

天津大学物理实验报告

理学院 2017 年级 物理专业 班 姓名 赵柳

成绩 90

实验日期: 12.11.27 学号 307210122 同组实验者 刘晓宇

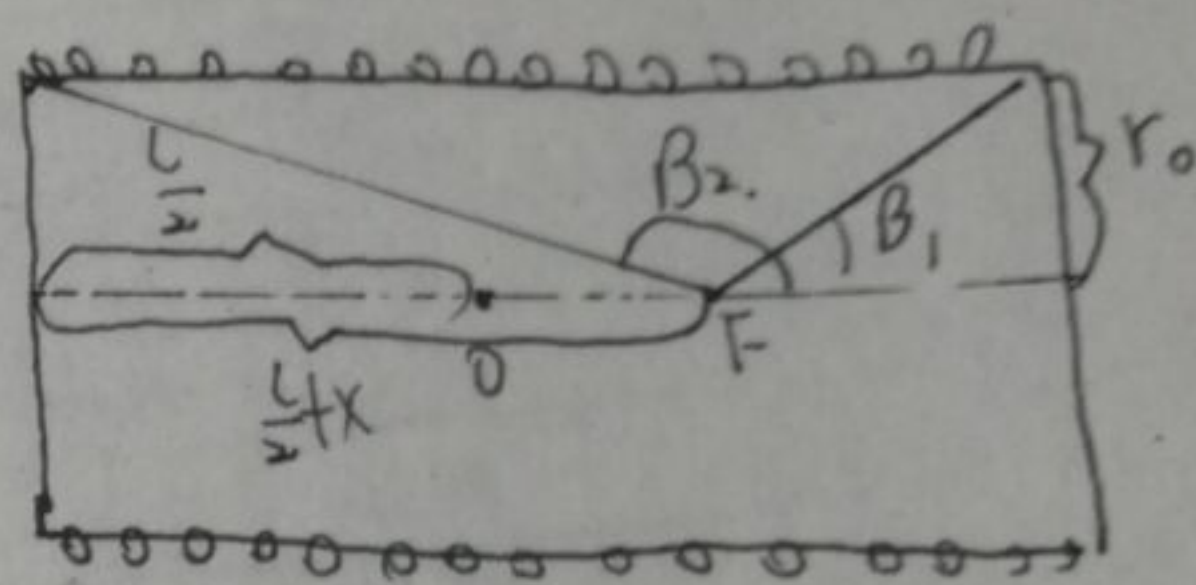
实验题目: 冲击法测螺线管磁场

实验目的: 掌握长直螺线管的磁场分布规律
学会用冲击电流计测量磁场的方法。

实验仪器: MBH-4 互感器, DQ-3A 数字式冲击电流计, JKI-1 精密直流恒流输出电源, FB400A 型冲击法螺线管磁场测定仪

实验原理: 长直螺线管的磁场

对长为 L 半径为 r_0 有 N 匝线圈密绕 ($L \gg r_0$)。在磁导率为 μ 的磁介质中, 通电流 I 时, 内部磁场主要平行于轴线, 集中在管内, 外部磁场很弱。可得距中心 O 点 x 处磁感应强度。



