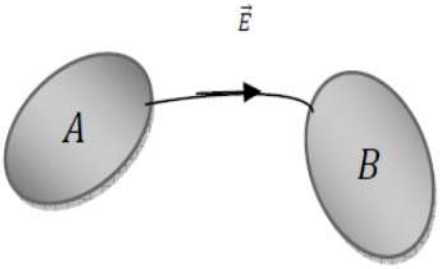
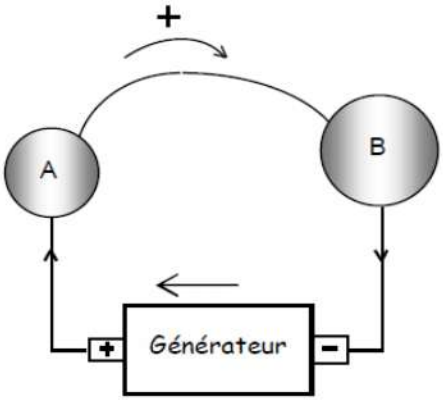
الفصل الثالث : الكهرباء المتحركة

1. التيار الكهربائي:



- عند توصيل ناقلين A و B لهما كمونين مختلفين V_A و V_B على الترتيب (بفرض $V_A > V_B$) بسلك، يتولد حقل كهربائي داخل السلك محدثا انتقالًا للشحنات من الناقل A إلى الناقل B ، فيظهر تيار كهربائي مؤقت ينتهي بمجرد وصول الناقلين إلى حالة التوازن الكهروستاتيكي (تساوي الكمونيين). يسمى بالتيار اللحظي.



- للحفاظ على حالة عدم توازن دائمة بين الناقلين ينبغي تطبيق قوى خارجية تقوم بالمحافظة على فرق ثابت في الكمون. وهذا يكون باستخدام مولد جهد وعندئذ يمكن الحصول على تيار مستمر.

مولد الجهد لا يخلق الشحنات بل يقوم فقط بنقلها من B إلى A.

2. الاتجاه الاصطلاحي للتيار:

في الحالة العامة يوجد انتقال للشحنات الموجبة والسالبة معا. وقد اصطلح تاريخيا على أن اتجاه التيار في الناقل هو جهة انتقال الشحنات الموجبة. وبما أن هذه الأخيرة تنتقل في اتجاه الحقل، والحقل يتجه من الكمونات العالية نحو الكمونات المنخفضة، فإن اتجاه التيار يكون نحو الكمونات المنخفضة. أي حركة الشحنات الموجبة من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل المولد، و من القطب الموجب إلى القطب السالب خارج المولد.

3. شدة التيار الكهربائي:

شدة التيار الكهربائي تساوي كمية الشحنة التي تعبر المقطع S من الناقل خلال واحدة الزمن dt.

نكتب:

$$\boxed{I = \frac{dq}{dt}}$$

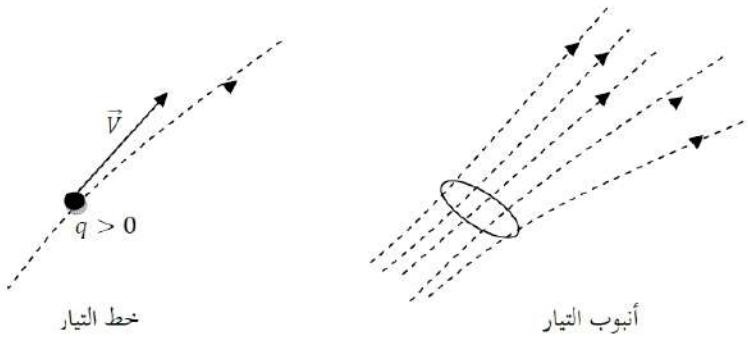
وحدة التيار في النظام الدولي SI هي: الامبير $\mathrm{A} = \frac{C}{S}$

الامبير هي شدة التيار المكافئ لمرور شحنة كهربائية قدرها $1C$ عبر سطح S خلال مدة 1 s.

- إذا كانت النسبة $\frac{dq}{dt}$ ثابتة (مستقلة عن الزمن) سمي "تيارا مستمرا"، رمزه I
- إذا كانت النسبة $\frac{dq}{dt}$ متغيرة مع الزمن سمي "تيارا متغيرا"، رمزه $i(t)$
- وإذا غير التيار $i(t)$ جهته بصفة دورية (دالة جيبية مثلا) سمي "تيارا متناوبا".

4. **خط التيار:** هو المسار الموجه الذي ترسمه كل شحنة موجبة أثناء حركتها.

