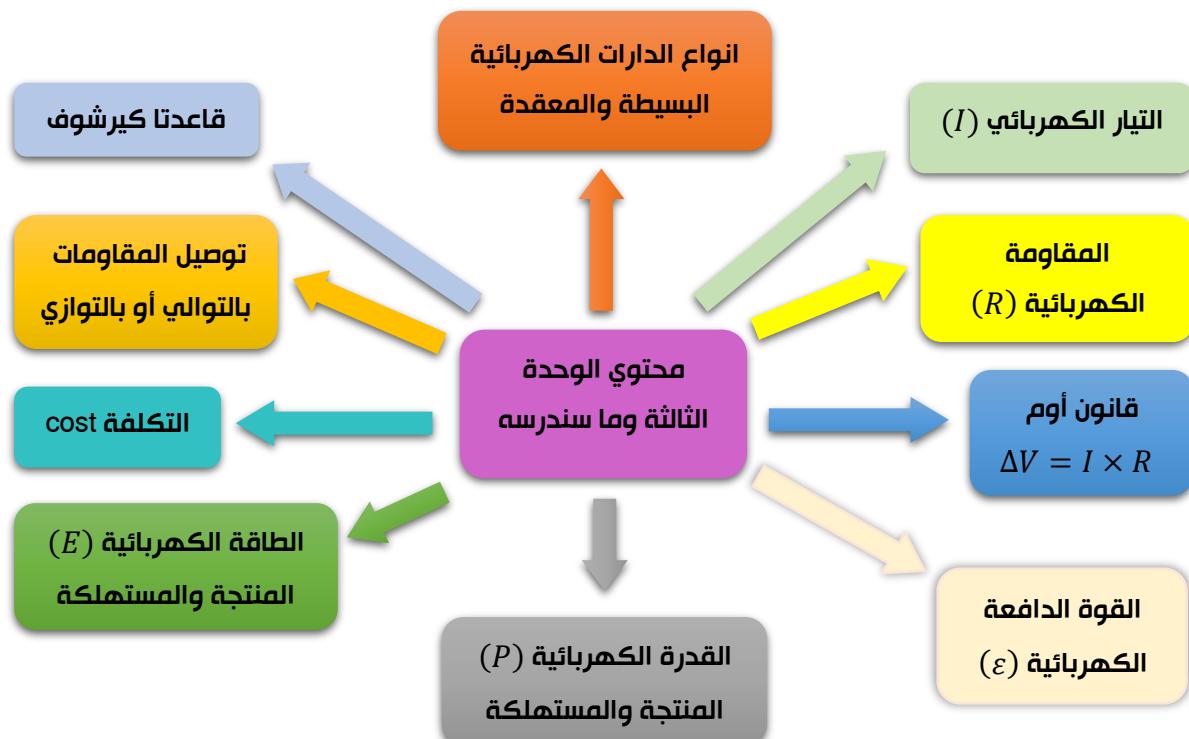


## الوحدة الثالثة: التيار الكهربائي (Electric current)



### الفكرة العامة

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



في مسار دائري او يتحرك حركة دورانية فإنه يمتلك عزمًا

ملاحظة

## 1. التيار الكهربائي (Electrical Current)

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

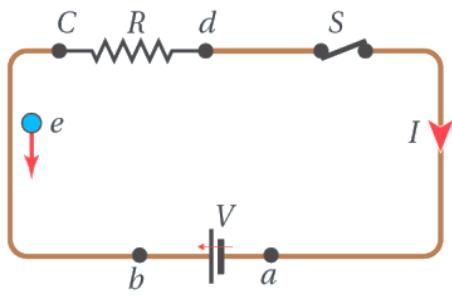
الموصلات (الفلزات) تحتوي على شحنات حرة (الإلكترونات).

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 بتيار 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 تعبّر مقطعاً من الموصل في وحدة الزمن.

ورياضياً فإن التيار الكهربائي يحسب من العلاقة التالية:

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

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

$t$ : زمن مرور الشحنة الكهربائية داخل الموصل.

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

يعرف الأمبير ( $A$ ) بأنه: مقدار التيار الكهربائي الذي يسري في موصل عندما تعبّر مقطعاً هذا الموصل شحنة مقدارها ( $C$ ) في ثانية واحدة.

سـ ماذا نعني بقولنا إن التيار العار في موصل يساوي  $A$ ؟

جـ أي أنه يعبّر مقطعاً من الموصل شحنة مقدارها  $C$  خلال ثانية واحدة.

إذا كان مقدار التيار واتجاهه يتغير باستمرار، فإنه يسمى تياراً متراجداً (Alternating Current).

أما إذا كان مقداره واتجاهه ثابتاً، فإنه يسمى تياراً مستمراً (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 الموجية (الافتراضية) داخل البطارية واتجاه التيار الكهربائي فيها.
- ﴿ تتحرك الإلكترونات داخل البطارية من القطب الموجب إلى القطب السالب (عكس اتجاه التيار)، في حين أن الشحنات الموجية (أيونات) لا تتحرك، لكن تم الاتفاق على أن الشحنات الموجية تتحرك (افتراضيا وليس حقيقة) من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية، مع اتجاه التيار الكهربائي

## أسئلة إضافية:

سـ تعبّر شحنة مقدارها  $C = 240 \mu C$  مقطعاً عرضياً من الموصى خلال دقيقتين، جد مقدار التيار الكهربائي المار في الموصى.

$2 \mu A$

سـ يمرّ تيار كهربائي مقداره  $mA = 4$  في موصى لمدة ساعة وربع، جد مقدار كمية الشحنة التي تعبّر مقطع الموصى 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 - تنفسن - حديد - نيكروم). [نيكروم = نيكيل + كروم]

2. **عزلات**: وهي مواد تمنع مرور التيار الكهربائي خلالها مثل الزجاج والمطاط.

3. **أشباه موصلات**: وهي مواد ضعيفة التوصيل الكهربائي ويمكن تعزيزها بذرات أخرى

لزيادة 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 سنسمه: المقاومة الكهربائية، ولا يهمنا شكل الجهاز، بل يهمنا الموصل الموجود بداخله والذي يمر به التيار الكهربائي.

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

✿ **توضيح**:

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

وعند توصيل الموصل بالبطارية تتنظم 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، ويتولد من هذه التصادمات

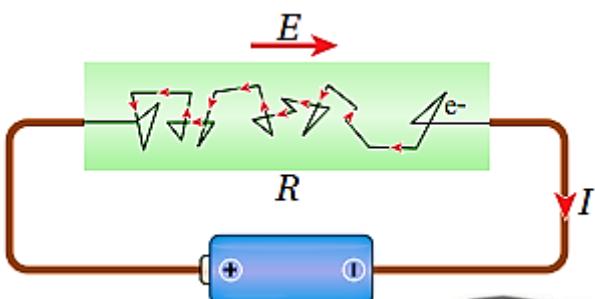
الكثير **فقدان الإلكترونات للطاقة التي تحملها**، وتنقل هذه الطاقة إلى ذرات الفلز، مما يؤدي إلى **زيادة سعة اهتزازات ذرات الفلز**، وبالتالي **ترتفع درجة حرارة الفلز**، أي أنه يسخن.

✿ زيادة سعة اهتزازة الذرات تؤدي إلى زيادة احتمالية تصادم الإلكترونات بها، فتردد إعاقة الموصل لحركة الإلكترونات داخله، وتصبح مقاومة الموصل لسريان التيار الكهربائي أكبر.

تسمى ممانعة الموصل لمرور التيار الكهربائي فيه بالمقاومة الكهربائية. أي أن الموصلات مقاومة مرور التيار الكهربائي فيها.

زيادة درجة حرارة الموصل ترزيد 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) وتنقل هذه الطاقة إلى ذرات الفلز؛ وتحول إلى طاقة حرارية (ترتفع درجة حرارة الفلز) مما يزيد من سعة اهتزاز الذرات (طاقة حركية لذرات الفلز)، وبالتالي ترتفع درجة حرارة السلك وينتج من ذلك زياة مقاومة الموصل لمرور التيار الكهربائي خلاله أي تزداد إعاقة الموصل لحركة الإلكتروناتداخله.



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  $C$ .

يأتي التيار الكهربائي إلى المقاومة الكهربائية، فيدخلها محلا بالطاقة الكهربائية، مما يعني أن جهد النقطة قبل المقاومة يكون عاليًا، وبسبب التصادمات، يخسر التيار الكهربائي طاقته داخل المقاومة (جزئياً أو كلياً)، ولهذا يصبح جهد النقطة الواقعه 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. ورياضياً فإن:

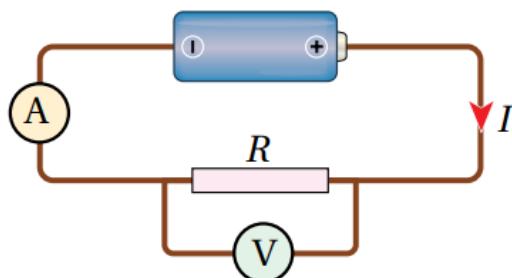
$$R = \frac{\Delta V_R}{I}$$

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

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

سـ ماذا نعني بقولنا إن مقاومة موصل تساوي  $\Omega$ ؟

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

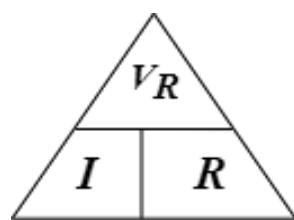


❖ تسمى هذه العلاقة قانون أوم الذي ينص على أن: "الموصل عند درجة الحرارة الثابتة ينشأ فيه تيار كهربائي ( $I$ ) يتتناسب طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه ( $\Delta V_R$ )".  
ورياضياً يكتب قانون أوم كما يلي:

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 ( $1 A$ )."

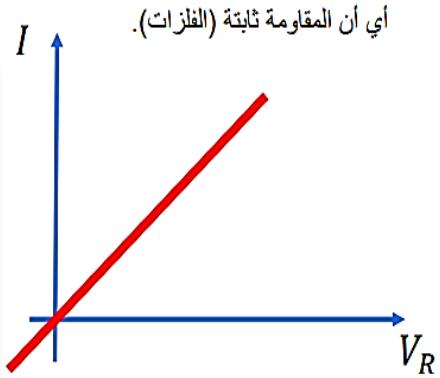
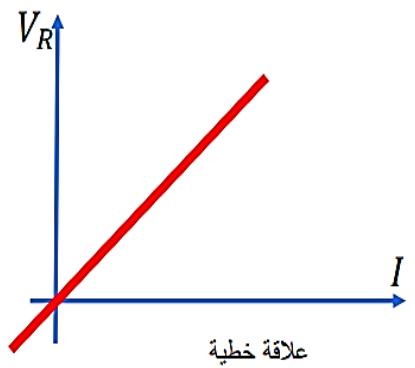


يمكن تمثيل العلاقة بين التيار وفرق جهد المقاومة بيانياً كما يلي (بثبوت درجة الحرارة):

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

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

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



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.  
 $\left(\frac{1}{R}\right)$ .  
كلما اقترب الخط المستقيم من ( $V$ ) زادت ( $R$ ) وقلت الموصولة.  
كلما اقترب الخط المستقيم من ( $I$ ) قلت ( $R$ ) وزادت الموصولة.

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

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

**تزايد قيمة المقاومة بزيادة درجة الحرارة، ونقل قيمتها بنقطان درجة الحرارة.**

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

## المواد اللا أومية:

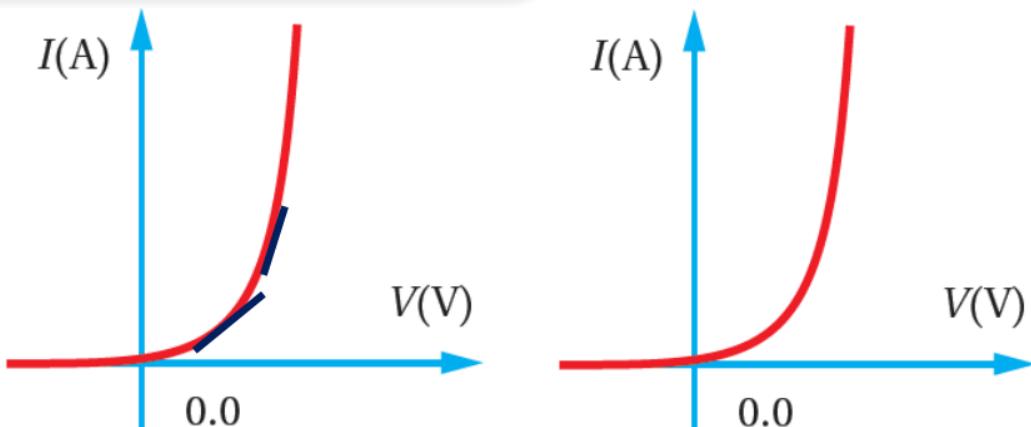
✿ أما إذا كان العامل متغيراً بغير (I) أو (V)، فإن المقاومة تكون متغيرة غير ثابتة، أي أنه وبالرغم من ثبوت درجة الحرارة، إلا أن قيمة المقاومة الكهربائية تتغير بتغيير التيار المار في المقاومة أو فرق الجهد بين طرفيها. وتعتبر العلاقة بين التيار وفرق الجهد في هذه الحالة: غير خطية.

تسمى هذه المواد: **مواد لا أومية**. ومن أمثلتها:

هذه القطع الإلكتروني 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*)



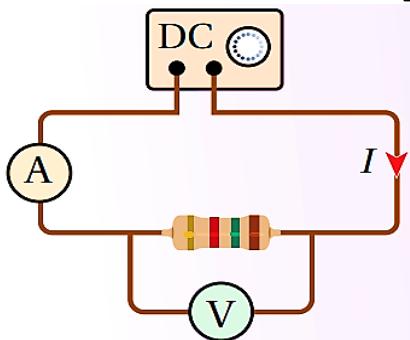
التمثيل البياني لعلاقة التيار والجهد لـ: **الثنائي**

✓ **تحقق:** كيف تميز بين الموصلات الأومية والمواد اللا أومية؟

↳ في الموصلات الأومية تكون العلاقة بين فرق الجهد والتيار خطراً مستقيماً، بينما لا تكون خطأ 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، أمبير، فولتميتر، أسلاك توصيل.