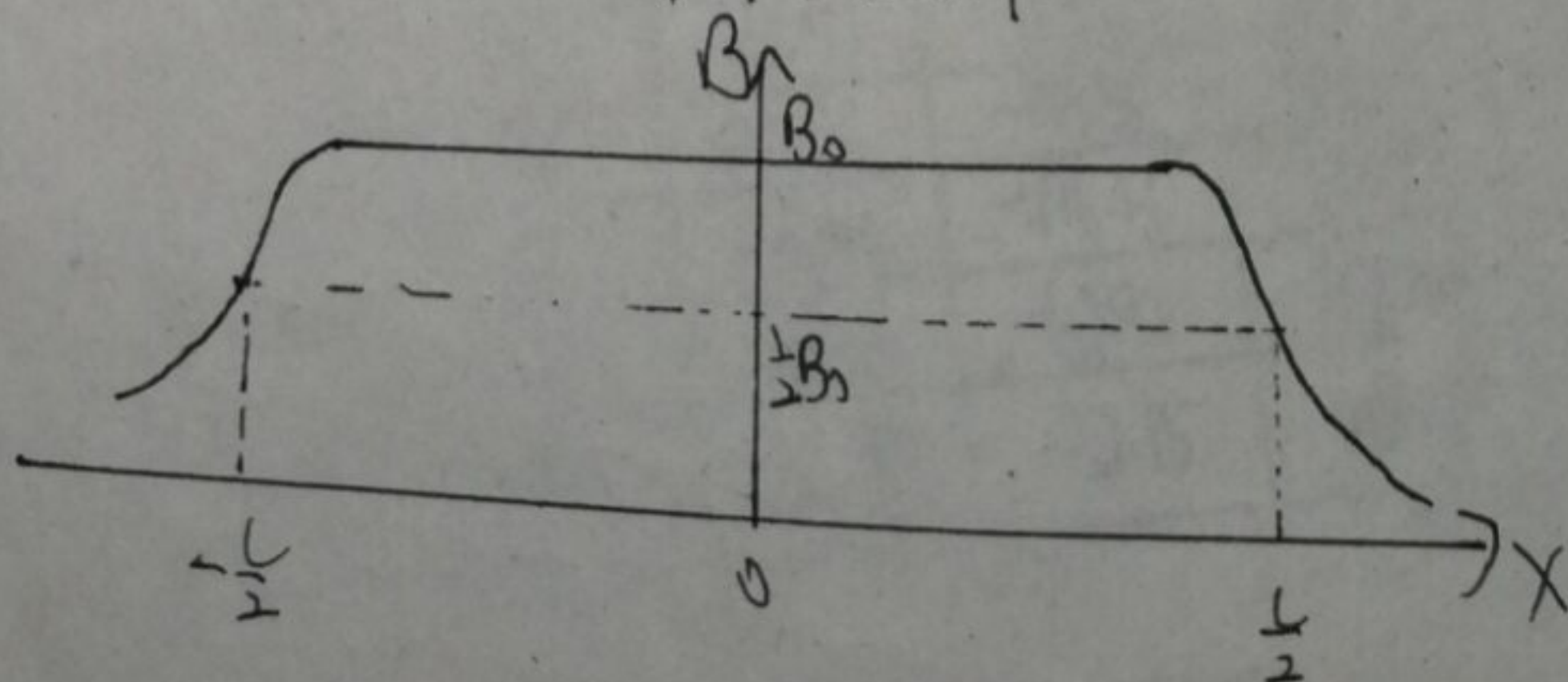
$$B_N = \frac{\mu NI}{2L} (\cos \beta_1 - \cos \beta_2)$$

$$\text{或 } B_N = \frac{\mu NI}{2L} \left\{ \frac{\frac{L}{2} - x}{\left[\left(\frac{L}{2} - x \right)^2 + r_0^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{\frac{L}{2} + x}{\left[\left(\frac{L}{2} + x \right)^2 + r_0^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \right\}$$

$$x=0 \text{ 时, } B_0 = \frac{\mu NI}{L \sqrt{1 + 4r_0^2/L^2}}$$

$$x = \frac{L}{2} \text{ 时, } B_{\frac{L}{2}} \approx \frac{\mu NI}{2L \sqrt{1 + 4r_0^2/L^2}} = \frac{B_0}{2} \left(1 - \frac{r_0^2}{L^2} \right)$$

