

## 대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (17장) - by 송현석

1. 보통 사람은 심장 근처로 약  $50.0\text{ mA}$ 의 전류만 흘러도 감전사할 수 있다.

사람 몸의 저항이  $2000\Omega$ 이라고 할 때, 전기기능공이 양손에 잡은 두 전극의 전위차가 치명적이 될 수 있는 상태의 전압은 얼마인가?

$$V = IR = (50.0\text{ mA}) \times (2000\Omega) = (50.0 \times 10^{-3}\text{ A}) \times (2.000 \times 10^3\Omega) = 100\text{ V}$$

2. 양성자를 가속해서 그 운동에너지가  $20.0\text{ MeV}$ 가 되게 하는 선형가속기가 있다.

이때 가속기에서 나오는 양성자 빔의 전류는  $1.00\mu\text{A}$ 이다.  $1\text{ eV}$ 는  $1.602 \times 10^{-19}\text{ J}$ 이다.

(1) 양성자의 속력을 구하여라.

$$20.0 \times 10^6\text{ eV} \times \frac{1.602 \times 10^{-19}\text{ J}}{1\text{ eV}} = 3.204 \times 10^{-14}\text{ J}$$

$$K = \frac{1}{2}m_p v^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2K}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \times (3.204 \times 10^{-14}\text{ J})}{1.67 \times 10^{-27}}} \approx 6.19 \times 10^7\text{ m/s}$$

(2) 양성자 빔에서 양성자와 양성자 사이의 거리는 얼마인가?

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta q = I \times \Delta t = (1.00 \times 10^{-6}\text{ A}) \times (1.00\text{ s}) = 1.00 \times 10^{-6}\text{ C}$$

$$\Rightarrow \quad n = \frac{\Delta q}{e} = \frac{(1.00 \times 10^{-6}\text{ C})}{(1.602 \times 10^{-19}\text{ C})} \approx 6.24 \times 10^{12}\text{ 개}$$

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta x = v \times \Delta t \approx (6.19 \times 10^7\text{ m/s}) \times (1.00\text{ s}) \approx 6.19 \times 10^7\text{ m}$$

$$\Rightarrow \quad d = \frac{\Delta x}{n} \approx \frac{(6.19 \times 10^7\text{ m})}{(6.24 \times 10^{12}\text{ 개})} \approx 9.92 \times 10^{-6}\text{ m} = 9.92\mu\text{m}$$

$$\begin{aligned} d &= \frac{\Delta x}{n} = \frac{v \Delta t}{n} = \frac{v \Delta t}{(\Delta q/e)} = \frac{e v \Delta t}{\Delta q} = \frac{e v \Delta t}{I \Delta t} = \frac{e v}{I} \\ &= \frac{(1.602 \times 10^{-19}\text{ C}) \times (6.19 \times 10^7\text{ m/s})}{(1.00 \times 10^{-6}\text{ A})} \approx 9.92 \times 10^{-6}\text{ m} = 9.92\mu\text{m} \end{aligned}$$

3.  $\vec{J}$ 는 전류밀도,  $d\vec{A}$ 는 면적소 벡터일 때, 면적에 대한 적분  $\int \vec{J} \cdot d\vec{A}$ 가 나타내는 양은 무엇인가?

$$\vec{J} = \frac{\vec{I}}{A} \quad \Rightarrow \quad I = JA = \int \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad \text{전류}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (17장) - by 송현석

4. 안쪽 반지름이  $a$ , 바깥쪽 반지름이  $b$ 이고 길이가  $L$ 인 원통 사이에 탄소가 가득 채워져 있다. 원통의 안쪽에서 바깥쪽까지 지름 방향의 저항을 구하여라.

$a = 1.00 \text{ cm}$ ,  $b = 2.00 \text{ cm}$  이고 길이가  $L = 50.0 \text{ cm}$  일 때 저항값을 구하여라.

