# الكهرباء و المغناطسية(Electricity& Magnetism)

## 1.الكهرباء الساكنة(Electrostatic)

الكهرباء الساكنة هي دراسة الظواهر الناتجة عن الشحنات الكهربائية في حالة السكون.

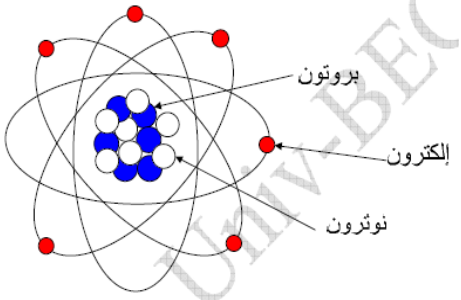
هناك العديد من التجارب العملية البسيطة التي يمكن من خلالها البرهنة على وجود القوة الكهربائية الساكنة منها على سبيل المثال عند دلك مشط ( comb) الإنسان أو الحيوان فإننا نلاحظ عند تقريب هذا المشط من قصاصات ورق أن هذه القصاصات تنجذب إلى المشط كما هو موضح بالشكل التالي:

و بالمثل عرف الإنسان المغناطيسية الطبيعية، و أن هناك حجارة معينة تلتقط قطع الحديد إذا اقتربت منها. ولذلك يمكن القول بان القوة الكهرومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة تعتبر واحدة من أساسيات القوة في الطبيعة.

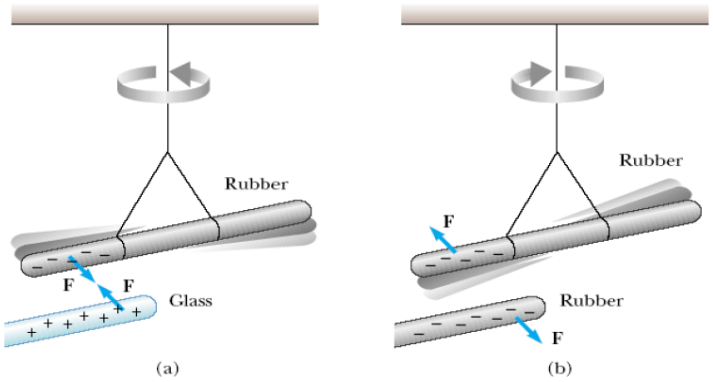
## الشحنة و المادة(Charge and Matter)

تتكون المادة من ذرات، و تتكون الذرات بدورها من إلكترونات و بروتونات و نيوترونات . و لكل من هذه الجسيمات خواصها المميزة. و من خواص هذه الجسيمات خاصية الشحنة (charge)، و يرمز لها بالرمز q أو Q، و تقاس بالكولوم (Coulomb) و يرمز للكولوم بالرمز C . و مثلما تمكن خاصية الكتلة للأجسام من جذب بعضها بعضاً (كالجذب المتبادل بين الأرض و القمر)، فإن خاصية الشحنة للمادة تمكن الأجسام من التأثير بعضها على بعض. و على عكس خاصية الكتلة، التي تكون موجبة عادة، فإن الشحنة قد تكون سالبة و قد تكون موجبة، و بالتالي فإن القوة الناتجة عن وجود خاصية الشحنة في المادة قد تكون قوة جذب أو قوى تنافر.ومن هنا يمكن استنتاج قاعدة التجاذب والتنافر التي نصها :

**تتجاذب الشحنات المختلفة وتتنافر الشحنات المتشابهة**




كما هو موضح بالشكل التالي:




و من الأمثلة على بعض الشحنات الأساسية الهامة التي سنتعامل معها في كثير من المسائل، هي شحنة الإلكترون(e) و مقداراها $1.6 \times 10^{-16}$ كولوم. و هي أصغر مقدار للشحنة في الكون و تكون شحنات الجسيمات الأولية إما صفر مثل النيترونات أو أعدادً صحيحة لشحنة الإلكترون. أي على شكل Ne حيث N عدد صحيح.

$$q = \pm n.e \quad [A.s = C] \, , n \in N$$

| Particle | Symbol | Charge | Mass |
|---|---|---|---|
| Proton | $p$ | $1.6 \times 10^{-19}$C | $1.67 \times 10^{-27}$K |
| Neutron | $n$ | 0 | $1.67 \times 10^{-27}$K |
| Electron | $e$ | $-1.6 \times 10^{-19}$C | $1.67 \times 10^{-31}$K |

القوى الكهربائية المطبقة بين البروتونات المشحونة إيجابا و الالكترونات المشحونة سلبا هي المسؤولة عن تماسك الذرات و الجزيئات.

مثال1: أحسب عدد الشحنات الأساسية المشكلة لشحنة مقدارها 1C؟

**الجواب:** $n = \frac{1}{1,60.10^{-19}}$ **و منه** $n = 625.10^{16}$ شحنة أساسية.

## تصنيف المواد:

تقسم المواد المختلفة إلى ثلاثة أصناف، و ذلك حسب سماحيتها للشحنات بالحركة خلالها:

### 1. الموصلات (Conductors)

و هي المواد التي تسمح للشحنات بالحركة خلالها، و ذلك تحت تأثير قوة خارجية. و من الأمثلة عليها: جميع المعادن كالنحاس، و الحديد و الذهب ... ، و جميع محاليل الأملاح كمحلول الطعام و محلول كبريتات النحاس...

### 2. العازلات (Insulators)

و هي المواد التي لا تسمح، عندما تكون نقية، للشحنات بالحركة خلالها، ومن الأمثلة عليها، الزجاج و المطاط و الخشب.

## 3. شبه الموصلات (Semiconductors)

و هي المواد المتوسطة، بين العازلات و الموصلات، في سماحيتها للشحنات بالحركة من خلالها. و من الأمثلة عليها : السيليكون و الجرمانيوم. و يمكن إضافة بعض الشوائب كالبورون أو الفوسفور إلى شبه الموصلات لزيادة توصيلها.

### 4/ تفسير ظاهرة التكهرب (Explication du phénomène d'électrisation)

كما سبق و أن ذكرنا فإن ذرّات المواد تحتوي في حالتها الطبيعية على عدد متساو من الإلكترونات و البروتونات فتكون معتدلة كهربائيا **(غير مشحونة)** ، و لا تظهر أي تأثيرات كهربائية. أما إذا اختلّ هذا التوازن الطبيعي للشحنات– كأن يزداد عدد الإلكترونات أو ينقص لسبب من الأسباب–تصبح المادة مشحونة كهربائيا.

بصورة عامة ، تفسر كل ظواهر التكهرب بانتقال الإلكترونات مع إهمال تغير الكتلة الذي يرافق عملية الانتقال.

فمثلا، الزجاج المدلوك يفقد إلكترونات فيتكهرب إيجابا. أما البلاستيك المدلوك يكتسب إلكترونات فيتكهرب سلبا.

### قانون كولوم

أجرى العالم الفرنسي كولوم في عام 1785 م دراسة تتعلق بالقوى الكهربية بين الشحنات. وقد استعمل شحنتين متشابهتين حرتين الحركة فوجد أن الشحنتين تبتعد عن بعضهما مسافة معينة. أعاد التجربة وجعل أحد الشحنتين نصف الأخرى من حيث القيمة فوجد أن المسافة تقل عن الحالة الأولى. ونتيجة هذه التجارب استنتج كولوم بالتجربة أن القوة بين شحنتين نقطيتين مثل $q_2$ و $q_1$ تتناسب طردياً مع قيمة كل من الشحنتين و عكسياً مع مربع المسافة بينهما $r_{12}$ . أي يمكن كتابة القوة المتبادلة بين الشحنتين على النحو التالي:

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

حيثK مقدار ثابت يعتمد على نوع الوسط المحيط بالشحنتين و يساوي في حالة الفراغ

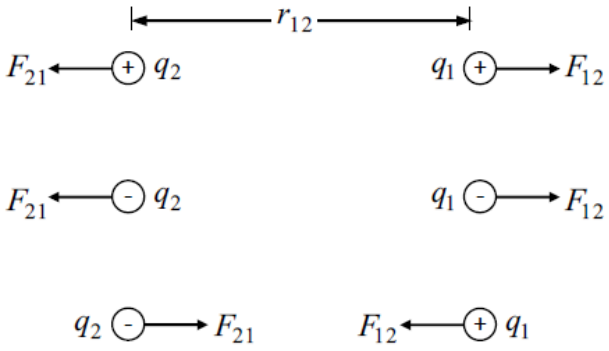
$$K = 8{,}9875.10^{+9}\ \left[\frac{Nm^2}{C^2}\right] \quad \text{نأخذ عمليا} \quad K = 9.10^{+9}\ \left[Nm^2C^{-2}\right]$$

و منه فإن $\varepsilon_0$ تأخذ القيمة $\varepsilon_0 = 8{,}8542.10^{-12}\ \left[\frac{C^2}{N.m^2}\right]$ (5.1)

توجد عبارة أخرى لحساب $\varepsilon_0$ و هي: $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi c^2}$ حيث $c$ يمثل سرعة انتشار الضوء في الفراغ $c = 3.10^8 ms^{-1}$.

