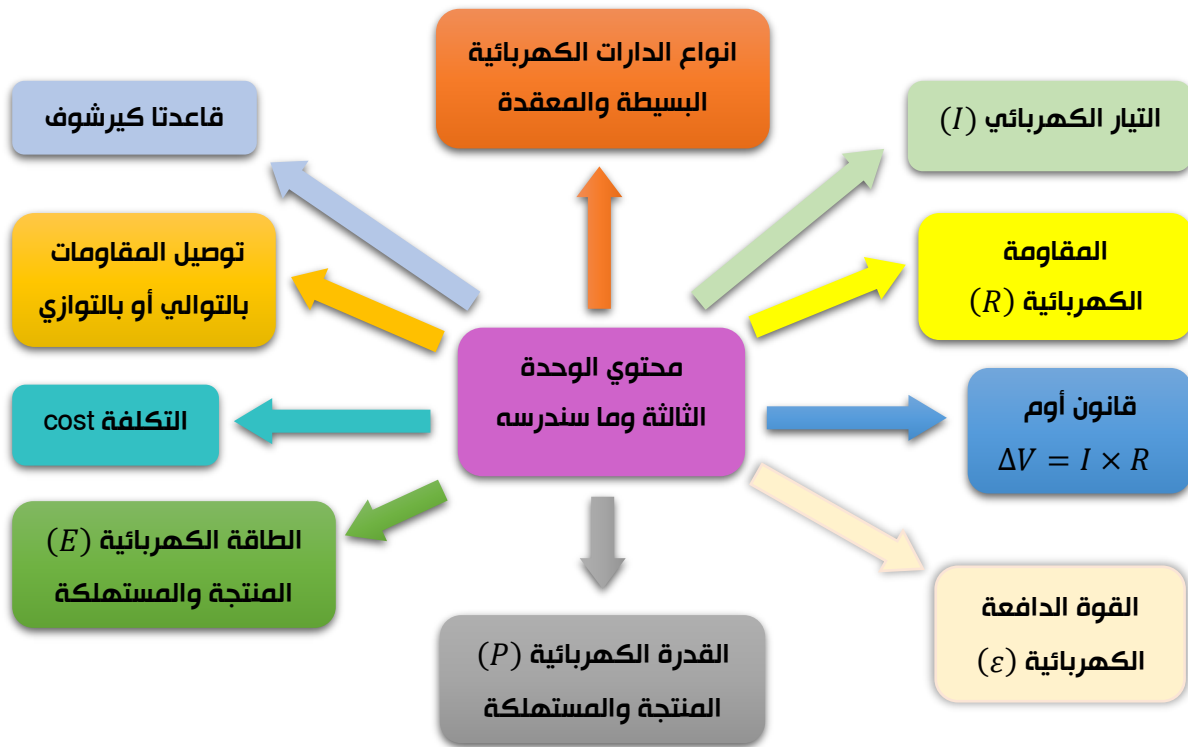


## الوحدة الثالثة: التيار الكهربائي (Electric current)



### الفكرة العامة

ما نشهده اليوم من تطبيقات كهربائية وإلكترونية في الحياة لم تكن نتوقعه قبل عقود، فالتقدم التكنولوجي في علوم الحاسوب، وصناعة البطاريات القابلة لإعادة الشحن، واستخدام مصادر الطاقة المتجددة وغيرها، فتح مجالات واسعة للاعتماد على الكهرباء.

### عليك ان تعلم

تقسم المواد

- عازلة (بلاستيك، خشب، ..)
- موصلة (الفلزات (مثل: الحديد، النحاس، ..))
- شبه موصلة (جرمانيوم، سيليكون)

### ملاحظ

في مسار دائري او يتحرك حركة دورانية فإنه يملك عزمًا

## 1. التيار الكهربائي (Electrical Current)

✿ تقسم المواد من حيث توصيلها للكهرباء إلى: موصلة (ومنها الفلزات) - عازلة - أشباه موصلة.

✿ الموصلات (الفلزات) تحتوي على شحنات حرة (الكترونات).

✿ تتحرك الإلكترونات داخل الفلزات حركة عشوائية، لا ينتج عنها تيار كهربائي.

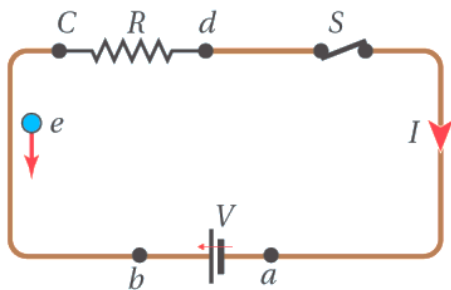
✿ عند توصيل الموصل بفرق جهد (مصدر طاقة - بطارية)؛ يتولد بين طرفي الموصل مجال كهربائي.

✿ المجال الكهربائي يؤثر بقوة على الإلكترونات بحيث يجبرها على الحركة باتجاه واحد.

✿ لأنها سالبة الشحنة؛ سيجبرها المجال الكهربائي على الحركة بعكسه.

✿ يتولد في الموصل تيار كهربائي ناتج عن حركة هذه الإلكترونات، بحيث يكون اتجاه التيار

معاكساً لاتجاه حركة الإلكترونات السالبة، ويسمى هذا التيار بالتيار الاصطلاحي.



✿ أي ان:

اتجاه التيار الكهربائي الاصطلاحي هو نفس اتجاه

المجال الكهربائي عكس اتجاه حركة الإلكترونات.

✿ يرمز للتيار الكهربائي بالرمز ( $I$ )

✿ يعرف التيار الكهربائي بأنه: كمية الشحنة التي تعبر

مقطعاً من الموصل في وحدة الزمن.

✿ ورياضياً فإن التيار الكهربائي يحسب من العلاقة التالية:

$$I = \frac{Q}{t}$$

حيث  $Q$ : كمية الشحنة التي تعبر مقطعاً عرضياً من الموصل (وتقاس بوحدة كولوم  $(C)$ ).

$t$ : زمن مرور الشحنة الكهربائية داخل الموصل.

✿ يقاس التيار الكهربائي بوحدة  $(C/s)$  والتي تسمى اختصاراً (أمبير  $(A)$ ).

✿ يعرف الأمبير  $(A)$  بأنه: مقدار التيار الكهربائي الذي يسري في موصل عندما تعبر مقطع

هذا الموصل شحنة مقدارها  $(1 C)$  في ثانية واحدة.

س ماذا نعني بقولنا إن التيار المار في موصل يساوي  $3 A$ ؟

ج أي أنه يعبر مقطع الموصل شحنة مقدارها  $3 C$  خلال ثانية واحدة.

✿ إذا كان مقدار التيار واتجاهه يتغير باستمرار، فإنه يسمى تياراً متردداً

(Alternating Current).

✿ أما إذا كان مقداره واتجاهه ثابتاً، فإنه يسمى تياراً مستمراً (Direct Current (DC)).

✿ التيار مستمر هو: التيار الكهربائي الناشئ داخل الموصل باتجاه واحد وله قيمة ثابتة لا

تتغير مع الزمن.

## الأسئلة:

أوضح العلاقة بين حركة كل من الإلكترونات والشحنات الموجبة (الافتراضية) داخل البطارية واتجاه التيار الكهربائي فيها.

تتحرك الإلكترونات داخل البطارية من القطب الموجب إلى القطب السالب (عكس اتجاه التيار)، في حين أن الشحنات الموجبة (أيونات) لا تتحرك، لكن تم الاتفاق على أن الشحنات الموجبة تتحرك (افتراضيا وليس حقيقة) من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية، مع اتجاه التيار الكهربائي

## أسئلة إضافية:

تعبّر شحنة مقدارها  $240 \mu C$  مقطعا عرضيا من الموصل خلال دقيقتين، جد مقدار التيار الكهربائي المار في الموصل.

$$2 \mu A$$

يمر تيار كهربائي مقداره  $4 mA$  في موصل لمدة ساعة وربع، جد مقدار كمية الشحنة التي تعبر مقطع الموصل خلال هذه المدة.

$$18 C$$

## 2. المقاومة الكهربائية (Electrical Resistance)

يحتوي هذا الدرس على 3 محاور؛ وهي:

تكاليف استهلاك الطاقة.

القدرة والطاقة الكهربائية المستهلكة.

المقاومة الكهربائية - قانون أوم  
- عوامل المقاومة الكهربائية.

### ① المقاومة الكهربائية

تقسم المواد من حيث توصيلها للكهرباء إلى:

1. **موصلات:** وهي مواد تسمح للشحنات بالعبور خلالها بسهولة مثل الفلزات (فضة - نحاس - ذهب - المنيوم - تنغستن - حديد - نيكروم). [نيكروم = نيكل + كروم]
2. **عازلات:** وهي مواد تمنع مرور التيار الكهربائي خلالها مثل الزجاج والمطاط.
3. **أشباه موصلات:** وهي مواد ضعيفة التوصيل الكهربائي ويمكن تطعيمها بذرات أخرى ليزداد توصيلها وتستخدم في صناعة الرقائق الإلكترونية (كربون - سيليكون - جرمانيوم).

✿ سندرس فقط الموصلات، ومن الموصلات سندرس فقط الفلزات.

✿ تنتقل الإلكترونات بسهولة في الموصلات الفلزية مثل الأسلاك النحاسية التي تصنع منها أسلاك التوصيل.

✿ تنتقل الإلكترونات بصعوبة كبيرة في المواد غير الموصلة.

✿ أي جهاز كهربائي يمر به تيار كهربائي سنسميه: المقاومة الكهربائية، ولا يهمنا شكل الجهاز، بل يهمنا الموصل الموجود بداخله والذي يمر به التيار الكهربائي.

✿ تسمى المقاومة الكهربائية بهذا الاسم لأنها تقاوم (تمانع) حركة الإلكترونات داخل الموصل.

✿ توضيح:

يحتوي الموصل على عدد هائل من الإلكترونات الحرة بداخله، والتي تتحرك حركة عشوائية.

وعند توصيل الموصل بالبطارية تنتظم حركة الإلكترونات وتتحرك باتجاه واحدة نتيجة تزويد

البطارية للإلكترونات بالطاقة الكهربائية، ولكن بسبب العدد الهائل من الإلكترونات داخل

الموصل، فإنها تتصادم مع بعضها البعض ومع ذرات الموصل، **وينتج من هذه التصادمات**

الكثيرة **فقدان الإلكترونات للطاقة التي تحملها**، وتنتقل هذه الطاقة إلى ذرات الفلز، مما

يؤدي إلى **زيادة سعة اهتزازات ذرات الفلز**، وبالتالي **ترتفع درجة حرارة الفلز؛ أي أنه يسخن**.

✿ زيادة سعة اهتزاز الذرات تؤدي إلى زيادة احتمالية تصادم الإلكترونات بها، فتزداد إعاقة

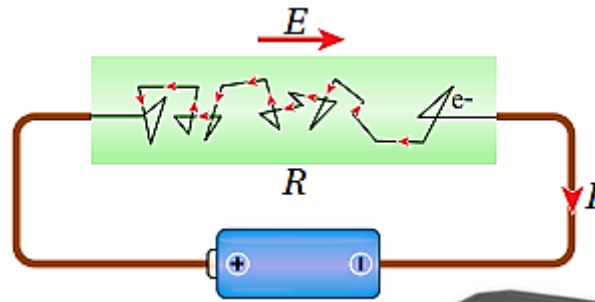
الموصل لحركة الإلكترونات داخله، وتصبح مقاومة الموصل لسريان التيار الكهربائي أكبر.

✿ تسمى ممانعة الموصل لمرور التيار الكهربائي فيه بالمقاومة الكهربائية. أي أن الموصلات

تقاوم مرور التيار الكهربائي فيها.

✿ زيادة درجة حرارة الموصل تزيد المقاومة الكهربائية له، ونقصان درجة الحرارة تقلل المقاومة الكهربائية.

✿ والخلاصة: عندما تمر الإلكترونات داخل موصل (على شكل سريان تيار كهربائي) فإنها تواجه ممانعة (تصادمات: الإلكترونات مع بعضها ومع ذرات الموصل) تؤدي: إلى حركتها في مسار متعرج (كما في الشكل المجاور)، وكذلك تؤدي تصادمات الإلكترونات لفقدانها لطاقتها الكهربائية (الحركية) وتنتقل هذه الطاقة إلى ذرات الفلز؛ وتتحول إلى طاقة حرارية (ترتفع درجة حرارة الفلز) مما يزيد من سعة اهتزاز الذرات (طاقة حركية لذرات الفلز)، وبالتالي ترفع درجة حرارة السلك وينتج من ذلك زيادة مقاومة الموصل لمرور التيار الكهربائي خلاله أي تزداد إعاقة الموصل لحركة الإلكترونات داخله.



عند تشغيل مدفأة كهربائية، كما في الشكل؛ ألاحظ احمرار سلك التسخين وأشعر بسخونته نتيجة سريان التيار الكهربائي فيه، بينما لا يسخن سلك التوصيل الذي يصل المدفأة بمقبس الجدار. والسبب في ذلك أن مقاومة سلك التسخين أكبر فيقاوم حركة الإلكترونات ويحول طاقتها الكهربائية إلى حرارية.



✿ يرمز للمقاومة الكهربائية بالرمز:  $R$ .

✿ يعبر عن الطاقة التي تحملها الشحنات (التيار) بالجهد، فالجهد يعني مقدار الطاقة التي

تحملها شحنة مقدارها  $1\text{ C}$ .

✿ يأتي التيار الكهربائي إلى المقاومة الكهربائية، فيدخلها محملاً بالطاقة الكهربائية، مما يعني أن جهد النقطة قبل المقاومة يكون عالياً، وبسبب التصادمات؛ يخسر التيار الكهربائي

طاقته داخل المقاومة (جزئياً أو كلياً)، ولهذا يصبح جهد النقطة الواقعة بعد المقاومة

أقل مما كان قبلها.



❁ وينتج عن ذلك تولد فرق في الجهد بين طرفي المقاومة عند مرور التيار الكهربائي خلالها.

❁ ويسمى فرق الجهد بين طرفي المقاومة ( $\Delta V_R$ ): جهد المقاومة ( $V_R$ ).

❁ تعرف **المقاومة الكهربائية لموصل** ( $R$ ) بأنها نسبة فرق الجهد بين طرفيه إلى التيار الكهربائي المار فيه. ورياضيا فإن:

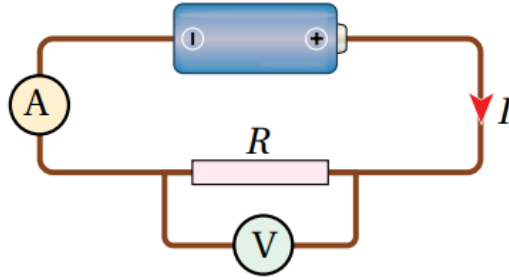
$$R = \frac{\Delta V_R}{I}$$

❁ تقاس المقاومة بوحدة ( $V/A$ ) والتي تسمى اختصاراً أوم ( $ohm$ )، ويعبر عنه بالرمز ( $\Omega$ : omega).

❁ يعرف **الأوم** بأنه: مقاومة موصل يسري فيه تيار كهربائي ( $1 A$ ) عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه ( $1 V$ ).

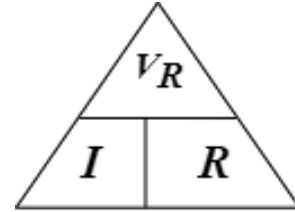
س ماذا نعني بقولنا إن مقاومة موصل تساوي  $50 \Omega$ ؟

ج أي أن فرق الجهد بين طرفي المقاومة يساوي  $50 V$  عندما يسري فيه تيار كهربائي مقداره  $1 A$ .



❁ تسمى هذه العلاقة **قانون أوم** الذي ينص على أن: "الموصل عند درجة الحرارة الثابتة ينشأ فيه تيار كهربائي ( $I$ ) يتناسب طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه ( $\Delta V_R$ )" ورياضيا يكتب قانون أوم كما يلي:

قانون أوم — — —  $\Delta V_R = IR$



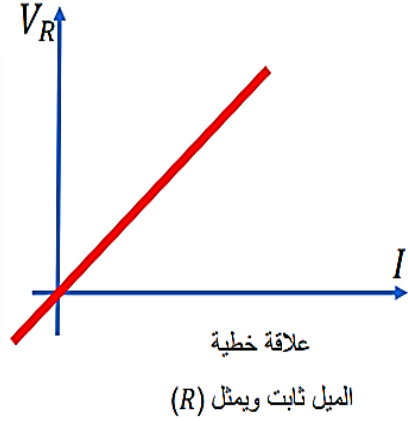
يمكن من خلال قانون أوم تعريف وحدة قياس الجهد أو فرق الجهد الكهربائي "**الفولت - volt**" ( $V$ ) بأنه: "فرق الجهد الكهربائي بين طرفي موصل مقاومته ( $1 \Omega$ ) يسري فيه تيار كهربائي ( $1 A$ ).

❁ يمكن تمثيل العلاقة بين التيار وفرق جهد المقاومة بيانياً كما يلي (بشروط درجة الحرارة):

ميل الخط المستقيم ( $S$ ) ثابت (علاقة خطية) للموصلات الفلزية.  
الميل يمثل:

$$Slope = \frac{\Delta V}{\Delta I} = R$$

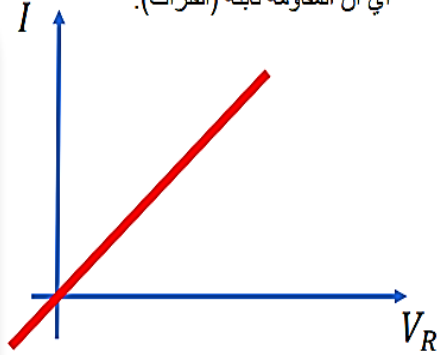
إذاً، ميل الخط المستقيم يمثل المقاومة الكهربائية ( $R$ ).  
كلما اقترب الخط المستقيم من ( $V$ ) زادت ( $R$ ) وقلت الموصلية.  
كلما اقترب الخط المستقيم من ( $I$ ) قلت ( $R$ ) وزادت الموصلية.



ميل الخط المستقيم ( $S$ ) ثابت (علاقة خطية) للموصلات الفلزية.  
الميل يمثل  $\Delta I / \Delta V$ .

$$Slope = \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{1}{R}$$

إذا ميل الخط المستقيم يمثل: مقلوب المقاومة الكهربائية ( $\frac{1}{R}$ ).  
كلما اقترب الخط المستقيم من ( $V$ ) زادت ( $R$ ) وقلت الموصلية.  
كلما اقترب الخط المستقيم من ( $I$ ) قلت ( $R$ ) وزادت الموصلية.



❁ يمثل الشكلين في الأعلى العلاقة بين ( $I$ ) و ( $V$ ) لموصل له مقاومة ثابتة مقدراً، لا يتغير مقدارها بتغير ( $I$ ) أو ( $V$ ) لأن الميل يمثل المقاومة والميل ثابت. وتسمى الموصلات من هذا النوع ب: **الموصلات الأومية**، لأنها تحقق قانون أوم.

❁ **رفع درجة الحرارة الموصل أومي يغير (يزيد) من مقاومته**، ولكنه يبقى موصل أومياً، أي تبقى العلاقة بين التيار والجهد خطية مع تغير قيمة الميل.

❁ **تزداد قيمة المقاومة بزيادة درجة الحرارة**، ونقل قيمتها بنقصان درجة الحرارة.

❁ وتم تفسير ذلك سابقاً بالاعتماد على زيادة اهتزاز الذرات، وبالتالي زيادة احتمالات تصادم الإلكترونات بها.

## المواد اللا أومية:

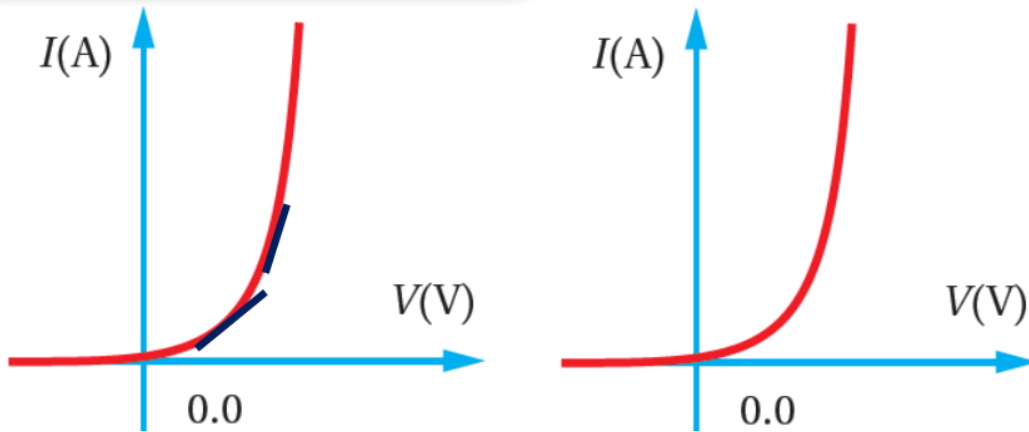
✿ أما إذا كان الميل متغيراً بتغير ( $I$ ) أو ( $V$ )، فإن المقاومة تكون متغيرة غير ثابتة، أي أنه وبالرغم من ثبوت درجة الحرارة، إلا أن قيمة المقاومة الكهربائية تتغير بتغير التيار المار في المقاومة أو فرق الجهد بين طرفيها. وتعتبر العلاقة بين التيار وفرق الجهد في هذه الحالة: غير خطية.

تسمى هذه المواد: مواد لا أومية. ومن أمثلتها:

هذه القطع الإلكترونية جميعها مصنوعة من أشباه الموصلات مثل السيليكون والجرمانيوم وهي مواد لا أومية، وتعتبر:

- من المكونات الأساسية للدارات الإلكترونية.

1. الوصلات الإلكترونية.
2. الثنائي ( $diode$ )
3. الثنائي الباعث للضوء ( $LED$ ).
4. الترانزستور ( $transistor$ )



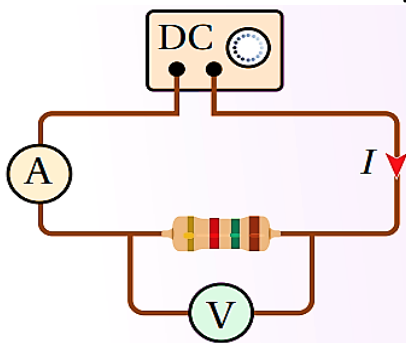
التمثيل البياني لعلاقة التيار والجهد لـ: **الثنائي**

✓ **أتحقق:** كيف أميز بين الموصلات الأومية والمواد اللا أومية؟

✍ في الموصلات الأومية تكون العلاقة بين فرق الجهد والتيار خطاً مستقيماً، بينما لا تكون خطاً مستقيماً في المواد اللا أومية.



