

利用手机传感器APP-Phyphox的磁传感器Magnetometer 测量亥姆霍兹线圈的磁场分布 及其他磁场分布

郭寅洁

目录/Content

1.线圈周围的磁场分布

1.1测量通电圆线圈轴线上的磁场分布

1.2测量亥姆霍兹线圈轴线上的磁场分布

1.3测量通电圆线圈一侧垂直平面上的磁场分布

2.小磁铁和耳机轴线上的磁场分布

1. 通电线圈周围的磁场分布

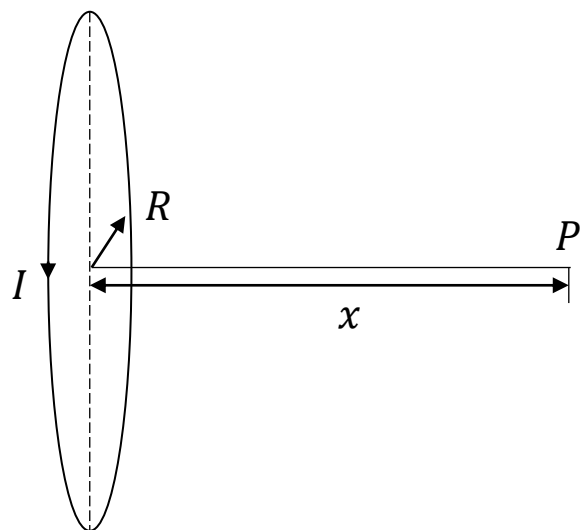
1.线圈轴线上的磁场分布

背景+实验原理

1.1测量通电圆线圈轴线上的磁场分布

毕奥萨伐尔定律:

$$B(x) = \frac{N\mu_0 R^2 I}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$



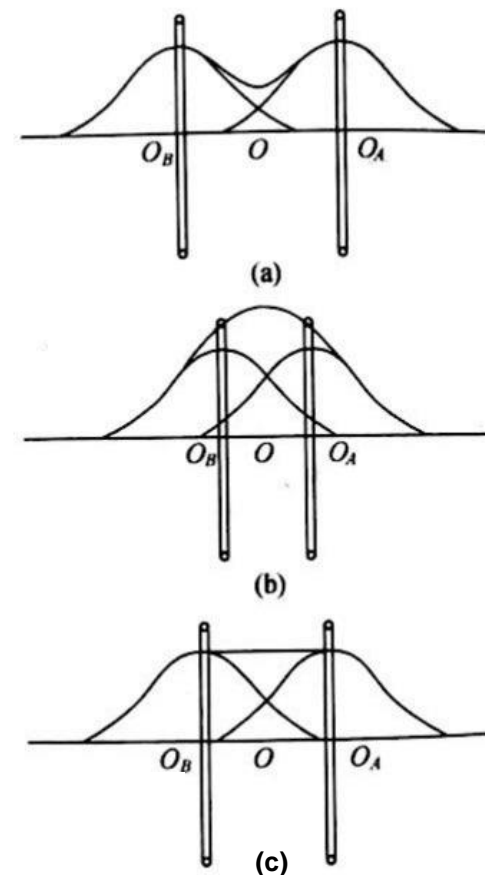
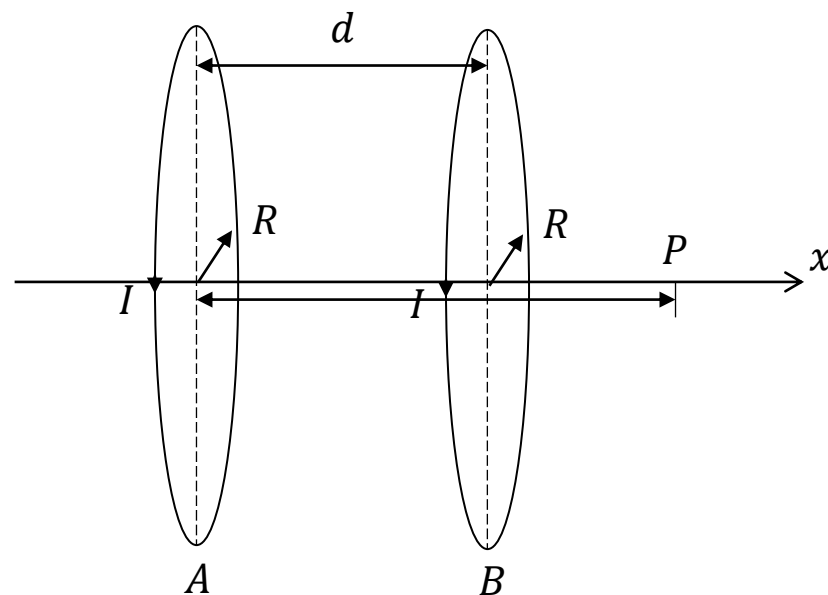
1.2测量亥姆霍兹线圈轴线上的磁场分布

磁场叠加原理:

