

# 《大学物理 I》作业      No.09 电磁介质      (A 卷)

班级 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 姓名 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

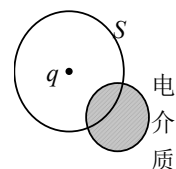
## 一、选择题

1. 静电场中, 关系式  $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$  [ D ]

- (A) 只适用于各向同性线性电介质;
- (B) 只适用于均匀电介质;
- (C) 适用于线性电介质;
- (D) 适用于任何电介质。

2. 在一点电荷的静电场中, 一块电介质如图所示, 以点电荷所在处为球心, 作一球形闭合面, 则对此球形闭合面: [      ]

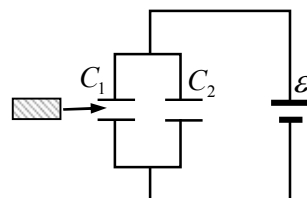
- (A) 高斯定理成立, 且可用它求出闭合面上各点的场强
- (B) 高斯定理成立, 但不能用它求出闭合面上各点的场强
- (C) 由于电介质不对称分布, 高斯定理不成立
- (D) 即使电介质对称分布, 高斯定理也不成立



**解:** 根据高斯定理成立条件和能求解电场强度条件知 B 正确

3.  $C_1$  和  $C_2$  两空气电容器并联以后接电源充电, 在电源保持联接的情况下, 在  $C_1$  中插入一电介质板, 则

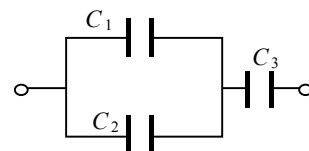
- [ C ] (A)  $C_1$  极板上电量增加,  $C_2$  极板上电量减少;
- (B)  $C_1$  极板上电量减少,  $C_2$  极板上电量增加;
- (C)  $C_1$  极板上电量增加,  $C_2$  极板上电量不变;
- (D)  $C_1$  极板上电量减少,  $C_2$  极板上电量不变。



**解:** 保持  $\epsilon$  联接, 则电容器上的电压不变。在  $C_1$  中插入介质板, 则  $C_1$  增大,  $C_2$  不变。由  $C = \frac{q}{U}$ ,  $q_1 = C_1 U$  增大,  $q_2 = C_2 U$  不变。

4. 三个电容器连接如图, 已知电容  $C_1 = C_2 = C_3$ , 而  $C_1, C_2, C_3$  的耐压值分别为 100 V, 200 V, 300 V。则此电容器组的耐压值为:

- [      ]      (A) 500 V      (B) 400 V
- (C) 300 V      (D) 150 V



**解:**  $C_1, C_2$  并联, 等效电容为  $C_{12} = C_1 + C_2$ , 最高耐压值为  $C_1$  的耐压值 100 V, 即  $V_{12} = 100$  V, 并联等效电容电荷总量为  $Q = C_{12} V = 100 C_{12}$ ,  $C_{12}$  与  $C_3$  串联,  $C_3$  上电荷也

为  $Q = 100C_{12}$ ，此时  $C_3$  上电压降为  $V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{100C_{12}}{C_3} = 200 \text{ V}$ ，故此电容器组的耐压值

为  $V = V_{12} + V_3 = 100 + 200 = 300 \text{ V}$

选 C

5. 一平行板电容器的电容为  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{Q}{\Delta U}$ ，其中  $S$  为单极板面积， $d$  为两极板间距， $Q$  为单极板带电量， $\Delta U$  为两极板间电势差，则下列说法中你认为错误的是[ ]

- (A)  $Q$  增大，电容器的电容  $C$  随之增大；
- (B)  $S$  增大，电容器的电容  $C$  随之增大；
- (C)  $d$  增大，电容器的电容  $C$  随之减小；
- (D) 电容器电容  $C$  的大小由其自身结构决定。

解：A 电容器电容  $C$  的大小由其自身结构（ $s$ ， $d$  和  $\epsilon_0$ ）决定，与  $Q$  和  $\Delta U$  无关，但可以利用上述两个量计算得到。

6. 分子的固有磁矩包括[ D ]

(A) 电子的轨道磁矩； (B) 电子的自旋磁矩； (C) 原子核的自旋磁矩； (D) 以上都有。

## 二、判断题（请在[ ]里打√或×）

1. [ ] 说明磁介质磁性起源的电结构模型是电偶极子。

解：×，是分子电流

2. [ ] 磁化强度矢量描述了磁介质的磁化状态，包括磁化程度的强弱和方向。

解：√ 根据磁化强度矢量的定义  $\vec{M} = \frac{\sum_i (\vec{p}_m + \Delta \vec{p}_m)_i}{\Delta V}$  知此说法正确。

3. [ ] 对于各向同性的非铁磁质，无论顺磁质和抗磁质中， $\mathbf{B}$  与  $\mathbf{H}$  总是同向。

解：√ 对于各向同性的非铁磁质，由可知  $\vec{B} = \mu \vec{H}$  它们同向。

4. [ ] 有极分子电介质在外电场中极化时只发生转向极化。

解：×，同时发生位移极化和转向极化，以转向极化为主。

5. [ ] 电位移矢量是表述电场的一个辅助物理量，它只与空间的自由电荷有关。

解：×，电位移矢量与空间自由电荷和介质极化（束缚）电荷都有关系。

6. 对所有的磁介质，磁感应强度与磁场强度关系式  $\vec{B} = \mu \vec{H}$  均成立。

解：× 根据磁介质的分类及磁化机理的不同，关系式  $\vec{B} = \mu \vec{H}$  对铁磁质材料不成立。

### 三、填空题

1. 描述电介质极化强度的物理量电极化强度  $\vec{P}$  的定义式是\_\_\_\_\_，它的物理意义是\_\_\_\_\_。

解:  $\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{\Delta V}$ , 单位体积内分子电偶极矩矢量和。