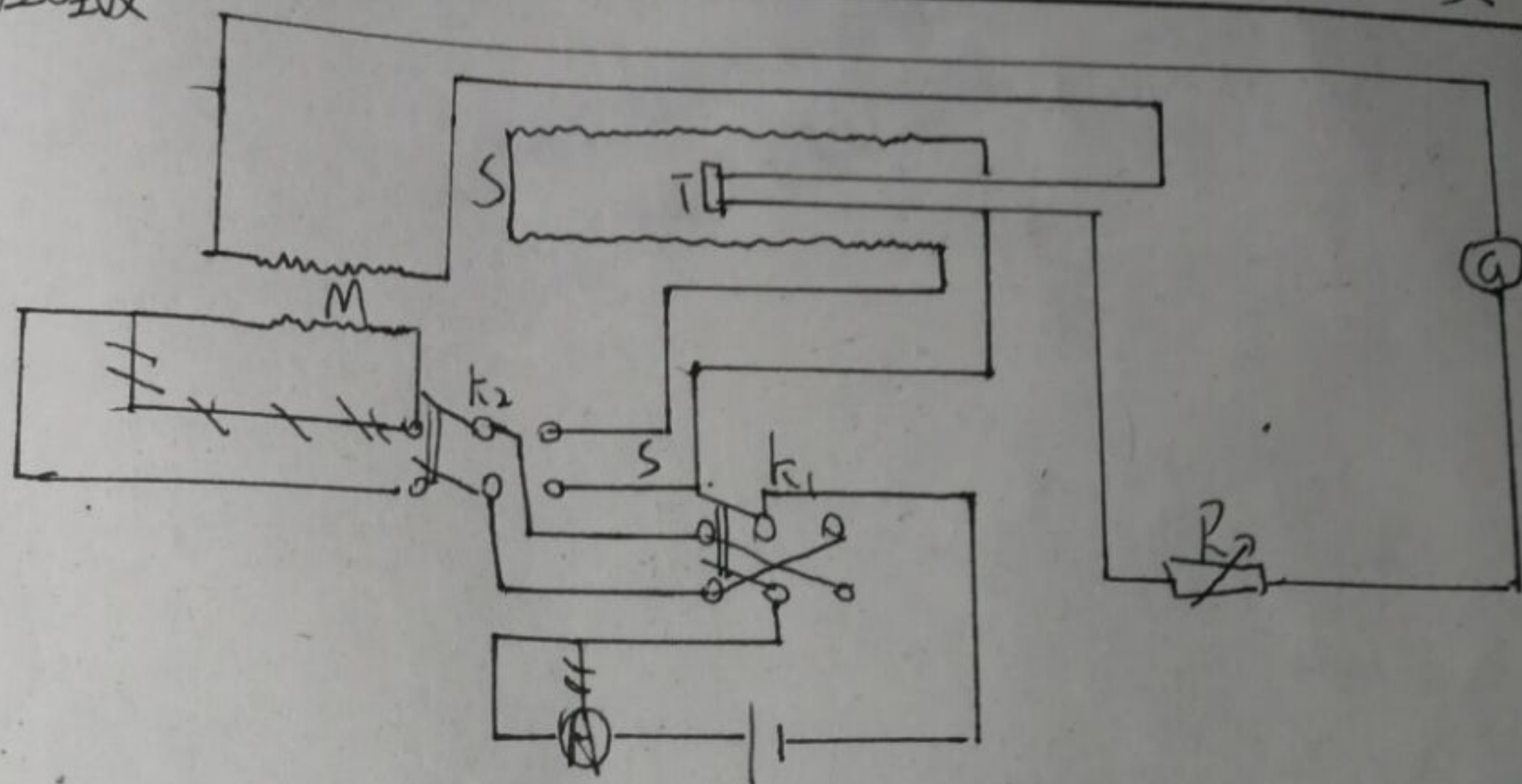
磁感应强度在轴线上分布如下。



天津大学物理实验报告

附 页

2. 用冲击电流计测定磁感应强度



将 k_2 合向 S 端, 则电源与螺线管 S 接通, 构成磁化电流回路。由于冲击电流计 G 、电阻 R_0 、互感器 M 的次级线圈与探测线圈 T 组成次级回路, 当电流流进螺线管时, 管内磁场变化。将 T 提到该点, 有效磁通量改变时有:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\varphi}{dt}$$

