

运用自制教具探究载流导线所受安培力及其影响因素^{*}

李 捷 汪志荣

(安徽师范大学物理与电子信息学院 安徽 芜湖 241002)

(收稿日期:2018-11-27)

摘 要:针对探究载流导线在磁场中所受安培力的实验,现行人教版高中物理教科书介绍了一种测量安培力的实验装置,只能进行定性观察,无法定量测量,不能探究载流导线在磁场中所受安培力的影响因素.为此自制了一种安培力探究演示仪,阐述了该仪器的设计思想、基本构造以及运用该仪器探究影响载流导线所受安培力的影响因素的实验方案.

关键词:高中物理 测量安培力 实验探究 教具制作

将通电导线置于磁场当中,磁场对载流导线的作用力在物理学中称作安培力.《普通高中物理课程标准》(2017年版)对于通电导线在磁场中所受安培力的教学要求:学生需要通过实验认识安培力,能判断安培力的方向,会计算安培力的大小,了解安培力在生活生产中的应用^[1].

现行人教版高中物理教科书采用的实验仪器装置是将导体棒串联在电路当中,采取悬挂的方式使之置于U型磁铁的两个磁极之间,如图1所示^[2],接通电路,通电导体棒将会受力摆动,但是,该实验只能观察到导体棒所受到的安培力的方向,无法有效定量探究影响安培力的因素.由于这种实验装置存在局限性,教师在实际教学中只能进行初步的定性研究.

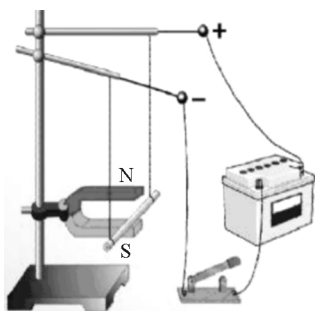


图1 人教版高中物理插图

以下介绍一种自制安培力演示仪及运用该仪器

探究安培力的影响因素的实验方案.

1 实验仪器设计与基本原理

此教具的核心设计思想是基于对串联电路中一段位于磁场中的载流导线进行受力分析之后,改进了教科书中的实验仪器结构,并且将测量安培力的方向与大小转化为观察导体棒的偏转方向和偏转角度.具体设计内容主要体现在以下4个方面.

1.1 测量电路设计

实验仪器的连接电路采取串联电路的连接方式,并在教科书实验测量电路(如图1所示)的基础上增加一只电流表,用来测量电路中的电流大小,同时增加一个滑动变阻器,用来调节电路中电流的大小和保护电路,如图2所示.

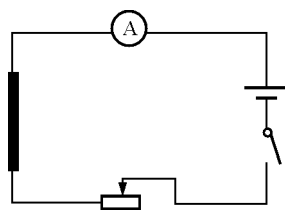


图2 测量电路更改示意图

1.2 测量仪器组成与结构设计

该实验仪器所含基本元件包括:学生电源(J1202-2型)、滑动变阻器($50\ \Omega$, $1.5\ \text{A}$)、电键(单刀双掷开关)、电流表(J0401演示电表)、自制角度

^{*} 高师院校理科师范生“全过程”专业实践质量监控及评价研究,安徽省高等学校省级教学质量与教学改革工程重点教研项目,项目编号:2017jyxm1159;安徽省高等学校省级教学质量工程项目精品线下开放课程,中学物理实验设计与实施,项目编号:2018kfk079

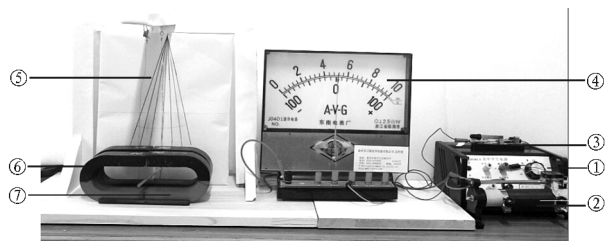
作者简介:李捷(1998-),女,在读本科生,研究方向为中学物理教学.

