

# 基于 DIS 传感器自制安培力定量探究仪

刘玉树 (莆田第四中学 福建 351100)

陈剑峰 (莆田第二中学 福建 351131)

**摘 要** 探究匀强磁场中安培力的特点是高中物理教学中的重点难点内容之一。基于 DIS 传感器自制的安培力定量探究仪,能全面、精确定量探究安培力大小与匝数、长度、电流、磁感应强度及夹角的关系,增加实验教学的有效性,装置集成化,通过特殊设计的结构,操作方便,能节省探究时间,提高课堂实验的可行性。

**关键词** 安培力 定量探究 磁感应强度

**文章编号** 1002-0748(2022)1-0025

**中图分类号** G633·7

**文献标识码** B

“安培力及其应用”是鲁科版高中物理教材(2017 课标版)选择性必修第二册第一章第 1 节的内容。匀强磁场中安培力的特点是高中物理教学中的重点难点内容之一,教材采用简易的“锡箔桥”定性验证安培力  $F$  与电流  $I$ 、直导线长度  $L$  间的关系,而后通过“研究表明”直接给出安培力的公式,学生容易出现思维跳跃。偶有教师完成磁感应强度  $B$  和电流  $I$  成特殊角( $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ )时安培力的测量,数据少、装置不稳定,很难直观测量判断  $F$  与  $\theta$  的正弦关系。特别在研究安培力与磁感应强度的关系时,教师通过调节磁铁间的距离、复杂的叠加磁场定性研究,实验效果差<sup>[1]</sup>。由于缺少能全面定量地探究的设备,教师需要组装多套设备,调试与数据采集占用大量的探究时间。因此,开发一套能够精确、全面探究影响安培力大小因素的集成装置非常有必要。

## 1 设计基本思路

利用 3D 软件设计凸边长度不一样的凸边形线框,分别引出线圈 40、80、120 匝的抽头,设计线框可以沿中心轴翻转,快速改变直导线长度。

利用 3D 软件设计 U 型磁铁固定架,通过固定规格相同厚度不同的强磁铁来改变磁感应强度,用三维磁传感器测量磁感应强度大小。

底座上方设计角度盘,角度盘上装有 U 型磁铁固定架的导轨(快速在相同位置固定磁铁组),角度盘下方连接角度传感器,快速、准确测量、记录任意夹角大小。

利用电位器、接线柱等设计实验专用电路板,整洁美观、易操作,选用多量程电流传感器,根据实验需求切换合适量程,数据更加准确。

## 2 装置的制作及说明

### 2.1 制作材料

多规格方形有机玻璃板、直径 500 mm 有机玻璃转盘(厚 5 mm)、轴承、直径 0.25 mm 漆包线、4 节音频线、4 节音频公母插、接线柱、3D 设计的多边形线框及 U 型线框架、白色有机玻璃线路板、100  $\Omega$  电位器、开关、导线、多规格的方形强磁、3D 设计的磁铁架、12 V 锂电池、微力传感器( $-2\text{ N}\sim 2\text{ N}$ )、多量程电流传感器( $-2\text{ A}\sim 2\text{ A}$ ,  $-200\text{ mA}\sim 200\text{ mA}$ )、三维磁强度传感器( $-0.15\text{ T}\sim 0.15\text{ T}$ )、旋转运动传感器、计算机、采集器、数据线等。

### 2.2 制作说明

利用有机玻璃制作的主体支架,顶部设计一字槽用来固定微力传感器(能微调位置)。

利用 3D 打印机打印凸边形线框,用 0.25 mm 漆包线绕制线圈,引出公共端、40 匝、80 匝和 120 匝的抽头,通过 4 节音频线(公母插头)转接到电路板上的 4 个接线柱上,可快速将不同匝数的线圈接入电路中。线框整体利用 U 形夹固定,通过旋转快速将不同边长的线框边置于磁铁组的中心位置(设计线框中心与每边的距离一样)。增加限位,最多只能转一周,防止导线缠绕。

利用 3D 打印机打印的 U 型磁铁架,分别固定若干对长宽相同、厚度不同的磁铁组,磁感应强度可通过三维磁传感器测量。

底座上方设计角度盘,角度盘上装有 U 型磁铁组固定架的导轨(快速在相同位置固定磁铁组),角度盘与下方连接角度传感器,能准确测量并快速记录任意角度的大小。

利用激光雕刻机在白色有机玻璃板上扫出电路,用黑色记号笔描黑,安装开关、电位器、接线柱、多量程电流传感器和 DC 电源等电路元件,背板用导线连接,通过两条导线可控制线圈匝数,通过电位器调节电路的电流,利用电流传感器测量电路中电流的大小。