حيث يمثل $\varepsilon_0$ ثابت نفاذية الفراغ للتأثير الكهربائي.

عندما تكون الشحنتين متشابهتين (موجبة- موجبة أو سالبة – سالبة) تكون القوة بينهما قوى تنافر. وإذا كانت الشحنتين مختلفتين (موجبة – سالبة) تكون القوة بينهما قوى تجاذب كما هو موضح بالشكل التالي:




**مناقشة:**

إذا كان :

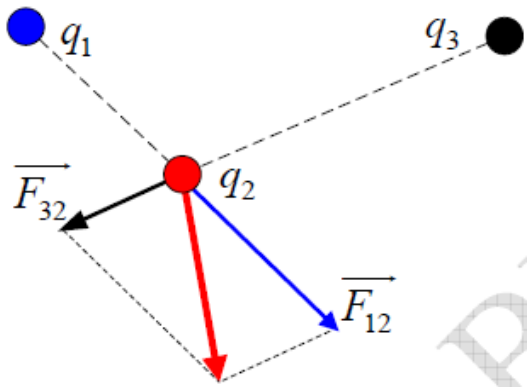
$q_1.q_2 \succ 0$ :الشحنتان لهما نفس الإشارة $\Leftarrow$ تنافر ، $\overrightarrow{F_e}$ تباعد الشحنتين ،

$q_1.q_2 \prec 0$ :الشحنتان مختلفتا الإشارة $\Leftarrow$ تجاذب ، $\overrightarrow{F_e}$ تقارب الشحنتين.

و حسب مبدإ الفعل و رد الفعل فإن $\overrightarrow{F}_{q_1} = -\overrightarrow{F}_{q_2}$.

**ملاحظة:**

قانون كولوم ينطبق على الشحنات النقطية (point charges) فقط ، (تعرف الشحنة النقطية بأنها تلك الشحنة التي يمكن إهمال أبعادها (أو حجمها) إذا قورنت بالمسافة بينها و بين شحنات أخرى). أما إذا كان هناك مجموعة من الشحنات النقطية ($q_1$, $q_2$, $q_3$, $q_4$) يؤثر بعضها على بعض، فإن القوة الكلية التي تؤثر على تعطى بجمع متجهات القوى بين الشحنة هذه و كل من الشحنات (مبدأ التراكب)




$$\overrightarrow{F_2} = \overrightarrow{F_{12}} + \overrightarrow{F_{32}}$$

# الحقل الكهربائي( The Electric Field)

كون شحنتين متجاورتين تتأثران بقوتي تجاذب أو تنافر ، يجرنا لاعتبار كل شحنة كهربائية تغيّر الخصائص الفيزيائية للمجال الفضائي المحيط بها. لوصف هذا التغيّر فإننا نقول أن كل شحنة كهربائية تولّد في المجال الفضائي من حولها **حقلا كهربائيا**.

## مفهوم الحقل الكهربائي

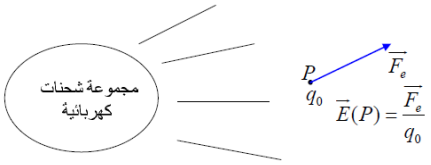
**تعريف كيفي:** نقول أنه يوجد حقل كهربائي في نقطة معينة من الفضاء إذا أثرت قوة $\vec{F}_e$ كهروساكنة على شحنة نقطية $q_0$ موضوعة في تلك النقطة.

**تعريف كمي:** نسمي الحقل الكهروساكن $\vec{E}$ ، النسبة بين القوة الكهروساكنة $\overrightarrow{F_e}$ و الشحنة الكهربائية $q_0$ المتأثرة بالقوة $\overrightarrow{F_e}$

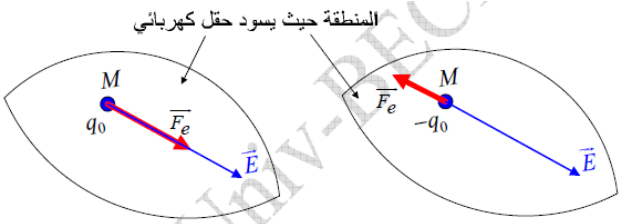
$$\vec{E} = \frac{\overrightarrow{F_e}}{q_0}$$

في الجملة الدولية للوحدات نعبر عن الحقل الكهربائي بالفولط على المتر $Vm^{-1}$.

بما أن $\vec{E}(M) = \frac{\vec{F}_e}{q_0}$ فإن $\vec{E}(M)$ و $\vec{F}_e$ لهما نفس الحامل. أما الاتجاه في هذه الحالة فيتعلق بإشارة $q_0$ أي بالشحنة المتأثرة بالقوة $\vec{F}_e$ . الشكل10.1




الشكل: الحقل الكهربائي في نقطة من الفضاء




الشكل: الحقل الكهربائي الناتج عن شحنة

## 2/ الحقل الكهروساكن الناتج عن شحنة نقطية:

(Champ électrostatique crée par une charge ponctuelle)

**تعريف**: إذا وجدت جسيمة شحنتها $q$ في النقطة $O$ فإنها تولد في كل نقطة $M$ من الفضاء المحيط بها حقلا شعاعيا يسمى الحقل الكهروساكن المعبر عنه بالعبارة:

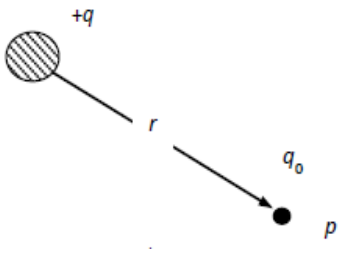
$$\vec{E}(M)=\frac{\vec{F_e}}{q_M}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q}{r^2}\vec{u} \qquad (7.1)$$

$q$: الشحنة **الموجودة** في النقطة $O$.

$q_M$: شحنة افتراضية موضوعة في النقطة $M$ (ليس لها أي تأثير في حساب الحقل الكهربائي) و هي **المتأثرة** بالقوة $\vec{F}_e$.

ولإيجاد الحقل الكهربائي Eالناتج عن شحنة نقطية q عند نقطة O تبعد عن الشحنة مسافة r .

نفترض وجود شحنة اختبار موجبة صغيرة مثل $q_0$ في النقطة. ثم نحسب القوة التي تؤثر بها الشحنة qشحنة الاختبار$q_0$ و أخيراً نقسم القوة F على $q_0$لإيجاد قيمة E .



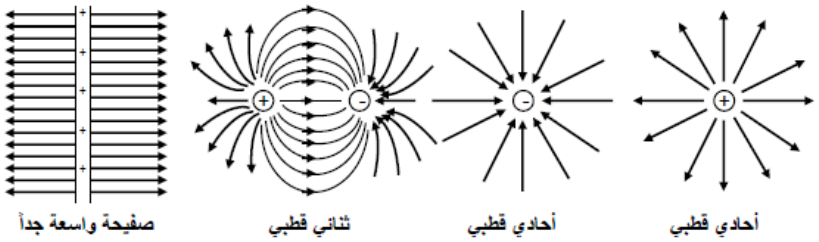

$$F=K\frac{q\,q_0}{r^2}$$

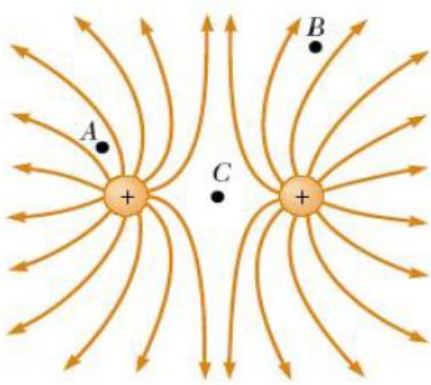
بتعويض F نجد:

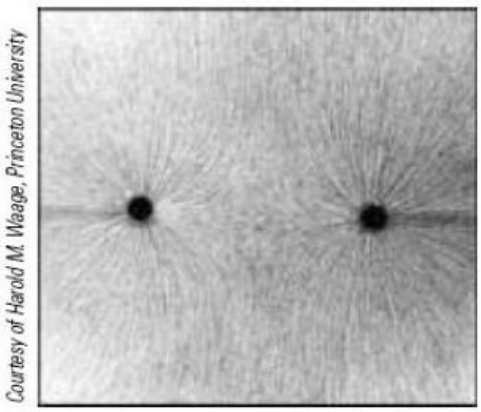
$$E=\frac{F}{q_0}=K\frac{q}{r^2}$$

و نلاحظ من هذه المعادلة أن المجال $E$ لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار $q_0$، و إنما يعتمد على الشحنة $q$ (مصدر المجال)، و على المسافة $r$ (التي تحدد مكان النقطة المراد حساب المجال عندها). و بينما يكون اتجاه المجال $E$ الناتج عن شحنة موجبة هو اتجاه $r$ (مثل اتجاه القوة $F$) يكون اتجاه المجال $E$ الناتج عن شحنة سالبة يكون عكس اتجاه $r$.

ويعرف اتجاه الحقل الكهربائي على أنه اتجاه القوى المؤثرة على شحنة الاختبار الموجبة كما يسمى مسار هذه الحركة بخط القوة الكهربائية Line of force وهى خطوط وهمية تستخدم لوصف المجال الكهربي مقداراً واتجاهاً. ويمثل الشكل التالي بعض خطوط القوى حول شحنة موجبة حيث نرى أن خطوط القوى تبدأ منها أى تكون أتجاه الخطوط خارج من الشحنة الموجبة .وكذلك حول الشحنة السالبة حيث تكون اتجاه خطوط القوى متجهة إلى الشحنة السالبة.




وفي حالة صفيحة طويلة منتظمة الشكل مشحونة بشحنة موجبة فإن خطوط القوى تكون متعامدة على مستوى الصفيحة ومتوازية مع بعضها البعض وتكون قيمة الحقل E واحدة لكل النقاط القريبة من الصفيحة.

وفي حالة شحنتين موجبة وسالبة يكون الحقل عند أي نقطة محصلة المجالين الناشئين عن الشحنتين واتجاه يمثل المماس لخط القوى الكهربائية.

و باختصار فإن الحقل الكهربائي المتولد عن شحنة نقطية يكون:
- قطريا : حامله يمر من الشحنة،
- موجها نحو الخارج إذا كانت $q \succ 0$ ،
- موجها نحو الداخل إذا كانت $q \prec 0$ ،
- شدته

$$E(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{|q|}{r^2} \quad (8.1)$$

### 3/ الحقل الكهربائي الناتج عن عدة شحنات نقطية:

(Champ électrique crée par un ensemble de charges ponctuelles)

إذا كان لدينا الآن $n$ جسيمة شحنها الكهربائية $q_i$ ، الواقعة في النقاط $P_i$ ، فما هو الحقل الكهروساكن المتولد عن هذه المجموعة من الشحن في نقطة $M$ ؟

فكما هو الشأن بالنسبة للقوى ، فإن مبدأ التراكب صالح كذلك بالنسبة للحقل الكهربائي.

( و بما أنه مبدأ فلا يمكن البرهنة عليه و إنما يجد صحته في التجربة).

و منه فإن:

$$\vec{E}(M) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q_i}{r_i^2}\vec{u}_i \quad (9.1)$$

## الكمون الكهربائي (Electric Potential)

### تجول حقل أشعة (circulation d'un champ de vecteurs)

نفترض جسيمة ما تنتقل من $A$ إلى $B$ بإتباع المسار المنحني $L$ داخل حقل للأشعة (قد يكون حقل الجاذبية أو حقلا كهربائيا أو حقلا مغناطيسيا...) و الذي نرمز إليه بـــ $\vec{V}$.

**تعريف:** نسمي **التكامل المنحني لحقل الأشعة** $\vec{V}$ من النقطة $A$ إلى النقطة $B$ على طول المسار $L$ العبارة:

$$\int_L \vec{V}.d\vec{l} = \int_A^B \vec{V}.d\vec{l} \qquad (16.1)$$

حيث $d\vec{l}$ هو شعاع الانتقال العنصري.

**ملاحظة:** في الحالة العامة التكامل المنحني يتعلق بالمسلك.

**تعريف:** إذا كان المسلك أو المسار عبارة عن منحني مغلق فإن التكامل المنحني يسمى **تجول حقل الأشعة** و يكتب على الشكل:

$$\text{Circulation de } \vec{V} = \oint \vec{V}.d\vec{l} = \vec{V} \text{ تجـــوّل}$$

### تجول الحقل الكهربائي

نعتبر منطقة من الفضاء يسود فيها حقل كهربائي. كل جسيمة $q_0$ تقع في هذا الحقل تخضع لقوة كهربائية:

$$\vec{F} = q_0.\vec{E} \quad (\vec{F} \text{ لها نفس اتجاه } \vec{E} \text{ إذا كانت } q_0 \succ 0) \qquad (18.1)$$

إذا لم تمسك هذه الشحنة فإنها ستنتقل في اتجاه $\vec{F}$. نفترض مجربا يريد نقل الشحنة $q_0$ وفق مسلك ما ببطء شديد. من أجل ذلك ، يجب أولا تطبيق قوة معاكسة مباشرة للقوة $\vec{F}$ لإبطال مفعولها ، ثم تطبيق قوة إضافية في اتجاه الانتقال المراد. في أقصى الحدود و للحصول على انتقال لا متناهي البطء، نعتبر أنه يكفي تطبيق قوة على $q_0$ لتعوض القوة الكهربائية مساوية لها. هذا يعني تطبيق القوة $\vec{F}_d = -q_0.\vec{E}$.

من أجل انتقال عنصري $d\vec{l}$ فإن العمل العنصري المناسب هو:

$$dW = \vec{F}_d.d\vec{l} \Rightarrow dW = -q_0\vec{E}.d\vec{l}$$

إذا أردنا نقل الشحنة $q_0$ وفق مسلك كيفي $AB$ ، يجب بذل عمل $W_{AB}$:

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F}_d.d\vec{l} \Rightarrow W_{AB} = -\int_A^B q_0.\vec{E}.d\vec{l} \Rightarrow W_{AB} = -q_0\int_A^B \vec{E}.d\vec{l} \qquad (19.1)$$

**تعريف:** التكامل $\int_A^B \vec{E}.d\vec{l}$ يسمى **تجول الحقل الكهربائي** على طول المنحنى من $A$ إلى $B$.

**حالة خاصة:** إذا كانت $|q_0| = 1C$ ، في هذه الحالة $W = \int_A^B \vec{E}.d\vec{l}$ و يسمى العمل المنجز في هذه الحالة **القوة المحركة الكهربائية** (Force électromotrice). و هكذا:

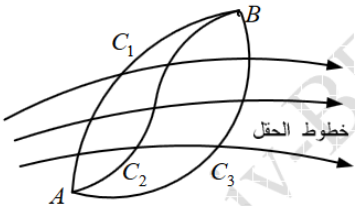
**تعريف:** القوة المحركة الكهربائية تساوي العمل المنجز لنقل شحنة الوحدة ($q = 1C$) على طول منحنى.

## الكمون الكهربائي

في المثال المجسد على الشكل 25.1 يكون لدينا:

$$\int_{C_1 \text{ المسلك}}^{A\ B} \vec{E}.d\vec{l} = \int_{C_2 \text{ المسلك}}^{A\ B} \vec{E}.d\vec{l} = \int_{C_3 \text{ المسلك}}^{A\ B} \vec{E}.d\vec{l} \qquad (20.1)$$

هذا يعني أن العمل اللازم لنقل الشحنة من النقطة $A$ إلى النقطة $B$ مستقل عن المسلك المتبع. عندما لا يتعلق تجول الحقل على طول منحنى بالمسلك، و لكن يتعلق فقط بنقطة الانطلاق و نقطة الوصول ، نقول عن هذا الحقل أنه **محافظ**. و هذا هو حال الحقل الكهروساكن.