نسمي أنبوب التيار حزمة من خطوط التيار.



5. **شعاع كثافة التيار**:

هو مفهوم يعبر عن التيار الكهربائي في كل نقطة من الناقل، ويترجم كيفية توزع التيار داخله، يميز بشعاع $\vec{J}$ له جهة التيار I (جهة حركة الشحنات الموجبة) ويكون مماسي لخطوط التيار، وطويلته تساوي شدة التيار التي تعبر واحدة السطح من المقطع العمودي على خط التيار.

نكتب:

$$\boxed{\vec{J} = \frac{dI}{d\vec{S}}}$$

dI هي شدة التيار الكهربائي المارة عبر السطح العنصري $d\vec{S}$

$\vec{J}$ هي كثافة التيار في نقطة M. يتغير مقدارا و اتجاها من نقطة إلى أخرى في الناقل.

وحدة $\vec{J}$ في النظام الدولي للوحدات هي A/m^2.

من أجل ناقل مقطعه S يكون لدينا:

$$\boxed{I = \int_S \vec{J}.d\vec{S}}$$

$d\vec{S}$ هو السطح العنصري الموجه للمقطع S.

نعتبر ناقلا اسطوانيا مقطعه dS، يسري خلاله تيار شدته dI، ليكن $\vec{v}$ السرعة المتوسطة للشحنات و ρ كثافتها الحجمية (عدد الشحنات q المتحركة و المحصورة داخل واحدة الحجم).

كمية الشحنة dq التي تعبر dS خلال المدة الزمنية dt هي تشغل الحجم $dV = vdtdS$

ومنه :

$$dq = \rho dV = \rho dSvdt \quad \rightarrow \quad dI = \frac{dq}{dt} = \rho dSv$$

$$J = \frac{dI}{dS} = \rho v$$

نكتب بصفة عامة

$$\vec{J} = \frac{dI}{d\vec{S}} = \rho\vec{v}$$

فإذا كان n عدد الشحنات الحرة في واحدة الحجم و q قيمة كل شحنة حرة فإن: $\rho = nq$

عندئذ نكتب

$$\vec{J} = \frac{dI}{d\vec{S}} = nq\vec{v}$$

يتعلق شعاع كثافة التيار بالكثافة المحلية للشحنات الحرة و سرعة انتقال الشحنات.

مثال:

الكتل المولية الذرية للنحاس تساوي $63.5g/mol$ وكتلته الحجمية $8.95\ \mathrm{g}/cm^3$

1- أحسب عدد الذرات في وحدة الحجم.

2- سلك نحاس له مساحة مقطع عرضي $3.31.10^{-6}m^2$ فإذا كان يحمل تيارًا مقداره $10A$ وبفرض أن كل ذرة نحاس تساهم بإلكترون حر واحد للتيار. أحسب كثافة التيار الكهربائي.

3- استنتج السرعة المتوسطة لحاملات الشحنة الإلكترونات داخل البلور.

الاجابة

1- حساب عدد الذرات في $1m^3$ من النحاس

$$1m^3 \rightarrow 8.95.10^6 g$$

$$63.5g \rightarrow 6.02.10^{23} Atomes$$

$$8.95.10^6 g \rightarrow \quad n \quad Atomes$$

وعليه يكون

$$n = \frac{8.95.10^6 \times 6.02.10^{23}}{63.5} = 8.5\,.10^{28} Atomes/m^3$$

2- حساب كثافة التيار: باعتبار أن $\vec{J}//\vec{S}$

$$I = \int \vec{J}\, d\vec{S} = J.S \rightarrow J = \frac{I}{S} = \frac{10}{3.31.10^{-6}} = 3.10^6\ A/m^2$$

3- السرعة المتوسطة v

$$J = nqv \rightarrow v = \frac{J}{nq}$$

حيث: n هو عدد الشحنات الحرة في واحدة الحجم و q قيمة كل شحنة.

بمأن كل ذرة نحاس تساهم بإلكترون حر واحد للتيار فإن عدد الشحنات الحرة = عدد الذرات، وقيمة كل شحنة تساوي شحنة الالكترون أي $q = e$

ومنه

$$v = \frac{J}{nq} = \frac{3.10^6}{8.5\,.10^{28} \times 1.6.10^{-19}} = 22.05.10^{-5} m/s$$

