

手机 phyphox 课题简要研究记录

孙炫东 16307110037

课题一：通电螺线管的磁场

(一) 课题内容设计

1. 通电螺线管的磁场：

- 手机磁传感器原理的探究
- iphone 磁传感器轴线方位的探究
- 通电螺线管产生的磁场和电流关系的探究

(二) 手机磁力计原理

如图 1，手机磁传感器采用各向异性磁致电阻（Anisotropic Magneto-Resistance）材料来检测空间中磁感应强度的大小。这种具有晶体结构的合金材料对外界的磁场很敏感，磁场的强弱变化会导致 AMR 自身电阻值发生变化。在制造过程中，将一个强磁场加在 AMR 上使其在某一方向上磁化，建立起一个主磁域 M ，与主磁域 M 垂直的轴被称为该 AMR 的敏感轴。

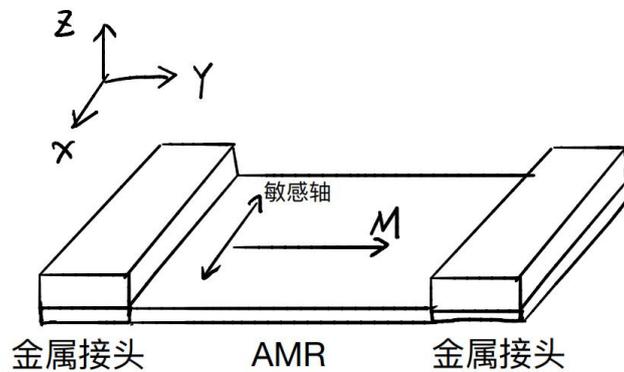


图 1

如图 2，为了使测量结果以线性的方式变化，AMR 材料上的金属导线呈 45° 角倾斜排列，电流从这些导线上流过。由初始的强磁场在 AMR 材料上建立起来的主磁域 M 和电流 I 的方向有 45° 的夹角。

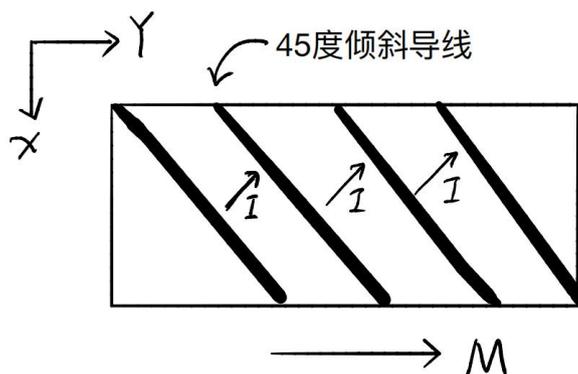


图 2

如图 3，当有外界磁场 H_a 时，AMR 上主磁域方向就会发生变化而不再是初始的方向了，那么磁场方向和电流的夹角 θ 也会发生变化，对于 AMR 材料来说， θ 角的变化会引起 AMR 自身阻值 R 的变化，并且呈线性关系。

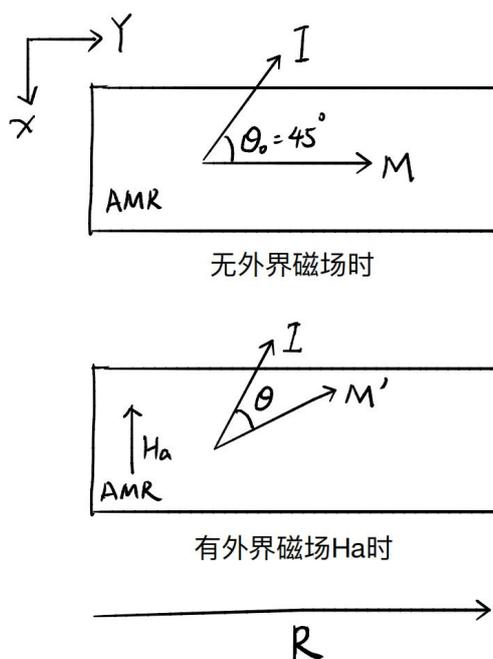


图 3

如图 4，磁传感器利用惠斯通电桥检测 AMR 阻值的变化。 $R_1/R_2/R_3/R_4$ 是初始状态相同的 AMR 电阻，但是 R_1/R_2 和 R_3/R_4 具有相反的磁化特性。当检测到外界磁场的时候， R_1/R_2 阻值增加 ΔR 而 R_3/R_4 减少 ΔR 。这样在没有外界磁场的情况下，电桥的输出为零；而在有外界磁场时电桥的输出为一个微小的电压 ΔV 。当 $R_1=R_2=R_3=R_4=R$ ，在外界磁场 H_a 的作用下电阻变化为 ΔR 时，电桥输出 ΔV 正