**الشكل1:** العمل لا يتعلق بمسار الشحنة.

في العبارة (19.1) نضع : $\boxed{dV = -\vec{E}.d\vec{l}}$ (21.1)

$V$ هو مقدار سلمي يسمى **الكمون الكهربائي**. نقول في هذه الحالة أن الحقل الكهربائي $\vec{E}$ **مشتق من الكمون** $V$.

الطاقة اللازمة لنقل الشحنة $q_0$ بين النقطتين $B$ و $A$ هي إذن:

$$W_{AB} = -q_0 \int_A^B \vec{E}.d\vec{l} = q_0 \int_A^B dV = q_0 |V|_A^B = (V_B - V_A).q_0 \quad (22.1)$$

المقدار $V_B - V_A$ يسمى **التوتر أو فرق الكمون** بين النقطتين $B$ و $A$ و نرمز له بـــ $U_{BA}$ حيث:

$$U_{BA} = V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \quad (23.1)$$

و هذا ما يؤدي بنا إلى تعريف فرق الكمون:

**تعريف:** فرق الكمون $(U_{BA} = V_B - V_A)$ يساوي العمل الواجب تقديمه لشحنة الواحدة (قيمتها تساوي الواحدة) لنقلها من النقطة $A$ إلى النقطة $B$.

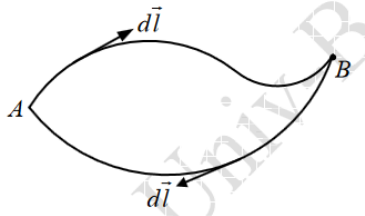
### 4/ تجول الحقل الكهربائي على طول منحنى مغلق:

إذا كان المنحنى المتبع من قبل الشحنة مغلقا، فكيف نبرهن أن تجول $\vec{E}$ معدوم؟

يكون الجواب سهلا إذا حددنا على هذا المنحنى $L$ المغلق نقطتين $A$ و $B$. الشكل26.1.

$$\oint_L \vec{E}.d\vec{l} = \int_A^B \vec{E}.d\vec{l} + \int_B^A \vec{E}.d\vec{l} \quad (24.1)$$

$$\oint_L \vec{E}.d\vec{l} = (V_A - V_B) + (V_B - V_A) = 0 \quad (25.1)$$




**الشكل2:** تجولE وفق منحنى مغلق.

**الخلاصة:** في الكهرباء الساكنة ، يكون تجول الحقل الكهربائي على طول كل منحنى مغلق معدوما.

$$\boxed{\oint_L \vec{E}.d\vec{l} = 0} \quad (26.1)$$

هذه النتيجة صحيحة دائما كلما كان **الحقل مشتق من كمون**.

### الكمون الكهربائي الناتج عن شحنة نقطية q:

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q}{r^2}$$

لحساب $V$ نحسب تجول $\vec{E}$ على طول نصف قطر ما:

لدينا

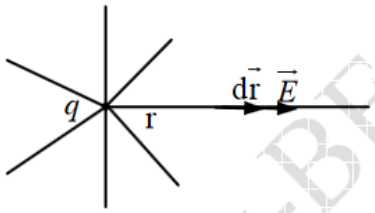
$$d\vec{l} \,||\, d\vec{r}$$

و بما أن

$$d\vec{r} \,||\, \vec{E}$$

فإن

$$\left.\begin{array}{l} dV = -\left(\vec{E}.d\vec{r}\right) \\ dV = -E.dr \end{array}\right| \Rightarrow dV = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{r^2}dr$$




**الشكل3:** تجول الحقل وفق القطر

ومنه $$V(r) = \int dV = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{1}{r^2}dr \Rightarrow \boxed{V(r) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{r} + C^{te}} \quad (29.1)$$

بافتراض $V = 0$ لما $r = \infty$ فإن $C^{te}=0$

في النهاية نصل إلى: $$\boxed{V(r) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{r}} \quad (30.1)$$

فرق الكمون بين كرتين نصفي قطريهما $r_1$ و $r_2$ يعطى بالعبارة:

$$\boxed{V_1 - V_2 = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}.\left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right]}$$

## حساب $\vec{E}$ من V :

**حالة خاصة:** نفترض أننا نبتعد عن $A$ في جهة $x$ ( و تبقى $y$ و $z$ ثابتتان). و عليه فإن $d\vec{l} = \vec{i}dx$ و منه $dV = -\left(\vec{E}.\vec{i}\right).dx$ أي:

$$\boxed{dV = -E_x.dx} \quad (32.1)$$

نتوصل في هذه الحالة الخاصة إلى أن:

$E_x = -\frac{dV}{dx}$ حيث $dV$ هو تغير $V$ عندما $y$ و $z$ تكونان ثابتتين و أن $x$ وحدها تتغير.

هذا الشرط في الإحداثيات يتطابق مع مفهوم **الاشتقاق الجزئي**. و عليه يمكن كتابة:

$$\boxed{E_x = -\frac{\partial V}{\partial x}} \quad (33.1)$$

بتكرار نفس التحليل من أجل $y$ و $z$ نجد:

$$\boxed{E_y = -\frac{\partial V}{\partial y}} \quad (34.1)$$

$$\boxed{E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}}$$

بما أننا في المعلم $O_{xyz}$ فإن:

$$\vec{E} = \overrightarrow{E_x} + \overrightarrow{E_y} + \overrightarrow{E_z} \Rightarrow \vec{E} = E_x\vec{i} + E_y\vec{j} + E_z\vec{k}$$

و عليه:

$$\vec{E} = \left[ -\frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} - \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j} - \frac{\partial V}{\partial z}\vec{k} \right] \Rightarrow \vec{E} = -\left[ \frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\vec{k} \right]$$

نتعرف في هذه العبارة على **مؤثر التدرج** و بالتالي فإن:

$$\vec{E} = -\overrightarrow{gradV} = -\left[ \frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\vec{k} \right]$$

$$\boxed{\vec{E} = -\overrightarrow{gradV}}$$

نفهم جيدا هنا العبارة "**الحقل الكهربائي** $\vec{E}$ **مشتق من الكمون** $V$" .

## الكمون الكهربائي الناتج عن عدة شحن كهربائية متفرقة:

بما أن $V$ مقدار سلمي فإن الكمون $V(M)$ في النقطة $M$ الناتج عن عدة شحن يعطى بالعبارة السلمية:

$$\boxed{V(M) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{q_i}{r_i}} \qquad (41.1)$$

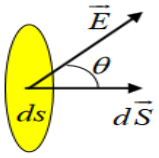
حيث $r_i$ هي المسافة بين $q_i$ و النقطة $M$ علما أن $q_i$ يمكن أن تكون موجبة أو سالبة و لذا لابد من أخذها بإشارتها(+ أو −).

## التدفق الكهربائي (نظرية غوص):

**تعريف:** نسمي تدفق الحقل الكهربائي عبر سطح المقدار:

$$\boxed{\Phi = \int \vec{E}.d\vec{S}}$$

$d\vec{S}$: شعاع السطح العنصري و هو دائما عمودي على السطح و موجه إلى خارج الحجم المحدود بالسطح.



إذا كانت الزاوية بين $\vec{E}$ و $d\vec{S}$ هي $\theta$ فإن:

$$\Phi = \oint_S E.dS.\cos\theta$$

وحدة التدفق الكهربائي هي **الويبر** $(weber\ Wb)$

## نظرية غوص:

تعبر نظرية غوص عن العلاقة بين التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق و عدد الشحنات المتواجدة داخل الحجم المحاط بهذا السطح.

**مثلا:** لتكن $q$ شحنة نقطية موجبة و التي تولد حقلا كهربائيا قطريا موجها نحو الخارج شدته $E(r) = K.\frac{q}{r^2}$.

نعتبر كسطح مغلق كرة مركزها الشحنة $q$.الشكل 31.1

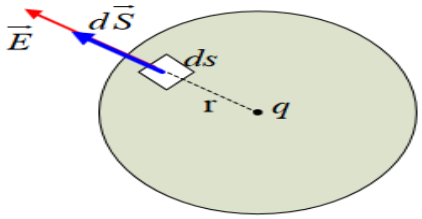
بما أننا في حالة كرة فإن كل الأشعة $d\vec{S}$ هي قطرية أي أن لها نفس حامل $\vec{E}$ و بالتالي فإن $(\vec{E}, d\vec{S}) = 0 \Rightarrow \cos 0 = 1$.

