

物理实验



# 基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪设计制作与教学示例<sup>\*</sup>

尹德都 刘艳 彭鑫 周宁

(楚雄师范学院物理与电子科学学院 云南 楚雄 675000)

李世平

(楚雄州民族中学 云南 楚雄 675000)

王冬冬

(楚雄州第一中学 云南 楚雄 675000)

(收稿日期:2021-12-03)

**摘要:**基于亥姆霍兹线圈提供匀强磁场,研制出一种既能定性演示电磁感应现象,又能半定量探究电磁感应定律的实验仪.实验仪的设计涉及电生磁、磁场叠加、磁生电、能量转化等基本物理原理的综合应用.仪器设计有明显的创新点,富有趣味性和启发性,实验现象明显,操作方便且成功率高,在中学物理教学中有很好的推广价值.

**关键词:**亥姆霍兹线圈 电磁感应 实验设计

电磁感应定律是中学物理教学电磁学部分的一个重点和难点,它既与电场、磁场和恒定电流有紧密的联系,又是学习交流电、电磁振荡和电磁波的重要基础.然而,在电磁感应定律的实验设计中,大多都局限于只演示出现象,却忽略了定量研究,部分实验注重定量研究却忽略演示现象<sup>[1~4]</sup>.其中,图1所示为一种定量探究电磁感应定律实验原理图,其实验操作主要是让磁铁从某一高度自由落下,通过同一个线圈的A位置.多次改变条形磁铁下落的高度,利用数字示波器绘制  $E \sim \sqrt{h}$  图像为一条倾斜的直线.从图中可知  $E$  与  $\sqrt{h}$  成正比关系,而  $\sqrt{h}$  的变化将导致磁铁穿过A时的速度发生变化,这就引起了  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  的变化.该实验可验证感应电动势的大小与磁通量变化率之间的关系,但实验未涉及探究感应电动势的大小与线圈匝数之间的关系<sup>[5~7]</sup>.基于上述分析,本文采用亥姆霍兹线圈提供匀强磁场,研制了一种既能演示电磁感应现象,又能定量分析的电磁感应

实验仪.

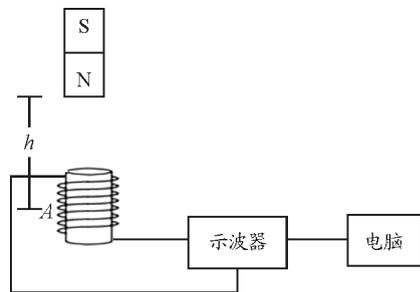


图1 数字示波器定量验证电磁感应定律原理图

## 1 基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪的设计

基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪设计的原理图如图2所示,设备核心在于利用亥姆霍兹线圈模拟出均匀的磁场.当矩形线圈悬挂在设备支架上的弹簧下方时,向下拉矩形线圈使其偏离平衡位置,松手后矩形线圈将在弹簧弹力的作用下上下振动,穿过矩形线圈中的磁通量发生变化从而产生感应电流.用漆包线绕制出两个大小和线圈匝数相同的圆形线圈,将两圆形线圈同轴并竖直固定在实验装置

<sup>\*</sup> 2020年度云南省教育科学规划基础教育专项项目,项目编号:BFJC20002;楚雄师范学院第十四批教学改革研究项目,项目编号:2009;2021年云南省大学生创新创业训练计划建设项目.

作者简介:尹德都(1984-),男,硕士,副教授,主要从事课程与教学论(物理)等教学与研究工作.

的水平底座上,且使两圆形线圈间的距离与圆形线圈的半径相等.当两个圆形线圈通入方向和大小相同的电流时,由于两圆形线圈通入稳恒的电流,在两个通电圆形线圈周围将形成稳定的磁场.根据磁场的叠加原理,将在两个通电圆形线圈的圆心连线中点附近区域形成近似均匀的磁场<sup>[8]</sup>.当改变通入圆形线圈中的电流大小时,可以改变亥姆霍兹线圈所产生的近似均匀磁场的大小.

