الفيزياء

الصف الحادي عشر

تأسيسي

الفصل الدراسي الثاني

الطبعة التجريبية
1437هـ - 2016م

www.macmillanmh.com www.obeikaneducation.com

أعدَّ النسخة العربية شركة العبيكان للتعليم

English Edition Copyright © 2008 the McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies, Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل© ٢٠٠٨م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أم ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَـاءْ	قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَـاءْ
قَطَرٌ سَتَبْقَـى حُـرَّةً	تَسْمُو بِرُوحِ الأَوْفِيَـاءْ
سِيـرُوا عَلَـى نَهْـجِ الأُلَـى	وَعَلَى ضِيَاءِ الأَنْبِيَـاءْ
قَطَرٌ بِـقَـلْـبِـي سِيـرَةٌ	عِـزٌّ وَأَمْـجَادُ الإِبَاءْ
قَطَرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِينَ	حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَائِـمٌ يَوْمَ السَّلَامْ	جَوَارِحٌ يَوْمَ الْفِـدَاءْ

لون علم دولة قطر العنابي والأبيض ، وتفصل بين اللونين تسعة رؤوس.

الأبيض : هو رمز السلام الذي يسعى له حكام قطر وأبناؤها.

العنابي : يرمز إلى الدماء المتخثرة، وهي دماء الشهداء من أبناء قطر الذين خاضوا معارك كثيرة في سبيل وحدة دولة قطر وخصوصًا في النصف الأخيرمن القرن التاسع عشر.

الرؤوس التسعة : ترمز إلى أن دولة قطر هي العضو التاسع في الإمارات المتصالحة من دول الخليج العربية.

علم دولة قطر

رؤية قطر الوطنية 2030

تهدف رؤيـة قطر الوطنية 2030 التي تمّت المصادقة عليها بموجب القرار الأميري رقم 44 لسنة 2008م، إلى تحويل - قطـر بحلـول عام 2030م - إلى دولة متقدمة قادرة على تحقيق التنمية المستدامة، وعلى تأمين استمرار العيش الكريم لشعبها، جيلاً بعد جيل؛ حيث تحدد الرؤيـة الوطنيـة لدولـة قطـر النتائج التي تسعى إلى تحقيقها على المدى الطويـل، كما أنّها تـوفّر إطارًا عامًّا لتطوير استراتيجيات وطنية شاملة وخطط تنفيذها.

وتستشرف الرؤية الوطنية الآفاق التنموية من خلال الركائز الأربع المترابطة التالية:

التنمية البشرية | التنمية الاجتماعية | التنمية الاقتصادية | التنمية البيئية

الركيزة الأولى ـ التنمية البشرية
الغايات المستهدفة:

سكان متعلمون:

- نظام تعليمي يرقى إلى مستوى الأنظمة التعليمية العالمية المتميّزة، ويزوّد المواطنين بما يفي بحاجاتهم وحاجات المجتمع القطري، ويتضمن:
  - مناهج تعليم وبرامج تدريب تستجيب لحاجات سوق العمل الحالية والمستقبلية.
  - فرصًا تعليمية وتدريبية عالية الجودة تتناسب مع طموحات وقدرات كل فرد.
  - برامج تعليم مستمر مدى الحياة متاحة للجميع.

- شبكة وطنية للتعليم النظامي وغير النظامي تجهّز الأطفال والشباب القطريين بالمهارات اللازمة والدافعية العالية للإسهام في بناء مجتمعهم وتقدُّمه، وتعمل على:
  - ترسيخ قيم وتقاليد المجتمع القطري، والمحافظة على تراثه.
  - تشجيع النشء على الإبداع والابتكار وتنمية القدرات.
  - غرس روح الانتماء والمواطنة.
  - المشاركة في مجموعة واسعة من النشاطات الثقافية والرياضية.

- مؤسسات تعليمية متطوّرة ومستقلّة تُدار بكفاءة، وبشكل ذاتيٍّ، وفق إرشادات مركزية، وتخضع لنظام المساءلة.
- نظام فعّال لتمويل البحث العلمي يقوم على مبدأ الشراكة بين القطاعين العام والخاص بالتعاون مع الهيئات الدولية المختصة ومراكز البحوث العالمية المرموقة.
- دور فاعل دوليًّا في مجالات النشاط الثقافي والفكري والبحث العلمي.
- استقطاب التوليفة المرغوبة من العمالة الوافدة، ورعاية حقوقها، وتأمين سلامتها، والحفاظ على أصحاب المهارات المتميزة منها.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

المقدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

يحظى الكتاب المدرسي بمكانة خاصة في العملية التعليمية؛ لأهميته في دعم التعلم الصفي، من حيث ترجمة أهداف المنهج الدراسي، وتجسيد توجهاته، وتنظيم محتواه، وإبراز مضامينه، فضلًا عن إحداث التوازن بين مجالات المنهج المعرفية والمهارية والقيمية. ومن هذا المنطلق تُولي دولة قطر الكتاب المدرسي وسائر المواد التعليمية المساندة اهتمامًا خاصًّا لضمان تحقيق هذه المواد الدور المنوط بها، في ظل ما يشهده الكتاب المدرسي من تطوّر نوعي يستند إلى نتائج الدراسات والبحوث التربوية الحديثة في حقل التعلّم وتنظيم المعرفة، ويؤكّد على تفعيل دور الطالب في التعامل الواعي والنشط مع محتوى الكتاب المدرسي.

ولما كان علم الفيزياء أحد أهم الركائز الأساسية لنهضة الأمم وبناء المجتمع الحديث القائم على التكنولوجيا والمعرفة العلمية، فقد جاء اهتمام دولة قطر وعنايتها بالمنهج الدراسي لهذا العلم، وتدريسه شاملاً كافة الجوانب، وبخاصة الكتاب المدرسي؛ ليكون أداة فاعلة في تحقيق أهداف تدريس الفيزياء، وداعمًا أساسيًّا لتعلم الطالب واكتسابه للمعارف والمهارات الفيزيائية.

وقد جاء هذا الكتاب في وحدتين، هما: الكهرباء التيارية، الأجهزة الإلكترونية ودوائر التحكم. وستتعرف في الوحدة الرابعة كلاً من: التيار الكهربائي، وفرق الجهد، والمقاومة، الكهربائية والعلاقة بينها، وتدرس المجال الكهربائي، وتعرف العلاقة بين الطاقة والجهد الكهربائي، وتميّز بين نوعي التيار الكهربائي وطرق توليدهما، وتدرس قانون أوم، والعلاقة بين القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية، والدوائر الكهربائية وطرق توصيلها، وتفرّق بين القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد، وتستخدم معادلة الدائرة الكهربائية البسيطة في حل مسائل متنوعة، كما تدرس بعض أجهزة القياس الكهربائية. أما الوحدة الخامسة فستتعرّف فيها التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة من خلال دراسة نظرية الأحزمة، وتعرف بعض الأدوات الإلكترونية ومبدأ عملها وتطبيقاتها، إضافة إلى دراسة البوابات المنطقية والمفاتيح الكهربائية التي تنظّم عمل الأدوات الإلكترونية.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة؛ المبني، والموجه، والمفتوح. فقبل بدء دراسة محتوى كل وحدة من وحدات الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للوحدة التي تقدم صورة شاملة عن محتواها، كما يطّلع على أهمية الوحدة من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الوحدة، إضافة إلى وجود

سؤال (فكِّر) الذي يحفز الطالب على دراسة الوحدة، ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية»، والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الوحدة. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها: التجربة العملية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل وحدة، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته. كما يوجد دليل منفصل للتجارب العملية يرتبط بمحتوى الوحدة، يهدف إلى تعزيز فهم الطالب للمفاهيم المطروحة في الوحدة وبيان تطبيقاتها وأهميتها، إضافة إلى إكساب الطالب مهارة التعامل مع الأجهزة والأدوات.

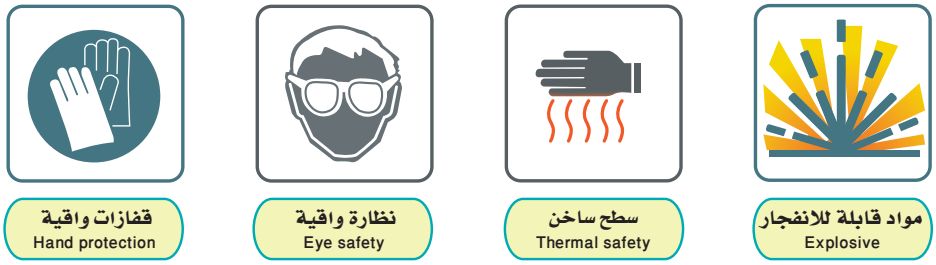
يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل وحدة مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل وحدة والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الوحدة. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الوحدة يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب أن يتعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل وحدة يأتي دليل مراجعة الوحدة متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الوحدة الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل وحدة يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل، وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

