

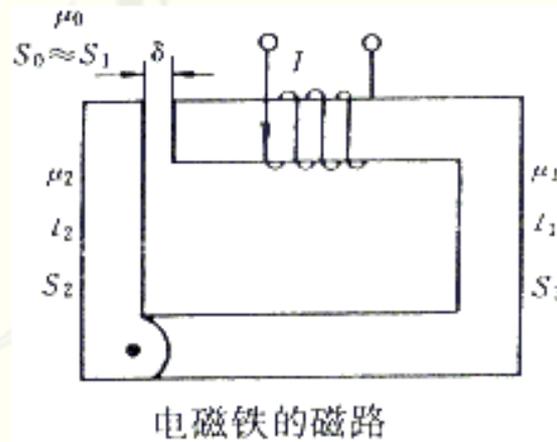
产生均匀磁场的简易方法

p602013023 吴广

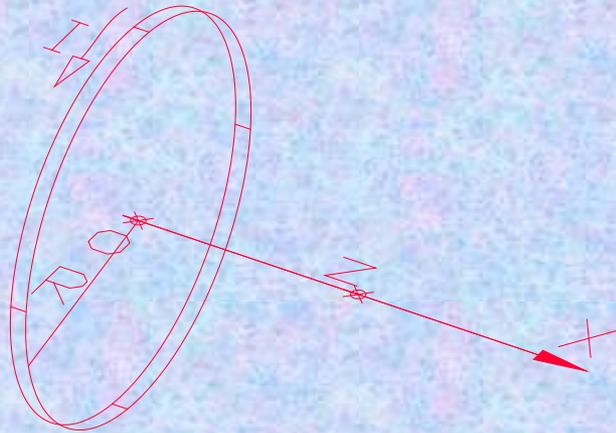
- 在生产和科学研究中往往需要把样品放在均匀磁场中进行测试, 以下介绍几种产生均匀磁场的方法.

一 磁 路

磁路制作简便,操作简单,产生的均匀磁场可调范围大,因此是发生均匀磁场的一种很好的方法.

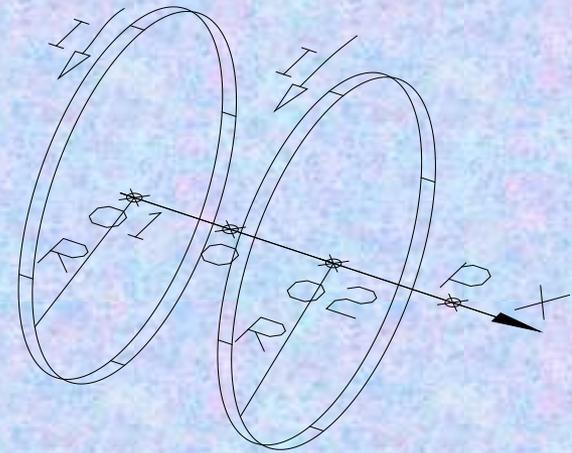


二 亥姆霍兹线圈及其改进



- 载流线圈, 电流为I, 在中轴线上距圈中心O z处产生的磁场为:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi IR^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \vec{i}$$



- 亥姆霍兹线圈:
- 一对相同的圆形线圈, 彼此平行且共轴, 线圈半径为R, 两者间距为a. 设两线圈的电流都是I, 且方向一致。
- 若a=R, 则在O点附近产生均匀磁场。

亥姆霍兹线圈的基本原理

- 亥姆霍兹线圈在中轴线上 x 处产生的磁场为:

$$B(x) = B(0) + O(x^4)$$

- $B(0)$ 为原点处的磁场;

$$B(0) = \frac{8\mu_0\pi I}{5\sqrt{5}R}$$

- $O(x^4)$ 代表 x 的四次以上幂次的小量;
- 所以 $B(x)$ 将在相当大的 x 范围内均匀.

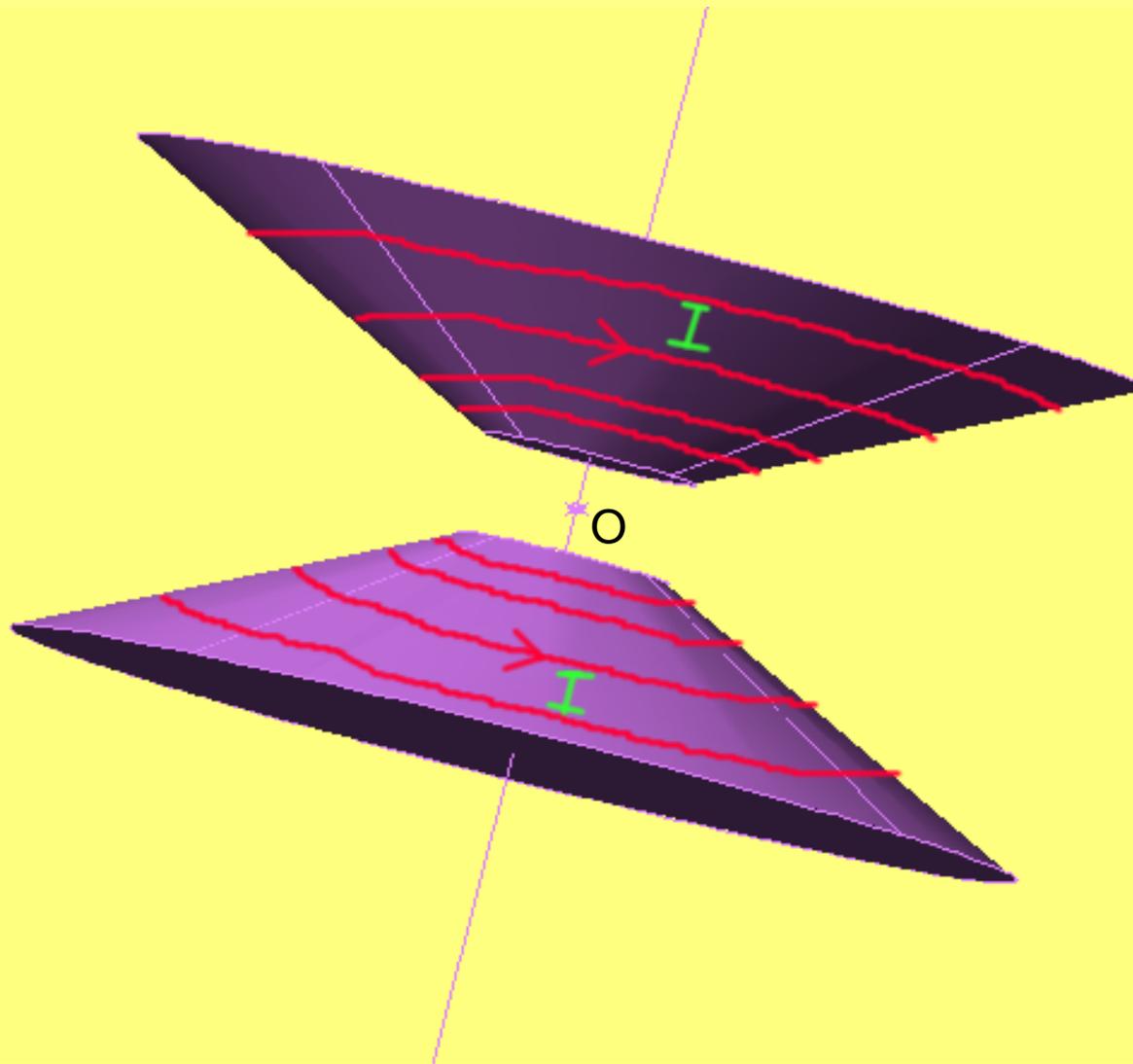
亥姆霍兹线圈的优缺点

- **优点:**亥姆霍兹装置可以做成由两组线圈组成的筒形装置。这种装置操作简单，对实验样品的几何形状没有任何限制；
- **缺点:**产生的磁场不太强
- 若令 $I=10A$, $R=1cm$, 则

$$B_0 = \frac{8 * 4\pi * 10^{-7} * \pi * 20}{5\sqrt{5} * 0.01} = 0.005T = 50GS \quad (\text{比较小})$$

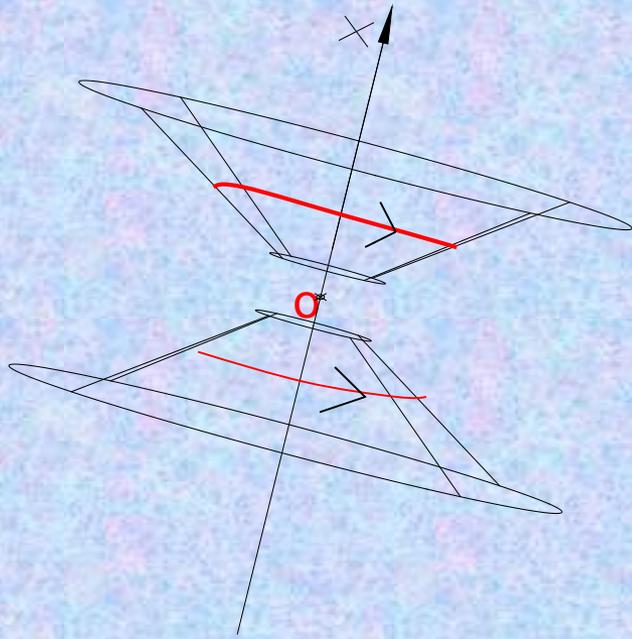
- **改进:**通过增加线圈数的方法增强其磁场

改进的亥姆霍兹线圈的模型



两同轴圆台，它们对应的圆锥相接于O点,顶角为 $2\arctg 2$,
两圆台上密绕导线，通电流，电流方向一致

改进原理



该模型可看成由不同半径的亥姆霍兹线圈叠加而成(右面为具体解释)

因为锥角为 $2\arctg 2$,则任意 X 处的电流环同 $-X$ 处的电流环的半径为 $2X$,同两环间的距离相等,两环电流方向一致,则两环构成亥姆霍兹线圈,则在 O 点附近的磁场可以看成是多个亥姆霍兹线圈叠加的结果,因此是均匀磁场。

- 令圆台的上下底面半径分别为 r_0 ， R_0 ，高为 h .设圆台上绕满了线圈，电流为 I ,单位长度线圈匝数为 n . 经积分和相关计算,得圆台上所有线圈在 O 点产生的磁场大小为:

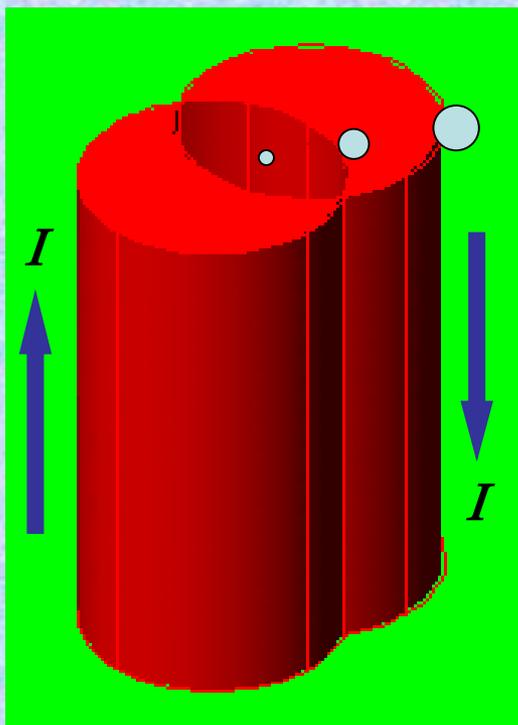
$$B_{i0} = \int_{r_0/2}^{R_0/2} \frac{4\mu_0 \pi \cdot n \cdot I \cdot dx}{5x} = \frac{4n \ln \frac{R_0}{r_0}}{5} \mu_0 \pi I$$

- 现在代入具体的数值计算一下产生的均匀磁场有多大.
- 令 $r_0 = 1mm$, $R_0 = 1m$
- 导线的直径为1毫米，电流I 为6A(此时每平方毫米的电流为 $\frac{6}{\pi * 0.5^2} = 7.6A$ 从实际操作和发热角度，这样大的电流是合理的)；
- $n=1m/1cm=1000$
- 则在O点产生的均匀磁场的大小为：

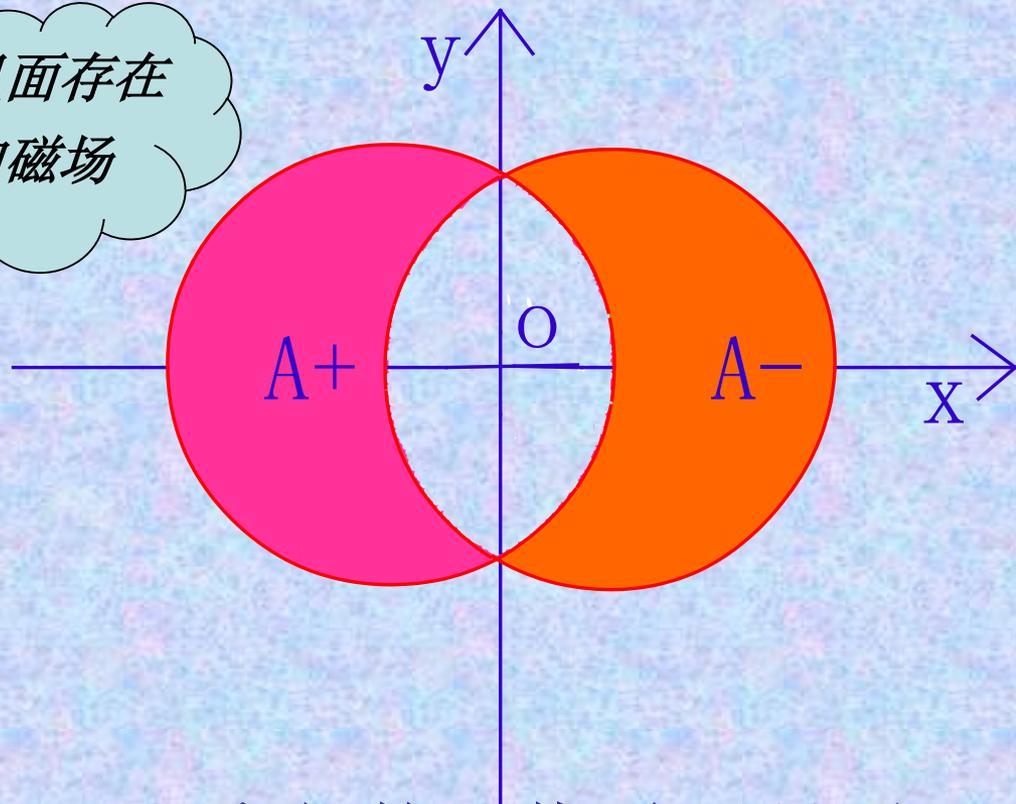
$$B_{i0} = \frac{4 * 1000 * \ln 1000}{5} * 4\pi * 10^{-7} * \pi * 6 = 0.13T = 1300GS$$

- 虽然没有达到的1T的量级，但相对于单个亥姆霍兹线圈产生的50GS的磁场来说，应该算是比较大的了。且由于绕在圆台上导线的直径比较小(如上面例子中只有1毫米)，每对相应的电流环都是比较严格的亥姆霍兹线圈，这样产生的磁场的均匀度就比较高；而对于单个亥姆霍兹线圈，线圈粗了产生的磁场就不会很均匀，细了负载不了较大的电流，这样产生的磁场就很弱。另外，如果对磁场的均匀度要求不是太高，圆台上的导线可以再多绕几层，这样又可以成倍的增强磁场，以至于大到1T的量级。因此，通过这种改进，能够较大地增强亥姆霍兹均匀磁场，从而可以在一定程度上扩大亥姆霍兹线圈的适用范围。

三 由两根长直导体产生的均匀磁场



这里面存在
均匀磁场



- 两根互相绝缘的长直非磁性导体,沿Z轴放置,其中通反向的电流 I .

- 它们的正截面.呈月牙形,都是圆的一部分.两圆直径均为 D ,两圆心间距 $D/2$

为什么会在空心区域产生均匀磁场

- 空心区域内无电流,可以看成是正向电流和负向电流相互抵消的结果,因此空白区域内的磁场可以看作是两根完整的圆柱形长直载流导体所产生的磁场之和。
- 则根据环路定理,能比较容易的推导出空心区域任意一点的磁场为:

$$\vec{B} = \frac{6\mu_0 I}{(2\pi + 3\sqrt{3})D} \mathbf{j} \quad (\mathbf{j} \text{为} \mathbf{y} \text{方向单位矢量})$$

- 可见, \vec{B} 与点的位置无关. 因此, 空心区域存在均匀磁场!

需要做的更正

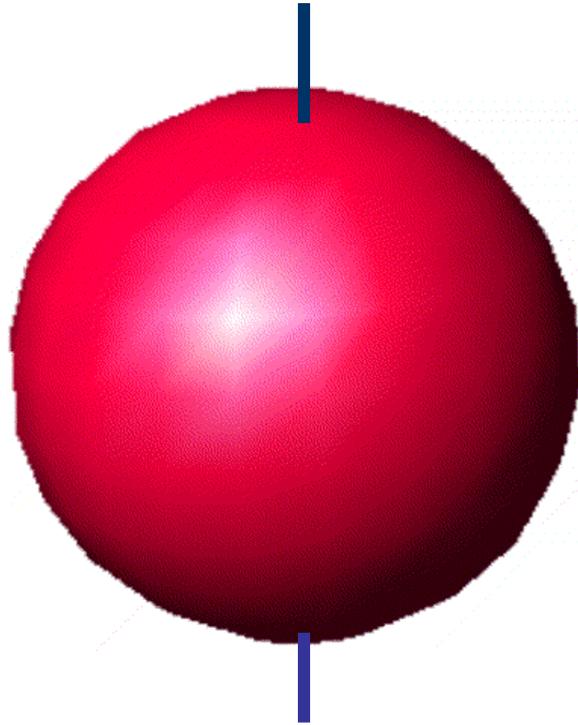
- 需要注意的是，前面计算的前提是直导体中的电流要均匀分布。而由于磁场作用的影响，直导体中的电流不可能均匀分布。但我们可以用集结成直导体形状的导线束来代替直导体，这样就可以忽略磁场对电流分布的影响了。

- 下面计算在一般情况下，用这种方法到底能够产生多大的均匀磁场：
- 令导线束中每根导线的截面直径为1平方毫米，每根导线通5安培的电流；导线束直径 $D=1\text{m}$ 。则：

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{6\mu_0 I}{(2\pi + 3\sqrt{3})D} \\
 &= \frac{6 * 4\pi * 10^{-7} * \left(\frac{\pi}{12} + \frac{\sqrt{3}}{8}\right) * 1^2 * 5 * 10^6}{(2\pi + 3\sqrt{3}) * 1} \\
 &= 1.5T
 \end{aligned}$$

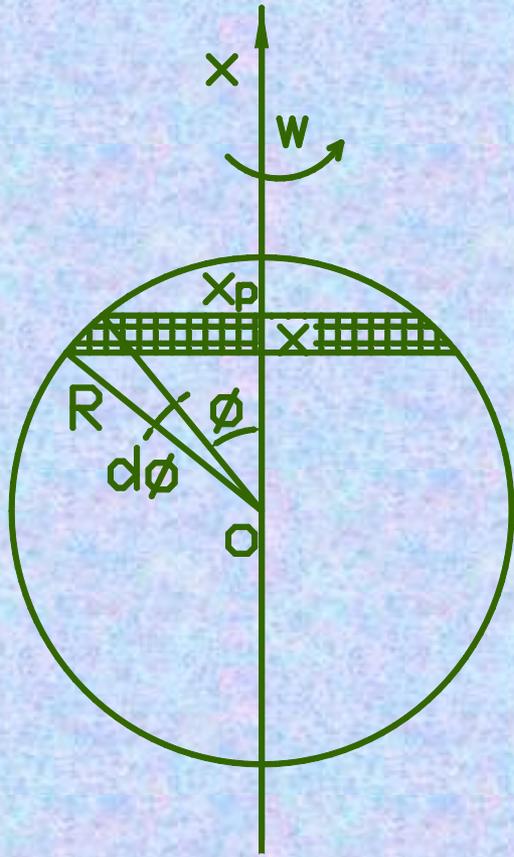
- 算出的值很大，但想想产生的条件也不为过：导线束的截面直径为1m,每根导线通5A的电流，既耗费材料，也耗费电能。不过我想这也不失为产生均匀磁场的一种方法。特别是随着超导技术的不断发展，
- 将能很容易的产生较大的电流，也不会消耗较多的电能，如果应用超导技术，这种方法还是有一定价值的。不知道我的这种看法是不是太片面。

(四) 均匀带电的球面绕某一直径匀速旋转，会在该直径上产生均匀磁场。



绕某一直径(X轴)
匀速旋转的均匀带电的球面

原理



把球面分割成一系列与x轴垂直的环形球带,其投影如上图阴影部分所示

- 令球面绕通过x轴的直径以角速度 ω 匀速旋转。球面电荷密度为 σ 。
- 则每一球带因旋转形成的电流在x轴任一点p产生的磁场应沿x方向，积分，即可得出p点的磁场。
- 最终求得：
$$\vec{B}_p = \frac{2}{3} \mu_0 R \sigma \omega \vec{i}$$

(\vec{i} 为x方向单位矢量)

- 可见， \vec{B}_p 与p点的位置 x_p 无关，即在作为转轴的直径上，磁感应强度处处相同！

- 由 \vec{B}_p 的表达式可知，可以通过增加球径 D ，球面电荷密度 s 以及球面转速 w 来增强 B_p 。从实际角度考虑， D 和 w 不能太大，由于材料等原因的限制， s 也不能太强。因此，通过这种方法产生的均匀磁场强度有限。但我们每天都能感受到这种磁场的存在，地磁场部分就是由于藏有电荷的地球自旋而形成的。地球不是标准的球，我想这可能是造成磁极偏离地极的一个原因。

后记

- 插图来源：
- 用Flash MX 制作
- 用Auto CAD制作
- 我的图片库
- 通过拨号上网下载



谢

谢

!