$$B(x) = B_A(x) + B_B(x)$$

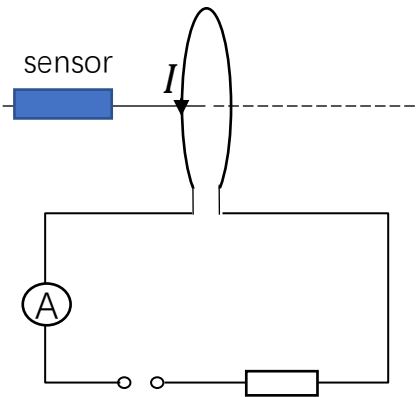
改变线圈间距, 轴线磁场的变化

(a) $d < R$; (b) $d = R$; (c) $d > R$

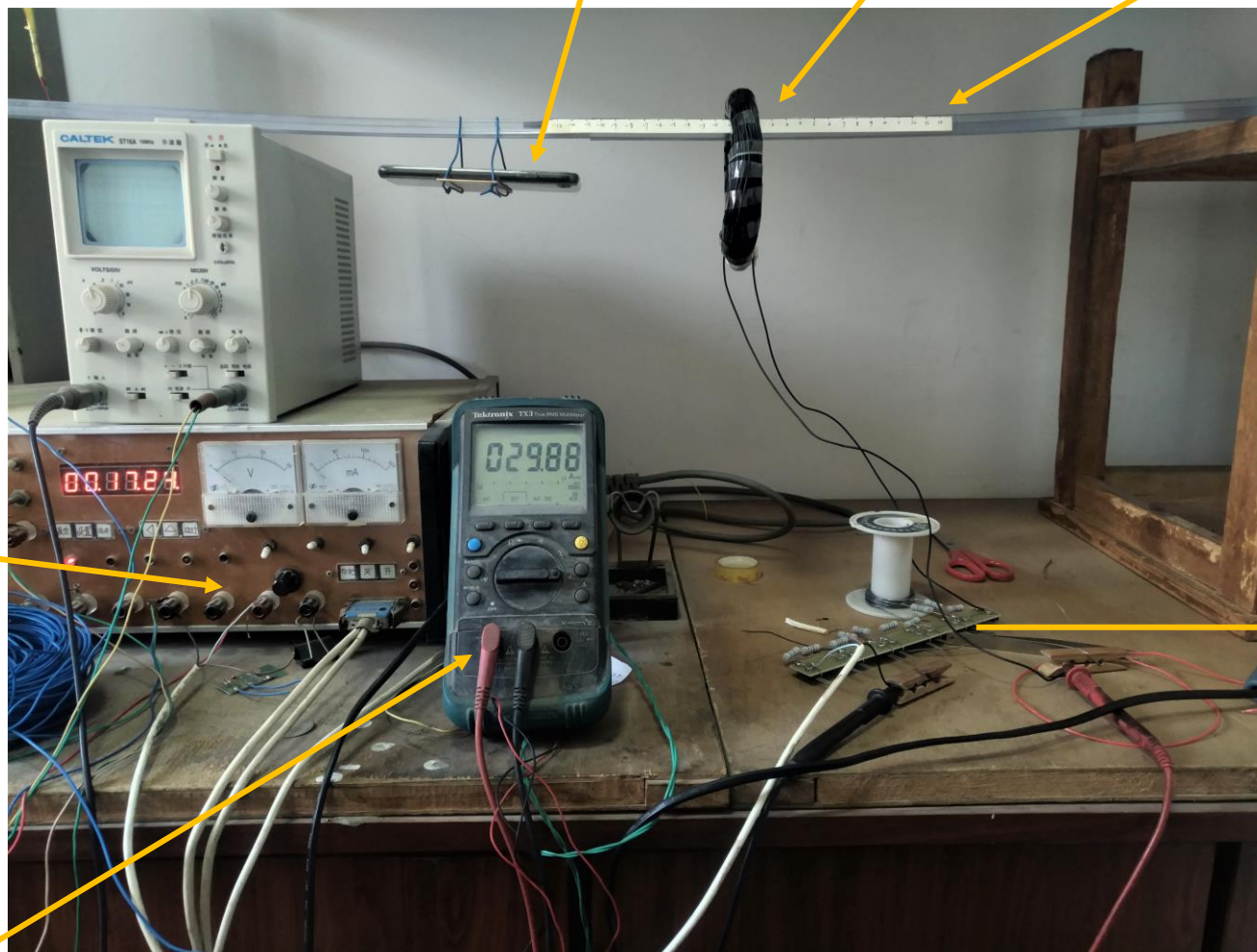


1.1 通电圆线圈 **轴线** 上的磁场分布

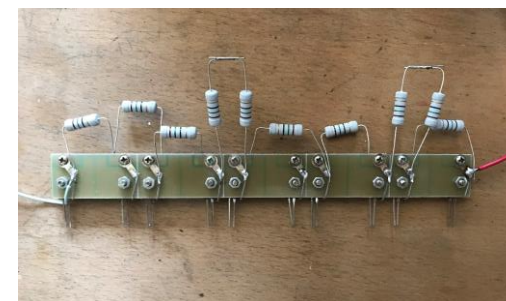
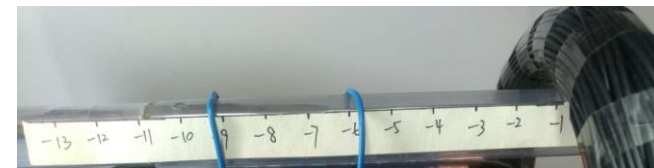
实验装置



可调电源



电流表 (万用表)



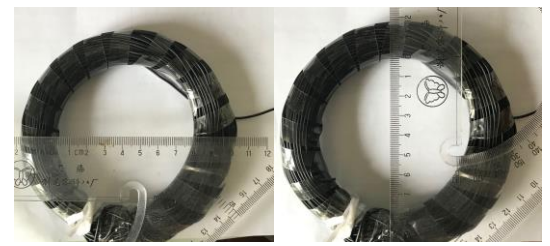
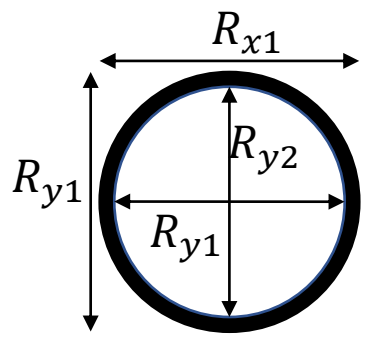
限流电阻
(10个 15Ω 串联)



1.1 通电圆线圈轴线上的磁场分布

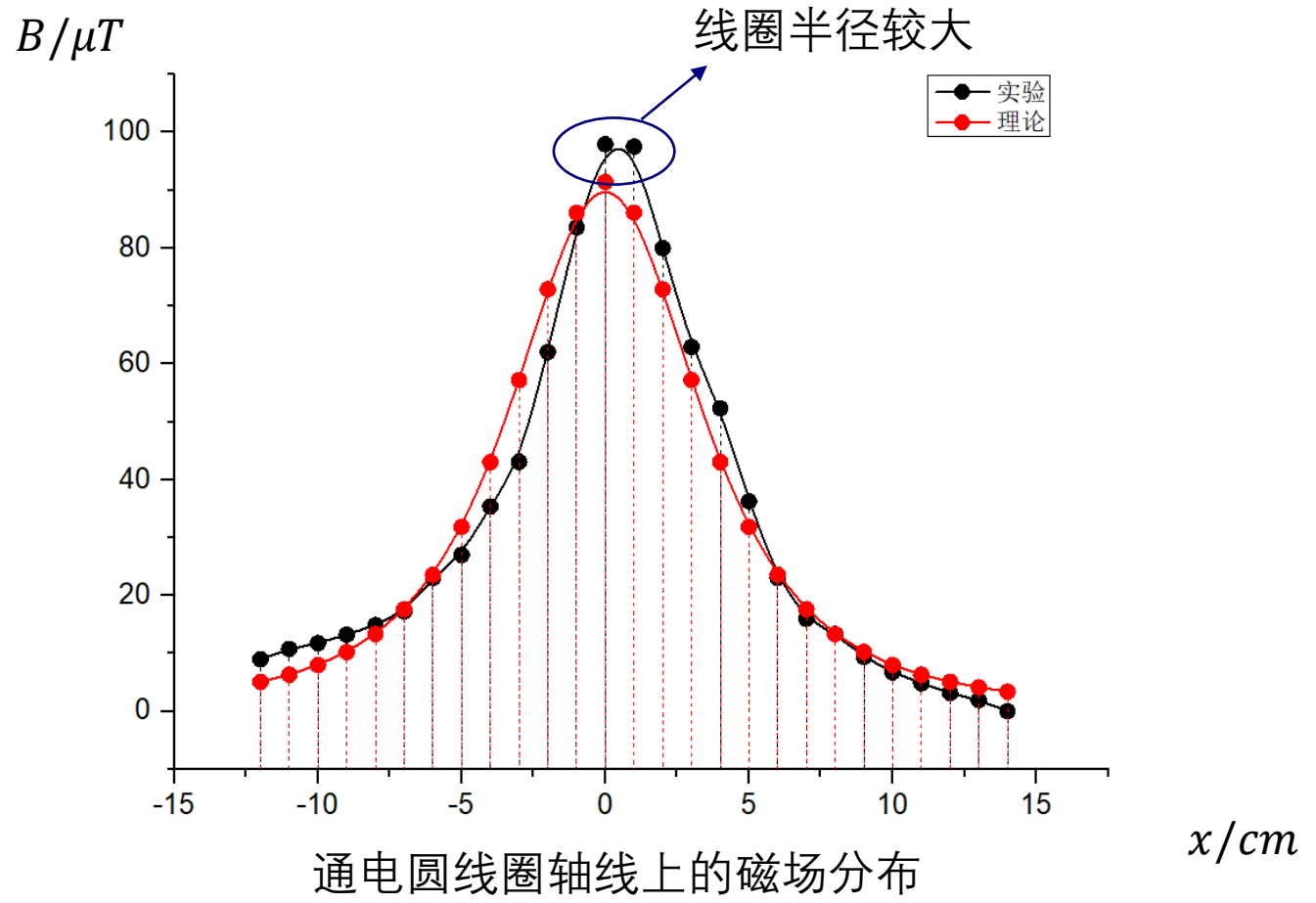
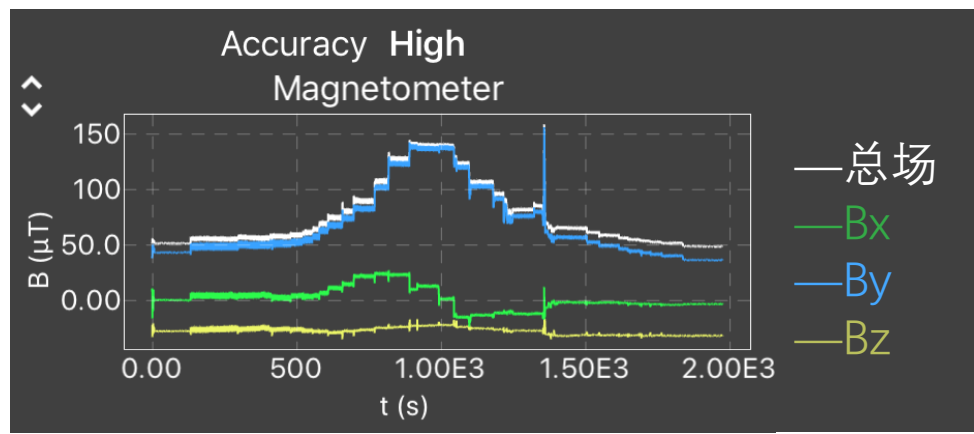
实验结果及分析

