相关问题进行分析，通过推理获得结论。对应水平三。 |

**说明** 本示例建议在学习“导体切割磁感线运动时感应电动势的大小”后作为课堂例题使用，也可以作为课后作业或单元检测使用，若作为单元检测使用，完成时间约 5 分钟。通过教师点拨，学生分析讨论并建立一个变加速运动的物理模型，综合应用多方面知识完成理论推导和计算。本示例着重提升学生运动与相互作用观念，引导学生构建一个比较复杂的运动模型，培养学生解决综合问题的能力。

**示例 3** 如图所示，半径为 *a* 的圆形区域内有磁感应强度为 *B* = 0.2 T 的匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里。半径为 *b* 的金属圆环与磁场同心放置，磁场与环面垂直，其中 *a* = 0.4 m，*b* = 0.6 m。金属环上接有灯 A1、A2，两灯的电阻均为 *R* = 2 Ω，一金属棒 MN 与金属环接触良好，棒与环的电阻均忽略不计。

M

O

Oʹ

N

A1

A2

*a*

*b*

*B*

（1）若棒以 *v* = 5 m/s 的速率在环上向右匀速滑动，求棒滑过圆环直径 OO′ 的瞬间 MN 中的电动势和通过灯 A2 的电流。

（2）撤去金属棒 MN，将右半圆环 OA2O′ 以 OO′ 为轴向纸面外翻转 90°，若此后磁场随时间均匀变化，其变化率为 = （T/s）。求灯 A1 的功率。

图 5 – 6

**分析**

（1）金属棒 MN 向右匀速滑动切割磁感线，产生感应电动势，当 MN 滑过圆环直径 OO′ 时，其有效切割长度为 2*a*，可以得到此时的感应电动势。灯 A1、A2 并联且与金属棒 MN 连接，棒与环的电阻均忽略不计，由欧姆定律可以得到通过灯 A1 的电流。

（2）撤去金属棒 MN，右半圆环 OA2O′ 以 OO′ 为轴向纸面外翻转 90° 后，磁场穿过金属环的面积为 *S* = ，根据磁场随时间的变化率可以得到金属环的感应电动势，再根据欧姆定律可以求出回路产生的感应电流，进而得到灯 A1 的功率。

**解答**

（1）金属棒 MN 匀速滑过圆环直径 OO′ 的瞬间，切割磁感线的长度为

*L* = 2*a*

其产生的感应电动势为

*E*1 = *BLv* = 2*Bav*

所以，通过灯 A1 的电流为

*I*1 = = = A = 0.4 A

（2）撤去金属棒 MN，将右半圆环 OA2O′ 以 OO′ 为轴向纸面外翻转 90° 后，由于磁场随时间均匀变化而产生的感应电动势为

*E*2 = = ·*S* = ×V= 0.32 V

灯 A1、A2 串联，所以回路中电流为

*I* = = A = 0.08 A

所以，灯 A1 的功率为

*P*1 = *I*²*R* = 0.08²×2 W = 1.28×10−2 W

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 导体切割磁感线运动时感应电动势的大小、法拉第电磁感应定律 | 物理观念中“运动与相互作用观念”“能量观念” | 能运用电路等知识分析导体棒切割磁感线的运动规律，解释相关现象，解决实际问题。对应水平三。 |
| 科学思维中“科学推理” | 能在电磁感应的问题情境中根据需要选用所学的恰当模型，运用动力学、电路等知识解决简单的物理问题。对应水平四。 |

**说明** 本示例是电磁感应规律与电路知识的综合应用题，建议在学习“法拉第电磁感应定律”和“导体切割磁感线运动时感应电动势的大小”后，作为综合性的课堂例题使用。学生通过分析讨论，建立一个导体切割磁感线产生电动势的闭合电路模型，以及磁通量变化产生感应电动势的闭合电路模型，综合应用串、并联电路及电功率等知识完成分析、推导和计算。本示例着重提升学生在综合性电路问题中的能量观念，引导学生构建比较复杂的物理模型，培养学生解决综合问题的能力。