## تجربة استهلاكية



### استقصاء العلاقة بين الجهد والتيار بين طرفي مقاومة.

**المواد والأدوات:** مصدر طاقة منخفض الجهد (DC)،

3 مقاومات مختلفة، أميتر، فولتميتر، أسلاك توصيل.

**ارشادات السلامة:** الحذر من لمس الوصلات الكهربائية غير

المعزولة والأجزاء الساخنة في الدارة

**خطوات العمل:**

**بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:**

**1-** أصل الدارة الكهربائية كما في الشكل، بحيث يتصل طرفا المقاومة مع طرفي مصدر فرق الجهد وقيس الأميتر (A) التيار المار في المقاومة، بينما يقيس الفولتميتر (V) فرق الجهد بين طرفيها.

**2-** **أضبط المتغيرات:** أضبط جهد المصدر عند قيمة منخفضة (1 V)، وأشغله ثم أسجل قراءتي الأميتر والفولتميتر، وأدونهما في جدول مخصص في كتاب الأنشطة.

**3-** **أقيس:** أرفع جهد المصدر قليلاً، ثم أسجل قراءتي الأميتر والفولتميتر في الجدول، وأكرر ذلك ثلاث مرات، وفي كل مرة أرفع الجهد، أحرص على عدم زيادة قيمة الجهد عن قياس (6 V)

**4-** أكرر الخطوات الثلاث السابقة مرتين باستخدام مقاومة مختلفة في كل مرة، وأدون القياسات.

### التحليل والاستنتاج:

1. أمثل قراءات الجدول ببيان، بحيث يكون فرق الجهد على المحور الأفقي والتيار على المحور الرأسي.

2. **استنتج** مقدار المقاومة الكهربائية الذي يساوي مقلوب ميل منحنى العلاقة بين فرق الجهد والتيار للمقاومات الثلاث.

3. **أقارن** بين قيم المقاومات، وأصف كلا منها، إن كانت ثابتة أو متغيرة، وهل تتأثر قيمة أي منها بتغير فرق الجهد بين طرفيها؟

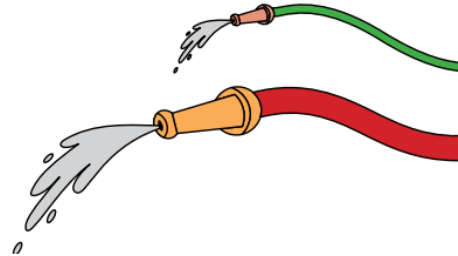
4. **أتوقع:** في حال استخدام مواد أخرى مختلفة هل تسلك جميعها سلوك المقاومات من حيث النسبة بين فرق الجهد والتيار؟

## إجابات أسئلة التحليل والاستنتاج

1. ارسم أفضل خط مستقيم يمثل النقاط، وقد تنحرف بعض النقاط عن الخط المستقيم نتيجة بعض أخطاء القياس المتوقعة.
2. أحسب ميل الخط المستقيم أحصل قيمة ثابتة، ثم أحسب مقلوب هذه القيمة الذي يساوي مقدار مقاومة، وأكرر ذلك للمقاومات الثلاث.
3. يجب أن تكون المقاومة الفلزية ثابتة، ولكل مقاومة قيمة مختلفة عن الأخرى، وإذا ظهر في النتائج أي اختلاف في قيمة المقاومة الواحدة، فإن ذلك يكون ناتج عن أخطاء تجريبية.
4. عند استخدام مواد لا أومية فإن النسبة بين الجهد والتيار لن تبقى ثابتة عند تغيير قيم الجهد.

- ✿ تعتمد **مقاومة الموصل الفلزي** ( $R$ ) على **ثلاثة** عوامل **عند ثبات درجة حرارة الموصل**، وهي:
- ✓ **نوع مادة الموصل**، ويعبر عنه بـ: **المقاومية الكهربائية** للمادة، ورمزها ( $\rho$ ). [طردياً]
  - ✓ **طول الموصل** ( $L$ ). [طردياً]
  - ✓ **مساحة المقطع العرضي للموصل** ( $A$ ). [عكسياً]
  - ✓ **درجة حرارة الموصل** [طردياً]

ويمكن تشبيه مرور التيار الكهربائي في الموصلات بتدفق الماء في الخرطوم، فكلما زادت مساحة مقطع الخرطوم زادت كمية الماء التي تتدفق خلاله في الثانية الواحدة كما في الشكل.



تحسب المقاومة الكهربائية ( $R$ ) من العلاقة التالية:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

يسمى الطول والمساحة:  
الأبعاد الهندسية

**المقاومية:** صفة للمادة، بينما المقاومة صفة للموصل تعتمد على أبعاده الهندسية، وقد لاحظت من قبل متغيرات مثل ذلك، فالكثافة صفة للمادة بينما الكتلة صفة للجسم.

سـ فسر: يتناسب طول الموصل ( $L$ ) طردياً مع المقاومة الكهربائية ( $R$ ).

جـ كلما زاد طول الموصل ( $L$ )؛ تتعرض الإلكترونات عند حركتها خلال الموصل إلى مزيد من التصادمات، ما يعيق حركتها بشكل أكبر، ويزيد مقاومة الموصل.

سـ فسر: تتناسب مساحة المقطع العرضي للموصل ( $A$ ) عكسياً مع المقاومة الكهربائية ( $R$ ).

جـ زيادة مساحة المقطع العرضي للموصل ( $A$ ) يعني زيادة عدد الإلكترونات الحرة الناقلة للتيار، فيزداد التيار ونقل المقاومة.

سـ تكلم عن تأثير نوع مادة الموصل (المقاومية -  $Resistivity$ ) في التأثير على مقاومته.

جـ تختلف المواد عن بعضها في مقاومتها لسريان التيار الكهربائي فيها؛ إذ تعد بعض الفلزات؛ مثل النحاس، والفضة، والألمنيوم موصلات جيدة للكهرباء، في حين توجد فلزات أخرى مثل التنغستن ذات مقاومة أكبر لسريان التيار الكهربائي فيها، في حين تكون للمواد العازلة قيم مقاومة عالية جداً.

## مقاومية بعض المواد عند درجة حرارة ( $20^\circ\text{C}$ ).

المادة	المقاومية ( $\Omega \cdot m$ )	المادة	المقاومية ( $\Omega \cdot m$ )	المادة	المقاومية ( $\Omega \cdot m$ )
فضة	$1.59 \times 10^{-8}$	كربون	$3500 \times 10^{-8}$	زجاج	$10^{10} - 10^{14}$
نحاس	$1.7 \times 10^{-8}$	سيلكون	640	مطاط	$10^{13}$
ذهب	$2.44 \times 10^{-8}$	جرمانيوم	0.46		
ألمنيوم	$2.82 \times 10^{-8}$				
تنغستن	$5.6 \times 10^{-8}$				
حديد	$10 \times 10^{-8}$				
نيكروم	$150 \times 10^{-8}$				

العازلات

أشباه الموصلات

الموصلات

❁ **المقاومية الكهربائية ( $\rho$ )** لمادة هي: مقاومة عينة من المادة طولها ( $1\text{ m}$ ) ومساحة مقطعها ( $1\text{ m}^2$ ) عند درجة حرارة معينة.

❁ تقاس المقاومية الكهربائية ( $\rho$ ) بوحدة ( $\Omega \cdot m$ ).

س ماذا نعني بقولنا إن مقاومية موصل تساوي  $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$  عند درجة  $20^\circ\text{C}$ ؟

ج أي أن مقاومة عينة من الموصل طولها ( $1\text{ m}$ ) ومساحة مقطعها ( $1\text{ m}^2$ ) عند درجة عند درجة  $20^\circ\text{C}$  تساوي  $1.7 \times 10^{-8} \Omega$

❁ **تعتمد المقاومية الكهربائية فقط على نوع المادة** التي صنع منها الموصل **(بثبوت درجة حرارته)**.

س اعتماداً على الجدول السابق، أجب عما يلي:

أ- أي المواد الواردة في الجدول لها أكبر مقاومية؟

ب- أي المواد تعتبر من أفضل الموصلات؟

ج- صنف المواد في الجدول إلى ثلاثة أنواع وفق قيم المقاومية، وأعط اسماً لكل نوع.

ج

أ- العازلات المطاط وبعض أنواع الزجاج.

ب- التي لها أقل مقاومية الفضة.

ج- التصنيف كالتالي:

① موصلات: ذات مقاومية كهربائية صغيرة جداً - مثل الفضة، والنحاس، والحديد.

② أشباه الموصلات: ذات مقاومية كهربائية متوسطة - مثل: الكربون والجرمانيوم والسيليكون.

③ العازلات: ذات مقاومية كهربائية عالية - مثل: الزجاج والمطاط والكوارتر.

س اعتماداً على الجدول، فسر لماذا يستخدم المطاط في صناعة مقابض أدوات صيانة الأجهزة الكهربائية؟

ج لأن له مقاومية عالية جداً وبالتالي فهو لا يسمح بمرور الشحنات الكهربائية من خلاله،

فيستخدم كعازل كهربائي لمنع تكهرب العاملين في صيانة الأجهزة الكهربائية.

❁ تكون قيم المقاومية الكهربائية للفلزات أقل بكثير من قيم المقاومية لأشباه الموصلات والعازلات، ولأشباه الموصلات أقل بكثير من قيمها للعازلات.

- ❁ قيم المقاومة المنخفضة تعني أن هذا الموصل جيد التوصيل للكهرباء، بينما قيم المقاومة العالية تعني أن المادة رديئة التوصيل للكهرباء، وهذا يفسر استخدام العازلات (مثل المطاط) في صناعة مقابض أدوات صيانة الأجهزة الكهربائية.
- ❁ إذا تغيرت درجة حرارة الموصل، تتغير خصائصه، وبالتالي تتغير قيمة المقاومة الكهربائية والمقاومة الكهربائية.
- ❁ تكون العلاقة بين المقاومة للمقاومات الفلزية (وكذلك المقاومة) ودرجة الحرارة طردية، حيث تزداد المقاومة بزيادة درجة الحرارة، وتنقص بنقصانها.

## المواد فائقة التوصيل

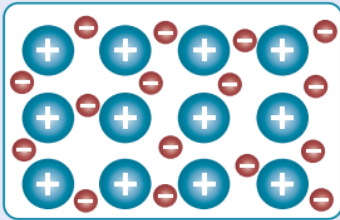
- ❁ عند تبريد الموصل إلى درجات حرارة منخفضة جداً تقارب الصفر المطلق، وجد تجريبياً أن المقاومة الكهربائية وبالتالي المقاومة لبعض المواد تساوي صفراً (تتعدى مقاومة الموصل للتيار الكهربائي)، وبالتالي تصبح هذه المواد:
- فائقة التوصيل - Superconductors
- ❁ لذلك بعد توليد تيار كهربائي في هذه المواد يستمر سريانه فيها مدة طويلة دون الحاجة إلى مصدر فرق جهد. [علل: لأن مقاومتها تساوي صفراً]
- ❁ من استخدامات المواد فائقة التوصيل:
- ↩ توليد مجال مغناطيسي في أجهزة مثل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI).

✓ **أتحقق:** أوضح الفرق بين مفهومي المقاومة والمقاومة.

- 👉 **المقاومة** هي ممانعة الموصل لمرور التيار الكهربائي فيه، وتعتمد على نوع الموصل وأبعاده. بينما **المقاومة** هي ممانعة وحدة الحجم من الموصل لمرور التيار الكهربائي فيه، وهي صفة نوعية للمادة تعتمد على نوعها فقط (عند درجة حرارة معينة).



## الربط مع الكيمياء



أيون الفلز  $+$   
إلكترون حر  $-$

تحتوي الفلزات على عدد كبير من الإلكترونات الحرة التي تتحرك باستمرار بين نوى الفلز لتشكل رابطة فلزية، وتعتمد طاقتها الحركية على درجة حرارة الفلز، وتعود خاصية التوصيل الكهربائي إلى حركة هذه الإلكترونات، في حين تبقى الأيونات الموجبة في الفلز في أماكنها.

## الربط مع الحياة

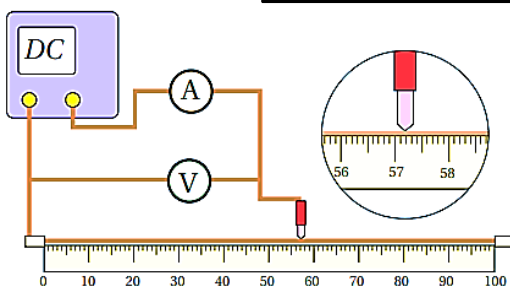
### إضاءة مصابيح الشوارع



تستخدم للتحكم في إضاءة مصابيح الشوارع بشكل آلي مقاومة ضوئية (LDR) light dependent resistor، وهي مقاومة متغيرة، تتغير قيمتها بتغير شدة الضوء الساقط عليها، ويجري ضبطها بحيث تعمل على وصل الدارة وإضاءة المصابيح عند غروب الشمس وإطفائها عند شروقها.

## التجربة 1

### استنتاج العوامل التي تعتمد عليها المقاومة الكهربائية لموصل



**المواد والأدوات:** ميكروميتر، مسطرة مترية خشبية، جهاز أوميتر وفولتميتر، أسلاك توصيل، مصدر طاقة منخفض الجهد وقابل للضبط، سلك نيكروم رفيع طوله (1 m)، ثلاثة أسلاك: نيكروم، وحديد، وتنغستن، طول كل منها (40 cm) وأقطارها متساوية.

**ارشادات السلامة:** الحذر من لمس الوصلات الكهربائية غير المعزولة والعناصر الساخنة.

### التحليل والاستنتاج:

1. **أستنتج** معتمدًا على بيانات الجدول الأول؛ العلاقة بين طول الموصل ومقاومته.
2. **أستنتج** معتمدًا على بيانات الجدول الثاني؛ العلاقة بين مساحة مقطع الموصل ومقاومته.
3. **أقارن** بين مقاومة الأسلاك المتماثلة في أطوالها ومساحة تقطيعها والمختلفة في المواد المصنوعة منها.
4. **أفسر:** أتوصل إلى العوامل التي تعتمد عليها مقاومة الموصل، وأفسرها.

5. **أتوقع:** إذا تسبب التيار الكهربائي في أي من المراحل في تسخين الموصل؛ كيف سيؤثر ذلك في النتائج؟

## إجابات أسئلة التحليل والاستنتاج

1. أستنتج أن العلاقة بين طول الموصل ومقاومته طردية، فعند زيادة طول الموصل حسب القيم المحددة في خطوات التجربة، تزداد المقاومة بالنسب نفسها.
  2. أستنتج أن العلاقة بين مساحة مقطع الموصل ومقاومته عكسية، فعند زيادة نصف القطر تزداد مساحة المقطع وتقل المقاومة.
  3. عندما تتشابه الأسلاك في أبعادها الهندسية (الطول ومساحة المقطع)، فإن مقاوماتها تختلف باختلاف نوع مادتها.
  4. تعتمد مقاومة الموصل على ثلاثة عوامل: الطول ومساحة المقطع ونوع المادة، فالمقاومة تتناسب طردياً مع طول الموصل وعكسياً مع مساحة مقطعه، وتختلف المقاومة باختلاف نوع المادة.
- التفسير:** زيادة الطول يزيد من طول مسار الشحنات ويزيد من عدد التصادمات، فتزداد المقاومة. زيادة مساحة المقطع تزيد من عدد الإلكترونات الحرة الناقلة للتيار فتقل المقاومة، أما اختلاف نوع المادة فيغير من عدد الإلكترونات الحرة الناقلة للتيار في وحدة الحجم من الموصل.
5. عند زيادة مقدار التيار المار في الموصل تزداد التصادمات فترتفع درجة حرارة الموصل، وهذا يزيد من سعة اهتزاز ذرات المادة فتزداد التصادمات مرة أخرى مما يزيد من مقدار المقاومة.

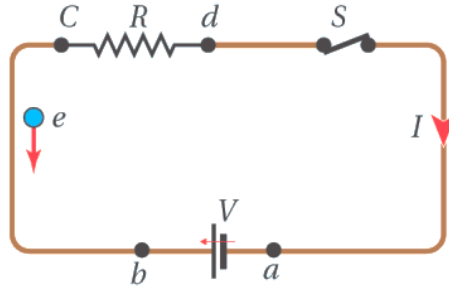
## ② القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية المستهلكة في المقاومات:

✿ تتحرك الإلكترونات في الدارة الكهربائية، حيث تزود البطارية هذه الإلكترونات بالطاقة. [يحدث داخل البطارية تفاعل كيميائي يولد طاقة كيميائية داخلها، وبسبب هذه الطاقة تتمكن البطارية من بذل شغل على الإلكترونات، وهذا الشغل يتحول إلى طاقة مع الشحنات]

✿ تستهلك الإلكترونات جزءاً من طاقتها داخل البطارية نفسها، وذلك بسبب التصادمات التي تحدث داخل البطارية بين الإلكترونات مع بعضها البعض ومع ذرات الفلز، ولهذا نعبر عن هذه التصادمات بمصطلح: المقاومة الداخلية للبطارية، ويرمز لها بالرمز  $(r)$ .

### ➡ توضيح:

مثال: البطارية تبذل شغلاً مقداره  $12 J$  على الشحنات، فتزودها بطاقة مقدارها  $12 J$ ، تستهلك المقاومة الداخلية  $(r)$  جزءاً مقداره  $2 J$  من الطاقة داخل البطارية، فتخرج الإلكترونات من البطارية محملة بطاقة مقدارها  $10 J$ ، وعندما تعبر الشحنات الكهربائية المقاومة الخارجية  $(R)$ ، فإن المقاومة تستهلك ما تبقى من الطاقة مع الشحنات أي  $10 J$ ، فتعود الإلكترونات إلى البطارية وهي لا تحمل أي طاقة، فتشحن البطارية مرة أخرى بـ  $12 J$  مرة أخرى، وهكذا تستمر العملية حتى تفرغ البطارية.



✿ خسارة الطاقة نتيجة التصادمات:

1. بين الإلكترونات مع بعضها البعض.

2. وبين الإلكترونات مع ذرات الفلز.

✿ الطاقة الكهربائية التي تستهلكها المقاومات من الإلكترونات تتحول إلى طاقة حركية لذرات الفلز، حيث تزداد طاقتها الحركية، وينتج عن هذه الزيادة ارتفاع درجة حرارة المقاومة.

✿ ومن ثم يمكن أن تتحول الطاقة الحرارية إلى شكل آخر من أشكال الطاقة حسب الجهاز، مثل الطاقة الضوئية كالمصابيح والطاقة الحركية كالمراوح.

✿ لديه القدرة الكهربائية هي مصطلح يعبر عن كمية الطاقة التي تستهلكها المقاومة الداخلية أو الخارجية في الثانية الواحدة.

✿ يرمز للقدرة الكهربائية بالرمز  $(P)$ ، وهي تقاس بوحدة  $(J/s)$ ، والتي تسمى اختصاراً واط  $(Watt - W)$ .

✿ تحسب القدرة المستهلكة في المقاومات الخارجية  $(R)$  أو الداخلية  $(r)$  من العلاقة التالية:

$$P_R = IV_R = I^2 R = \frac{V_R^2}{R}$$

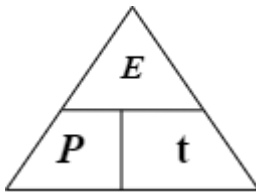
تذكر أن:  $V_R = IR$

$$P_r = IV_r = I^2 r = \frac{V_r^2}{r}$$

تذكر أن:  $V_r = Ir$

✿ يمكن حساب الطاقة الكلية المستهلكة في المقاومات من خلال العلاقة التالية:

$$E = p \times t$$



حيث  $E$ : الطاقة الكلية المستهلكة في المقاومة  $(J - \text{جول})$ .  
 $t$ : زمن مرور التيار في المقاومة  $(s - \text{ثانية})$ .

✿ يعرف **الواط** بأنه: قدرة جهاز كهربائي يستهلك طاقة كهربائية بمقدار  $(1 J)$  كل ثانية.

✿ أو يعرف **الواط** بأنه: قدرة جهاز كهربائي يمر فيه تيار كهربائي  $(1 A)$  عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه  $(1 V)$ .

✿ تعتمد قدرة جهاز على العوامل التالية:

1. التيار المار فيه.

2. فرق الجهد بين طرفيه.

✿ عندما يكتب على الجهاز على سبيل المثال:  $(400 W, 200 V)$  فهذا لا يعني أن قدرة

الجهاز هي  $400 W$  بشكل عام، وإنما تعني أن قدرته هي  $400 W$  إذا وصل مع مصدر فرق جهد مقداره  $200 V$ .

✿ **توضيح:**

جهاز مكتوب عليه  $(400 W, 200 V)$ ، إذا وصل مع مصدر جهد مقداره  $200 V$  فإنه سيستهلك  $400 J/s$  أي  $400 W$ . ولكن إذا وصل مع مصدر جهد مقداره  $100 V$  فقط، فإن قدرة الجهاز ستصبح  $100 W$  فقط لماذا  $100 W$  وليس  $200 W$ .

لأن الثابت الوحيد الذي لا يتغير للجهاز إلا بتغير عوامله هو المقاومة  $(R)$  فقط، ولهذا لحساب القدرة الجديدة، نختار قانون فيه المقاومة الثابتة  $(R)$ :  $(P_R = \frac{V_R^2}{R})$  وبتطبيق طريقة الأسهم، نجد أنه إذا قلت  $(V)$  إلى النصف، فستقل القدرة  $(P)$  إلى الربع.

## ③ تكاليف استهلاك الطاقة الكهربائية

❁ لمعرفة تكاليف استهلاك الطاقة الكهربائية، يجب أن تكون الوحدات كما يلي:

الزمن (t): بوحدة ساعة (h) وليس ثانية (s).

القدرة (P): بوحدة كيلوواط (kW) وليس واط (W).

الطاقة (E): بوحدة كيلوواط ساعة (kWh) وليس جول (J).

❁ للتحويل بين هذه الوحدات، نستخدم المخطط التالي:

$$\begin{array}{ccc} \div 60 & \div 60 & \\ \text{الزمن (t):} & \text{(s)} \longleftrightarrow \text{(min)} & \longleftrightarrow \text{(h)} \\ \times 60 & \times 60 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \div (36 \times 10^5) & & \\ \text{الطاقة (E):} & \text{(J)} \longleftrightarrow \text{(kWh)} & \\ \times (36 \times 10^5) & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \div 10^3 & & \\ \text{القدرة (P):} & \text{(W)} \longleftrightarrow \text{(kW)} & \\ \times 10^3 & & \end{array}$$

❁ نحن ندفع ثمن الطاقة، وليس القدرة ولا الجهد ولا المقاومة.