### 2.3 实验装置实物图(见图 1)



图 1

## 3 实验过程

### 3.1 实验 1 探究安培力 $F$ 大小与匝数 $N$ 的关系

#### 3.1.1 实验步骤

(1) 组装好器材,将线圈公共端和 40 匝接线端子连入电路(线圈匝数为 40 匝),再将电流传感器串联接入电路中。

(2) 旋转线框,让不规则线框的最长边位于磁铁组的正中央(与底座平行)。

(3) 将微力传感器和电流传感器调零,闭合开关,调节电位器,使电路电流  $I$  约在 0.24 A 左右较合适。

(4) 记录匝数  $N$  和微力传感器示数值  $F$  (安培力大小),如表 1 所示。

(5) 断开开关,40 匝上的接线端子拔插到 80 匝接线柱上,闭合开关,分别调节电位器控制电路中的电流保持 0.24 A 不变,并记录匝数  $N$  和微力传感器示数值  $F$ 。

(6) 换 120 匝重复以上操作。

(7) 分析数据,得出结论。

#### 3.1.2 实验数据

表 1 探究  $F$  与  $N$  关系的实验数据

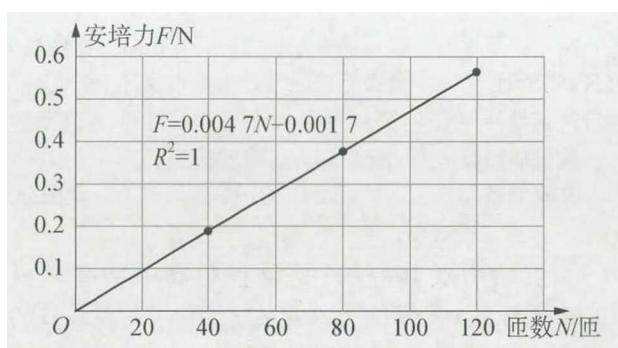
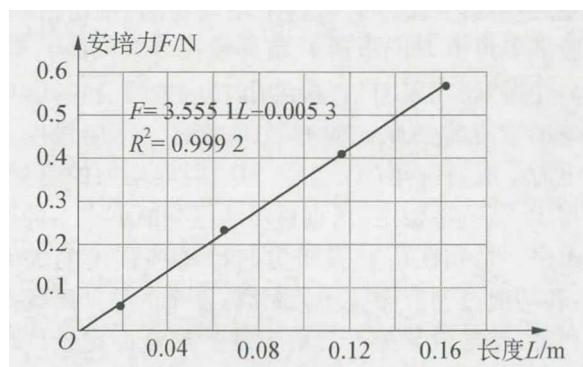
次数	匝数 $N$ /匝	安培力 $F$ /N
1	40	0.186

续 表

次数	匝数 $N$ /匝	安培力 $F$ /N
2	80	0.375
3	120	0.562

#### 3.1.3 实验结论

其他条件不变,安培力大小与通电直导线的匝数成正比,即:  $F = k_1 N$ ,见图 2 所示。

图 2  $F$  与  $N$  关系实验数据图图 3  $F$  与  $L$  关系实验数据图

### 3.2 实验 2 探究安培力 $F$ 大小与长度 $L$ 的关系

#### 3.2.1 实验步骤

(1) 组装好器材,旋转线框,让不规则线框的最长边  $L_1$  于磁铁组的正中间。

(2) 将微力传感器和电流传感器调零,闭合开关,调节电位器,使电路电流  $I$  约在 0.24 A 左右较合适。

(3) 点击记录,记录匝数  $N$ 、长度  $L$  和微力传感器示数值  $F$  如表 2 所示。

(4) 断开开关,线圈旋转,让不规则线框的另外一边于磁铁组的正中间,将微力传感器和电流传感器调零,闭合开关,分别记录匝数  $N$ 、长度  $L$  和微力传感器示数值  $F$ 。

(5) 换另外两边重复以上操作(整个过程控制电路电流不变)。

(6) 分析数据,得出结论。

### 3.2.2 实验数据

表 2 探究  $F$  与  $L$  关系的实验数据

次数	$N/\text{匝}$	凸边长 $L_{\text{边}}/\text{m}$	长度 $L/\text{m}$	安培力 $F/\text{N}$
1	120	0.135	16.2	0.567
2	120	0.097	11.64	0.410
3	120	0.054	6.48	0.233
4	120	0.016	1.92	0.057