**ارشادات السلامة:** الحذر من لمس الوصلات الكهربائية غير المعزلة 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 ويقيس الأمبير ( $A$ ) التيار المار في المقاومة، بينما يقيس الفولتميتر ( $V$ ) فرق الجهد بين طرفيها.

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

- 2 أقيس: أرفع جهد المصدر قليلاً، ثم أسجل قراءاتي للأمبير 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 بيانيًا، بحيث يكون فرق الجهد على المحور الأفقي والتيار على المحور الرأسى.

2. **استنتاج** 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 بتغيير فرق الجهد بين طرفيها؟

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

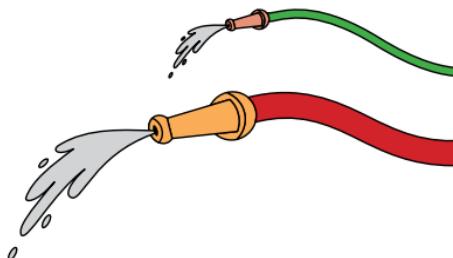
## إجابات أسئلة التحليل والاستنتاج

- رسم أفضل خط مستقيم يمثل النقاط، وقد تنحرف بعض النقاط عن الخط المستقيم نتيجة بعض أخطاء القياس المتوقعة.
- أحسب ميل الخط المستقيم أحصل قيمة ثابتة، ثم أحسب مقلوب هذه القيمة الذي يساوي مقدار مقاومة، وأكرر ذلك للمقاومات الثلاث.
- 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.
- عند استخدام مواد لا أومية فإن النسبة بين الجهد والتيار لن تبقى ثابتة عند تغيير قيم الجهد.

✿ تعتمد مقاومة الموصى ( $R$ ) على ثلاثة عوامل عند ثبات درجة حرارة الموصى، وهي:

- ✓ نوع مادة الموصى، ويعبر عنه بـ: المقاومية الكهربائية لل المادة، ورمزها ( $\rho$ ). [طريدياً]
- ✓ طول الموصى ( $L$ ). [طريدياً]
- ✓ مساحة المقطع العرضي للموصى ( $A$ ). [عكسياً]
- ✓ درجة حرارة الموصى [طريدياً]

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



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

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

يسمع الطول والمساحة:  
الأبعاد الهندسية

**المقاومية:** صفة للمادة، بينما المقاومية صفة للموصى 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، مما يعيق حركتها بشكل أكبر، ويزيد مقاومة الموصل.

- سـ** فسر: تتناسب مساحة المقطع العرضي للموصل ( $A$ ) عكسيًا مع المقاومة الكهربائية ( $R$ ).  
**جـ** زيادة مساحة المقطع العرضي للموصل ( $A$ ) يعني زيادة عدد الإلكترونات الحرة الناقلة للتيار، فيزداد التيار ونصل 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 °C).

ال المادة	المقاومية ( $\Omega \cdot m$ )	ال المادة	المقاومية ( $\Omega \cdot m$ )	ال المادة	المقاومية ( $\Omega \cdot m$ )	ال المادة
فضة	$1.59 \times 10^{-8}$	كربون	$3500 \times 10^{-8}$	زجاج	$10^{10} - \times 10^{14}$	العازلات
نحاس	$1.7 \times 10^{-8}$	سيليكون	640	مطاط	$10^{13}$	أشباه الموصلات
ذهب	$2.44 \times 10^{-8}$	جرمانيوم	0.46			
الألمنيوم	$2.82 \times 10^{-8}$					
تنغستن	$5.6 \times 10^{-8}$					
دديد	$10 \times 10^{-8}$					
نيكروم	$150 \times 10^{-8}$					

**ال مقاومة الكهربائية ( $\rho$ )** لها دة هي: مقاومة عينة من المادة طولها (1 m) ومساحة مقطعاها (1 m<sup>2</sup>) عند درجة حرارة معينة.

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

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

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

٢٠ اعتماداً على الجدول السابق، أجب عما يلي:

## ١- أي المواد الواردة في الجدول لها أكبر مقاومة؟

**٤- صلف المقادير في الجدول إلى ثلاثة أنواع وفق قيم المقاومية، وأعط اسمًا لكل نوع.**

2

## ١- العازلات المطاط وبعض أنواع الزجاج.

بـ- التي لها أقل مقاومية الفضة.

## ٤- التصنيف كالتالي:

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

**٢) أشباه الموصلات: ذات مقاومية كهربائية متوسطة - مثل: الكربون والجرمانيوم والسيلikon.**

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

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

ج لأن له مقاومية عالية جدا وبالتالي فهو لا يسمح بمرور الشحنات الكهربائية من خلاله، فـيستخدم كـعازل كـهربـائي لـمنع تـكـهـرـبـ العـامـلـيـنـ فيـ صـيـانـةـ الـأـجـهـزـةـ الـكـهـربـائـيـةـ.

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

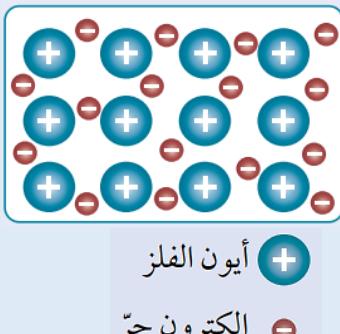
- ❖ قيم المقاومية المنخفضة تعني أن هذا الموصل جيد التوصيل للكهرباء، بينما قيم المقاومية العالية تعني أن المادة رديئة التوصيل للكهرباء، وهذا يفسر استخدام العازلات (مثل المطاط) في صناعة مقابض أدوات صيانة الأجهزة الكهربائية.
- ❖ إذا تغيرت درجة حرارة الموصل، تتغير خصائصه، وبالتالي تتغير قيمة المقاومية الكهربائية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

## المواد فائقة التوصيل

- ❖ عند تبريد الموصل إلى درجات حرارة منخفضة جداً تقارب الصفر المطلقة، وجد تجريبياً أن المقاومية الكهربائية وبالتالي المقاومة لبعض المواد تساوي صفرأً (تنعدم 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 صفر]
- ❖ من استخدامات المواد فائقة التوصيل:
  - ➡ توليد مجال مغناطيسي في أجهزة مثل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI).

- ✓ **اتحقق:** أوضح الفرق بين مفهومي المقاومة والمقاومية.
- ↳ المقاومة هي ممانعة الموصل لمرور التيار الكهربائي فيه، وتعتمد على نوع الموصل وأبعاده. بينما المقاومية 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



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

## الربط مع الحيات

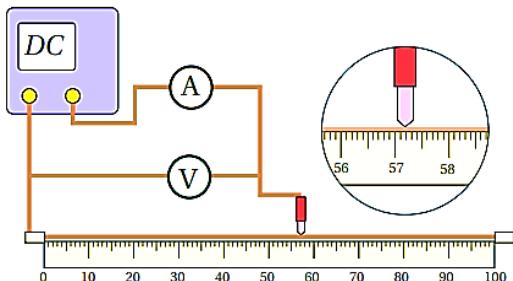
### إضاءة مصابيح الشوارع



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

## التجربة 1

### استنتاج العوامل التي تعتمد عليها المقاومة الكهربائية لموصل



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

**ارشادات السلامة:** الحذر من لمس الوصلات الكهربائية غير المعزلة والعنصر الساخنة.

#### التحليل والاستنتاج:

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

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

## إجابات أسئلة التحليل والاستنتاج

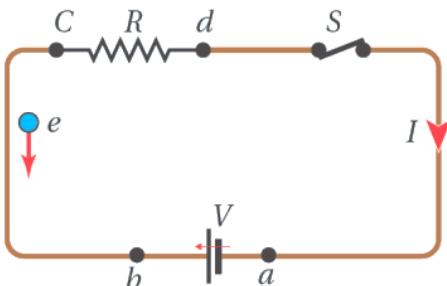
1. أستنتج أن العلاقة بين طول الموصل و مقاومته طردية، فعند زيادة طول الموصل حسب القيم المحددة في خطوات التجربة، تزداد المقاومة بالنسبة نفسها.
2. أستنتج أن العلاقة بين مساحة مقطع الموصل و مقاومته عكسيّة، فعند زيادة نصف القطر تزداد مساحة المقطع وتقل المقاومة.
3. عندما تتشابه الأسلام في أبعادها الهندسية (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 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  $J = 12$  على الشحنات، فتزودها بطاقة مقدارها  $J = 12$ ، تستهلك المقاومة الداخلية ( $r$ ) جزءاً مقداره  $J = 2$  من الطاقة داخل البطارية، فتخرج الإلكترونات من البطارية محملة بطاقة مقدارها  $J = 10$ ، وعندما تعبر الشحنات الكهربائية المقاومة الخارجية ( $R$ )، فإن المقاومة تستهلك ما تبقى من الطاقة مع الشحنات أي  $J = 10$ ، فتعود الإلكترونات إلى البطارية وهي لا تحمل أي طاقة، فتشحنها البطارية مرة أخرى بـ  $J = 12$  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 حرارية 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 والمصابيح 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 تفاصس بوحدة ( $J/s$ ), والتي تسمى اختصاراً **واط** ( $Watt - W$ ).

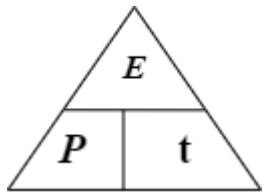
تحسب القدرة المستهلكة في المقاومات الخارجية ( $R$ ) أو الداخلية ( $r$ ) من العلاقة التالية:

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

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

تذكرة أن:  $V_R = IR$

تذكرة 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 (جول -  $J$ )  
 $t$ : زمن مرور التيار في المقاومة (ثانية -  $s$ ).

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

## توضيح:

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

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

## ٣ تكاليف استهلاك الطاقة الكهربائية

لتعرف على 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:

$$(h) \xrightarrow{\times 60} (min) \xrightarrow{\div 60} (s) : \text{الزمن } (t)$$

$$(kWh) \xrightarrow{\times (36 \times 10^5)} (J) : \text{الطاقة } (E)$$

$$(kW) \xrightarrow{\div 10^3} (W) : \text{القدرة } (P)$$

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.

يسعى 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  $JD/kWh$  هي:  $price$

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

لتشجيع المستهلك على خفض استهلاك الكهرباء، تخصم عادةً أسعار أقل لشريائح الاستهلاك الدنيا.

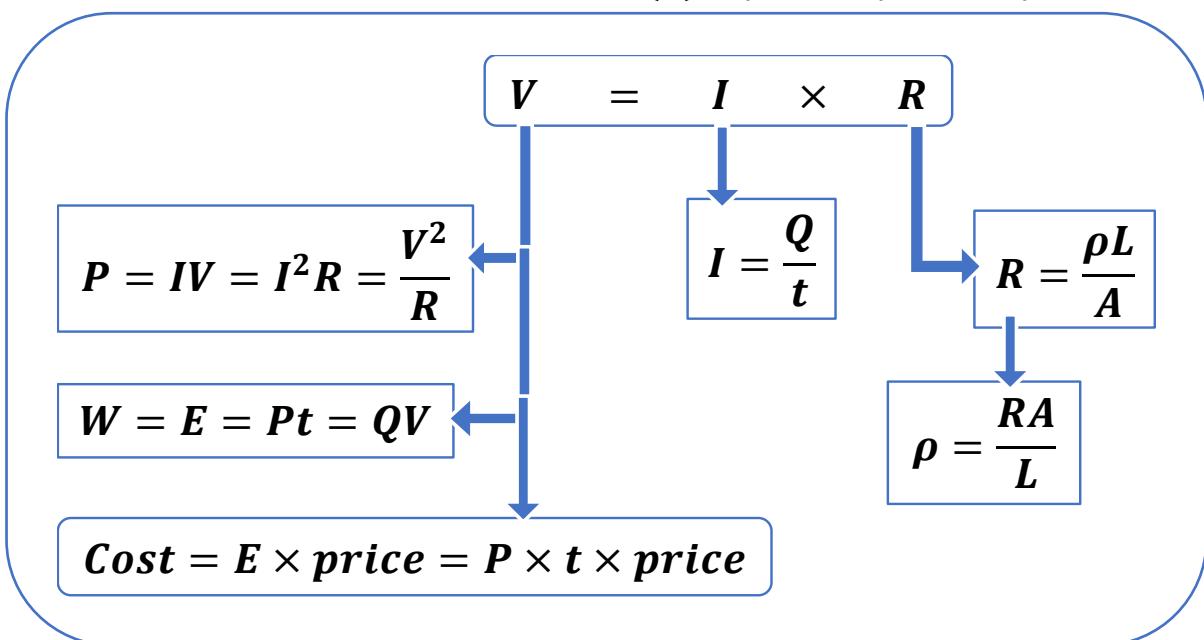
سؤال

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

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

الربط مع أكياس

دارة 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 الأسلام. عند حدوث دارة قصر في تغذيات الكهرباء المنزلية، تنصهر الأسلام وتتولد حرارة كبيرة قد تؤدي لاحتراق المنزل.

خلاصة القوانين للمقاومة الكهربية ( $R$ ):

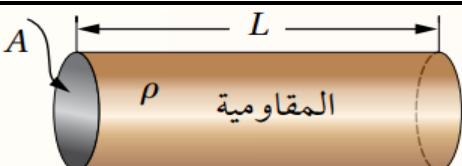
## الأسئلة:

### ◀ 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 لمعانعة الموصى لسريان تيار كهربائي فيه. تعتمد مقاومة الموصى على ثلاثة عوامل: الطول ومساحة المقطع والمقاومة؛ فالمقاومة تتناسب طردياً مع طول الموصى 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 الموصى.



2. يبين الشكل المجاور موصلاً فلزياً طوله ( $L$ ) ومساحة مقطعه ( $A$ ). أوضح متى تتساوى مقاومة هذا الموصى مع مقاومية المادة المصنوع منها.



↳ عندما يكون طول الموصى متر واحد ومساحة مقطعه تساوي متر مربع واحد، عندها تكون مقاومة الموصى متساوية للمقاومية الخاصة بعادته.

↳ وبصيغة أسهل: لما تكون قيمة الطول والمساحة متساوين.