❁ وحدة الطاقة الواحدة التي تدفع مقابلها هي: (kWh).

❁ تحسب الطاقة من المعادلة:

$$E = p \times t$$

مع مراعاة أن تكون (P) بوحدة كيلوواط (kW) و (t) بوحدة ساعة (h).

❁ تعتمد الطاقة المستهلكة في الجهاز على العوامل التالية:

1. قدرة الجهاز.

2. زمن تشغيله.

❁ يسمى سعر وحدة الطاقة الواحدة: price.

❁ تحسب التكلفة الكلية للطاقة المستهلكة في المقاومة (الجهاز) والتي تسمى: (cost)

من العلاقة التالية:

$$Cost = E_{kW.h} \times price = p_{kW} \times t_h \times price$$

❁ وحدة price هي: JD/kWh

❁ مثلاً سعر وحدة الطاقة الواحدة (kWh) هو: 0.12 JD/kWh

❁ لتشجيع المستهلك على خفض استهلاك الكهرباء، تخصص عادة أسعار أقل لشرائح

الاستهلاك الدنيا.



سؤال

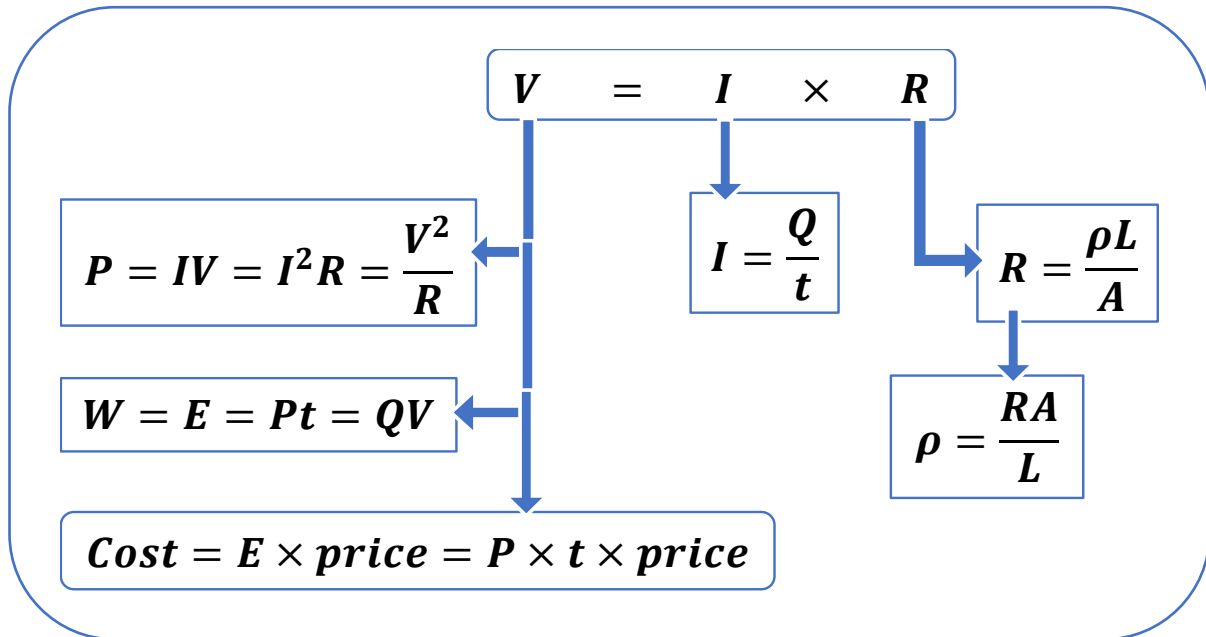
مصباح كهربائي مكتوب عليه (15 W)؛ يعني أنه يستهلك طاقة كهربائية مقدارها (15 J) كل ثانية تشغيل، وإذا شغل مدة نصف ساعة فإنه يستهلك كمية من الطاقة الكهربائية (E) تساوي:

$$E = P\Delta t = 15 \times 30 \text{ min} \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 27000 \text{ J}$$

الربط مع الحياة

دائرة القصر Short circuit تحدث عند توصيل القطب الموجب للبطارية مع قطبها السالب دون وجود مقاومة بينهما، فيحدث انتقال لكمية كبيرة من الشحنات الكهربائية وتتولد حرارة كافية لتسخين الأسلاك. عند حدوث دائرة قصر في تمديدات الكهرباء المنزلية، تنصهر الأسلاك وتتولد حرارة كبيرة قد تؤدي لاحتراق المنزل.

◀ خلاصة القوانين للمقاومة الكهربائية (R):

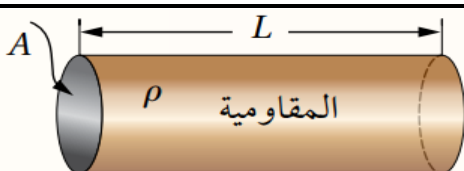


## الأسئلة:

### المقاومة الكهربائية - قانون أوم - عوامل المقاومة الكهربائية.

1. **الفكرة الرئيسية:** أوضح المقصود بالمقاومة الكهربائية لموصل فلزي، وأذكر العوامل التي تعتمد عليها مبيناً كيف تتناسب المقاومة مع كل منها.

- المقاومة مقياس لممانعة الموصل لسريان تيار كهربائي فيه. تعتمد مقاومة الموصل على ثلاثة عوامل: الطول ومساحة المقطع والمقاومية؛ فالمقاومة تتناسب طردياً مع طول الموصل وعكسياً مع مساحة مقطعه، وتختلف المقاومة باختلاف نوع المادة.
- تفسير هذه العوامل: زيادة الطول يزيد من طول مسار الشحنات ويزيد من عدد التصادمات، فتزداد المقاومة. زيادة مساحة المقطع تزيد من عدد الإلكترونات الحرة الناقلة للتيار فتقل المقاومة. أما اختلاف نوع المادة فيغير من عدد الإلكترونات الحرة الناقلة للتيار في وحدة الحجم من الموصل.



2. يبين الشكل المجاور موصلاً فلزياً طوله  $(L)$

ومساحة مقطعه  $(A)$ . أوضح متى تتساوى مقاومة هذا الموصل مع مقاومة المادة المصنوع منها.



عندما يكون طول الموصل متر واحد ومساحة مقطعه تساوي متر مربع واحد، عندها تكون مقاومة الموصل مساوية للمقاومية الخاصة بمادته.

وبصيغة أسهل: لما تكون قيمة الطول والمساحة متساويت.

3. المقاومة خصيصة فيزيائية للمادة، ومقاومية موصل تتصف بإحدى الصفات الآتية:

- أ- تزداد بزيادة طول الموصل وبزيادة مساحة مقطعه.
- ب- تقل بزيادة طول الموصل وبزيادة مساحة مقطعه.
- ج- تزداد بزيادة طول الموصل وبنقصان مساحة مقطعه.
- د- تعتمد على نوع المادة وليس على أبعاد الموصل الهندسية.

4. موصل أومي فرق الجهد بين طرفيه ( $V$ )، ويسري فيه تيار كهربائي ( $I$ ) عند درجة حرارة ( $20^\circ\text{C}$ )، بين ما يحدث لكل من فرق الجهد والتيار والمقاومة إذا ارتفعت درجة حرارة الموصل إلى ( $50^\circ\text{C}$ )، مفسراً إجابتك.
- ✍ بارتفاع درجة الحرارة تزداد سعة اهتزاز ذرات الموصل، فتزداد التصادمات بين الإلكترونات وهذه الذرات وتزداد مقاومة الموصل، نتيجة لذلك يقل التيار الكهربائي فيه، أما فرق الجهد بين طرفيه فلا.

5. أحسب المقاومة الكهربائية في جهاز حاسوب يسري فيه تيار كهربائي ( $800\text{ mA}$ ) عند فرق جهد ( $220\text{ V}$ ).

$275\ \Omega$

#### المثال 1

- مصباح كهربائي يسري فيه تيار كهربائي ( $500\text{ mA}$ )، عندما يتصل مع فرق جهد كهربائي ( $3\text{ V}$ ). ما مقاومة المصباح؟

$6\ \Omega$

6. سلك من فلز التنغستون طوله ( $1.5\text{ m}$ ) ومساحة مقطعه ( $4\text{ mm}^2$ ). ما مقدار التيار المار فيه عند توصيل طرفيه مع مصدر جهد ( $1.5\text{ V}$ )؟

$71.4\text{ A}$



المثال 2

فتيل مصباح مُتوهَّج مصنوع من سلك رقيق من التنغستن؛ نصف قطره  $(10 \mu m)$  على شكل ملف لولبي كما في الشكل، مقاومته  $(560 \Omega)$ . عند شدة جيداً تبين أن طول السلك  $(3.14 m)$ . أحسب مقاومة التنغستن عند درجة حرارة  $20^\circ C$ .

$$5.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

7. أحسب: سخان كهربائي صغير يعمل على جهد  $(220 V)$ ، إذا كان سلك التسخين فيه المصنوع من سبيكة النيكرام طوله  $(83 m)$ ، ونصف قطره  $(0.3 mm)$ . فما مقدار التيار الكهربائي المار في السخان؟

$$0.5 A$$

8. مصفف شعر يعمل على جهد  $(220 V)$ ، ويسري فيه تيار كهربائي مقداره  $(4 A)$ . إذا كان عنصر التسخين فيه مصنوعاً من سلك نيكرام نصف قطره  $(0.8 mm)$ ، فما مقاومة هذا السلك وما طوله؟

$$55 \Omega$$

$$73.7 m$$

9. عند توصيل طرفي موصل مع فرق جهد ( $V$ ) كان التيار الكهربائي المار فيه ( $I$ )، وعند زيادة فرق الجهد بين طرفيه إلى ( $2V$ )، مع ثبات درجة حرارة الموصل، لوحظ زيادة التيار المار فيه إلى ( $3I$ ). ما الذي تستنتج حول خصائص هذا الموصل؟  
 ✎ نستنتج أن مقاومة الموصل ليست ثابتة، بل تتغير عند تغير فرق الجهد بين طرفيه مع ثبات درجة حرارته، ما يعني أن الموصل لا يطيع قانون أوم.

### ◀ القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية المستهلكة في المقاومات:

1. **الفكرة الرئيسية:** أوضح المقصود بالقدرة الكهربائية، ووحدة قياسها.  
 ✎ القدرة الكهربائية: المعدل الزمني للشغل المبذول، وتقاس بوحدة الواط ( $Watt$ ).  
 ✎ الواط: قدرة جهاز كهربائي يستهلك طاقة كهربائية بمقدار  $1 J$  لكل ثانية.

2. أرغب بتصميم مدفأة كهربائية بسيطة قدرتها ( $1000 W$ ) تعمل على جهد ( $240 V$ )، وعنصر التسخين فيها سلك من مادة النيكرام. ما المواصفات الهندسية للسلك؟

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1000}{240} = 4.17 A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{240}{4.17} = 57.6 \Omega$$

$$R = \frac{\rho L}{A} \rightarrow \frac{L}{A} = \frac{R}{\rho} = \frac{57.6}{1.50 \times 10^{-6}} = 3.84 \times 10^7$$

- ✎ للحصول على مدفأة بهذه القدرة، وعنصر مقاومتها سلك من النيكرام حيث مقاومة النيكرام محددة، يجب أن تكون نسبة طول السلك إلى مساحة مقطعه تساوي ( $3.84 \times 10^7$ )، فمثلاً إذا توفر لدي سلك نيكرام مساحة مقطعه ( $4 \times 10^{-6} m^2$ ) فإن طوله يجب أن يساوي:

$$L = 3.84 \times 10^7 \times 4 \times 10^{-6} = 153.6 m$$

3. يتصل مصباح كهربائي مع مصدر جهد ( $12 V$ ) فيسري فيه تيار كهربائي مقداره ( $1.8 A$ ). أحسب القدرة المستهلكة في هذا المصباح.

$$21.6 W$$



4. أحسب التيار الكهربائي في كل من الأجهزة الآتية:

- أ- منشار كهربائي قدرته  $(1.5 \text{ kW})$  يعمل على جهد  $(220 \text{ V})$ .
- ب- سخان كهربائي مقاومته  $(48 \Omega)$  يعمل على جهد  $(240 \text{ V})$ .

6.82 A  
5 A

## المثال 8

يتصل مصباح الضوء الأمامي في السيارة مع مصدر جهد  $(12 \text{ V})$ ؛ فيسري فيه تيار كهربائي مقداره  $(10 \text{ A})$ . ما القدرة الكهربائية المستهلكة في هذا المصباح؟ وما مقاومته الكهربائية؟

120 W  
1.2  $\Omega$

## تمرين

أحسب القدرة التي يستهلكها موقد كهربائي مقاومة سلك التسخين فيه  $(20 \Omega)$ ، ويعمل على فرق جهد  $(240 \text{ V})$ .

2880 W

5. يتسبب فرق في الجهد بين غيمة و سطح الأرض مقداره  $(1.5 \times 10^{10} V)$  في حدوث البرق؛ فينشأ تيار كهربائي مقداره  $(30 kA)$ ، يستمر مدة  $(30 \mu s)$  لتفريغ الشحنة في الأرض. ما مقدار الطاقة الكهربائية المنقولة خلال هذا التفريغ؟

$$1.35 \times 10^{10} J$$

6. تعد ظاهرة البرق مثالا على التيار الكهربائي في الطبيعة، فعند حدوث البرق تنتقل كمية من الطاقة من سحابة إلى أخرى، قد يصل مقدارها إلى  $(10^9 J)$  عبر فرق في الجهد الكهربائي مقداره  $(5 \times 10^7 V)$ ، يجري هذا الانتقال خلال مدة زمنية تساوي  $(0.2 s)$  تقريبا.

معتمدا على هذه المعلومات، أ قدر الكميات الآتية:

أ- كمية الشحنة الكهربائية الكلية التي تنتقل بين السحابتين.

ب- التيار الكهربائي الذي يسري في الهواء خلال البرق.

ج- القدرة الكهربائية.

$$\begin{array}{l} 20 C \\ 100 A \\ 5 \times 10^9 W \end{array}$$

7. **أستخدم المتغيرات:** وصلت سيارة أطفال كهربائية مع شاحن كهربائي فرق جهده  $(12\text{ V})$ ، وقدرته  $(120\text{ W})$  حتى اكتملت عملية الشحن. إذا علمت أن مقدار الطاقة الكهربائية التي انتقلت إلى البطارية  $(2.4\text{ kWh})$ ؛ أحسب:
- المدة الزمنية لاكمال عملية الشحن.
  - التيار المار بين الشاحن وبطارية السيارة.
  - هل يمكن شحن السيارة باستخدام شاحن فرق جهده  $(12\text{ V})$ ، والتيار الذي ينتجه  $(1\text{ A})$ ؟ أفسر إجابتي.

20 h  
10 A  
12 W , 200 h

8. **فرن كهربائي يعمل على جهد  $(240\text{ V})$ ؛ مقاومة عنصر التسخين فيه  $(30\ \Omega)$ . إذا عمل مدة  $(48\text{ min})$  لطهي الطعام، أحسب ما يأتي:**
- التيار الكهربائي الذي يسري في عنصر التسخين.
  - القدرة الكهربائية للفرن.
  - مقدار الطاقة الكهربائية المتحولة إلى حرارة خلال مدة الطهي.
  - كيف تتغير النتائج السابقة جميعها في حال وصل الفرن مع مصدر جهد  $(120\text{ V})$ ؟

8 A  
1920 W  
5529600 J  
4 A , 480 W , 1382400 J

9. موصلان (A) و (B) متساويان في الطول ومساحة المقطع، وصل كل منهما مع مصدر الجهد الكهربائي نفسه، إذا كانت مقاومة مادة الموصل (A) مثلي مقاومة مادة الموصل (B)؛ فما نسبة القدرة التي يستهلكها أحدهما إلى قدرة الآخر؟  
 بما أن الموصلين متماثلين في أبعادهما، فإن نسبة مقاومتيهما ستكون بنفس نسبة المقاومة بينهما. أي إن:  $(R_A = 2R_B)$ .

$$P_A = \frac{V^2}{R_A} = \frac{V^2}{2R_B} = \frac{1}{2} \left( \frac{V^2}{R_B} \right) = \frac{1}{2} P_B$$

10. مصباحان يتصلان مع مصدرتي جهد متماثلين، قدرة المصباح الأول تساوي ثلاثة أمثال قدرة المصباح الثاني. أجد نسبة تيار الأول إلى تيار الثاني، ونسبة مقاومة الأول إلى مقاومة الثاني.

$$P_1 = 3 P_2, V_1 = V_2 = V$$

$$I_1 = \frac{P_1}{V}, I_2 = \frac{P_2}{V}$$

$$I_1 = \frac{3 P_2}{V} = 3 I_2$$

$$R_1 = \frac{V}{I_1}, R_2 = \frac{V}{I_2}$$

$$R_1 = \frac{V}{3 I_2} = \frac{1}{3} R_2$$

## تكاليف استهلاك الطاقة الكهربائية:

المثال 7

أحسب تكلفة تشغيل مكيف قدرته ( $4000\text{ W}$ ) مدة ( $8\text{ h}$ )؛ إذا كان سعر وحدة الطاقة الكهربائية ( $0.12\text{ JD/kWh}$ ).

$3.84\text{ JD}$

1. أحسب تكلفة تشغيل مدفأة قدرتها ( $2800\text{ W}$ ) مدة ( $90$ ) ساعة، إذا كان سعر وحدة الطاقة ( $0.15\text{ JD/kWh}$ ).

$37.80\text{ JD}$



المثال 9

سيارة كهربائية تُخزن بطاقتها طاقة كهربائية مقدارها  $(24 \text{ kWh})$ ، وصلت بشاحن يزودها بتيار  $(16 \text{ A})$  عند فرق جهد  $(220 \text{ V})$ . أجد:

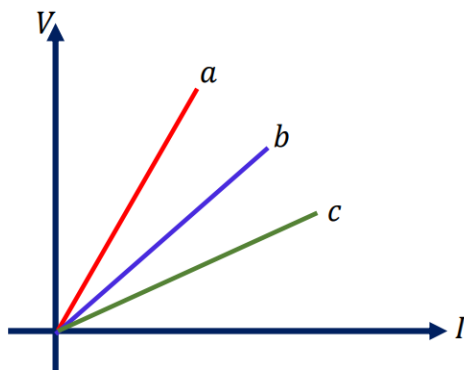
- أ- القدرة الكهربائية للشاحن.
- ب- المدة الزمنية لشحن البطارية بشكل كامل.
- ج- تكلفة شحن السيارة بشكل كامل؛ إذا كان سعر  $(price)$  وحدة  $(\text{kWh})$  هو  $(0.12 \text{ JD})$ .

3.52 W  
6.8 h  
2.88 JD

2. أحسب: سيارة كهربائية موصولة مع شاحن قدرته ( $62.5 \text{ kW}$ ) بسلك طوله ( $6 \text{ m}$ ) ومساحة مقطعه ( $25 \text{ mm}^2$ ) يسري فيه تيار كهربائي ( $125 \text{ A}$ ). إذا استغرقت عملية الشحن ( $30 \text{ min}$ ). أحسب ما يأتي:
- أ- كمية الشحنة التي انتقلت عبر السلك خلال هذه المدة.
  - ب- فرق الجهد بين طرفي الشاحن؟
  - ج- الشغل الكهربائي الذي بذله الشاحن على بطارية السيارة.
  - د- تكلفة الشحن إذا كان سعر ( $1 \text{ kWh}$ ) هو ( $0.12 \text{ JD}$ ).

225000 C  
500 V  
 $1.125 \times 10^8 \text{ V}$   
3.75 JD

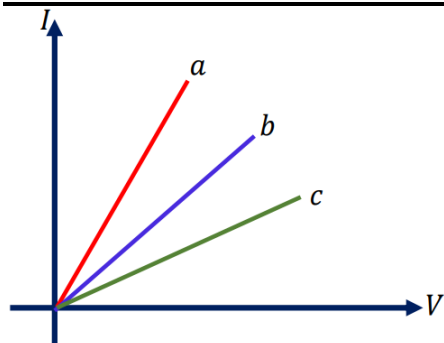
## أسئلة إضافية:



1. اعتماداً على الشكل المجاور والذي يمثل العلاقة بين التيار والجهد لموصلات مختلفة، أجب عما يأتي:
  1. أيها الأكبر ميلاً؟
  2. ماذا يمثل الميل؟
  3. أيها له مقاومة أكبر؟
  4. أيها أفضل لصناعة أسلاك التوصيل؟

الأقرب لمحور  $V$  له أكبر  $R$ ، والأقرب لمحور  $I$  له أفضل توصيل.

$a$   
المقاومة  
 $a$   
 $c$



2. اعتماداً على الشكل المجاور والذي يمثل العلاقة بين التيار والجهد لموصلات مختلفة، أجب عما يأتي:
  1. أيها الأكبر ميلاً؟
  2. ماذا يمثل الميل؟
  3. أيها له مقاومة أكبر؟
  4. أيها أفضل لصناعة أسلاك التوصيل؟

$a$   
مقلوب المقاومة  
 $c$   
 $a$

3. موصلان مصنوعان من نفس المادة، طول الأول 3 أضعاف الثاني، ومساحته نصف مساحة

الثاني، وصل كلاهما مع نفس فرق الجهد لنفس الفترة الزمنية، جد:

1. نسبة مقاومة الأول إلى الثاني.

2. نسبة مقاومة الأول إلى الثاني.

3. نسبة تيار الأول إلى الثاني.

4. نسبة شحنة الأول إلى الثاني.

5. نسبة قدرة الأول إلى الثاني.

6. نسبة الطاقة المستهلكة في الأول إلى الثاني.

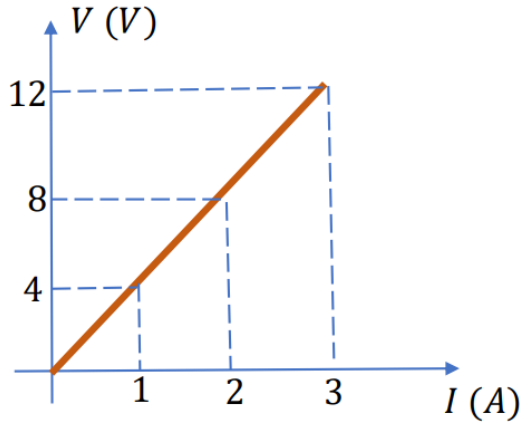
(أعد الحل لو قال بدل المساحة: و (نصف قطر) الثاني يساوي مثلي (نصف قطر) الأول)

$$\begin{array}{c} 1 \\ 6 \\ 1/6 \\ 1/6 \\ 1/6 \\ 1/6 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} 1 \\ 12 \\ 1/12 \\ 1/12 \\ 1/12 \\ 1/12 \end{array}$$

4. اعتمادا على الشكل المجاور، جد:

1. الميل.
2. المقاومة.
3. إذا كان طول الموصل  $2\text{ m}$  ومساحة مقطعه العرضي  $0.4 \times 10^{-4}\text{ m}^2$ ، احسب المقاومة.
4. قدرة الموصل عندما كان التيار يساوي  $3\text{ A}$ .
5. الطاقة المستهلكة في الفرع السابق إذا استمر في العمل لمدة دقيقتين.