比于 ΔR 。这就是手机磁力计的工作原理。

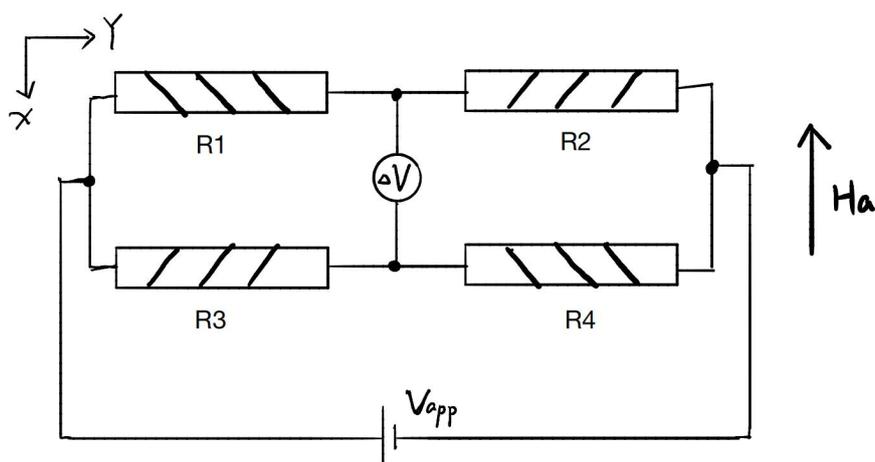


图 4

(三) 实验装置和过程

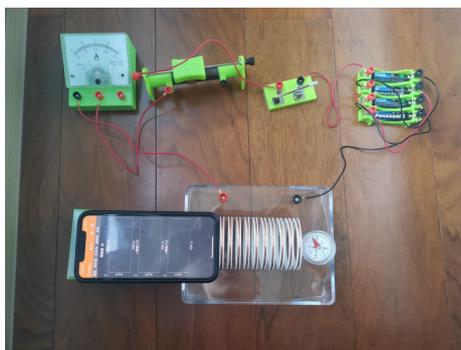
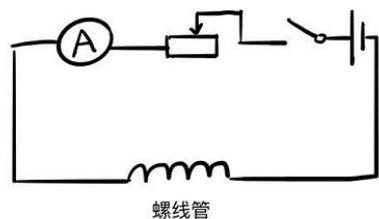


图 5

我购买了一套中学电学实验器材。电路图如图 5 所示。实验中，手机如图所示放置在通电螺线管左侧，电流从红线流入，黑线流出。在通电螺线管内部，磁场从右向左。

1.iphone 磁传感器轴线方位的探究

实验步骤：

- 1) 选取手机长宽高任意一轴对准螺线管轴线。开始使用 phyphox 自带的磁力计记录磁场变化。
- 2) 绕螺线管的轴旋转手机 360°
- 3) 观察磁力计 xyz 轴的变化。按照几何，xyz 轴中于螺线管相平行的轴对应的数据应该没有方向变化。另外两轴的数据应该有正负变化。例如，图 6 中，y 轴数据没有正负变化，说明图 6 中螺线管轴于指向的是手机 y 轴。