3. المقاومية خصيصة فيزيائية للمادة، ومقاومة موصى تتصف بإحدى الصفات الآتية:

أ- تزداد بزيادة طول الموصى وبزيادة مساحة مقطعه.

ب- تقل بزيادة طول الموصى وبزيادة مساحة مقطعه.

ج- تزداد بزيادة طول الموصى وبنقصان مساحة مقطعه.

د- تعتمد على نوع المادة وليس على أبعاد الموصى 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 الموصى إلى  $(50^{\circ}\text{C})$ , مفسراً إجابتك.

﴿ بارتفاع درجة الحرارة تزداد سعة اهتزاز ذرات الموصى، فتزداد التصادمات بين الإلكترونات وهذه الذرات وتزداد مقاومة الموصى، 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  $A$**



## المثال 2

فتيل مصباح متوهج مصنوع من سلك رفيع من التنغستن؛ نصف قطره ( $10 \mu m$ ) على شكل ملف لولبي كما في الشكل، مقاومته ( $\Omega$ ) 560. عند شده جيداً تبين أن طول السلك ( $3.14 m$ ). أحسب مقاومية 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 النيكروم 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 نيكروم نصف قطره ( $0.8 mm$ )، فما مقاومة هذا السلك وما طوله؟

$$55 \Omega$$

$$73.7 m$$

٩. 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 تستنتجه حول خصائص هذا الموصل؟
- ↳ نستنتج أن مقاومة الموصل ليست ثابتة، بل تتغير عند تغيير فرق الجهد بين طرفيه مع ثبات درجة حرارته، ما يعني أن الموصل لا يطيع قانون أوم.

## ◀ القدرة الكهربائية والطاقة المستهلكة في المقاومات:

١. **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  $J$  لكل ثانية.
٢. أرغب بتصميم مدفأة كهربائية بسيطة قدرتها ( $W = 1000$ ) تعمل على جهد ( $V = 240$ )، وعنصر التسخين فيها سلك من مادة النيكروم. 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 النيكروم حيث مقاومية النيكروم محددة، يجب أن تكون نسبة طول السلك إلى مساحة مقطعه تساوي ( $3.84 \times 10^7$ )، فمثلاً إذا توفر لدى سلك نيكروم مساحة مقطعه ( $4 \times 10^{-6} m^2$ ) فإن طوله يجب أن يساوي:

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

٣. 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. أحسبُ التيار الكهربائي في كل من الأجهزة الآتية:

- منشار كهربائي قدرته  $1.5 \text{ kW}$  يعمل على جهد  $(220 \text{ V})$ .
- 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 وسطح الأرض مقداره ( $V = 1.5 \times 10^{10}$ ) في حدوث البرق؛ فينشأ تيار كهربائي مقداره ( $30 \text{ kA}$ )، يستمر مدة ( $30 \mu\text{s}$ ) لتفريغ الشحنة في الأرض. ما مقدار الطاقة الكهربائية المنقوله خلال هذا التفريغ؟

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

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

معتمداً على هذه المعلومات، أقدر الكميات الآتية:

- ١- كمية الشحنة الكهربائية الكلية التي تنتقل بين السحابتين.
- ٢- التيار الكهربائي الذي يسري في الهواء خلال البرق.
- ٣- القدرة الكهربائية.

$$\begin{aligned} &20 \text{ C} \\ &100 \text{ A} \\ &5 \times 10^9 \text{ W} \end{aligned}$$

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

20 h  
10 A  
12 W , 200 h

8. فرن كهربائي يعمل على جهد (240 V)؛ مقاومة عنصر التسخين فيه ( $30 \Omega$ ). إذا عمل مدة (48 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 V)؟

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

٩. موصلان (A) و (B) متساويان في الطول ومساحة المقطع، وصل كل منها مع مصدر الجهد الكهربائي نفسه، إذا كانت مقاومية مادة الموصل (A) مثلث مقاومية مادة الموصل (B)؛ فما نسبة القدرة التي يستهلكها أحدهما إلى قدرة الآخر؟
- ↳ بما أن الموصلان متماثلين في أبعادهما، فإن نسبة مقاومتيهما ستكون بنفس نسبة المقاومية بينهما. أي إن:  $(R_A = 2R_B)$ .

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


---

١٠. مصباحان يتصلان مع مصدري 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  $W$  (4000) مدة ( $h$  8)؛ إذا كان سعر وحدة الطاقة الكهربائية  $(0.12 JD/kWh)$ .

3.84 JD

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

37.80 JD

## المثال 9

سيارة كهربائية تخزن بطاريتها 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.

جـ- تكلفة ( $cost$ ) شحن السيارة بشكل كامل؛ إذا كان سعر ( $price$ ) وحدة ( $\text{kWh}$ ) هو ( $0.12 \text{ JD}$ ).

**3.52 W**

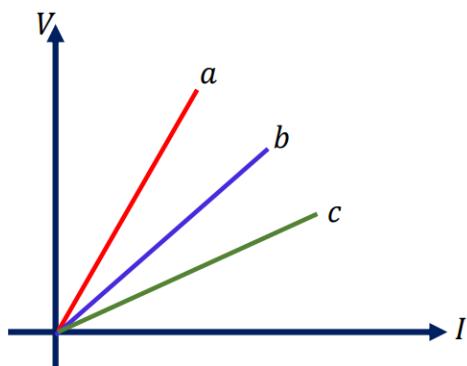
**6.8 h**

**2.88 JD**

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

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

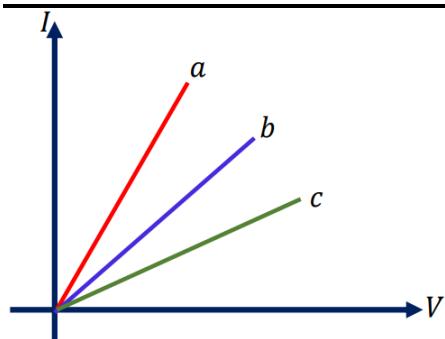
**أسئلة إضافية:**



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.

<i>a</i>
المقاومة
<i>a</i>
<i>c</i>



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؟

<i>a</i>
مقلوب المقاومة
<i>c</i>
<i>a</i>

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 مقاومية 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.

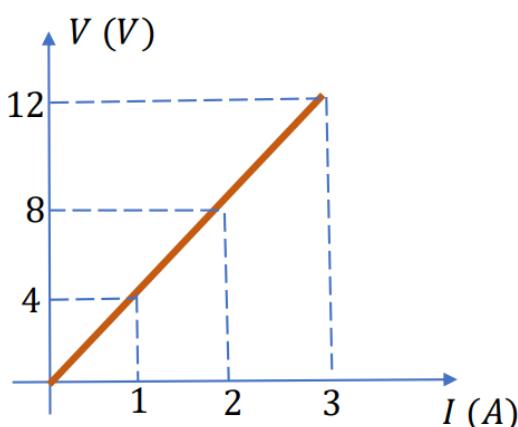
(أعد الحل لو قال بدل المساحة: و (نصف قطر) الثاني يساوي مثلي (نصف قطر) الأول)

1
6
$\frac{1}{6}$
$\frac{1}{6}$
$\frac{1}{6}$
$\frac{1}{6}$

1
12
$\frac{1}{12}$
$\frac{1}{12}$
$\frac{1}{12}$
$\frac{1}{12}$

.4. اعتماداً 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 المقاومية.
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 V)، إذا كانت قدرة مجفف الشعر (1 kW)، فاحسب:
1. مقاومته.
  2. الطاقة الكهربائية المستهلكة فيه عند تشغيله (15 min) بوحدتي (جول) و(كيلوواط. ساعة).

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

- .6. وصلت مقاومة مدفأة مع مصدر فرق جهد كهربائي مقداره (220 V)، إذا كانت مقاومتها تساوي ( $\Omega$ )، فاحسب القدرة في الحالات الآتية:
1. عند وصلها كما هي.
  2. إذا قطع سلك المدفأة إلى نصفين، ووصل أحدهما مع البطارية.

$2200 W$   
 $4400 W$

- .7. اعتماداً على الجدول التالي، والذي يظهر مواصفات ثلاثة 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 - ح

- .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 الموصلية      د- فائقة المقاومة

ح

- .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 بتغيير طول الموصل.

ح

- .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 علماً بأنها كلها مصنوعة من النحاس:

- $L_1 = L, A_1 = A$
- $L_1 = 2L, A_1 = A$
- $L_1 = L, A_1 = 2A$
- $L_1 = 2L, A_1 = 2A$

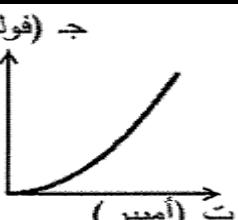
ج

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

- تتحرك حركة عشوائية
- لا تتحرك
- تتحرك باتجاه حركة الشحنات الموجبة
- تتحرك بسرعات منتظمة

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:

- 
- الكربون
  - الألمنيوم
  - الحديد
  - النحاس

ج

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

- الكربون
- المطاط
- الزئبق
- السيليكون

ب

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

- الموصولة
- شبه الموصولة
- العازلة
- فائقة الموصولة

د

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

- الأوم
- الفولت
- الواط
- الأمبير

أ

١٧. تغير قيم المقاومية الكهربائية للموصلات الفلزية بتغير:

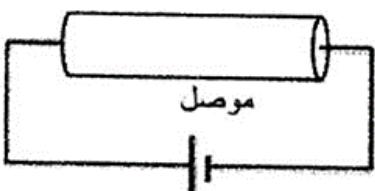
ـ شكلها

ـ كتلتها

ـ أبعادها

ـ درجة حرارتها

١



١٨. الشكل المجاور يمثل دارة مكونة من موصل وبطارية.

يكون اتجاه التيار الاصطلاحي واتجاه المجال داخل الموصل

على الترتيب:

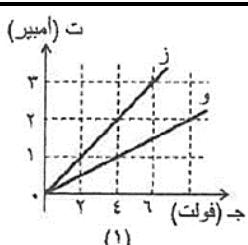
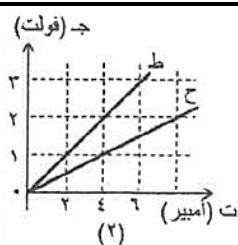
ـ  $-x, +x$

ـ  $+x, +x$

ـ  $-x, -x$

ـ  $+x, -x$

٢



١٩. في تجربة لقياس المقاومة الكهربائية الأربع

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

البيانية بين التيار الكهربائي المار في الدارة

وفرق الجهد بين طرفي كل من الموصلات

الأربعة كما في الشكلين المجاورين (١، ٢).

الموصل الأكبر مقاومة من بين هذه الموصلات هو:

ـ ط

ـ ح

ـ ز

ـ و

٣

$$V = ج$$

$$I = ت$$

**أسئلة سنوات سابقة:**

**1.** عندما تعبر مقطع موصل شحنة مقدارها ( $C$ ) في ثانية واحدة، نتيجة تطبيق فرق جهد كهربائي مقداره ( $V$ ) بين طرفي هذا الموصل، فإن إحدى العبارات الآتية تكون صحيحة:

- مقاومة الموصل ( $2.0 \Omega$ )
- مقاومة الموصل ( $0.5 \Omega$ )
- التيار في الموصل ( $2.0 A$ )
- التيار في الموصل ( $0.5 A$ )

٤

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

- زيادة سعة اهتزاز ذرات الموصل
- نقصان عدد الإلكترونات الحرة الناقلة للتيار
- نقصان سعة اهتزاز ذرات الموصل
- نقصان عدد التصادمات بين الإلكترونات وذرات الموصل

٥

**3.** جهاز حاسوب قدرته الكهربائية ( $W$ ) (300). إذا علمت أن سعر وحدة الطاقة الكهربائية ( $JD/kWh$ ) (0.15) ، فإن تكلفة تشغيل الجهاز مدة ثمان ساعات ( $h$ ) (8) بوحدة دينار أردني ( $JD$ ) تساوي:

- 21.60
- 3.60
- 2.16
- 0.36

٦

**4.** تفاصي مقاومية المادة وفقاً لنظام الدولى للوحدات بوحدة:

- ( $m/\Omega$ )
- ( $\Omega/m$ )
- ( $\Omega \cdot m$ )
- ( $\Omega \cdot m^2$ )

٧

**5.** موصل مقدار مقاومته ( $\Omega$ ) (6) إذا طبق بين طرفيه فرق جهد مقداره ( $V$ ) (4)، فإن كمية الشحنة التي تعبر مقطع هذا الموصل في مدة ( $s$ ) (3) بوحدة ( $C$ ) تساوي:

- (24)
- (12)
- (4)
- (2)

٨

6. حدث تفريغ كهربائي بين كرة مولد فأن دي غراف وكرة أخرى موصولة بالأرض، فرق الجهد بينهما ( $V$ ) 2000 V، فكان على شكل تيار كهربائي ( $A$ ) 250 A استمر سريانه مدة (3 s). مقدار الطاقة الكهربائية المنقولة خلال هذا التفريغ بوحدة جول (J) هو:
- أ-  $(1.5 \times 10^6)$  جول      ب-  $(5.0 \times 10^3)$  جول      ج-  $(6.0 \times 10^3)$  جول      د-  $(7.5 \times 10^2)$  جول

د

7. مصباح كهربائي قدرته ( $W$ ) 800 W يعمل مدة عشر ساعات (10 h)، إذا علمت أن سعر وحدة الطاقة الكهربائية ( $JD/kWh$ ) 0.12 JD/kWh، فإن تكلفة تشغيله بوحدة ( $JD$ ) هي:
- أ- 19.20      ب- 9.60      ج- 2.96      د- 0.96

ج

8. موصل أومي مقاومته ( $R$ ) عند درجة حرارة ( $25^\circ\text{C}$ )، عند تسخينه إلى درجة حرارة ( $80^\circ\text{C}$ )، فإن ما يحدث للموصل:
- ب- يبقى أوميا، وتزداد مقاومته      د- يصبح لا أوميا، وتقل مقاومته  
ج- يصبح لا أوميا، وتتغير مقاومته ثابتة      ح- يبقى أوميا، وتزداد مقاومته

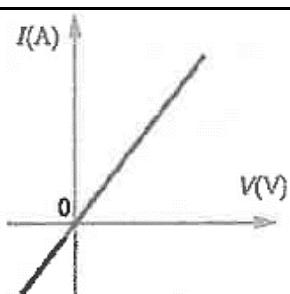
ج

9. يصنع 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  
ح- تنقص وتبقى أومية      د- تنقص وتصبح لا أومية

د

10. بين الشكل المجاور علاقة فرق الجهد ( $V$ ) بين طرفي موصل أومي مع التيار ( $I$ ) المار فيه. ميل المنحنى يمثل:
- أ- مقاومة الموصل      ب- مقاومية مادة الموصل  
ح- مقلوب مقاومية مادة الموصل      د- مقلوب مقاومة الموصل

د



**11.** إذا وصل مصباح كهربائي قدرته ( $W = 40$ ) مع مصدر فرق جهد ( $V = 200$ ), فإن كمية الشحنة الكهربائية التي تعبّر المصباح خلال ( $s = 60$ ) بوحدة كولوم ( $C$ ) تساوي:

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

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

- ج

## 3. القوة الدافعة الكهربائية

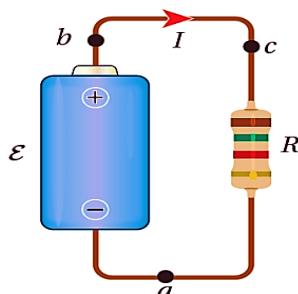
يحتوي هذا الدرس على 2 محاور

تمثيل تغيرات الجهد الكهربائي  
بيانياً.