التدفق الكهربائي العنصري عبر سطح عنصري $dS$ هو:

$$d\Phi = \vec{E}.d\vec{S} = E.dS$$

بعملية تكاملية نحصل على:

$$\Phi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_S K.\frac{q}{r^2}.dS$$




و بما أن نصف قطر الكرة ثابت فإن :

$$\Phi = K.\frac{q}{r^2}\oint_S dS$$

يكفي التذكر بأن المساحة الكلية للكرة هي:

$$\oint_S dS = S = 4\pi r^2$$

و بالتعويض نجد:

$$\Phi = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

**النتيجة:** تدفق الحقل الكهربائي الصادر من كرة $(\forall r)$ يوجد في مركزها شحنة نقطية موجبة $(q \succ 0)$ يساوي $\frac{q}{\varepsilon_0}$.

في حالة $q \prec 0$ ، الحقل الكهربائي $\vec{E}$ موجه نحو مركز الكرة و التدفق الكهربائي $\Phi$ يكون سالبا لأن $(\vec{E}, d\vec{S}) = \pi \Rightarrow \cos\pi = -1$ .

**تعميم:** النتيجة المتوصل إليها بالحساب من أجل شحنة واحدة هي محققة في الحالة العامة. من أجل ذلك نعتبر سطحا مغلقا كيفيا يحتوي على $n$ شحنة $q_1 + q_2 + .....+ q_n$ (مهما كانت إشاراتها).

$$\Phi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \sum_{i=1}^{n} q_i . \frac{1}{\varepsilon_0} = \frac{Q_i}{\varepsilon_0} \qquad [Wb]$$

## نص نظرية غوص:

**النص:** التدفق لحقل كهربائي و العابر لسطح مغلق يساوي **المجموع الجبري** للشحنات المتواجدة **داخل** الحجم المحدود من قبل السطح ، تقسيم نفاذية الفراغ $\varepsilon_0$.

**الفائدة من هذا القانون:** يسمح هذا القانون بتسهيل حساب الحقل الكهربائي الناتج عن توزيع بسيط للشحنات.

# النواقل المتزنةُ(Equilibrium Conductors)

### تعريف النواقل المتزنة و خصائصها:

نذكر أولا أن الناقل الكهربائي (أو الموصل) هو كل جسم يمكن لحاملات الشحنة أن تتحرك (أي تنتقل) بداخله بحرية.

**تعريف:** نقول عن ناقل أنه في حالة توازن كهروساكن اذا كانت كل الشحنات المتواجدة بداخله ساكنة.

### خواص النواقل المتزنة:

- بما أن الشحنات داخل الناقل المتزن ساكنة. فهي لا تخضع لأية قوة, و هذا يعني أن الحقل الكهروساكن داخل الناقل المتزن معدوم.

$$\vec{F} = q\vec{E} = \vec{0} \Rightarrow \boxed{\vec{E} = \vec{0}}$$

- يتعامد شعاع الحقل الكهربائي مع سطح الناقل المتوازن: هذا راجع لكون خطوط الحقل مماسية لشعاع الحقل و هي متعامدة مع السطح.

☜ **يشكل الناقل المتوازن حجما لتساوي الكمون:** عرفنا أن فرق الكمون بين نقطتين $M$ و $M'$ معرف بالعلاقة $dV = -\vec{E}.d\vec{l}$ . و بما أن $\vec{E} = \vec{0}$ فهذا يعني أن الكمون ثابت في كل نقطة **داخل الناقل** المتوازن ، و بالتالي فإن السطح الخارجي للناقل هو سطح تساوي الكمون ، مما يؤكد تعامد شعاع الحقل الكهربائي مع سطح الناقل.

☜ **الشحنة داخل الناقل معدومة وتتموضع على سطح الناقل:** بالفعل و بما أن عدد البروتونات يساوي عدد الإلكترونات فإن الشحنة المجملة داخل الناقل معدومة. الشحنات الحرة الكلية تتوزع على سطح يشغل سمكا مكونا من بضعة طبقات من الذرات (و لا تعني كلمة السطح هنا ما يفهم من المعنى الهندسي). الشحنات الكهربائية المتحركة **تتراكم** على السطح حتى يصبح الحقل الذي تنتجه مساويا للحقل الخارجي المطبق على هذا السطح مما يؤدي إلى حالة التوازن.

-

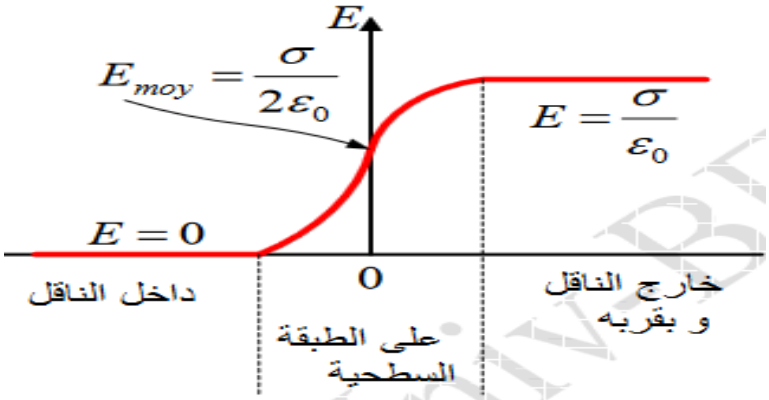
## نظرية كولومب:

**بجوار ناقل متوازن ، الحقل عمودي على سطح الناقل و عبارة شدّته هي** $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ .

$\sigma$ تمثل الكثافة السطحية للناقل.

تعطي هذه العبارة قيمة الحقل الكهربائي في نقطة مجاورة للسطح و بخارج الناقل ، بينما الحقل في الداخل معدوم. أما على السطح فإن الحقل يأخذ قيمة متوسطة $E_{moy}$ .

و نتيجة لهذا و عند عبور سطح الناقل ، فإن الحقل الكهربائي يتغير وفق ما هو مبين على الشكل1.2.




الشكل 1.2 : تغير الحقل الكهربائي عند عبور سطح الناقل

## السعة الذاتية لناقل منفرد في الفضاء:

**تعريف:** السعة الكهربائية لناقل معزول هي النسبة بين شحنته و كمونه.

$$\boxed{C = \frac{Q}{V}} \qquad (2.2)$$

**فمثلا** ، سعة ناقل كروي في الفراغ ، بما أن كمونه $V = K\frac{Q}{R}$ ، هي:

$$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\varepsilon_0 . R$$

إذا كان العازل المحيط بالناقل الكروي ليس الفراغ فإن $C = 4\pi\varepsilon . R$ حيث $\varepsilon$ هي سماحية العازل.

**توسيع:** يمكن توسيع مفهوم السعة إلى جملة نواقل. ففي حالة ناقلين يحملان شحنتين $+Q$ و $-Q$ و فرق الكمون بينهما $U = V_1 - V_2$ (الشكل 4.2) فإن سعة الجملة هي:

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{Q}{U}$$

ZA Univ-BECHAR

## المكثفات (Capacitors)

تتركب المكثفة من سطحين من مادة موصلة بينهما عازل. والمكثفة يعتبر من العناصر المهمة في تركيب الدوائر الكهربائية والالكترونية. وظيفة المكثفة في أي دارة كهربائية هي تخزين الشحنة الكهربائية.

سميت المكثفة بهذا الاسم لأنها تسمح بإبراز ظاهرة تكثيف الكهرباء ، أي تراكم الشحنات الكهربائية في منطقة صغيرة من الفضاء. كلما كانت السعة كبيرة كلما حصلنا على شحنات كهربائية كبيرة تحت توترات منخفضة.

## سعة المكثفة:

نعني بسعة المكثف (C) مقدرته على تخزين الشحنة الكهربية لوحدة الجهد (V)، أي أن:

$$\mathbf{C = \frac{Q}{V}}$$

تقاس السعة الكهربية للمكثف بوحدة تسمى الفاراد (F)، الذي يمثل النسبة بين الكولوم والفولت.

سطحا المكثف يحمل أحدهما شحنة (+ Q) والآخر شحنة ( – Q).