(표 17.1에 나오는 탄소의 비저항을 참고하여라.)

$$\begin{aligned} R &= \int_{r=a}^{r=b} \frac{\rho}{2\pi r L} dr = \frac{\rho}{2\pi L} \int_{r=a}^{r=b} \frac{1}{r} dr = \frac{\rho}{2\pi L} [\ln r]_{r=a}^{r=b} = \frac{\rho}{2\pi L} (\ln b - \ln a) = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \\ &= \frac{(3.5 \times 10^{-5} \Omega \cdot m)}{2\pi \times 0.500 m} \times \ln\left(\frac{2.00 \times 10^{-2} \text{ cm}}{1.00 \times 10^{-2} \text{ cm}}\right) = \frac{(3.5 \times 10^{-5} \Omega \cdot m)}{2\pi \times 0.500 m} \times \ln(2) \\ &\approx 0.772 \times 10^{-5} \Omega = 7.72 \times 10^{-6} \Omega = 7.72 \mu\Omega \end{aligned}$$

5. 구리와 텅스텐으로 만든 두 도선이 있는데, 두 도선의 길이가 같고 저항도 같다.

두 도선의 반지름의 비를 구하여라. (표 17.1에 나오는 탄소의 비저항을 참고하여라.)

$$\rho_{\text{구리}} = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m, \quad \rho_{\text{텅스텐}} = 5.51 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{\pi r^2} \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt{\rho \frac{L}{\pi R}} \quad \Rightarrow \quad r \sim \sqrt{\rho}$$

$$\frac{r_{\text{구리}}}{r_{\text{텅스텐}}} = \sqrt{\frac{\rho_{\text{구리}}}{\rho_{\text{텅스텐}}}} = \sqrt{\frac{1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m}{5.51 \times 10^{-8} \Omega \cdot m}} = \sqrt{\frac{1.72}{5.51}} \approx 0.559$$

6. 반지름이  $r$ 이고 길이가  $L$ 인 원통형 모양 구리 도선이 있다. 부피를 일정하게 유지한 채로 이 도선을 늘여 길이가 2배로 되었다면, 저항은 처음의 몇 배가 되었는가?

$$\begin{aligned} V &= \pi r^2 L \\ V' &= \pi (r')^2 (2L) \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad V' = V \quad \Rightarrow \quad \pi (r')^2 (2L) = \pi r^2 L \quad \Rightarrow \quad (r')^2 = \frac{r^2}{2}$$

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{\pi r^2} \quad \Rightarrow \quad R' = \rho \frac{L'}{A'} = \rho \frac{2L}{\pi (r')^2} = \rho \frac{2L}{\pi (r^2/2)} = 4\rho \frac{L}{\pi r^2} = 4R \quad (4\text{배})$$

7. 어떤 도선의 저항은  $R$ 이다. 같은 재질로 만든 다른 도선이 이 도선에 비해 길이가 2배이고 단면적은  $1/2$ 배라 할 때 이 도선의 저항은 얼마인가?

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \Rightarrow \quad R' = \rho \frac{L'}{A'} = \rho \frac{2L}{A/2} = 4\rho \frac{L}{A} = 4R \quad (4\text{배})$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (17장) - by 송현석

8. 반지름이  $R = 5.00 \text{ mm}$  인 전선에 전류가 흐르고 있다. 전류밀도가 전선의 중심에서부터 반지름 방향으로  $J = J_0(1 - r^2/R^2)$ 과 같이 주어지고  $J_0 = 6.4 \times 10^4 \text{ A/m}^2$ 이다.

이 전선에 흐르는 전류는 얼마인가?

$$\begin{aligned}
 I = JA &= \int_{r=0}^{r=R} J_0 \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) 2\pi r dr \\
 &= 2\pi J_0 \left\{ \int_{r=0}^{r=R} r dr - \frac{1}{R^2} \int_{r=0}^{r=R} r^3 dr \right\} \\
 &= 2\pi J_0 \left\{ \left[ \frac{r^2}{2} \right]_{r=0}^{r=R} - \frac{1}{R^2} \left[ \frac{r^4}{4} \right]_{r=0}^{r=R} \right\} \\
 &= 2\pi J_0 \left\{ \frac{R^2}{2} - \frac{1}{R^2} \frac{R^4}{4} \right\} \\
 &= 2\pi J_0 \left\{ \frac{R^2}{2} - \frac{R^2}{4} \right\} \\
 &= 2\pi J_0 \frac{R^2}{4} \\
 &= \frac{1}{2} \pi J_0 R^2 = \frac{1}{2} \pi \times (6.4 \times 10^4 \text{ A/m}^2) \times (5.00 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \approx 2.513 \text{ A}
 \end{aligned}$$

