

سُبْحَانَكَ اللَّهُمَّ رَبِّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ
الْأَعْلَى

ادامه فصل ۲۲ - جریان و مقاومت الکتریکی

۱- مقاومت و مقاومت ویژه الکتریکی

۲- قانون اهم

۳- توان در مدارهای الکتریکی

۴- نیمرساناها

۵- ابررساناها


مقاومت و مقاومت ویژه الکتریکی

اگر اختلاف پتانسیل یکسانی را بین دو انتهای دو میله مسی و شیشه‌ای با شکل هندسی مشابه اعمال کنیم، دو جریان الکتریکی خیلی مختلف نتیجه می‌شود. مشخصه‌ای از رسانا؛ که در اینجا مطرح می‌شود مقاومت الکتریکی است. با اعمال یک اختلاف پتانسیل V بین هر دو نقطه و اندازه‌گیری جریان i به وجود آمده مقاومت بین آن دو نقطه را تعیین می‌کنیم. پس مقاومت R عبارت است از

$$R = \frac{V}{i} \quad (\text{تعیین } R) \quad (۸-۲۲)$$

یکای SI مقاومت که از معادله ۸-۲۲ به دست می‌آید ولت بر آمپر است. این ترکیب آنقدر به کار می‌رود که نام ویژه‌ای که اهم (با نماد Ω) نامیده می‌شود به آن داده شده است، یعنی

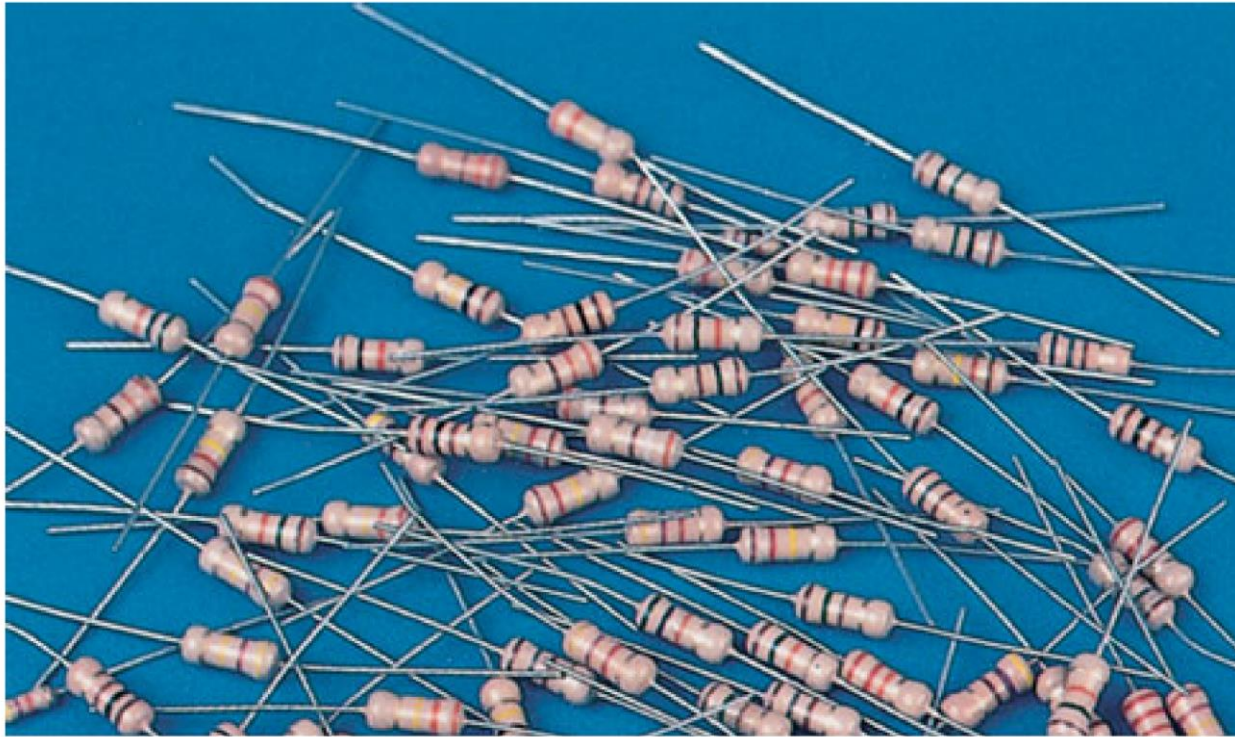
$$1 \text{ ولت بر آمپر} = 1 \Omega = 1 \text{ اهم} \\ = 1 \text{ V/A} \quad (۹-۲۲)$$

رسانایی را که وجود آن در یک مدار مقاومت مشخصی ایجاد می کند مقاومت می نامند (به شکل ۲۲-۷ نگاه کنید). در نمودار مدار، مقاومت عنصر را با نماد  نشان می دهند. اگر معادله ۲۲-۸ را به صورت

$$i = \frac{V}{R}$$

بنویسیم، می بینیم که «مقاومت» نام مناسبی است، زیرا به ازای یک اختلاف پتانسیل معین، مقاومت بیشتر (در برابر جریان) به معنای جریان کمتر است.