2. 一平行板电容器, 充电后与电源保持联接, 然后使两极板间充满相对介电常量为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质, 这时两极板上的电荷是原来的\_\_\_\_\_倍; 电场强度是原来的\_\_\_\_\_倍; 电场能量是原来的\_\_\_\_\_倍。

解: 由于与电源连接, 电压不变。充满相对介电常量为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质后,

$$\text{电容为 } C' = \epsilon_0 \epsilon_r S / d = \epsilon_r C$$

$$\text{电荷为 } Q' = C'V = (\epsilon_0 \epsilon_r S / d)V = \epsilon_r Q$$

$$\text{所以电场强度 } E' = V / d = E$$

$$\text{电场能量 } W' = \frac{1}{2} C' V^2 = \frac{1}{2} \epsilon_r C V^2 = \epsilon_r W$$

即分别为  $\epsilon_r$ , 1,  $\epsilon_r$  倍

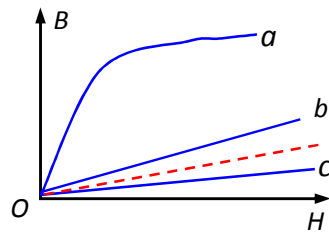
3. 图示为三种不同的磁介质的  $B \sim H$  关系曲线, 其中虚线表示的是  $B = \mu_0 H$  的关系。说明

a、b、c 各代表哪一类磁介质的  $B \sim H$  关系曲线:

a 代表 铁磁质 的  $B \sim H$  关系曲线。

b 代表 顺磁质 的  $B \sim H$  关系曲线。

c 代表 抗磁质 的  $B \sim H$  关系曲线。



解:  $\mu = \mu_0 \mu_r, B = \mu H$ , 对于铁磁质,  $\mu_r$  不是常数,  $B \sim H$  为曲线。

顺磁质  $\mu_r > 1$ , 抗磁质  $\mu_r < 1$ 。

4. 有介质存在时的磁场的安培环路定理的表达式为  $\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{(L^N)} I_0$ 。

5. 在恒定电流的情况下, 导体内电场强度不为 0, 并且导体内外场强的分布不随时间变化, 这种电场称为恒定电场。

解: 根据课本 232 页定义和基本概念可得。

6. 电动势是衡量电源将其他形式能量转化为电能的本领高低的物理量。

解：根据课本 233 页定义和基本概念可得。

#### 四、计算题

1. 一球形电容器，内球壳半径为  $R_1$ ，外球壳半径为  $R_2$ ，两球壳间充满了相对介电常数为  $\epsilon_r$  的各向同性均匀电介质，设两球壳间电势差为  $U_{12}$ ，求：

- (1) 电容器的电容；
- (2) 电容器储存的能量。

解：(1) 设电容器充电后带电量为  $Q$ ，由高斯定理可知两球壳间场强的大小为：

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} \quad (R_1 \leq r \leq R_2)$$

$$\begin{aligned} \text{两极间电势差为: } U_{12} &= \int_{R_1}^{R_2} E \cdot dr = \int_{R_1}^{R_2} \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} dr = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \\ &= \frac{QR_2 R_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1 R_2} \end{aligned}$$

$$\text{由定义, 电容为 } C = \frac{Q}{U_{12}} = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1 R_2}{R_2 - R_1}。$$

$$(2) \text{ 电容器储存的能量为 } W = \frac{1}{2} C U_{12}^2 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1 R_2}{R_2 - R_1} U_{12}^2。$$

2. 一电容为  $C$  的空气平行板电容器，接端电压为  $U$  的电源充电后随即断开，试求把两个极板间距离增大至  $n$  倍时外力所作的功。

解：充电后断开电源，极板上电量  $q = CU$  保持不变。两极板间距变化前后电容分别为：

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}, \quad C' = \frac{\epsilon_0 S}{nd} = \frac{C}{n}。$$

$$\text{电容器储能分别为 } W = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C}, \quad W' = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C'} = \frac{nq^2}{2C}$$

由功能原理，外力所作的功为

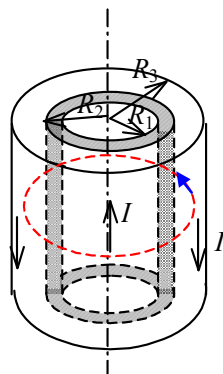
$$\begin{aligned} A = W' - W &= \frac{nq^2}{2C} - \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(n-1)C^2 U^2}{C} \\ &= \frac{1}{2} C U^2 (n-1)。 \end{aligned}$$

3. 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  $\mu$  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：由磁介质中的安培环路定理：  $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_i$

$$0 < r < R_1 \text{ 区域: } \quad 2\pi r H = I r^2 / R_1^2 \text{ 疔}$$

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



$$R_1 < r < R_2 \text{ 区域: } \quad 2\pi r H = I$$

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

$$R_2 < r < R_3 \text{ 区域: } \quad 2\pi r H = I - \frac{I(r^2 - R_2^2)}{(R_3^2 - R_2^2)}$$

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

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

$$r > R_3 \text{ 区域: } \quad H = 0, \quad B = 0$$