9. 저항이  $10.0 \text{ k}\Omega$  인 도선을 늘여서 원래 길이의 4배가 되게 만들었다.  
늘어난 도선의 저항을 구하여라. (도선을 늘여도 비저항은 바뀌지 않는다고 가정하자.)

$$V' = V \Rightarrow AL = A'L' \Rightarrow A' = A \frac{L}{L'} = A \frac{L}{4L} = \frac{1}{4} A$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow R' = \rho \frac{L'}{A'} = \rho \frac{4L}{\left(\frac{1}{4}A\right)} = 16 \times \rho \frac{L}{A} = 16 \times R = 16 \times (10.0 \text{ k}\Omega) = 160 \text{ k}\Omega$$

10. 식 (17.8)에 나오는 저항의 온도상수  $\alpha$ 는 일반적으로  $\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$ 와 같이 주어진다.

$\alpha$ 를 상수라고 가정할 때  $\rho = \rho_0 e^{\alpha(T - T_0)}$ 가 됨을 보여라.

$T - T_0$ 가 작을 때 지수함수의 근사식( $e^x \approx 1 + x$ )을 이용하여 식 (17.8)이 됨을 보여라.

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] = \rho_0 + \alpha \rho_0 (T - T_0) \quad \dots\dots \quad (\text{식 } 17.8)$$

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} \Rightarrow \alpha dT = \frac{1}{\rho} d\rho \Rightarrow \int_{T_0}^T \alpha dT = \int_{\rho_0}^{\rho} \frac{1}{\rho} d\rho \Rightarrow \alpha [T]_{T_0}^T = [\ln \rho]_{\rho_0}^{\rho}$$

$$\Rightarrow \alpha(T - T_0) = (\ln \rho - \ln \rho_0) = \ln \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right) \Rightarrow e^{\alpha(T - T_0)} = \frac{\rho}{\rho_0} \Rightarrow \rho = \rho_0 e^{\alpha(T - T_0)}$$

$$\Rightarrow \rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] = \rho_0 + \alpha \rho_0 (T - T_0) \quad (\text{for } T - T_0 \ll 1)$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (17장) - by 송현석

11. 남극탐사대 대원이  $20.0^{\circ}\text{C}$  에서  $220\text{ V}$  의 전위차를 가했을 때  $1.00\text{ A}$  의 전류가 흐르는 도선을 남극으로 가져갔다. 남극에서 온도가 영하  $76.0^{\circ}\text{C}$  인 어느 날 이 대원은 이 도선을 이용하여 실험을 하였다. 똑같이  $220\text{ V}$  의 전압을 가했을 때 이 도선에 흐르는 전류의 양은 얼마인가? 구리의 온도계수는  $20^{\circ}\text{C}$  에서  $\alpha = 3.90 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$  이다.

$$\begin{aligned}\rho &= \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)] = \rho_0 [1 + (3.90 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}) \times (-76.0^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})] \\ &= \rho_0 [1 + (3.90 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}) \times (-96.0^{\circ}\text{C})] = \rho_0 [1 - 0.3744] = \rho_0 \times 0.6256\end{aligned}$$

$$R = \rho_0 \frac{L}{A} \quad \Rightarrow \quad R' = \rho \frac{L}{A} = (0.6256 \times \rho_0) \frac{L}{A} = 0.6256 \times \rho_0 \frac{L}{A} = 0.6256 \times R$$

$$I = \frac{V}{R} \quad \Rightarrow \quad I' = \frac{V}{R'} = \frac{V}{0.6256 \times R} = \frac{1}{0.6256} \times \frac{V}{R} = \frac{1}{0.6256} \times I \approx 1.60\text{ A}$$

12. 고압 송전선의 재료로 구리와 알루미늄 도선 중 하나를 택하려 한다. 이 송전선의 최대 전류는  $60.0\text{ A}$ , 단위길이당 저항은  $0.150\text{ }\Omega/\text{km}$ 가 되도록 하려고 한다. 구리와 알루미늄의 밀도가 각각  $8.96 \times 10^3\text{ kg/m}^3$ 과  $2.70 \times 10^3\text{ kg/m}^3$ 일 때 다음을 구하여라.