$4\ \Omega$   
 $4\ \Omega$   
 $8 \times 10^{-5}\ \Omega \cdot \text{m}$   
 $36\ \text{W}$   
 $4320\ \text{J}$



5. وصل مجفف شعر كهربائي مع مصدر فرق جهد كهربائي مقداره  $(200\text{ V})$ ، إذا كانت قدرة مجفف الشعر  $(1\text{ kW})$ ، فاحسب:

1. مقاومته.
2. الطاقة الكهربائية المستهلكة فيه عند تشغيله  $(15\text{ min})$  بوحدتي (جول) و(كيلوواط. ساعة).

$40\ \Omega$   
 $0.25\text{ kWh}$   
 $9 \times 10^5\text{ J}$

6. وصلت مقاومة مدفأة مع مصدر فرق جهد كهربائي مقداره  $(220\text{ V})$ ، إذا كانت مقاومته تساوي  $(22\ \Omega)$ ، فاحسب القدرة في الحالات الآتية:

1. عند وصلها كما هي.
2. إذا قطع سلك المدفأة إلى نصفين، ووصل أحدهما مع البطارية.

$2200\text{ W}$   
 $4400\text{ W}$

7. اعتماداً على الجدول التالي، والذي يظهر مواصفات ثلاث مقاومات فلزية لها نفس مساحة المقطع ( $A = 1 \text{ m}^2$ )، حدد أي منها له أقل مقاومة؟ (أي: من منها هو الأفضل لصناعة أسلاك توصيلها جيد؟).

نوع المادة	الطول (م)	المقاومة ( $\Omega$ )
أ	0.5	0.5
ب	12	10
ج	18	36

ب - أ - ج

8. عندما تؤول المقاومة الكهربائية لبعض الفلزات إلى الصفر عند درجات الحرارة المنخفضة، فإن هذه الفلزات تصبح:

أ- أشباه موصلات      ب- فائقة العازلية      ج- فائقة التوصيلية      د- فائقة المقاومة

ج

9. إن مقاومة موصل فلزي عند درجة حرارة  $20^\circ \text{C}$ :

أ- تزداد بازدياد طول الموصل.      ب- تقل بازدياد طول الموصل.  
ج- لا تتأثر بازدياد طول الموصل.      د- أحياناً تزداد وأحياناً تقل بتغير طول الموصل.

ج

10. ما أثر زيادة كل من طول الموصل الفلزي، ومساحة مقطعه، ودرجة حرارته على كل من:

1. مقاومة الموصل.

2. مقاومة الموصل.

**11.** للحصول على أفضل توصيل، نختار الموصل بالمواصفات التالية علما بأنها كلها مصنوعة من النحاس:

- أ-  $L_1 = L, A_1 = A$
- ب-  $L_1 = 2L, A_1 = A$
- ج-  $L_1 = L, A_1 = 2A$
- د-  $L_1 = 2L, A_1 = 2A$

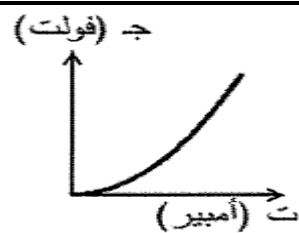
ج

**12.** لا يمر تيار كهربائي في موصل ما إذا لم يتصل طرفاه بمصدر فرق جهد كهربائي، وذلك لأن الإلكترونات الحرة داخل الموصل بغياب فرق الجهد:

- أ- لا تتحرك
- ب- تتحرك حركة عشوائية
- ج- تتحرك بسرعات منتظمة
- د- تتحرك باتجاه حركة الشحنات الموجبة

ب

**13.** يبين الشكل المجاور التمثيل البياني للعلاقة بين فرق الجهد والتيار الكهربائي لمقاومة كهربائية عند درجة حرارة الغرفة، يحتمل أن تكون المقاومة مصنوعة من:



- أ- الكربون
- ب- الألمنيوم
- ج- النحاس
- د- الحديد

ب

**14.** المادة التي تصنف مادة عازلة للكهرباء عند درجة حرارة الغرفة هي:

- أ- الكربون
- ب- المطاط
- ج- السيليكون
- د- الزئبق

ب

**15.** المادة الأفضل لنقل الطاقة الكهربائية وتخزينها بأقل ضياع للطاقة هي:

- أ- الموصلة
- ب- شبه الموصلة
- ج- العازلة
- د- فائقة الموصلية

د

**16.** العبارة الآتية: (التيار الكهربائي المار في موصل عندما يعبر مقطع هذا الموصل شحنة مقدارها (1) كولوم في ثانية واحدة)، هي تعريف:

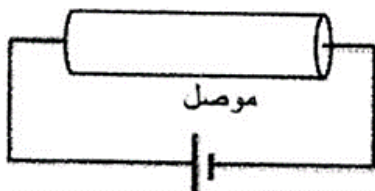
- أ- الأمبير
- ب- الفولت
- ج- الواط
- د- الأوم

ب

17. تتغير قيم المقاومة الكهربائية للموصلات الفلزية بتغير:

- أ- درجة حرارتها      ب- أبعادها      ج- كتلتها      د- شكلها

٢



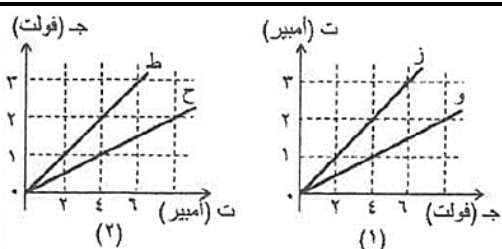
18. الشكل المجاور يمثل دائرة مكونة من موصل وبطارية.

يكون اتجاه التيار الاصطلاحي واتجاه المجال داخل الموصل

على الترتيب:

- أ-  $+x, +x$       ب-  $-x, +x$   
ج-  $+x, -x$       د-  $-x, -x$

٢



19. في تجربة لقياس المقاومة الكهربائية الأربعة

موصلات مختلفة (و، ز، ح، ط)، رسمت العلاقة

البيانية بين التيار الكهربائي المار في الدارة

و فرق الجهد بين طرفي كل من الموصلات

الأربعة كما في الشكلين المجاورين (١، ٢).

الموصل الأكبر مقاومة من بين هذه الموصلات هو:

- أ- و      ب- ز      ج- ح      د- ط

$$V = \text{ج}$$

$$I = \text{ت}$$

٢

## أسئلة سنوات سابقة:

1. عندما تعبر مقطع موصل شحنة مقدارها ( $4\text{ C}$ ) في ثانية واحدة، نتيجة تطبيق فرق جهد

كهربائي مقداره ( $2\text{ V}$ ) بين طرفي هذا الموصل، فإن إحدى العبارات الآتية تكون صحيحة:

أ- مقاومة الموصل ( $0.5\ \Omega$ )      ب- مقاومة الموصل ( $2.0\ \Omega$ )

ج- التيار في الموصل ( $0.5\text{ A}$ )      د- التيار في الموصل ( $2.0\text{ A}$ )



2. تؤدي زيادة مساحة مقطع الموصل إلى نقصان مقاومته، وذلك نتيجة:

أ- زيادة سعة اهتزاز ذرات الموصل      ب- زيادة عدد الإلكترونات الحرة الناقلة للتيار

ج- نقصان سعة اهتزاز ذرات الموصل      د- نقصان عند التصادمات بين الإلكترونات

وذرات الموصل



3. جهاز حاسوب قدرته الكهربائية ( $300\text{ W}$ ). إذا علمت أن سعر وحدة الطاقة الكهربائية

( $0.15\text{ JD/kWh}$ )، فإن تكلفة تشغيل الجهاز مدة ثمان ساعات ( $8\text{ h}$ ) بوحدة دينار أردني

( $\text{JD}$ ) تساوي:

أ-  $0.36$       ب-  $2.16$       ج-  $3.60$       د-  $21.60$



4. تقاس مقاومة المادة وفقاً للنظام الدولي للوحدات بوحدة:

أ- ( $\Omega \cdot m^2$ )      ب- ( $\Omega \cdot m$ )      ج- ( $\Omega/m$ )      د- ( $m/\Omega$ )



5. موصل مقدار مقاومته ( $6\ \Omega$ ) إذا طبق بين طرفيه فرق جهد مقداره ( $4\text{ V}$ )، فإن كمية

الشحنة التي تعبر مقطع هذا الموصل في مدة ( $3\text{ s}$ ) بوحدة ( $\text{C}$ ) تساوي:

أ-  $(2)$       ب-  $(4)$       ج-  $(12)$       د-  $(24)$





6. حدث تفريغ كهربائي بين كرة مولد فأن دي غراف وكرة أخرى موصولة بالأرض، فرق الجهد بينهما (2000 V)، فكان على شكل تيار كهربائي (250 A) استمر سريانه مدة (3 s). مقدار الطاقة الكهربائية المنقولة خلال هذا التفريغ بوحدة جول (J) هو:

أ-  $(7.5 \times 10^2)$  ب-  $(6.0 \times 10^3)$  ج-  $(5.0 \times 10^5)$  د-  $(1.5 \times 10^6)$

7. مصباح كهربائي قدرته (800 W) يعمل مدة عشر ساعات (10 h)، إذا علمت أن سعر وحدة الطاقة الكهربائية (0.12 JD/kWh)، فإن تكلفة تشغيله بوحدة (JD) هي:

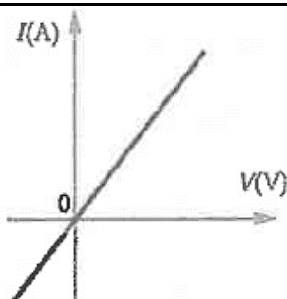
أ- 0.96 ب- 2.96 ج- 9.60 د- 19.20

8. موصل أومي مقاومته (R) عند درجة حرارة (25 °C)، عند تسخينه إلى درجة حرارة (80°C)، فإن ما يحدث للموصل:

أ- يبقى أوميا، وتقل مقاومته ب- يبقى أوميا، وتزداد مقاومته ج- يصبح لا أوميا، وتبقى مقاومته ثابتة د- يصبح لا أوميا، وتتغير مقاومته

9. يُصنع فتيل المصباح المتوهج من موصل أومي هو فلز التنغستن، وعند مرور تيار كهربائي في المصباح ترتفع درجة حرارة الفتيل. إن ما يحدث لمقاومة الفتيل:

أ- تزداد وتصبح لا أومية ب- تزداد وتبقى أومية ج- تنقص وتصبح لا أومية د- تنقص وتبقى أومية



10. بين الشكل المجاور علاقة فرق الجهد (V) بين طرفي موصل أومي مع التيار (I) المار فيه. ميل المنحنى يمثل:

أ- مقاومة الموصل ب- مقاومة مادة الموصل ج- مقلوب مقاومة مادة الموصل د- مقلوب مقاومة الموصل

**11.** إذا وصل مصباح كهربائي قدرته ( $40\text{ W}$ ) مع مصدر فرق جهد ( $200\text{ V}$ )، فإن كمية الشحنة الكهربائية التي تعبر المصباح خلال ( $60\text{ s}$ ) بوحدة كولوم ( $C$ ) تساوي:

- أ- 5      ب- 12      ج- 300      د- 480



**12.** بطارية سيارة كهربائية تخزن طاقة مقدارها ( $36\text{ kWh}$ )، وصلت مع شاحن يزودها بتيار ( $15\text{ A}$ ) عند فرق جهد ( $240\text{ V}$ ) المدة الزمنية اللازمة لشحنها بشكل كامل بوحدة دقيقة ( $\text{min}$ )، هي:



### 3. القوة الدافعة الكهربائية

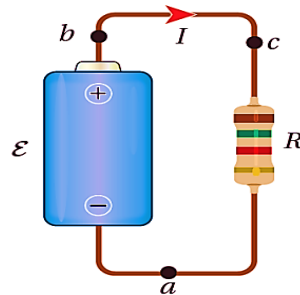
يحتوي هذا الدرس على 2 محاور

تمثيل تغيرات الجهد الكهربائي  
بيانياً.

القوة الدافعة الكهربائية (حساب  
جهدتها وقدرتها).

#### ① القوة الدافعة الكهربائية (حساب جهدتها وقدرتها).

- ✿ البطارية هي مصدر الطاقة في الدارات الكهربائية.
- ✿ تحدث داخل البطارية تفاعلات كيميائية ينتج عنها تولد الطاقة الكهربائية داخلها.
- ✿ ولأن الجهد الكهربائي يعبر عن الطاقة دائماً؛ يتولد بين طرفي البطارية فرق جهد.
- ✿ يسمى فرق الجهد بين طرفي البطارية: القوة الدافعة الكهربائية  
(*Electromotive force*) يرمز لها بالرمز: ( $\varepsilon$ ).
- ✿ القوة الدافعة الكهربائية ليست قوة ميكانيكية، بل هي فرق جهد كهربائي بين قطبي البطارية.
- ✿ لا تقاس القوة الدافعة الكهربائية بوحدة (نيوتن) ولكنها تقاس بوحدة (فولت).
- ✿ دائماً، يكون الجهد الكهربائي للقطب الموجب للبطارية أعلى من الجهد الكهربائي للقطب السالب لها.
- ✿ ينتج عن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي البطارية تولد التيار الكهربائي في الدارة، حيث تتحرك شحنات موجبة (افتراضية) من القطب الموجب للبطارية خارجها نحو القطب السالب مروراً بالمقاومة الكهربائية.



الشكل (6): مقاومة موصولة  
بقطبي بطارية.

- ✿ تخرج الشحنات من البطارية محملة بالطاقة الكهربائية، وتستهلك طاقتها في المقاومات كما تعلمنا في الدرس السابق، ومن ثم تعود للبطارية وليس معها طاقة، وتصل إلى القطب السالب للبطارية وطاقاتها تساوي صفر.
- ✿ تبذل البطارية شغلاً لتحريك الشحنات (نقلها) من القطب السالب الأقل جهداً إلى القطب الموجب الأعلى جهداً.

✿ تعرف **القوة الدافعة الكهربائية** ( $\varepsilon$ ) بأنها **الشغل الذي تبذله البطارية في نقل وحدة**

**الشحنات الموجبة داخل البطارية من قطبها السالب إلى قطبها الموجب.**

✿ ويمكن التعبير عنها بالرموز رياضيا كما يأتي:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q}$$

حيث  $W$ : هي الشغل الذي تبذله البطارية لنقل الشحنات من القطب السالب إلى الموجب داخل البطارية ( $J$ ).

$Q$ : الشحنة المنقولة داخل البطارية ( $C$ ).

✿ تقاس القوة الدافعة بوحدة ( $J/C$ ) والتي تمثل الفولت ( $V$ ).

أتخيل أن القوة الدافعة الكهربائية للبطارية تشبه مضخة للشحنات؛ فالشغل الذي تبذله البطارية تكتسبه الشحنات الموجبة على شكل طاقة وضع كهربائية عند حركتها داخل البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب. وعندما تكمل حركتها خلال الدارة، فإنها تفقد هذه الطاقة عند عبورها المقاومة.

✿ يمكن اعتبار أن أسلاك التوصيل بين البطارية والمقاومات دائما مهمة المقاومة، وبالتالي لا تستهلك طاقة ولا تسخن.

✿ يكون فرق الجهد الكهربائي بين طرفي البطارية ( $V_\varepsilon$ ) مساويا للقوة الدافعة الكهربائية ( $\varepsilon$ ) لها:

$$V_\varepsilon = \varepsilon$$

✿ ولكن لا تنسى أن البطارية بسبب احتوائها على مادة تمر فيها الشحنات (ليست فراغ)، فإنها تمانع قليلا حركة الشحنات الكهربائية بداخلها (تصادمات)، ولهذا يقال إن البطارية تحتوي بداخلها على مقاومة داخلية ( $r$ ) (*internal resistance*).

✿ نتيجة لهذه المقاومة؛ تفقد الشحنات جزءاً من طاقتها داخل البطارية في المقاومة الداخلية لها.

✿ أي أن البطارية تزود الشحنات بالطاقة، فتفقد الشحنات جزءا منها في المقاومة الداخلية، وتفقد الجزء المتبقي منها في المقاومات الخارجية [غالباً الطاقة المفقودة في المقاومة الخارجية أكبر منها في المقاومة الداخلية]

✿ كما درسنا سابقا، يعبر عن جهد المقاومة ( $R$ ) من خلال قانون أوم، حيث:

$$V_R = I \times R$$

✿ فإذا أردنا حساب جهد المقاومة الداخلية، فإنه يساوي:

$$V_r = I \times r$$

❁ ويسمى **جهد المقاومة الداخلية: الهبوط في جهد البطارية**، لأنه يعد جهداً **ضائعاً** منها وليس **منتجاً** فيها.

❁ وبالتالي يصبح **جهد البطارية** كاملاً بوجود المقاومة الداخلية:

$$V_{\varepsilon} = \varepsilon \times Ir$$

❁ نستنتج من هذه العلاقة أن:

$$V_{\varepsilon max} = \varepsilon$$

1. أكبر جهد ممكن أن تولده البطارية بين قطبيها يكون مساوياً لـ:  $\varepsilon$ .
2. الهبوط في الجهد يخضع من القوة الدافعة للحصول على جهد البطارية (فرق الجهد بين طرفيها).
3. يكون الهبوط في الجهد صفراً، وبالتالي ( $V_{\varepsilon} = \varepsilon$ ) فقط، في حالتين:
  - ① الدارة مفتوحة ( $I = 0$ ).
  - ② المقاومة الداخلية ( $r$ ) مهملة للبطارية ( $r = 0$ ) (**بطارية مثالية**).

✓ **أتحقق:** ما أهمية القوة الدافعة الكهربائية للبطارية بالنسبة لحركة الشحنات عبر الدارة الكهربائية؟

✍ القوة الدافعة الكهربائية تولد مجالا كهربائياً تتجه خطوطه من القطب الموجب للبطارية عبر أسلاك الدارة إلى قطبها السالب، فيعمل هذا المجال على نقل الإلكترونات بعكس اتجاه خطوط المجال؛ أي من القطب السالب للبطارية إلى قطبها الموجب عبر أسلاك الدارة.

افكر

أوضحُ العلاقة بين حركة كل من الإلكترونات والشحنات الموجبة (الافتراضية) داخل البطارية واتجاه التيار الكهربائي فيها.

✍ تتحرك الشحنات الموجبة (الافتراضية) باتجاه المجال الكهربائي، ويكون اتجاه المجال من القطب الموجب إلى السالب خارج البطارية، ومع اتجاه المجال المغناطيسي نفسه يكون اتجاه التيار الكهربائي. ويكون اتجاه حركة الإلكترونات السالبة عكس اتجاه التيار الكهربائي والمجال. هذا خارج البطارية، أما داخل البطارية، فتتحرك الإلكترونات السالبة من القطب الموجب إلى السالب، في حين يكون اتجاه حركة الشحنات الموجبة (الافتراضية) والتيار الكهربائي عكس الإلكترونات؛ أي من القطب السالب إلى الموجب داخل البطارية. أما الأيونات الموجبة نفسها فلا تتحرك.

دائما الشغل الذي تبذله البطارية يتحول إلى طاقة مع الشحنات، ولهذا نضع:

$$W = E$$

### ← فائدة

إذا كانت البطارية متصلة مع مقاومة خارجية واحدة فقط كما في الشكل، فعندها يمكن اعتبار ما يلي:

✓  $(V_a = V_c)$  لأنهما متصلتان معا بسلك فارغ.

✓  $(V_b = V_d)$  لأنهما متصلتان معا بسلك فارغ.

✓  $(V_a > V_b)$  لأن  $(a)$  من جهة القطب الموجب للبطارية.

✓  $(V_c > V_d)$  لأن  $(c)$  من جهة القطب الموجب للبطارية.

$$\vec{V}_{dc} = V_c - V_d = += V_\varepsilon = \varepsilon - Ir \quad \checkmark$$

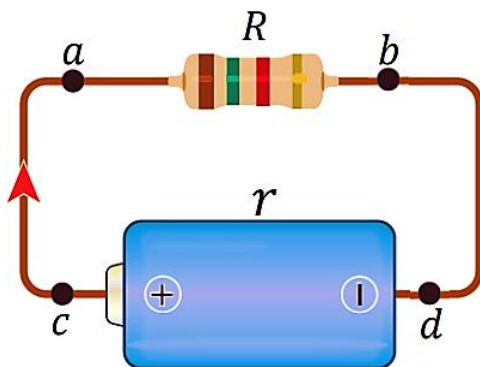
$$\vec{V}_{ba} = V_a - V_b = += V_R = IR \quad \checkmark$$

$$V_{dc} = V_{ba} \quad \checkmark$$

$$V_\varepsilon = V_R \quad \checkmark$$

$$\varepsilon - Ir = IR \quad \checkmark$$

$$\varepsilon - IR = Ir = \text{الهبوط} \quad \checkmark$$



✿ تعلمنا الآن أن المقاومات تستهلك الطاقة (الجهود)؛ ولذا يكون الجهد الكهربائي بعد

المقاومة أقل من الجهد الكهربائي قبلها عندما نتحرك مع اتجاه التيار، ولهذا يصبح

هناك فرق جهد بين طرفي المقاومة، يحسب من خلال قانون أوم كما يلي:

$$V_R = IR$$

✿ وتعلمنا كذلك أن البطارية ( $\varepsilon$ ) تولد الطاقة، مع استهلاك جزء يسير منها داخلها بسبب

المقاومة الداخلية ( $r$ )، ولهذا يكون الجهد بعد البطارية (الطرف الموجب) أعلى من

الجهد قبل البطارية (الطرف السالب) عند الحركة باتجاه البطارية (من القطب السالب إلى

الموجب)، ولهذا يصبح هناك فرق جهد بين طرفي البطارية يحسب كما يلي:

$$V_\varepsilon = \varepsilon - Ir$$

✿ وبما أن لكل مقاومة قدرة على استهلاك الطاقة الكهربائية، فإن لكل بطارية قدرة على

إنتاج الطاقة.

