物理学概論

東海大学　理学部
物理学科

TOKAI

Department of Physics School of Science
Tokai University

物理学・物理学概論

・平板のコンデンサ（電気容量と誘電体）

・電流とオームの法則

・キルヒホッフの法則

ガウスの法則まとめ

電　荷	球状	線状	平面状
閉曲面	球	円筒	箱形
電　場	$\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$	$\dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$	$\dfrac{\sigma}{2\varepsilon}$
距離に対する変化	2乗に反比例	反比例	変化なし

ガウスの法則番外編

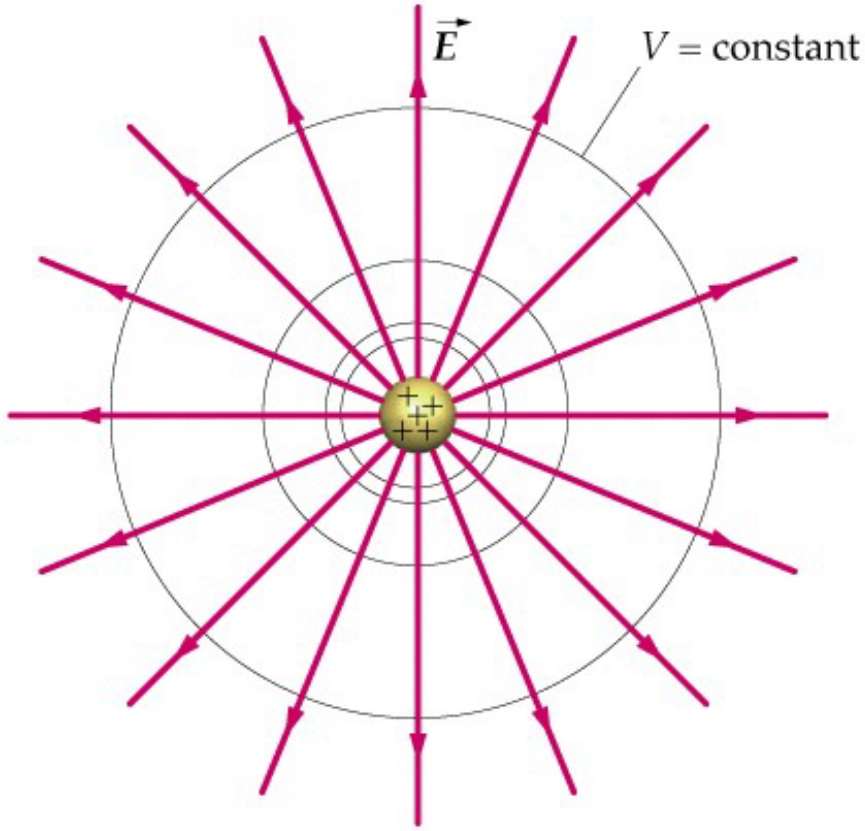
「ガウスの法則」を問われたら

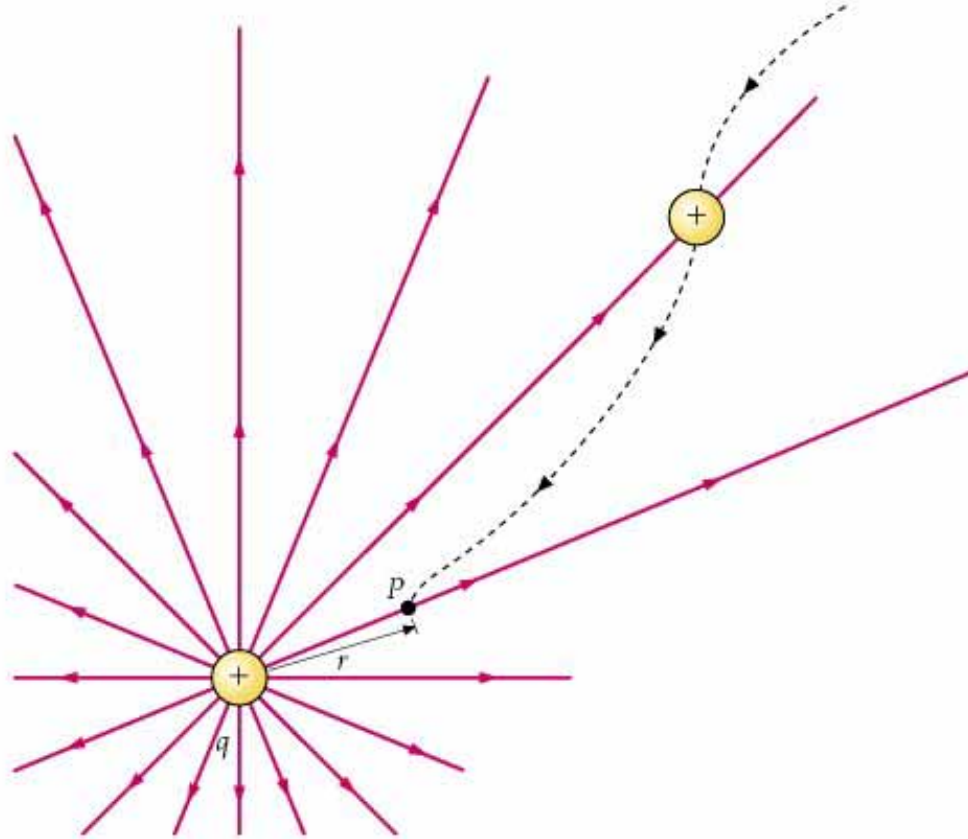
→天井の蛍光灯の形と配置を思い出そう。

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q'}{r^2}$$

一階の積分 ⬇ ⬆ 一階の微分

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q'}{r}$$





$$V = -\int \boldsymbol{E} \cdot \boldsymbol{dl}$$

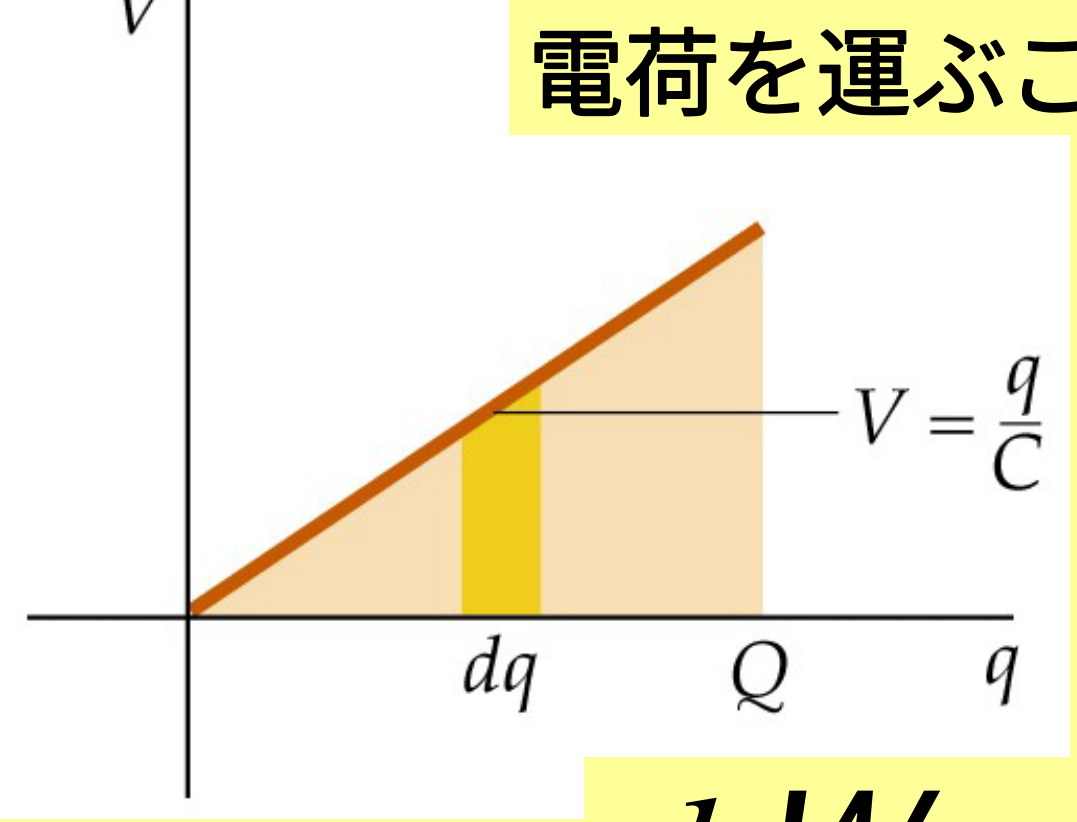
$$V = -\int \boldsymbol{E} \cdot \boldsymbol{dl}$$

$$\boldsymbol{E} = -gradV$$

x方向一方向だけなら $\boldsymbol{E} = -\dfrac{dV}{dx}\boldsymbol{i}$

電荷を運ぶごとにする仕事

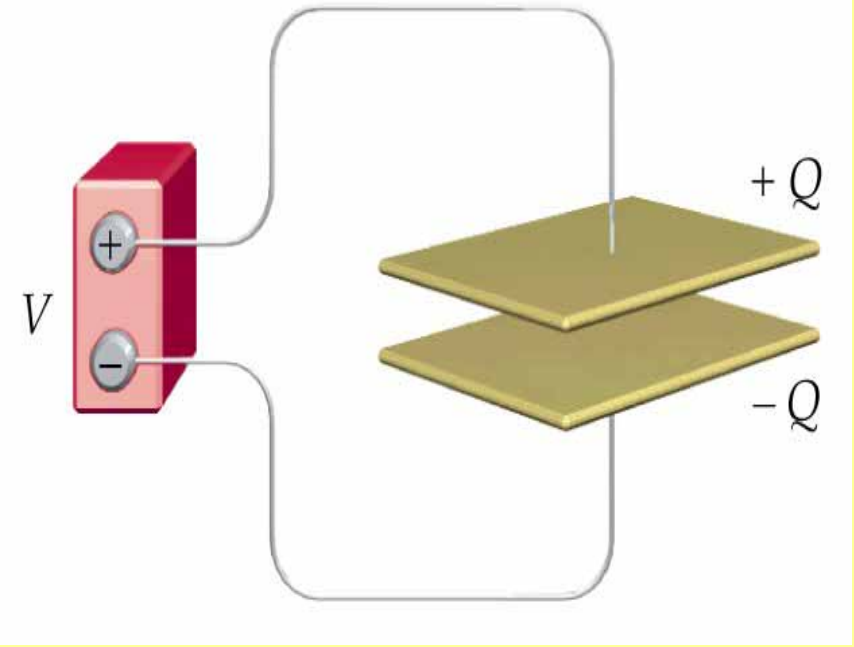
復習1



$$Q = CV$$

$$dW = V \cdot dq$$

$$dW = \frac{q}{C} \cdot dq$$



$$dW = V \cdot dq$$

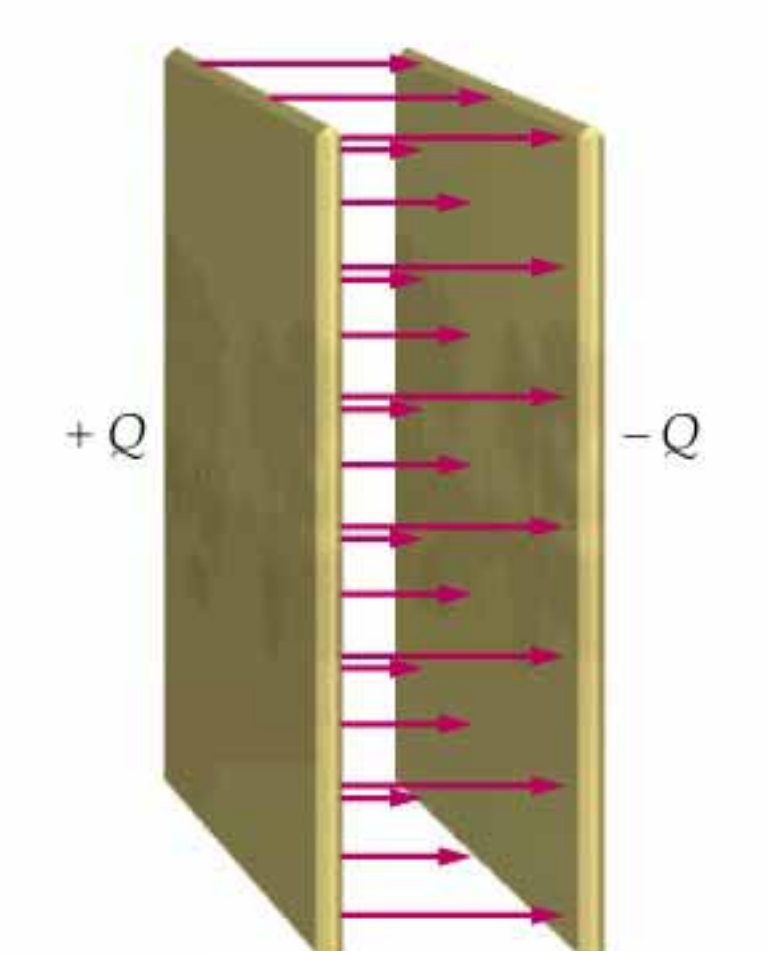
$$dW = \frac{q}{C} \cdot dq$$

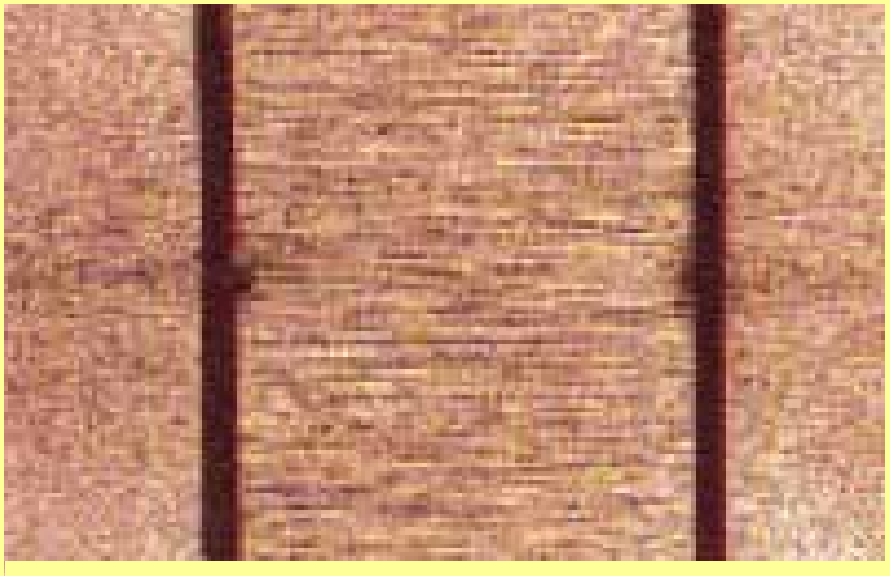
$$\int dW = \int_0^Q \frac{q}{C} \cdot dq$$

$$= \frac{Q^2}{2C} = \frac{QV}{2} = \frac{1}{2} \cdot CV^2$$

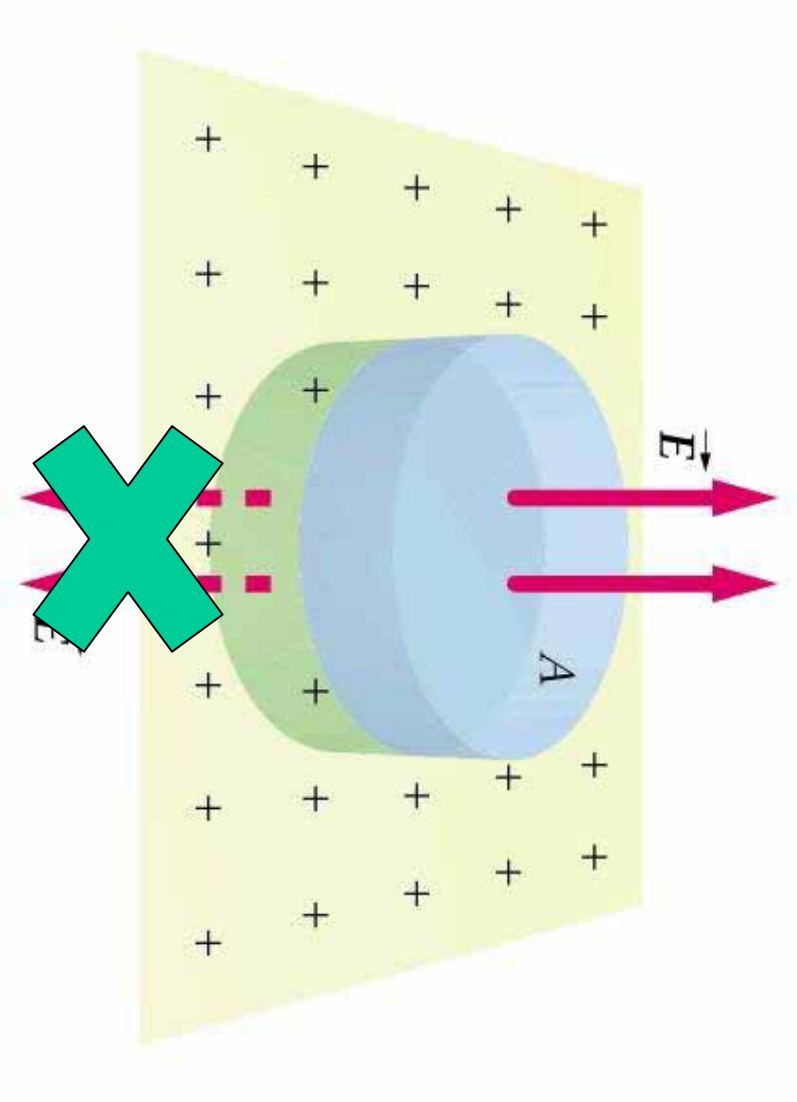
ガウスの法則まとめ

電　荷	球状	線状	平面状
閉曲面	球	円筒	箱形
電　場	$\dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$	$\dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$	$\dfrac{\sigma}{2\varepsilon}$
距離に対する変化	2乗に反比例	反比例	変化なし