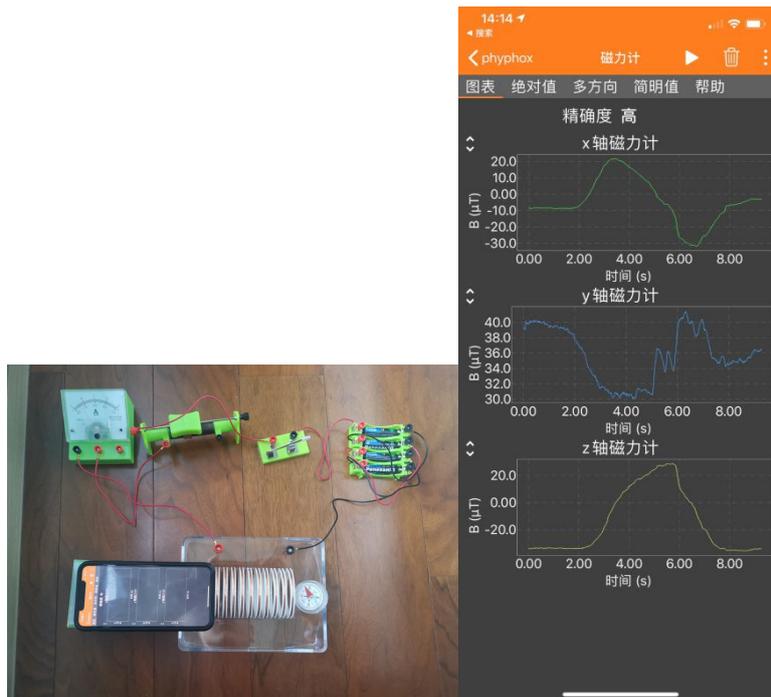


图 6

2.通电螺线管产生的磁场和电流关系的探究

实验步骤:

- 1) 首先断开开关，放置手机，使磁传感器 y 轴与螺线管轴平行。使用磁力计记录地磁。在之后的数据分析中需要扣除地磁。
- 2) 闭合开关，通过调节滑动变阻器，调节通过螺线管的电流。如图 7，记录特定电流下螺线管产生的磁场。

注: 滑动变阻器本身也是一个螺线管，所以为了保证变阻器不影响测量，实验室将其放置在 2m 以外。



图 7

(四) 实验结果和简要分析

1.iphone 磁传感器轴线方位的探究

通过实验测得的 XYZ 轴线方向如图 8 所示。

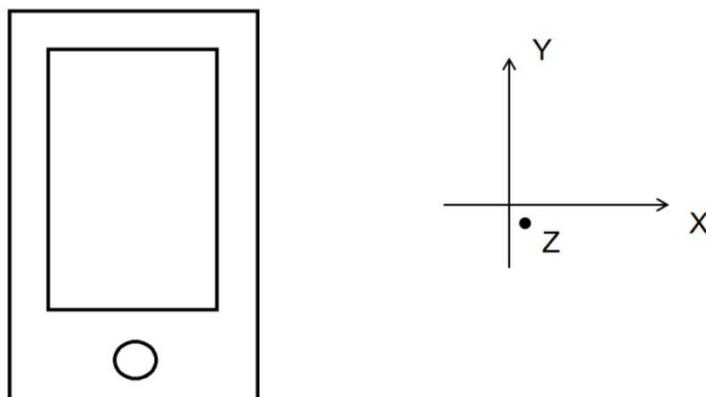


图 8

2.通电螺线管产生的磁场和电流关系的探究

磁场和的电流关系如图 9 所示，随着电流增大，水平方向上的 B_x 、 B_y 的绝对值增大，竖直方向的 B_z 几乎不变。

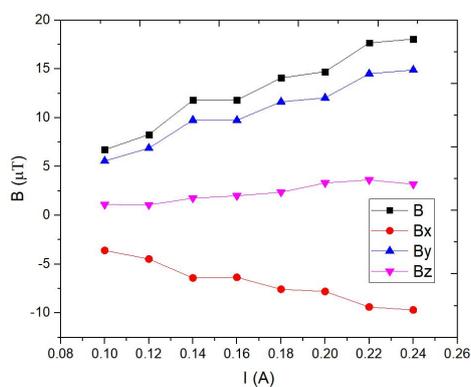


图 9

课题二：音叉频率的测量

(一) 实验内容设计

- 使用 phyphox 的 FFT 频谱功能对音叉频率进行测量
- 关于 phyphox 的 FFT 频谱功能的误差分析
- 使用拍频测量方法对音叉频率进行测量
- 拍频测量中的误差
- phyphox 中音频功能编程相关的问题

(二) 实验原理、装置和步骤

1. 傅里叶变换法

测量音叉频率的第一种方法是使用 phyphox 自带的频谱分析程序。其原理是录取一段时长的声波（时长由设置中的采样数确定），然后进行快速傅里叶变换，得到音叉的频谱。频谱的峰值对应音叉的频率。在实验中，如图 10，对四个音叉进行频谱分析（2 个标定为 512Hz，2 个标定为 256Hz）。