✿ وللتذكير فإن القدرة المستهلكة في المقاومة (الداخلية أو الخارجية) تعطى بالعلاقة:

$$P = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$



✿ تحسب القدرة المنتجة في البطارية من العلاقة التالية:  $P_{\varepsilon} = I\varepsilon$

س اشتق قانون حساب القدرة للبطارية.

ج عرفنا أن القوة الدافعة الكهربائية هي الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات داخل البطارية، ورياضياً:

$$\varepsilon = \frac{W}{Q}$$

ويجعل الشغل موضع القانون:

$$W = \varepsilon Q \text{ --- (1)}$$

ومن دراستنا السابقة للميكانيكا، عرفنا أن **القدرة** هي المعدل الزمني للشغل المبذول (أي الشغل مقسوماً على الزمن)

$$P = \frac{W}{t}$$

ويمكن تعريف **القدرة الكهربائية للبطارية (المنتجة)** بأنها: المعدل الزمني للشغل الذي تبذله البطارية. أي أن:

$$P_{\varepsilon} = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P_{\varepsilon} \times t \text{ --- (2)}$$

وبمساواة المعادلة (1) مع (2) نحصل على:

$$P_{\varepsilon} \times t = \varepsilon \times Q$$

وبقسمة طرفي المعادلة على الزمن (1)، ولأن  $(I = \frac{Q}{t})$ ، نحصل على:

$$P_{\varepsilon} = I\varepsilon$$

← **مفاجأة جميلة:**

✿ يتجلى قانون حفظ الطاقة في أجمل صوره كما يلي:

من الفائدة السابقة، حصلنا على:

$$\varepsilon - Ir = IR$$

ويجعل  $\varepsilon$  موضع القانون نحصل على:  $\varepsilon = IR + Ir$

وبضرب طرفي المعادلة بـ: (I) نحصل على:

$$I\varepsilon = I^2R + I^2r \text{ --- (القدرة)}$$

$(I^2R + I^2r)$ : القدرة المستهلكة في المقاومات الخارجية والداخلية.

$(I\varepsilon)$ : القدرة المنتجة في البطارية.

القدرة هي الطاقة في الثانية الواحدة.

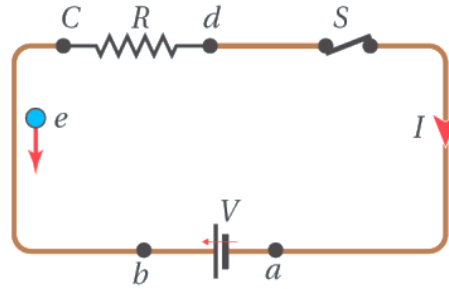
أي أن: الطاقة التي تنتجها البطارية تستهلكها المقاومات جميعاً.

✿ يمكن حساب الطاقة المنتجة في البطارية كما يلي:  $E = P_{\varepsilon} \times t$

✿ مع التأكيد على أن:

**الطاقة التي تنتجها البطارية وتزود بها الشحنات هي نفسها الشغل الذي تبذله البطارية لنقل الشحنات بداخلها.**

✓ **أتحقق:** في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل (10)؛ كيف تنتقل الشحنة الموجبة الافتراضية داخل البطارية؟ ومن أين تحصل على الطاقة؟



✍ في الدارة المبينة في الشكل تتحرك الإلكترونات الحرة في الدارة بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة، وسريان للتيار الكهربائي باتجاه عقارب الساعة. أما الشحنة الافتراضية الموجبة فهي تتحرك في الدارة باتجاه التيار، أي مع اتجاه عقارب الساعة، وتكمل حركتها داخل البطارية من القطب السالب إلى الموجب (من  $a$  إلى  $b$ ) وتحصل على الطاقة من الشغل الذي تبذله عليها القوة الدافعة للبطارية.

## ← تطبيق، تكنولوجيا: شحن السيارات الكهربائية



الشكل (12): شحن السيارة الكهربائية من جهاز شحن عام.

تزود السيارة الكهربائية بالطاقة بواسطة شاحن منزلي، كما تتوفر أجهزة شحن في الأماكن العامة، كما في الشكل (12)، وحيث أن القدرة الكهربائية لبطارية السيارة كبيرة، فهي تحتاج كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية، ولتحقيق ذلك؛ لا بد من وصل السيارة مع الشاحن مدة زمنية طويلة. لتقليل هذه المدة ينبغي زيادة قدرة الشاحن والتيار الكهربائي الذي يسري عبر الأسلاك إلى بطارية السيارة. لكن هناك حدود أمان لا يمكن تخطيها، فعند الشحن في المنزل لا ينصح بزيادة التيار عن (13 A)؛ لمنع ارتفاع درجة حرارة الأسلاك، وهذا يتطلب مدة شحن قد تصل إلى (8) ساعات.

## الربط مع التكنولوجيا



نظرا لارتفاع تكلفة فاتورة الطاقة، أصبح من الضروري التوجه إلى مصادر الطاقة المتجددة، وعلى رأسها الطاقة الشمسية. تستخدم ألواح تحتوي على عدد كبير من الخلايا الشمسية التي تحول طاقة ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية يجري استهلاكها في المنزل أو المصنع، ويُنقل الفائض منها إلى الشبكة الوطنية للكهرباء، بدلاً من استخدام البطاريات مرتفعة الثمن لتخزينه.

## الربط مع التكنولوجيا



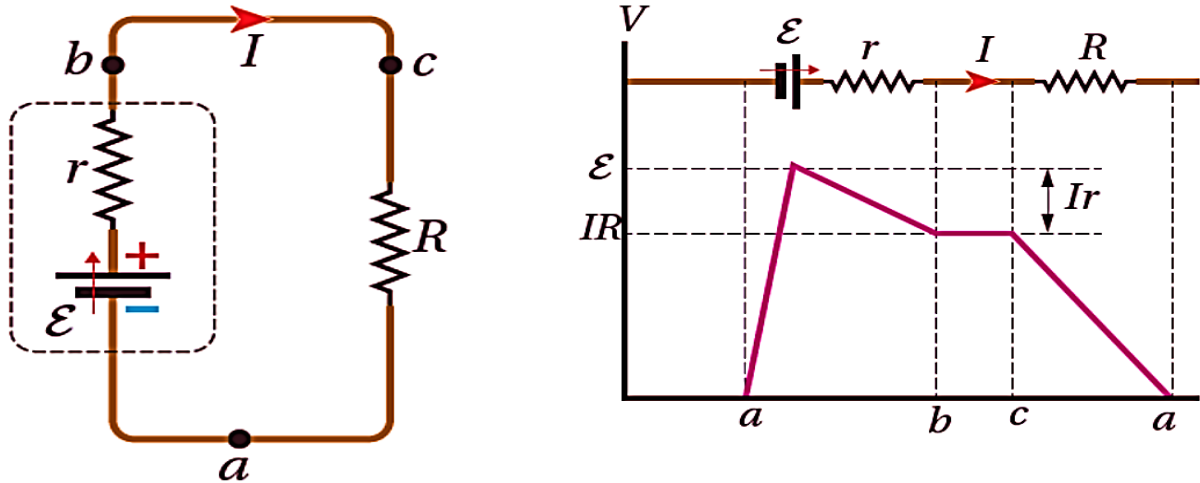
عند شراء بطارية هاتف، نبحث عن الأفضل، فالرقم الظاهر في الصورة ( $2800 \text{ mAh}$ ) يعني أن البطارية تخزن كمية من الطاقة، تمكنها من إنشاء تيار ( $2800 \text{ mA}$ ) مدة ساعة كاملة، أو تيار ( $280 \text{ mA}$ ) مدة عشر ساعات. وكذلك بالنسبة لبطارية السيارة، نجد أن البطارية ( $70 \text{ Ah}$ ) أفضل من تلك التي تحمل الرقم ( $50 \text{ Ah}$ ).

## ② التمثيل البياني للتغيرات في الجهد الكهربائي:

✿ تعلمنا سابقاً أن:

1. الموصل يحتوي على الشحنات الكهربائية التي تتحرك حركة عشوائية.
2. وعند توصيل الموصل (المقاومة) بالبطارية، تزود البطارية الشحنات بالطاقة الكهربائية نتيجة بذل الشغل عليها لنقلها بين طرفي البطارية، أي أن الجهد يصبح مرتفعاً.
3. تتحرك الشحنات المحملة بالطاقة إلى المقاومات الكهربائية.
4. تستهلك المقاومات الكهربائية الطاقة التي تحملها الشحنات، أي الجهد يصبح أقل.
5. تستهلك المقاومة الداخلية جزءاً من طاقة الشحنات، فيقل الجهد قليلاً.
6. تستهلك المقاومات الخارجية ما تبقى من الطاقة التي تحملها الشحنات، فيصبح الجهد صفراً.

✿ يمكن تمثيل ما يحدث لتغير في الجهد بيانياً كما يلي:



- ✿ النقطة (a) متصلة بالقطب السالب للبطارية، سيكون جهدها: صفراً.
- ✿ البطارية (ε) تبدل شغلا فترفع الجهد.
- ✿ المقاومة الداخلية (r) تستهلك جزءاً من الطاقة، فيقل الجهد.
- ✿ المقاومة الخارجية (R) تستهلك باقي الجهد، فينخفض ويصبح صفراً بعدها أي عند النقطة (a) مرة أخرى.
- ✿ بشكل عام

1. ارتفاع الجهد: قوة دافعة كهربائية، جهدها: ε.
2. انخفاض الجهد: مقاومة، ويكون جهدها:
  - IR: في حالة المقاومة الخارجية.
  - Ir: في حالة المقاومة الداخلية (وتسمى: الهبوط في جهد البطارية).

✿ إذا تحركنا من النقطة (a) إلى النقطة (a) نفسها مروراً بأجزاء الدارة الكهربائية (مسار مغلق):

1. سيبدأ الجهد صفراً، ثم سيرتفع الجهد بسبب ( $\varepsilon$ ) بمقدار ( $\varepsilon$ ) ثم ينخفض بسبب ( $r$ ) بمقدار ( $Ir$ ) ثم ينخفض بسبب ( $R$ ) بمقدار ( $IR$ ) ويعود صفراً كما بدأ.
2. يمكن تمثيل ذلك بالمعادلات كما يلي:

$$\cancel{V_a} + \varepsilon - Ir - IR = \cancel{V_a}$$

أي أن:

$$\varepsilon - Ir = IR$$

أي أن:

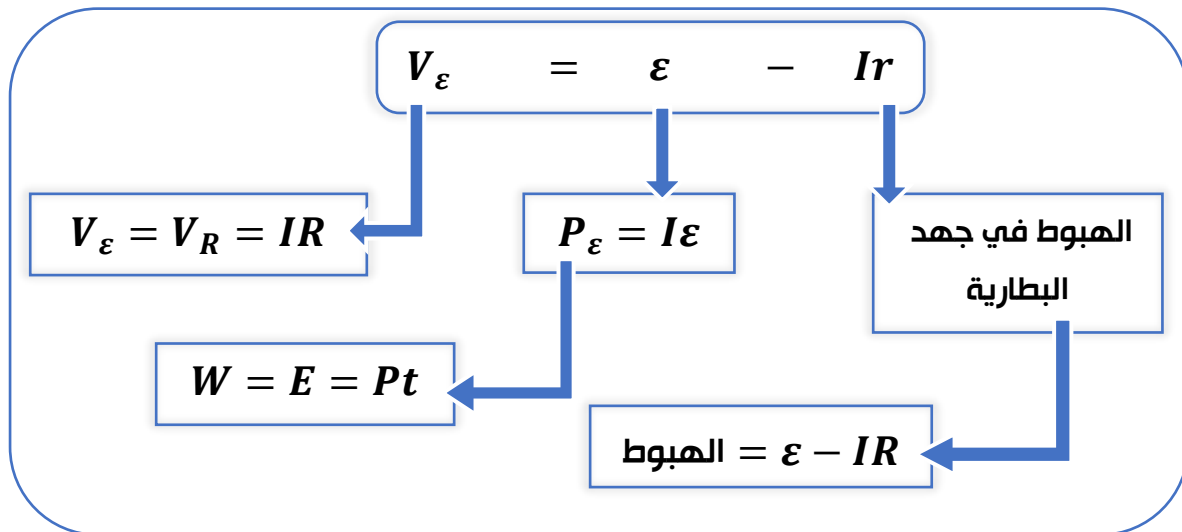
$$V_\varepsilon = V_R$$

افكر

ما تحولات الطاقة التي تحدث داخل البطارية في الحالتين:

- أ- توليد القوة الدافعة الكهربائية وبذل شغل لتحريك الشحنات خلال الدارة.
  - ب- استهلاك جزء من طاقة البطارية داخلها بسبب المقاومة الداخلية لها.
- ➡ عند توليد القوة الدافعة الكهربائية تتحول الطاقة من كيميائية إلى كهربائية.
- ➡ عند استهلاك جزء من الطاقة. بسبب المقاومة الداخلية لها، تتحول الطاقة من كهربائية إلى حرارية.

➡ ملخص قوانين القوة الدافعة الكهربائية:





## الأسئلة

### القوة الدافعة الكهربائية (حساب جهدها وقدرتها).

محذوف

المثال 3

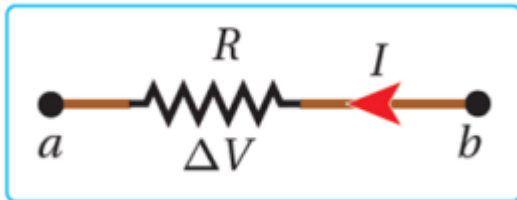
عند قياس فرق الجهد بين قطبي بطارية، قد نجد أنه أقل من قوتها الدافعة الكهربائية  
أفسر هذا الاختلاف

✍ إن نقصان فرق الجهد بين قطبي البطارية عن قوتها الدافعة الكهربائية ناتج عن وجود  
مقاومة داخلية تستهلك جزءا من الطاقة الكهربائية المنتجة، وتحوله إلى طاقة  
حرارية.

1. أفسر لماذا يتغير فرق الجهد بين قطبي البطارية عندما يتغير مقدار التيار الكهربائي المار  
فيها؟

✍ بسبب وجود مقاومة كهربائية للمواد الكيميائية داخل البطارية، تعرف بالمقاومة  
الداخلية، فإنه يحدث هبوط في فرق الجهد بين قطبي البطارية، أي أن فرق الجهد  
يكون أقل من القوة الدافعة الكهربائية للبطارية (عندما يكون اتجاه التيار من القطب  
السالب إلى الموجب داخل البطارية)، وكلما زاد مقدار التيار زاد هذا الهبوط في الجهد.

2. يسري تيار في مقاومة باتجاه اليسار، كما في الشكل، إذا كان ( $V_a$ ) ثابتا فإنه يمكن وصف  
الجهد ( $V_b$ ) بأنه:



أ- ( $V_b$ ) أعلى من ( $V_a$ )، وبزيادته يزداد التيار ( $I$ ).

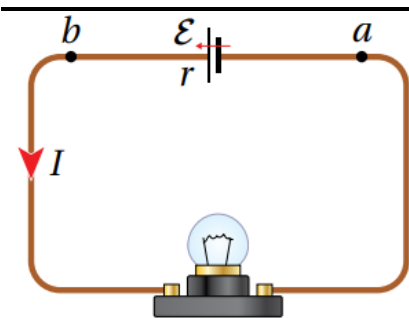
ب- ( $V_b$ ) أعلى من ( $V_a$ )، وبزيادته يقل ( $I$ ).

ج- ( $V_b$ ) أقل من ( $V_a$ )، وبزيادته يزداد التيار ( $I$ ).

د- ( $V_b$ ) أقل من ( $V_a$ )، وبزيادته يقل التيار ( $I$ ).



3. أفسر لماذا يُعد فرق الجهد بين طرفي المقاومة سالبا عند عبورها باتجاه التيار المار فيها.   
 ينتقل التيار خلال المقاومة من منطقة الجهد المرتفع إلى منطقة الجهد المنخفض،   
 وعند عبورنا المقاومة باتجاه التيار فيها فنحن ننتقل مثل التيار من الجهد المرتفع إلى   
 الجهد المنخفض، أي إن التغير في الجهد الذي نواجهه في أثناء ذلك يكون هبوطا في   
 الجهد (تغيرا سالبا).



المثال 3

بطارية قوتها الدافعة الكهربائية (12.0 V) ومقاومتها الداخلية ( $0.5 \Omega$ )، وصل قطباها مع مصباح في دائرة كهربائية، كما في الشكل (9)، فكان التيار المار فيها ( $2.4 A$ )، أحسب فرق الجهد بين قطبي البطارية.

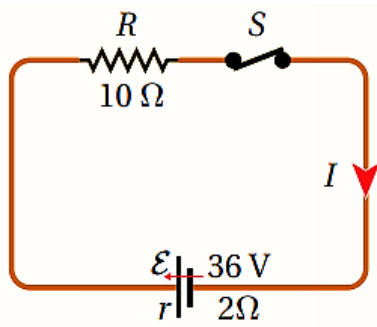
جد: فرق الجهد بين طرفي المصباح.  $10.8 V$

$10.8 V$

تمرين

في المثال (3)، بافتراض أن البطارية مثالية ( $r = 0$ ). أحسب فرق الجهد بين قطبيها.

$12 V$



4. أستخدم المتغيرات: في الدارة الكهربائية المبينة في

الشكل المجاور؛ أغلق المفتاح (S) مدة (5 min).

أحسب ما يأتي:

أ- الطاقة الكهربائية التي تنتجها البطارية (الشغل الذي تبذله).

ب- الطاقة الكهربائية التي تستهلكها كل مقاومة.

ج- نوع تحويلات الطاقة في البطارية وفي المقاومات.

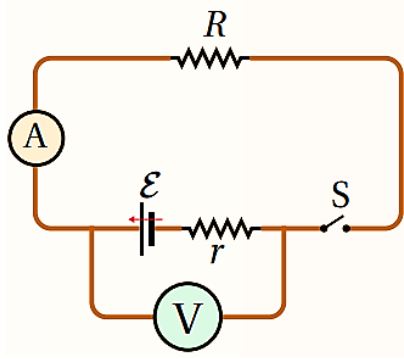
32400 J  
5400 J  
2700 J

تتحول الطاقة في البطارية من كيميائية إلى كهربائية، وفي المقاومات تتحول من كهربائية إلى حرارية.

5. بطارية قوتها الدافعة الكهربائية (9 V)، ومقاومتها الداخلية (2.5 Ω). ما مقدار

المقاومة التي توصل مع البطارية حتى تكون القدرة المستهلكة في البطارية (2.7 W)؟

$$\begin{aligned} I &= 1.04 \text{ A} \\ P_{\varepsilon} &= 9.36 \text{ W} \\ P_R &= 6.66 \text{ W} \\ R &= 6.15 \Omega \end{aligned}$$



6. أستخدم الأرقام: تتكون دائرة كهربائية من بطارية ومقاومة كما في الشكل المجاور. عندما كان المفتاح ( $S$ ) مفتوحا كانت قراءة الفولتميتر ( $12\text{ V}$ )، وعند إغلاق المفتاح أصبحت قراءته ( $10\text{ V}$ )، إذا علمت أن المقاومة الداخلية للبطارية ( $0.5\ \Omega$ ) أحسب:
- قراءة الأميتر والمفتاح مغلق.
  - مقدار المقاومة ( $R$ ).

$$I = 4\text{ A}$$

$$R = 2.5\ \Omega$$

المقاومة ( $\Omega$ )	فرق الجهد ( $V$ )	
0	0.00	1
2	3.00	2
4	4.00	3
6	4.50	4
8	4.80	5
10	5.00	6
100	5.88	7
1000	5.99	8

7. أجرت سعاد تجربة لاستقصاء المقاومة الداخلية لبطارية؛ فاستخدمت مقاومة متغيرة ووصلتها مع البطارية، واستخدمت جهاز فولتميتر لقياس فرق الجهد بين طرفي البطارية، ونظمت النتائج في الجدول المجاور.

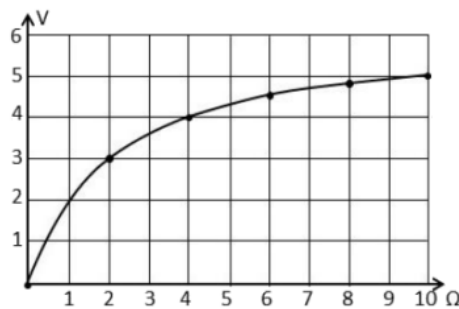
أ- أمثل نتائج المحاولات الست الأولى من التجربة بيانيا؛ المقاومة على محور ( $x$ ) وفرق الجهد على محور ( $y$ ).

ب- أستنتج من الجدول والرسم البياني مقدار المقاومة الداخلية للبطارية.

ج- أستنتج مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية.



أ- تمثيل النتائج بيانيا:



ب- المقاومة الداخلية للبطارية: من النقطة (4, 4):

$$V_R = IR \rightarrow I = \frac{V_R}{R} = \frac{4}{4} = 1 A$$

$$V_\varepsilon = \varepsilon - Ir$$

$$4 = \varepsilon - r \rightarrow \varepsilon = 4 + r$$

من النقطة (2, 3):

$$V_R = IR \rightarrow I = \frac{V_R}{R} = \frac{3}{2} = 1.5 A$$

$$V_\varepsilon = \varepsilon - Ir$$

$$3 = \varepsilon - 1.5 r \rightarrow \varepsilon = 3 + 1.5 r$$

بمساواة المعادلتين:

$$4 + r = 3 + 1.5 r \rightarrow r = \frac{1}{0.5} = 2 \Omega$$

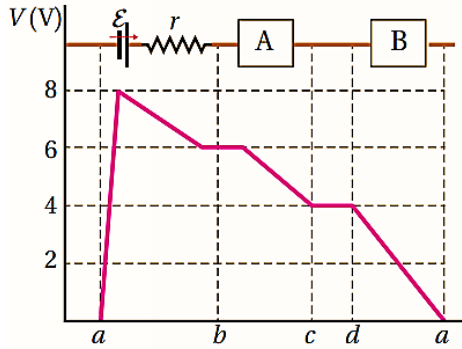
ج- القوة الدافعة الكهربائية:

$$\varepsilon = 3 + 1.5 r = 3 + 3 = 6 V$$

### تمثيل تغيرات الجهد الكهربائي بيانياً:

1. **أحل:** تتكون دائرة كهربائية من بطارية لها مقاومة داخلية ومقاومتين خارجيتين، يمر فيها

تيار كهربائي  $(1.6 \text{ A})$  بالاتجاه من  $(a)$  إلى  $(a)$  مثلت تغيرات الجهد فيها بيانياً، كما في



الشكل المجاور، أجد ما يأتي:

أ- القوة الدافعة الكهربائية للبطارية.