指导教师:汪志荣(1975-),男,博士,副教授,研究方向为物理课程与教学论.

刻度盘(长 310 mm,宽 210 mm)、漆包线(直径 1.5 mm)、磁铁(3组磁铁,型号为 U85、U80、U60)、特斯拉计(TD8620 型)。

为了便于观察实验现象和读数,实验装置采用整体化结构设计,如图 3 所示。实验仪器在器材的选择方面考虑了以下情况:

- (1) 电源(采用 J1202—2 型学生电源,用交流电源供电,电路中电流稳定也便于调节);
- (2) 滑动变阻器(可以连续调节电路中的电流大小);
- (3) 电键(便于控制电路的通断状态);
- (4) 电流表(选用大表盘电流表,方便观察和读数);
- (5) 角度盘(自制角度盘,将竖直方向规定为 0° ,便于观察导线的偏转方向和偏转角度);
- (6) 磁铁(几组 U 型磁铁,取材方便);
- (7) 通电导体漆包线(外包彩纸的一段漆包线,便于观察)。



①电源; ②滑动变阻器; ③电键; ④电流表; ⑤角度盘;
⑥磁铁; ⑦通电导体漆包线

图 3 实验仪器装置

为了增加仪器稳定性,同时进行了磁场稳定性和载流导线偏转稳定性方面的设计改进,如图 4 所示。

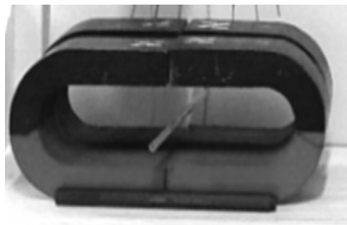


图 4 改进的实验装置

(1) 磁场稳定性

采用几对对称的 U 型磁铁并行放置,保证通电导线在一定的偏转范围内位于近似匀强磁场当中。

(2) 偏转稳定性

为增加实验时通电导线偏转的稳定性,一方面选择导线时采用漆包线,因其具有形状、规格、能短

时和长期在高温下工作和易弯曲的特点;另一方面,在该段通电导线外部添加了一只笔芯套,既降低了整个漆包线整体的重心,也增加了稳定性。

1.3 实验原理

当整个实验装置通电时^①,载流导线将在匀强磁场中受安培力的作用而发生偏转,悬挂的载流导线就会与竖直方向形成一定的偏角 θ ,如图 5 所示。此时,对载流导线进行受力分析,如图 6 所示,求解载流导线所受安培力。

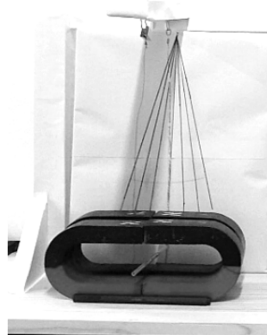


图 5 通电后载流导线与竖直方向成 θ 角

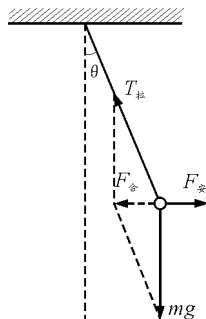


图 6 图 5 中载流导线的受力分析

根据力的平行四边形法则可知

$$F_{\text{安}} = mg \tan \theta$$

当 $\theta \rightarrow 0^\circ$ 时

$$\theta \approx \tan \theta$$

即得

$$F_{\text{安}} \approx mg \theta$$

因此,当偏转角度 θ 很小时($\theta < 5^\circ$),根据这种近似的量化关系,只要观察导线在刻度盘上的偏转角度 θ ,就能反映其所受安培力大小的关系^[3]。

