

物理实验



基于 phyphox 软件验证电流磁效应*

张顺 雷思楠 易庭丰

(云南师范大学物理与电子信息学院 昆明 650500)

(收稿日期:2022-01-21)

摘要:电流产生磁场,是高中生认知上的一次飞跃,但由于仪器设备,缺乏定量实验的支撑.借助智能手机软件 phyphox 中的磁力计模块,验证电流产生磁场与电流大小、与导线距离的关系,即电流越大,距离导体越近,电流产生磁场越强.在此基础上,以电流磁效应为基础,间接测出通过导体的电流.这对物理教学有很大的帮助,实际生活中也有一定作用.

关键词:电流磁效应 电流测量 phyphox

1820年,丹麦科学家奥斯特在一次实验中,发现小磁针在通电导体旁边发生偏转,这就意味着电流磁效应被发现.电流磁效应是中学物理中非常重要的组成部分,但由于仪器的原因,使得恒定电流产生磁场难以被测量;学生只能靠想象和抽象的作图来学习该部分内容.

传感器的发展,使得实验手段很多样;用传感器测量亥姆霍兹线圈产生的磁场^[1],在教学中,也大量地引用传感器^[2~5].phyphox 是利用手机自带的传感器,调用相对应的模块进行工作.在 phyphox 软件磁传感模块中,最小可测量 10^{-8} T,满足实验要求.基于以上分析,本文利用该软件设计实验,测量电流产生的磁场,探究磁场大小与电流大小,与导线距离的关系,间接求得电流.

1 实验原理

根据电流磁效应^[6,7],通电导体会产生磁场,如图1所示.通电直导体在 p 点处产生的磁场满足关系式

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (1)$$

当导体无限长时, $\theta_1 = 0$, 则式(1)改写为

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

其中 a 表示测量点与直导体之间的距离.

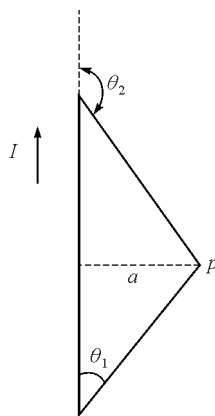


图1 通电直导线产生磁场

由于实验中电流产生的磁场大小与地磁场大小相当,故考虑地磁场对实验的影响.传感器测得的磁场为

$$\mathbf{B}_{\text{测}} = \mathbf{B}_I + \mathbf{B}_{\text{地}} \quad (2)$$

根据上式,可测量长直导体任意位置的磁场(比如测量一般通电导线的磁场).为了测量的方便,我们可以测量导线中心水平面上的磁场,即软件测量

* 云南师范大学2019年本科线下一流课程建设项目“近代物理实验”(校级),项目编号:2019xxkc33

作者简介:张顺(1997-),男,2018级本科生.

通讯作者:易庭丰(1976-),男,博士,副教授,主要研究方向为高能天体物理和近代物理实验教学.

数据中,方向 Z 的值. 此时可将式(2)化为

$$\mathbf{B}_{\text{测}} = \mathbf{B}_{\parallel} + \mathbf{B}_{\perp}$$

当传感器与导体水平平面不重合时,如图 2 所示(假设在 O 点处有一垂直于纸面向里的电流流过),显然, \mathbf{B} 为电流产生的磁场,且与竖直方向的夹角为 θ ,此时测得的磁场为

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_{\perp} + \mathbf{B}_{\parallel} \cos \theta \quad (3)$$

其中

$$\cos \theta = \frac{a}{b}$$

a, b 分别为待测点与直导体的水平距离和直线距离.

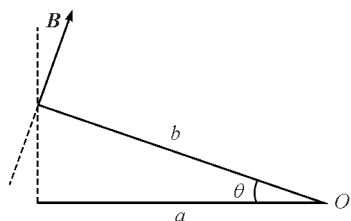


图 2 传感器与导线不水平情况下的磁场分布

为了消除地磁场竖直分量对实验的影响,笔者采取改变电流的方向、不改变其大小的方法,并记录下 B_1 和 B_2 ,若地磁场的竖直分量记作 B_0 ,电流产生的磁场为 B ,设两次测得的磁场分别为 B_1 和 B_2 ,且 $B_1 > B_2$,则有