ب- المقاومة الداخلية للبطارية.

ج- المقاومة الخارجية  $(A)$ .

د- المقاومة الخارجية  $(B)$ .

$$8 \text{ V}$$

$$1.25 \Omega$$

ج- العنصر  $(A)$  يمثل مقاومة لأنه نتج عن وجوده هبوط في الجهد بمقدار  $(2 \text{ V})$ ،

ومقدار هذه المقاومة:

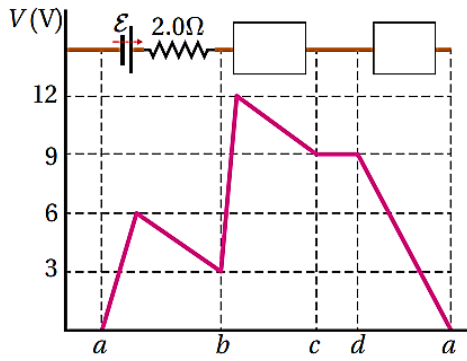
$$R_A = \frac{V_A}{I} = \frac{(6 - 4)}{1.6} = 1.25 \Omega$$

د- العنصر  $(B)$  يمثل مقاومة أيضاً، لأنه نتج عن وجوده هبوط في الجهد بمقدار  $(4 \text{ V})$ ،

ومقدار هذه المقاومة:

$$R_B = \frac{V_B}{I} = \frac{4}{1.6} = 2.5 \Omega$$

المثال 5



مثلث تغيرات الجهد في دارة كهربائية بيانيا، كما في الشكل (9). معتمداً على بيانات الشكل أجد كلا من:

- التيار الكهربائي في الدارة.
- العنصر الموصول بين النقطتين (b) و (c)، وقياساته.
- العنصر الموصول بين النقطتين (d) و (a)، وقياساته.

ب- العنصر الموصول بين النقطتين (b) و (c) يرفع الجهد ثم يخفضه، فهو بطارية قوتها الدافعة الكهربائية ( $\varepsilon = 9 \text{ V}$ )، وهبوط الجهد فيها ( $Ir = 3.0 \text{ V}$ )، أي أن ( $r = 2.0 \Omega$ ).

ج- العنصر الموصول بين النقطتين (d) و (a) يخفض الجهد بمقدار ( $9 \text{ V}$ )، فهو مقاومة ( $IR = 9 \text{ V}$ )، أي أن:

$$R = \frac{9.0}{1.5} = 6.0 \Omega$$

$$I = 1.5 \text{ A}$$

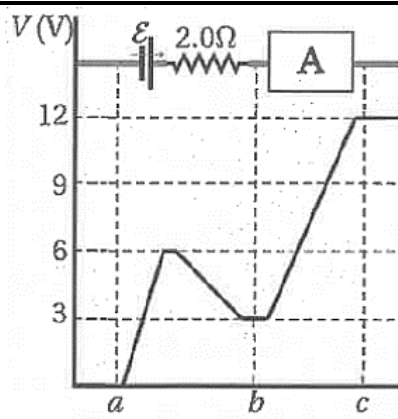


## أسئلة سنوات سابقة:

1. تبذل القوة الدافعة للبطارية شغلا على الشحنات الكهربائية. يؤدي هذا الشغل إلى تحريك:

- الإلكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية.
- الإلكترونات من القطب الموجب إلى القطب السالب خارج البطارية.
- الشحنات الموجبة الافتراضية من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية.
- الشحنات الموجبة الافتراضية من القطب السالب إلى القطب الموجب خارج البطارية.

ح



2. مثلت تغيرات الجهد في جزء من دائرة كهربائية بيانيا، كما في الشكل المجاور. بالاعتماد على بيانات الشكل فإن العنصر (A) بين النقطتين (b, c) ومقدار التيار المار فيه، هما:

- مقاومة مقدارها  $(6 \Omega)$ ، والتيار المار فيها  $(1.5 A)$
- مقاومة مقدارها  $(3 \Omega)$ ، والتيار المار فيها  $(3 A)$
- بطارية قوتها الدافعة الكهربائية  $(12 V)$ ، والتيار المار فيها  $(1.5 A)$
- بطارية قوتها الدافعة الكهربائية  $(9 V)$ ، والتيار المار فيها  $(1.5 A)$

س

#### 4. الدارات البسيطة وتوصيل المقاومات (Simple Circuits)

يحتوي هذا الدرس على 2 محاور؛ وهي:

توصيل المقاومات

[Resistors' Connection]

الدارات البسيطة.

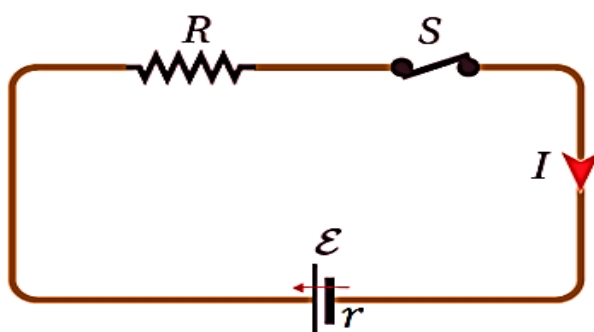
[Simple Circuits]

على التوازي (In Parallel).

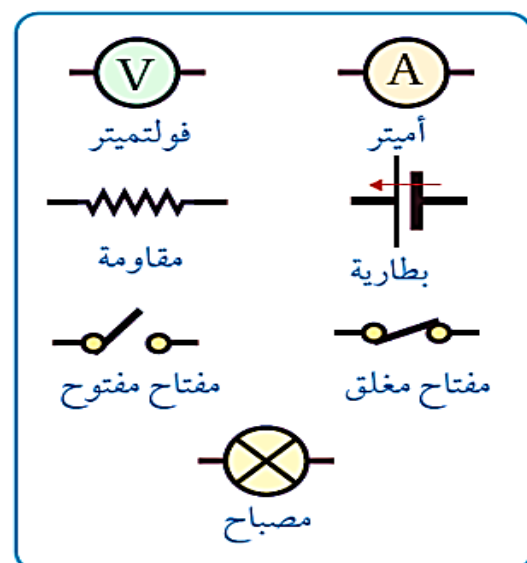
على التوالي (In Series).

##### ① الدارات البسيطة:

- ✳ تتكون الدارة الكهربائية من بطارية - مقاومة - أسلاك توصيل - مفتاح - وأحياناً أميتر وفولتميتر.
- ✳ البطارية تزود الدارة بالطاقة الكهربائية، والمقاومة الكهربائية الداخلية والخارجية تستهلكها، وأسلاك التوصيل تنقلها.
- ✳ المفتاح إذا كان مفتوحاً، يتوقف سريان التيار الكهربائي في الدارة، وإذا كان مغلقاً، فإنه يصبح وكأنه قطعة من السلك تمرر التيار، وكأنه غير موجود.
- ✳ الأميتر هو جهاز يتصل مع أجزاء الدارة وعلى نفس أسلاكها، والهدف منه هو قياس التيار الكهربائي.
- ✳ الفولتميتر هو جهاز يتصل طرفاه بنقطتين على أسلاك الدارة، ليقاس فرق الجهد بينهما.
- ✳ يسمى المسار المغلق الذي تتكون منه الدارة في أبسط أشكالها (الحلقة) ب: عروة.



دائرة كهربائية بسيطة  
تحتوي بطارية، ومقاومة، ومفتاحاً.



بعض رموز عناصر  
الدارة الكهربائية البسيطة.

✿ أساسيات الدارة البسيطة أربعة عناصر، يجب إيجاد المجهول منها، حتى لو لم يطلب ذلك في السؤال، وهي:

1. القوة الدافعة الكهربائية ( $\varepsilon$ ).
2. المقاومة الخارجية ( $R$ ).
3. المقاومة الداخلية ( $r$ ).
4. التيار الكهربائي ( $I$ ).

✿ تسمى العلاقة الرياضية التي تربط بين أساسيات الدارة الكهربائية: قانون الدارة البسيطة، وهي:

$$\sum \varepsilon = I \sum (R + r)$$

✿ ويمكن كتابتها بحيث تكون ( $I$ ) موضع القانون كما يلي:

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum (R + r)}$$

قانون الدارة البسيطة - - - - -

✿ إذا احتوت الدارة على بطارية واحدة فقط فإن:  $\sum \varepsilon = \varepsilon$

✿ إذا احتوت الدارة على أكثر من بطارية، فإننا نجمع قيم ( $\varepsilon$ ) لها إذا كانت بنفس الاتجاه، ونطرحها إذا كانت متعاكسة، ويكون التيار الكهربائي باتجاه ( $\varepsilon$ ) الأكبر.

## ② توصيل المقاومات:

← توصيل المقاومات في الدارات الكهربائية بطريقتين:

✓ التوصيل على التوالي.

✓ التوصيل على التوازي

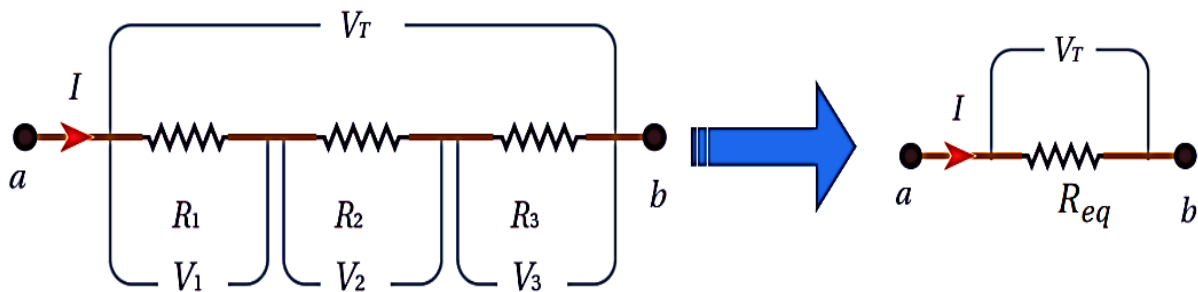
✿ تسمى المقاومة الكهربائية الكلية الناتجة من توصيل أكثر من مقاومة كهربائية معاً:

المقاومة الكهربائية المكافئة [Equivalent Resistance]  $(R_{eq})$ .

✿ تعتمد قيمة المقاومة المكافئة على طريقة توصيل المقاومات في الدارة.

### أ. توصيل المقاومات على التوالي:

✿ تتصل المقاومات على التوالي بحيث لا يوجد أي تفرع في الأسلاك الواصلة بينها.



✿ في حالة التوالي، يمر التيار الكهربائي نفسه في جميع المقاومات، وهو نفسه يمر في المقاومة المكافئة.

$$I_{eq} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_{\text{بطارية}} \quad \text{التيار متساوي}$$

✿ يتوزع جهد البطارية على المقاومات بحيث يتناسب الجهد مع المقاومة طردياً حسب قانون أوم:  $V = IR$ ، أي أن المقاومة الأعلى مقداراً يكون لها أعلى جهد.

✿ يكون جهد البطارية مساوياً لمجموع جهود جميع المقاومات.

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \quad \text{الجهد يتوزع}$$

✿ بتعويض مكان  $(V = IR)$  نحصل على:

$$IR_{eq} = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots$$

المقاومة المكافئة  $(R_{eq})$   
تكون أكبر من أكبر مقاومة.

✿ وبقسمة طرفي المعادلة على  $I$  نحصل على:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad \text{المقاومة مجموعة}$$

✿ يستخدم التوصيل على التوالي للحصول على مقاومة مكافئة كبيرة من عدد من المقاومات الصغيرة.

✿ من خصائص التوصيل على التوالي: تجزئة (توزيع) الجهد بين المقاومات.

✿ من عيوب التوصيل على التوالي: حدوث قطع في إحدى المقاومات يؤدي إلى توقف التيار فيها جميعاً.

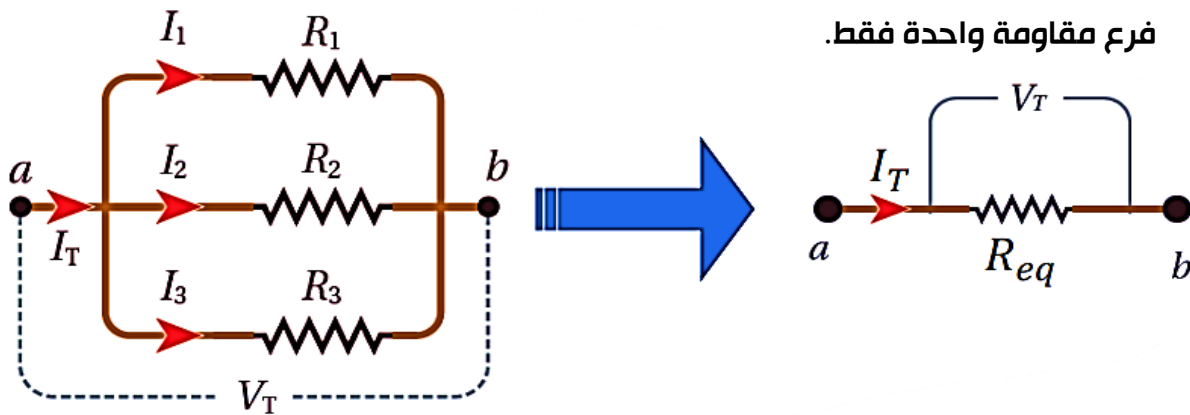
✿ في حالة التوالي، يبقى الفرع كما هو، وتندمج مقاوماته معا.

✓ **أتحقق:** أذكر خصائص توصيل المقاومات على التوالي، وأذكر عيب هذه الطريقة في التوصيل.

✿ **المقاومة المكافئة تكون أكبر من أي من المقاومات، ومن خصائص هذا التوصيل تجزئة الجهد بين المقاومات، لكن عيبها أنه عند حدوث قطع في مقاومة يتوقف التيار في المقاومات جميعها.**

## II. توصيل المقاومات على التوازي:

✿ عند توصيل المقاومات على التوازي، تتفرع الأسلاك، ويتجزأ التيار المار فيها، ويكون لكل فرع مقاومة واحدة فقط.



✿ في حالة وجود أكثر من مقاومة بالفرع الواحد، فإننا نجمعهما معا بحيث يتبقى مقاومة فقط لكل فرع.

✿ في التوالي، تتصل المقاومات معاً أما في التوازي، تتصل الفروع معاً.

✿ عند حساب المقاومة المكافئة في حالة التوازي، تندمج الفروع معا لتتحول إلى فرع واحد يحتوي على مقاومة واحدة فقط.

✿ في حالة التوازي، **يكون الجهد الكهربائي متساوياً لجميع المقاومات**، ويساوي جهد المقاومة المكافئة.

الجهد متساوي ---  $V_T = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_{\text{بطارية}}$

- ✳ **يتوزع التيار الرئيسي القادم من البطارية** عند وصوله إلى نقطة التفرع على المقاومات المتصلة على التوازي **بحيث يتناسب التيار مع المقاومة عكسياً** حسب قانون أوم  $I = \frac{V}{R}$ ، أي أن الفرع المحتوي على المقاومة الأقل، يمر فيه تيار أعلى.
- ✳ تتوزع الشحنة على المقاومات في الفروع، فيمر تيار جزئي في كل مقاومة، لتلتقي مرة أخرى وتشكل التيار الكلي، وذلك حسب مبدأ حفظ الشحنة.
- ✳ يكون التيار الكلي القادم من فرع البطارية الرئيسي مساوياً لمجموع التيارات في جميع المقاومات.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots \quad \text{التيار يتوزع}$$

✳ بتعويض مكان  $(I = \frac{V}{R})$  نحصل على

$$\frac{V_T}{R_{eq}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots$$

المقاومة المكافئة ( $R_{eq}$ ) تكون أصغر من أصغر مقاومة.

✳ وبقسمة طرفي المعادلة على  $V$  نحصل على:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad \text{المقاومة مقلوبة}$$

حيث  $R_{eq}$  هي المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات على التوازي.

- ✳ يستخدم التوصيل على التوازي للحصول على مقاومة مكافئة صغيرة من عدد من المقاومات الكبيرة.

✳ من خصائص التوصيل على التوازي:

- ✓ تجزئة (توزيع) التيار بين المقاومات.
- ✓ الحصول على فرق جهد كلي لجميع المقاومات (جهد أي مقاومة يساوي الجهد الكلي).

✓ عند حدوث قطع في أي فرع؛ فإن الفروع الأخرى لن تتأثر.

ولهذا الأسباب توصل الأجهزة المنزلية والمصابيح في المنزل وفي الطرقات على التوازي.

- ✳ وجود مقاومات متصلة على التوازي في الدارة، بالإضافة إلى أخرى على التوالي، يجعل المقاومة المكافئة للتوازي تتصل مع المقاومات الأخرى على التوالي.



افكر

عندما يكون لدي مصباحين كهربائيين متماثلين موصولين على التوازي مع بطارية. إذا فصلت أحد المصباحين عن البطارية، أوضح ما يحدث لإضاءة المصباح الثاني، مبينا السبب.

لا تتغير إضاءة المصباح الثاني، لأن مقدار التيار أفكر الذي يسري فيه بوجود المصباح الأول وبعد فصله لا يتغير. لأنه عندما تتساوى المقاومتين، تكون المقاومة المكافئة لهما تساوي نصف إحداهما، يكون التيار الكلي في حالة مصباحين يساوي ضعفي التيار الكلي في حالة مصباح واحد.

← **جواب أفضل:**

لأن المصباح الثاني يبقى متصلاً مع البطارية كما هو، فيكون جهده ثابتاً، ولأن مقاومته ثابتة، فإن تياره يبقى كما هو، وبالتالي إضاءته كما هي.

❁ في سؤال أفكر؛ لو كان السؤال عن التوالي، فإن إزالة إحدى المقاومتين وإبقاء واحدة فقط متصلة مع البطارية، يجعل المقاومة المكافئة تقل، والجهد المكافئ ثابت هو جهد البطارية، فيصبح التيار المكافئ أكبر (التيار عكسي مع المقاومة)، ولأن التيار الكهربائي المار في المقاومة يزداد؛ تزداد الإضاءة.

❁ في درس الدارة البسيطة، يمكن إيجاد المقاومة المكافئة أولاً ثم تطبيقها في القانون.  
❁ في الدارات البسيطة، لا داعي لإيجاد المقاومة المكافئة على التوالي لحساب تيار الدارة، لأن القانون نفسه يجمعها مع بعضها، ولكننا يجب إيجاد المقاومة المكافئة على التوالي.  
❁ دائماً على التوازي، يكون جهد أحد الفروع مساوياً لجهد أي فرع آخر متصل معه على التوازي، وبالتالي يمكن معرفة جهود الفروع الأخرى بمعرفة جهد فرع واحد فقط أو الفرع الرئيسي.



❁ إذا كان الفرع الرئيسي يحتوي على بطارية فقط، فإن جهد الفرع هو جهد البطارية، والذي يساوي:

$$V_{\text{الفرع}} = V_{\varepsilon} = \varepsilon - Ir$$

❁ إذا كان الفرع يحتوي على بطارية ومعها مقاومة أخرى خارجية ( $R$ )، فإننا نستطيع تخيل المقاومة الخارجية وكأنها أضيفت للمقاومة الداخلية، ولهذا يصبح جهد الفرع كاملاً:

$$V_{\text{الفرع}} = V_{\varepsilon} = \varepsilon - I(r + R)$$

## التجربة 2

### استقصاء قاعدتي توصيل المقاومات / توالي، توازي

**المواد والأدوات:** مصدر طاقة منخفض الجهد (DC)، مفتاح كهربائي، مجموعة مقاومات

( $4, 6, 10, 20, \dots \Omega$ )، جهاز أميتر وجهاز

فولتميتر، أسلاك توصيل.

**ارشادات السلامة:** الحذر من لمس الوصلات

الكهربائية غير المعزولة، عدم إغلاق المفتاح

مدة طويلة تسبب سخونة الأسلاك.

**التحليل والاستنتاج:**

1. **أقارن** بين مقدار المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث التي توصلت إليها تجريبياً مع القيمة

المحسوبة باستخدام العلاقة الرياضية، لكل من طريقتي التوصيل؛ التوالي والتوازي.

2. **أستنتج:** أتتحقق عملياً من قاعدتي جمع المقاومات على التوالي وعلى التوازي.

3. ما العلاقة بين الجهد الكلي (جهد المصدر) والجهد الفرعي لكل مقاومة في طريقتي

التوصيل؟

4. ما العلاقة بين التيار الكلي والتيار الفرعي لكل مقاومة في طريقتي التوصيل؟

**إجابات أسئلة التحليل والاستنتاج**

1- ربما تظهر بعض الاختلافات بين القيمة المحسوبة والقيمة التجريبية بسبب وجود أخطاء القياس.

2- يكون التحقق العملي عن طريق الوصول بالتجربة والقياس إلى قيمة قريبة جداً من القيمة المحسوبة.

3- في طريقة التوصيل على التوالي يكون فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة هو جزء من الجهد الكلي، ومجموع هذه الجهود الفرعية يساوي الجهد الكلي.  
في طريقة التوصيل على التوازي، يكون فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة يساوي الجهد الكلي.

4- في طريقة التوصيل على التوالي يكون التيار متساوياً في المقاومات جميعها ويساوي التيار الكلي.

في طريقة التوصيل على التوازي، يكون لكل مقاومة تيار فرعي يتناسب مع قيمتها، ومجموع هذه التيارات الفرعية يساوي التيار الكلي.

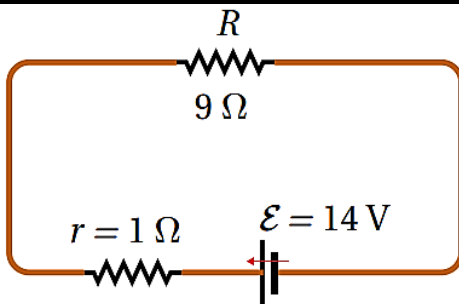
## الأسئلة

1. أبين طريقة توصيل المصباحين الأماميين في السيارة مع البطارية، إن كانت تواليًا أو توازيًا، مفسرًا أهمية هذه الطريقة.

لـ يوصل المصباحان الأماميان في السيارة مع البطارية على التوازي، فيحصل كل مصباح على جهد  $12\text{ V}$  مساوي لجهد البطارية، وعند حدوث تلف في أحدهما يبقى المصباح الآخر يعمل.

2. الفكرة الرئيسية: أقرن بين طريقتي توصيل المقاومات على التوالي وعلى التوازي من حيث: فرق الجهد والتيار والمقاومة المكافئة.

المقاومة	التوالي	التوازي
المقاومة الكلية تساوي مجموع المقاومات.	مقلوب المقاومة الكلية يساوي مجموع مقلوب المقاومات.	
الجهد الكلي يساوي مجموع الجهود الفرعية.	الجهد الكلي يساوي الجهد الفرعي لكل مقاومة.	
التيار الكلي يساوي التيار الفرعي في كل مقاومة.	التيار الكلي يساوي مجموع التيارات الفرعية.	

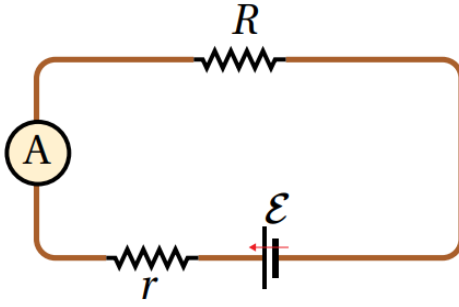


المثال 4

تتكون دائرة كهربائية بسيطة من بطارية ومقاومة خارجية مبينة في الشكل (11). إذا كانت المقاومة الداخلية للبطارية تساوي  $(1\ \Omega)$ ، أحسب التيار في الدارة وأحدّه اتجاهه.

$$1.4\text{ A}$$

المثال 6

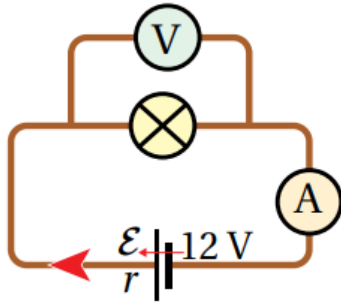


الشكل (14): دائرة بسيطة.

في الدارة المبينة في الشكل (14) إذا كان مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية ( $12\text{ V}$ )، ومقاومتها الداخلية ( $1\ \Omega$ )، ومقدار المقاومة الخارجية ( $3\ \Omega$ ) أحسب:

- قراءة الأميتر.
- قدرة البطارية.
- القدرة المستهلكة في كل من المقاومتين الداخلية والخارجية.

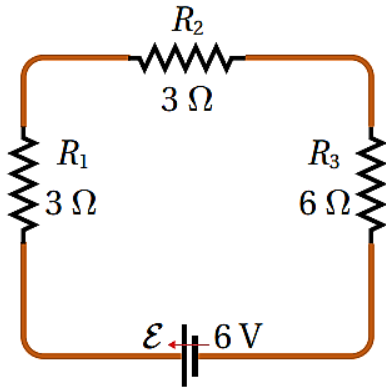
$3\text{ A}$   
 $36\text{ W}$   
 $9\text{ W}$   
 $27\text{ W}$



3. عندما تكون قراءة الفولتميتر في الدارة المبينة في الشكل (9.0 V) وقراءة الأميتر (1.5 A)، فإن المقاومة الداخلية للبطارية تساوي:

- أ- 1.0 Ω      ب- 1.5 Ω  
ج- 2.0 Ω      د- 2.5 Ω

ح



المثال 10

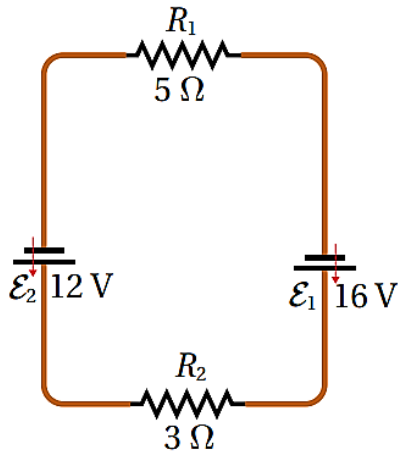
دائرة كهربائية بسيطة بينها الشكل (18)، المقاومة الداخلية للبطارية مهملة، أحسب كل من:

أ- المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث.  
ب- التيار الكلي الذي يسري في الدارة.

12 Ω  
0.5 A



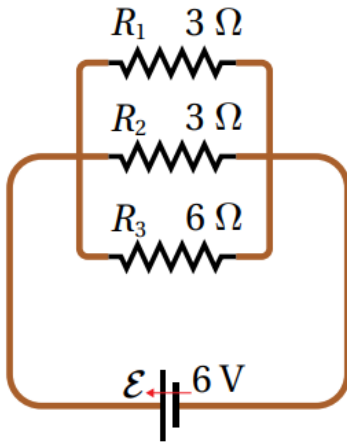
المثال 11



بالاعتماد على البيانات المثبتة في الشكل (19)، وبإهمال المقاومة الداخلية لكلتا البطاريتين، أجد كلا من:  
 ١- قيمة تيار الدارة وأحدد اتجاهه.  
 ٢- فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة.

0.5 A  
 2.5 V  
 1.5 V

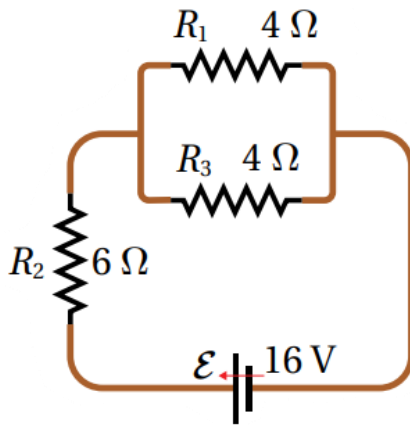
المثال 12



دارة كهربائية بسيطة بينها الشكل (20)، المقاومة الداخلية للبطارية مهملة، أحسب كلاً من:  
 ١- المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث.  
 ٢- التيار الكلي المار في الدارة.

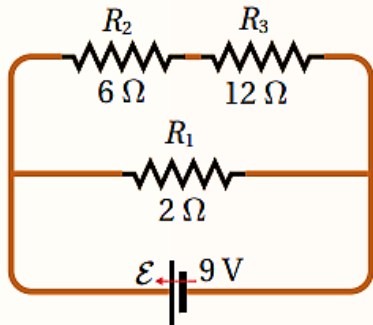
1.2 Ω  
 5 A

المثال 13



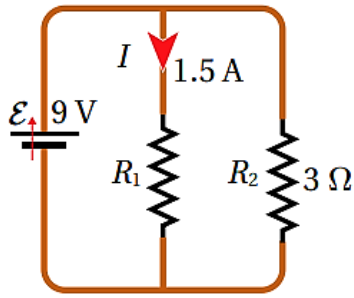
دائرة كهربائية بسيطة بينها الشكل (أ/21)، المقاومة الداخلية للبطارية مهملة، أحسب كلا من:  
 ١- المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث.  
 ٢- التيار الكلي المار في الدارة.

$8 \Omega$   
 $2 A$



4. **أستخدم المتغيرات:** يُبين الشكل المجاور دائرة كهربائية تحتوي بطارية ومقاومات، معتمدًا على بيانات الشكل وبإهمال المقاومة الداخلية؛ أحسب المقاومة المكافئة للدائرة، ثم مقدار التيار فيها.

$1.8 \Omega$   
 $5 A$



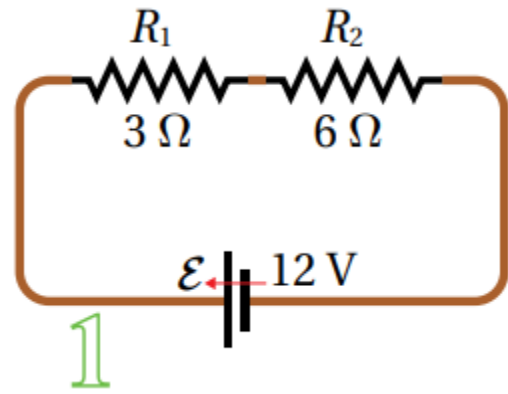
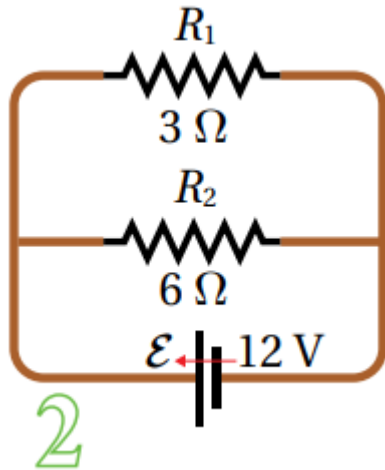
5. تكون المقاومة المكافئة للمقاومتين في الدارة المجاورة:

- أ-  $2 \Omega$   
ب-  $6 \Omega$

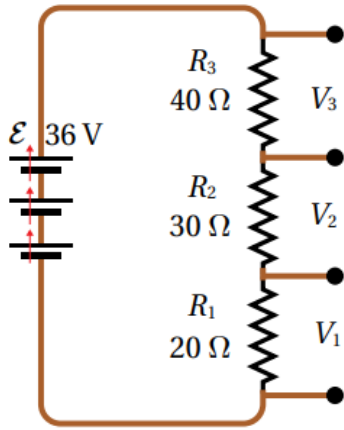
- ج-  $3 \Omega$   
د-  $1 \Omega$

⤵

6. يبين الشكل المجاور مقاومتين موصولتين على التوالي (الدارة الأولى)، ثم موصولتين على التوازي (الدارة الثانية). أجد المقاومة المكافئة و تيار البطارية في كل دارة.



- $9 \Omega$   
 $1.33 A$   
 $2 \Omega$   
 $6 A$



7. **أحل:** للحصول على فرق جهد مناسب من بطارية ذات فرق جهد كبير، توصل معها مجموعة مقاومات كما في الشكل المجاور، ما مقدار فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة من المقاومات الثلاث؟

8 V  
12 V  
16 V

8. **أحل:** عند توصيل ثلاثة مصابيح متماثلة مقاومة كل منها ( $R$ ) مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية ( $12\text{ V}$ ) مقاومتها الداخلية مهملة، ما نسبة القدرة المنتجة في البطارية في الحالتين؛ المصابيح موصولة على التوالي/ التوازي؟

0.11

### أسئلة سنوات سابقة:

1. اتصلت ثلاث مقاومات متساوية معاً على التوازي مع بطارية مثالية قوتها الدافعة الكهربائية (4.5 V)، فكان التيار الكلي في الدارة (9 A)، وعند توصيل المقاومات معاً على التوالي ومع البطارية نفسها، فإن التيار الكلي في الدارة بوحدة أمبير (A) يكون:

أ- (0.5)      ب- (1.0)      ج- (1.5)      د- (4.5)



2. تتكون دارة كهربائية من مصباح مقاومته ( $8 \Omega$ )، وبطارية قوتها الدافعة الكهربائية (12 V) ومقاومتها الداخلية ( $2 \Omega$ ). إن فرق الجهد الكهربائي بين قطبي البطارية بوحدة (V) يساوي:

أ- (9.6)      ب- (10)      ج- (10.8)      د- (12)



3. مقاومتان متساويتان متصلتان على التوازي مع مصدر فرق جهد (240 V)، القدرة الكلية المستهلكة في المقاومة المكافئة لهما (1920 W)، عند إعادة توصيلهما على التوالي مع مصدر فرق الجهد نفسه، فإن القدرة الكلية المستهلكة في المقاومة المكافئة لهما بوحدة واط (W) تصبح:

أ- (30)      ب- (60)      ج- (120)      د- (480)



4. من خصائص توصيل المصابيح مختلفة القدرة على التوازي:

- أ- عند حدوث عطل في أحد المصابيح تبقى الأخرى مضيئة.
- ب- المقاومة المكافئة تكون أكبر من أي من مقاومات المصابيح.
- ج- يسري في المصابيح جميعها التيار الكهربائي نفسه.
- د- تعمل على تجزئة الجهد الكهربائي الكلي.



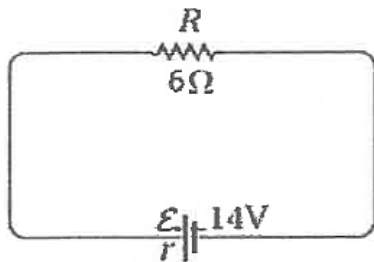
5. بطارية مقاومتها الداخلية ( $r$ ) موصولة مع مقاومة متغيرة ( $R$ ) في دائرة كهربائية بسيطة، عند زيادة مقدار المقاومة المتغيرة، فإن الذي يحدث لفرق الجهد بين قطبي البطارية:

**نصيحة**  
استخدم قانون الدارة البسيطة لمعرفة ما سيحدث للتيار، ثم طبق قانون فرق جهد البطارية

- أ- يزداد، بسبب نقصان التيار
- ب- يزداد، بسبب زيادة التيار
- ج- يقل، بسبب نقصان التيار
- د- يقل، بسبب زيادة التيار

👉 ١

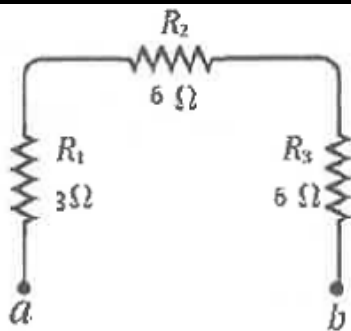
6. تتكون دائرة كهربائية بسيطة من بطارية ومقاومة خارجية كما في الشكل المجاور، إذا كانت المقاومة الداخلية للبطارية تساوي ( $1 \Omega$ ) فإن قيمة التيار في الدارة بوحدة أمبير ( $A$ ) واتجاهه:



- أ- 2، مع اتجاه حركة عقارب الساعة.
- ب- 2، عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.
- ج- 2.3، مع اتجاه حركة عقارب الساعة.
- د- 2.3، عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

👉 ١

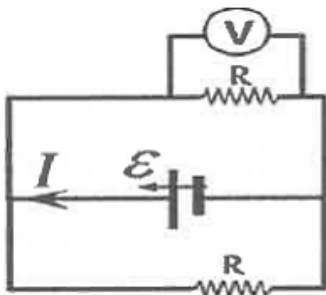
7. اعتماداً على الشكل المجاور وبياناته، فإن قيمة المقاومة المكافئة بين النقطتين ( $a$  و  $b$ ) بوحدة أوم ( $\Omega$ ) تساوي:



- أ- 8
- ب- 15
- ج- 1.5
- د- 3.5

👉 ١

8. اعتماداً على الشكل المجاور وبياناته، وبإهمال المقاومة الداخلية للبطارية، فإن قراءة الفولتميتر ( $V$ ) هي:



- أ-  $\varepsilon$
- ب-  $IR$
- ج-  $\frac{\varepsilon}{R}$
- د-  $\frac{2\varepsilon}{R}$

👉 ١



9. ثلاث مقاومات مقدار كل منها  $(R)$ ، وصلت جميعها على التوالي مع مصدر فرق جهد، ثم أعيد توصيلها على التوازي مع المصدر نفسه، فإن  $\left(\frac{I_P}{I_S}\right)$  وهي نسبة مقدار التيار الكلي في حالة التوازي  $(I_P)$  إليه في حالة التوالي  $(I_S)$  تساوي:

- ١-  $\left(\frac{9}{1}\right)$       ٢-  $\left(\frac{3}{1}\right)$       ٣-  $\left(\frac{1}{3}\right)$       ٤-  $\left(\frac{1}{9}\right)$



## 5. الدارات المعقدة وقانونا كيرشوف

✿ الدارات الكهربائية البسيطة هي الدارات التي تتكون من عروة (حلقة) واحدة فقط، وفي حالة وجود مقاومات على التوازي، أستطيع تبسيطها بحيث تصبح حلقة واحدة، وحتى لو احتوت على مقاومات كثيرة أو بطاريات متعددة، فإنها تحل على قانون الدارة البسيطة لأنها حلقة واحدة.

✿ بعض أنواع الدارات لا يمكن تبسيطها بسبب وجود بطاريات في التفرعات، وهذا النوع من الدارات يسمى: **دارات كهربائية معقدة.**

✿ تحوي الدارة المجاورة على نقطتي تفرع؛ هما (c) و (d).

✿ نقطة التفرع هي النقطة التي تنطلق منها الفروع.

✿ تحوي الدارة المجاورة على 3 فروع هي:

✓ من (c) إلى (d) عبر ( $\epsilon_1$ )

✓ من (c) إلى (d) عبر ( $\epsilon_2$ )

✓ من (c) إلى (d) عبر ( $\epsilon_3$ )

✿ لكل فرع تيار كهربائي خاص به يختلف عن تيار الفروع الأخرى.

✿ تلقتي التيارات عند نقاط التفرع، بحيث يكون بعضها

داخلاً في نقطة التفرع وبعضها خارجاً منها؛ ولا يصح أن تكون كل التيارات داخلة في نقطة التفرع أو كلها خارجة منها.

✿ يسمى المسار من النقطة إلى نفسها: مساراً مغلقاً.

✿ تحوي الدارة المجاورة 3 مسارات مغلقة، وهي:

✓ من (c) إلى (c) عبر ( $\epsilon_1$ ) و ( $\epsilon_2$ ) - الحلقة العلوية.

✓ من (c) إلى (c) عبر ( $\epsilon_3$ ) و ( $\epsilon_2$ ) - الحلقة السفلية.

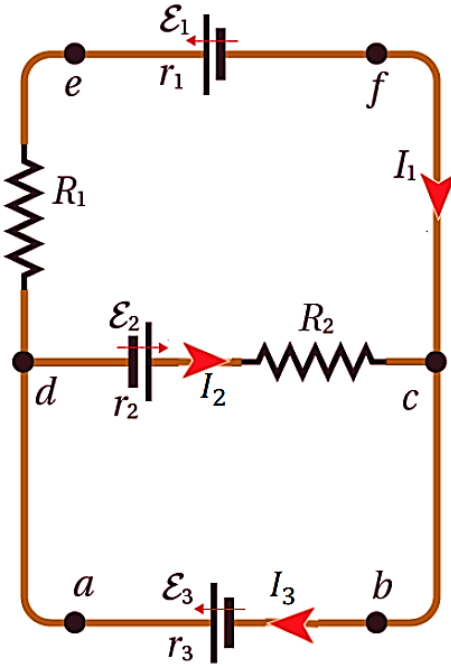
✓ من (c) إلى (c) عبر ( $\epsilon_1$ ) و ( $\epsilon_3$ ) - الحلقة الخارجية.

✿ لا فرق عند أخذ المسار المغلق مع اتجاه حركة عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة.

✿ نختار المسار المحتوي على مجهول واحد فقط (أو أقل عدد من المجهول).

✿ لا يتغير فرق الجهد بين نقطتين بتغير المسار المتبع للتنقل بينهما.

✿ تحل الدارات الكهربائية المعقدة باستخدام قاعدتا كيرشوف.



## ① قاعدة كيرشوف الأولى:

✿ تسمى قاعدة كيرشوف الأولى أحيانا قاعدة الوصلة.

✿ تطبق قاعدة كيرشوف الأولى على نقاط التفرع.

✿ تمثل قاعدة كيرشوف الأولى صورة من صور قانون حفظ الشحنة، حيث تكون كمية الشحنة الداخلة باتجاه نقطة في الدارة مساوية لكمية الشحنة التي تخرج من نفس النقطة؛ حيث لا يمكن أن تتراكم أو تتجمع الشحنات في تلك النقطة.

✿ نص قاعدة كيرشوف الأولى: "المجموع الجبري للتيارات عند أي نقطة تفرع في دارة كهربائية يساوي صفرا".

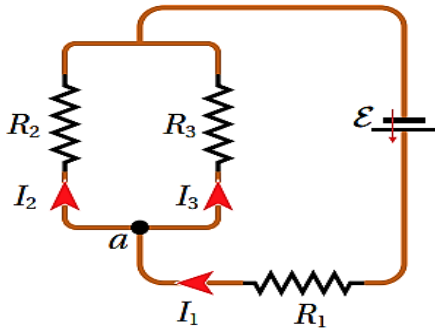
✿ رياضيا فإن:

$$\sum I = 0 \Rightarrow \sum I_{in} = \sum I_{out}$$

✿ بتطبيق قاعدة كيرشوف الأولى على الشكل السابق، عند النقطة (c) أو (d) نجد أن:

$$I_1 + I_2 = I_3 \text{ أي أن: } I_3 \text{ خارج من نقطة التفرع، أي أن: } I_1 + I_2 = I_3$$

✿ مثال توضيحي:



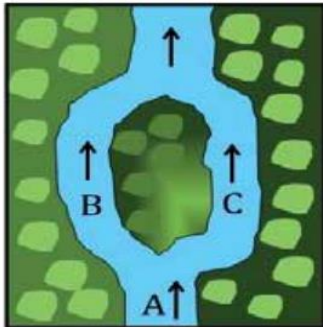
في الشكل المجاور، أطبق قاعدة كيرشوف الأولى.

عند النقطة a:

$$\sum I = 0 \Rightarrow \sum I_{in} = \sum I_{out} \Rightarrow I_1 + I_2 = I_3$$

✿ يمكن تشبيه تفرع التيار الكهربائي بماء النهر في

المنطقة (A) الذي يتفرع إلى فرعين (B, C) حول الجزيرة، كما في الشكل (22/ب). حيث تساوي كمية الماء المتدفق عبر النهر مجموع ما يتدفق من الماء على جانبي الجزيرة.



✓ **أتحقق:** أوضح العلاقة بين قاعدة كيرشوف الأولى ومبدأ حفظ الشحنة.

✍ قاعدة كيرشوف الأولى هي تطبيق لمبدأ حفظ الشحنة، فالتيار هو المعدل الزمني

لمرور الشحنة في موصل، وعند تطبيق قاعدة كيرشوف الأولى على نقطة تفرع لمدة

زمنية محددة؛ فإن كمية الشحنة التي تعبر نحو هذه النقطة تساوي كمية الشحنة التي تخرج منها.

## ② قاعدة كيرشوف الثانية:

- ✿ تسمى قاعدة كيرشوف الثانية أحيانا قاعدة العروة.
- ✿ تطبق قاعدة كيرشوف الثانية على فرع من فروع العروة (الدائرة)، أو على مسار مغلق منها، أو بين أي نقطتين على الدائرة.
- ✿ تمثل قاعدة كيرشوف الثانية صورة من صور قانون حفظ الطاقة، حيث إذا تحركنا على مسار مغلق في الدارة الكهربائية، ستقل طاقة الوضع (الجهد) للشحنات الافتراضية الموجبة عند عبور المقاومة الكهربائية باتجاه التيار بسبب الانتقال من جهد مرتفع إلى منخفض، في حين ستزداد طاقة الوضع عند عبور البطارية من القطب السالب إلى الموجب نتيجة الانتقال من جهد منخفض إلى مرتفع باتجاه القوة الدافعة الكهربائية، وعند العودة لنفس النقطة، يكون التغير الكلي في طاقة وضع الشحنات أصبح صفر.
- ✿ وذلك لأن القوة الكهربائية قوة محافظة، فتكون الطاقة محفوظة على طول المسار المعلق:  $\Delta PE = \sum q\Delta V$  حيث تكون  $\Delta V$ .
- ✿ عند تطبيق قانون كيرشوف الثاني على دائرة كهربائية، تعامل المقاومة الداخلية للبطارية معاملة الخارجية.
- ✿ أفضل صيغة لقانون كيرشوف الثاني بين نقطتين هي:

$$V_{ab} = V_b - V_a = \sum \varepsilon - \sum IR$$

تعوض قيمة كل من  $\varepsilon$  و  $I$ :  
 (+): إذا كانت مع اتجاه حركتنا.  
 (-): إذا كانت عكس اتجاه حركتنا.