القوة الدافعة الكهربائية (حساب  
جهدها وقدرتها).

### ① القوة الدافعة الكهربائية (حساب جهدها 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: ( $\epsilon$ ).
- ❖ القوة الدافعة الكهربائية ليست قوة ميكانيكية، بل هي فرق جهد كهربائي بينقطبي البطارية.
- ❖ لا تُقاس القوة الدافعة الكهربائية بوحدة (نيوتون) ولكنها تُقاس 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 ضرورةً بالمقاومة الكهربائية.



الشكل (6): مقاومة موصولة  
بقطبي بطارية.

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

- تعرف القوة الدافعة الكهربائية ( $\epsilon$ ) بأنها الشغل الذي تبذله البطارية في نقل وحدة الشحنات الموجبة داخل البطارية من قطبها السالب إلى قطبها الموجب.
- ويمكن التعبير عنها بالرموز رياضياً كما يأتي:

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

حيث  $W$ : هي الشغل الذي تبذله البطارية لنقل الشحنات من القطب السالب إلى الموجب داخل البطارية ( $J$ ).  
 $Q$ : الشحنة المنقولة داخل البطارية ( $C$ ).  
 تُقاس 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 كهربائي 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 دائمًا مهملة المقاومة، وبالتالي لا تستهلك طاقة ولا تسخن.
- يكون فرق الجهد الكهربائي بين طرفي البطارية ( $V_\epsilon$ ) مساوياً للقوة الدافعة الكهربائية ( $\epsilon$ ) لها:

$V_\epsilon = \epsilon$   
 ولكن لا تنسى أن البطارية بسبب احتواها على مادة تفر فيها الشحنات (ليست فراغ)، فإنها تمنع قليلاً 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 جزءاً منها في المقاومة الداخلية، وتتفقد الجزء المتبقى منها في المقاومات الخارجية [غالباً الطاقة المفقودة في المقاومة الخارجية أكبر منها في المقاومة الداخلية].

كما درسنا سابقاً، 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 جهدًا ضائعاً منها وليس منتجاً فيها.

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

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

❖ نستنتج من هذه العلاقة أن:

1. أكبر جهد ممكن أن تولده البطارية بين قطبيها يكون مساوياً لـ  $\varepsilon$ .
2. الهبوط في الجهد يخصم من القوة الدافعة للحصول على جهد البطارية (فرق الجهد بين طرفيها).
3. يكون الهبوط في الجهد صفرًا، وبالتالي ( $V_{\varepsilon} = 0$ ) فقط، في حالتين:
  - ➊ الدارة مفتوحة ( $I = 0$ ).
  - ➋ 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 مجالاً 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.

أفهم

أوضح 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.

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

$$W = E$$

## فائدة ←

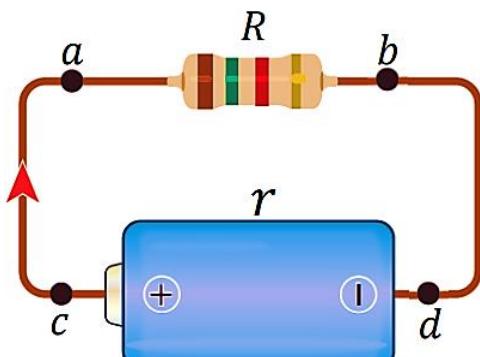
إذا كانت البطارية متصلة مع مقاومة خارجية واحدة فقط كما في الشكل، فعندما يمكن اعتبار ما يلي:

لأنهما متصلتان معاً بسلك فارغ. ✓

لأنهما متصلتان معاً بسلك فارغ. ✓

لأن (a) من جهة القطب الموجب للبطارية. ✓

لأن (c) من جهة القطب الموجب للبطارية. ✓



$$\overrightarrow{V_{dc}} = V_c - V_d = + = V_\varepsilon = \varepsilon - Ir \quad \checkmark$$

$$\overrightarrow{V_{ba}} = V_a - V_b = + = V_R = IR \quad \checkmark$$

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

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

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

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

تعلمنا الآن أن المقاومات تستهلك الطاقة (الجهد)، ولذا يكون الجهد الكهربائي بعد المقاومة أقل من الجهد الكهربائي قبلها عندما تتحرك 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:

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

❖ تحسب القدرة المنتجة في البطارية من العلاقة التالية:

سـ اشتق قانون حساب القدرة للبطارية.

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

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

ويجعل الشغل موضع القانون:

$$W = \varepsilon Q - \dots \quad (1)$$

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 (الم المنتجة) بأنها: المعدل الزمني للشغل الذي تبذله البطارية. أي أن:

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

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:

❖ يتجلّى 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:

قانون حفظ الطاقة (القدرة)

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

القدرة هي الطاقة في الثانية الواحدة.

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

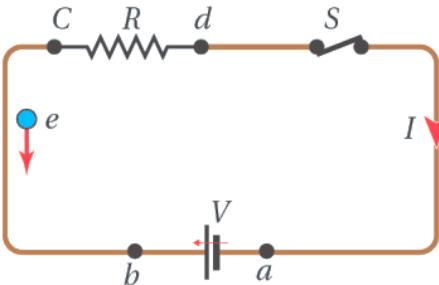
أي أن: الطاقة التي تنتجهما البطارية تستهلكها المقاومات جمِيعاً.

يمكن حساب الطاقة المنتجة في البطارية كما يلي:  $E = P_e \times t$

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، وتمكّن حركتها داخل البطارية من القطب السالب إلى الموجب (من a إلى b) وتحصل على الطاقة من الشغل الذي تبذله عليها القوة الدافعة للبطارية.

## تطبيق تكنولوجي: شحن السيارات الكهربائية ←



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

تزود السيارة الكهربائية بالطاقة بواسطة شاحن منزلي، كما تتوافر 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 الأسلام 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 الأسلام، وهذا يتطلب مدة شحن قد تصل إلى (8) ساعات.

## الربط مع التكنولوجيا



نظراً 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، وينقل الفائض منها إلى الشبكة الوطنية للكهرباء، بدلاً من استخدام البطاريات مرتفعة الثمن لتخزينه.

## الربط مع التكنولوجيا



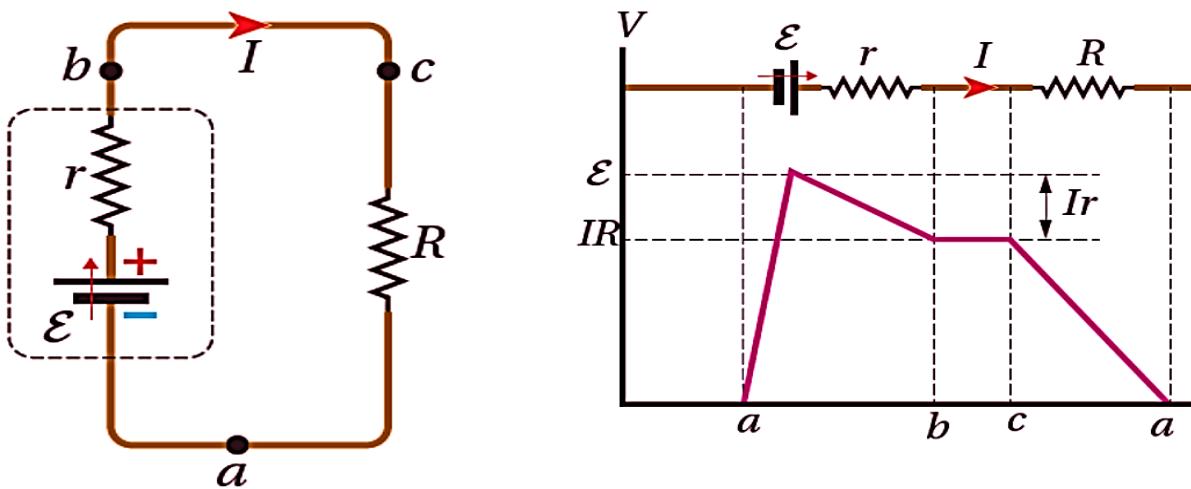
عند شراء بطارية هاتف، نبحث عن الأفضل، فالرقم الظاهر في الصورة (2800 mAh) يعني أن البطارية تخزن كمية من الطاقة، تمكنها من إنشاء تيار (2800 mA) مدة ساعة كاملة، أو تيار (280 mA) مدة عشر ساعات. وكذلك بالنسبة لبطارية السيارة، نجد أن البطارية (70 Ah) أفضل من تلك التي تحمل الرقم (50 Ah).

## ② التمثيل البياني للتغيرات في الجهد الكهربائي:

تعلمنا سابقاً أنَّ:

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 بين طرفي البطارية، أي أنَّ الجهد يصبح مرتفعاً.
3. تتحرك الشحنات المحمولة بالطاقة إلى المقاومات الكهربائية.
4. تستهلك المقاومات الكهربائية الطاقة التي تحملها الشحنات، أي الجهد يصبح أقلً.
5. تستهلك المقاومة الداخلية جزءاً من طاقة الشحنات، فيقل الجهد قليلاً.
6. تستهلك المقاومات الخارجية ما تبقى من الطاقة التي تحملها الشحنات، فيصبح الجهد صفرًا.

يمكن تمثيل ما يحدث للتغير في الجهد بيانياً كما يلي:



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

✿ شكل عام

1. ارتفاع الجهد: قوة دافعة كهربائية، جهدتها:  $\epsilon$ .
2. انخفاض الجهد: مقاومة، ويكون جهدتها:
  - $IR$ : 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 صفرًا، ثم سيرتفع الجهد بسبب ( $\epsilon$ ) بمقدار ( $\epsilon$ ) ثم ينخفض بسبب ( $r$ ) بمقدار ( $Ir$ ) ثم ينخفض بسبب ( $R$ ) بمقدار ( $IR$ ) ويعود صفرًا كما بدأ.

2. يمكن تمثيل ذلك بالمعادلات كما يلي:

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

أي أن:

$$\epsilon - Ir = IR$$

أي أن:

$$V_\epsilon = V_R$$

افهم

ما تحولات الطاقة التي تحدث داخل البطارية في الحالتين:

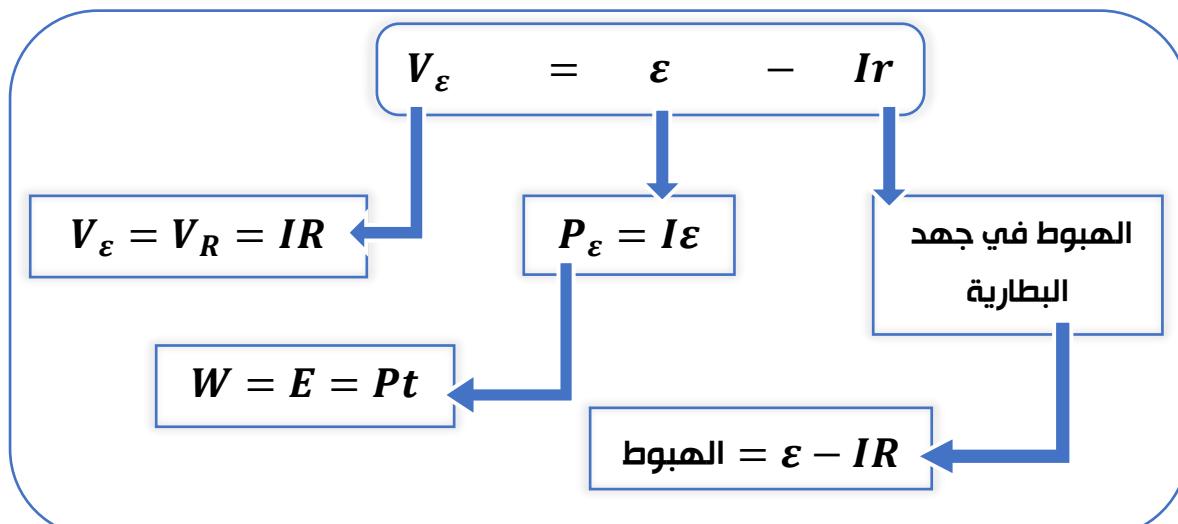
ـ توليد القوة الدافعة الكهربائية وبذل شغل لتحريك الشحنات خلال الدارة.

ـ 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).

محذف

المثال 3

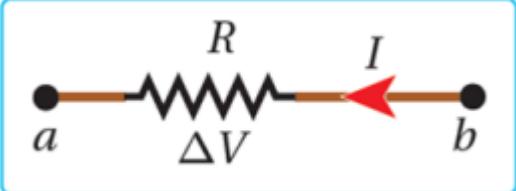
عند قياس فرق الجهد بينقطبي بطارية، قد نجد أنه أقل من قوتها الدافعة الكهربائية أفسر هذا الاختلاف

↳ إن نقصان فرق الجهد بينقطبي بطارية عن قوتها الدافعة الكهربائية ناتج عن وجود مقاومة داخلية تستهلك جزءاً من الطاقة الكهربائية المنتجة، وتحوله إلى طاقة حرارية.