图 10

2. 音叉频率的测量——拍频法

实验原理：

考虑两列传播方向相同，振幅相同的声波：

$$y_1 = y_m \cos 2\pi f_1 t \quad y_2 = y_m \cos 2\pi f_2 t$$

它们的频率分别是 f_1 和 f_2 ，它们合成的声波形式为：

$$y = y_1 + y_2 = \left[2y_m \cos 2\pi \left(\frac{f_1 - f_2}{2} \right) t \right] \cos 2\pi \left(\frac{f_1 + f_2}{2} \right) t$$

当 f_1 和 f_2 相差不大时， $f_1 - f_2$ 这一项相较于 $f_1 + f_2$ 变化较慢，因此表现为合成声波的振幅随时间变化（如图 11 所示）。振幅的变化频率称为拍频，其频率为 $\Delta f = |f_1 - f_2|$ 。基于此原理，可以通过测量未知频率的音叉和已知频率声波的合成声波的拍频，来倒推出音叉的频率。

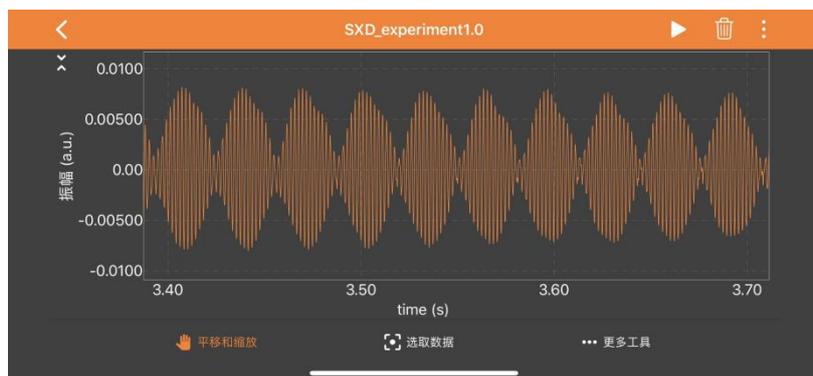


图 11

实验步骤：

1. 如图 12，使用手机 A，利用利用 phyphox 的 Tone generator 功能产生标准频率的声音 f_1 ， f_1 应该和音叉标定的频率相近。
2. 打开手机 B，利用自己编写的 phyphox 程序记录声波。
3. 敲击音叉，记录声波。不断重复实验，使得两列声波尽可能平行，并且有振幅相等的时段。
4. 从声波上截取两列声波振幅相等的区域，读取拍频 Δf ，倒推出音叉的频率 f_2 。



图 12

(三) 实验结果和简要分析

1. 傅里叶变换法

实验结果如表 1。

表 1

音叉编号	标定频率 (Hz)	phyphox 测得频率 (Hz)
A1	512	480.47
A2	512	490.72
A3	256	262.21
A4	256	254.88

1.1 FFT 中样本数对误差的影响

在使用 FFT 对音叉进行频率测量时，误差来自于采样数（即录音时长）。使用一台手机利用 phyphox 的 Tone generator 功能产生标准的 512Hz 声音，再使用另一台手机，在不同采样数设定（如图 13）下进行频谱分析。结果如表 2 所示，明显观察到，提高采样数可以减小 FFT 中的误差。



图 13

表 2

设定放出的音频频率	样本数	FFT 测得频率	误差
512	2048	515.62	0.71%
512	4096	515.62	0.71%
512	8192	509.77	-0.44%
512	16384	512.7	0.14%
512	32768	512.7	0.14%

2.拍频法

结果如表 3 所示，以 phyphox 频谱分析得到的频率为标准，可以看到使用拍频测得的频率非常准确。前提条件是，拍频的测量要取在振幅相等的区域，否则可能有较大误差。

表 3

音叉编号	标定频率(Hz)	Phyphox 的频谱测得频率(Hz)	拍测得频率(Hz)	误差
A1	512	480.47	480.3	-0.04%
A2	512	490.72	491	0.06%
A3	256	262.21	261.99	-0.08%
A4	256	254.88	254.83	-0.02%