- (1) 각 재료를 사용할 때 각 도선의 전류밀도는 얼마인가?

$$\frac{R}{L} = \frac{\rho}{A} \quad \Rightarrow \quad A = \rho \frac{L}{R} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} A_{\text{구리}} = \rho_{\text{구리}} \times \frac{1}{0.150\text{ }\Omega/\text{km}} \\ \quad = (1.72 \times 10^{-8}\text{ }\Omega \cdot \text{m}) \times \frac{1}{0.150 \times 10^{-3}\text{ }\Omega/\text{m}} \\ \quad \approx 1.147 \times 10^{-4}\text{ m}^2 \\ A_{\text{알루미늄}} = \rho_{\text{알루미늄}} \times \frac{1}{0.150\text{ }\Omega/\text{km}} \\ \quad = (2.63 \times 10^{-8}\text{ }\Omega \cdot \text{m}) \times \frac{1}{0.150 \times 10^{-3}\text{ }\Omega/\text{m}} \\ \quad \approx 1.753 \times 10^{-4}\text{ m}^2 \end{cases}$$

$$J = \frac{I}{A} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} J_{\text{구리}} = \frac{I}{A_{\text{구리}}} = \frac{60.0\text{ A}}{1.147 \times 10^{-4}\text{ m}^2} \approx 5.231 \times 10^5\text{ A/m}^2 \\ J_{\text{알루미늄}} = \frac{I}{A_{\text{알루미늄}}} = \frac{60.0\text{ A}}{1.753 \times 10^{-4}\text{ m}^2} \approx 3.423 \times 10^5\text{ A/m}^2 \end{cases}$$

- (2) 단위길이당 질량은 각각 얼마인가?

$$\frac{m}{L} = \rho \times A \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \rho_{\text{구리}} \times A_{\text{구리}} = (8.96 \times 10^3\text{ kg/m}^3) \times (1.147 \times 10^{-4}\text{ m}^2) \\ \quad \approx 1.0277\text{ kg/m} \\ \rho_{\text{알루미늄}} \times A_{\text{알루미늄}} = (2.70 \times 10^3\text{ kg/m}^3) \times (1.753 \times 10^{-4}\text{ m}^2) \\ \quad \approx 0.4733\text{ kg/m} \end{cases}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (17장) - by 송현석

13. 물질  $A$ 의 전자 평균 자유시간이  $B$ 보다 2배 크다는 것을 제외하면, 두 물질  $A$ 와  $B$ 는 동일하다. 만일 두 물질에 존재하는 전기장이 같다면, 물질  $A$ 의 전자 유동 속도는 물질  $B$ 의 전자 유동 속도의 몇 배인가?

$$v_d = \frac{q\tau}{m}E \quad \Rightarrow \quad v_d \sim \tau \quad 2\text{배}$$

14.  $3.00\text{ V}$  전압을 가진 건전지에 어떤 저항을 연결하였더니  $0.500\text{ W}$ 의 전력이 소모되었다. 이 저항을  $1.50\text{ V}$  짜리 건전지에 연결하면 전력 소모율은 얼마인가?

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{V^2}{P} = \frac{(3.00\text{ V})^2}{0.500\text{ W}} = 18.0\ \Omega$$

$$P' = I' V' = I'^2 R = \frac{V'^2}{R} = \frac{(1.50\text{ V})^2}{18.0\ \Omega} = 0.125\text{ W}$$

15.  $110\text{ V}$ 에서  $500\text{ W}$ 로 동작되는 전열기가 있다. 공급 전압이  $100\text{ V}$ 로 되면 소모 전력은 얼마인가?