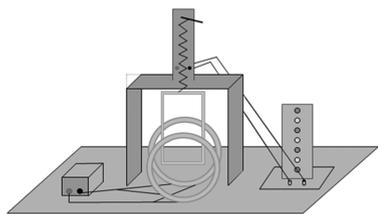


图2 基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪设计原理图

基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪的实物图如图3所示.实验设备中,还需用漆包线绕制出两个大小相同而匝数成倍数关系的矩形线圈(线圈匝数分别为250匝和500匝),用以探究当改变线圈匝数时产生感应电流的大小.由于自制亥姆霍兹线圈模拟均匀磁场强度较小,导致实验中产生的感应电流偏小,可用工作电压较小的发光二极管并联焊接在电路板上制作一套显示屏,通过显示屏上发光二极管的亮度,可以定性判断出相应的感应电流大小.也可将显示屏更换为灵敏电流计,半定量地测出感应电流的大小.

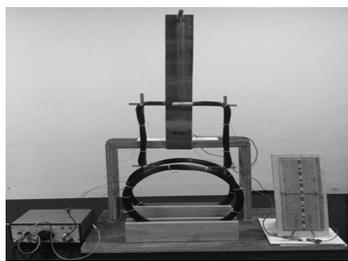


图3 基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪实物图

## 2 基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪教学示例

### 2.1 探究感应电动势的大小与磁通量变化率的关系

探究感应电动势的大小与磁通量变化率的关系时,保持矩形线圈的匝数不变,当改变磁通量的变化率时,通过观察自制的发光二极管显示屏的亮度或灵敏电流计指针的最大偏转角度来探究感应电流的大小.该装置有两种方法改变磁通量的变化率,其一

为保持磁通量变化的时间 $\Delta t$ 相同,改变磁通量变化量 $\Delta\Phi$ ;其二为保持磁通量变化量 $\Delta\Phi$ 相同,改变磁通量变化的时间 $\Delta t$ ,具体操作为:

(1) 磁通量变化的时间相同时改变磁通量变化量

将用于模拟匀强磁场的亥姆霍兹线圈的工作电压分别调至5 V和10 V,使亥姆霍兹线圈模拟的匀强磁场强度成倍数关系<sup>[5]</sup>.保持矩形线圈的匝数相同,让矩形线圈在亥姆霍兹线圈的两线圈之间的区域中以同一振幅振动,使矩形线圈在磁场中运动的时间相同,用灵敏电流计测出电流大小.

通过实验探究可以观察到:当矩形线圈匝数 $n$ 为500匝时,使该线圈在磁场中运动时间 $\Delta t$ 相同.此时,若亥姆霍兹线圈的工作电压加倍,穿过矩形线圈的磁通量变化量 $\Delta\Phi$ 也加倍,观察到灵敏电流计指针的最大偏转角度也加倍,其对应的感应电流大小也加倍.说明在线圈匝数 $n$ 和磁通量变化的时间 $\Delta t$ 一定时,感应电动势 $E$ 与磁通量变化量 $\Delta\Phi$ 成正比.

(2) 磁通量变化量相同时改变磁通量变化的时间

保持矩形线圈的匝数不变,将亥姆霍兹线圈接入的工作电压固定为10 V,通过改变弹簧拉伸的长度改变矩形线圈的运动速度来改变完成磁通量变化的时间 $\Delta t$ ,用灵敏电流计显示出电流的大小.

通过实验探究可以观察到:当矩形线圈匝数 $n$ 为500匝时,由于亥姆霍兹线圈的工作电压固定在10 V,矩形线圈所处磁场强度恒定,线圈在磁场中完成一次振动对应的磁通量变化量 $\Delta\Phi$ 相同.我们观察到当矩形线圈切割磁感线的时间越短,电路中产生的感应电流越大.可以得出闭合电路中线圈匝数 $n$ 和磁通量变化量 $\Delta\Phi$ 一定时,完成磁通量变化的时间 $\Delta t$ 越短,产生的感应电动势 $E$ 越大.

综上所述得出感应电动势大小由磁通量变化量和产生磁通量变化的时间共同决定,当闭合电路中线圈匝数一定时,感应电动势的大小与磁通量变化率成正比.

