

定量探究通电导线所受安培力与磁场和导线夹角关系

王 洋

(合肥一六八中学 安徽合肥 230000)

文章编号:1002-218X(2022)07-0058-03

中图分类号:G632.42

文献标识码:B

摘 要:为了让学生定量直观地探究安培力的影响因素,利用自制的安培力定量探究仪,采用高精度的传感器,解决安培力难以测量的问题。仪器能够直观展示磁场与导线平行时安培力为零,利用电脑软件可以直接拟合安培力与磁场和导线夹角的关系,绘出安培力与磁场和导线夹角的正弦函数图像,定量探究安培力与电流和导线长度的正比关系。

关键词:实验改进;安培力;正弦函数图像

一、研究背景

由于通电导线在磁场中受到的力难以测量,故定量探究通电导线所受的安培力成为教学的难点。人教版教材的处理方式是:当磁场垂直于电流时^[1],通过定性实验得到 $F_{\text{安}} = BIL$;当磁场与电流成任意夹角 θ 时,通过对 B 进行正交分解得出 $F_{\text{安}} = BIL\sin\theta$ 。学生对教材中的推导过程有两种困惑:①推导过程中需要用到“当磁场平行于电流时,通电导线所受安培力为零”这一结论,而教材对此并未给出解释和实验验证,不能使学生信服;②学生对这一物理观念的认知不够,迫切需要定量探究实验来帮助学生理解。

从目前已公开发表的研究成果来看,只有极少数文献研究了 $F_{\text{安}}$ 与 θ 的关系,而且只能测量一些特殊角度的值,而且在夹角为 90° 左右测量误差极大,很难得到正弦函数关系。还有一些教师采用电子秤测量安培力,实验精度不高,数据不能连续采集。笔者在教科版教材^[2]的启发下,自制了一套实验装置,用来连续且精确地测量安培力,并探究安培力与磁场和导线夹角的关系。

二、自制实验装置

实验器材 两块方形磁铁、自制可调匝数线圈、直流电动机、底座、威尼力传感器、威尼力电流传感器、威尼数据采集器、手工有机玻璃框架、重锤、两个可调电压电源、笔记本电脑、导线及测量工具。

改进后的实验装置如图 1(a)所示,在转盘下安装了微型直流电动机,可以带动转盘匀速转动。如图 1(b)所示,转盘上方有两块 N、S 两极正对的方形磁铁,其内部可认为是匀强磁场。自制的可调匝数线圈上端挂在力传感器上,下端放入匀强磁场中,将可调匝数线圈与可调电压电源、电流传感器串联,构成电流调节电路。安培力和电流信号通过数据采集器传

输到电脑中,将另一可调电压源与直流电动机串联构成转盘转速调节电路。

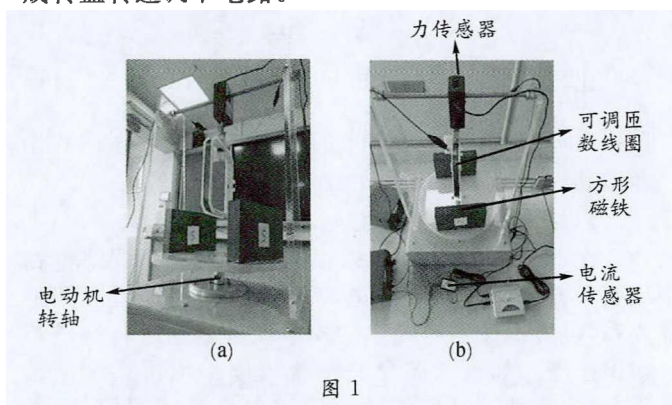


图 1

三、实验原理

1. 安培力的测量

线圈通电前处于静止状态,重力 G 与拉力 T_1 平衡,如图 2(a)所示。如图 2(b)所示,接通电源,线圈仍静止,水平方向受力平衡,竖直方向拉力 T_2 等于重力 G 和安培力 F_1 之和,所以,线圈底边所受安培力等于两次拉力之差 $T_2 - T_1$ 。实际操作中,在线圈不通电时,按下 logger pro 3.15 软件中的“归零”按钮,类似于电子秤中的“去皮”功能,再将线圈通电,此时拉力显示值等于线圈底边所受安培力的大小。因此,这一力传感器操作方便简单,数据处理容易且精确度高达 10^{-3} N。