线圈半径:



$$R = (R_{x1} + R_{x2} + R_{y1} + R_{y2}) / 4$$

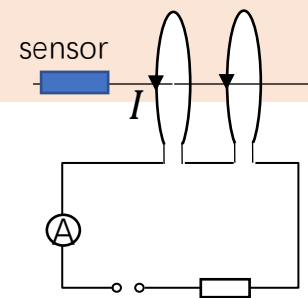
手机app的实时实验记录:



通电圆线圈轴线上的磁场分布

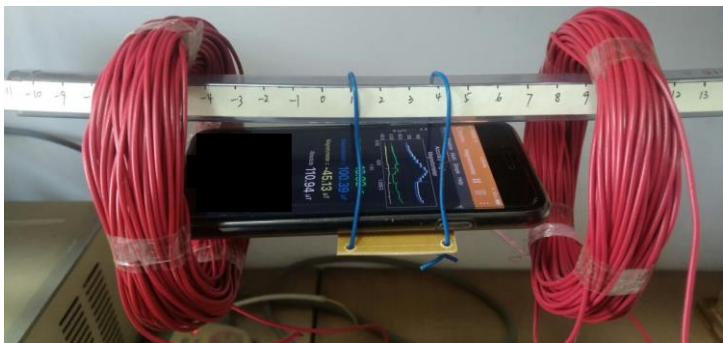
1. 基本重合符合毕奥萨伐尔定理
2. 线圈半径导致中间最大值处范围较大
3. 实验测得的曲线斜率比理论值更大一些: 环境磁场分布不均匀导致 (交变磁场); 线圈不规则 (半径的测量值偏大)
4. 从app实时记录的Bx可看出传感器运动轨迹与轴线有较小偏差

1.2 测量亥姆霍兹线圈轴线上的磁场分布

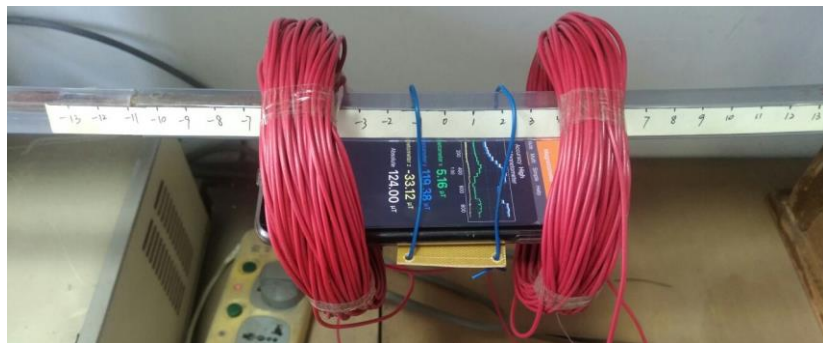


实验过程

$$d = 15\text{cm} > 2R$$



$$d = 10\text{cm} = 2R$$

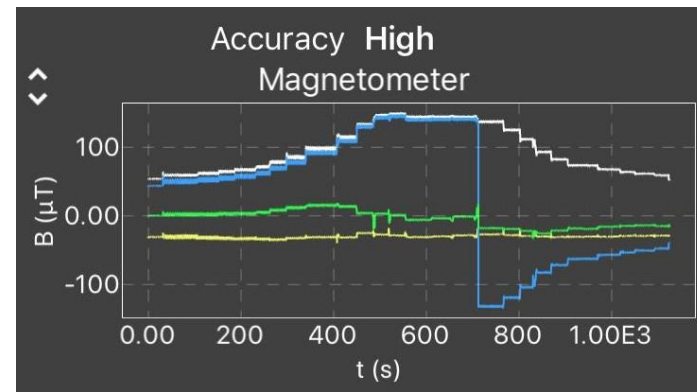
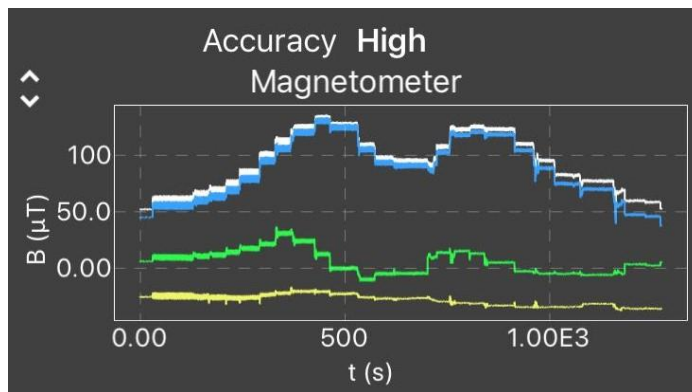
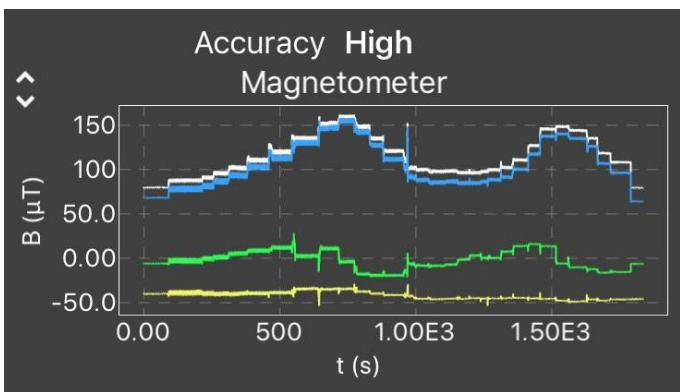


$$d = 5\text{cm} = R$$



手机app的实时实验记录:

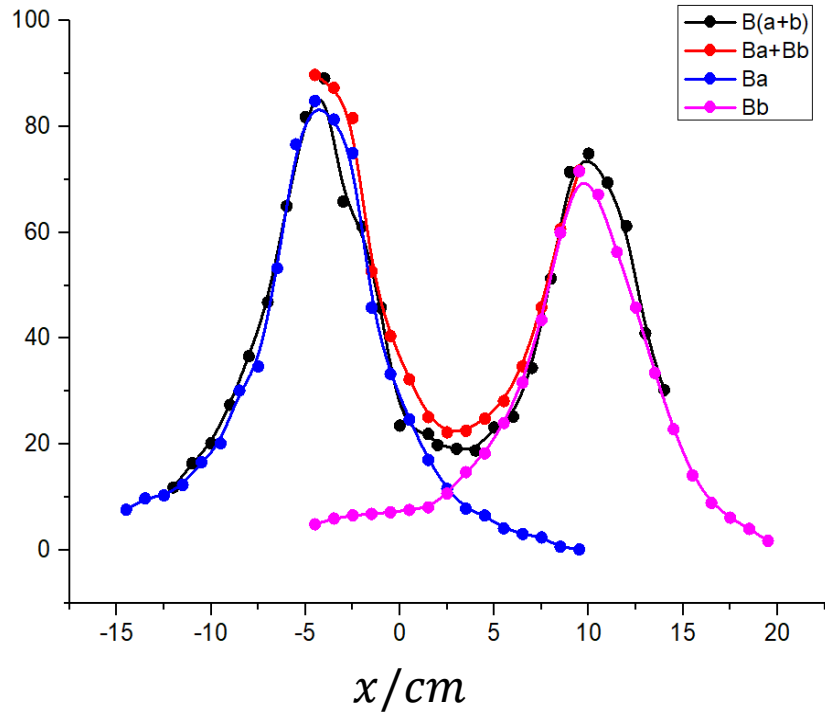
—总场 —Bx —By —Bz



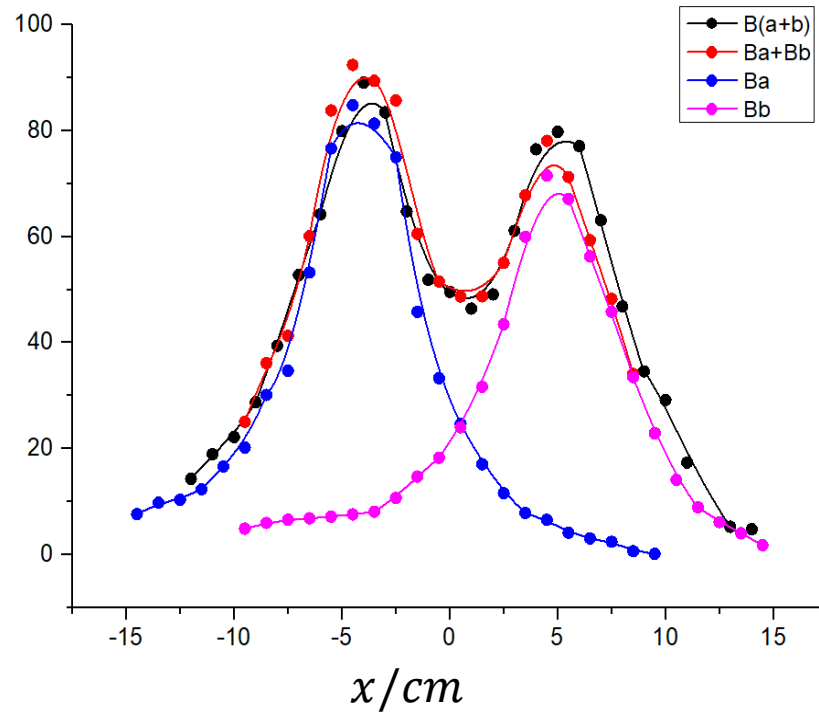
1.2 测量亥姆霍兹线圈轴线上的磁场分布

实验分析及结论

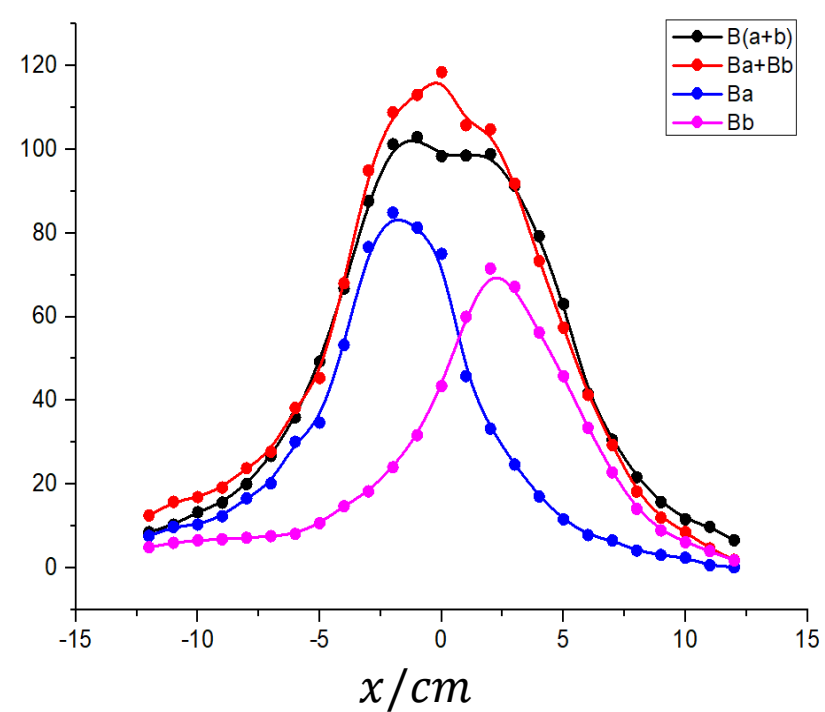
$B/\mu T$ $d = 15\text{cm} > 2R$



$B/\mu T$ $d = 10\text{cm} = 2R$



$B/\mu T$ $d = 5\text{cm} = R$



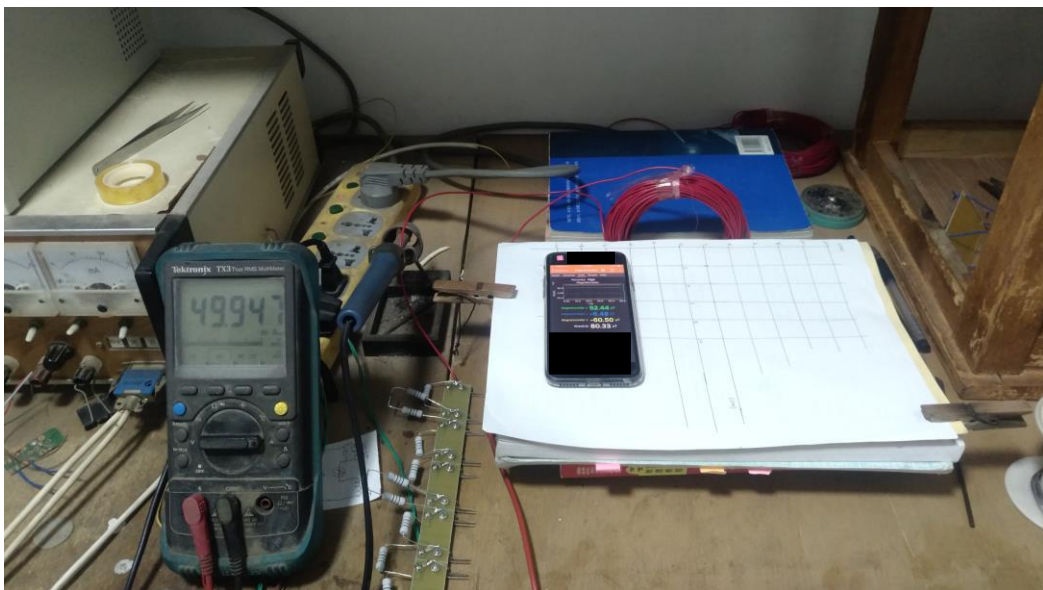
不同间距的亥姆霍兹线圈轴线上的磁场分布

验证了磁场叠加原理;