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{V^2}{P} = \frac{(110\text{ V})^2}{500\text{ W}} = 24.2\ \Omega$$

$$P' = I' V' = I'^2 R = \frac{V'^2}{R} = \frac{(100\text{ V})^2}{24.2\ \Omega} \approx 413.2\text{ W}$$

16.  $60.0\text{ W}$  전구에  $0.500\text{ A}$ 의 전류가 흐른다. 한 시간에 흐르는 총 전하량은 얼마인가?

$$\begin{aligned} I = \frac{dQ}{dt} = 0.500\text{ A} &\Rightarrow dQ = Idt = (0.500\text{ A})dt \\ \Rightarrow Q = \int dQ = \int Idt = I \int dt = I \times T &= (0.500\text{ A}) \times (3600\text{ s}) = 1800\text{ A} \cdot \text{s} \\ &= 1800\text{ C} \end{aligned}$$

17. 한 학생이  $60.0\text{ W}$ ,  $120\text{ V}$ 용 스탠드를 오후 2시에서 다음날 오전 2시까지 켜 놓았다. 몇  $\text{C}$ 의 전하가 스탠드를 흘러 지나갔는가?

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{P}{V} = \frac{60.0\text{ W}}{120\text{ V}} = 0.500\text{ A}$$

$$\begin{aligned} I = \frac{dQ}{dt} = 0.5\text{ A} &\Rightarrow dQ = Idt = (0.50\text{ A})dt \\ \Rightarrow Q = \int dQ = \int Idt = I \int dt = I \times T &= (0.500\text{ A}) \times (12 \times 3600\text{ s}) \\ &= 21600\text{ A} \cdot \text{s} \\ &= 21600\text{ C} \end{aligned}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (17장) - by 송현석

18.  $10.0\text{ A}$ 의 전류가 흐르고  $220\text{ V}$ 의 전위차가 걸리는 전열기를 이용해서 곰탕용 소뿔을 끓인다고 가정하자. 이때  $1\text{ kWh}$ 의 전기를 사용하는데 단순히 60원 정도 든다고 하자. 5시간 동안 소뿔 국물을 우려내는 데 드는 전기료를 구하여라.  
( $1\text{ kWh}$ 는 1시간 동안  $1\text{ kW}$ 의 일률을 사용한 것을 나타내는 단위이다.)

$$P = IV = (10.0\text{ A}) \times (220\text{ V}) = 2200\text{ W} = 2.20\text{ kW}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow E = P\Delta t = 2.20\text{ kW} \times 5\text{ h} = 11.0\text{ kWh}$$

$$\frac{11.0\text{ kWh}}{1\text{ kWh}} \times 60\text{ 원} = 11.0 \times 60\text{ 원} = 660\text{ 원}$$

19.  $220\text{ V}$ 의 전압이 걸려 있는 가로등의 일률은  $250\text{ W}$ 이다. 이 가로등은 30일 동안 오후 6시부터 다음날 오전 6시까지 켜져 있다.  
(1) 이 가로등에 흐르는 전류는 얼마인가?

$$P = IV \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{250\text{ W}}{220\text{ V}} \approx 1.136\text{ A}$$

- (2) 이 가로등의 저항은 얼마인가?

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow R = \frac{V}{I} \approx \frac{220\text{ V}}{1.136\text{ A}} \approx 193.6\ \Omega$$

- (4) 30일 동안 가로등이 소비한 일률을  $\text{kWh}$  단위를 이용하여 나타내어라.

$$12\text{ h} \times 30 = 360\text{ h}$$

$$250\text{ W} \times 360\text{ h} = 90000\text{ Wh} = 90\text{ kWh}$$

20. 반지름이  $a$ 인 도체공을 중심이 같고 반지름이  $b$  ( $b > a$ )이고 비저항이  $\rho$ 인 물질로 만들어진 공이 감싸고 있다. 이 두 공 사이의 저항  $R$ 을 구하여라.

$$\begin{aligned} R = \rho \frac{L}{A} &= \rho \frac{r}{4\pi r^2} = \frac{\rho}{4\pi} \frac{1}{r} \Rightarrow dR = -\frac{\rho}{4\pi} \frac{1}{r^2} dr \\ \Rightarrow R &= \int_{r=b}^{r=a} dR = \int_{r=b}^{r=a} \left( -\frac{\rho}{4\pi} \frac{1}{r^2} \right) dr = -\frac{\rho}{4\pi} \int_{r=b}^{r=a} \frac{1}{r^2} dr \\ &= -\frac{\rho}{4\pi} \left[ -\frac{1}{r} \right]_{r=b}^{r=a} = \frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) = \frac{\rho}{4\pi} \frac{b-a}{ab} \end{aligned}$$