由于音叉的振幅随时间不断减弱，因此，应该调整手机音量，使波形中有一段振幅可以降到零。如图 14，此部分的结果误差最小。

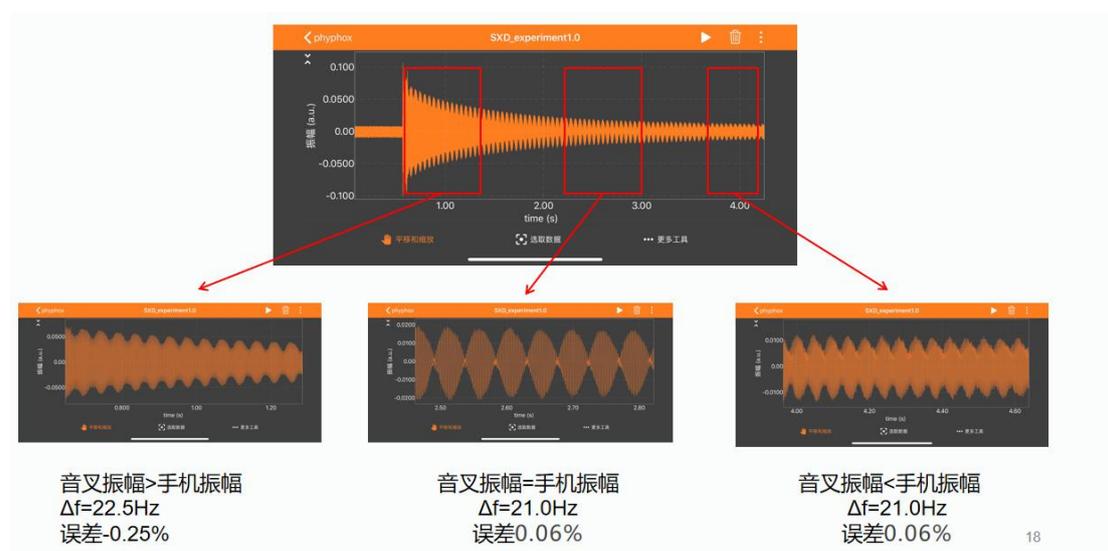


图 14

2.1 phyphox 音频程序的探究

如图 15，原版 phyphox 程序最大只允许录音 500ms，长时间录音需要用 editor 编辑。phyphox 不适合长时间录音，因为数据量过大，内存和输出的 excel 处理不了。phyphox 不会给每个数据打上时间戳，需要用设定的录音时间倒推时间点。内存需要按照录音时间进行更改。实测.xls 文件处理不了 5s 的数据，但是改为输出.csv 文件就可以解决。



图 15

由于 phyphox 不会给每个数据点打上时间戳，因此需要根据采样频率倒推每个数据的时间点。一般手机的采样频率是 48000Hz，在 editor 中可在 input 模块修改。但是当选取了手机不支持的采样频率时，此项改动不会有作用。如图 16，在 analyze 模块中，使用 ramp 计算时间轴。假定录音时间为 5s，则其 output 的内存量应该设为 $5 \times 48000 = 240000$ 。audio 模块的内存同样应该设置为 240000。此外，在分析选项 analysis option 中也应该将分析睡眠时间设为 5s，这一项决定了录音多少时间后，才会在屏幕上显示波形。

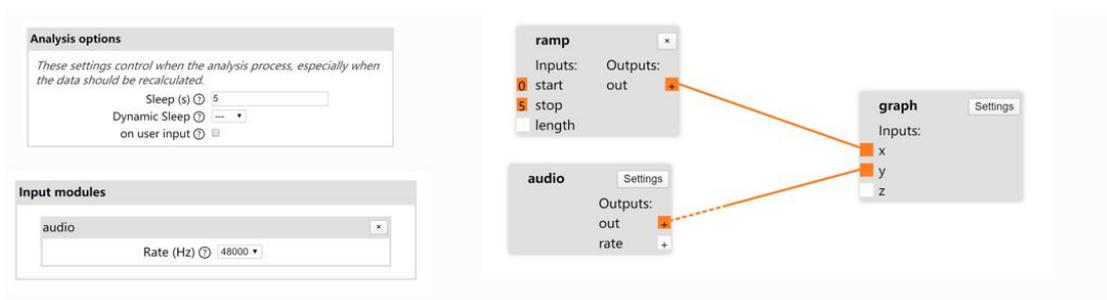


图 16