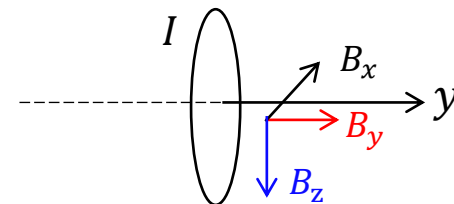
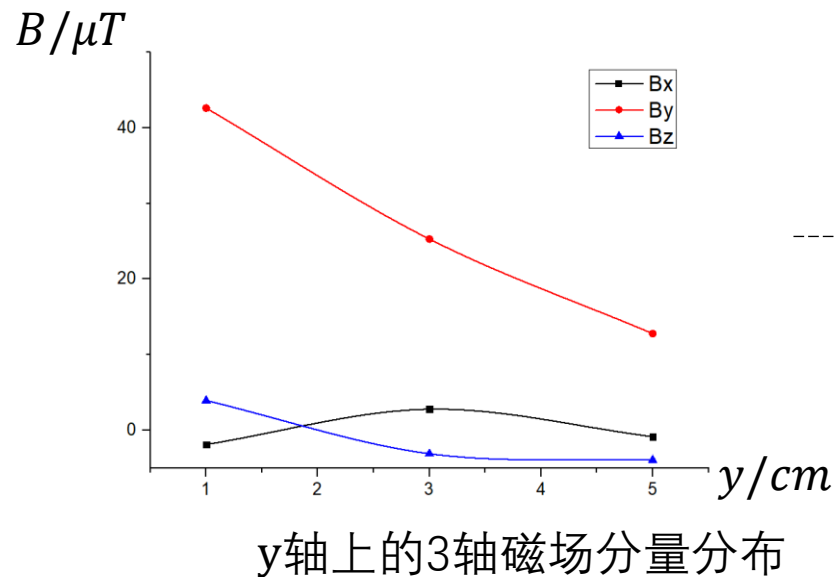
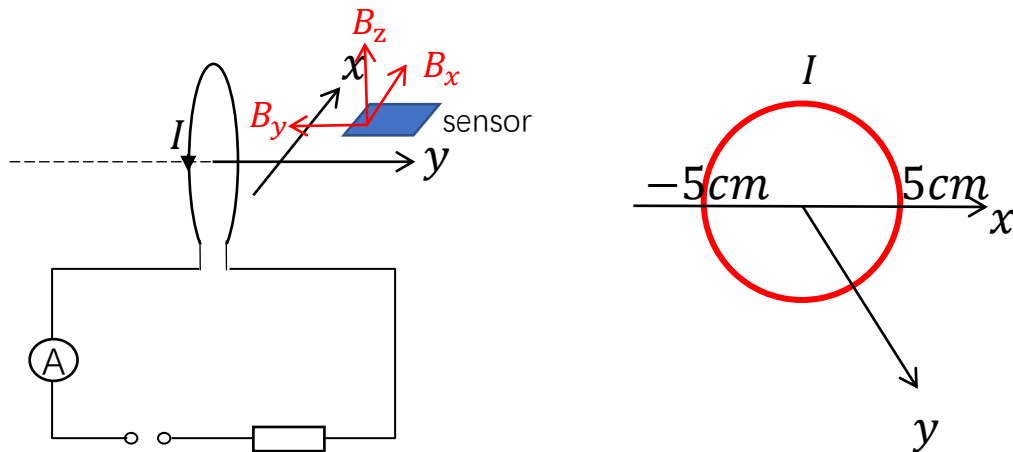
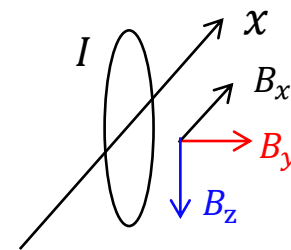
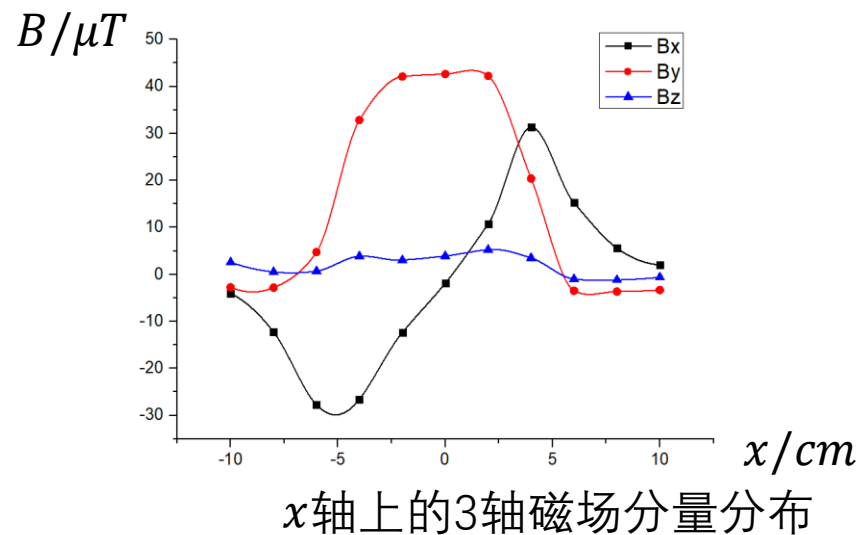
$d=R$ 时的合成值与测量值有些误差, 是由于测量时手机不便穿过两个线圈而中途反转了手机的y轴所导致测量误差。

1.3 通电圆线圈一侧垂直平面上的磁场分布

实验装置

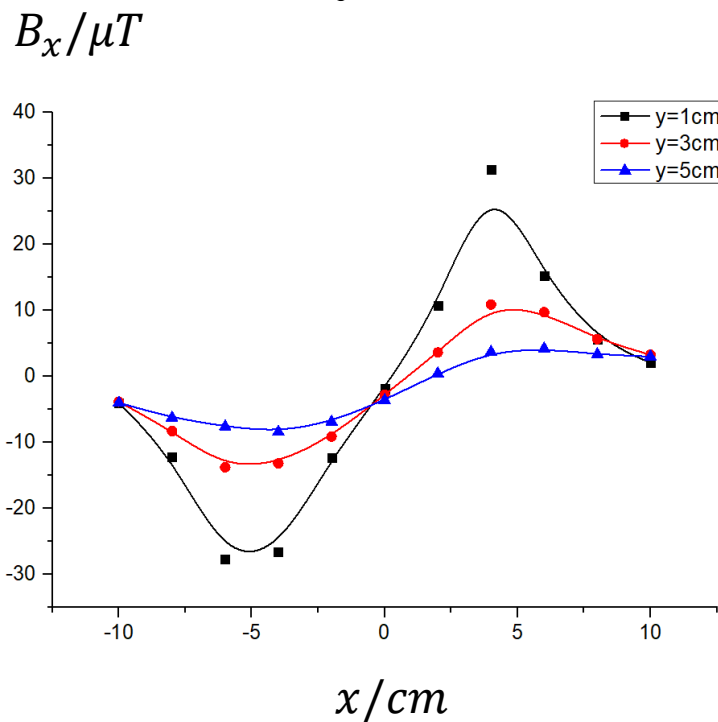
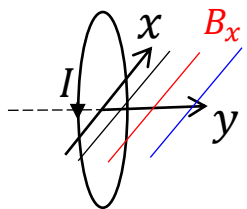
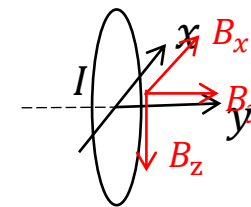