$$B_1 = B_0 + B$$

$$B_2 = B_0 - B$$

所以有

$$B = \frac{|B_1 - B_2|}{2} \quad (4)$$

2 实验及数据处理

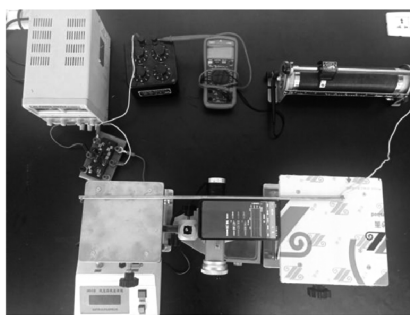
2.1 phyphox 软件简介

phyphox(或手机物理工坊)是一款借助手机自带传感器而工作的软件,可实现多种功能,如数据的采集与共享、数据的可视化等等. 手机中的传感器可供 phyphox 软件调用的较多,包含了力、光、磁等模块,比如调用加速度计,便可获得其原始数据,这可以被用来研究超重和失重^[2];调用光传感器,采集曝光值,可以作为光电门使用^[3];调用磁力计模块,便可测量通过磁力计 3 个维度上的磁场.

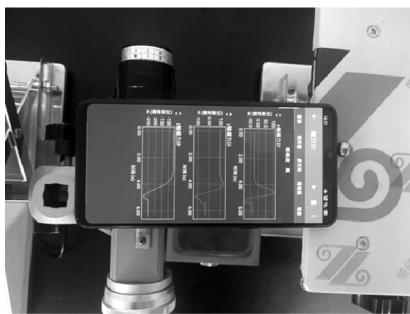
2.2 实验平台的搭建及传感器位置的确定

实验装置如图 3(a) 所示,其中两升降台是为了使手机传感器与铜棒中心平面在同一水平高度;换向开关是改变电流产生磁场的方向;数显读数显微镜精确测量手机远离铜棒的距离.

打开 phyphox 软件中的 Magnetometer,用一磁性物质沿手机上边缘移动(由于在本实验中,只需要用到传感器与左右边框的距离和在竖直方向上的位置,故只需要用磁性物质沿上边缘移动、在竖直方向上移动即可),观察手机显示磁场的变化. 当磁性物质与磁传感器在同一竖直直线上时,磁场有最大值,即当磁场最大时,如图 3(b) 所示,磁针与左右边框的距离为传感器与左右边框的距离. 以 oppoR15 为例,传感器位置距离上端听筒(1.78 ± 0.04)cm,距离手机屏幕反面(0.30 ± 0.01)cm 处.



(a) 实验装置



(b) 寻找传感器位置

图 3 验证电流磁效应实验装置

2.3 探究磁场大小与电流和距离的关系

使手机紧贴着铜棒,固定手机与铜棒的位置,如图 4 所示;改变电流的大小,并测量产生磁场的大小 B . 测得数据如表 1 所示;根据表 1 数据,利用 MATLAB 拟合功能作 $B-I$ 曲线,如图 5 所示. 由图 5 可以看出, $B-I$ 图线的斜率满足如下关系

$$k = \frac{\mu_0}{2\pi a}$$

则传感器与手机边缘(听筒左侧的距离)

$$a = \frac{\mu_0}{2\pi k}$$

随后固定电流的大小,逐次增大手机与铜棒之间的距离,并且测量电流在每个位置产生磁场的大小,记录每对 $B-a$ 值。



图 4 手机显示数据图像

表 1 电流产生的磁场与电流大小的关系

I/A	0.20	0.255	0.306	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	1.8	2
$B/\mu T$	3.37	4.28	4.62	5.67	7.98	10.23	12.54	14.84	18.22	21.67	23.66

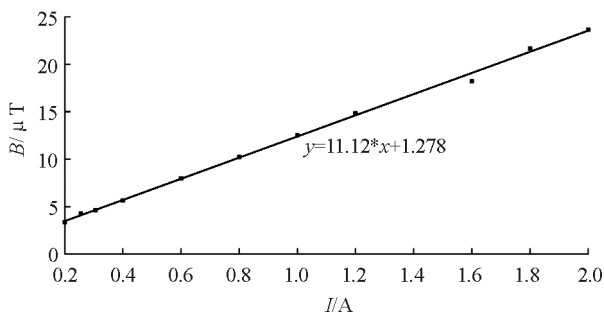


图 5 距离一定时,磁场与电流的关系

由图 5 可知,电流产生的磁场与电流大小成正比。计算得,斜率为 $11.12 \mu T/A$, 则距离 $a = 1.80 \text{ cm}$, 这接近传感器的位置。

当固定电流大小、改变与手机距离时,测量出的电流在每个位置产生的磁场大小数据如表 2 所示。根据表 2 中的数据利用 MATLAB 拟合功能作出 $B-a$ 曲线,如图 6 所示。

表 2 电流产生的磁场大小与距离的关系

a/mm	0	2	4	6	8	10	12	14
$B/\mu T$	8.98	7.84	6.89	6.54	5.81	5.44	5.15	4.83
a/mm	16	18	20	22	24	26	28	30
$B/\mu T$	4.33	4.23	4.17	3.82	3.75	3.44	3.40	3.20