### 2.2 探究感应电动势的大小与线圈匝数的关系

保持亥姆霍兹线圈的工作电压为10 V,使亥姆霍兹线圈产生的磁场恒定.由于250匝和500匝矩形线圈的质量不一致,可在250匝的矩形线圈挂上

适量的砝码,使两矩形线圈的质量相等.让两矩形线圈在亥姆霍兹线圈中以同一振幅振动时,磁场恒定且线圈振动情况相同,从而保证通过线圈的磁通量变化率相同.用灵敏电流计显示出电流的大小.

通过实验探究可观察到:当磁通量变化率  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  一定,线圈匝数  $n$  加倍时,灵敏电流计指针的最大偏转角度也接近加倍,其产生的感应电动势  $E$  也接近加倍.该步骤中,由于不同匝数的矩形线圈电阻大小不同,致使实验存在一定的误差.但在误差范围内,可以得出闭合电路中磁通量变化率  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  一定时,感应电动势  $E$  的大小与线圈匝数  $n$  成正比.

通过上述实验探究过程,利用基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪,能直观地探究出感应电动势的大小与线圈匝数和磁通量变化率之间的关系.

### 3 结束语

基于亥姆霍兹线圈的电磁感应实验仪的设计涵盖了电生磁、磁场叠加、磁生电、能量转化等物理知识的综合应用,能让学生将课堂所学的知识应用于实践<sup>[9,10]</sup>.当它作为引入实验时,通过创设物理情境,观察二极管的亮暗变化,提高学生物理的兴趣.也可通过文中探讨的实验过程,验证感应电动势

与磁通量变化率、线圈匝数的关系.该实验装置设计新颖,操作方便,实验现象明显且实验成功率高;设备制作取材方便、重复性好,便于自制与推广.

### 参考文献

- 郭磊. 变压器上的电磁感应实验[J]. 实验教学与仪器, 2011(9):32 ~ 33
- 张鑫. 对高三物理一轮复习课的教学反思[J]. 考试周刊, 2013(72):133 ~ 133
- 王金文,尹德利. 基于探究理念的“楞次定律”教学设计[J]. 物理通报, 2018(9):66 ~ 69
- 陈其曜,章雪. 对法拉第电磁感应定律定量研究的探讨[J]. 物理实验, 1988(6):264 ~ 267
- 王占军. 对法拉第电磁感应定律实验的一点探索[J]. 实验教学与仪器, 2007(4):16
- 覃东红. 利用数字示波器定量验证法拉第电磁感应定律[J]. 中学物理, 2014(1):37 ~ 38
- 刘海威,蔡桂丽,梁维刚. 法拉第电磁感应定律定量实验的创新[J]. 物理通报, 2021(2):83 ~ 85
- 张晶皓,张雄,郑永刚,等. 普通物理实验教程(电磁学)[M]. 昆明:云南出版集团, 2019. 100 ~ 106
- 金鹏. 现代教育技术背景下的高中物理课堂变革的实践与思考[J]. 物理教学, 2017(9):32 ~ 36
- 吴玉琴. 趣味教具——“脚踩”发电机的制作[J]. 物理教师, 2013(3): 44 ~ 45

## Design and Teaching Example of Electromagnetic Induction Experiment Instrument Based on Helmholtz Coil

Yin Dedu Liu Yan Peng Xin Zhou Ning

(School of Physics and Electronic Science, Chuxiong Normal University, Chuxiong, Yunnan 675000)

Li Shiping

(Chuxiong Ethnic Middle School, Chuxiong, Yunnan 675000)

Wang Dongdong

(Chuxiong No. 1 Middle School, Chuxiong, Yunnan 675000)

**Abstract:** Based on the uniform magnetic field provided by Helmholtz coil, an experimental instrument is developed which can not only demonstrate the phenomenon of electromagnetic induction qualitatively, but also explore the law of electromagnetic induction semi-quantitatively. The design of the experimental instrument involves the comprehensive application of basic physical principles such as electrogenesis, magnetic field superposition, magnetic generation and electricity, and energy transformation. The instrument design has obvious innovative points, interesting and inspiring, experimental phenomenon is obvious, easy to operate and the success rate is high, so it has a good promotion value in middle school physics teaching.

**Key words:** Helmholtz coil; electromagnetic induction; experimental design