实验结果

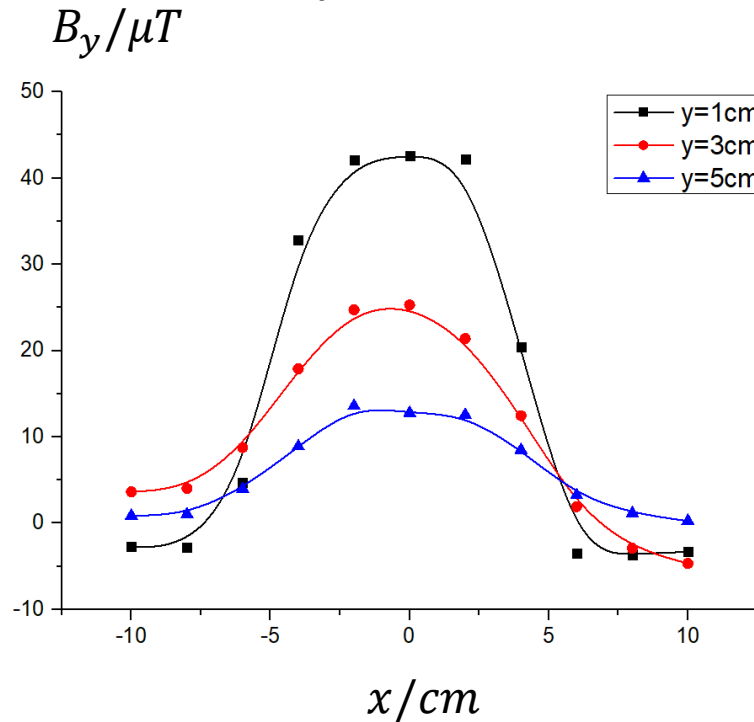
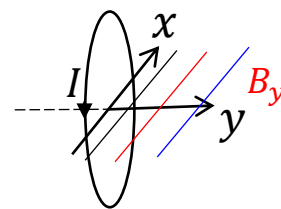


1.3 通电圆线圈一侧垂直平面上的磁场分布

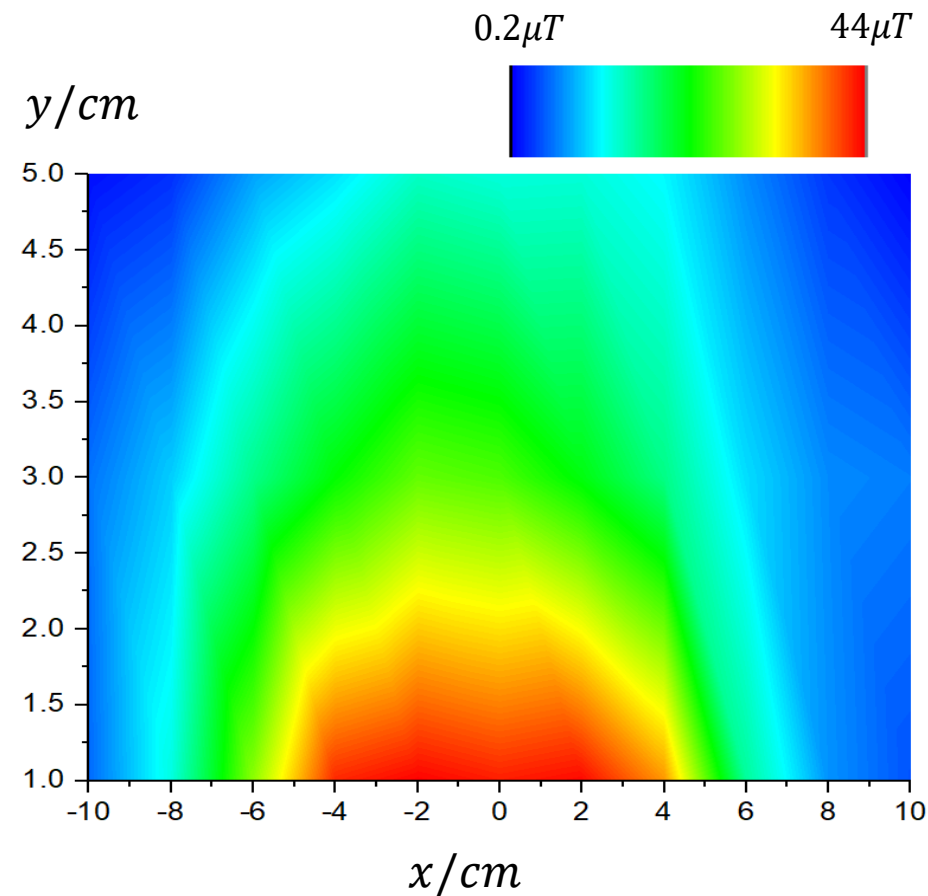
实验结果与分析



与圆平面不同距离处的 x 轴上的
磁场 x 分量分布



与圆平面不同距离处的 x 轴上的
磁场 y 分量分布

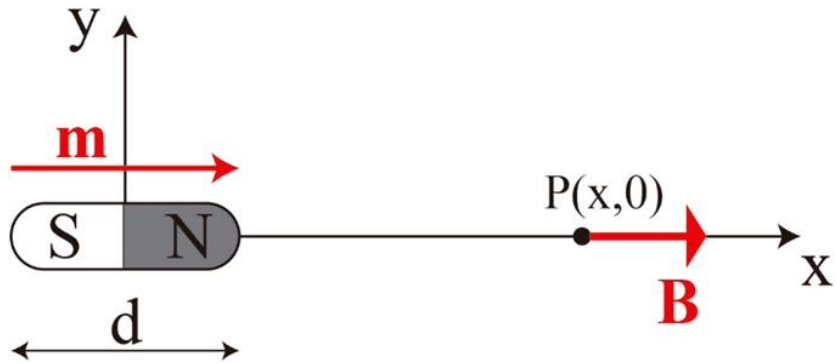


与圆平面不同距离处的 x 轴上的
总磁场分布

2. 小磁铁与耳机轴线上的磁场分布

2.小磁铁与耳机轴线上的磁场分布

实验原理+实验过程

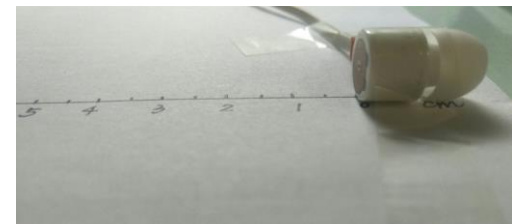
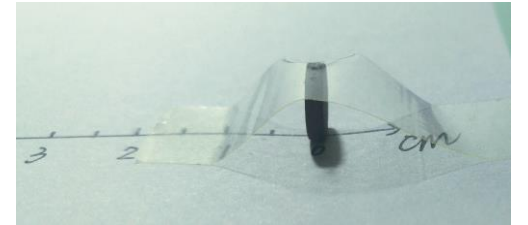