## أنواع المكثفات:

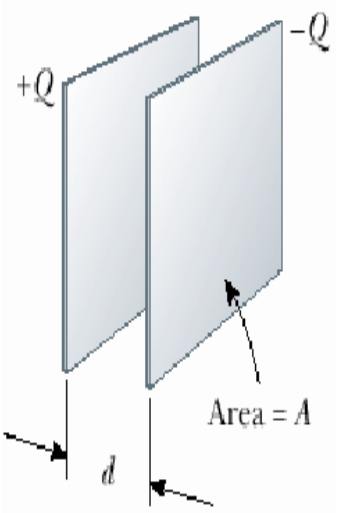
تصنف المكثفات أما وفقاً **لشكلها الهندسي** أو وفقاً **لنوع المادة العازلة** أو وفقاً **للقطبية**.

**أولاً: وفقاً لنوع العازل:** من أنواع المكثفات، وفقاً لهذا التصنيف، المكثف الهوائي والمكثف الورقي والمكثف البلاستيكي ومكثف المايكا وغيرها.

**ثانياً: وفقاً للقطبية:** تنقسم المكثفات حسب قطبيتها إلى نوعين هما المكثف المستقطب والمكثف غير المستقطب الذي ليس **له** قطب موجب وآخر سالب.

## ثالثا: حسب الشكل الهندسي:

- **المكثفة ذات اللوحين المتوازيين**




يتكون من لوحين معدنيين متوازيين تفصل بينهما مسافة صغيرة (d) مقارنة بأبعادهما. فإذا كانت مساحة اللوح الواحد (A) والشحنة على اللوح الأول (+Q) وعلى الآخر (−Q)، فإن شدة المجال الكهربي بين اللوحين، حسب قانون غاوس، تساوي:

$$E \cdot A = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 \cdot A}$$

لنحسب فرق الجهد (V) بين اللوحين:

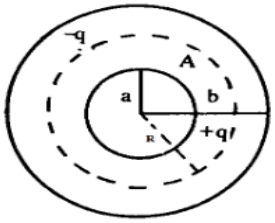
$$V = \int_0^d E.dx = \frac{Q}{\varepsilon_0 \cdot A} \cdot d$$

وعليه فإن سعة المكثف تساوي:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q \times \varepsilon_0 \times A}{Q \times d}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 \times A}{d}$$

## المكثفة الكروية:




المكثف الكروي هو عبارة عن موصلين كرويين متحدي المركز نصفي قطريهما الداخلي (a)، والخارجي (b). نتصور سطحاً مغلقاً نصف قطره (R) حيث (a > R > b) فيكون:

$$\int_0^{4\pi R^2} \mathbf{E}.d\mathbf{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$E(4\pi R^2) = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{Q}{R^2}$$

ما فرق الجهد بين الكرتين فهو:

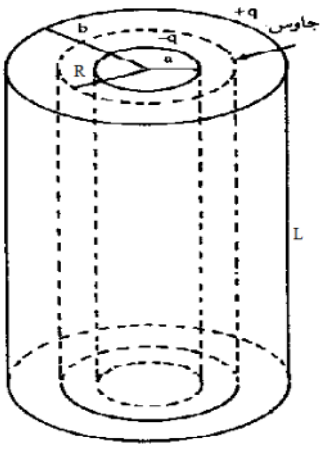
$$V = -\int_b^a \mathbf{E}.d\mathbf{R} = \int_a^b \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^2}.dR = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}\int_b^a \frac{dR}{R^2} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0}(\frac{1}{a} - \frac{1}{b})$$

وعليه فإن سعة هذا المكثف هي:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q\times 4\pi\varepsilon_0}{Q(\frac{1}{a} - \frac{1}{b})} = \frac{4\pi\varepsilon_0}{(\frac{1}{a} - \frac{1}{b})}$$

$$C = 4\pi\varepsilon_0 \frac{ab}{(b-a)}$$

## المكثفة الأسطوانية:




يتركب من أسطوانتين متحدتي المركز نصفي قطريهما الداخلي والخارجي (a) و(b) على الترتيب وطول كل منهما (L). الآن لنفرض سطحاً مغلقاً أسطوانياً طوله (L) ونصف قطره (R) حيث (a > R > b). وعليه فإن:

$$\oint \mathbf{E}.d\mathbf{A} = E(2\pi RL) = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 R}.\frac{Q}{L}$$

إذن:

$$V = -\int_b^a E.dR = \int_a^b E.dR$$

$$V = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}.\frac{Q}{L}\int_a^b \frac{dR}{R} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}.\frac{Q}{L}(\ln b - \ln a)$$

$$V = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0 L}.\ln\frac{b}{a}$$

وعليه فإن سعة هذا المكثف:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q\times 2\pi\varepsilon_0 L}{Q\times \ln\frac{b}{a}}$$

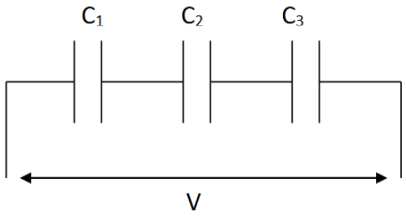
$$\therefore C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\frac{b}{a}}$$

## جمع المكثفات Groupement des condensateurs

يمكن توصيل المكثفات بطرق مختلفة و ذلك للحصول على قيم كبيرة أو صغيرة مقارنة بالقيم الأصلية للسعة الكهربائية.

- **الربط على التسلسل:** Groupement en série

توصل المكثفات على التسلسل للحصول على سعة صغيرة أقل من أصغر سعة المكثفة الموجودة في الدارة الكهربائية. إذا كان لدينا مجموعة من المكثفات متصلة على التسلسل و سعاتها هي $C_1, C_2, C_3$ و مطبق عليها جهد V كما في الشكل التالي:




من الشكل نلاحظ أن:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

ولكن، $(V = Q/C)$، وعليه فإن:

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

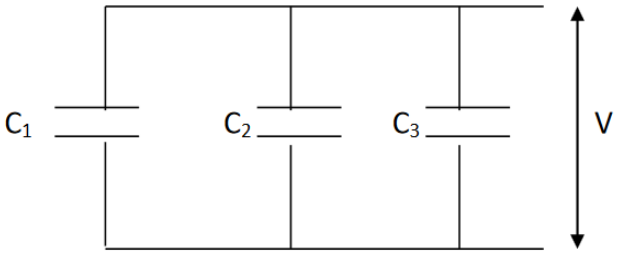
وبالقسمة على (Q) نجد:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\boxed{\frac{1}{C}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{C_i}}$$ **أي أن:**

- **الربط على التفرع**: Groupement en parallèle

توصل المكثفات على التفرع للحصول علة سعة كلية كبيرة تساوي مجموع سعة المكثفات المتصلة على التفرع في الدارة الكهربائية. كما في الشكل الموالي




في هذه الحالة نجد:

$$\mathbf{V = V_1 = V_2 = V_3}$$

$$\mathbf{Q = Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

ولكن (Q = C V) ومنه نجد:

$$\boldsymbol{CV = C_1V + C_2V + C_3V}$$

وبالقسمة على (V) نجد:

$$\boldsymbol{C = C_1 + C_2 + C_3}$$

**نتيجة:** السعة المكافئة تساوي مجموع السعات.

$$\boxed{C=\sum_{i=1}^{n}C_i}$$

## طاقة مكثفة مشحونة énergie d'un condensateur chargé

بينت الدراسة النظرية و أثبتت التجارب أن الطاقة التي تختزنها مكثفة مشحونة تتناسب طردا مع مربع التوتر المطبق بين لبوسيها.عبارتها هي:

$$\boxed{W=\frac{1}{2}C.U^2}$$

كما يمكن استنتاج العبارة التالية بتعويض $Q = C.U$:

$$W = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

## طاقة الحقل الكهربائي:

شحن ناقل كهربائي يفرض صرف طاقة، لأن جلب شحنة إضافية إلى الناقل يتطلب بذل عمل للتغلب على قوة التنافر الناتجة عن الشحنات الموجودة على الناقل مسبقا.هذا العمل ينتج زيادة في طاقة الناقل. تعطى عبارة طاقة الحقل الكهربائي بالعلاقة:

$$\boxed{W_E = \frac{Q^2}{2C}}$$

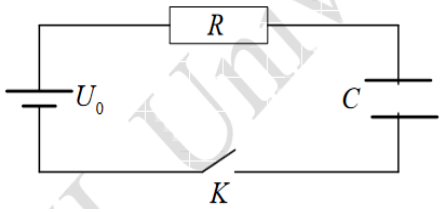
في حالة ناقل كروي مثلا، حيث $C = 4\pi\varepsilon_0 R$، فإن طاقة الحقل الكهربائي هي:

$$W_E = \frac{1}{2}\left(\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}\right)$$

## شحن و تفريغ مكثفة عبر مقاومة

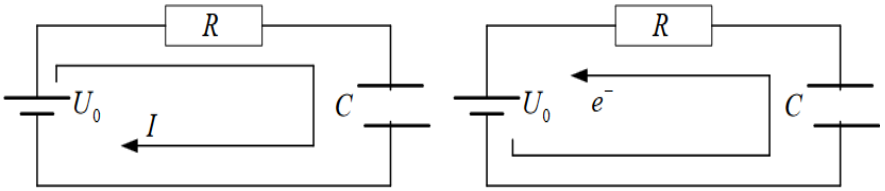
### - شحن مكثفة:

ليكن التركيب المبين على الشكل * المتكون من مقاومةR مربوطة على التسلسل مع مكثفة سعتهاC. نغذي الجملة بواسطة منبع للتوتر المستمر $U_0$.