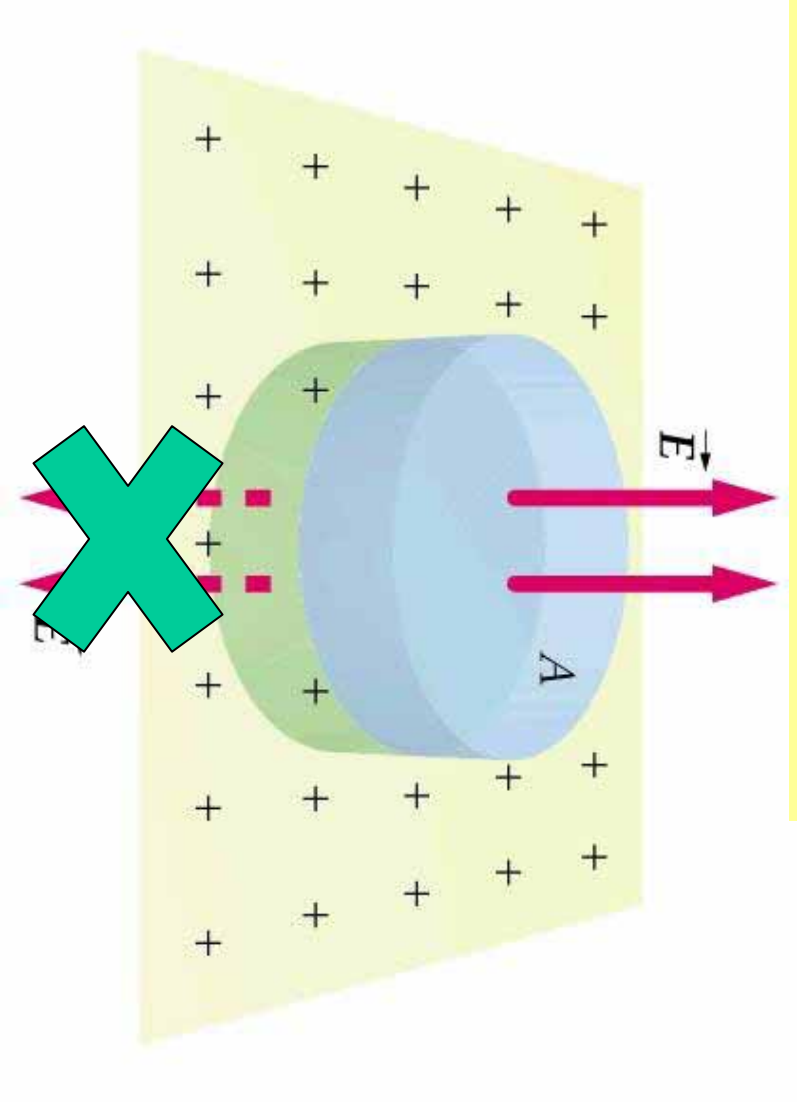




内側に電場があり
外側には電場がない

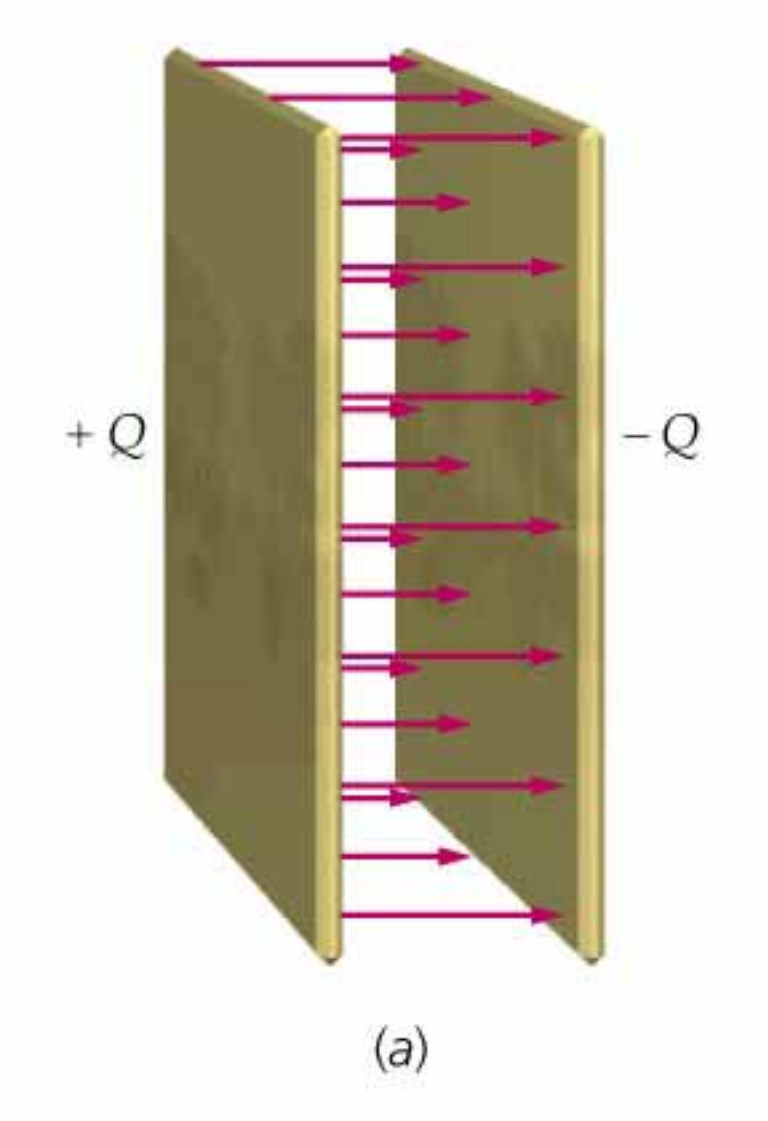


$$\pi a^2 |\boldsymbol{E}| = \frac{Q}{\varepsilon}$$



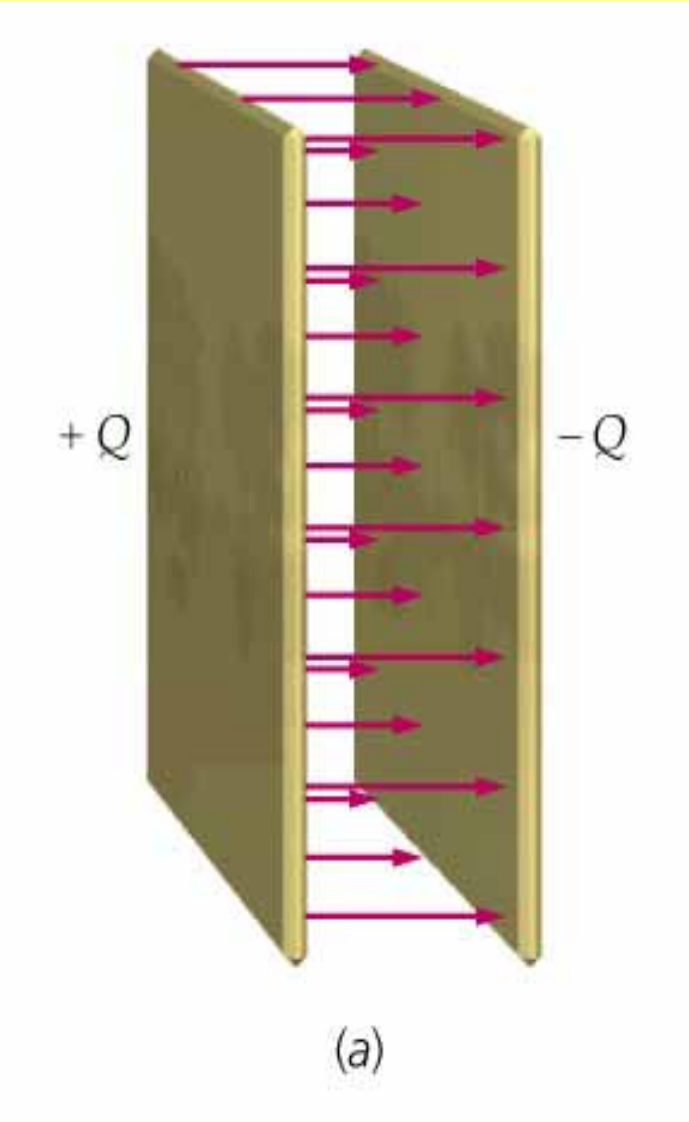
$$\pi a^2 |\boldsymbol{E}| = \frac{Q'}{\varepsilon}$$