**1. أفسر لماذا يتغير فرق الجهد بينقطبي بطارية عندما يتغير مقدار التيار الكهربائي المار فيها؟**

↳ بسبب وجود مقاومة كهربائية للمواد الكيميائية داخل البطارية، تعرف بالمقاومة الداخلية، فإنه يحدث هبوط في فرق الجهد بينقطبي بطارية، 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.

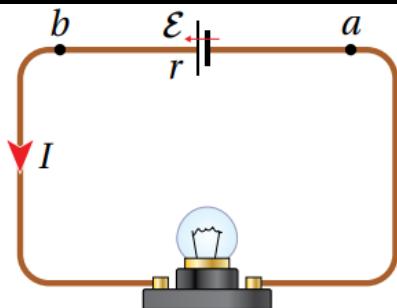
**2. يسري تيار في مقاومة باتجاه اليسار، كما في الشكل، إذا كان ( $V_a$ ) ثابتاً فإنه يمكن وصف الجهد ( $V_b$ ) بأنه:**



- (V<sub>b</sub>) أعلى من (V<sub>a</sub>)، وبزيادته يزداد التيار (I).
- (V<sub>b</sub>) أعلى من (V<sub>a</sub>)، وبزيادته يقل (I).
- (V<sub>b</sub>) أقل من (V<sub>a</sub>)، وبزيادته يزداد التيار (I).
- (V<sub>b</sub>) أقل من (V<sub>a</sub>)، وبزيادته يقل التيار (I).

3. أفسر لماذا يُعد فرق الجهد بين طرفي المقاومة سالباً 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 هبوطاً في الجهد (تغيراً سالباً). ﴾



المثال 3

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

جد: فرق الجهد بين طرفي المصباح.

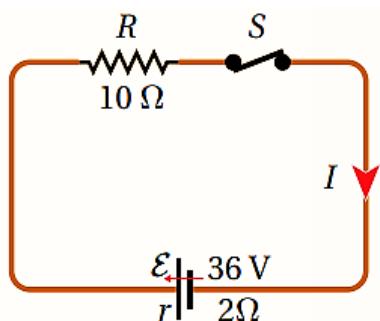
$10.8\text{ V}$

**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:

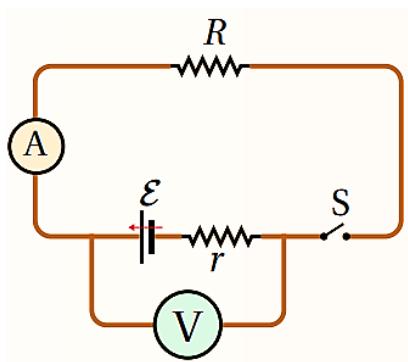
- الطاقة الكهربائية التي تنتجهما البطارية (الشغل الذي تبذله).
- الطاقة الكهربائية التي تستهلكها كل مقاومة.
- نوع تحولات الطاقة في البطارية وفي المقاومات.

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 ( $2.5\Omega$ ). ما مقدار المقاومة التي توصل مع البطارية حتى تكون القدرة المستهلكة في البطارية (2.7 W)؟

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



6. **استخدم الأرقام:** تكون دارة كهربائية من بطارية ومقاومة كما في الشكل المجاور. عندما كان المفتاح ( $S$ ) مفتوحاً كانت قراءة الفولتميتر ( $12 V$ ), وعند إغلاق المفتاح أصبحت قراءته ( $10 V$ ), إذا علمت أن المقاومة الداخلية للبطارية ( $0.5 \Omega$ ) أحسب:
- قراءة الأميتر والمفتاح مغلق.
  - مقدار المقاومة ( $R$ ).

$$I = 4 A$$

$$R = 2.5 \Omega$$

فرق الجهد (V)	المقاومة ( $\Omega$ )	
0.00	0	1
3.00	2	2
4.00	4	3
4.50	6	4
4.80	8	5
5.00	10	6
5.88	100	7
5.99	1000	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.
- أمثل نتائج المحاولات السنت الأولى من التجربة بيانياً: المقاومة على محور ( $x$ ) وفرق الجهد على محور ( $y$ ).
  - أستنتج من الجدول والرسم البياني مقدار المقاومة الداخلية للبطارية.
  - أستنتج مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية.



أ- تمثيل النتائج بيانياً:



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

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

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

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

من النقطة (2, 3) :

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

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

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

بعساواة المعادلتين:

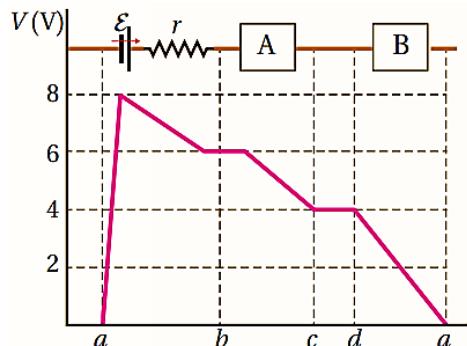
$$4 + r = 3 + 1.5 r \rightarrow r = \frac{1}{0.5} = 2 \Omega$$

جـ- القوة الدافعة الكهربائية:

$$\varepsilon = 3 + 1.5 r = 3 + 3 = 6 \text{ V}$$

## تمثيل تغيرات الجهد الكهربائي بيانيًا:

1. أحل: تكون دارة كهربائية من بطارية لها مقاومة داخلية ومقاويمتين خارجيتين، يمر فيها تيار كهربائي ( $I = 1.6 A$ ) بالاتجاه من ( $a$ ) إلى ( $a$ ) مثل تغيرات الجهد فيها بيانياً، كما في



الشكل المجاور، أجد ما يأتي:

- القوة الدافعة الكهربائية للبطارية.
- المقاومة الداخلية للبطارية.
- المقاومة الخارجية ( $A$ ).
- المقاومة الخارجية ( $B$ ).

8 V  
1.25 Ω

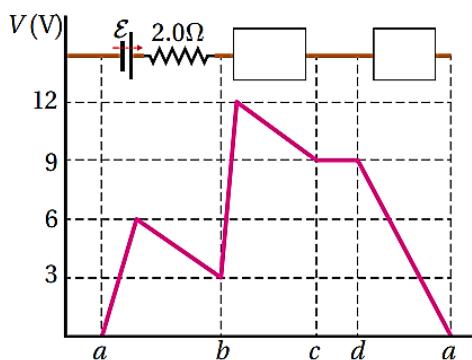
حـ- العنصر ( $A$ ) يمثل مقاومة لأنه نتج عن وجوده هبوط في الجهد بمقدار (2 V)، ومقدار هذه المقاومة:

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

دـ- العنصر ( $B$ ) يمثل مقاومة أيضاً، لأنه نتج عن وجوده هبوط في الجهد بمقدار (4 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:

أ- التيار الكهربائي في الدارة.

ب- العنصر الموصول بين النقطتين (b) و (c)، وقياساته.

ج- 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 ( $V = \epsilon = 9\text{ V}$ )، 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:

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

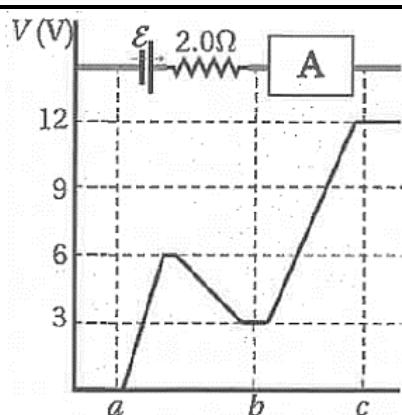
$I = 1.5\text{ A}$

## أسئلة سنوات سابقة:

**1.** تبذل القوة الدافعة الكهربائية 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.

د



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

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

د

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

يحتوي هذا الدرس على 2 محاور؛ وهي:

تصنيف المقاومات

[Resistors' Connection]

الدارات البسيطة.

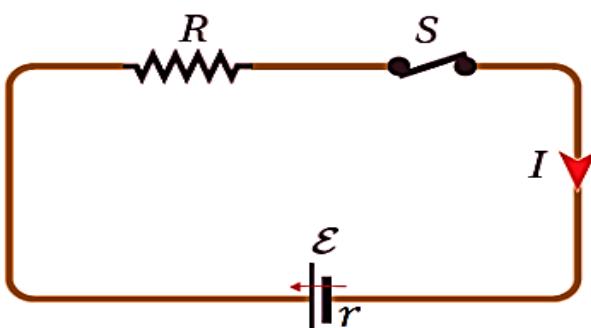
[Simple Circuits]

على التوازي (In Parallel).

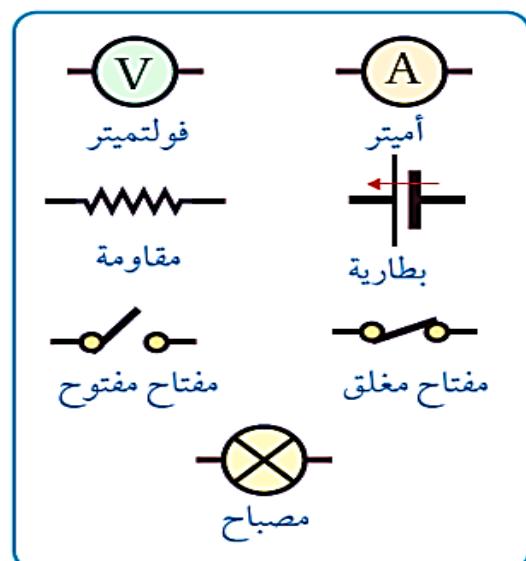
على التوالى (In Series).

### ① الدارات البسيطة:

- ✿ تكون 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 طرفاً بنقطتين على أسلاك الدارة، ليعين فرق الجهد بينهما.
- ✿ يسمى المسار المغلق الذي تتكون منه الدارة في أبسط أشكالها (الحلقة) بـ: عروة.



دارة 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:  $\varepsilon = \sum \varepsilon$

✿ 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 التوالى.

التوصيل على التوازى ✓

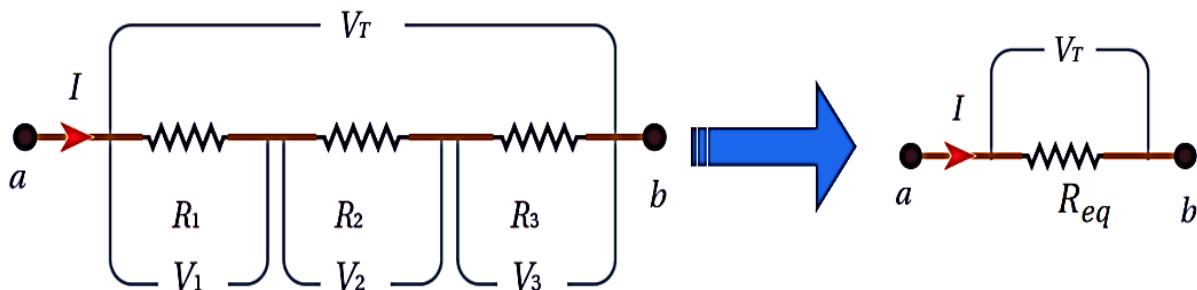
✿ تسمى المقاومة الكهربائية الكلية الناتجة من توصيل أكثر من مقاومة كهربائية معاً:

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

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

### أ. توصيل المقاومات على التوالى:

✿ تصل المقاومات على التوالى بحيث لا يوجد أي تفرع لا يوصل الأسلك الواسطة بينها.



✿ في حالة التوالى، يمر التيار الكهربائى نفسه في جميع المقاومات، وهو نفسه يمر في المقاومة المكافئة.

$$I_{eq} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I \quad \text{بطارىة} \quad \text{التيار متساوى}$$

✿ يتوزع جهد البطارىة على المقاومات بحيث يتناسب الجهد مع المقاومة طرديا حسب قانون أوم:  $V = IR$ , أي أن المقاومة الأعلى مقدارا يكون لها أعلى جهد.

✿ يكون جهد البطارىة مساويا 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:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

المقاومة مجموعـة

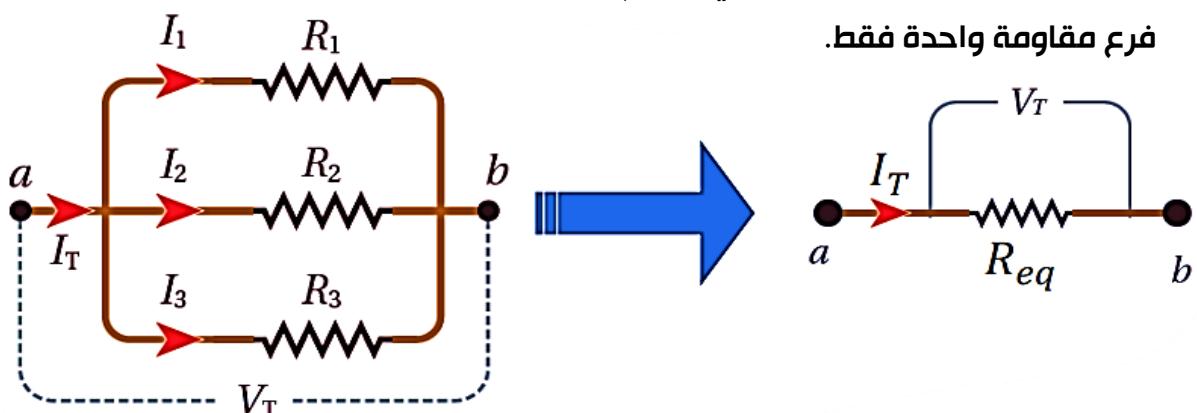
- ❖ يستخدم التوصيل على التوالي للحصول على مقاومة مكافئة كبيرة من عدد من المقاومات الصغيرة.
- ❖ من خصائص التوصيل على التوالي: تجزئة (توزيع) الجهد بين المقاومات.
- ❖ من عيوب التوصيل على التوالي: حدوث قطع في إحدى المقاومات يؤدي إلى توقف التيار فيها جميـعاً.
- ❖ في حالة التوالي، يبقى الفرع كما هو، وتندمج مقاوماته معاً.