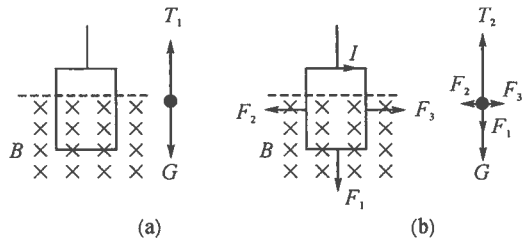


图 2

2. 磁场与电流方向夹角的改变

通过转动转盘改变磁场方向,从而可以改变磁场与电流的夹角。为了让夹角连续变化,接通直流电动机带动转盘匀速转动,则安培力就会随着夹角的变化而变化,并通过传感器将力的信号实时输出。

四、实验创新点

1. 实验数据精确

威尼尔力传感器精度高达 10^{-3} N,威尼尔电流传感器精度高达 10^{-4} A。通过 logger pro 3.15 软件可以直接进行曲线拟合,得到正弦曲线,数据处理方便,误差较小。

2. 直观展现磁场与导线平行时,安培力为 0

通过实验直观展示了当磁场与导线垂直时安培力确实为 0,如图 3 所示,解决了学生第一个困惑,为理论推导安培力的一般表达式奠定实验基础,让学生对这一过程更加信服。



图 3

3. 直观展现安培力与其影响因素间的图像关系

(1) 探究安培力与夹角之间的关系

保持其他因素不变,安培力与夹角的关系如图 4 所示。

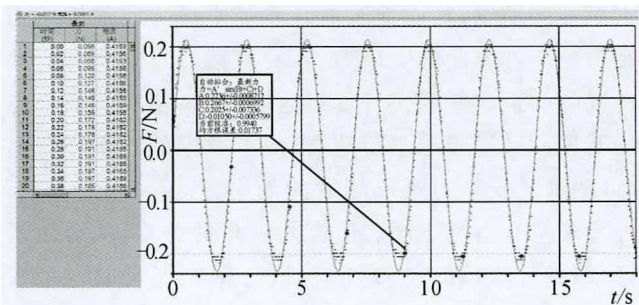


图 4

分析 当前校准指实验数据与要拟合的函数之间的接近程度,越接近 1 说明曲线越接近要拟合的函数。当前校准值为 0.9940,说明该图线拟合后为正弦函数。由于是匀速转动,夹角与时间成正比。