في اللحظة t = 0 نغلق القاطعة، المكثفة فارغة من الشحن. لتكن i(t) شدة التيار الكهربائي الجاري في الدارة في اللحظة t. الالكترونات تنتقل في الجهة المعاكسة للتيار.

لتكنq(t) وu(t) على التوالي شحنة اللبوس العلوي و الكمون الكهربائي بين طرفي المكثفة
(المقاديرu,q,i موجبة اصطلاحا)




قانون أوم يسمح لنا بكتابة

$$U_0 = Ri + U$$

علما أن $q = CU$ و $i = \frac{dq}{dt}$ (التي تمثل زيادة الشحنة خلال زمن $dt$).

نحصل على المعادلة التفاضلية من الدرجة الأولى:

$$U_0 = R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} \Rightarrow U_0 C = RC\frac{dq}{dt} + q$$

أو:

$$U_0 C - q = RC\frac{dq}{dt} \Rightarrow \frac{dq}{U_0 C - q} = \frac{dt}{RC}$$

نكامل طرفي المعادلة فنحصل على:

$$\ln\left(U_0 C - q\right) = -\frac{t}{RC} + A$$

ثابت التكامل $A$ يحدد حسب الشروط الابتدائية: في اللحظة $t = 0$ كانت الشحنة $q = 0$ و بالتالي: $A = \ln U_0 C$

و منه:

$$\ln\left(U_0 C - q\right) - \ln U_0 C = -\frac{t}{RC} \Rightarrow \ln\frac{U_0 C - q}{U_0 C} = -\frac{t}{RC} \Rightarrow \frac{U_0 C - q}{U_0 C} = \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

و في الأخير:

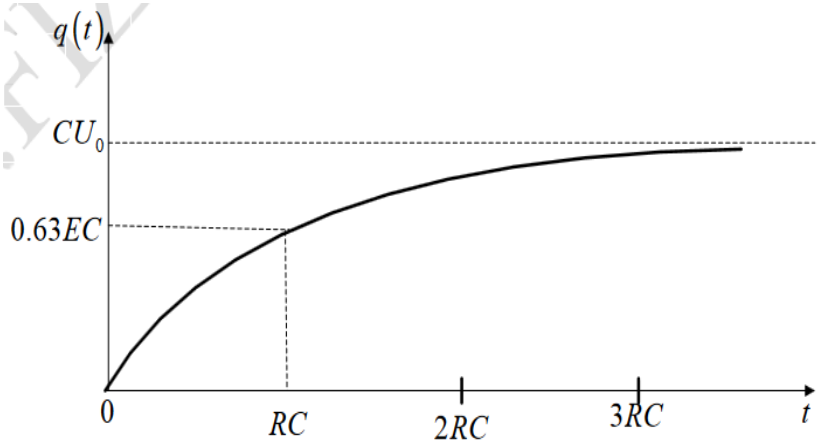
$$\boxed{q(t) = U_0 C\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right)} \qquad (15.2)$$

**تعريف: ثابت الزمن** (constante de temps) هو المقدار الثابت:

$$\boxed{\tau = RC}$$

**مدة شحن أو التفريغ:** أثبتت التجارب و الدراسات النظرية أن مدة شحن أو تفريغ مكثفة تقدر بـــ $t = 5RC = 5\tau$

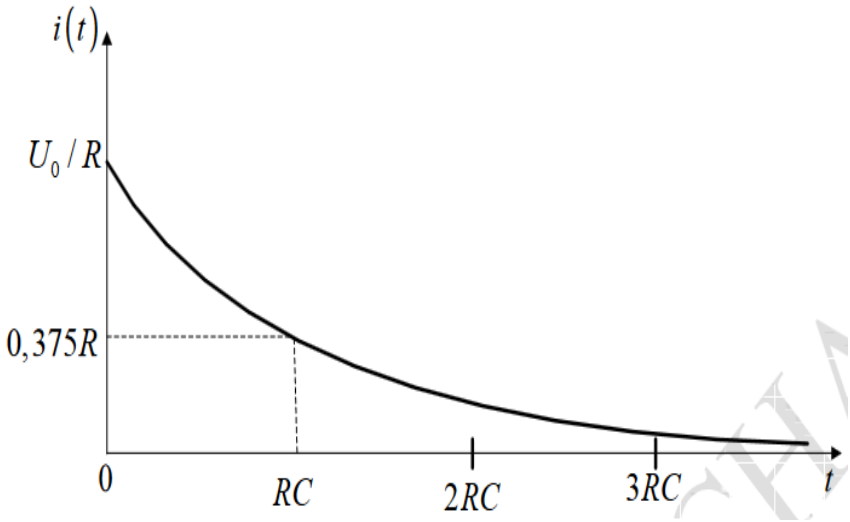
يمثل الشكل الموالي تغيرات الشحنة بدلالة الزمن خلال عملية الشحن.




نستنتج شدة التيار في كل لحظة $i(t)=\frac{dq}{dt}$:

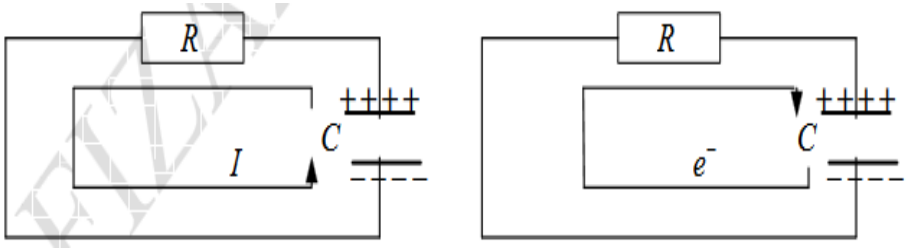
$$i(t)=\frac{U_0}{R}\exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

يمثل الشكل الموالي تغيرات شدة التيار الكهربائي بدلالة الزمن خلال عملية الشحن.




- **تفريغ المكثفة:**

بعد بلوغ المكثفة شحنتها القصوى ($q_0 = CU_0$) ، نستبدل الآن عند (t=0) منبع التوتر بدارة قصيرة كما هو مبين في الشكل التالي:




غير التيار الكهربائي الآن اتجاهه: تغدر الالكترونات اللبوس السفلي لتلتحق باللبوس العلوي. تتناقص الشحنة q(t) بمرور الزمن.

باعتبار دائما المقادير U,q,i موجبة اصطلاحا، نكتب قانون أوم: U=Ri ، مع q=CU و $i = \frac{dq}{dt}$

بما أن $q$ تتناقص فإن $\frac{dq}{dt} \prec 0$ . و عليه:

$$-R\frac{dq}{dt} = \frac{q}{C} \Rightarrow R\frac{dq}{q} = -\frac{dt}{C}$$

$$\ln q = -\frac{t}{RC} + B$$

الثابت $B$ تحدده الشروط الابتدائية: $B = \ln q_0 \Rightarrow B = \ln CU_0$ : $t = 0$ ، $q = q_0 = CU_0$

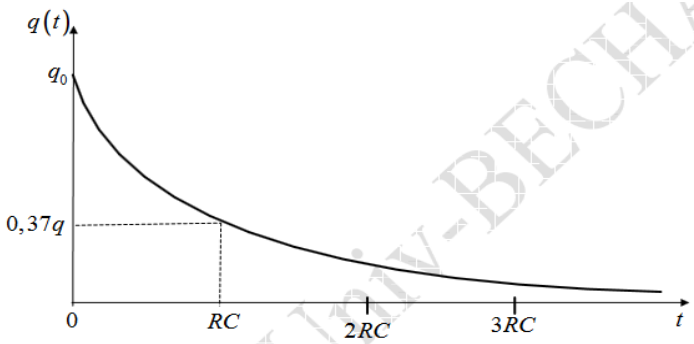
و عليه: $$\ln q = -\frac{t}{RC} + \ln CU_0 \Rightarrow \ln \frac{q}{CU_0} = -\frac{t}{RC}$$

و عليه فإن عبارتي الشحنة و شدة التيار اللحظيين هما على التوالي:

$$\boxed{q = CU_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)}$$

$$i = -\frac{dq}{dt} \Rightarrow \boxed{i = \frac{U_0}{R}\exp\left(-\frac{t}{RC}\right)}$$

يمثل الشكل الموالي تغيرات الشحنة خلال عملية تفريغ المكثفة.