**اتحقق:** 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 عيبيها أنه عند حدوث قطع في مقاومة يتوقف التيار في المقاومات جميعها.

## ٢. توصيل المقاومات على التوازي:

- ❖ عند توصيل المقاومات على التوازي، تتفرع الأسلام، ويتجزأ التيار المار فيها، ويكون لكل فرع مقاومة واحدة فقط.



- ❖ في حالة وجود أكثر من مقاومة بالفرع الواحد، فإننا نجمعهما معاً 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 معاً لتحول إلى فرع واحد يحتوي على مقاومة واحدة فقط.
- ❖ في حالة التوازي، يكون **الجهد الكهربائي متساوياً لجميع المقاومات**، ويساوي جهد المقاومة المكافئة.

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

- ❖ يتوزع التيار الرئيسي القادم من البطارия 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 المحتوى على المقاومة الأقل، يمر فيه تيار أعلى.
- ❖ تتوزع الشحنة على المقاومات في الفروع، فيمر تيار جزئي في كل مقاومة، للتلتقي مرة أخرى وتشكل التيار الكلي، وذلك حسب مبدأ حفظ الشحنة.
- ❖ يكون التيار الكلي القادم من فرع البطارия 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 التوالى، يجعل المقاومة المكافئة للتوازي تتصل مع المقاومات الأخرى على التوالى.

أذكر

عندما يكون لدى مصباحين كهربائيين متماثلين موصولين على التوازي مع بطارية، إذا فصلت أحد المصباحين عن البطارية، أوضح ما يحدث لإضاءة المصباح الثاني، مبيناً 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 إدراهما، يكون التيار الكلي في حالة مصباحين يساوي ضعفي التيار الكلي في حالة مصباح واحد.

**جواب أفضل:** ←

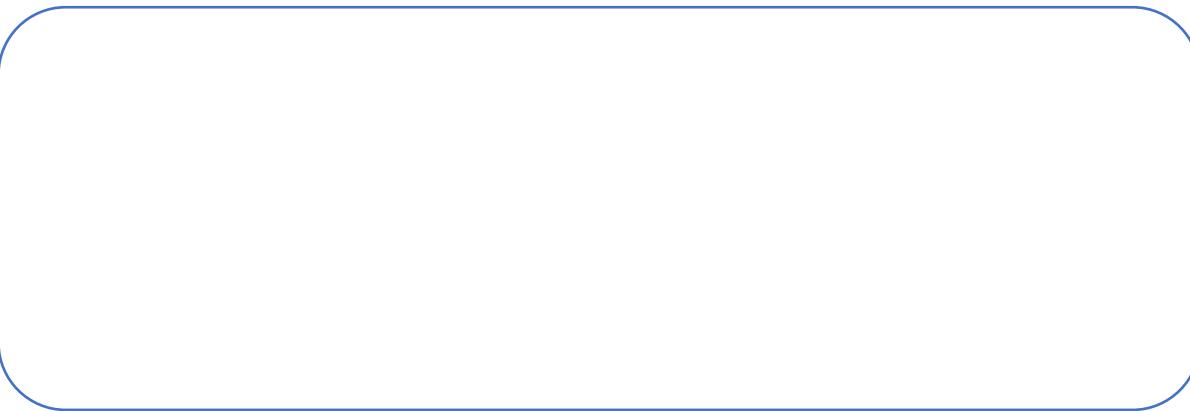
- ↳ لأن المصباح الثاني يبقى متصلًا مع البطارية كما هو، فيكون جهده ثابتًا، ولأن مقاومته ثابتة، فإن تياره يبقى كما هو، وبالتالي إضاءته كما هي.

\* في سؤال أفكر؛ لو كان السؤال عن التوالى، 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 التوالى لحساب تيار الدارة، لأن القانون نفسه يجمعها مع بعضها، ولكننا يجب إيجاد المقاومة المكافئة على التوالى.
- \* دائمًا 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.

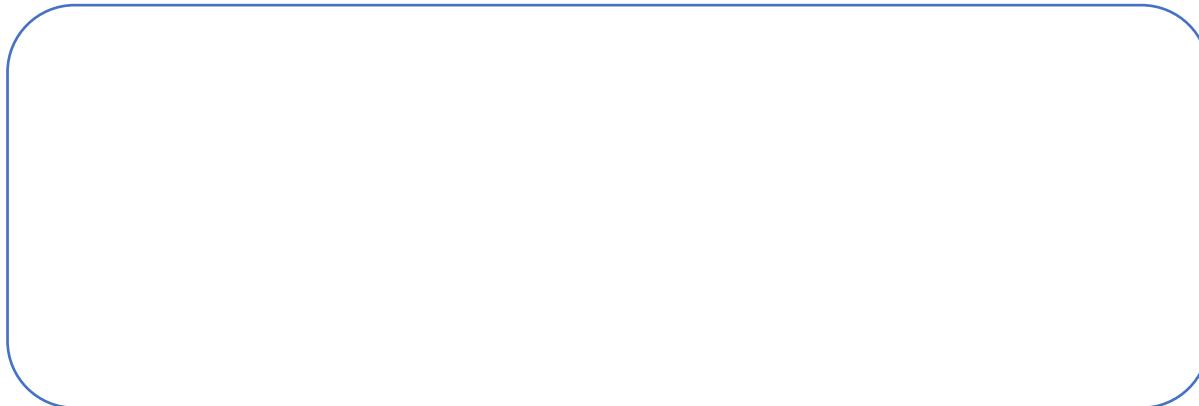
✿ إذا كان الفرع الرئيسي يحتوي على بطارية فقط، فإن جهد الفرع هو جهد البطارية، والذي يساوي:

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



✿ 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:

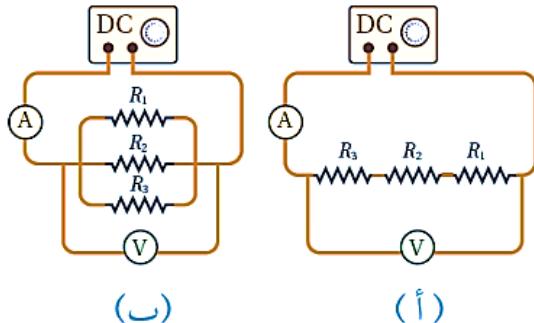
$$V_{\text{فرع}} = V_{\varepsilon} = \varepsilon - I(r + R)$$



## التجربة 2

### استقصاء قاعديٍّ توصيل المقاومات / توالٍ، توازي

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



( $\Omega$ )  $4, 6, 10, 20, \dots$ ، جهاز أميتر وجهاز فولتميتر، أسلاك توصيل.

**ارشادات السلامة:** الحذر من لمس الوصلات الكهربائية غير المعزلة، عدم إغلاق المفتاح مدة طويلة تسبب سخونة الأسلاك.

**التحليل والاستنتاج:**

- أقارن بين مقدار المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث التي توصلت إليها تجريبياً مع القيمة المحسوبة باستخدام العلاقة الرياضية، لكل من طريقتي التوصيل؛ التوالٍ والتوازي.
- أستنتج: أتحقق عملياً من قاعديٍّ جمع المقاومات على التوالٍ وعلى التوازي.
- ما العلاقة بين الجهد الكلي (جهد المصدر) والجهد الفرعى لكل مقاومة في طريقتي التوصيل؟
- ما العلاقة بين التيار الكلى والتيار الفرعى لكل مقاومة في طريقتي التوصيل؟

إجابات أسئلة التحليل والاستنتاج

- ربما تظهر بعض الاختلافات بين القيمة المحسوبة والقيمة التجريبية بسبب وجود أخطاء القياس.
- يكون التحقق العملي عن طريق الوصول بالتجربة والقياس إلى قيمة قريبة جداً من القيمة المحسوبة.
- في طريقة التوصيل على التوالٍ 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.
- في طريقة التوصيل على التوالٍ يكون التيار متساوياً في المقاومات جميعها ويساوي التيار الكلى.  
في طريقة التوصيل على التوازي، يكون لكل مقاومة تيار فرعى يتتناسب مع قيمتها، ومجموع هذه التيارات الفرعية يساوي التيار الكلى.

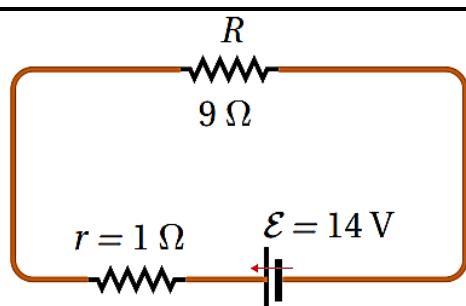
الْأَسْلَم

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

↳ يوصل المصباحان الأماميان في السيارة مع البطارية على التوازي، فيحصل كل مصباح على جهد  $V$  مساوي لجهد البطارية، وعند حدوث تلف في أحدهما يبقى المصباح الآخر يعمل.

**2. الفكرة الرئيسية:** أقارن بين طرفي توصيل المقاومات على التوالى وعلى التوازي من حيث فرق الجهد والتيار والمقاومة المكافئة.

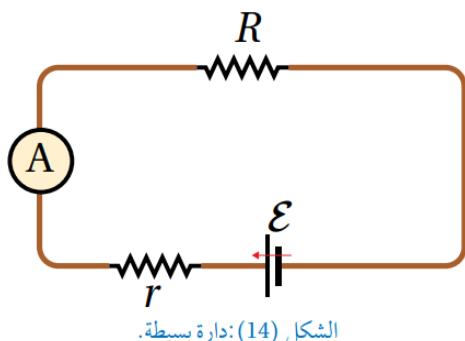
التواري	التوالي	
مقلوب المقاومة الكلية يساوي مجموع مقلوب المقاومات.	المقاومة الكلية تساوي مجموع المقاومات.	المقاومة
الجهد	الجهود الفرعية.	الجهد
التيار الكلي يساوي مجموع التيارات الفرعية.	التيار الكلي يساوي التيار الفرعي في كل مقاومة.	التيار



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

14 A

المثال 6

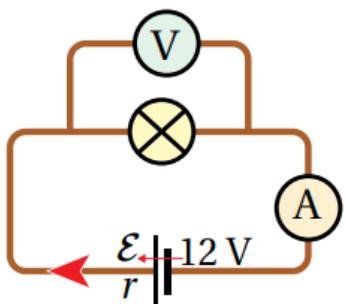


الشكل (14): دارة بسيطة.

في الدارة المعينة في الشكل (14) إذا كان مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية (12 V)، ومقدار مقاومتها الداخلية (1 Ω)، ومقدار المقاومة الخارجية (3 Ω) أحسب:

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

3 A  
36 W  
9 W  
27 W

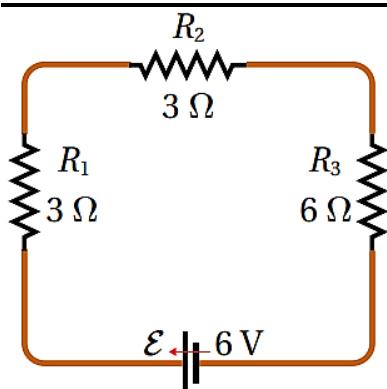


**٣.** عندما تكون قراءة الفولتميتر في الدارة المبينة في الشكل (٩.٠ V) وقراءة الأميتر (١.٥ A)، فإن المقاومة الداخلية للبطارية تساوي:

- $$\begin{array}{ll} 1.5 \Omega \leftarrow & 1.0 \Omega \rightarrow \\ 2.5 \Omega \leftarrow s & 2.0 \Omega \rightarrow s \end{array}$$

2

المثال 10

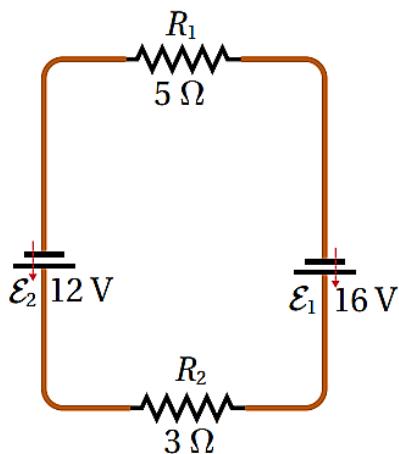


داره كهربائية بسيطة بيئها الشكل (18)، المقاومة الداخلية للبطارية ممولة، أحسب كل من:

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

12 Ω  
0.5 A

## المثال 11

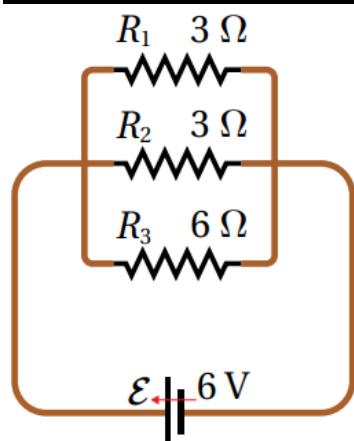


بالاعتماد على البيانات المثبتة في الشكل (19)، وبإهمال المقاومة الداخلية لكلا البطاريتين، أجد كلاً من:

- قيمة تيار الدارة وأحدد اتجاهه.
- فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة.

0.5 A  
2.5 V  
1.5 V

## المثال 12

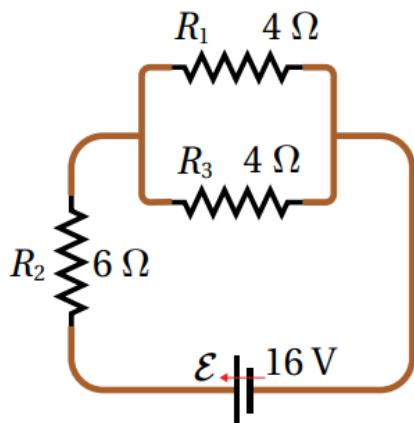


دارة كهربائية بسيطة بينها الشكل (20)، المقاومة الداخلية للبطاريه مهملة، أحسب كلاً من:

- المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث.
- التيار الكلي المار في الدارة.