مقاومت یک رسانا به روشی بستگی دارد که اختلاف پتانسیل به آن اعمال می شود. برای مثال شکل ۲۲-۸ اختلاف پتانسیل معینی را نشان می دهد که به دو روش مختلف به یک



شکل ۷-۲۲ مجموعه‌ای از مقاومتها. نوارهای دایره‌ای نشانه‌های رنگی هستند که مقدار مقاومت را مشخص می‌کنند.

رسانا اعمال شده است. همان‌طور که خط جریانهای چگالی جریان نشان می‌دهد، در این دو حالت جریانها- و از این رو مقاومت‌های اندازه‌گیری شده- متفاوت‌اند. به غیر از مواردی که مشخص می‌شود، فرض بر این است که اختلاف پتانسیل داده شده به صورت شکل ۲۲-۸ ب اعمال می‌شود.



شکل ۲۲-۸ دو روش برای اعمال اختلاف پتانسیل به دو سر یک میله رسانا. اتصال‌های وصل شده به دو سر مقاومت، مقاومت ناچیزی دارند. مقاومت اندازه‌گیری شده در (الف) وقتی که این اتصالها به ناحیه کوچکی در هر انتهای میله متصل‌اند بزرگتر از وقتی است که آنها به ترتیب (ب) تمام میله را پوشش دهند.

همان‌طور که بارها در موارد دیگر دیده‌ایم، اغلب می‌خواهیم با یک دید کلی و به جای توجه به اجسام خاص خود مواد را بررسی کنیم. در اینجا همین کار را انجام می‌دهیم یعنی اختلاف پتانسیل V بین دو سر یک مقاومت خاص را در نظر نمی‌گیریم بلکه میدان الکتریکی \vec{E} را در یک نقطه از ماده مقاومت دار مورد توجه قرار می‌دهیم. به جای در نظر گرفتن جریان i که از یک مقاومت می‌گذرد، چگالی جریان \vec{J} را در نقطه مورد نظر بررسی می‌کنیم و به جای مقاومت R یک جسم، مقاومت ویژه ρ آن ماده را در نظر می‌گیریم:

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (\text{تعریف } \rho) \quad (10-22)$$

(این معادله را با معادله ۸-۲۲ مقایسه کنید.)

اگر یکاهای SI مربوط به E و J را مطابق با معادله ۱۰-۲۲ با هم ترکیب کنیم، یکای ρ ، اهم-متر ($\Omega \cdot m$) به دست می‌آید

$$\frac{\text{یکای } (E)}{\text{یکای } (J)} = \frac{V/m}{A/m^2} = \frac{V}{A} m = \Omega \cdot m$$

(اهم- متر، یکای مقاومت ویژه را با اهم متر (اهم سنج) که وسیله‌ای برای اندازه‌گیری مقاومت است اشتباه نکنید.) جدول ۱-۲۲ مقاومتهای ویژه برخی از مواد را نشان می‌دهد. معادله ۱۰-۲۲ را می‌توان به شکل برداری زیر نوشت

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad (11-22)$$

معادله‌های ۱۰-۲۲ و ۱۱-۲۲ فقط برای مواد همسانگرد- موادی که خاصیت‌های الکتریکی آنها در تمام جهتها یکسان است، برقرار است.

اغلب از رسانندگی σ یک ماده استفاده می‌شود. رسانندگی به طور ساده عکس مقاومت ویژه است، پس

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{تعریف } \sigma) \quad (12-22)$$

مقاومت‌های ویژه چند ماده در دمای اتاق (۲۰°C)

ماده	مقاومت ویژه ρ ($\Omega.m$)	ضریب دمایی مقاومت ویژه، α (K^{-1})
فلزهای نوعی		
نقره	1.62×10^{-8}	4.1×10^{-3}
مس	1.69×10^{-8}	4.3×10^{-3}
طلا	2.35×10^{-8}	4.0×10^{-3}
آلومینیوم	2.75×10^{-8}	4.4×10^{-3}
منگانهین ^۱	4.82×10^{-8}	0.002×10^{-3}
تنگستن	5.25×10^{-8}	4.5×10^{-3}
آهن	9.68×10^{-8}	6.5×10^{-3}
پلاتین	10.6×10^{-8}	3.9×10^{-3}
نیمرساناهای نوعی		
سیلیسیوم خالص	2.5×10^3	-70×10^{-3}
سیلیسیوم نوع n ^۲	8.7×10^{-4}	
سیلیسیوم نوع p ^۳	2.8×10^{-3}	
عایق‌های نوعی		
شیشه	$10^{10} - 10^{14}$	
کوارتز ذوب شده	$\sim 10^{16}$	

- ۱- آلیاژی است که به ویژه جهت داشتن مقدار کم α ساخته می‌شود.
- ۲- سیلیسیوم خالص آلاینده شده با ناخالصیهای فسفری با چگالی حاملهای بار برابر با $10^{23} m^{-3}$.
- ۳- سیلیسیوم خالص آلاینده شده با ناخالصیهای آلومینیومی با چگالی حاملهای بار برابر با $10^{23} m^{-3}$.