- ✿ خطوات حل أسئلة الدارات المعقدة:
- 1. نحدد اتجاه التيار الكهربائي في كل فرع من فروع الدائرة.
- 2. نطبق قاعدة كيرشوف الأولى عند أي نقطة تفرع.
- 3. إذا احتوى السؤال على معلومات إضافية، فإننا نستفيد منها قبل الانتقال للخطوة التالية، ومن أهم المعطيات الإضافية: فرق الجهد بين نقطتين، لأنه يطبق على أكثر من مسار في الدارة الكهربائية.
- 4. نحسب فرق الجهد بين نقطتين، باستخدام مسار لا يحتوي على مجاهيل، ونطبق فرق الجهد المعلوم على مسار آخر من الدارة لإيجاد المجهول فيه.
- 5. إذا كانت جميع الفروع تحتوي على مجاهيل، نحدد مسارا مغلقا، ونجد فرق الجهد على هذا المسار.

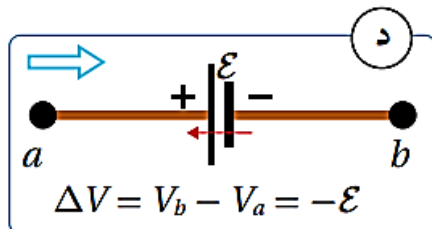
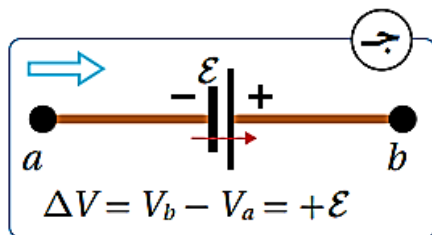
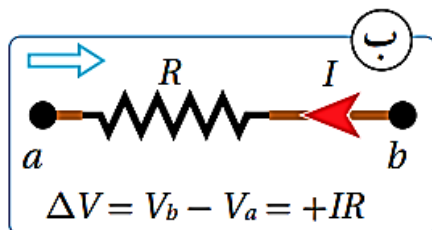
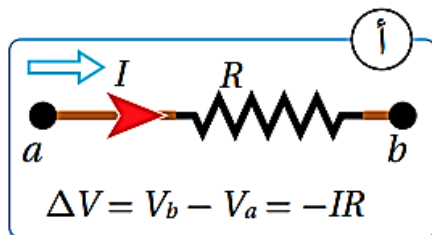
✿ تذكر أن الهدف من تطبيق هذه الخطوات هو إيجاد الأساسيات الأربعة للدائرة الكهربائية:

$$\varepsilon - I - R - r$$

✿ تذكر أن:  $V_{aa} = V_{bb} = 0 \text{ V}$

✿ إذا كان التيار مجهولاً، وفرضناه، وكان الناتج سالباً، فإن اتجاه التيار الفعلي هو عكس ما افترضناه.

← **طريقة الكتاب:**



أ- عند عبور المقاومة ( $R$ ) من النقطة ( $a$ ) إلى النقطة ( $b$ ) باتجاه التيار، فهذا يعني الانتقال من جهد مرتفع عند بداية المقاومة إلى جهد منخفض عند نهايتها؛ لذلك يقل الجهد ( $\Delta V = -IR$ )، كما في الشكل (أ).

ب- عند عبور المقاومة باتجاه معاكس للتيار؛ فهذا يعني الانتقال من جهد منخفض إلى جهد مرتفع؛ لذلك يزداد الجهد ( $\Delta V = IR$ ). كما في الشكل (ب).

ج- عند عبور بطارية من قطبها السالب إلى قطبها الموجب (مع اتجاه قوتها الدافعة الكهربائية)؛ فهذا يعني الانتقال من جهد منخفض إلى جهد مرتفع، لذلك يزداد الجهد ( $\Delta V = \varepsilon$ ). كما في الشكل (ج).

د- عند عبور بطارية من قطبها الموجب إلى قطبها السالب (عكس اتجاه قوتها الدافعة الكهربائية)؛ فهذا يعني الانتقال من جهد مرتفع إلى جهد منخفض، لذلك يقل الجهد ( $\Delta V = -\varepsilon$ ). كما في الشكل (د).

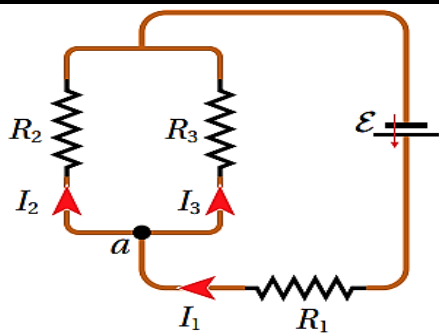
✓ **أتحقق:** كيف يمكن تفسير قاعدة كيرشوف الثانية عن طريق مبدأ حفظ الطاقة؟

✍ قاعدة كيرشوف الثانية تتضمن تطبيق مبدأ حفظ الطاقة خلال سريان التيار في عروة واحدة في الدارة الكهربائية، وتتقضي أن يكون مجموع الطاقة التي تنتجها البطاريات في العروة يساوي مجموع الطاقة التي تستهلكها المقاومات خلال زمن معين.



## الأسئلة:

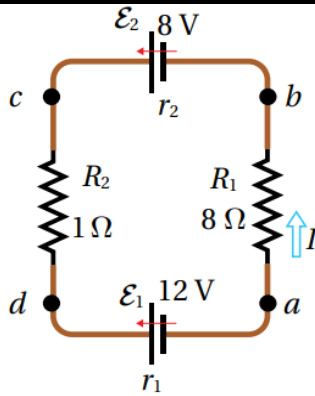
1. **الفكرة الرئيسية:** أذكر نص قاعدتي كيرشوف، وما مبدأ الحفظ الذي تحققه كل منهما؟  
 تنص قاعدة كيرشوف الأولى أن المجموع الجبري للتيارات عند أي نقطة تفرع في دارة كهربائية يساوي صفراً (تحقق مبدأ حفظ الشحنة). وتنص قاعدة كيرشوف الثانية أن المجموع الجبري لتغيرات الجهد عبر مكونات مسار مغلق في دارة كهربائية يساوي صفراً (تحقق مبدأ حفظ الطاقة).



المثال 15

بالرجوع إلى الشكل، إذا كان التيار الأول ( $6.0 A$ ) والتيار الثاني ( $3.5 A$ ). أجد مقدار التيار المار في المقاومة ( $R_3$ ).

2.5 A



المثال 16

دارة كهربائية بسيطة تتكون من بطاريتين ومقاومتين، كما في الشكل، إذا كانت كلتا المقاومتين الداخليتين تساوي ( $0.5 \Omega$ )، مستخدماً القاعدة الثانية لكيرشوف، أجد قيمة التيار واحد اتجاهه.

0.4 A

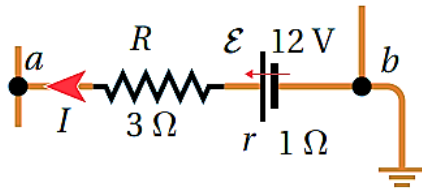
تمرين

أعيد حل المثال (16) بافتراض اتجاه التيار مع اتجاه عقارب الساعة، واختيار اتجاه العبور بعكس اتجاه عقارب الساعة، ثم استنتج أثر ذلك في نتيجة الحل.

0.4 A



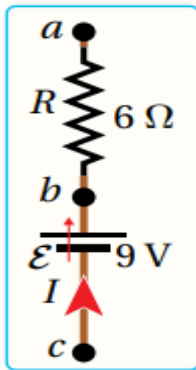
تمرين



الشكل (28): فرق الجهد بين نقطتين.

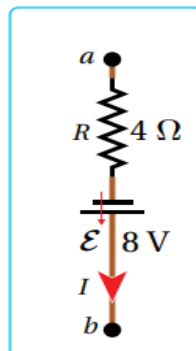
معتمداً على بيانات الشكل (28)، حيث  $(I = 2 \text{ A})$  وجهد النقطة  $(b)$  يساوي صفراً، بسبب اتصالها بالأرض. أجد جهد النقطة  $(a)$ . **ملاحظة:** تعد الأرض موصلاً ضخماً يمكنه تفريغ شحنة الأجسام المتصلة به؛ لذلك فإن أي جسم يُوصل بالأرض يصبح جهده صفراً.

4 A



2. يبين الشكل المجاور جزءاً من دائرة كهربائية، معتمداً على بيانات الشكل، حيث أن:  $(V_c - V_a = 7 \text{ V})$  و  $(V_b - V_a = 15 \text{ V})$ ؛ أجد مقدار المقاومة الداخلية للبطارية.

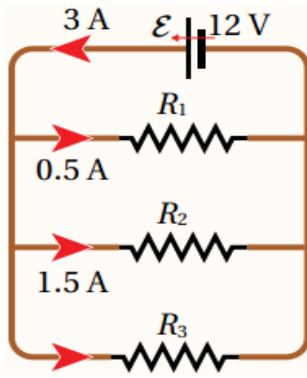
0.4 Ω



3. إذا كان التيار الكهربائي في الشكل يساوي  $(1.2 \text{ A})$ ، فإن فرق الجهد  $(\Delta V = V_b - V_a)$  يساوي:

- |          |          |
|----------|----------|
| أ- 4.0 V | ب- 3.2 V |
| ج- 4.8 V | د- 4.2 V |

١



4. أستخدم المتغيرات: معتمداً على بيانات الدارة المبينة في

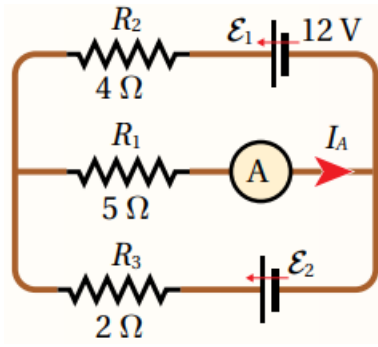
الشكل، أجد ما يأتي:

أ- التيار المار في المقاومة ( $R_3$ ).

ب- قيم المقاومات الثلاث.

ج- المقاومة المكافئة.

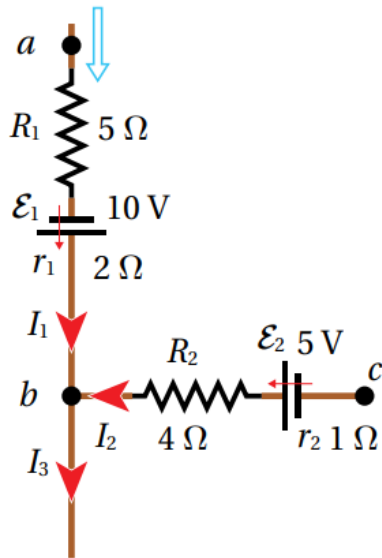
1 A  
24  $\Omega$  , 8  $\Omega$  , 12  $\Omega$   
4  $\Omega$



5. إذا كانت قراءة الأميتر في الدارة المجاورة ( $2\text{ A}$ )، وبإهمال المقاومات الداخلية للبطاريات، أجد كلا من:
- أ- مقدار واتجاه التيارين: ( $I_1$ ) يمر في ( $\varepsilon_1$ )، و ( $I_2$ ) يمر في ( $\varepsilon_2$ ).
- ب- مقدار القوة الدافعة الكهربائية ( $\varepsilon_2$ ).

$0.5\text{ A}, 1.5\text{ A}$   
 $13\text{ V}$

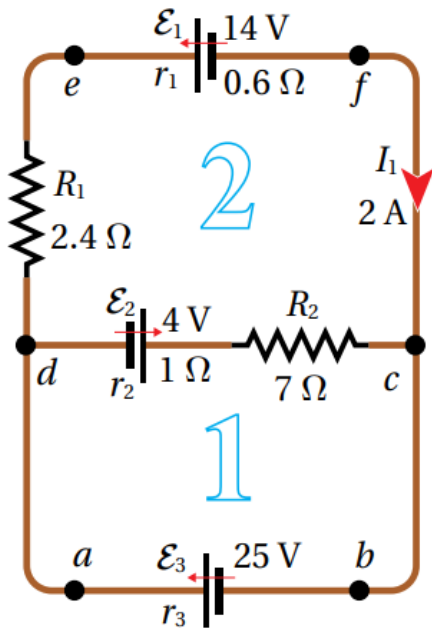
المثال 17



جزء من دائرة كهربائية مركبة، كما في الشكل،  
فيه  $(I_1 = 3.0 \text{ A})$ ،  $(I_3 = 4.5 \text{ A})$ . إذا علمت  
أن  $(V_c = 9.0 \text{ V})$ ، أحسب جهد النقطة (a).

17.5 V

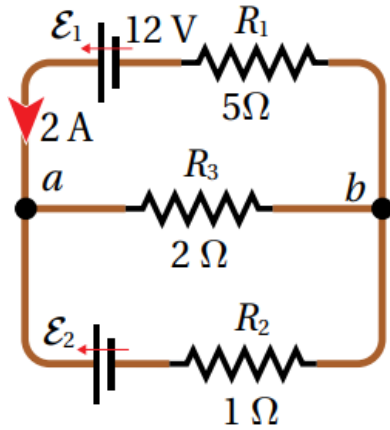
المثال 18



تتكون دائرة كهربائية من عروتين، كما في الشكل،  
معتمدا على بيانات الشكل، أحسب:

- ١- قيم باقي تيارات الدارة وأحدد اتجاه كل تيار.
- ٢- مقدار المقاومة الداخلية ( $r_3$ ).

3 A , 5 A  
1 Ω

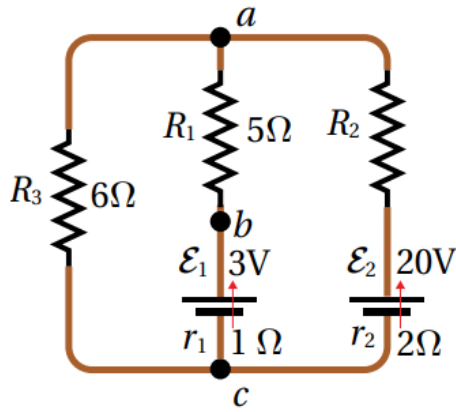


6. في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور؛ أحسب ما يأتي:

- أ- التيار المار في المقاومة ( $R_3$ ).
- ب- مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية ( $\mathcal{E}_2$ ).

1 A  
1 V





7. يبين الشكل دائرة كهربائية مركبة، إذا وصل فولتميتر

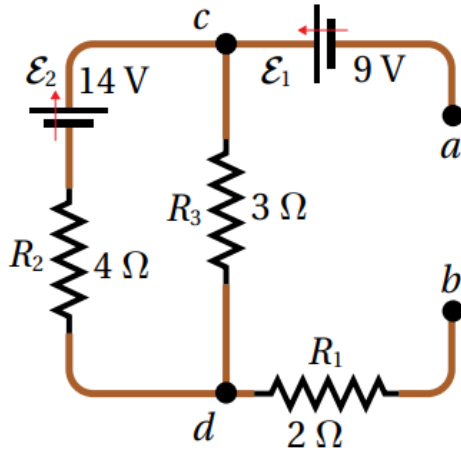
بين النقطتين  $(b, c)$  فكانت قراءته

$(V_b - V_c = 4\text{ V})$ ، أحسب كلا من:

أ- التيارات الفرعية في الدارة.

ب- المقاومة المجهولة  $(R_2)$ .

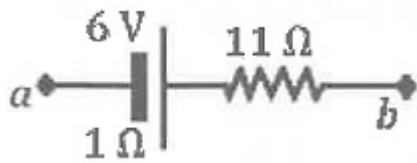
$1\text{ A}, 1.5\text{ A}, 2.5\text{ A}$   
 $2.4\ \Omega$



8. **تفكير ناقد:** معتمدا على بيانات الشكل المجاور، أحسب فرق الجهد بين النقطتين ( $a$ ) و ( $b$ )، عندما ينعدم التيار في ( $R_3$ )، ثم أحدد أي النقطتين أعلى جهداً.

16 V  
b

## أسئلة سنوات سابقة:



1. معتمداً على الشكل المجاور الذي يبين جزءاً من دائرة

كهربائية مركبة والبيانات عليه، وإذا علمت أن

$(V_a = 5\text{ V})$  وأن  $(V_b = -4\text{ V})$ ، فإن مقدار التيار

بين النقطتين  $(a, b)$  واتجاه سريانه:

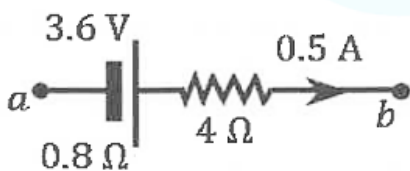
ب-  $(0.25\text{ A})$ ، من  $(b)$  إلى  $(a)$

أ-  $(0.25\text{ A})$ ، من  $(a)$  إلى  $(b)$

د-  $(1.25\text{ A})$ ، من  $(b)$  إلى  $(a)$

ج-  $(1.25\text{ A})$ ، من  $(a)$  إلى  $(b)$

لله ح



2. معتمداً على الشكل المجاور وبياناته، الذي يبين جزءاً

من دائرة كهربائية مركبة، إذا علمت أن  $(V_a = 2\text{ V})$

فإن جهد النقطة  $(b)$  بوحددة  $(V)$  يساوي:

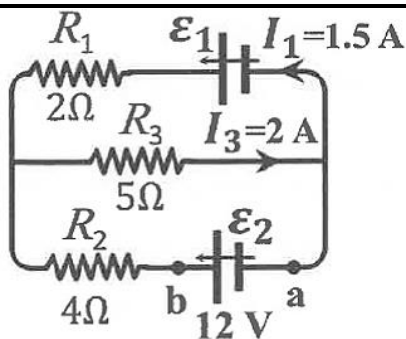
د-  $(8.0)$

ج-  $(7.6)$

ب-  $(3.6)$

أ-  $(3.2)$

لله ح



في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، إذا

علمت أن المقاومات الداخلية للبطاريات مهملة، أجب

عن الفقرتين (3, 4) الآتيتين:

3. مقدار التيار  $(I_2)$  الذي يمر في  $(\varepsilon_2)$  بوحددة أمبير  $(A)$

واتجاهه:

أ-  $(0.5)$ ، من  $(a)$  إلى  $(b)$

ب-  $(0.5)$ ، من  $(b)$  إلى  $(a)$

ج-  $(3.5)$ ، من  $(a)$  إلى  $(b)$

د-  $(3.5)$ ، من  $(b)$  إلى  $(a)$

لله ح

4. مقدار القوة الدافعة الكهربائية  $(\varepsilon_1)$  بوحددة فولت  $(V)$  يساوي:

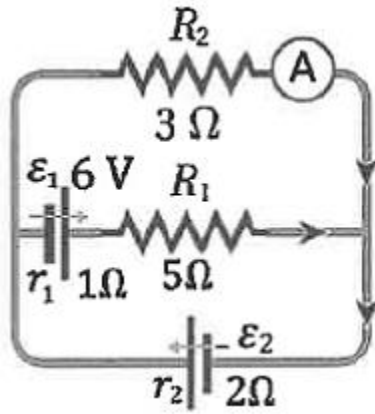
د- 15

ج- 13

ب- 7

أ- 5

لله ح



5. في الدارة المبينة في الشكل المجاور، إذا كانت قراءة الأميتر (A) تساوي (2 A)، فإن مقدار القوة الدافعة الكهربائية ( $\epsilon_2$ )، والتيار المار فيها على الترتيب:

أ- (2 A) و (8 V)

ب- (2 A) و (14 V)

ج- (4 A) و (8 V)

د- (4 A) و (14 V)

س

## الإثراء والتوسع

### توصيل المقاومات

لاحظ سعيد ارتفاع قيمة فاتورة الكهرباء في أحد شهور فصل الشتاء، فأجرى عمليات حسابية لأجهزة منزله، واستنتج أن هذا الارتفاع يعود إلى استخدام مدفأة كهربائية مدة طويلة، فاطلع على لوحة بيانات المدفأة فوجد أن قدرتها ( $3.6 \text{ kW}$ )؛ وهي تتكون من ثلاث مقاومات موصولة معاً، وتعمل عن طريق مفتاح واحد باستخدام فرق جهد ( $220 \text{ V}$ ). قرر إجراء تعديل على المدفأة، فأعاد توصيل المقاومات الثلاث بطريقة مختلفة، مع بقائها تعمل عن طريق مفتاح واحد، فانخفضت قيمة الفاتورة مع أن ساعات التشغيل بقيت كما هي. لكنه واجه مشكلة بأن الطاقة الحرارية التي تولدها المدفأة أصبحت أقل بكثير من أدائها السابق.

قرر التأكد حسابياً من التعديل الذي أجراه على المدفأة والنتائج التي حصل عليها؛ فحصل على ما يأتي:

### وضع المدفأة الابتدائي:

تتكون المدفأة من ثلاث مقاومات متماثلة ( $R$ ) موصولة معاً على التوازي، تسري فيها تيارات متماثلة ( $I$ )؛ بحيث تستهلك كل منها ثلث القدرة الكلية للمدفأة ( $P = 0.33 \times 3.6 = 1.2 \text{ kW} = 1200 \text{ W}$ )، مقدار التيار الذي يسري في كل مقاومة ومقدار المقاومة يمكن حسابهما بمعرفة القدرة وفرق الجهد:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1200}{220} = 5.5 \text{ A}, \quad R = \frac{V}{I} = \frac{220}{5.5} = 40 \Omega$$

### وضع المدفأة بعد التعديل

بعد إعادة توصيل المقاومات الثلاث على التوالي في المدفأة تصبح المقاومة المكافئة لها:  $R = 40 + 40 + 40 = 120 \Omega$  وبذلك يصبح التيار المار في المقاومات الثلاث جميعها ( $I$ )، كما يأتي:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220}{120} = 1.83 \text{ A}$$

وتصبح القدرة الكلية للمدفأة:

$$P = IV = 1.83 \times 220 = 402.6 \approx 400 \text{ W}$$

أستنتج أن قدرة المدفأة الكلية قد انخفضت إلى التسع؛ أي إنها لن تنتج سوى تسع الطاقة التي كانت تنتجها مسبقاً، ولهذا السبب فإن كلفة تشغيلها تنخفض أيضاً.