*L*

A1

A2

*R*

S

**示例 4** 如图所示，A1、A2 是两个相同的小电珠，*L* 是一个自感线圈，其导线的电阻值与电阻 *R* 的阻值相等。请分别说明：

（1）在开关 S 接通的瞬间，小电珠 A1、A2 被点亮过程会发生什么现象？

（2）A1、A2 被点亮并保持正常发光，在开关 S 断开的瞬间，小电珠 A1、A2 的亮度又会发生怎样的变化？

**分析** 当通过线圈 *L* 的电流发生变化时，其自感作用会阻碍电流的变化。在开关 S 接通的瞬间，由于线圈 *L* 与小电珠 A1 并联，电流主要从小电珠 A1 流过；而在开关 S 接通后断开的瞬间，线圈 *L* 和小电珠 A1 形成回路，使小电珠 A1 中继续有短暂的电流流过。

**解答**

（1）在开关 S 接通的瞬间，小电珠 A1、A2 同时被点亮，但刚开始 A1 比 A2 更亮，然后 A1 亮度慢慢减弱至与 A2 同样亮度，最终保持不变。

因为在开关 S 接通的瞬间，由于线圈 *L* 的自感作用，电流无法瞬间通过线圈，转而流过 A1，而流过 A2 的电流是它与电阻 *R* 并联后的分电流，所以，刚开始点亮时 A1 会比 A2 更亮一些。最终当电流稳定后，根据电路的连接关系，A1、A2 的电流相等，亮度相同。

（2）小电珠 A1、A2 保持正常发光后，在开关 S 断开的瞬间，A2 立即熄灭；而 A1 会缓慢熄灭。

因为在开关 S 断开的瞬间，流过线圈 *L* 的电流迅速减小，线圈的自感作用将阻碍线圈中电流的减小。此时线圈相当于一个特殊的电源，线圈和 A1 组成闭合回路，线圈瞬间产生的自感电动势直接加在 A1 两端，会使 A1 中有短暂的电流流过，A1 会缓慢熄灭，甚至在一定条件下会先比原来更亮地闪一下再慢慢熄灭。

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 自感现象 | 科学思维中“模型建构”和“科学推理” | 能在熟悉的问题情境中应用自感现象的相关知识，进行分析和推理，获得结论。对应水平三。 |

**说明** 本示例建议在学习“自感现象”后作为课堂例题使用。通过教师点拨，学生分析讨论较复杂电路中的自感现象。本示例着重提升学生构建物理模型的能力和科学推理的能力。

**示例 5** 如图所示为正弦交变电流的电压随时间变化的图像，请分析回答下列问题：

+310

−310

*u*/V

0

0.5

1.0

1.5

2.0

2.5

*t*/×10−2 s

（1）该交变电流的周期和频率分别为多大？

（2）该交变电流的电压最大值和有效值分别为多大？

（3）写出该正弦交变电流的电压随时间变化的关系式。

（4）如图所示，理想变压器原线圈匝数 *n*1 = 440 匝，副线圈匝数 *n*2 = 12 匝。将上述交变电流加到原线圈上，则在副线圈上获得的电压有效值为多大？

～

*n*1

*n*2

*u*

S

A

（5）上述变压器的输出电路接有一电阻值为 10 Ω 的灯泡，当它正常发光时，原线圈中的电流为多大？

**分析** 对于小题（1）（2），由图可以直接得到此正弦交变电流的周期、电压的最大值，根据频率与周期的关系、正弦交变电流的有效值与最大值之间的关系，可以得到此正弦交变电流的频率和电压的有效值；对于小题（3），由图所示的图像可知矩形线圈在匀强磁场中匀速转动的角速度（三角函数的角频率）*ω* = 以及 *t* = 0 时电压 *u* 的初始值（初相位），据此可以写出该正弦交变电流的电压随时间变化的关系式；对于小题（4），因为变压器的输入电压与输出电压都是指交变电流的有效值，根据变压器原、副线圈电压与匝数比的关系，当已知原线圈上电压的有效值，就可以得到副线圈上电压的有效值；对于小题（5），先根据欧姆定律求得灯泡正常发光时的电流 *I*2，此即为变压器副线圈的电流，根据变压器原、副线圈电流与匝数比的关系就可求得原线圈中电流 *I*1。