结论 1 在误差允许的范围内,控制其他因素不变,安培力与夹角成正弦函数关系。

(2) 转盘转速逐渐增大的情况

保持其他因素不变,逐渐增大转盘转速,安培力随时间变化的图像如图 5 所示。

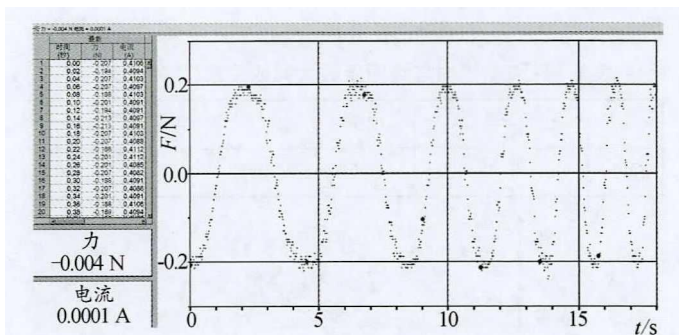


图 5

结论 2 保持其他因素不变,随着转速的增大,安培力的变化频率逐渐增大。

(3) 电流逐渐减小的情况

保持其他因素不变,逐渐减小电流,安培力随时间变化的图像如图 6 所示。

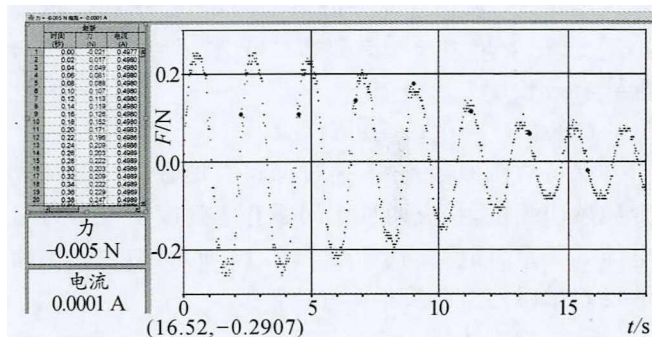


图 6

结论 3 保持其他因素不变,随着电流的逐渐减小,安培力的峰值逐渐减小。

4. 实验可全面探究 F 与 I 、 L 和 B 的定量关系

(1) 探究 F 与 I 之间的关系

保持其他因素不变, F 与 I 之间的关系图像如图 7 所示。

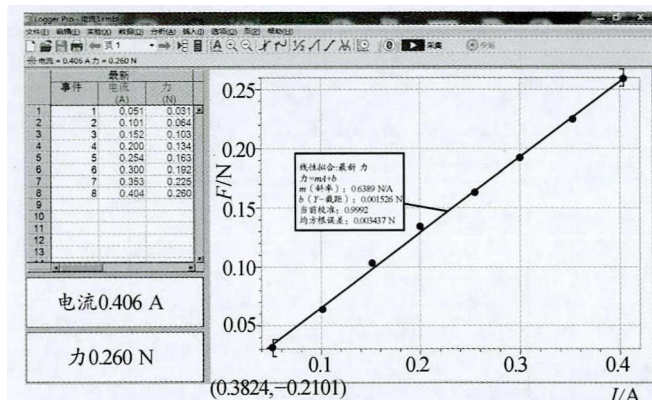


图 7

结论 4 在误差允许的范围内,当磁场和通电导线长度不变时, F 与 I 成正比。

(2) 探究 F 与 L 之间的关系

保持其他因素不变,与线圈匝数之间的关系如表

实验研究

1所示,其关系图像如图8所示。

表1 探究安培力与线圈匝数之间的关系(B 和 I 保持不变)

n	0	60	80	100	200	300
F/N	0	0.064	0.076	0.107	0.212	0.301

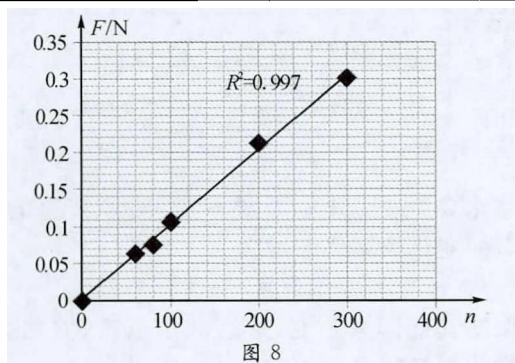


图8

结论5 在误差允许的范围内,当磁场和电流大小不变时,安培力与线圈匝数成正比,即安培力 F 与导线有效长度 L 成正比。

(3)探究 F 与 B 之间的关系

保持线圈匝数不变,通过调整方形磁铁的距离改变磁感应强度,探究两种不同磁感应强度下安培力与电流的关系,图像分别如图9、图10所示,斜率大小能够反映出磁感应强度的大小。