والله ولي التوفيق

رموز الأمن والسلامة في المختبر



مواد قابلة للانفجار
Explosive

سطح ساخن
Thermal safety

نظارة واقية
Eye safety

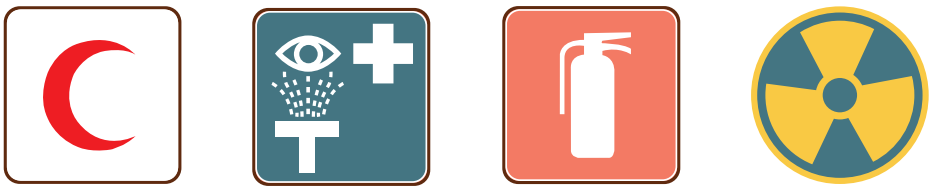
قفازات واقية
Hand protection

مواد قابلة للاشتعال
Flammable

ملوثات حيوية
Biological hazards

مواد مهيِّجة
Harmful / Irritant

خطر الكهرباء
Electrical hazard



مواد مشعَّة
Radioactive safety

طفاية حريق
Fire extinguisher

غاسلة عيون
Eye wash station

إسعافات أولية
First aid

مواد آكلة
Corrosive

مواد مؤكسدة
Oxidizer

مواد سامَّة
Poison safety

أجسام حادة
Sharp objects safety

مواد مسرطنة
Carcinogenic

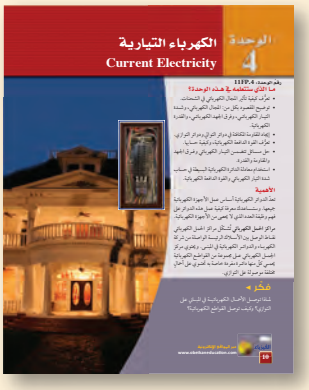
مخاطر بيئية
Ecological hazards

مريول مختبر
Lab. coat

أشعة ليزر
Laser beam

قائمة المحتويات

الوحدة 4



الكهرباء التيارية 10

4–1 فرق الجهد وشدة التيار والمقاومة 11

4–2 القدرة الكهربائية والدوائر الكهربائية 27

الوحدة 5

الأجهزة الإلكترونية ودوائر التحكم .. 62

5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة 63

5–2 الأدوات الإلكترونية 72

5–3 البوابات المنطقية والمفاتيح الكهربائية 95

مصادر تعليمية للطالب 122

دليل الرياضيات 123

الجداول 153

المصطلحات 156

الوحدة 4

الكهرباء التيارية
Current Electricity

رقمُ الوحدة: 11FP.4

ما الذي ستتعلمه في هذه الوحدة؟

- تعرُّف كيفية تأثير المجال الكهربائي في الشحنات.
- توضيح المقصود بكل من: المجال الكهربائي، وشدة التيار الكهربائي، وفرق الجهد الكهربائي، والقدرة الكهربائية.
- إيجاد المقاومة المكافئة في دوائر التوالي ودوائر التوازي.
- تعرُّف القوة الدافعة الكهربائية، وكيفية حسابها.
- حل مسائل تتضمن التيار الكهربائي وفرق الجهد والمقاومة والقدرة.
- استخدام معادلة الدائرة الكهربائية البسيطة في حساب شدة التيار الكهربائي والقوة الدافعة الكهربائية.

الأهمية

تعدّ الدوائر الكهربائية أساس عمل الأجهزة الكهربائية جميعها. وستساعدك معرفة كيفية عمل هذه الدوائر على فهم وظيفة العدد الذي لا يحصى من الأجهزة الكهربائية.

مراكز الحمل الكهربائي تُشكّل مراكز الحمل الكهربائي نقاط الوصل بين الأسلاك الرئيسة الواصلة من شركة الكهرباء والدوائر الكهربائية في المبنى. ويحتوي مركز الحِمل الكهربائي على مجموعة من القواطع الكهربائية يحمي كلّ منها دائرة مفردة خاصة به تحتوي على أحمالٍ مختلفة موصولة على التوازي.