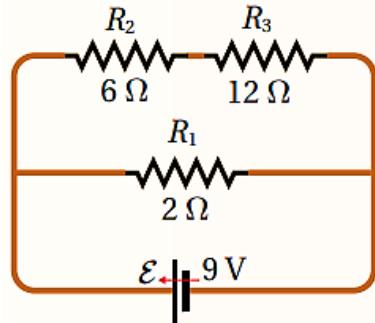
1.2 Ω  
5 A

المثال 13



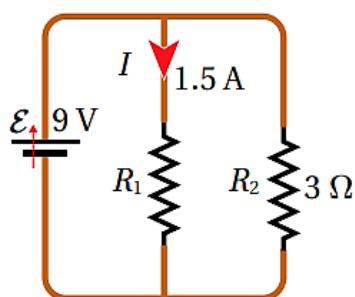
دارة كهربائية بسيطة بينها الشكل (21/أ)، المقاومة الداخلية للبطارية مهملة، أحسب كلا من:  
 أ- المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث.  
 ب- التيار الكلي المار في الدارة.

**8 Ω  
2 A**



**4. أستخدم المتغيرات:** يُبين الشكل المجاور دارة كهربائية تحتوي بطارية و مقاومات، معتمداً على بيانات الشكل وبإهمال المقاومة الداخلية؛ أحسب المقاومة المكافئة للدارة، ثم مقدار التيار فيها.

**1.8 Ω  
5 A**



5. تكون المقاومة المكافئة للمقاومتين في الدارة المجاورة:

بـ  $2 \Omega$

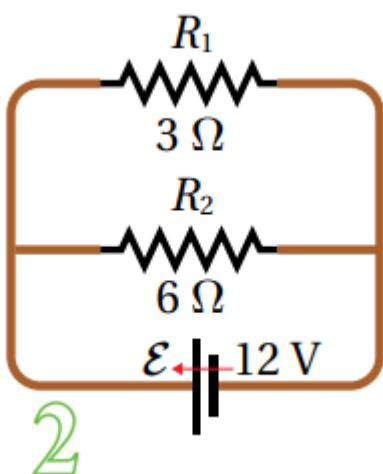
جـ  $6 \Omega$

دـ  $1 \Omega$

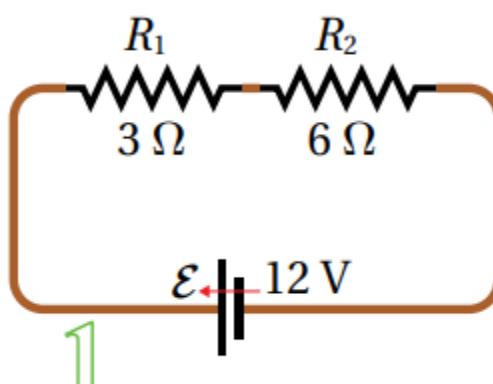
هـ  $3 \Omega$

جـ

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

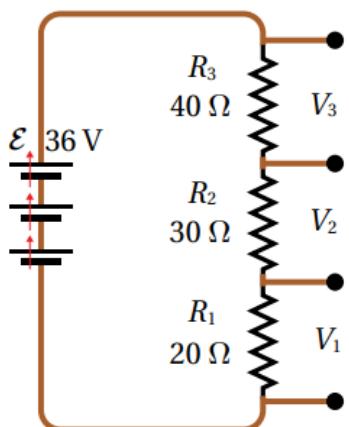


2



1

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



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 مصايد متماثلة مقاومة كل منها ( $R$ ) مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية (12 V) مقاومتها الداخلية مهملة، ما نسبة القدرة المنتجة في البطارية في الحالتين؛ المصايد موصولة على التوالى / التوازي؟

0.11

## أسئلة سنوات سابقة:

**1.** اتصلت ثلاثة مقاومات متساوية معاً على التوازي مع بطارية مثالية قوتها الدافعة الكهربائية  $4.5\text{ V}$ ، فكان التيار الكلي في الدارة  $(A)$ ، وعند توصيل المقاومات معاً على التوالى ومع البطاريه نفسها، فإن التيار الكلى في الدارة بوحدة أمبير  $(A)$  يكون:

- ـ (4.5) ـ (1.0) ـ (0.5) ٣

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

- ـ (12) ـ (10.8) ـ (10) ـ (9.6) ٤

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

- ـ (480) ـ (120) ـ (60) ـ (30) ٥

**4.** من خصائص توصيل المصايبح مختلفة القدرة على التوازي:

- ـ عند حدوث عطل في أحد المصايبح تبقى الأخرى مضيئة.
- ـ المقاومة المكافئة تكون أكبر من أي من مقاومات المصايبح.
- ـ يسري في المصايبح جميعها التيار الكهربائي نفسه.
- ـ تعمل على تجزئة الجهد الكهربائي الكلى.

٦

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

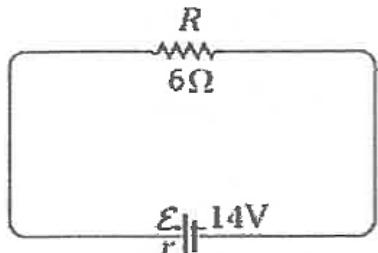
### نصيحة

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

- البطارية:
- يزداد، بسبب نقصان التيار
  - يزداد، بسبب زيادة التيار
  - يقل، بسبب نقصان التيار
  - يقل، بسبب زيادة التيار

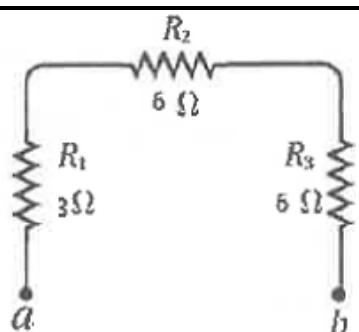
١

6. تكون دارة 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



- واتجاهه:
- مع اتجاه حركة عقارب الساعة.
  - عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.
  - مع اتجاه حركة عقارب الساعة.
  - عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

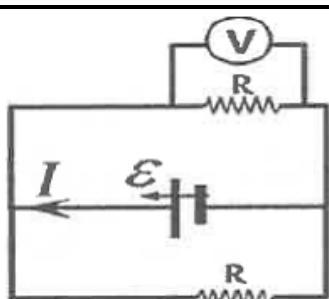
٢



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

- |       |     |
|-------|-----|
| - 15  | 8   |
| - 3.5 | 1.5 |
| - 2   | ٣   |

٣



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

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| $IR - \epsilon$       | ١ |
| $\frac{2\epsilon}{R}$ | ٢ |
| $\frac{\epsilon}{R}$  | ٣ |

٤

٩. ثلات مقاومات مقدار كل منها ( $R$ ), وصلت جميعها على التوالى مع مصدر فرق جهد، ثم أعيد توصيلها على التوازى مع المصدر نفسه، فإن  $\left(\frac{I_P}{I_S}\right)$  وهي نسبة مقدار التيار الكلى في حالة التوازى ( $I_P$ ) إليه في حالة التوالى ( $I_S$ ) تساوى:

$$\left(\frac{1}{9}\right) \text{ -}$$

$$\left(\frac{1}{3}\right) \text{ - حـ}$$

$$\left(\frac{3}{1}\right) \text{ - بـ}$$

$$\left(\frac{9}{1}\right) \text{ - دـ}$$

١

## 5. الدارات المعقّدة وقانون 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 معقّدة**.

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 ( $\varepsilon_1$ )

من (c) إلى (d) عبر ( $\varepsilon_2$ )

من (c) إلى (d) عبر ( $\varepsilon_3$ )

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

تلتقى 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.

يسعني المسار من النقطة إلى نفسها: مساراً مغلقاً.

تحوي الدارة المجاورة 3 مسارات مغلقة، وهي:

من (c) إلى (c) عبر ( $\varepsilon_1$ ) و ( $\varepsilon_2$ ) - الحلقة العلوية.

من (c) إلى (c) عبر ( $\varepsilon_3$ ) و ( $\varepsilon_2$ ) - الحلقة السفلية.

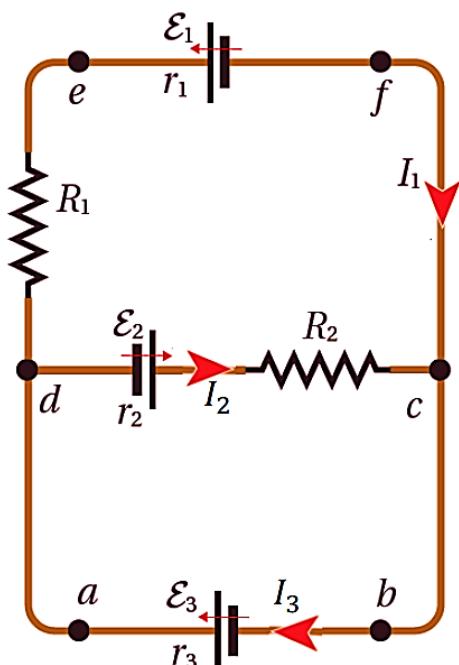
من (c) إلى (c) عبر ( $\varepsilon_1$ ) و ( $\varepsilon_3$ ) - الحلقة الخارجية.

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

نختار المسار المحتوي على مجھول واحد فقط (أو أقل عدد من المعاديل).

لا يتغير فرق الجهد بين نقطتين بتغيير المسار المتبوع للتنقل بينهما.

تحل الدارات الكهربائية المعقّدة باستخدام قاعدتا كيرشوف.



## ١ قاعدة كيرشوف الأولى:

تسمى قاعدة كيرشوف الأولى أحياناً **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 متساوية لكمية الشحنة التي تخرج من نفس النقطة؛ حيث لا يمكن أن تراكم أو تجتمع الشحنات في تلك النقطة.

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

ورياضياً فإن:

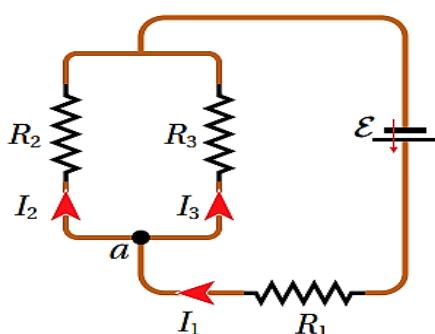
$$\sum I = 0 \Rightarrow \sum I_{in} = \sum I_{out}$$

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

$I_1 + I_2 = I_3$  و  $I_1, I_2$ : دخلان في نقطة التفرع، أي أن:

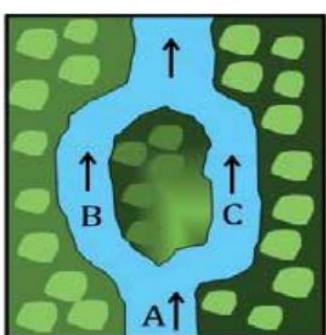
مثال توضيحي:

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 ببناء النهر في

المنطقة (A) الذي يتفرع إلى فرعين (B, C) حول الجزيرة،

كما في الشكل (22/ب). حيث تساوي كمية الماء المتتدفق عبر النهر مجموع ما يتتدفق 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.

## ٢ قاعدة كيرشوف الثانية:

- ❖ تسمى قاعدة كيرشوف الثانية أحياناً **قاعدة العروة**.
- ❖ تطبق قاعدة كيرشوف الثانية على فرع من فروع العروة (الدارة)، أو على مسار مغلق منها، أو بين أي نقطتين على الدارة.
- ❖ 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 المغلق:  $\Delta PE = \sum q\Delta V$  حيث تكون  $\sum \Delta V$
- ❖ عند تطبيق قانون كيرشوف الثاني على دارة كهربائية، تعامل المقاومة الداخلية للبطارية معاملة الخارجية.
- ❖ أفضل صيغة لقانون كيرشوف الثاني بين نقطتين هي:

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

تعوض قيمة كل من  $\epsilon$  و  $I$ :

- (+) : إذا كانت مع اتجاه حركتنا.
- (-) : إذا كانت عكس اتجاه حركتنا.

- ❖ خطوات حل أسئلة الدارات المعقّدة:
  1. نحدد اتجاه التيار الكهربائي في كل فرع من فروع الدارة.
  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 المعلومات 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 المجاهيل فيه.
  5. إذا كانت جميع الفروع تحتوي مجاهيل، نحدد مساراتاً مغلقاً، ونجد فرق الجهد على هذا المسار.

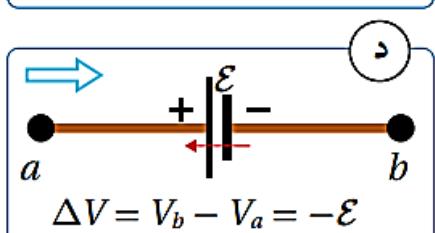
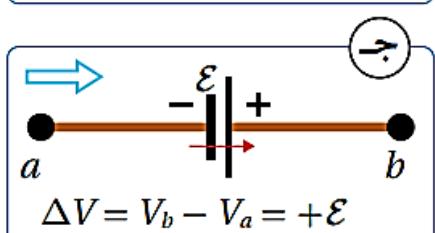
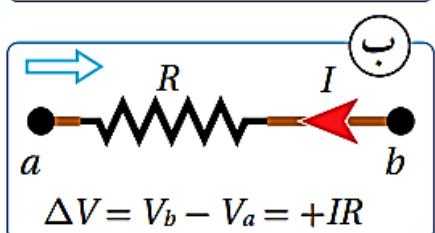
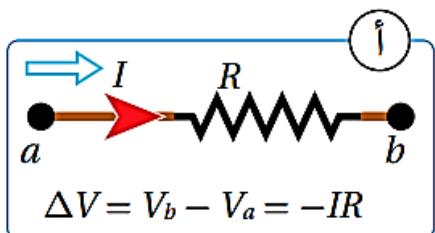
ذكر أن الهدف من تطبيق هذه الخطوات هو إيجاد الأساسيةات الأربع للدارة الكهربائية:

$$\epsilon = I - R - r$$

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

إذا كان التيار مجهولاً، وفرضناه، 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 ( $\Delta V = \epsilon$ ). 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 ( $\Delta V = -\epsilon$ ). كما في الشكل (د).

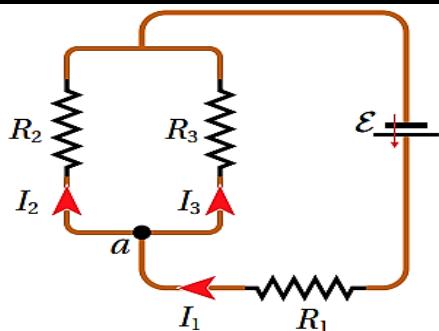
**تحقق:** كيف يمكن تفسير قاعدة كيرشوف الثانية عن طريق مبدأ حفظ الطاقة؟

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

## الأسئلة:

**1. الفكرة الرئيسية:** أذكر نص قاعدة كيرشوف، وما مبدأ الحفظ الذي تحققه كلّ منها؟

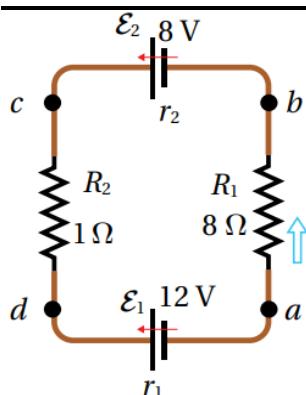
- ﴿ تنص قاعدة كيرشوف الأولى أن المجموع الجبري للتيار عند أي نقطة تفرع في دارة كهربائية يساوي صفرًا (تحقق مبدأ حفظ الشحنة). وتنص قاعدة كيرشوف الثانية أن المجموع الجبري لتغيرات الجهد عبر مكونات مسار مغلق في دارة كهربائية يساوي صفرًا (تحقق مبدأ حفظ الطاقة).



المثال 15

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

**2.5 A**



المثال 16

دارة كهربائية بسيطة تتكون من بطاريتين و مقاومتين، كما في الشكل، إذا كانت كلتا المقاومتين الداخليتين تساوي ( $0.5\Omega$ )، مستخدماً القاعدة الثانية لکیرشوف؛ أجد قيمة التيار واحدد اتجاهه.

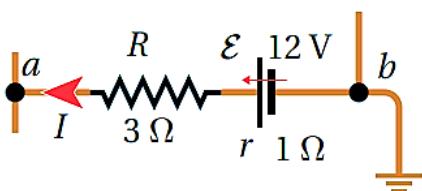
**0.4 A**

مرين

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

**0.4 A**

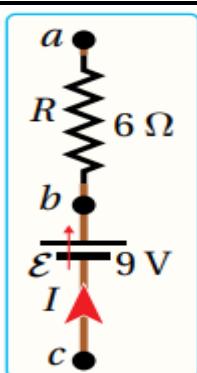
تمرين



الشكل (28): فرق الجهد بين نقطتين.

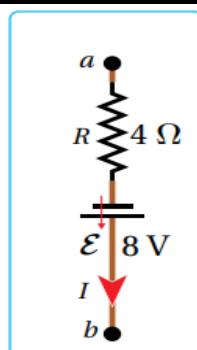
معتمداً على بيانات الشكل (28)، حيث ( $I = 2 A$ ) وجهد النقطة (b) يساوي صفرًا، بسبب اتصالها بالأرض. أجد جهد النقطة (a). **ملاحظة:** تعد الأرض موصلًا ضخماً يمكنه تفريغ شحنة الأجسام المتصلة به؛ لذلك فإن أي جسم يُوصل بالأرض يصبح جهده صفرًا.

**4 A**



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

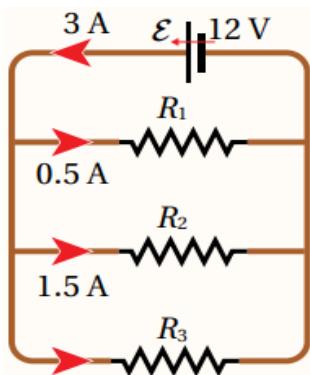
**0.4 Ω**



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

- |            |       |
|------------|-------|
| بـ - 4.0 V | 3.2 V |
| وـ - 4.8 V | 4.2 V |

١

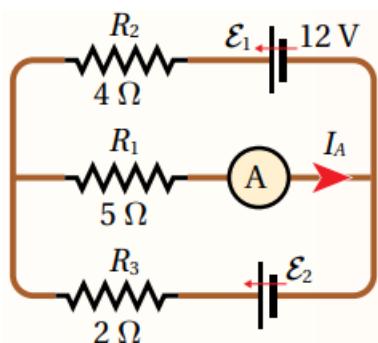


4. أستخدم المتغيرات: معتمدًا على بيانات الدارة المبينة في

الشكل، أجد ما يأتي:

- أ- التيار المار في المقاومة ( $R_3$ ).
- ب- قيم المقاومات الثلاث.
- جـ- المقاومة المكافئة.

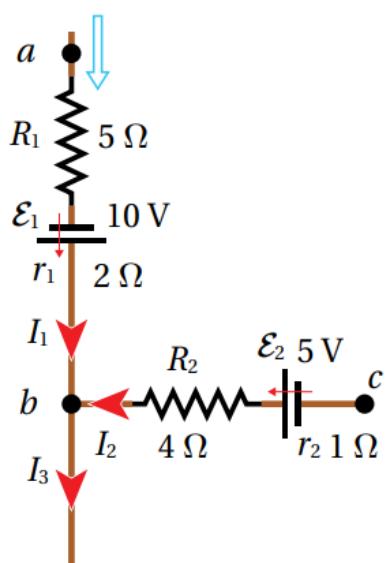
1 A  
24 Ω , 8 Ω , 12 Ω  
4 Ω



5. إذا كانت قراءة الأميتر في الدارة المجاورة ( $2\text{ A}$ ), وبإهمال المقاومات الداخلية للبطاريات، أجد كلا من:
- مقدار واتجاه التيارين: ( $I_1$ ) يصر في ( $\epsilon_1$ ), و ( $I_2$ ) يصر في ( $\epsilon_2$ ).
  - مقدار القوة الدافعة الكهربائية ( $\epsilon_2$ ).

0.5 A , 1.5 A  
13 V

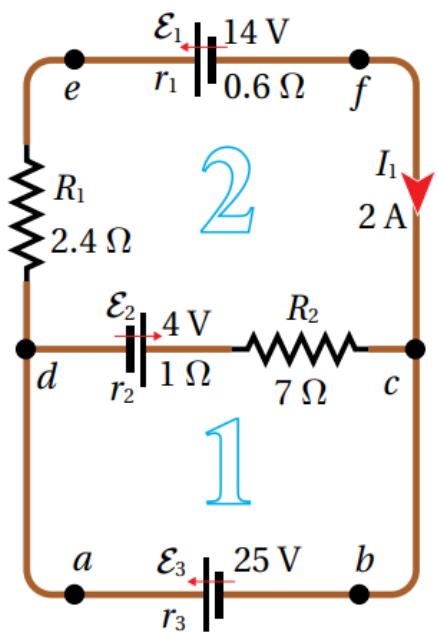
المثال 17



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

17.5 V

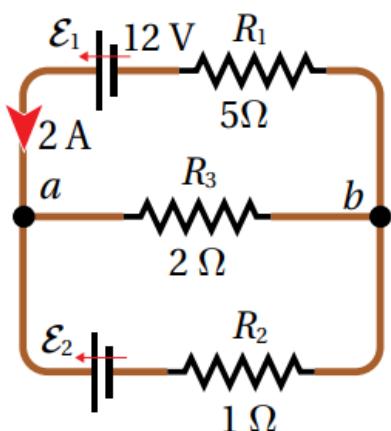
المثال 18



ت تكون دارة كهربائية من عروتين، كما في الشكل،  
معتمدا على بيانات الشكل، أحسب:

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

3 A , 5 A  
1 Ω

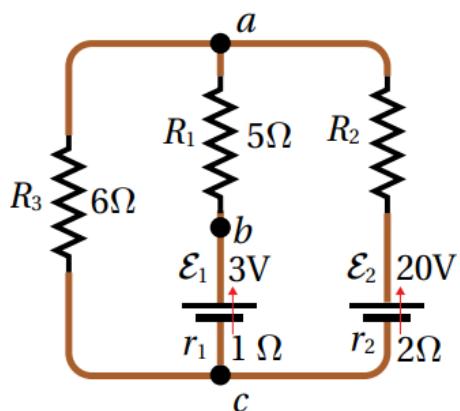


6. في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور؛ أحسب

ما يأتي:

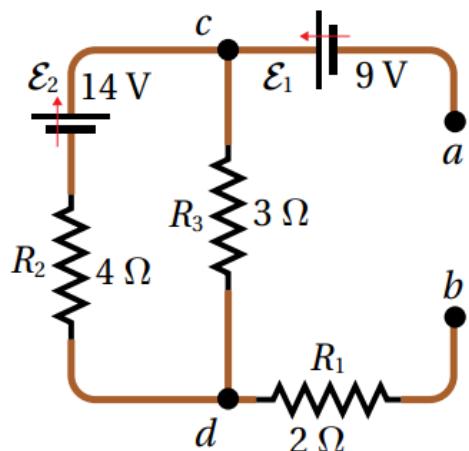
- أ- التيار المار في المقاومة ( $R_3$ ).
- ب- مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية ( $E_2$ ).

1 A  
1 V



7. يبين الشكل دارة كهربائية مركبة، إذا وصل فولتميتر بين النقطتين (b, c) فكانت قراءته (V<sub>b</sub> – V<sub>c</sub>) = 4 V، أحسب كلا من:
- أ- التيارات الفرعية في الدارة.
  - ب- المقاومة المجهولة (R<sub>2</sub>).

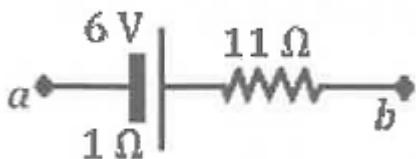
1 A , 1.5 A , 2.5 A  
2.4 Ω



**8. تفكير ناقد:** معتمداً على بيانات الشكل المجاور،  
أحسب فرق الجهد بين النقطتين (a) و (b)، عندما  
ينعدم التيار في (R<sub>3</sub>)، ثم أحدد أي النقطتين أعلى  
جهدًا.

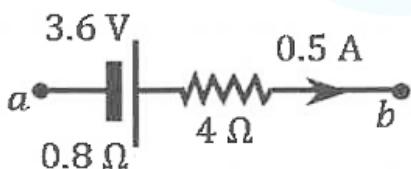
16 V  
b

**أسئلة سنوات سابقة:**



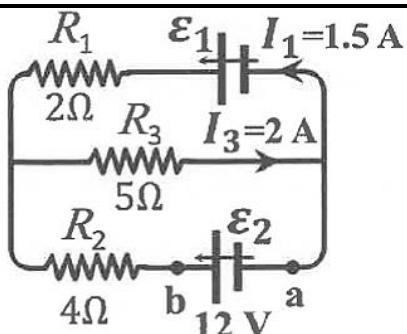
1. معتمدًا على الشكل المجاور الذي يبين جزءًا من دارة كهربائية مركبة والبيانات عليه، وإذا علمت أن  $V_b = -4 V$  و $V_a = 5 V$  فإن مقدار التيار بين النقطتين  $(a, b)$  واتجاه سريانه:

- ـ (a) ـ (0.25 A)، من  $(b)$  إلى  $(a)$
- ـ (b) ـ (0.25 A)، من  $(a)$  إلى  $(b)$
- ـ (c) ـ (1.25 A)، من  $(b)$  إلى  $(a)$
- ـ (d) ـ (1.25 A)، من  $(a)$  إلى  $(b)$



2. معتمدًا على الشكل المجاور وبياناته، الذي يبين جزءًا من دارة كهربائية مركبة، إذا علمت أن  $V_a = 2 V$  فإن جهد النقطة  $(b)$  بوحدة  $(V)$  يساوي:

- ـ (a) ـ (3.2)
- ـ (b) ـ (3.6)
- ـ (c) ـ (7.6)
- ـ (d) ـ (8.0)



في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل المجاور، إذا علمت أن المقاومات الداخلية للبطاريات ممولة، أجب عن الفقرتين (3, 4) الآتيتين:

3. مقدار التيار  $(I_2)$  الذي يمر في  $(\epsilon_2)$  بوحدة أمبير ( $A$ ) واتجاهه:

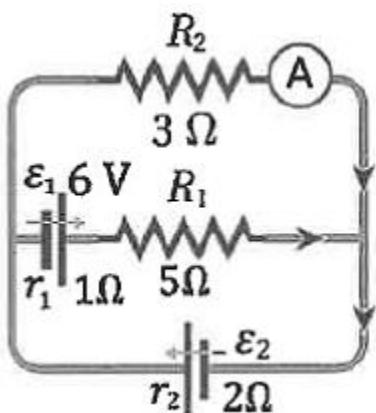
- ـ (a) ـ (0.5)، من  $(a)$  إلى  $(b)$
- ـ (b) ـ (0.5)، من  $(b)$  إلى  $(a)$
- ـ (c) ـ (3.5)، من  $(a)$  إلى  $(b)$
- ـ (d) ـ (3.5)، من  $(b)$  إلى  $(a)$



4. مقدار القوة الدافعة الكهربائية  $(\epsilon_1)$  بوحدة فولت ( $V$ ) يساوي:

- ـ (a) ـ 5
- ـ (b) ـ 7
- ـ (c) ـ 13
- ـ (d) ـ 15





5. في الدارة المبينة في الشكل المجاور، إذا كانت قراءة الأميتر (A) تساوي (2 A)، فإن مقدار القوة الدافعة الكهربائية ( $\varepsilon_2$ )، والتيار المار فيها على الترتيب:
- (2 A) و (8 V)
  - (2 A) و (14 V)
  - (4 A) و (8 V)
  - (4 A) و (14 V)

الإجابة

توصيل المقاوماتالإثراء والتوسيع

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 ثلاثة 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 بقائهما 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 والناتج التي حصل عليها، فحصل على ما يأتي:

وضع المدفأة الابتدائي:

تتكون المدفأة من ثلاثة مقاومات متsequالية ( $R$ ) موصولة معاً على التوازي، تسري فيها تيارات متsequالية ( $I$ )؛ 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 حسابها 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 التوالى 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:

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

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