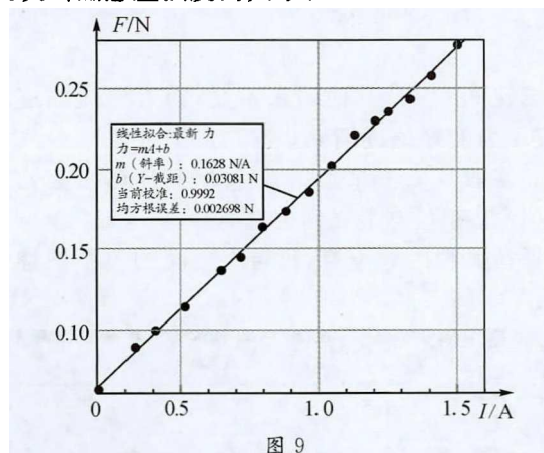


图9

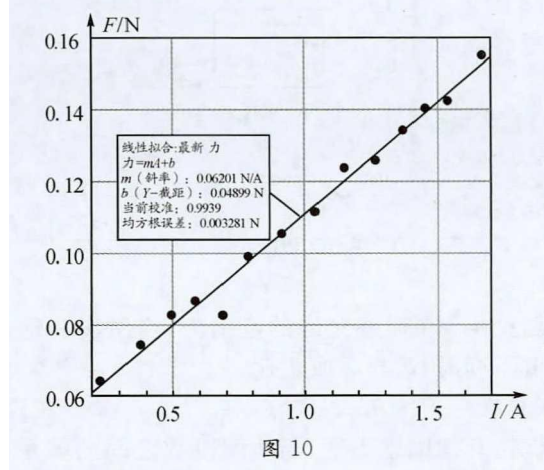


图10

结论6 在误差允许的范围内,线圈匝数和电流相同时,磁感应强度越大,安培力越大。

通过以上实验可知,在误差允许的范围内,该实验装置可精确地定量探究出安培力与磁场和电流之间的夹角、电流、导线的有效长度、磁感应强度的关系。

五、误差分析

竖直两边切割磁感线会产生变化的反电动势,但由于转盘转速、磁感应强度、导线切割磁感线的有效长度均较小,所以反电动势影响较小,从图4中电流传感器的示数可以看到电流变化在5%以内。由于磁场的边缘效应,导线框的四条边都会受到安培力,竖直两边的线框受力方向水平,处于上边的线框也会受到安培力,但由于外围磁场较弱,几乎不受力。换成更大磁铁或者励磁线圈产生匀强磁场,改变励磁线圈电流从而改变磁场强弱。不同线圈所对应的有效长度稍有区别,用匝数代替线圈的有效长度存在误差。采用拉力传感器和电流传感器,通过数据采集器传输到电脑,用软件直接生成图像,数据精度高,作图误差可以忽略。

六、实验评价

通过本实验能够让学生对磁场和导线平行时安培力为零,以及安培力与磁场和导线夹角的正弦函数关系有一个直观的感受。实验教具的构思非常奇妙,用方形磁铁代替马蹄形磁铁,将竖直方向磁场转变为水平方向磁场,从而把通电导线受水平方向的安培力转为受竖直方向的安培力,容易直接测量安培力。用自制可调匝数线圈代替单根通电导线,使实验效果更加明显。采用威尼尔传感器,使得数据的测量方便精确,解决了安培力难以测量的问题。logger pro 3.15可直接拟合力与磁场和电流间夹角的关系,拟合效果好、精确度高,真正实现了安培力影响因素的定量探究,使学生对磁场的认识从定性转为定量,从被动接受转为主动探究,培养学生的兴趣,促进学生科学思维的发展,促使其实验探究能力的提升。

参考文献

- [1] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书物理选择性必修第二册[M]. 北京:人民教育出版社,2019:4-5.
- [2] 陈熙谋,吴祖仁. 普通高中课程标准实验教科书物理选修3-1[M]. 北京:教育科学出版社,2014:85-86.

(本文编辑:王 萍)