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\varphi}{dt}$$

通过电流计通过的电荷量:

$$Q = \int_0^{\infty} i dt = -\frac{1}{R} \int_{\varphi_0}^{\varphi_t} (\varphi_0 - \varphi_t) d\varphi = -\frac{1}{R} \Delta\varphi$$

$$\text{有 } \varphi_t = BN_2 S$$

$$Q = -\frac{1}{R} BN_2 S$$

$$B = -\frac{QR}{N_2 S} \quad \star$$

k_2 合向 M , 有:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\varphi}{dt}, \quad d\varphi = M di, \quad i = \frac{\mathcal{E}}{R} = -\frac{M}{R} \frac{di}{dt}$$

$$Q = \int_0^{\infty} i dt = \int_0^{\infty} \left(-\frac{M}{R} \frac{di}{dt} \right) dt = -\frac{M}{R} \int_0^{\infty} di = -\frac{M}{R} I_0$$

$$R = -\frac{MI_0}{Q_0}$$

实验日期: _____ 学号 _____ 同组实验者 _____

实验题目:

~~有~~ $R = R_0$, R 为内阻, 电阻 R_0 . 线圈电阻等总点, 可表达:

$$故 B = \frac{M I_0 Q}{N_2 S Q_0}$$

M 为标准互感器的互感系数, I 为工作电流 (标准互感器)

实验步骤: 1. Q 与螺线管内磁感应强度成正比.

将置于拉杆中间的测量探头 T 位置调节到螺线管轴线中心, $DQ-3A$ 数字式冲击电流表切换到 $200nA$ 档, K_1 拨到负端, K_2 归零, 调节 $JK1-1$ 精密直流恒流输出电源至 150 , 再往返两次拨动 K_1 , 记录四个数据. 每增加 $50mA$ 再测量四个数据. 作 $B-Q$ 图说明 Q 与 B 成正比.

① 螺线管参数: $L=260mm$, 内径 $D_0=25mm$, $N=2550 \pm 10$ 匝
中心最大均匀磁场 $76mT$.

② 探测线圈参数: $S=7.6 \times 10^{-5} m^2 (\pm 0.5\%)$
 $N=1800 (\pm 10 \text{ 匝})$

③ 互感器参数: 自感系数 $= 10mH$, $1:1$, 互感值: $M=2.8mH$.

2. 测定螺线管中心磁感应强度 (螺线管与互感器)

保持探头 T 位于轴线中心, 固定励磁电流 $I_m=500mA$, K_2 归零, $DQ-3A$ 数字式冲击电流计切换到 $200nA$ 档, 分四次测量四组数据. 再将 K_2 归 M , $DQ-3A$ 数字式冲击电流计切换到 $2000nA$ 档, 8次切换 K_1 并, 记录 Q_0 值, 取绝对值的均值. 根据公式 $B = \frac{M I_0 Q}{N_2 S Q_0}$ 求出 $I_m=500mA$ 时螺线管中心磁场大小 B 与 B_0 比较, 误差分析.

天津大学物理实验报告

附 页

3. 螺线管轴线上磁感应强度的分布

调节 I_m 为 500mA, 置标杆刻度为 $x=0$ 处, $-B$ 处, 0 处, $+B$ 处每移动 1cm, 重复上述操作并测量各位置的 Q 值. 计算各处的 B 值, 作磁感应分布 $B-x$ 图, 找出 B 值为螺线管中央数值时的位置

数据处理:

$I_m(\text{mA})$	$Q_1(\text{mC})$	$Q_2(\text{mC})$	$Q_3(\text{mC})$	$Q_4(\text{mC})$	$\bar{Q}(\text{mC})$	$B = \frac{\mu N I}{(L^2 + 4r^2)^{3/2}} (\text{mT})$
150	-50.70	51.30	-50.80	51.74	51.14	1.84
200	-67.13	67.70	-67.15	67.98	67.49	2.45
250	-84.47	83.04	-84.47	84.94	84.73	3.07
300	-101.06	102.05	-101.64	101.92	101.67	3.68
350	-117.78	118.57	-117.72	118.52	118.15	4.29
400	-134.87	135.39	-134.99	135.47	135.18	4.90
450	-151.33	152.48	-151.51	151.98	151.83	5.52
500	-168.32	169.17	-169.03	168.95	168.87	6.13

注: 由于 I_m 小时, Q 难以测量 (不跳动), 故 I_m 从 150mA 开始测量.

误差分析

作图得

$$B = 0.0036 \bar{Q}$$

即 Q 与螺线管内磁感应强度成正比.

2.

$k_2 \rightarrow S$

$Q_1(\text{mC})$	$Q_2(\text{mC})$	$Q_3(\text{mC})$	$Q_4(\text{mC})$	$\bar{Q}(\text{mC})$
-168.32	-169.17	-169.03	-168.95	168.87

$k_2 \rightarrow M$

$Q_1(\text{mC})$	$Q_2(\text{mC})$	$Q_3(\text{mC})$	$Q_4(\text{mC})$	$\bar{Q}(\text{mC})$
283.3	-272.6	283.9	-276.9	280.4

理论值 $B_0 = \frac{\mu N I}{(L^2 + 4r^2)^{3/2}} = 6.13 \text{mT}$

实验值 $B = \frac{\mu I_0 Q}{N_2 S Q_0} = 6.16 \text{mT}$

相对误差 $E = \frac{|B_0 - B|}{B_0} \times 100\%$

$E = \frac{|6.13 - 6.16|}{6.13} \times 100\% = 0.49\%$

天津大学物理实验报告

学院 _____ 年级 _____ 专业 _____ 班 姓名 _____ 成绩 _____

实验日期: _____ 学号 _____ 同组实验者 _____

实验题目:						
指针刻度示数 ^(cm)	$Q_1(\mu C)$	$Q_2(\mu C)$	$Q_3(\mu C)$	$Q_4(\mu C)$	$\bar{Q}_0(\mu C)$	$B = \frac{M\bar{Q}_0}{N_2 Q_0} (\text{mT})$
-13	136.15	-136.69	136.87	-136.59	136.58	4.98
-12	152.60	-152.76	152.81	-152.58	152.69	5.57
-11	159.74	-159.68	159.52	-160.04	159.75	5.83
-10	163.80	-163.67	164.04	-163.51	163.76	5.98
-9	166.13	-166.16	165.83	-166.01	166.33	6.07
-8	167.21	-167.44	167.38	-167.17	167.30	6.11
-7	167.95	-168.05	167.99	-168.02	168.00	6.13
-6	168.58	-168.69	168.23	-168.68	168.55	6.15
-5	168.16	-168.98	168.77	-169.04	168.74	6.16
-4	168.42	-168.64	168.54	-168.37	168.49	6.15
-3	168.41	-168.33	168.32	-168.37	168.35	6.14
-2	168.34	-168.31	168.75	-168.75	168.54	6.15
-1	168.54	-168.80	168.77	-168.74	168.71	6.16
0	168.55	-169.03	168.66	-168.97	168.80	6.16
1	167.93	-168.35	168.60	-168.67	168.39	6.15
2	167.97	-168.09	167.80	-167.98	168.01	6.13
3	167.49	-167.91	167.60	-167.78	167.70	6.12
4	167.43	-167.40	167.06	-167.27	167.29	6.10
5	166.56	-166.74	166.29	-166.49	166.52	6.07
6	165.03	-165.58	165.05	-165.19	165.16	6.03
7	163.28	-163.53	163.50	-163.73	163.51	5.97
8	162.58	-162.64	166.06	-161.21	160.87	5.87
9	155.51	-155.53	155.36	-155.50	155.48	5.67
10	143.26	-143.35	143.47	-143.37	143.36	5.23
11	126.41	-116.21	116.92	-116.93	116.62	4.26
12	68.10	-67.92	68.06	-68.35	68.11	2.49
13	31.94	-32.15	32.09	-31.99	32.04	1.17