$$\boldsymbol{E} = \frac{\text{電荷密度}}{\varepsilon}$$



$$\boldsymbol{E} = \frac{Q}{\varepsilon S}$$

$$V_d - V_0$$

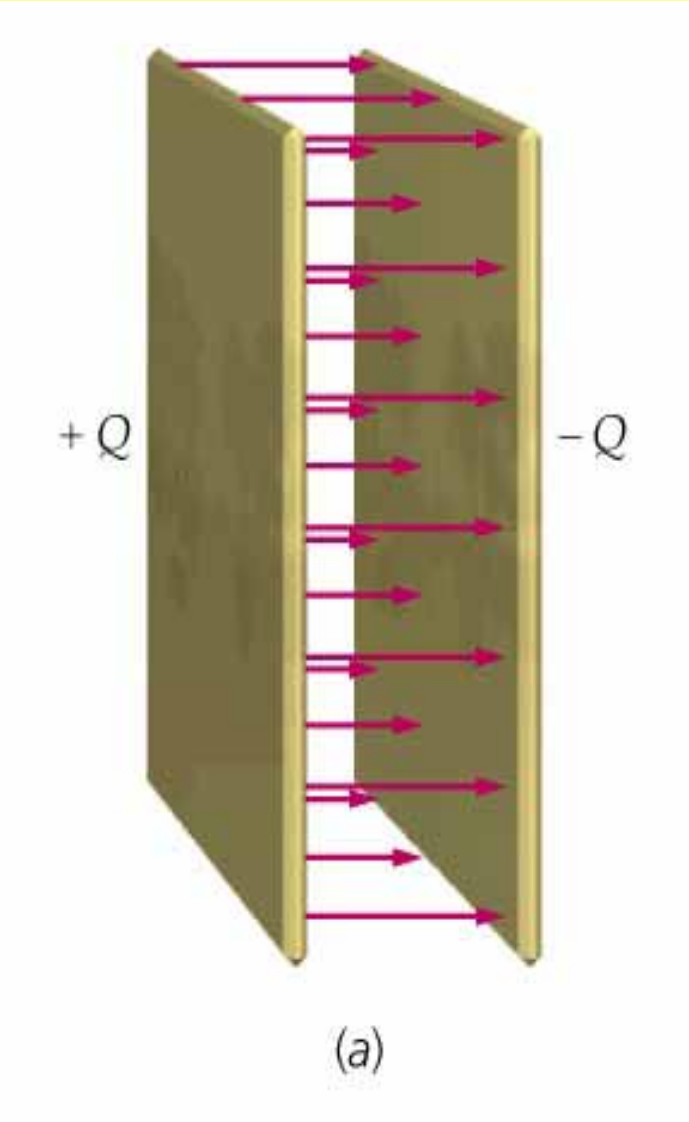


$$= -\int_0^d E \cdot dr = -\int_0^d \frac{Q}{\varepsilon S} dr$$

$$V = E \cdot d$$

電位は高校では極板の距離と電場の積と習った。

$$V_d - V_0$$

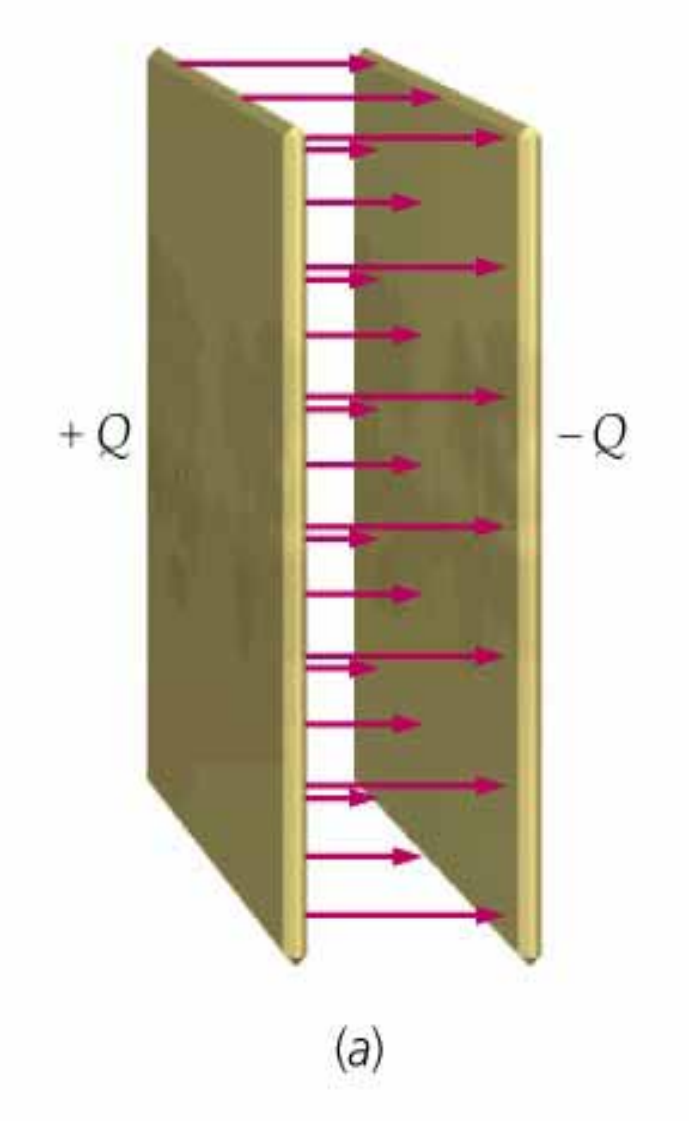


$$= -\int_0^d E \cdot dr = -\int_0^d \frac{Q}{\varepsilon S} dr$$

$$V = E \cdot d$$

電位は高校では極板の距離と電場の積と習った。

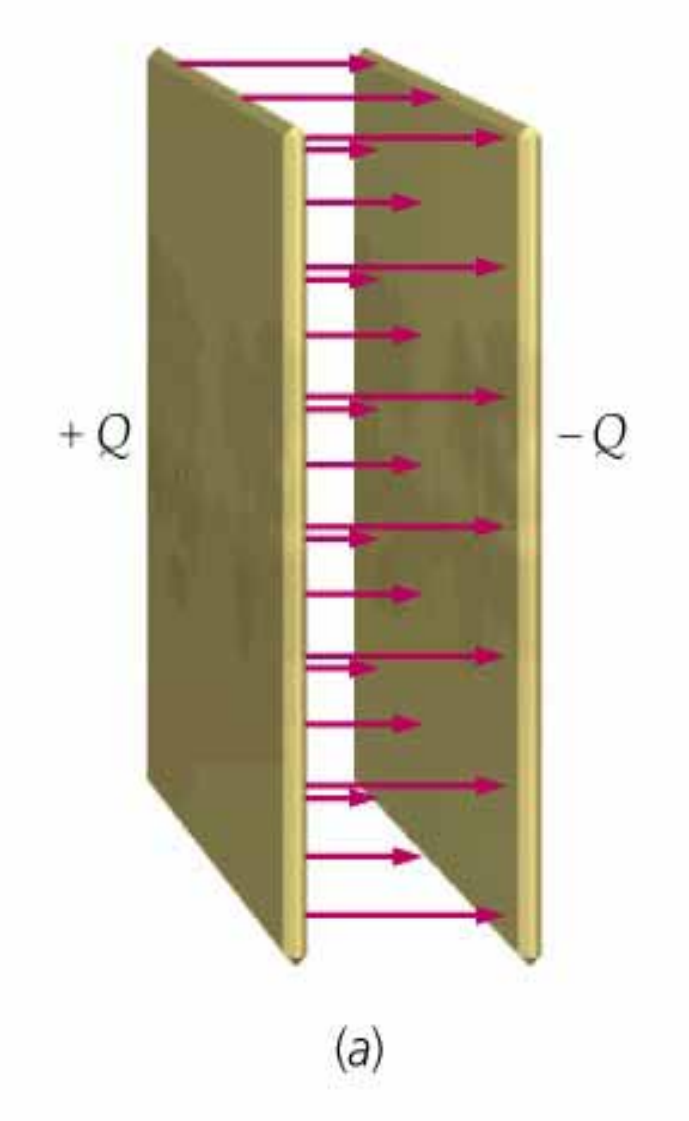
$$V = \frac{d}{\varepsilon S} \cdot Q$$



$$V = \frac{d}{\varepsilon S} \cdot Q$$

$$V = \frac{1}{C} \cdot Q$$

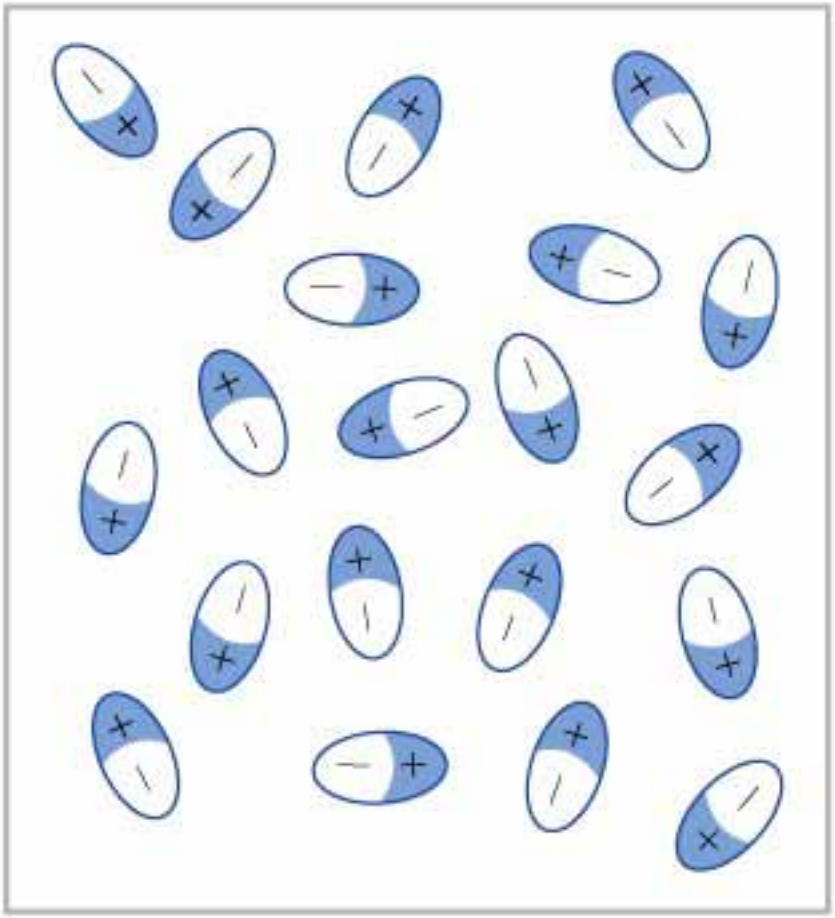
$$(Q = C \cdot V)$$



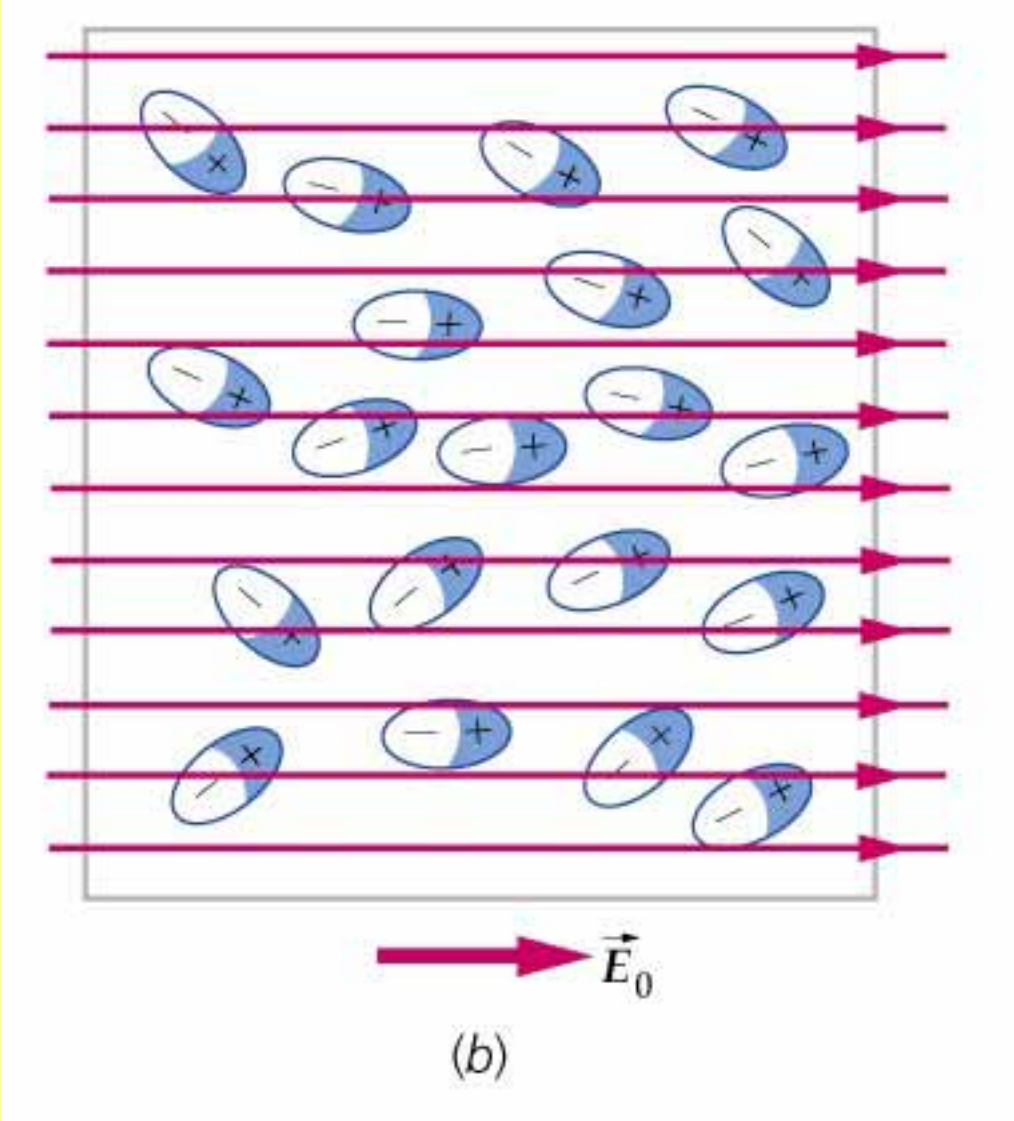
$$V = \frac{d}{\varepsilon S} \cdot Q$$

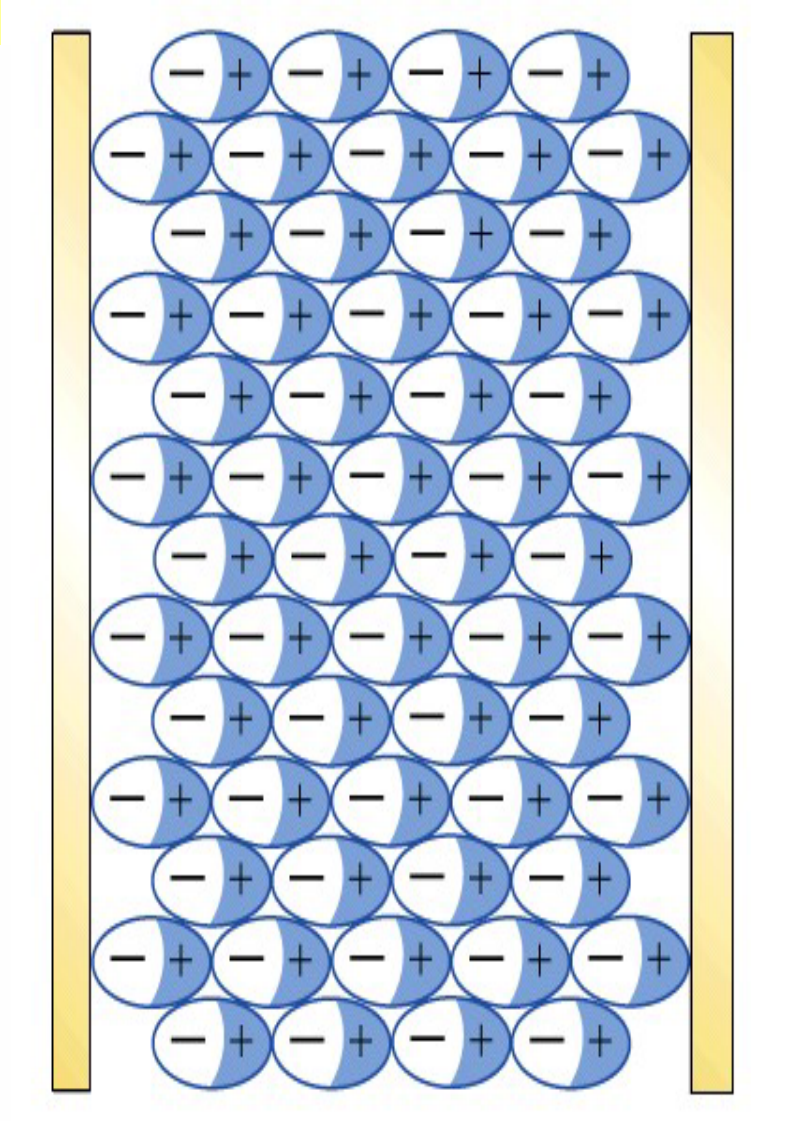
$$\left(\frac{1}{C}\right)$$

$$C = \frac{\varepsilon S}{d}$$



(a)

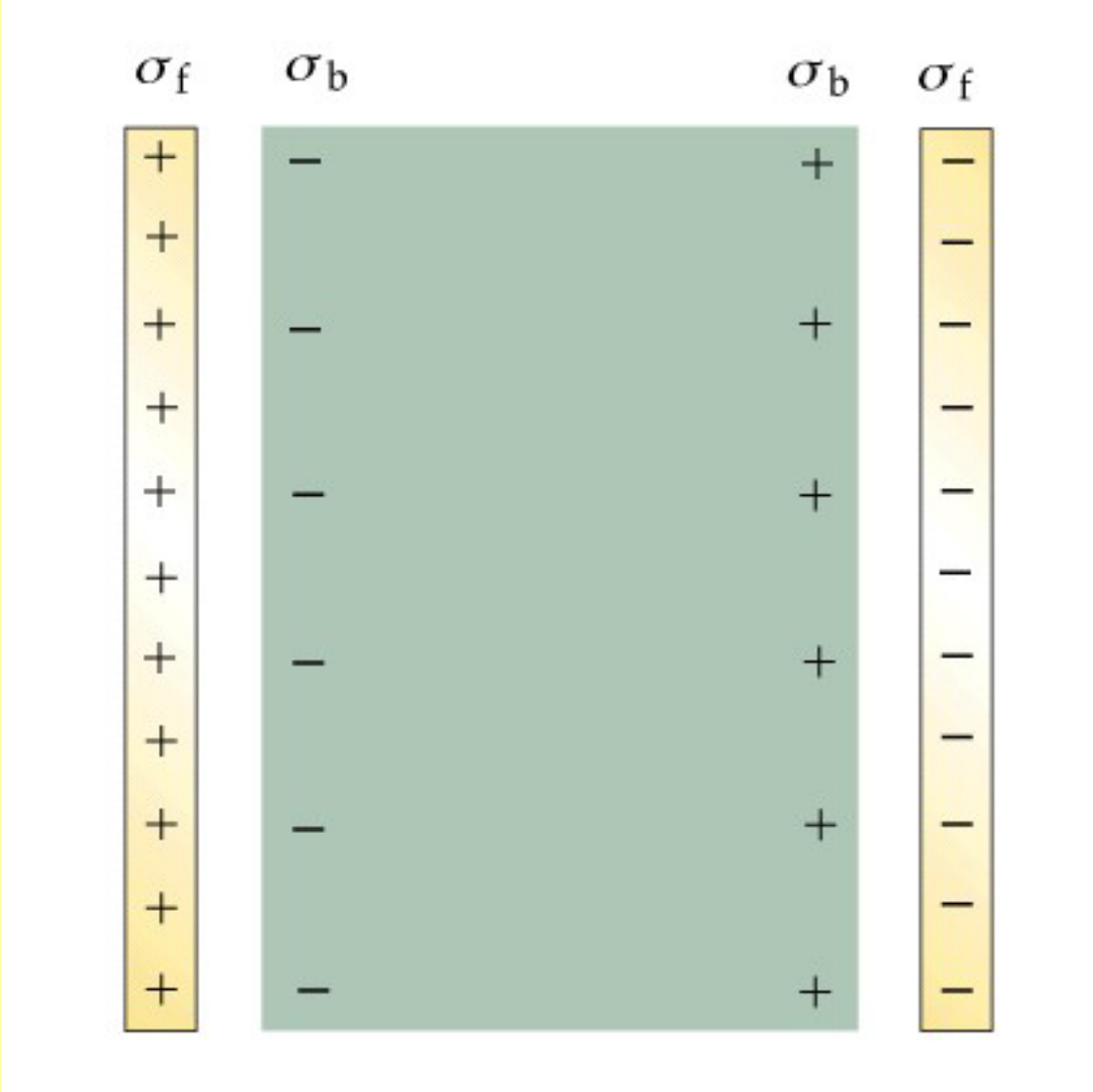

$\vec{E}_0$
(b)