### 3.2.3 实验结论

其他条件不变,安培力大小与通电直导线的长度成正比,即:  $F = k_2 L$ ,如图 3 所示。

3.3 实验 3 探究安培力  $F$  大小与电流  $I$  的关系

#### 3.3.1 实验步骤

(1) 组装好器材,旋转线框,让不规则线框的一边于磁铁组的正中间。

(2) 将微力传感器和电流传感器调零,闭合开关,调节电位器到适当的位置(电路电流 0.05 A 左右)。

(3) 点击记录,记录电流  $I$  和微力传感器示数值  $F$ ,如表 3 所示。

(4) 不断调节电位器增加电路中的电流,分别记录电流  $I$  和微力传感器示数值  $F$ (有条件的可以换磁铁组或导线长度重复实验)。

(5) 分析数据,得出结论。

#### 3.3.2 实验数据

表 3 探究  $F$  与  $I$  关系的实验数据

次数	电流 $I/\text{A}$	安培力 $F/\text{N}$
1	0	0
2	0.06	0.102
3	0.10	0.162
4	0.15	0.249
5	0.20	0.338
6	0.24	0.403

#### 3.3.3 实验结论

其他条件不变,安培力大小与通电电流成正比,即:  $F = k_3 I$ ,如图 4 所示。

3.4 实验 4 探究安培力  $F$  大小与磁感应强度  $B$  的关系

#### 3.4.1 实验步骤

(1) 组装好器材,旋转线框,让不规则线框的最

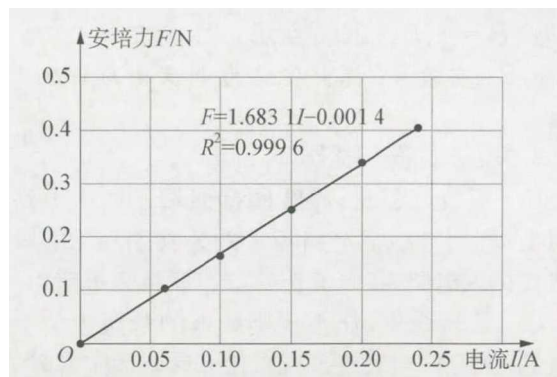


图 4  $F$  与  $I$  关系实验数据图

短边于磁铁组的正中间(与底座平行),安装三维磁传感器(磁传感器的杆与线框边平行置于磁铁组中间, $x$ 轴数值为实验所测匀强磁场强度)。

(2) 将微力传感器和电流传感器调零,闭合开关,调节电位器,使电路电流  $I$  约在 0.24 A 左右较合适。

(3) 点击记录,记录磁感应强度大小  $B$ ( $x$ 轴值)和微力传感器示数值  $F$ 。

(4) 用 2~4 号磁铁组替换 1 号磁铁组保持电路中的电流不变,分别记录对应的磁感应强度  $B$  和微力传感器示数值  $F$ (有条件的可以改变电流或导线长度重复实验)。

(5) 分析数据,得出结论。

#### 3.4.2 实验数据

实验数据如表 4 所示。

表 4 探究  $F$  与  $B$  关系的实验数据

次数	磁感应强度 $B/\text{T}$	安培力 $F/\text{N}$
1	0.0440	0.020
2	0.0564	0.027
3	0.0818	0.038
4	0.1115	0.052