بهذا نكون انهينا من الإلمام بأهم خصائص النواقل المتزنة، التي تنهي دراسة **الكهرباء الساكنة.** في الفصل الموالي ننتقل إلى دراسة الشحنات و هي في حالة حركة، و هذا سندرسه تحت العنوان الكبير **الكهرباء المتحركة**.

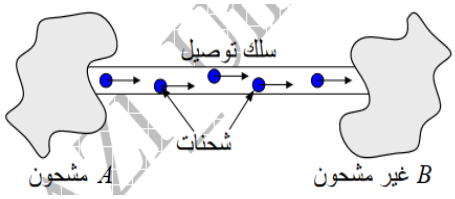
## 2- الكهرباء المتحركة Electrocinetic :

الكهرباء المتحركة هي دراسة التيارات الكهربائية، أي دراسة الشحنات الكهربائية في حالة الحركة في أوساط مادية تسمى النواقل. و بعبارة أخرى، فإنها دراسة الدارات و الشبكات الكهربائية.

في ما يتبع نعتني بالسبب الذي يجعل الشحنات تتحرك و السبب الذي يعيق حركتها.

التيار الكهربائيElectric Current:

يمثل الشكل الموالي جسمين، الجسمA مشحون بإحدى طرق التكهرب، و الجسم Bغير مشحون. نوصل الجسمين بواسطة سلك. فنلاحظ ان الجسم Bقد تم شحنه. أي أنه يكتسب شحنةdQ خلال وقت وجيزdt و هكذا فإنه فقد التوازن الكهروساكن مؤقتا.




نفسر هذا بانتقال شحنات كهربائية من الجسم نحو الجسم عبر السلك الواصل بينهما. و من هنا نعرف التيار الكهربائي:

**تعريف:**

التيار الكهربائي هو انتقال جماعي و منظم لحاملات الشحنة (إلكترونات أو شوارد). قد يحدث هذا السيل في الفراغ أو في مادة ناقلة.

يظهر تيار كهربائي في الناقل عندما يوجد فرق في الكمون بين طرفي هذا الأخير.

**شدة التيار الكهربائي:**

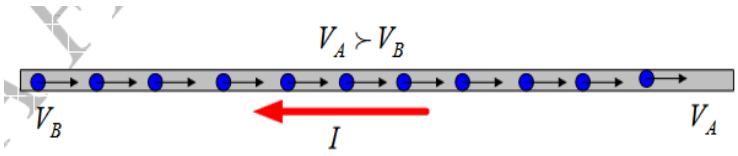
الشدة المتوسطة للتيار الكهربائي هي كمية الكهرباء (الشحنة) التي تجتاز مقطعا من الناقل خلال واحدة من الزمن

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

وحدته هي الأمبير = كولوم/ثانية (A = 1 C/ 1 S)

**إتجاه التيار الكهربائي:**

يسري التيار الكهربائي في الجهة المتناقصة للكمونات أي في إتجاه الحقل الكهربائي. و هكذا فأن الاتجاه المختار **اصطلاحا** هو عكس اتجاه حركة الشحنات السالبة.



## تذكير بقانون أوم:

السهولة التي تتدفق بها الشحنات بين قطبين تتعلق بالطريقة التي يربط بها هذين القطبين. إذا وصلناهما بسلك توصيل، فإن الشحنات لا تواجه أي صعوبات تذكر للإنتقال أما إذا وصلناهما بسلك عازل، فإن انتقال الشحنات يصبح صعبا جدا أن لم يكن مستحيلا.

هذه الخاصية التي تميز المادة، بالسماح أو منع الشحنات الكهربائية من المرور، تسمى **بالمقاومة** و تقاس ب **الأوم** ($\Omega$).

في حين تكون مقاومة المعادن ضعيفة، فإن مقاومة العوازل كبيرة جدا و لا متناهية حتى.

في الصناعة توجد عناصر صغيرة (تسمى المقاومات) يمكن أن تتراوح بين بضع أومات الى ملايين الأومات.

بالنسبة لناقل معدني، تحت درجة حرارة ثابتة فإن النسبة بين فرق الكمون (التوتر) بين طرفيه، و شدة التيار الكهربائي الذي يجتازه، ثابتة و تساوي مقاومة الناقل:

$$R = \frac{U}{I} = C^{te}$$

هذه العبارة بين شدة التيار و التوتر و المقاومة تعرف **بقانون أوم.**

قانون أوم يظهر أنه من أجل فرق الكمون محدد، يمكن وضع عدد من المقاومات في الدارة و هذا للحد من شدة التيار الكهربائي الذي يعبر الجهاز المغذى كهربائيا.

## فعل جول

حسب تعريف الكمون الكهربائي، العملdW المنجز من قبل شحنة عنصريةdq تنتقل بين نقطتين، يسود بينهما فرق الكمون الكهربائي (أو توتر) Uهو:

$$dW = U.dq$$

نعرف بصفة عامة (في الكهرباء كما في الميكانيك) الاستطاعة على أنها العمل المنجز خلال واحدة من الزمن. أي:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

في حالتنا هذه لدينا:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{U.dq}{dt} = U.I$$

و هكذا يمكن الكتابة:

$$\boxed{P = U.I}$$

هذه العبارة تترجم ما يعرف باسم **فعل جول (joule effect)** في الحالة العامة. وحدة الإستطاعة هي الواط (W).

## les circuit electrique:الدارات الكهربائية

كل التطبيقات في الكهرباء تستغل السهولة التي يتم بها تحويل الطاقة الكهربائية من منبع كهربائي الى جهاز مهما كان (مكواة،مصباح، جهاز التلفزيون.....). هذا التحويل يتم بواسطة دارة كهربائية تصل المنبع بالجهاز، و تسمح بانتقال الإلكترونات.

المنابع الكهربائية متعددة: الأعمدة، البطاريات، الخلايا الشمسية، المولدات..... في كل هذه الحالات المنابع لها قطبان يسود بينهما فرق كمون.

### عناصر و مصطلحات الدارة الكهربائية:

تتكون الدارة الكهربائية من مجموعة عناصر تسمى ثنائيات قطب موصلة فيما بينها بأسلاك ناقلة، فتشكل بنية مغلقة.

- **العقدة (noeud):** هي نقطة من الدارة حيث تصل ثلاث أسلاك أو أكثر.
- **الفرع(Branche):** هو جزء من الدارة محصور بين عقدتين.
- **العروة (Maille):** هي مجموعة فروع تشكل حلقة مغلقة.
- **ثنائي القطب(Dipole):** ثنائي القطب ينحصر في دارة كهربائية بواسطة قطبين، يدخل التيار من أحدهما و يخرج من الثاني. يتميزثنائي القطب بالاستجابة لفرق الكمون بين طرفيه.
- **أسلاك التوصيل (fils de jonction):** نهمل مقاومتها أمام مقاومات ثنائيات قطب أخرى، بحيث نعتبرها متساوية الكمونات.
- **الشبكة(Réseau):** هي مجموعة من الدارات الكهربائية.

### ضرورة توفر قوة محركة كهربائية (Force électromotrice)

يجب على المولد أن يكون قادرا على بذل عمل كهربائي على الشحنات لتمريرها من خلاله من القطب ذي الكمون المنخفض إلى القطب ذي الكمون العالي.

هناك طرق عديدة لإنتاج قوة محركة كهربائية:

- البطارية تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية.
- مولد كهروساكن يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.
- المولد الكهربائي يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.
- الخلية الشمسية تحول الطاقة الإشعاعية إلى طاقة كهربائية.

## القوانين المسيرة للدارات الكهربائية: