

第 15 章 磁介质的磁化

一、选择题

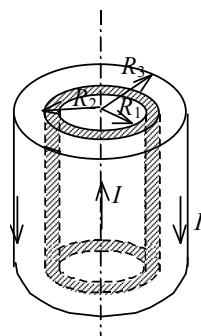
1(C), 2(B), 3(B), 4(C), 5(D)

二、填空题

- (1). -8.88×10^{-6} , 抗.
- (2). 铁磁质, 顺磁质, 抗磁质.
- (3). $7.96 \times 10^5 \text{ A/m}$, $2.42 \times 10^2 \text{ A/m}$.
- (4). 各磁畴的磁化方向的指向各不相同, 杂乱无章.
全部磁畴的磁化方向的指向都转向外磁场方向.
- (5). 磁导率大, 矫顽力小, 磁滞损耗低. 变压器, 交流电机的铁芯等.

三 计算题

1. 一根同轴线由半径为 R_1 的长导线和套在它外面的内半径为 R_2 、外半径为 R_3 的同轴导体圆筒组成. 中间充满磁导率为 μ 的各向同性均匀非铁磁绝缘材料, 如图. 传导电流 I 沿导线向上流去, 由圆筒向下流回, 在它们的截面上电流都是均匀分布的. 求同轴线内外的磁感强度大小 B 的分布.



解: 由安培环路定理:

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_i$$

$0 < r < R_1$ 区域:

$$2\pi r H = I r^2 / R_1^2$$

$$H = \frac{I r}{2\pi R_1^2}, \quad B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R_1^2}$$

$R_1 < r < R_2$ 区域:

$$2\pi r H = I$$

$$H = \frac{I}{2\pi r}, \quad B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

$R_2 < r < R_3$ 区域:

$$2\pi r H = I - \frac{I(r^2 - R_2^2)}{(R_3^2 - R_2^2)}$$

$$H = \frac{I}{2\pi r} \left(1 - \frac{r^2 - R_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \right)$$

$$B = \mu_0 H = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \left(1 - \frac{r^2 - R_2^2}{R_3^2 - R_2^2} \right)$$

$r > R_3$ 区域:

$$H = 0, \quad B = 0$$

2. 螺绕环中心周长 $l = 10 \text{ cm}$, 环上均匀密绕线圈 $N = 200$ 匝, 线圈中通有电流 $I = 0.1 \text{ A}$. 管内充满相对磁导率 $\mu_r = 4200$ 的磁介质. 求管内磁场强度和磁感强度的大小.

解:

$$H = nI = NI / l = 200 \text{ A/m}$$

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H = 1.06 \text{ T}$$

3. 一铁环的中心线周长为 0.3 m , 横截面积为 $1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, 在环上密绕 300 匝表面绝缘的导线, 当导线通有电流 $3.2 \times 10^{-2} \text{ A}$ 时, 通过环的横截面的磁通量为 $2.0 \times 10^{-6} \text{ Wb}$. 求:

- (1) 铁环内部的磁感强度;
- (2) 铁环内部的磁场强度;
- (3) 铁的磁化率;
- (4) 铁环的磁化强度.

解: (1)
$$B = \frac{\Phi}{S} = 2 \times 10^{-2} \text{ T}$$

(2)
$$n = 1000 \text{ m}^{-1}, \quad H = nI_0 = 32 \text{ A/m}$$

(3) 相对磁导率
$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = 497$$

\therefore 磁化率
$$\chi_m = \mu_r - 1 = 496$$

(4) 磁化强度
$$M = \chi_m H = 1.59 \times 10^4 \text{ A/m}$$

四 研讨题

1. 顺磁质和铁磁质的磁导率明显地依赖于温度, 而抗磁质的磁导率则几乎与温度无关, 为什么?

参考解答:

顺磁质的磁性主要来源于分子的固有磁矩沿外磁场方向的取向排列。当温度升高时, 由于热运动的缘故, 这些固有磁矩更易趋向混乱, 而不易沿外磁场方向排列, 使得顺磁质的磁性因磁导率明显地依赖于温度。

铁磁质的磁性主要来源于磁畴的磁矩方向沿外磁场方向的取向排列。当温度升高时, 各磁畴的磁矩方向易趋向混乱而使铁磁质的磁性减小, 因而铁磁质的磁导率会明显地依赖于温度。当铁磁质的温度超过居里点时, 其磁性还会完全消失。

至于抗磁质, 它的磁性来源于抗磁质分子在外磁场中所产生的与外磁场方向相反的感生磁矩, 不存在磁矩的方向排列问题, 因而抗磁质的磁性和分子的热运动情况无关, 这就是抗磁质的磁导率几乎与温度无关的原因。

2. 在实际问题中用安培环路定理 $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_0$ 计算由铁磁质组成的闭合环路, 在得出 H 后, 如何进一步求出对应的 B 值呢?

参考解答:

由于铁磁质的 μ_r 不是一个常数, 因此不能用 $B = \mu_r \mu_0 H$ 来进行计算, 而是应当查阅手册中该铁磁材料的 $B-H$ 曲线图, 找出对应于计算值 H 的磁感强度 B 值。

3. 磁冷却。将顺磁样品 (如硝酸镁) 在低温下磁化, 其固有磁矩沿磁场排列时要放出能量以热量的形式向周围环境排出。然后在绝热的情况下撤去外磁场, 这样样品温度就要降低, 实验中可降低到 $10^{-6} K$ 。试解释为什么样品绝热退磁时会降温。

参考解答:

磁冷却的原理和过程可以分几步说明如下:

- (1) 把顺磁样品放入低温环境中 (如温度 $1K$ 的 He 气, He 气又和周围的液 He 维持 $1K$ 下的热平衡)。
- (2) 加外磁场 (磁感强度约 $1T$), 使顺磁样品等温磁化, 顺磁质的固有磁矩在外磁场的作用下会排列起来。在此过程中, 外界对磁场做功, 顺磁质的内能增加; 同时样品放出热量, 被

周围的 He 气吸收，整个系统仍维持 $1K$ 的温度不变。

(3) 迅速抽出样品周围的 He 气，使样品处于绝热隔离状态。

(4) 去掉外磁场，顺磁质的磁场又趋于混乱。此过程中，样品对外做功，内能减少，样品温度下降。一般情况下，样品的温度可以将到 $10^{-6}K$ 。