$$B = \frac{\mu_0 m x}{2\pi (x^2 - d^2/4)^2}$$

$$\downarrow x \gg d$$

$$B = \frac{\mu_0 m}{2\pi x^3}$$

测量小磁铁与耳机轴线上的磁场分布



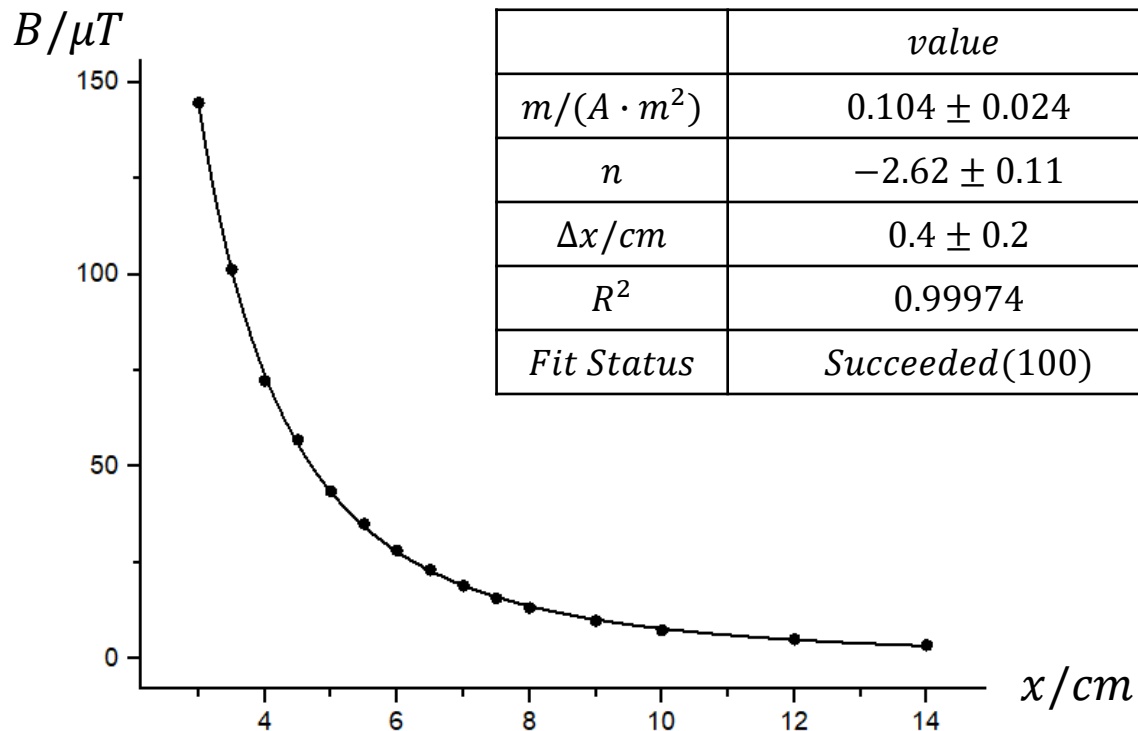
Arribas E , Escobar I , Suarez C P , et al. Measurement of the magnetic field of small magnets with a smartphone: a very economical laboratory practice for introductory physics courses[J]. European Journal of Physics, 2015, 36(6):065002.

2.小磁铁与耳机轴线上的磁场分布

实验结果与分析

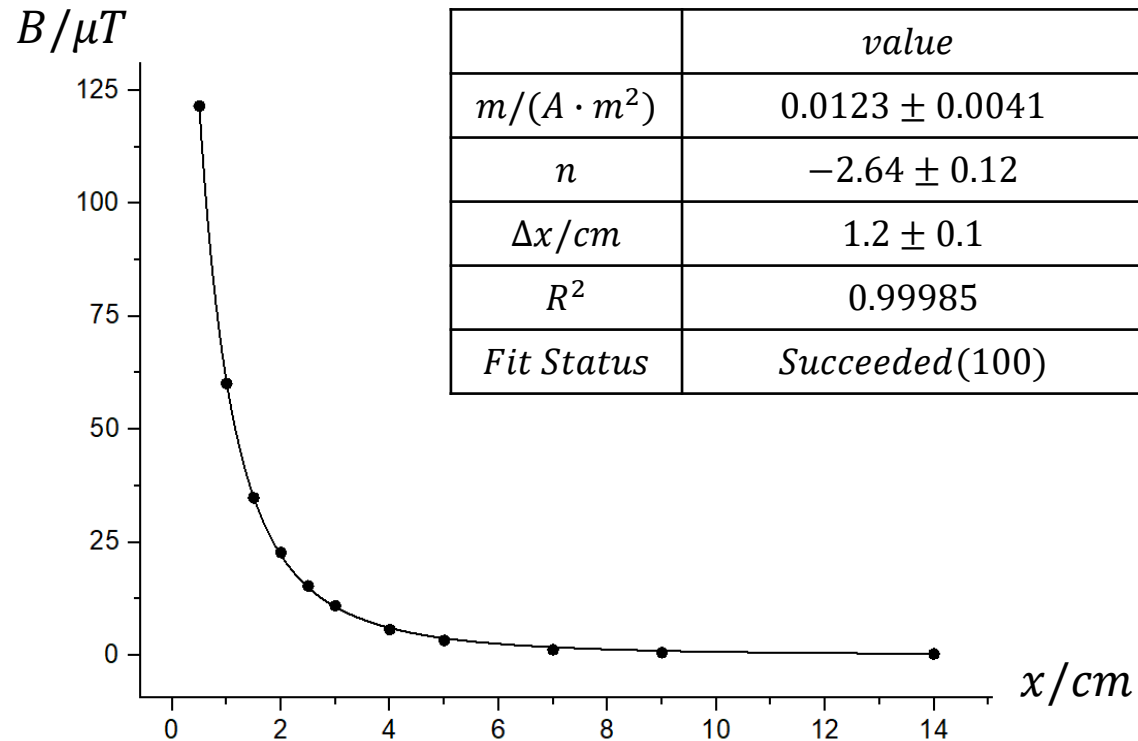
用 $B = \mu_0 m(x + \Delta x)^n / 2\pi$ 拟合

小磁铁



小磁铁轴线上的磁场分布

耳机



耳机轴线上的磁场分布

小磁铁的磁矩约为 $0.104 A \cdot m^2$;耳机的磁矩约为 $0.0123 A \cdot m^2$;显然耳机产生的磁场较弱;

n 的拟合结果约为-2.63;与理论值-3有一定偏差。(该偏差与实验一相反,所以误差来源不同)

推测是手机传感器位置没对准或手机金属原件被磁化导致。之后可通过使用其他手机的app再次测量,以找到误差来源。

2.小磁铁轴线上的磁场分布 (改进实验步骤重测)