天津大学物理实验报告

附 页

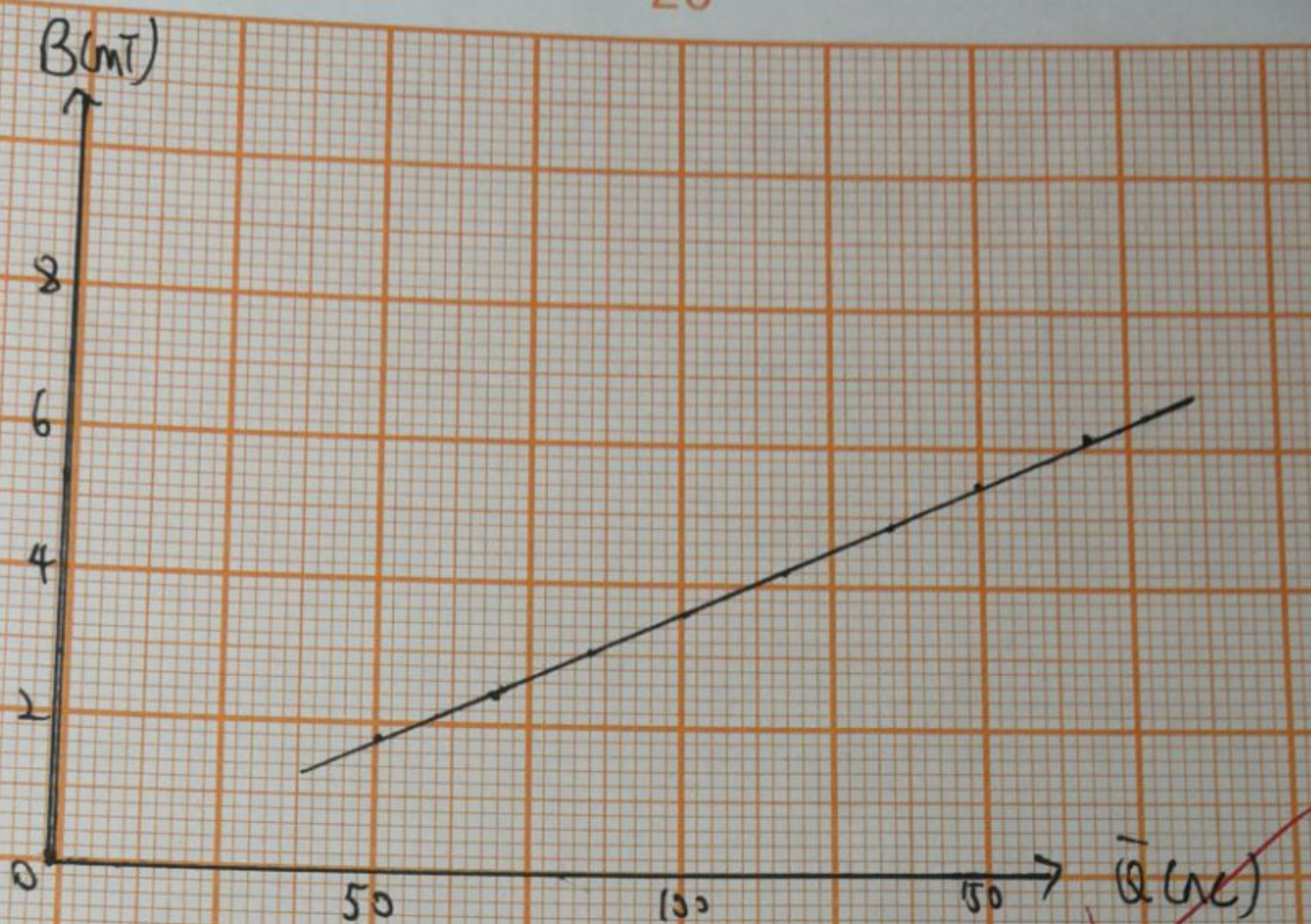
由图得, $B = \frac{B_{\max}}{2}$ 时, $x = 11.8 \text{ cm}$, 较为靠近理论值 $x = 13 \text{ cm}$ 处.
但左端无 ~~取~~ B 值为 $\frac{B_{\max}}{2}$ 处.

误差分析: 1. 探测线圈可能^并不处于理论位置, 不是有左右偏差的
2. 螺线管磁场的^并不均匀, 使得实际 $B = \frac{B_{\max}}{2}$ 的位置偏移

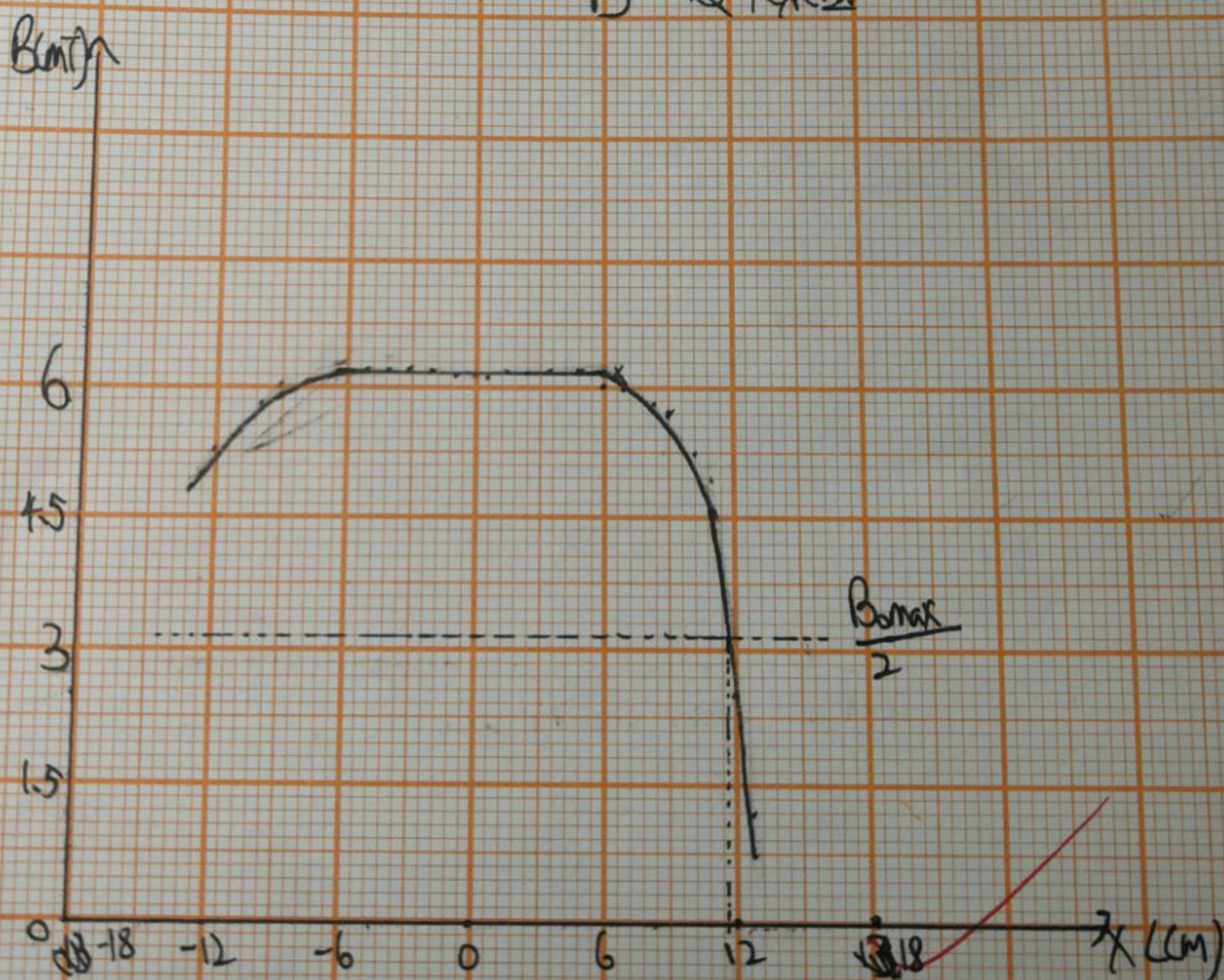
改进: 使用不同测量探头测量同一支螺线管, 以确定螺线管的轴线磁场的分布,
以及其铜线圈环是否均匀, 螺线管是否水平.

拓展与设计: 1. 为了使探测线圈可以有效的感应磁场变化, 精确测量某点位置.
2. 为了保证影响因素基本不发生变化.

2018.12.6



B-Q 关系图



螺线管轴线磁场的分布 B-x 图