6. **قانون أوم:**

أ- **الصيغة العامة لقانون أوم**: نسبة فرق الكمون بين نقطتين A و B من ناقل معدني متجانس موجود عند درجة حرارة ثابتة، على التيار الكهربائي I الذي يجتازه تكون ثابتة، و يسمي هذا الثابت بالمقاومة الكهربائية (résistance électrique) للناقل بين النقطتين A و B ويرمز لها ب R

$$\boxed{R = \frac{V_A - V_B}{I} = \frac{V}{I}}$$

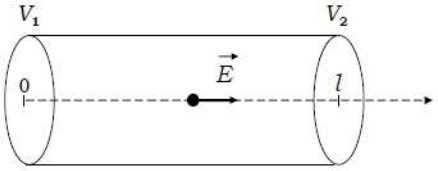
وحدتها في النظام الدولي الأوم: $(V/A = \Omega)$، الأوم هو مقاومة ناقل يمر عبره تيار قيمته واحد أمبير عندما يظهر بين طرفيه فرق كمون مقداره 1 فولط.

قانون أوم صالح من أجل كل المعادن الاعتيادية أو المألوفة، وتدعى النواقل الأومية.

ب - **الصيغة المحلية لقانون أوم**:

ناقل معدني أسطواني طوله l ومساحة مقطعه S يطبق فرق كمون V بين طرفيه فينشأ حقل كهربائي منتظم $\vec{E}$ في كل نقطة من الناقل. حيث

$$dV = -\vec{E}.d\vec{l}$$



$\vec{E}$ ، $d\vec{l}$ هما على التوازي ومنه:

$$\int_{V_1}^{V_2} dV = \int_0^l -\vec{E}.d\vec{l} = -\mathrm{E}\int_0^l dl$$

$$V = V_2 - V_1 = E.l$$

فرق الكمون V ينشأ تيارا كهربائيا Iعبارته حسب قانون أوم

$$V = R.I$$

ولدينا

$$I = J.S$$

فيكون

$$V = E.l = R.J.S$$

نحصل على عبارة جديدة لكثافة التيار بدلالة الحقل الكهربائي:

$$J = \left[\frac{l}{R.S}\right] E = \sigma E$$

وبصفة عامة يمكن أن نكتب

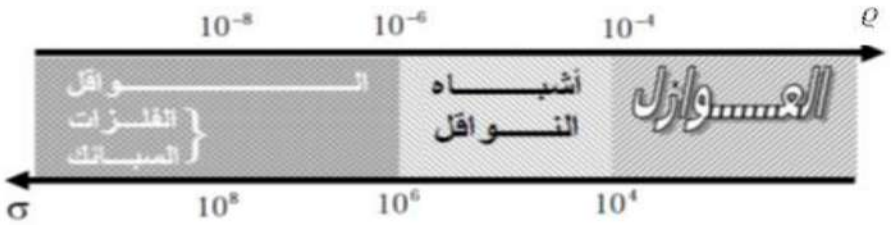
$$\boxed{\vec{J} = \sigma\vec{E}}$$

وهي تدعى الصيغة المحلية لقانون أوم

حيث: $\sigma = \frac{}{R.S}$ تدعى بالناقلية ووحدتها $\left(\Omega^{-1}m^{-1}\right)$.

يميز الوسط عادة بالمقاومية ϱ وهي مقلوب الناقلية $\varrho = \frac{1}{\sigma}$ وحدتها(Ωm) وهي مقدار يتعلق بطبيعة المادة ودرجة الحرارة.

يبين المخطط التالي تصنيفا عاما للمواد حسب تغير الناقلية/المقاومية.



مثال:

سلك ناقل طوله 1 m ونصف قطره 1 mm ، نطبق بين طرفيه فرق كمون قدره 2 volt والمطلوب حساب :

1) مقاومة الناقل، علماً أن المقاومة النوعية لمادة السلك $1.6 \text{ X } 10^{-8}\ \Omega.\text{m}$.
2) شدة التيار المار في الناقل.
3) شدة الحقل الكهربائي داخل الناقل والقوة المؤثرة على الإلكترون.

الحل:

1)تحسب مقاومة الناقل من العلاقة:

$$R = \rho\frac{\ell}{s} = \rho\frac{\ell}{\pi r^2} = \frac{1.6\ X\ 10^{-8}\ X\ 1}{\pi 10^{-6}} = 5\ X\ 10^{-3}\Omega$$

2)شدة التيار تحسب من العلاقة:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2}{5\ X\ 10^{-3}} = 400\ A$$

3)الحقل الكهربائي داخل السلك:

$$E = \frac{V}{\ell} = \frac{2}{1} = 2\ \frac{v}{m}$$

أما القوة المؤثرة على الإلكترون:

$$F = q\ E = e\ E = 1.6\ X\ 10^{-19}\ X\ 2 = 3.2\ X\ 10^{-19}\ N$$