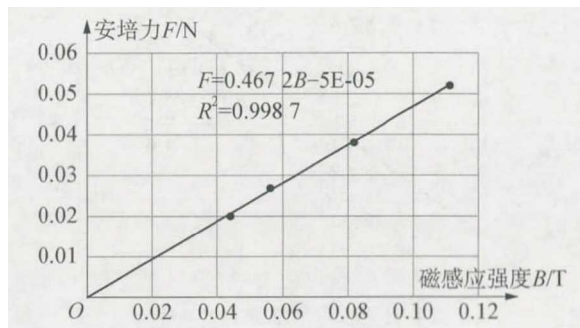


图 5  $F$  与  $B$  关系实验数据图

#### 3.4.3 实验结论

其他条件不变,安培力大小与磁感应强度成正

比,即:  $F = k_4 B$ ,如图 5 所示。

### 3.5 实验 5 探究安培力 $F$ 大小与角度 $\theta$ 的关系

#### 3.5.1 实验步骤

(1) 组装好器材,将线圈接线端子插入电路板插口上,利用导线把电路板上的公共端和 120 匝的接线柱接入电路,将电流传感器串联接入电路中。

(2) 旋转线框,让不规则线框的最短边位于磁铁组的正中央(与底座平行),松开转盘固定螺丝,旋转转盘使线框边与磁铁组面平行(通电导线与磁场方向平行)。

(3) 将微力传感器和角度传感器调零(记录电

流方向与磁场方向之间的夹角,以下简称“夹角”),闭合开关,调节电位器,使电路电流  $I$  约在 0.24 A 左右较合适。

(4) 点击记录,记录微力传感器示数值  $F$ (安培力大小)和夹角  $\theta$ 。

(5) 不断旋转转盘(转过  $360^\circ$ ),分别记录对应的微力传感器示数值  $F$  和夹角  $\theta$ (有条件的可以换线框长度或不同磁铁组进行多次实验)。

(6) 通过软件描点、正弦拟合,分析得出结论。

#### 3.5.2 实验数据

实验数据如表 5 所示。

表 5 探究  $F$  与  $B$  关系的实验数据

夹角 $\theta$ /度	0.0	30.8	56.2	69.0	91.1	115.0	137.7
安培力 $F$ /N	0.000	0.006	0.010	0.011	0.012	0.011	0.009
夹角 $\theta$ /度	160.6	182.0	210.6	260.0	298.0	334.0	360.0
安培力 $F$ /N	0.005	0.000	-0.005	-0.011	-0.010	-0.005	0.000

#### 3.5.3 实验结论

其他条件不变,安培力大小与电流方向和磁场

方向之间夹角的正弦值成正比,即  $F = k_5 \sin \theta$ ,如图 6 和图 7 所示。

综合以上实验,即得:  $F = kNBIL \sin \theta$ 。

## 4 结束语

本项目是基于 DIS 传感器的安培力定量测量实验仪,实现了对安培力与线圈匝数、长度、电流强度、磁感应强度和夹角的全面精确的定量研究。进一步分析数据,将  $F$ 、 $N$ 、 $B$ 、 $I$ 、 $L$ 、 $\theta$  代入  $F = kNBIL \sin \theta$  得到探究结论中比例系数  $k$  约为 1,很好地处理探究结论与公式间的过渡问题。装置集成化,通过特殊设计的旋转线圈、旋转传感器实时采集夹角等结构信息,操作方便,节省探究时间,提高课堂实验的可行性。科技的发展给物理实验教学带来了巨大的变革,利用传感器开发创新实验教具,帮助学生提升思维,让学生体验知识的形成过程,享受探究的快乐,培养学生的创新精神和实践能力<sup>[2]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 戴显昂,殷位海. 利用传感器定量探究安培力实验的创新设计[J]. 物理教师, 2021, 42(04): 53—55.
- [2] 朱远稼. 中美物理 DIS 实验系统比较研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013.

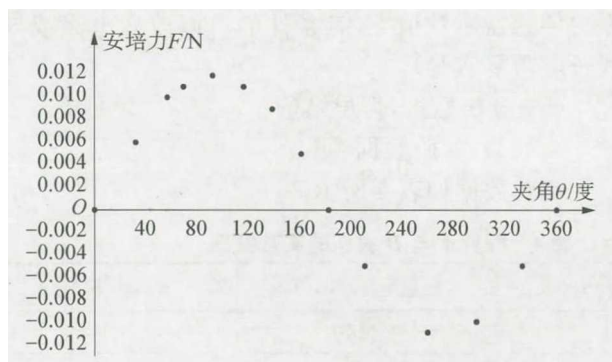


图 6 探究  $F$  与  $\theta$  的关系实验数据处理

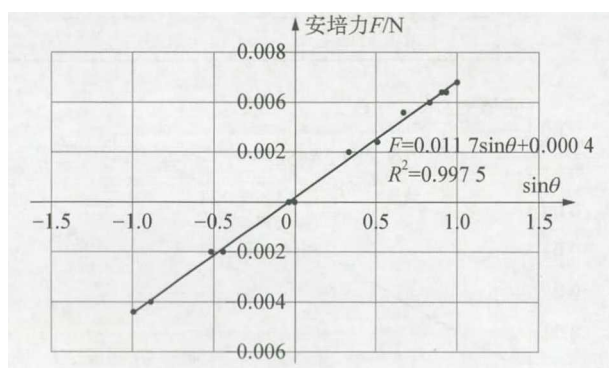


图 7  $F$  与  $\sin \theta$  的关系数据处理