**解答**

（1）由图可得该交变电流的周期 *T* = 0.02 s，频率 *f* = = 50 Hz。

（2）由图可得该交变电流的电压最大值 *U*m = 310 V，有效值 *U* = = 220 V。

（3）根据数学规律，矩形线圈在匀强磁场中匀速转动的角速度

*ω* = = 100π rad/s

又因为 *t* = 0 时的电压 *u* 的初相位为 ，所以正弦交变电流的电压随时间变化的关系式为

*u* = 310sin(V)

（4）根据变压器原、副线圈电压与匝数比的关系，可得副线圈电压有效值为

*U*2 = *U*1 = ×220 V = 6 V

（5）变压器的输出电路所接电阻值为 10 Ω 的灯泡正常发光时，电流为

*I*2 = = A = 0.6 A

根据变压器原、副线圈电流与匝数比的关系，可得原线圈中电流为

*I*1 = *I*2 = ×0.6 V = 1.64×10−2 A

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 正弦交变电流 | 科学思维中“科学推理” | 能根据正弦交变电流的图像进行分析和推理，得出交流电的表达式，并获得其周期，频率以及最大值和有效值等结论，对应水平二。 |
| 变压器 | 科学思维中“科学推理” | 能根据变压器的原理进行分析，通过推理获得电压、电流等相关结论。对应水平三。 |

**说明** 本示例建议在学习“交变电流”和“变压器”后作为课堂例题使用，也可以作为课后作业使用。本示例是将交变电流与变压器这两个知识点结合起来的综合练习，可促进学生建立运动与相互作用观念、能量观念，提升学生科学推理的能力。

**示例 6** 如图 5 – 10 所示，我国 1 000 kV 特高压输电是目前世界上电压最高的输电工程。设甲、乙两地原来用 500 kV 超高压输电，输电线上损耗的电功率为 *P*，在保持输送电功率和输电线电阻都不变的条件下，现改用先进的1000kV特高压输电。若不考虑其他因素的影响，输电线上损耗的电功率将变为多少？说明用更高的电压输送电能的好处。

**分析** 当输送的电功率不变时，输电电压与输电电流成反比；在电阻不变的条件下，输电线损耗的电功率与输电电流的平方成正比。

**解答** 根据电功率公式 *P* = *UI*，因输送功率 *P*0 不变，则用 1 000 kV 特高压输电的电流与用 500 kV 超高压输电的电流之比为

= = =

根据公式 *P* = *I*2*R*，在电阻 *R* 不变时，输电线用 1 000 kV 特高压输电的损耗功率为

*P*′ = *P* = *P* = *P*

所以，输电线上损耗的电功率变为 *P*。

由此可见，采用更高电压输电可以减少输电线上能量的损失，且输电电压增大一倍，损耗的能量减少为原来的四分之一，这样非常好地达到节约能源的目的。

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 远距离高压输电 | 科学思维中“科学推理” | 能在电能输送的情境中应用电功率知识进行分析和推理，获得结论，对应水平二。 |
| 科学态度与责任中“社会责任” | 通过对电能输送情境问题的分析和推理了解高压输电的优势，体会科学·技术社会·环境的关系。对应水平二。 |

**说明** 本示例建议在学习“远距离高压输电”后作为课堂例题使用，也可以作为课后作业或单元检测使用，若作为单元检测使用，完成时间约 3 分钟。通过本示例的思考，着重提升学生的能量观念；在认识科学·技术·社会·环境关系的基础上，培养学生可持续发展的社会责任感。