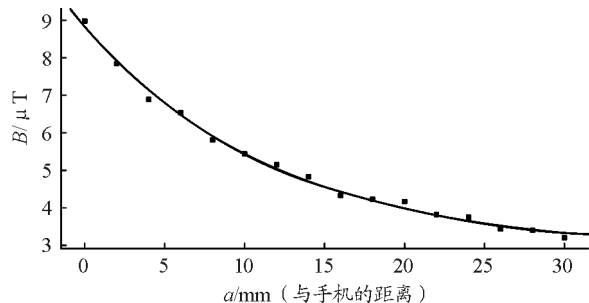


图 6 电流一定时,磁场与距离的关系

由图 6 可知,拟合程度为 99.79% , 拟合较好,同时可以验证:当电流固定时,所产生的磁场大小与距离成反比关系。

2.4 一般导线产生的磁场的测量(即任意位置磁

场的测量)

当导体是一般导线时,传感器与导线中心平面不在同一水平面,其中电流的大小为 0.6 A

$$a_0 = 18.78 \text{ mm}$$

$$b_0 = 18.81 \text{ mm}$$

$$\cos \theta = 0.998$$

根据式(3)、(4),将

$$a = 18.81 \text{ mm}$$

代入

$$I = \frac{2\pi a B}{\mu_0}$$

算得电流大小,如表 3 所示。

表3 普通导线通过0.6 A电流产生的磁场以及求得的电流

$B_1/\mu\text{T}$	-35.58	-35.58	-35.03	-36.52	-35.13	-35.05
$B_2/\mu\text{T}$	-22.44	-22.23	-22.47	-22.63	-22.45	-22.18
I/A	0.619	0.629	0.592	0.655	0.598	0.607
$B_1/\mu\text{T}$	-35.03	-35.46	-35.32	-35.66	-35.03	-35.00
$B_2/\mu\text{T}$	-22.36	-22.34	-22.61	-22.88	-22.71	-22.36
I/A	0.597	0.618	0.599	0.602	0.581	0.595

根据上表,可得平均电流

$$I = 0.608 \text{ A}$$

相对误差为1.33%.

3 总结

借助 phyphox 软件,从电流的磁效应出发,可以探究磁场大小与导体电流大小成正比,与导体的距离成反比;同时还可以间接测出通过导体的电流;实验操作简单,现象明显,这极大程度上减小了学生学习的难度,使课堂更具有趣味性.

本文除了在教学中应用之外,在实际运用中判断导线是否通电,也可以利用该方法进行:测量导线两侧竖直方向上的磁场,若导线两端磁场不同,则证明导线中有电流通过;同时还可以应用于测量恒定电流的实验中,实验误差较小.

参考文献

1 刘炜,程敏熙.利用智能手机磁传感器测量亥姆霍兹线

圈磁场[J].大学物理,2020,39(5):31~32,43

2 卢顺兴.基于 Phyphox 软件探究电梯中的超重和失重现象[J].物理通报,2020(5):93~95

3 康贤明.借助 Phyphox 软件用手机做物理实验[J].物理之友,2019,35(3):36~37,39

4 何璐,祖米热姆·伊马木,方伟. phyphox 软件介绍及其在物理教学中的应用[J].物理通报,2020(2):101~104,108

5 惠宇洁.智能手机在物理实验教学中的应用探讨——以 Phyphox 软件为例[J].物理教学探讨,2018,36(7):70~72

6 梁灿彬,秦光戎,梁竹建.普通物理学教程 电磁学[M].北京:高等教育出版社,2018.11

7 杨述武.普通物理实验2·电磁学部分[M].北京:高等教育出版社,2015.11

8 陈易楠,许易成,郑琦.地磁场水平分量的测量[J].物理通报,2019(12):125~128

Verification of Current Magnetic Effect Based on Phyphox Software

Zhang Shun Lei Sinan Yi Tingfeng

(School of Physics and Electronic Information, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500)

Abstract: Electric current produces a magnetic field. Knowing this principle is a cognitive leap for high school students, but due to the equipment, it lacks the support of quantitative and intuitive experiments. With the help of the magnetometer module in the smartphone software phyphox, the relationship between the magnetic field generated by the current and the magnitude of the current and the distance from the wire is verified: the greater the current, the closer the distance to the conductor, the stronger the magnetic field generated by the current. On this basis, the current passing through the conductor is indirectly measured based on the magnetic effect of the current. This is of great help to physics teaching, and also has a certain effect in actual daily life.

Key words: current magnetic effect; current measurement; phyphox