实验时,只要保持待测通电导线垂直穿过成对的磁体,分别改变磁体内部磁场 B ,载流导线的电流

^① 该装置设计来源于作者在 2017 年由中国教育学会物理教学专业委员会主办的第九届全国大学生与研究生物理教学技能展示中获得一等奖的作品。

I , 以及导线长度 L , 通过观察悬挂的导线偏角 θ , 便能分析得出载流导线所受安培力 $F_{\text{安}}$ 与 B, I, L 之间的关系, 进而达到定量探究安培力影响因素的实验目的。

2 探究载流导线所受安培力影响因素的实验方案设计

2.1 探究载流导线所受安培力方向的影响因素

该设计方案主要采用控制变量法来探究影响安培力方向的因素^[4]。

(1) 探究电流方向对载流导线所受安培力方向的影响

实验操作时, 保持磁感应线方向不变, 通过改变电源的正负极来改变电流的方向, 进而观察悬挂导线偏转的方向, 从而达到探究电流方向对安培力方向影响的目的。

(2) 探究磁场方向对载流导线所受安培力方向的影响

实验操作时, 保持电流方向不变, 通过调换磁铁的 N, S 极, 来改变磁感应线方向, 进而观察悬挂导线偏转的方向, 从而达到探究磁场方向对载流导线所受安培力方向影响的目的。

2.2 探究载流导线所受安培力大小的影响因素

(1) 探究电流强度 I 对载流导线所受安培力大小的影响

当保持磁感应强度 B 和在磁场中的通电导线长度 L 不变, 实验者可通过改变滑动变阻器的滑片位置来改变电流大小, 从而达到电流强度 I 成倍变化的目的。

(2) 探究导线长度 L 对载流导线所受安培力大小的影响

选取若干完全相同的 U 型磁铁, 将其中 2 个磁体的磁极部分对向放置, 同时另选 4 个 U 型磁铁, 两两对向且并排放置, 如图 7 所示, 分别利用特斯拉计测量 U 型磁铁组内部的磁感应强度大小可以发现, 实验数据显示相差无几。

采取几对型号相同的磁铁, 将它们依次并行对称排放, 虽然该区域磁场强弱未变, 但位于磁场中通电导线长度 L 却发生成倍的变化, 因此可以通过增减磁体数目, 实现磁场中通电导线长度 L 的改变。

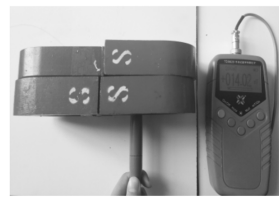
(3) 探究磁感应强度 B 对载流导线所受安培力

大小的影响

当保持电流 I 和导线长度 L 不变, 实验时, 运用特斯拉计测量不同型号磁铁的磁感应强度数值, 只要通过更换磁铁的型号, 就能达到定量探究磁感应强度 B 对安培力大小影响的目的。



(a)



(b)

图 7 用特斯拉计测量磁感应强度

3 实验操作与实验数据测量

运用本实验仪器开展探究实验, 具体操作步骤介绍如下。

3.1 定性探究影响安培力方向的因素

在装置底部放置两对型号为 U85 的磁铁, 使其开口对接, 并行排列, 并让其磁场方向竖直向上, 电流方向垂直指向角度盘, 且磁场方向与导线方向垂直。接通电路, 若观察到悬挂导线偏离角度盘 0 刻度线向右, 则可判定导线受到的安培力方向水平向右^[5]。

保持其他条件不变, 只改变磁场的方向, 观察悬挂导线的位置, 如果悬挂导线偏离角度盘 0 刻度线向左, 则导线受到的安培力方向也发生改变, 即方向水平向左。若改变电流的方向, 其他条件不变, 观察悬挂导线的位置, 如果此时悬挂导线偏离角度盘 0 刻度线向右, 则导线受到的安培力方向再次发生改变, 即方向水平向右。

通过对现象的分析, 即可得出影响安培力方向的因素为电流方向及磁感应线方向。

3.2 定量探究影响安培力大小的因素

(1) 改变载流导体内电流大小, 探究其对安培力大小的影响

在装置底部放置两对型号为 U85 的磁铁, 使其开口对接, 并行排列, 保持磁场的磁感应强度和位于

磁场中的导线长度不变,接通电路,移动滑动变阻器滑片,调节电流大小,使悬挂导线偏离角度盘0刻度线一定角度,待悬挂导线偏转稳定后,记录此时电流表的读数及导线偏转角度数,最后断开开关.