یکای SI رسانندگی عکس اهم - متر یعنی $(\Omega \cdot m)^{-1}$ است. نام
 یکای موهو بر متر نیز گاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (mho)
 عکس ohm است.) از تعریف σ ، معادله ۲۲-۱۱ را می‌توان به
 شکل دیگری نوشت

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (22-13)$$

محاسبه مقاومت از مقاومت ویژه

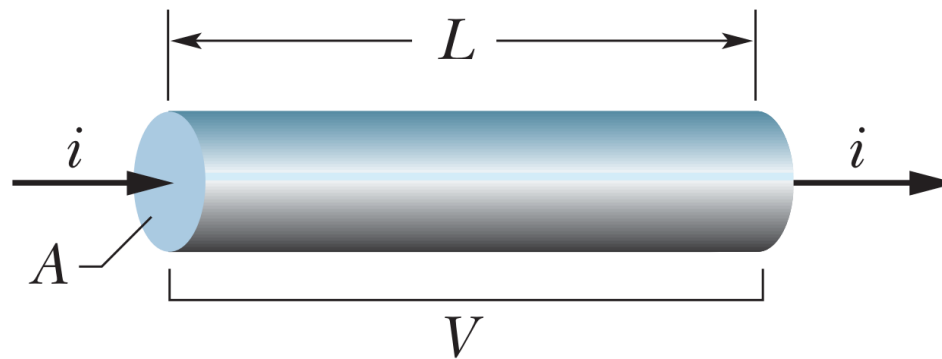
به تفاوت مهمی دست یافته‌ایم:

مقاومت خاصیتی از یک جسم است ولی مقاومت ویژه
 خاصیتی از ماده است.

اگر مقاومت ویژه ماده‌ای مانند مس را بدانیم، می‌توانیم مقاومت
 طولی از سیم را که از آن ساخته شده است محاسبه کنیم. فرض
 می‌کنیم مساحت مقطع سیم A ، طول آن L و اختلاف پتانسیل
 دو سر آن V باشد، (شکل ۲۲-۹). اگر خطهای جریان نمایش
 دهنده چگالی جریان عبوری از سیم یکنواخت باشند، میدان

الکتریکی و چگالی جریان در همه نقطه‌های درون سیم ثابت خواهد بود، و از معادله‌های ۲۰-۴۲ و ۲۲-۵ مقدار آنها به این صورت‌اند

Current is driven by a potential difference.



شکل ۲۲-۹ اختلاف پتانسیل V اعمال شده بین دو سر سیمی به طول L و مقطع A ، باعث برقراری جریان i می‌شود.

$$E = V/L, \quad J = i/A \quad (14-22)$$

از ترکیب معادله‌های ۱۰-۲۲ و ۱۴-۲۲ می‌توان نوشت

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/L}{i/A} \quad (15-22)$$

چون V/i مقاومت R است، معادله ۱۵-۲۲ به صورت زیر نوشته می‌شود

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (16-22)$$

معادله ۱۶-۲۲ را فقط در مورد یک رسانای همسانگرد همگن با مقطع یکنواخت و با پتانسیلی که به صورت شکل ۲۲-۸ ب اعمال شده باشد، می‌توان به کار برد.

کمیت‌های ماکروسکوپی V ، i و R وقتی بیشتر قابل توجه‌اند که اندازه‌گیری‌های الکتریکی در رساناهای خاصی انجام گیرد. اینها کمیت‌هایی هستند که به طور مستقیم روی وسایل اندازه‌گیری خوانده می‌شوند. هرگاه به خواص الکتریکی بنیادی مواد علاقه‌مند باشیم کمیت‌های میکروسکوپی E ، J و ρ را در نظر می‌گیریم.

✓ نکته واریسی ۳ شکل زیر سه رسانای مسی استوانه‌ای را با مساحت وجه و طول آنها نشان می‌دهد. آنها را به ترتیب بزرگی جریانی که با اعمال اختلاف پتانسیل V یکسانی به دو سر استوانه‌ها از آنها می‌گذرد بنویسید.

The diagram illustrates three cylindrical resistors. The first resistor, labeled (الف), has a length L and a cross-sectional area A . The second resistor, labeled (ب), has a length $\frac{1}{5}L$ and a cross-sectional area $\frac{A}{4}$. The third resistor, labeled (پ), has a length $\frac{L}{2}$ and a cross-sectional area $\frac{A}{4}$.

پاسخ: (الف) و (ب) یکسان سپس (ب)

ابعاد قطعه مستطیل شکلی از آهن برابر با $1/2\text{ cm} \times 1/2\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ است. بین هر دو وجه موازی این قطعه اختلاف پتانسیلی چنان اعمال می‌کنیم که این وجه‌ها به صورت سطحهای هم پتانسیل در آیند (مانند شکل ۲۲-۸ ب). اگر دو وجه موازی (۱) مربع (با ابعاد $1/2\text{ cm} \times 1/2\text{ cm}$) و (۲) دو وجه مستطیل (با ابعاد $1/2\text{ cm} \times 15\text{ cm}$) باشند، مقاومت قطعه چقدر است؟

نکته کلیدی مقاومت R یک جسم به چگونگی پتانسیل الکتریکی اعمال شده به آن بستگی دارد. این مقاومت بنابر معادله ۲۲-۱۶ ($R = \rho L / A$) به ویژه، به نسبت L/A بستگی دارد، که در آن A مساحت سطحهایی است که اختلاف پتانسیل به آنها اعمال شده و L فاصله بین این سطحهاست.