電気容量（コンデンサ）のエネルギー

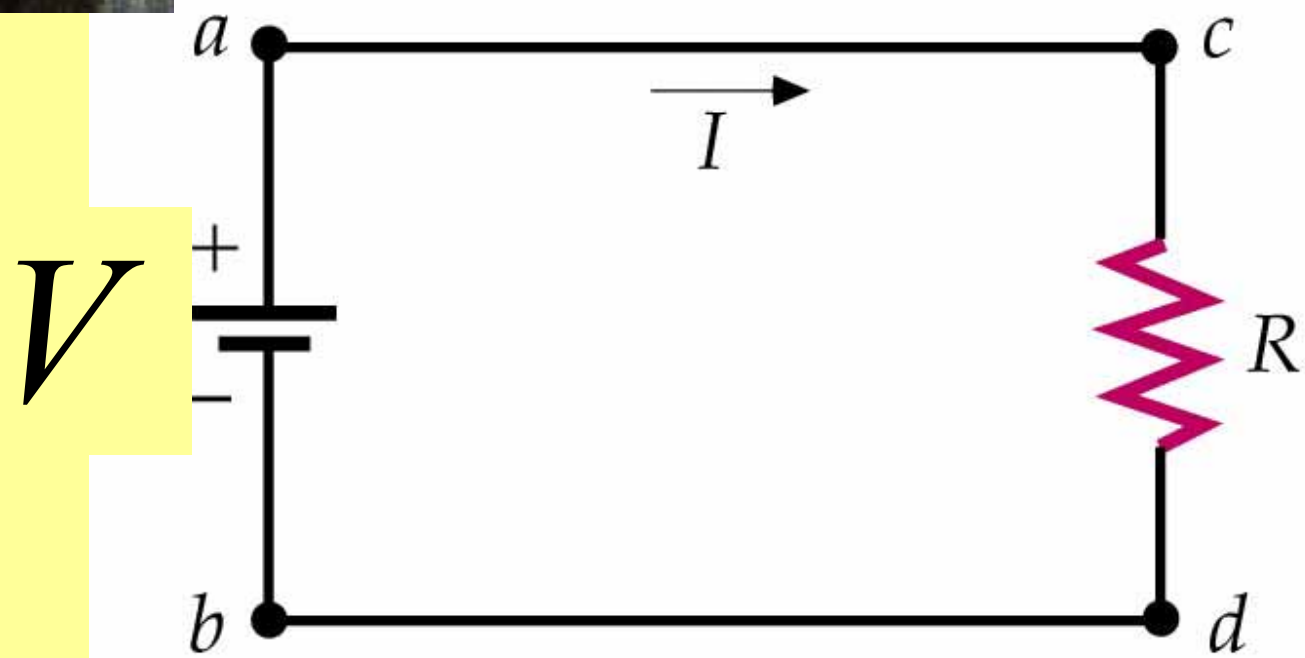
・極板間の電界で決定される

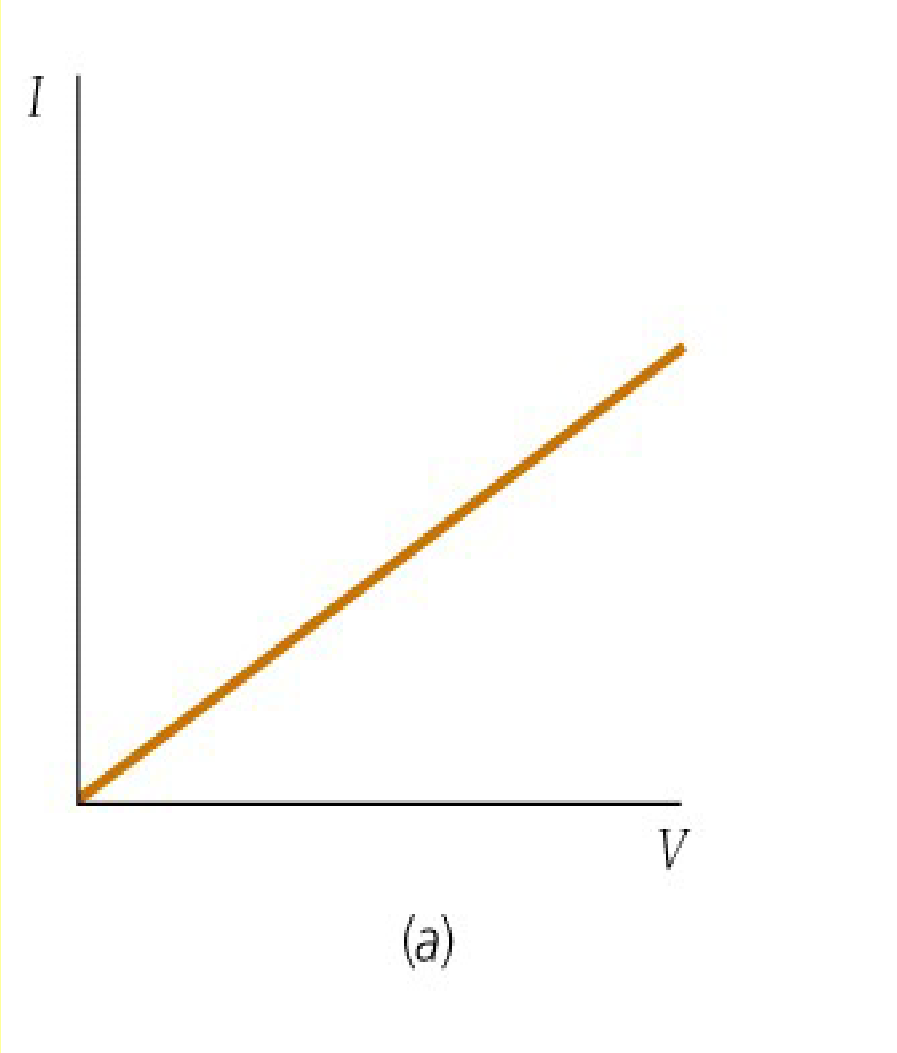
・極板の電荷が持っているのではない



$R = V/I$

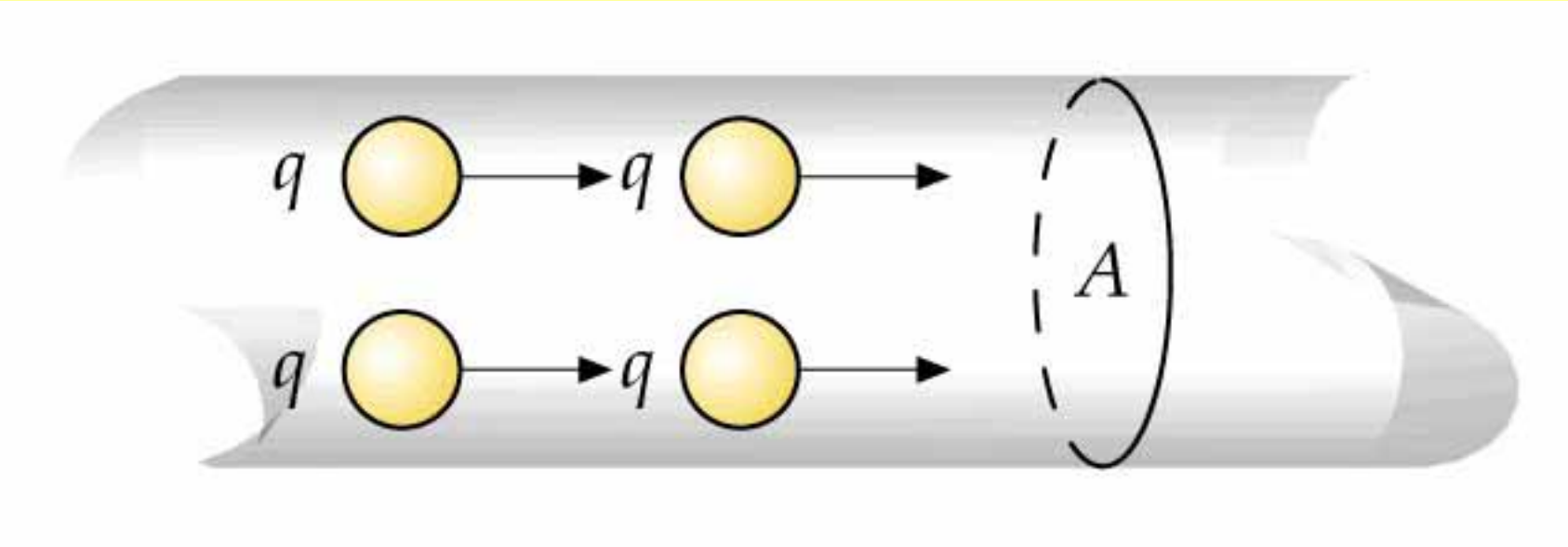
オームの法則





$$I = V/R$$

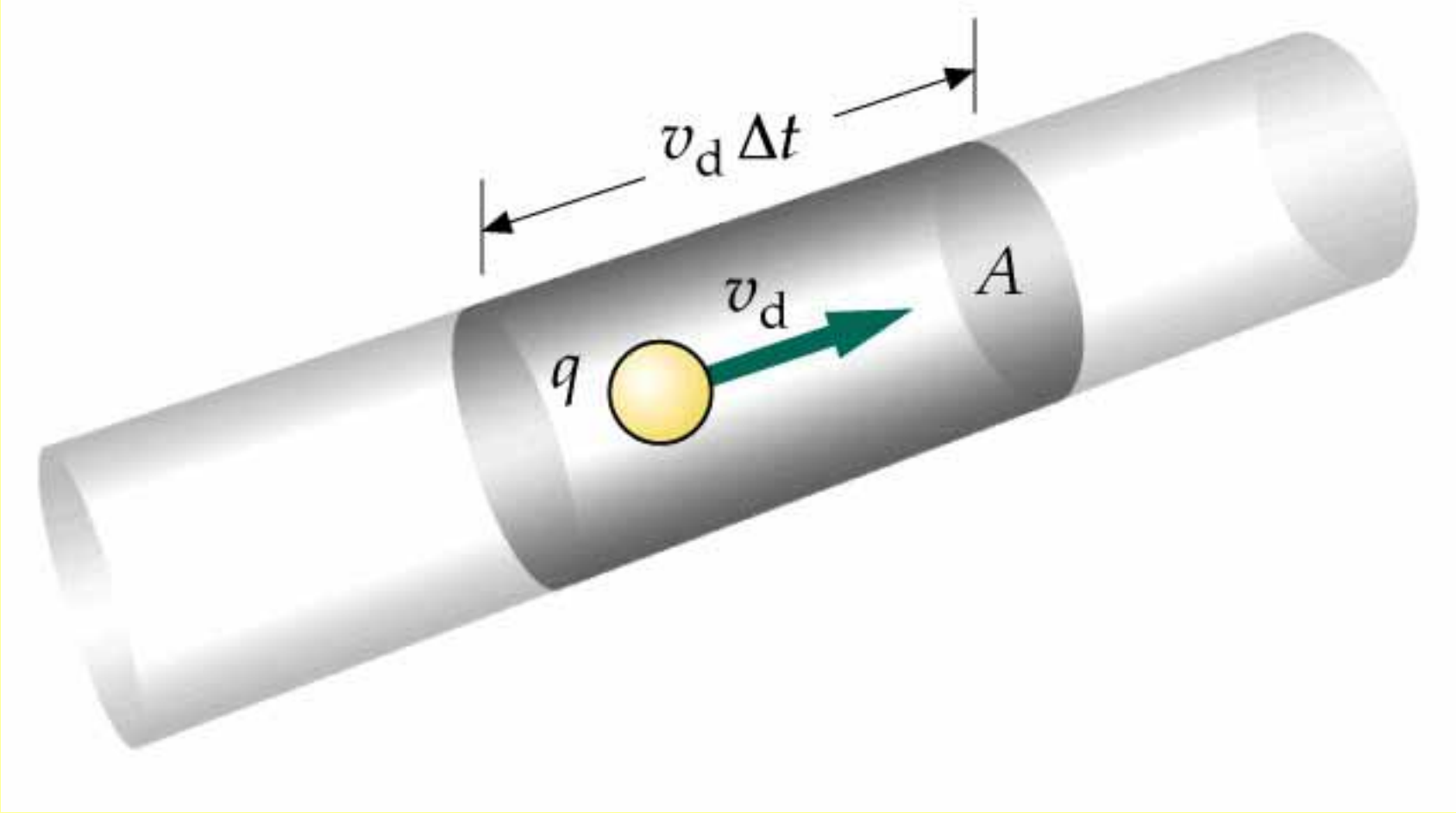
$$1/R$$

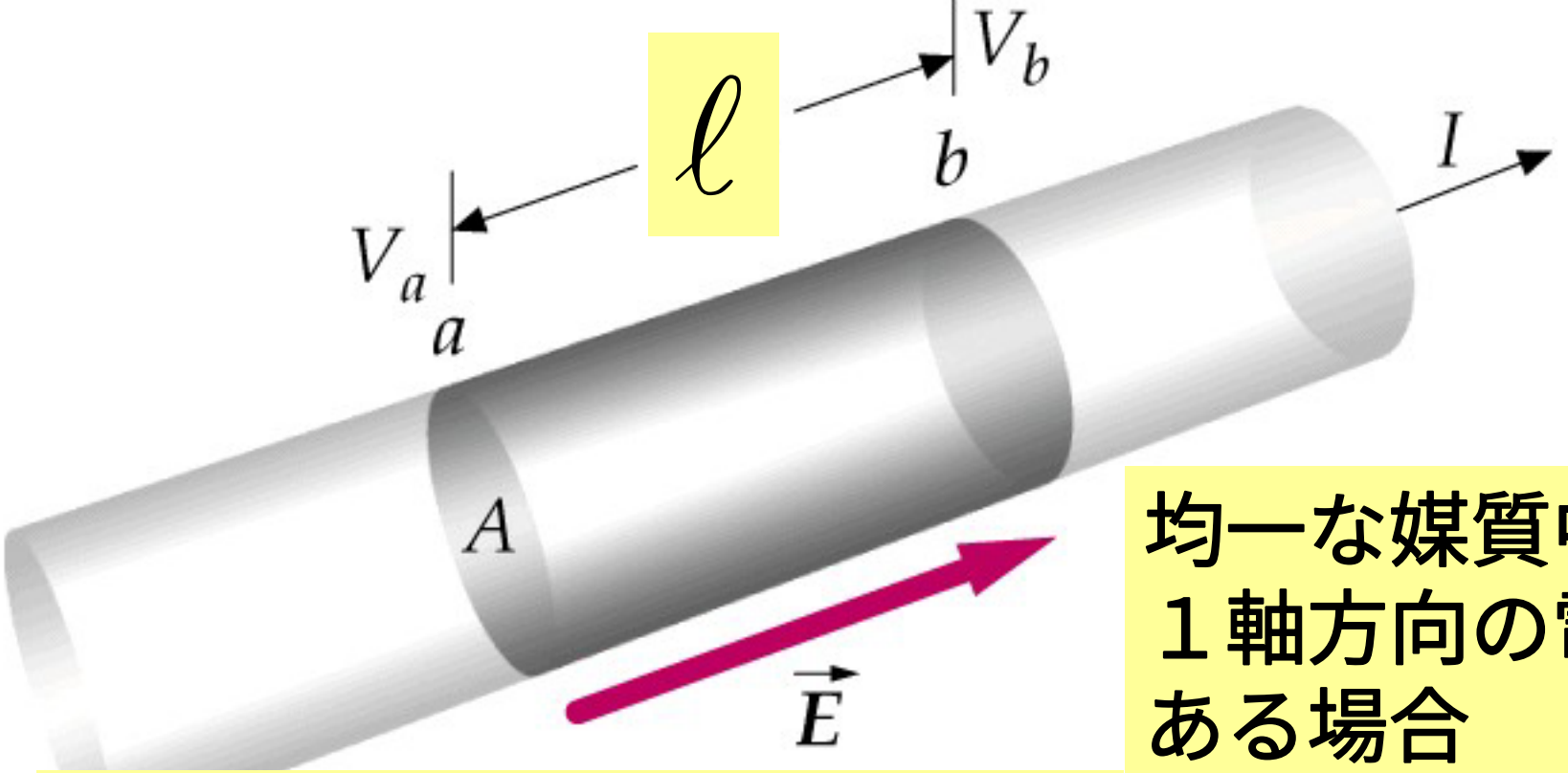


$$Iav = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad \frac{dQ}{dt} \equiv I$$

[C/sec]

電荷が時間的に移動する。 → 電流

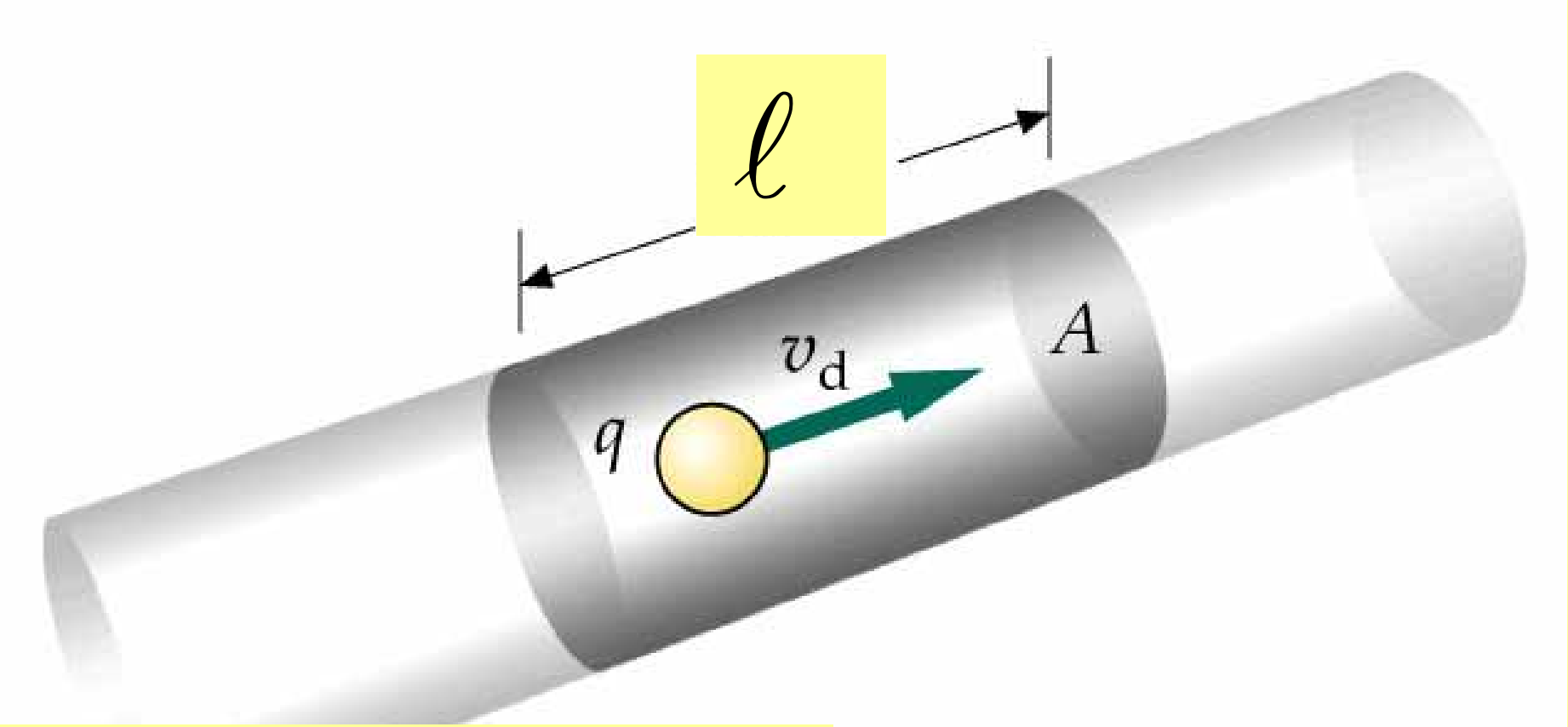

$v_d \Delta t$
A
v_d
q



均一な媒質中で
１軸方向の電界が
ある場合

$$I/A = j = \sigma \cdot E$$

$$Va - Vb = -\int_b^a \boldsymbol{E} \cdot \boldsymbol{d}\ell \Rightarrow E \cdot \ell$$



均一な媒質中で１軸方向の電界がある場合

電流密度 $\boldsymbol{j}$

$$I/A = j = \sigma \cdot E$$

σ　電気伝導率
(導電率)

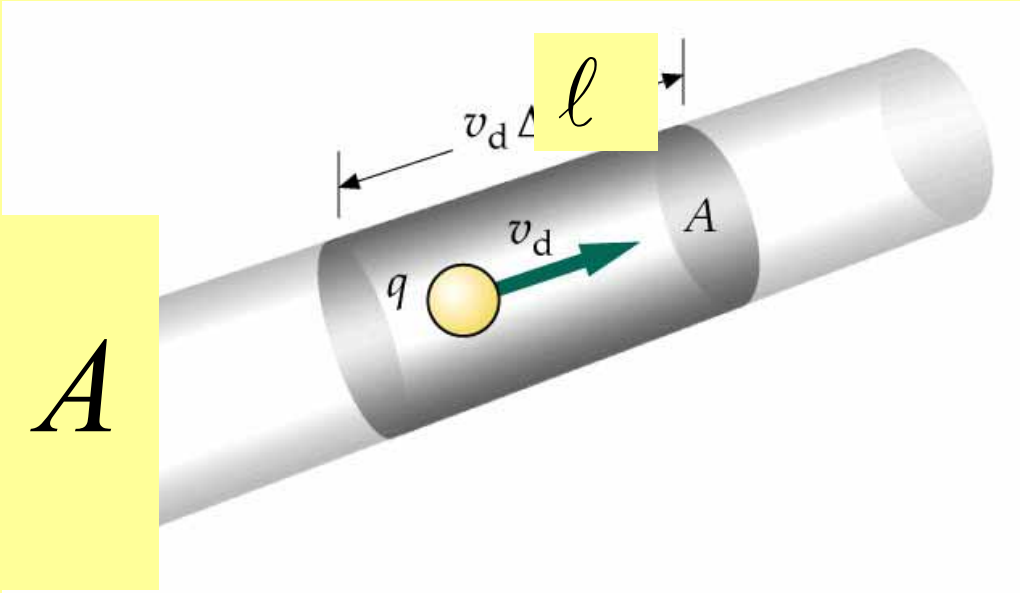
抵抗率

$$\rho = 1/\sigma [\Omega \cdot m]$$

電磁気学でのオームの法則から
電気回路のオームの法則

抵抗率

$$\boldsymbol{I/A} = \boldsymbol{j} = \frac{1}{\rho} \cdot \boldsymbol{E}$$



$$\boldsymbol{I} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\boldsymbol{E} \cdot l}{l} \cdot A$$

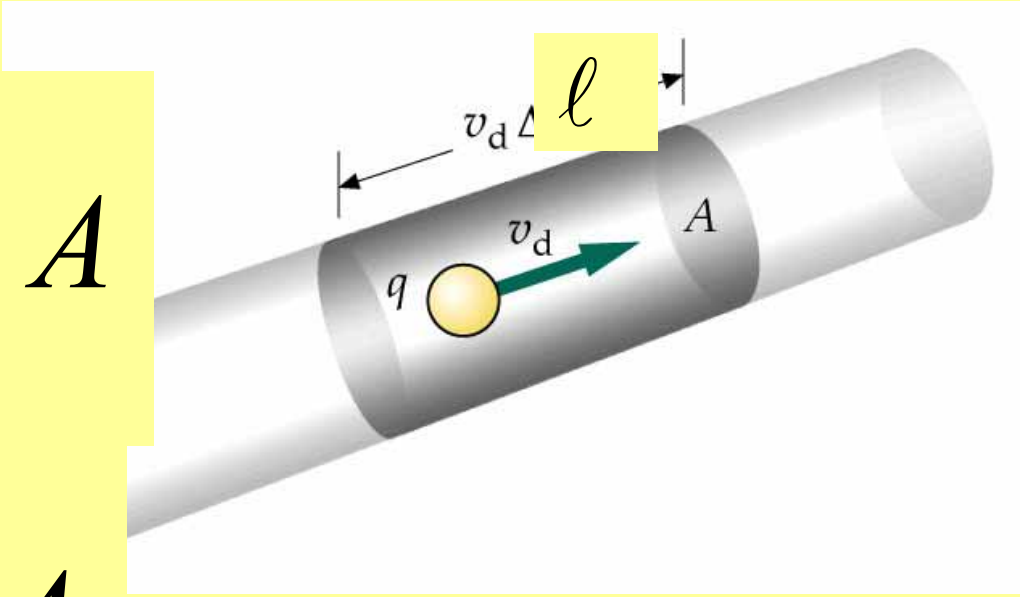
電磁気学でのオームの法則から
電気回路のオームの法則

抵抗率

$$I/A = j = \frac{1}{\rho} \cdot E$$

$$I = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{E \cdot l}{l} \cdot A$$

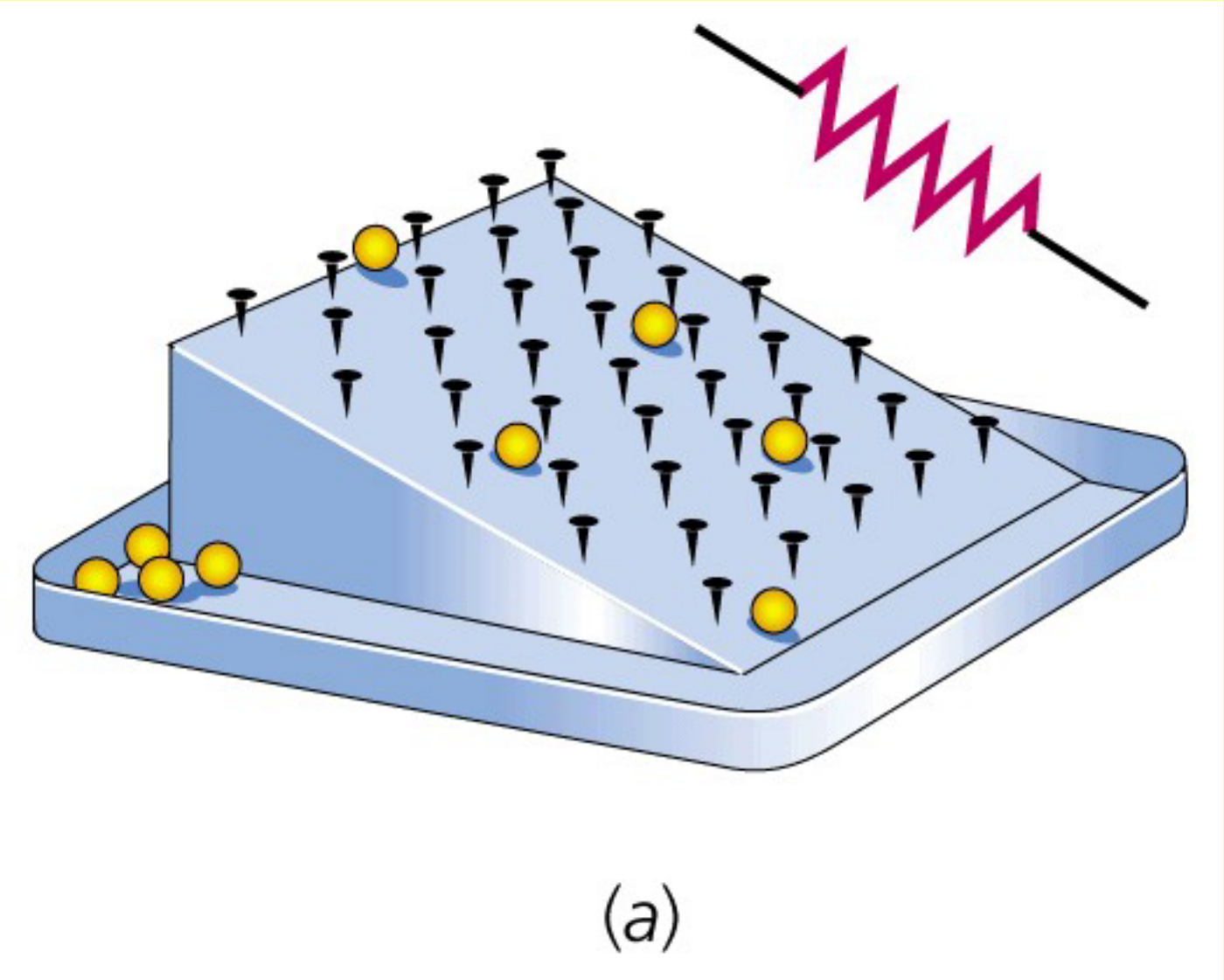
$$I = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{V}{l} \cdot A$$

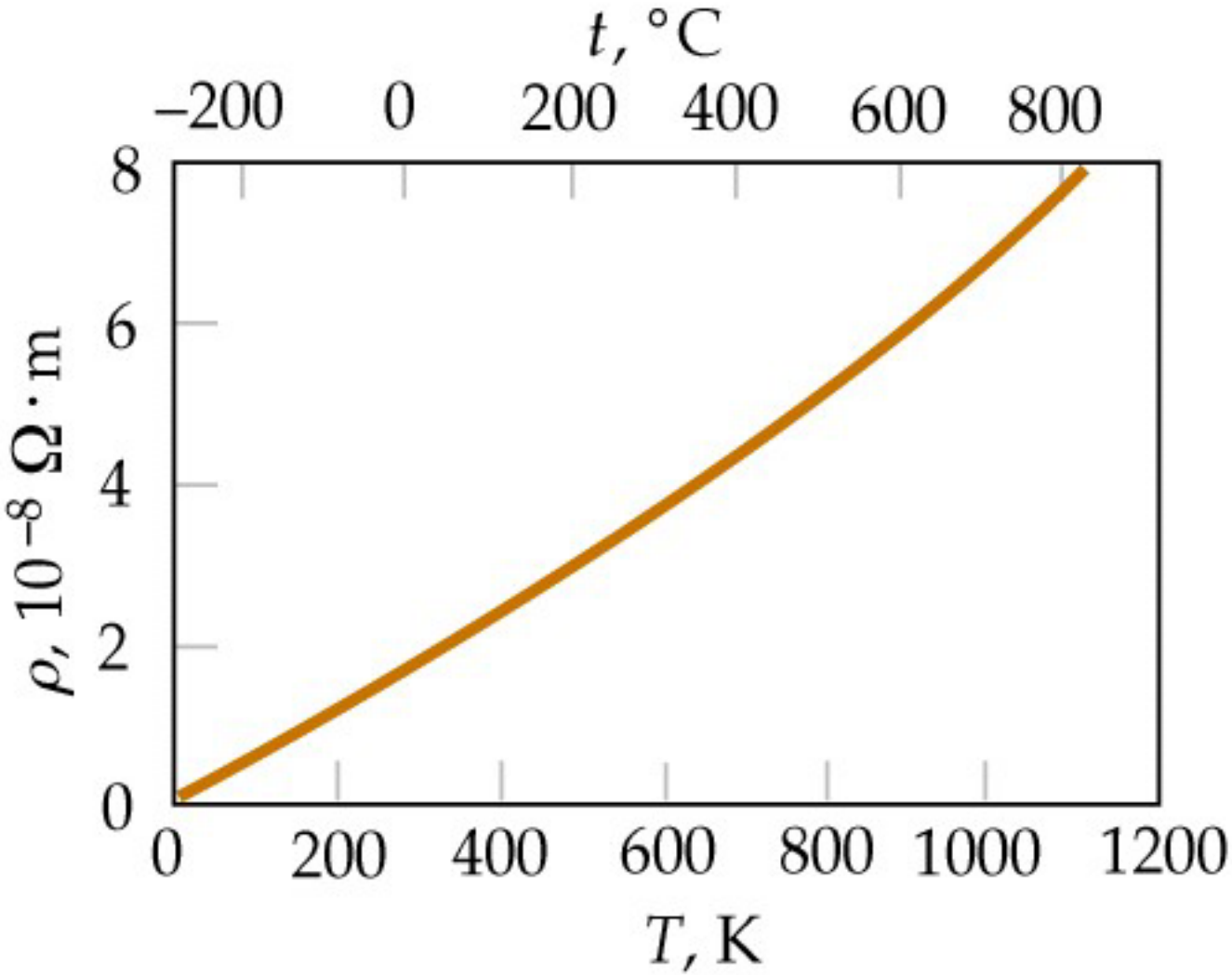


$$R = V/I$$

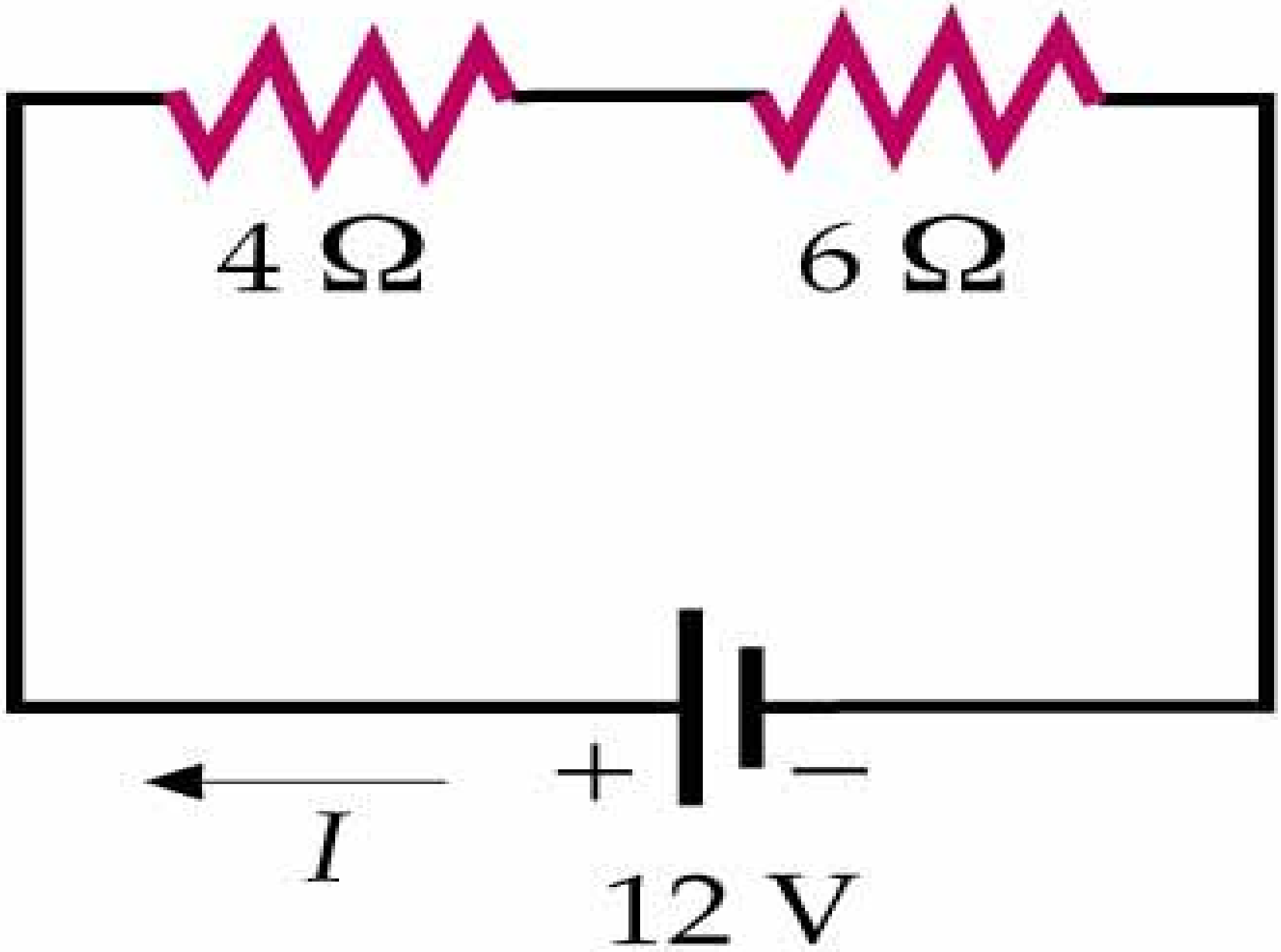
$$I = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{V}{l} \cdot A$$

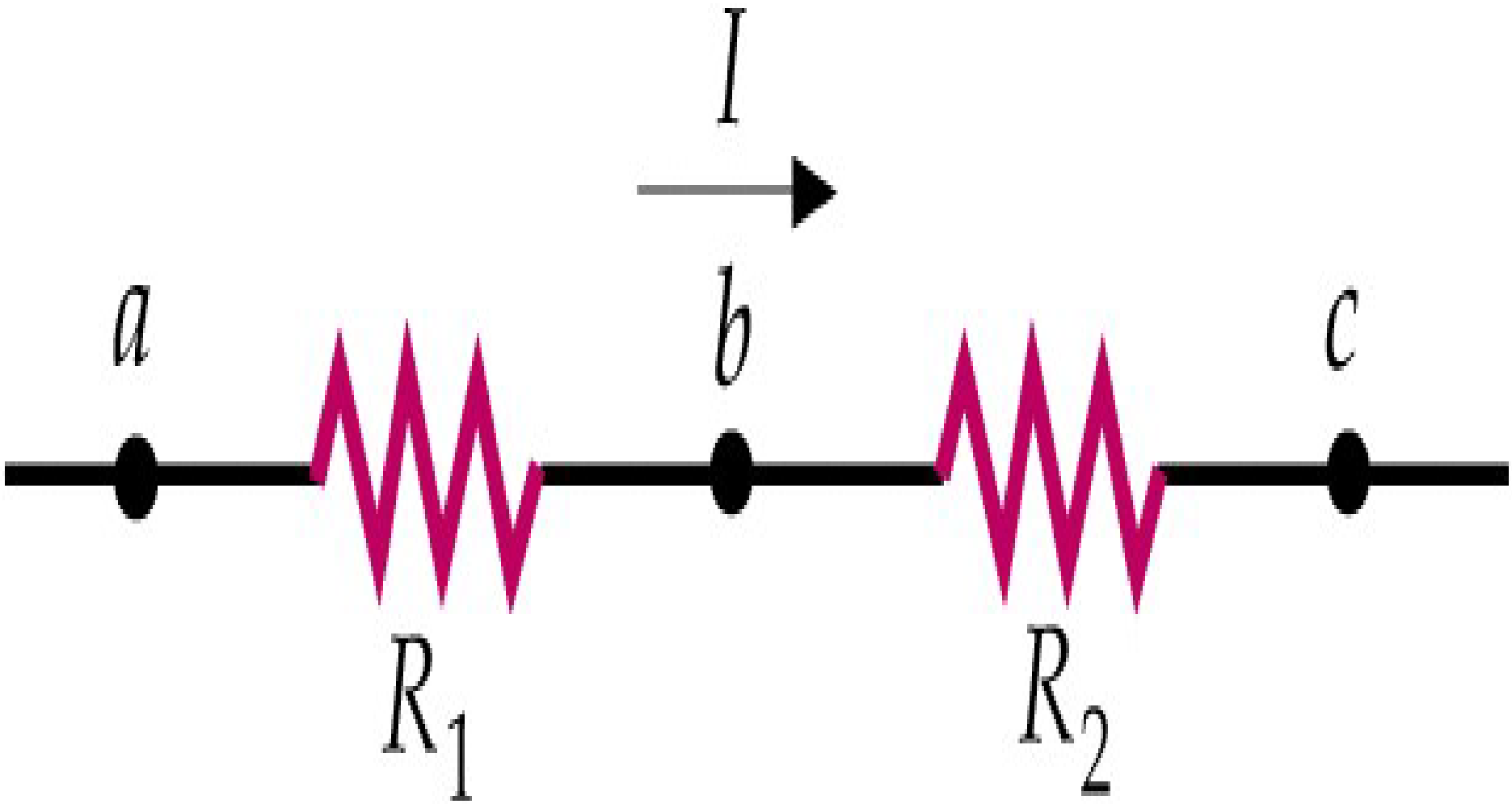
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$


(a)

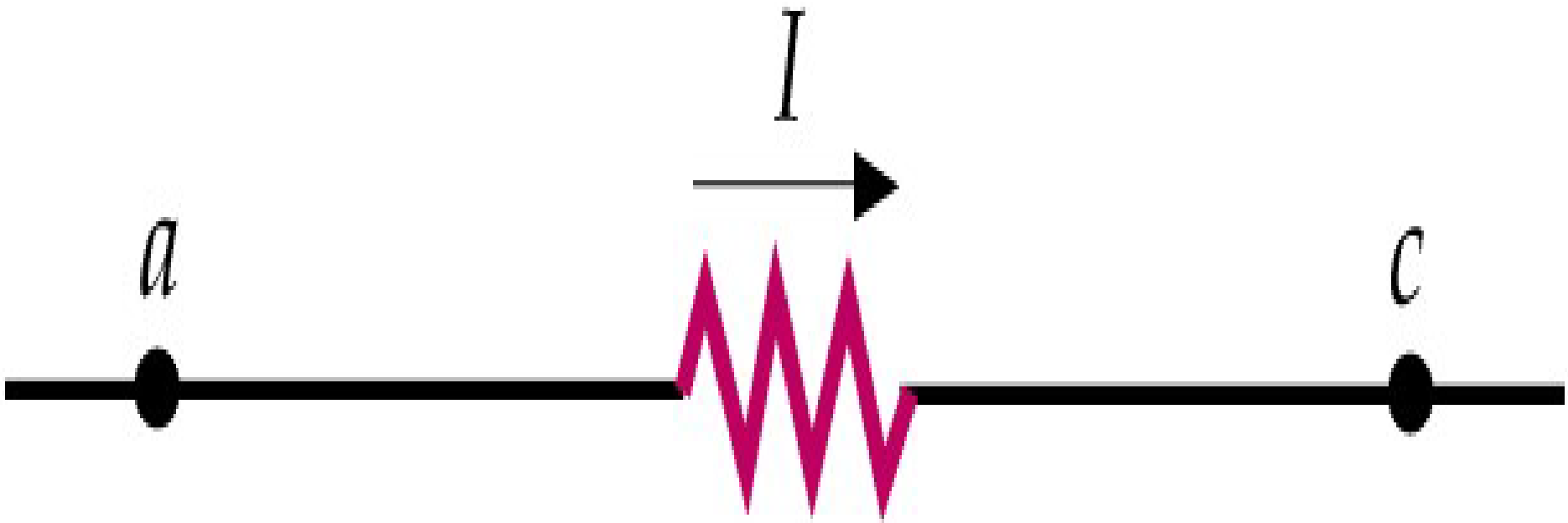

t, °C
–200
0
200
400
600
800
8
6
4
2
0
ρ, 10⁻⁸ Ω · m
0
200
400
600
800
1000
1200
T, K

回路網の初歩


4 Ω
6 Ω
+
−
I
12 V

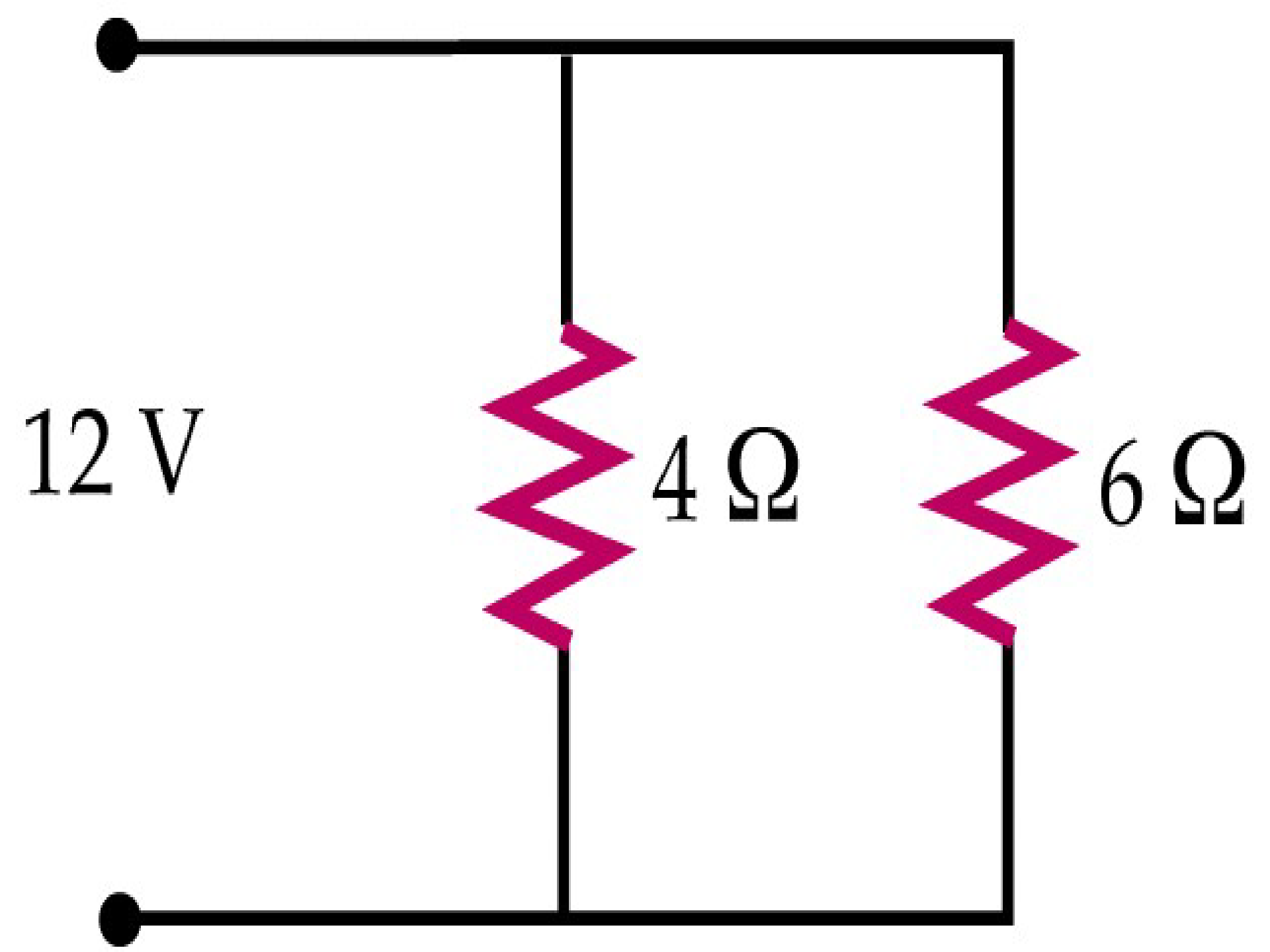


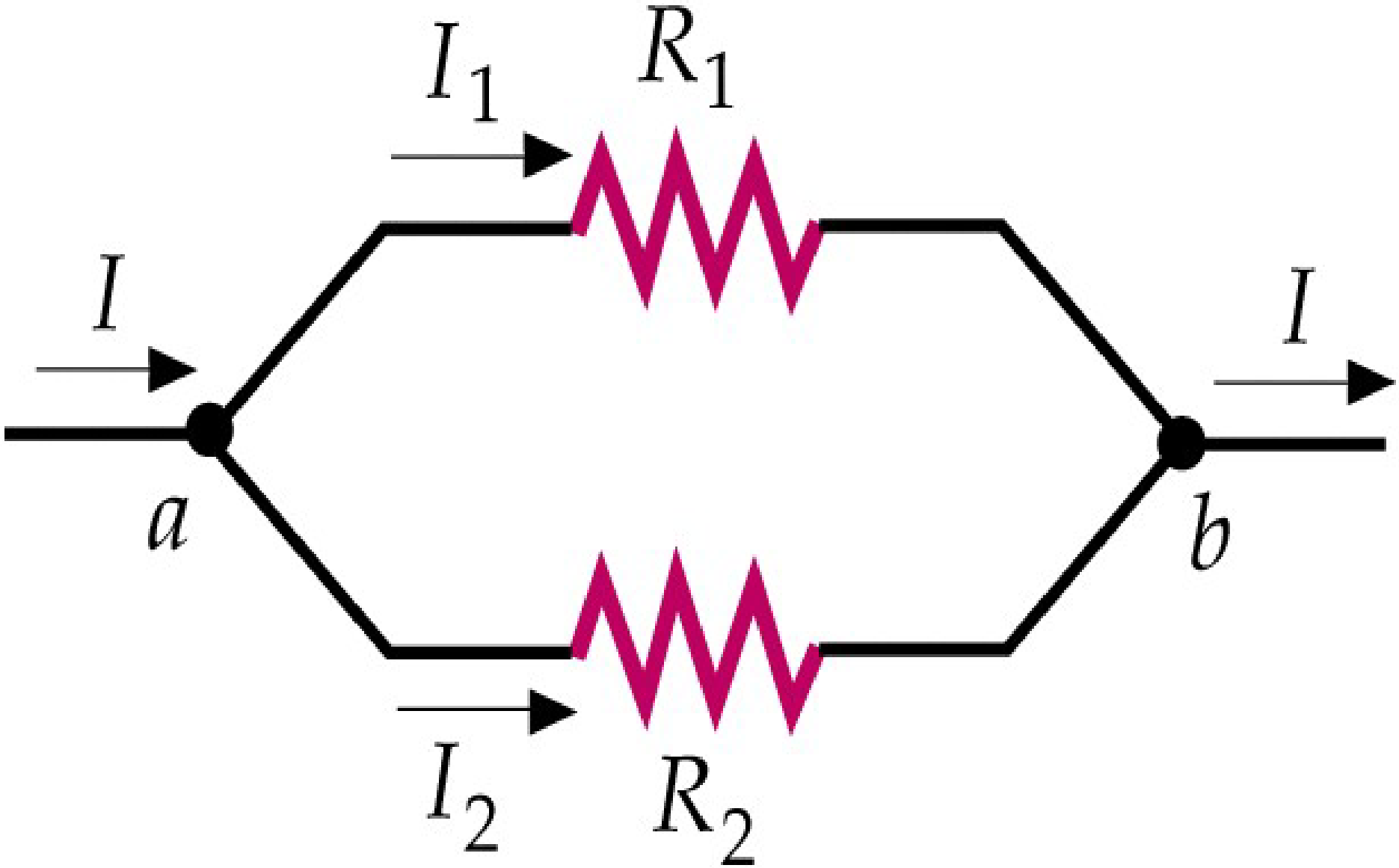
(a)



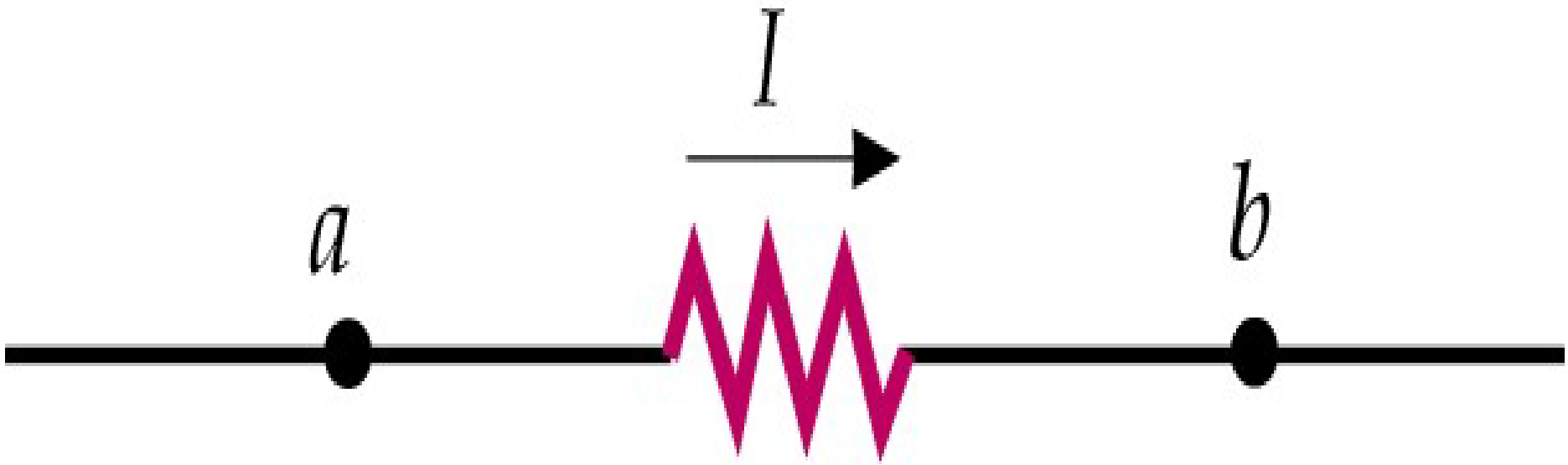
$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

(b)


12 V
4 Ω
6 Ω

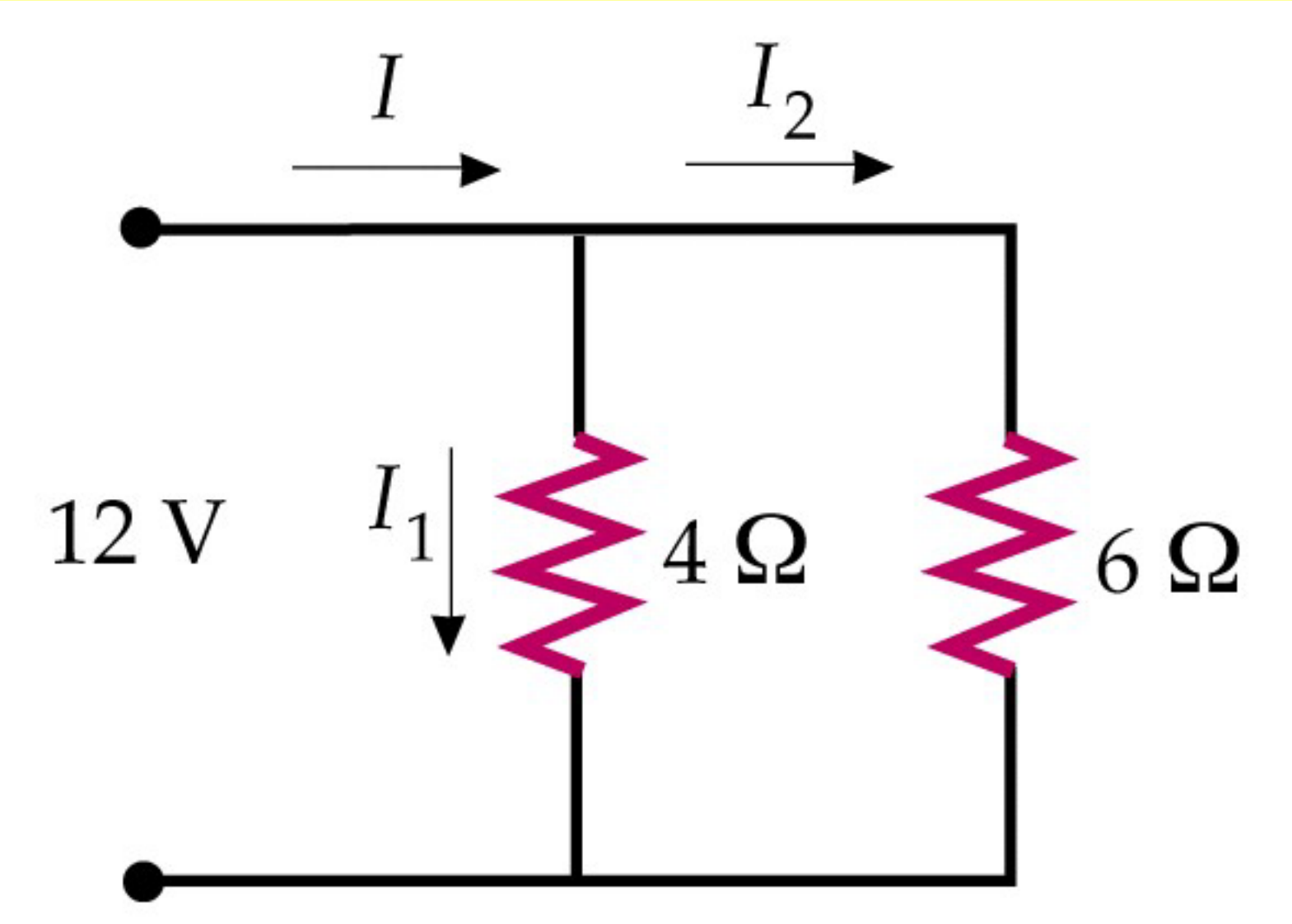


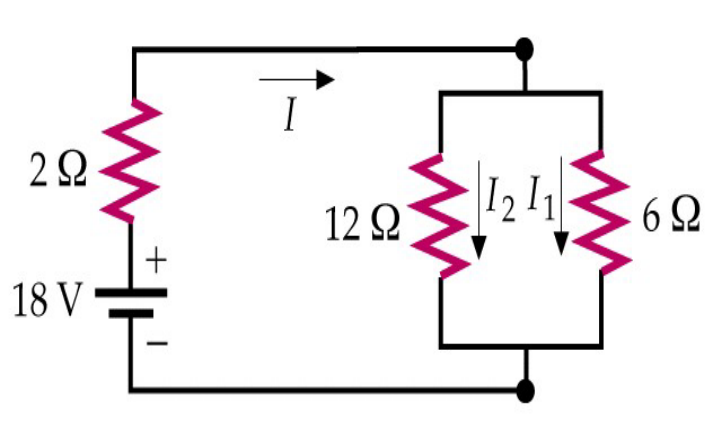
(a)



$$R_{eq} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)^{-1}$$

(b)


I
I2
12 V
I1
4 Ω
6 Ω



$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6}$$

$$R' = 4[\Omega]$$

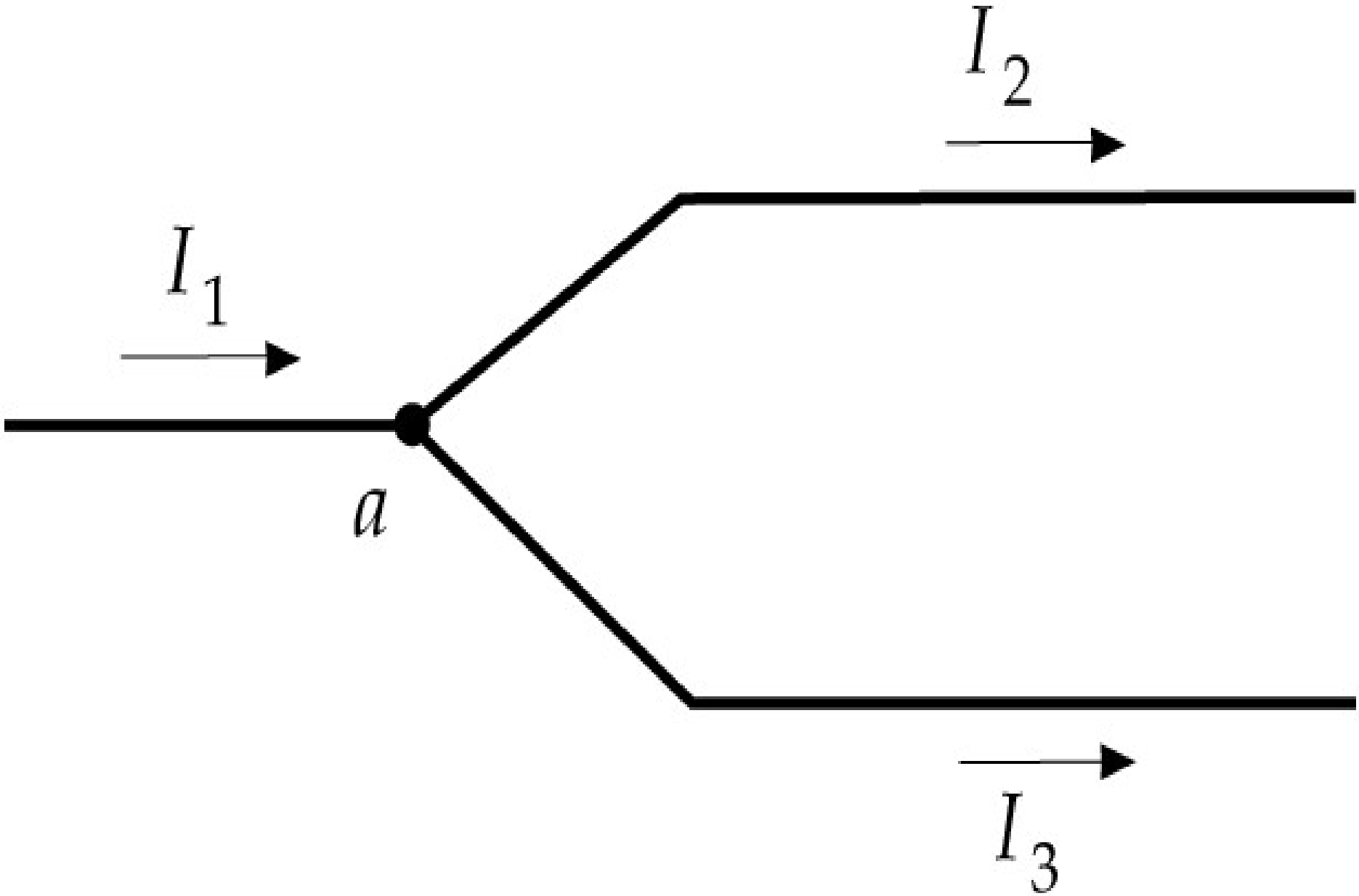
$$R_t = R + R' = 2 + 4 = 6[\Omega]$$

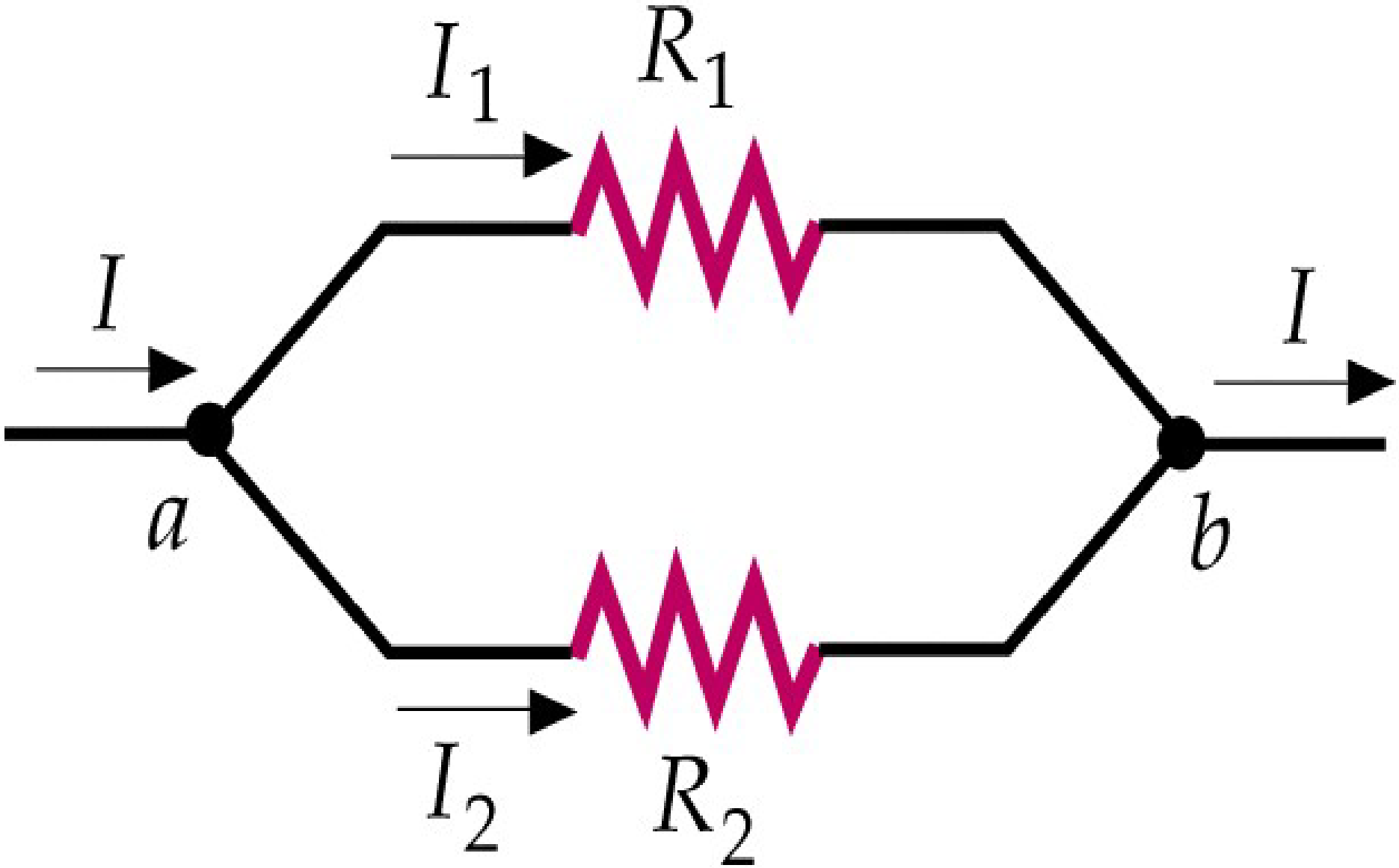
$$I = V / R_t = 18 / 6 = 3[A]$$

キルヒホッフの法則

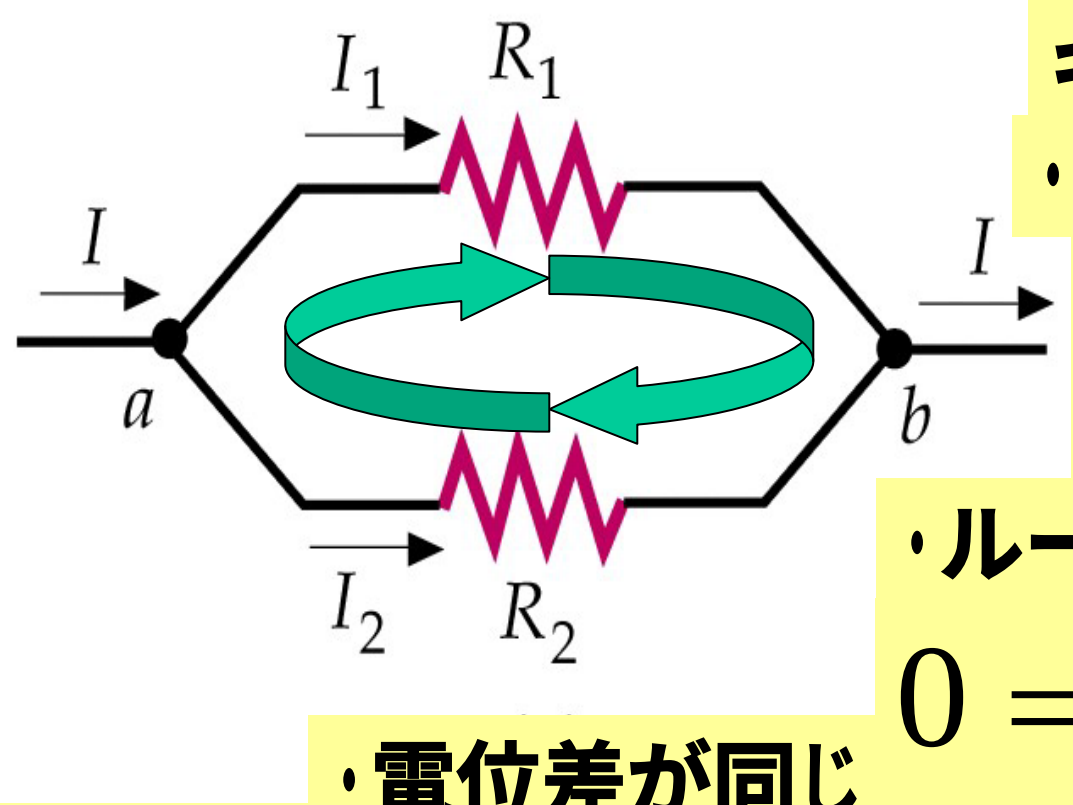
・任意の分岐点に流入する電流の和
→
＝任意の分岐点から流出する電流の和
である

・任意のループを一巡するとき
電位差の代数和はゼロとなる。


I_2
I_1
a
I_3



(a)



キルヒホッフの法則から

・分岐点 a あるいは b

$$I = I_1 + I_2$$

・ループ (緑の矢印)

$$0 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

・電位差が同じ

$$RI = R_1 I_1 = R_2 I_2$$

キルヒホッフの法則から

・分岐点　a　あるいは　b

$$I = I_1 + I_2$$

・ループ (緑の矢印)

$$0 = R_1 I_1 - R_2 I_2$$

$$\Rightarrow \quad I_2 = R_1 / R_2 I_1$$

・抵抗と電位差

$$V = RI = R_1 I_1 = R_2 I_2$$

$$I = I_1 + I_2 \qquad I_2 = R_1 / R_2 I_1$$

$$RI = R_1 I_1 = R_2 I_2$$

$$R = \frac{R_1 I_1}{I} = \frac{R_1 I_1}{I_1 + I_2}$$

$$= \frac{R_1 I_1}{I_1 + \frac{R_1}{R_2} I_1} = \frac{R_1 R_2 I_1}{(R_1 + R_2) I_1}$$

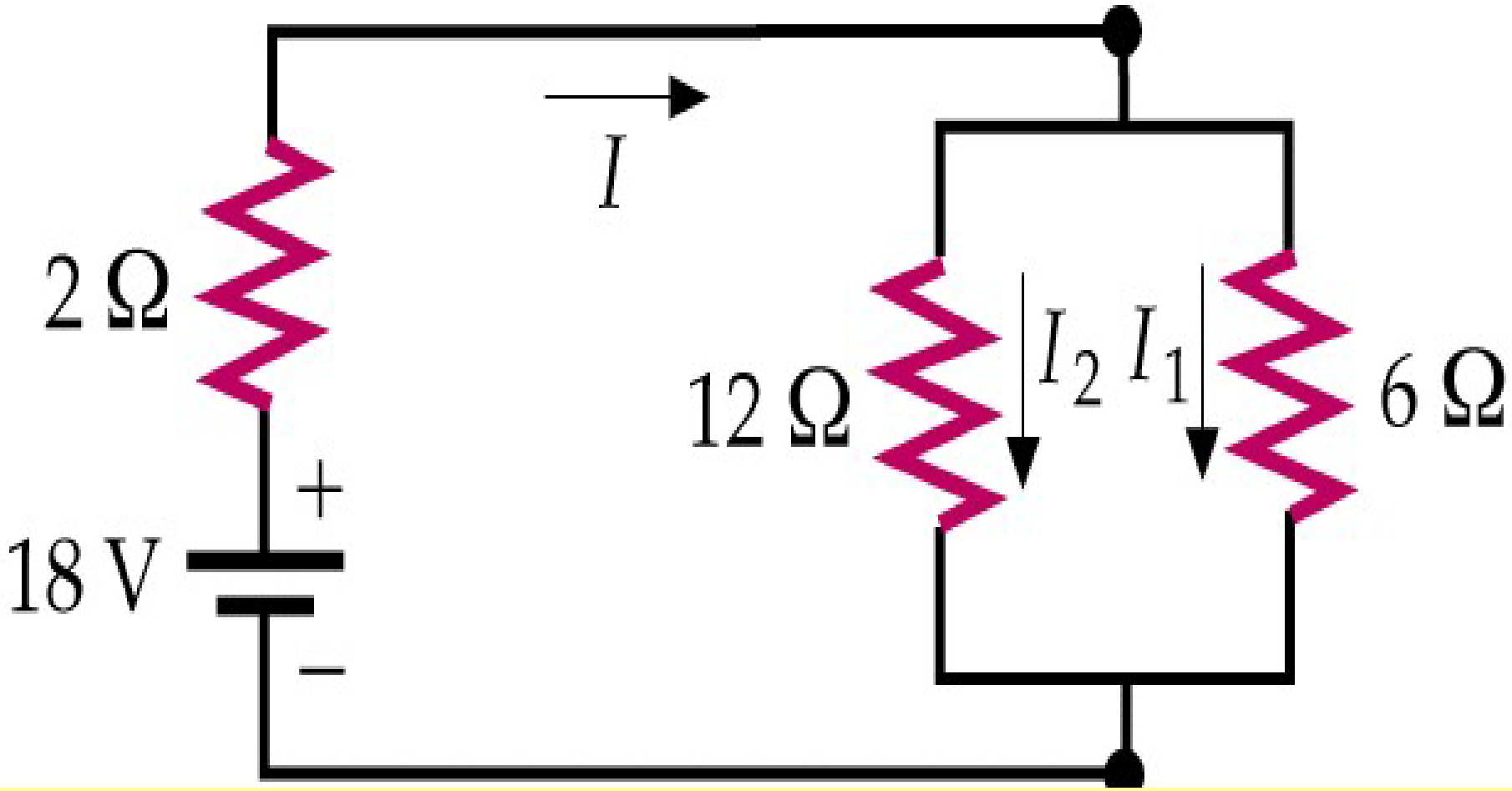
$$R = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)} \quad \Longleftrightarrow$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

キルヒホッフの法則

・任意の分岐点に流入する電流の和
→
＝任意の分岐点から流出する電流の和
である

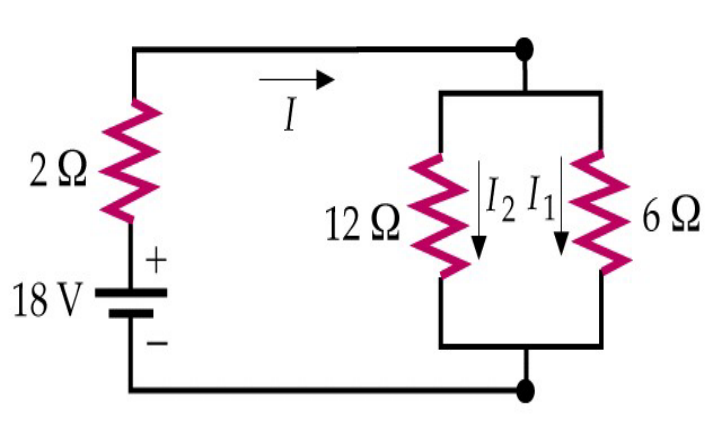
・任意のループを一巡するとき
電位差の代数和はゼロとなる。



電流Iと回路の全抵抗は？

①抵抗を合成して求める。

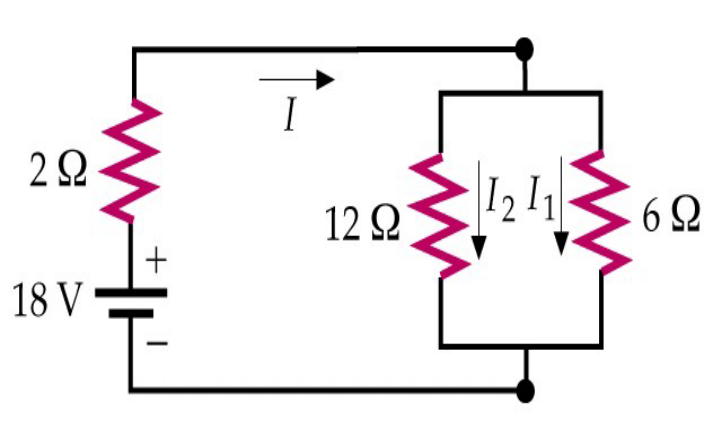
②キルヒホッフの法則から求める。



$$I = I_1 + I_2$$

$$18 = 2I + 12I_2$$

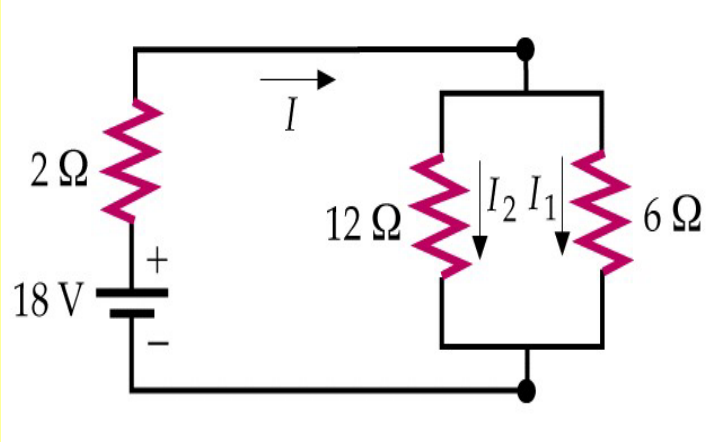
$$18 = 2I + 6I_1$$



$$I = I_1 + I_2$$

$$18 = 2I + 12I_2$$

$$6I_1 - 12I_2 = 0$$



$$6I_1 - 12I_2 = 0$$

$$I_1 = 2I_2$$

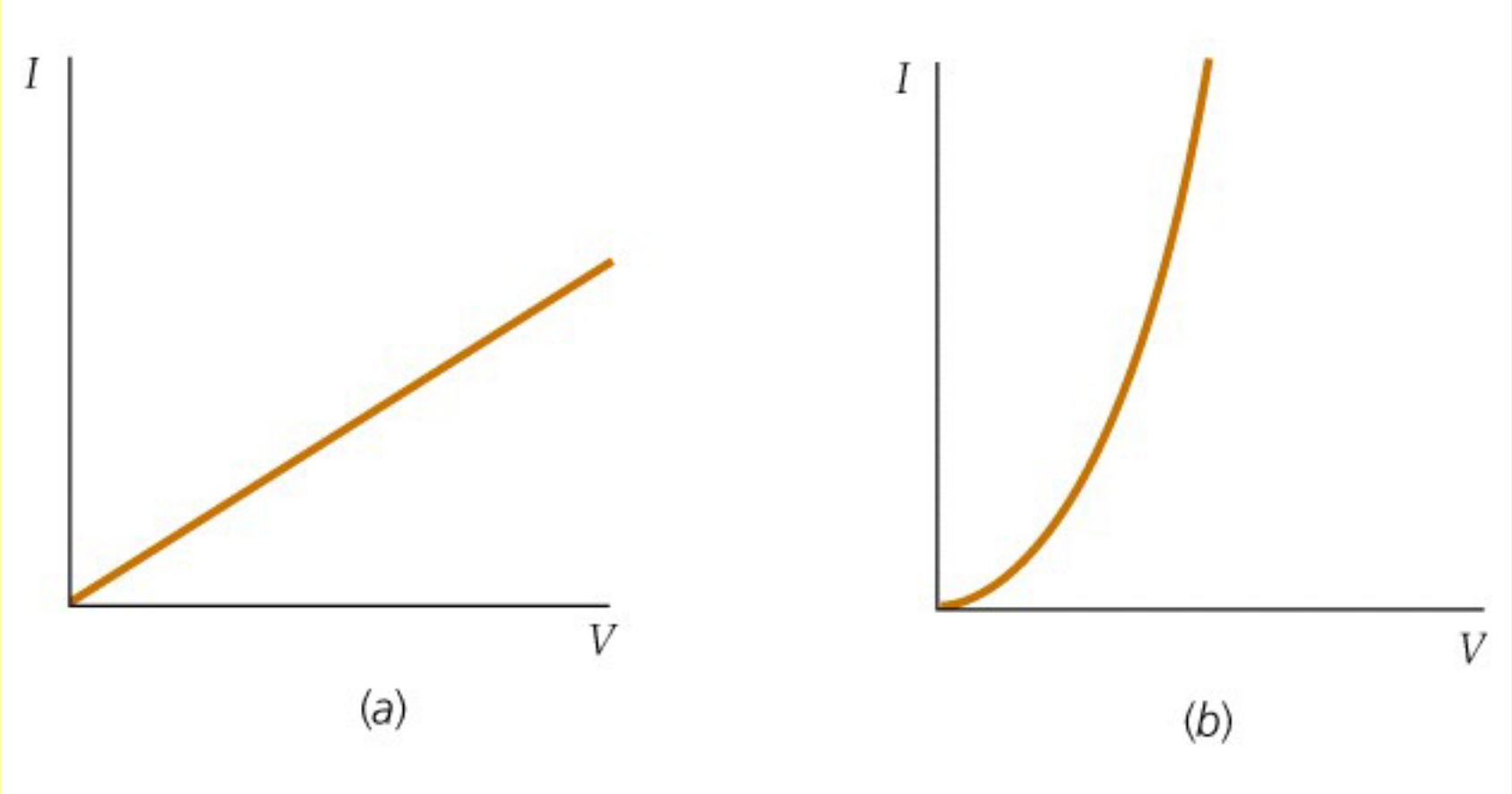
$$I = I_1 + I_2$$

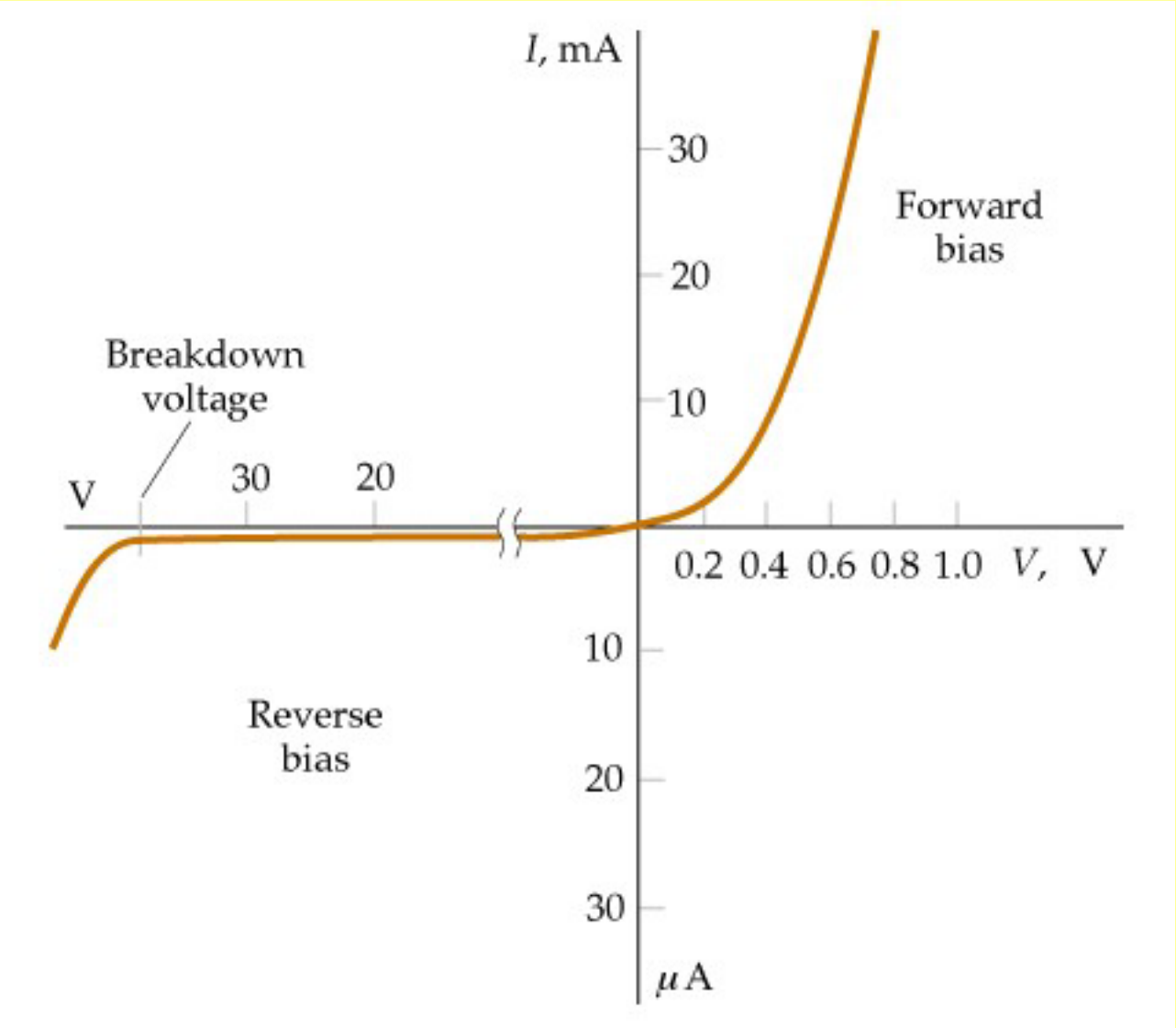
$$I = 3I_2$$

$$2I + 12I_2 = 18$$

$$18I_2 = 18$$

$$\therefore I_2 = 1$$


I
V
(a)
I
V
(b)


I, mA
30
20
10
Forward
bias
Breakdown
voltage
V
30
20
0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 V, V
10
Reverse
bias
20
30
μA