改变滑动变阻器滑片位置使电流大小成倍变化,接通电源,重复上述步骤,依次得到第二组,第三组实验数据,并将数据记录到表格内.

(2) 改变载流导体的导线长度,探究其对安培力大小的影响

实验前,准备3对U85型磁铁,测量出单个磁铁的宽度为 L ,如图8所示.

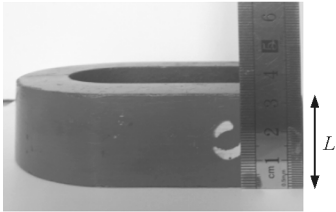


图8 单个磁铁的宽度测量

实验时首先在底座放置一对U85型磁铁,使其开口对接,并行排列,接通电路,待悬挂导线偏转稳

定后,记录此时位于磁场的导线长度及悬挂导线的偏转角度,最后断开开关.

然后,在保持载导体中的电流与磁体型号不变的情况下,依次增加放置于底座的U85型磁铁的对数,使位于磁场中的载流导线长度变为 $2L,3L$.接通电源,重复上述步骤,得到第二组,第三组数据,并将数据记录到表格内.

(3) 改变磁场的磁感应强度大小,探究其对安培力大小的影响

为了改变磁场强弱,实验前选用3种不同型号的磁铁放置在底座上.实验时,在悬线下端载流导线的外围首先放置一对U60型号磁铁,使其开口对接,并行排列,运用特斯拉计测出导线附近的匀强磁场的磁感应强度;然后接通电路,待悬挂导线偏转稳定后,记录悬挂导线的偏转角度.

接着更换实验磁铁的型号,改变磁感应强度,接通电源后,重复上述步骤,依次得到第二组,第三组实验数据,并将数据记录到表格内.定量探究影响安培力大小因素的实验数据如表1所示.

表1 探究影响安培力大小的实验数据记录表

实验条件	B 与 L 一定		B 与 I 一定		I 与 L 一定	
待测量	电流强度 I/A	偏转角 $\theta/\text{格}$	导线长度 L/m	偏转角 $\theta/\text{格}$	磁感应强度 B/T	偏转角 $\theta/\text{格}$
1						
2						
3						
结论						

通过分析表格中的实验数据,总结得出影响安培力大小的因素及基本规律.

4 实验仪器的优点与有待改进之处

该仪器实现了定量探究影响安培力方向、大小的因素,弥补传统安培力演示仪在这些方面的不足.实验仪器的主要优点在于:

(1) 演示安培定律时,不仅可以演示安培力的存在,还可以演示影响安培力方向和大小的因素.

(2) 仪器布局合理,构造简单,不易损坏,制作成本低.

(3) 实验装置易于操作,实验现象明显,能够在课堂教学中加以推广.

尽管该实验仪器操作简单,实验效果稳定,实验

现象明显等优点,可用于半定量探究安培力的影响因素,但在实验精度方面仍有待进一步提高.

参考文献

1 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准.北京:人民教育出版社,2017.28

2 人民教育出版社,物理课程教材研究开发中心.普通高中课程标准实验教科书物理·选修3-1(第3版).北京:人民教育出版社,2010.83

3 张佑良,冯霞.探究安培力大小的实验装置的设计.物理教学探讨,2018,36(4):50~51

4 冷文秀,张默,贺艳丽,等.安培力演示仪的设计与制作.物理与工程,2016,26(5):37~39

5 刘万强.自制安培力演示仪.物理通报,2008(10):59~61