محاسبه‌ها: در آرایش ۱، داریم

$$L = 15\text{ cm} = 0.15\text{ m} \quad \text{و} \quad A = (1/2\text{ cm})^2 = 1/44 \times 10^{-4}\text{ m}^2$$

با قرار دادن این مقادارها و مقاومت ویژه ρ از جدول ۲۲-۱ در معادله ۲۲-۱۶، برای آرایش ۱ خواهیم داشت

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{(9/68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m)(0/15 \text{ m})}{1/44 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$= 1/0 \times 10^{-4} \Omega = 100 \mu\Omega \quad (\text{پاسخ})$$

همین طور برای آرایش ۲، با طول $L = 1/2 \text{ cm}$ و مساحت $A = (1/2 \text{ cm})(15 \text{ cm})$ خواهیم داشت

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{(9/68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m)(1/2 \times 10^{-2} \text{ m})}{1/80 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$= 6/5 \times 10^{-7} \Omega = 0/65 \mu\Omega \quad (\text{پاسخ})$$



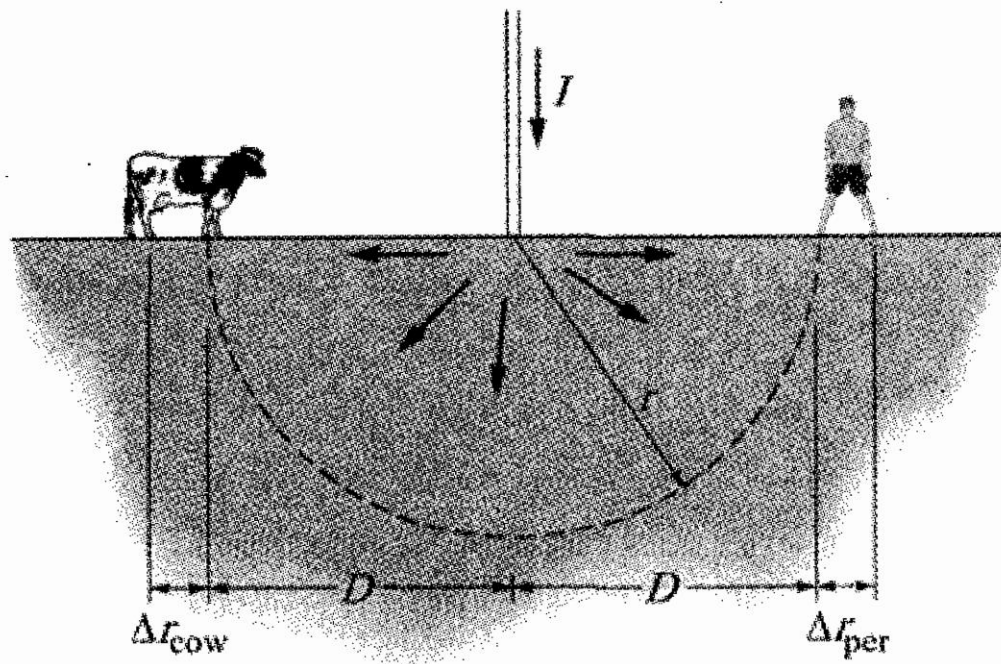
مسئله نمونه ۲۲-۵ مهارت خود را تقویت کنید

شکل ۲۲-۱۱ شخص و گاوی را نشان می‌دهد که هر یک در فاصله شعاعی $D = 600 \text{ m}$ از نقطه‌ای که آذرخش با جریان $I = 100 \text{ kA}$ به زمین برخورد کرده است ایستاده‌اند. جریان از طریق زمین به طور یکنواخت در نیمکره‌ای به مرکز نقطه‌ی اصابت پخش شده است. پاهای شخص در فاصله شعاعی $\Delta r_{\text{per}} = 0.50 \text{ m}$ و فاصله بین پاهای جلو و پاهای عقب گاو در فاصله شعاعی $\Delta r_{\text{cow}} = 1.50 \text{ m}$ قرار دارند. مقاومت ویژه زمین $\rho_{\text{gr}} = 100 \Omega \cdot \text{m}$ است. مقاومت بین پای چپ و راست شخص و بین پاهای جلو و عقب گاو $R = 400 \text{ k}\Omega$ است.

(الف) جریان i_{per} که از شخص می‌گذرد چقدر است؟

نکته‌های کلیدی

۱- برخورد آذرخش یک میدان الکتریکی و یک اختلاف پتانسیل الکتریکی در زمینی که نقطه‌ی اصابت را احاطه کرده است ایجاد می‌کند.



شکل ۱۱-۲۲ جریان حاصل از اصابت آذرخش به صورت نیمکره در زمین پخش می شود و در فاصله D از نقطه اصابت به شخص و گاو می رسد. خطر در هر یک به فاصله Δr بستگی دارد.

۲- به این دلیل که یک پای شخص نسبت به پای دیگر او به نقطه اصابت نزدیکتر است، یک اختلاف پتانسیل ΔV در شخص ایجاد می‌شود.

۳- این ΔV موجب ایجاد جریان i_{per} در شخص می‌شود. **اختلاف پتانسیل:** چون جریان آذرخش I به طور یکنواخت در نیمکره‌ای در زمین پخش می‌شود، چگالی جریان در هر نقطه به شعاع r از نقطه اصابت، از معادله ۲۲-۵ ($J = i/A$) به دست می‌آید،

$$J = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (18-22)$$

که در آن $2\pi r^2$ مساحت سطح نیمکره است. از معادله ۲۲-۱۰ ($\rho = E/J$)، بزرگی میدان الکتریکی عبارت است از

$$E = \rho_{gr} J = \frac{\rho_{gr} I}{2\pi r^2} \quad (19-22)$$

از معادله ۲۲-۱۸ ($\Delta V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{s}$)، اختلاف پتانسیل ΔV بین نقطه‌ای در فاصله شعاعی D و نقطه‌ای در فاصله شعاعی $D + \Delta r$ عبارت است از

$$\Delta V = -\int_D^{D+\Delta r} E dr \quad (20-22)$$

با قراردادادن ۲۲-۱۹ در این انتگرال و سپس با انتگرالگیری اختلاف پتانسیل به دست می آید

$$\Delta V = - \int_D^{D+\Delta r} \frac{\rho_{gr} I}{2\pi r^2} dr = - \frac{\rho_{gr} I}{2\pi} \left[-\frac{1}{r} \right]_D^{D+\Delta r}$$

$$= \frac{\rho_{gr} I}{2\pi} \left(\frac{1}{D+\Delta r} - \frac{1}{D} \right) = - \frac{\rho_{gr} I}{2\pi} \frac{\Delta r}{D(D+\Delta r)} \quad (21-22)$$

جریان: اگر یکی از پاهای شخص در فاصله شعاعی D از نقطه اصابت و پای دیگر در فاصله شعاعی $D+\Delta r$ باشد، اختلاف پتانسیل ΔV بین پاهای او با معادله ۲۲-۲۱ داده می شود. این ΔV جریان i_{per} را در شخص به وجود می آورد. برای یافتن این جریان، از معادله ۲۲-۸ ($R=V/i$) استفاده می کنیم، که در آن بزرگی اختلاف پتانسیل را نشان می دهد. با قرار دادن بزرگی ΔV از معادله ۲۲-۲۱ به جای V در معادله ۲۲-۸، جریان را پیدا می کنیم

$$i = \frac{V}{R} = \frac{\rho_{gr} I}{2\pi} \frac{\Delta r}{D(D+\Delta r)} \frac{1}{R} \quad (22-22)$$

با قرار دادن مقدارهای معلوم، از جمله فاصله پاها $\Delta r_{\text{per}} = 0.50 \text{ m}$ ،
جریانی که از شخص می‌گذرد به دست می‌آید

$$i_{\text{per}} = \frac{(100 \Omega \cdot \text{m})(100 \text{ kA})}{2\pi} \times \frac{0.50 \text{ m}}{(60 \text{ m})(60.0 \text{ m} + 0.50 \text{ m})} \times \frac{1}{400 \text{ k}\Omega}$$

$$= 0.0548 \text{ A} = 54.8 \text{ mA} \quad (\text{پاسخ})$$

چنین جریانی موجب انقباض ناخواسته ماهیچه می‌شود:
شخص دچار برق گرفتگی ولی زود رفع می‌شود. توجه کنید که
شخص می‌تواند با نزدیک کردن پاهای خود به یکدیگر به
گونه‌ای که Δr به چند سانتی‌متر برسد این مقدار جریان را کم
کند.

(ب) جریان i_{cow} که از گاو می‌گذرد چقدر است؟

محاسبه: دوباره از معادله ۲۲-۲۲ استفاده می‌کنیم، ولی اکنون
 Δr برابر است با $1/50 \text{ m}$. $\Delta r_{\text{cow}} = 1/50 \text{ m}$. با این مقدار، جریانی که از
گاو می‌گذرد عبارت است از

$$i_{\text{cow}} = 0.162 \text{ A} = 162 \text{ mA} \quad (\text{پاسخ})$$

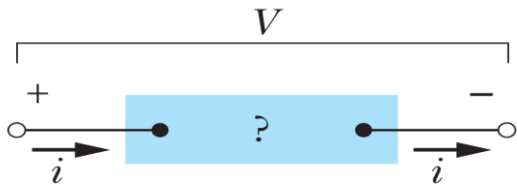
که کشنده است. گاو در معرض خطر شدیدتری ناشی از جریان

زمین قرار دارد چون Δr آن بیشتر است. البته گاو نمی تواند با کم کردن فاصله پاهای خود خطر را کاهش دهد (که البته منظره عجیبی می شود)

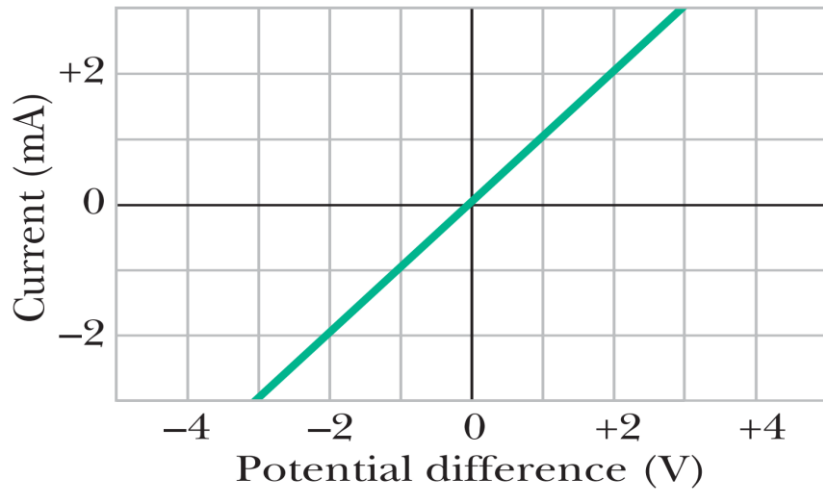
قانون اهم

همان طور که در بخش ۲۲-۴ بحث کردیم، مقاومت الکتریکی، رسانایی است با مقاومت ویژه معین. مقاومت به بزرگی و جهت (قطبیت) اختلاف پتانسیل اعمال شده بستگی ندارد. ولی وسایل رسانای دیگر ممکن است مقاومتی داشته باشند که برحسب اختلاف پتانسیل اعمال شده تغییر کند.

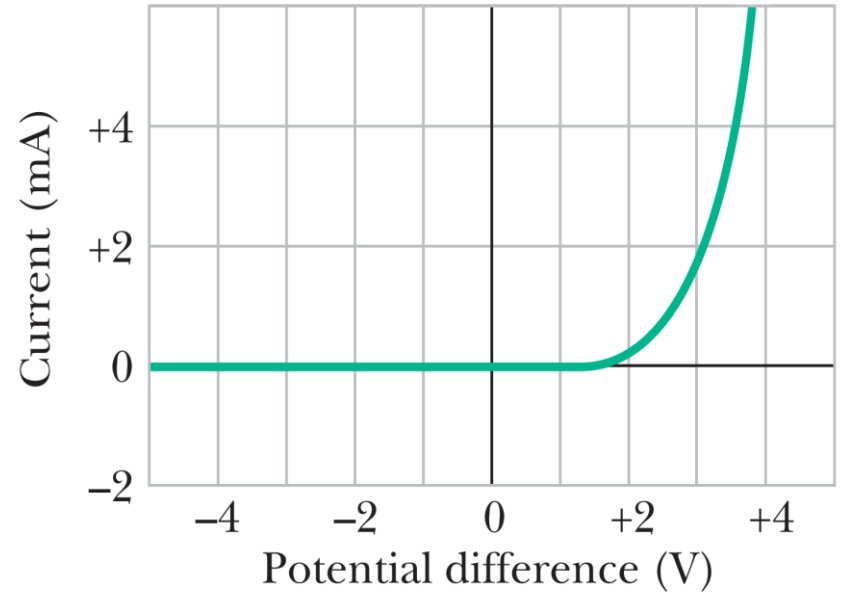
شکل ۲۲-۱۲ الف چگونگی تفاوت این وسایل را نشان می دهد. اختلاف پتانسیل V به دو سر وسیله مورد آزمون اعمال شده است و جریان i حاصل که از وسیله می گذرد با تغییر V از نظر بزرگی و قطبیت اندازه گیری می شود. وقتی پایانه سمت چپ وسیله نسبت به پایانه سمت راست آن در پتانسیل بالاتری



(a)



(b)



(c)

شکل ۲۲-۱۲ (الف) در وسیله‌ای که به پایانه‌های آن اختلاف پتانسیلی اعمال شده، جریان i برقرار است. (ب) نمودار تغییرات جریان i بر حسب اختلاف پتانسیل اعمال شده V ، هنگامی که اندازه مقاومت 1000Ω است. (پ) نمودار برای حالتی که وسیله یک دیود نیم‌رسانا با پیوند pn است.

باشد، به طور اختیاری قطبیت V مثبت اختیار می‌شود. به جهت جریان به وجود آمده (از چپ به راست) به طور اختیاری علامت مثبت نسبت داده می‌شود. آنگاه قطبیت معکوس V (وقتی پایانه سمت راست در پتانسیل بالاتری باشد) منفی است؛ و جریانی را که به وجود می‌آورد با علامت منفی مشخص می‌شود.

شکل ۲۲-۱۲ نموداری از تغییرات i بر حسب V را برای یک وسیله الکتریکی نشان می‌دهد. این نمودار خط راستی است که از مبدأ می‌گذرد، پس نسبت i/V (که شیب خط راست است) به ازای تمام مقدارهای V ثابت است. این بدان معناست که مقاومت $R = V/i$ مستقل از بزرگی و قطبیت اختلاف پتانسیل اعمال شده V است.

شکل ۲۲-۱۲ پ نمودار دیگری برای یک وسیلهٔ رسانای دیگر است. در این وسیله هنگامی که قطبیت V مثبت و اختلاف پتانسیل اعمال شده بیش از $V/5$ باشد، جریان می‌تواند برقرار شود. هنگامی که جریان برقرار شود رابطهٔ بین i و V خطی نیست و به مقدار اختلاف پتانسیل اعمال شده V بستگی دارد. تفاوت این دو وسیله در این است که وسیلهٔ اول از قانون اهم پیروی می‌کند ولی وسیلهٔ دوم پیروی نمی‌کند.

☞ **قانون اهم** حاکی از آن است که جریانی که از یک وسیله می‌گذرد همواره با اختلاف پتانسیل اعمال شده نسبت مستقیم دارد.

(این بیان فقط در برخی موارد برقرار است؛ باز هم به دلایل تاریخی اصطلاح «قانون» به کار برده می‌شود.) وسیلهٔ شکل ۲۲-۱۱ ب، که یک مقاومت 1000Ω است، از قانون اهم پیروی می‌کند ولی وسیلهٔ شکل ۲۲-۱۲ پ، که دیود با پیوند pn است، از این قانون پیروی نمی‌کند.

👉 یک وسیلهٔ رسانا وقتی از قانون اهم پیروی می‌کند که مقاومت آن وسیله مستقل از بزرگی و قطبیت اختلاف پتانسیل اعمال شده به آن باشد.

میکروالکترونیک نوین تقریباً به طور کامل به وسایلی بستگی دارد که از قانون اهم پیروی نمی‌کنند. به عنوان مثال ماشین حساب پر از این گونه وسایل است.

اغلب گفته می‌شود که $V = iR$ بیانی از قانون اهم است. این درست نیست! این معادله مقاومت را تعریف می‌کند و در مورد همهٔ رساناها، چه آنهایی که از قانون اهم پیروی می‌کنند و چه آنهایی که پیروی نمی‌کنند، به کار می‌رود. اگر اختلاف پتانسیل V در دو سر هر وسیله‌ای الکتریکی، حتی یک دیود با پیوند pn اعمال شود و جریان i برقرار شده در آن را اندازه‌گیری کنیم، در می‌یابیم که مقاومت در آن مقدار V به صورت $R = V/i$ است. ولی اساس قانون اهم در این است که نمودار تغییرات i برحسب V خطی است؛ یعنی R مستقل از مقدار V است.

اگر به جای وسایل رسانا بر مواد رسانا تأکید کنیم قانون اهم را به روش خیلی کلی تری می توان بیان کرد. رابطه مربوط به آن معادله ۱۱-۲۲ ($\vec{E} = \rho \vec{J}$) است که متناظر با $V = iR$ است.

👉 یک ماده رسانا وقتی از قانون اهم پیروی می کند که مقاومت ویژه ماده از بزرگی و جهت میدان الکتریکی اعمال شده مستقل باشد.

همه مواد همگن، چه آنهایی که رسانا هستند، مانند مس یا آنهایی که غیر رسانا هستند، مانند سیلیسیوم خالص یا آلاییده با ناخالصیهای معین، در گستره ای از مقادیرهای میدان الکتریکی از قانون اهم پیروی می کنند. ولی اگر میدان خیلی قوی باشد، در همه موارد انحرافهایی از قانون اهم وجود دارد.

✓ نکته واریسی ۴ جدول زیر جریان i را (بر حسب آمپر) که از دو وسیله به ازای چند مقدار اختلاف پتانسیل V (بر حسب ولت) می‌گذرد نشان می‌دهد. از این داده‌ها تعیین کنید که کدامیک از این وسایل از قانون اهم پیروی نمی‌کند.

وسیله ۲		وسیله ۱	
i	V	i	V
۱/۵۰	۲/۰۰	۴/۵۰	۲/۰۰
۲/۲۰	۳/۰۰	6.75	۳/۰۰
۲/۸۰	۴/۰۰	۹/۰۰	۴/۰۰



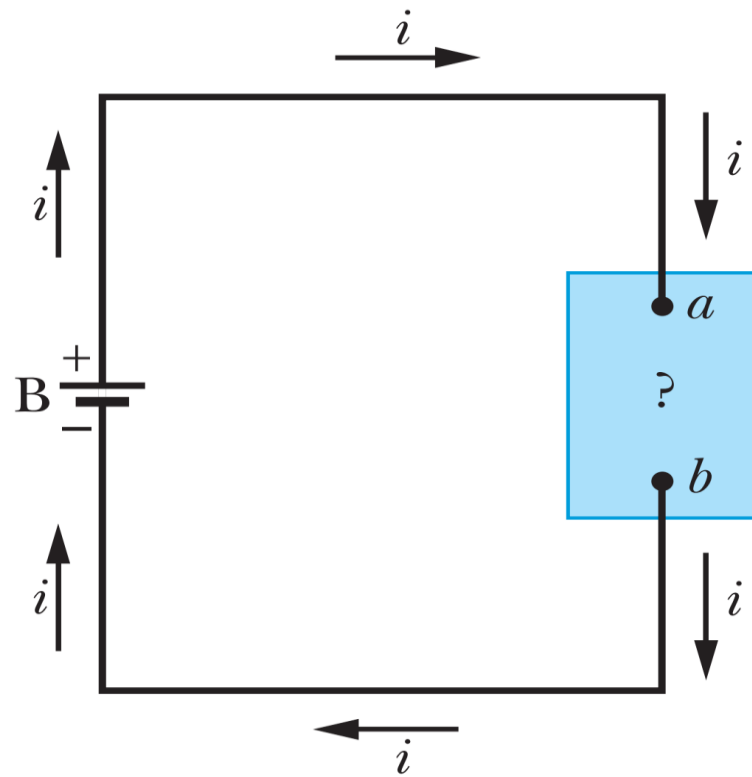
پاسخ: وسیله ۲

توان در مدارهای الکتریکی

شکل ۲۲-۱۴، مداری را نشان می‌دهد که در آن باتری B با سیمهایی با مقاومت ناچیز، به یک وسیلهٔ رسانای نامعلوم متصل شده است. این وسیله می‌تواند مقاومت، باتری ذخیره کننده (یک باتری قابل باردار شدن مجدد)، موتور، یا هر وسیلهٔ الکتریکی دیگر باشد. این باتری دارای اختلاف پتانسیل V در دو سر پایانه‌هایش و در نتیجه (به علت سیمهای رابط) در دو سر پایانه‌های وسیلهٔ نامعلوم است به طوری که پتانسیل پایانه a نسبت به پایانه b بیشتر است.