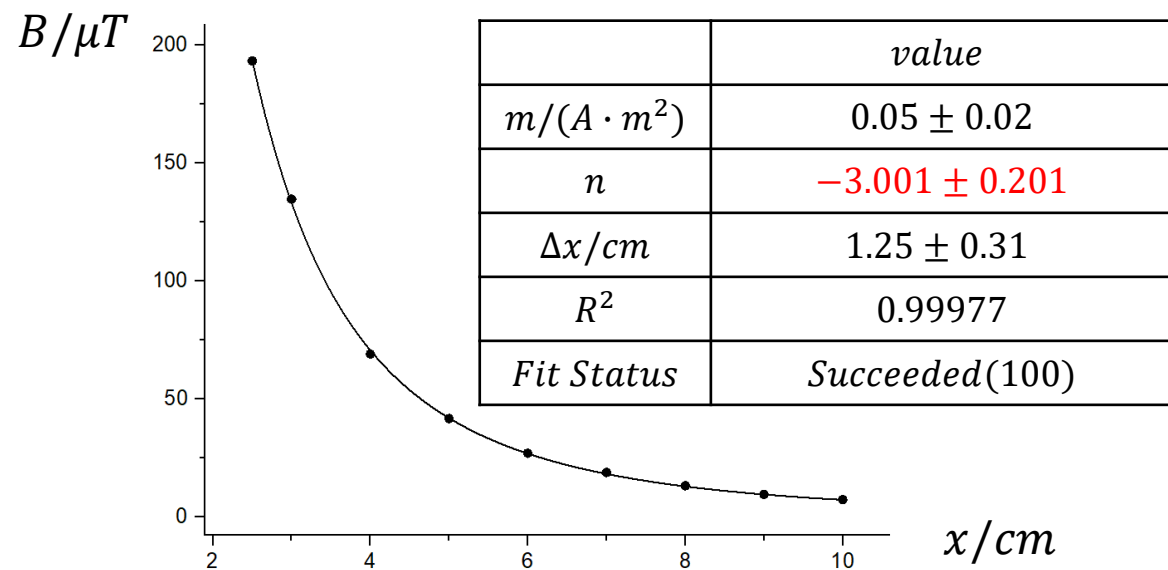
再次测量小磁铁轴线上的磁场分布，并记录了磁场 x, y, z 轴的三个分量，发现 x, z 分量随距离的靠近呈明显增大趋势，可见之前测得的 $n = -2.6$ 是由于传感器位置没有对准。因此采用了一下方法改进实验：

1. 首先在无磁铁的情况下调整手机方向，使背景磁场中 $B_x \sim 0$;
2. 加入小磁铁，使其轴线与上一步中手机方向一致，并固定住小磁铁此时的位置。
3. 平移手机（不转动其方向）在离小磁铁较近的一个位置来回移动，使 $B_x \sim 0$ ，此时手机的传感器就正对小磁铁轴线了。
4. 在轴线上不同位置测量磁场(如下表)。

x/cm	By/uT	Bx/uT	Bz/uT	By0-By/uT	Bx-Bx0/uT	Bz-Bz0/uT
10	25.11	0.04	-29.89	7.38	-0.11	0.73
9	22.89	-0.11	-29.74	9.6	-0.26	0.88
8	19.22	-0.31	-29.6	13.27	-0.46	1.02
7	13.58	0.23	-29.47	18.91	0.08	1.15
6	5.43	0	-28.95	27.06	-0.15	1.67
5	-9.26	0	-28.9	41.75	-0.15	1.72
4	-36.6	-0.02	-28.09	69.09	-0.17	2.53
3	-102.26	-0.03	-26.39	134.75	-0.18	4.23
2.5	-160.83	-0.87	-25.14	193.32	-1.02	5.48

实验结果与分析

用 $B = \mu_0 m(x + \Delta x)^n / 2\pi$ 拟合



小磁铁轴线上的磁场分布

改进以后实验模拟得到 $n = -3.001 \pm 0.201$ ，相比之前距离理论值 -3 接近了很多！

仍存在的误差： z 方向的磁场仍然随距离变化有较小的变化。而目前来看，比较难以调节手机传感器在 z 方向对准磁铁的轴线。

参考文献

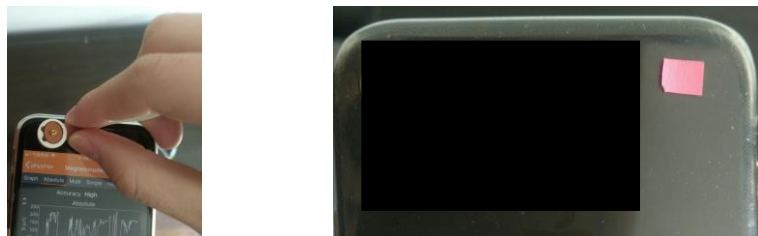
1. Arribas E , Escobar I , Suarez C P , et al. Measurement of the magnetic field of small magnets with a smartphone: a very economical laboratory practice for introductory physics courses[J]. European Journal of Physics, 2015, 36(6):065002.
2. Setiawan B , Septianto R D , Suhendra D , et al. Measurement of 3-axis magnetic fields induced by current wires using a smartphone in magnetostatics experiments[J]. Physics Education, 2017, 52(6):065011.
3. Septianto R D , Suhendra D , Iskandar F . Utilisation of the magnetic sensor in a smartphone for facile magnetostatics experiment: magnetic field due to electrical current in straight and loop wires[J]. Physics Education, 2017, 52(1):015015.
4. 段家祗 陈凯旋 张洁天 . 全国中学生物理竞赛实验指导书[M]. 北京大学出版社,2016. 1

Thanks!

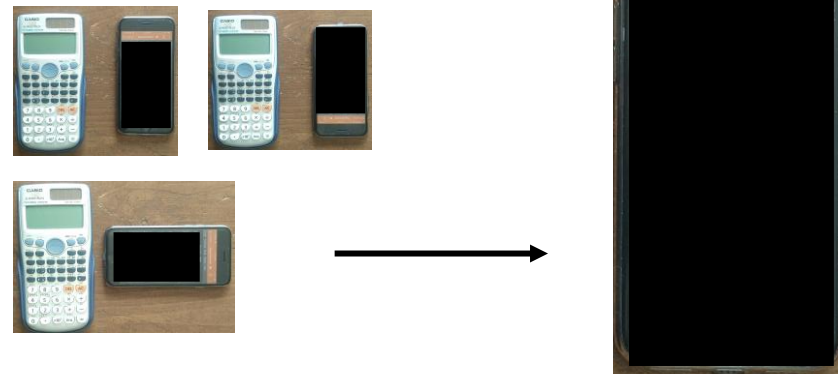
1.1 通电圆线圈轴线上的磁场分布

实验步骤

1.1 判断手机传感器位置



1.2 判断手机磁感应器的坐标轴



测手机传感器所在位置：

1. 打开app，观察absolute值，判断地磁场在30-50uT
2. 用钹铁硼磁钢在手机表面来回移动探索 观察absolute一栏的值，在手机左上角时达到最大值，将近 1×10^3 uT，然后app出现死机。立刻关机重启，重新下载app依然无法显示数据，猜测是磁场过强原因。
3. 换手机，用耳机产生的磁场测量。在手机左上角处测得最大值，近200-300uT。长时间尝试后拿开耳机，发现测量值只能恢复到100-150uT。
4. 长时间放置手机后，两部手机均恢复正常的磁场测量值，由此判断：手机传感器在长时间处于强磁场下可能会有磁化现象，也可能是手机内部的软磁金属材料被磁化对传感器测量产生影响，放在无磁场环境中一段时间后可恢复。但是必须谨慎，会损坏手机！

1.1 通电圆线圈 **轴线** 上的磁场分布

实验步骤

2.1 起始位置不加电流，测环境磁场 B_{01}



2.2 打开电源，每隔一段距离测量磁场



2.3 终点位置关闭电流，测环境磁场 B_{02}