چون بین دو پایانهٔ باتری یک مسیر رسانای بیرونی وجود دارد و از آنجا که اختلاف پتانسیل برقرار شده به وسیلهٔ باتری ثابت است، یک جریان پایای i در مدار به وجود می‌آید که جهت آن از پایانهٔ a به پایانهٔ b است. مقدار بار dq که در یک بازهٔ زمانی dt بین این پایانه‌ها جاری می‌شود برابر با idt است. این بار dq در جهت کاهش پتانسیل به بزرگی V حرکت می‌کند

The battery at the left supplies energy to the conduction electrons that form the current.



شکل ۲۲-۱۴ باتری B جریان i را در مداری که شامل یک وسیله رسانای نامعلوم است برقرار می‌کند.

و در نتیجه انرژی پتانسیل الکتریکی آن به مقدار زیر کاهش می‌یابد

$$dU = dq V = i dt V$$

اصل پایستگی انرژی بیان می‌کند که کاهش انرژی پتانسیل الکتریکی از a تا b با تبدیل انرژی به صورتی دیگر همراه است. توان P مربوط به این تبدیل عبارت است از آهنگ تبدیل dU/dt که برابر است با

$$P = iV \quad (22-26) \quad (\text{آهنگ تبدیل انرژی الکتریکی})$$

افزون بر این، توان P آهنگ انتقال انرژی از باتری به وسیله نامعلوم نیز هست. اگر این وسیله موتوری باشد که به یک بار مکانیکی متصل است، این انرژی به صورت کار به بار مورد نظر انتقال می‌یابد. اگر این وسیله یک باتری ذخیره کننده باشد که باید باردار شود، این انرژی به صورت انرژی شیمیایی به باتری ذخیره کننده انتقال می‌یابد. اگر این وسیله یک مقاومت باشد، انرژی به انرژی گرمایی درونی آن تبدیل می‌شود و دمای مقاومت افزایش می‌یابد.

یکای توان که از معادله ۲۲-۲۶ به دست می آید ولت- آمپر (V.A) است. آن را می توان به صورت زیر نوشت

$$1 \text{ V.A} = \left(1 \frac{\text{J}}{\text{C}}\right) \left(1 \frac{\text{C}}{\text{s}}\right) = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}$$

وقتی الکترونی در یک مقاومت با تندی سوقی ثابت حرکت می کند، میانگین انرژی جنبشی آن ثابت می ماند، و کاهش انرژی پتانسیل الکتریکی آن به صورت انرژی گرمایی در مقاومت و محیط اطراف ظاهر می شود. در مقیاس میکروسکوپی، این تبدیل انرژی به خاطر برخوردهای میان الکترون و مولکولهای ماده مقاومت است که به افزایش دمای شبکه مقاومت می انجامد. انرژی مکانیکی که به این ترتیب به انرژی گرمایی تبدیل می شود از بین می رود (تلف می شود) چون این تبدیل به طور معکوس صورت نمی گیرد.

در مورد یک مقاومت یا هر وسیله دیگر با مقاومت R ، می توان معادله های ۲۲-۸ ($R = V / i$) و ۲۲-۲۶ را با هم ترکیب کرد، تا آهنگ اتلاف انرژی الکتریکی ناشی از مقاومت به دست آید

$$P = i^2 R \quad (\text{اتلاف مقاومتی}) \quad (27-22)$$

یا

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (\text{اتلاف مقاومتی}) \quad (28-22)$$

هشدار: باید به تفاوت این دو معادله با معادله ۲۲-۲۶ توجه کرد: معادله $P = iV$ برای تبدیل انرژی الکتریکی به همه انواع دیگر به کار می‌رود؛ ولی $P = iR$ و $P = V^2 / R$ فقط برای تبدیل انرژی پتانسیل الکتریکی به انرژی گرمایی در یک وسیله مقاومت دار به کار می‌روند.

✓ نکته واریسی ۵ اختلاف پتانسیل V به دو سر وسیله‌ای با مقاومت R وصل و جریان i در آن برقرار شده است. تغییرات زیر را به ترتیب بزرگی تغییر در آهنگی که انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی در مقاومت تبدیل می‌شود بنویسید: (الف) V دو برابر شود ولی R بدون تغییر بماند، (ب) i دو برابر شود ولی R بدون تغییر بماند، (پ) R دو برابر شود و V بدون تغییر بماند، (ت) R دو برابر شود ولی i بدون تغییر بماند.

پاسخ: (الف)
و (ب) یکسان
سپس (ت)
سپس (پ)