فكِّر ◄

لماذا توصل الأحمال الكهربائية في المباني على التوازي؟ وكيف توصل القواطع الكهربائية؟

4–1 فرق الجهد وشدة التيار والمقاومة
Potential difference, electric current, and resistance

معايير الأداء الرئيسة

10F.25.1 – 23.1– 23.2– 23.3

معايير البحث والاستقصاء العلمي

1.1– 1.2 – 1.3 – 4.1 – 4.2

الأهداف

- **توضّح** المقصود بكل من: فرق الجهد الكهربائي وشدة التيار الكهربائي والمقاومة.
- **تحسب** مقدار الشحنة الكهربائية المتدفقة في مُوصِّل خلال فترة زمنية محددة.
- **تعرف** فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين.
- **تطبق** على قانون أوم بحل مسائل.
- **تفرّق** بين كلٍّ من: المقاومة النوعية (المقاومية) والموصلية، والتيار المستمر والتيار المتردد.
- **تتعرف** العوامل التي تعتمد عليها مقاومة موصل.

المفردات

• الشغل	• Work
• فرق الجهد الكهربائي	• Electric potential difference
• المواد العازلة	• Insulators
• أشباه الموصلات	• Semiconductors
• المواد الموصلة	• Conductors
• شدة التيار الكهربائي	• Electric current intesity
• تيار كهربائي مستمر	• Direct current (DC)
• تيار كهربائي متردد	• Altenating current (AC)
• قانون أوم	• Ohm's law
• المقاومة النوعية (المقاومية)	• Resistivity
• الموصلية	• Conductivity
• المواد الفائقة التوصيل	• Superconductors

علمت سابقًا أن الطاقة لا تفنى، بل تتحول إلى أشكال أخرى بسهولة، وأنه لا يمكن الاستغناء عن الطاقة الكهربائية في حياتنا اليومية، وهناك أمثلة كثيرة على ذلك؛ ففي منزلك تساعدك الأنوار على القراءة، كما يعتمد عمل الحواسيب على الكهرباء. أما خارج المنزل فمصابيح إنارة الشوارع والإشارات الضوئية تستخدم تدفُّق الشحنات الكهربائية. وستتعلم في هذا القسم كيف يرتبط فرق الجهد، والمقاومة، وشدة التيار معًا.

تجربة استهلالية

كيف تقارن بين شدة التيار في دائرة التوالي الكهربائية؟

سؤال التجربة هل تعتقد أن شدة التيار تقلّ عند مروره خلال عناصر مختلفة في الدوائر الكهربائية؟

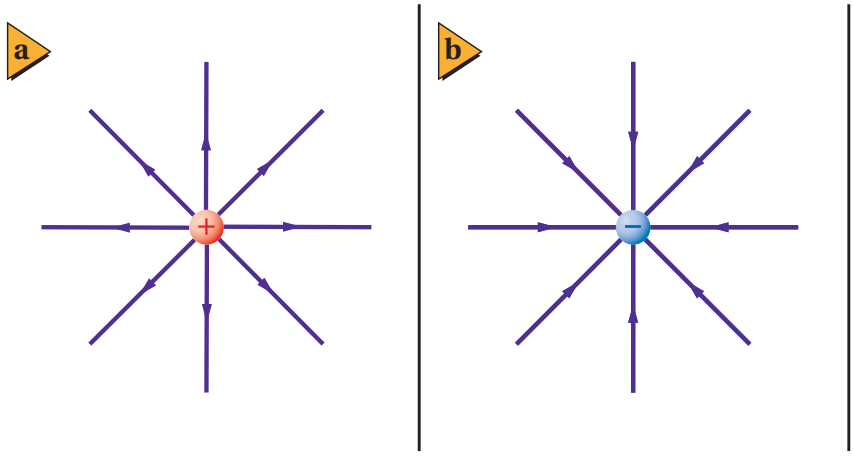
الخطوات

1. ارسم دائرة كهربائية تتضمن مصدر قدرة ومصباحين كهربائيين صغيرين موصولين على التوالي.
2. أعد رسم الدائرة مرة أخرى، وضمّن رسمك جهاز أميتر؛ حتى تتمكن من قياس شدة التيار بين مصدر القدرة والمصباحين.
3. ارسم رسمًا تخطيطيًّا ثالثًا للدائرة الكهربائية، على أن تضع فيه الأميتر في موقع يُمكِّنك من قياس شدة التيار الكهربائي المار بين المصباحين.

التحليل

1. هل تتوقع أن تكون شدة التيار الكهربائي بين المصباحين أكبر من شدة التيار الكهربائي الذي يكون قبلهما، أو أقل منه، أو تبقى ثابتة؟ وضّح إجابتك.
2. **اختبر توقعك** بتوصيل الدائرة الكهربائية مع توصيل أميترات فيها. *تحذير: نهايات الأسلاك حادة، وقد تجرح الجلد.*

التفكير الناقد صِف حركة الشحنات الكهربائية داخل الموصل.

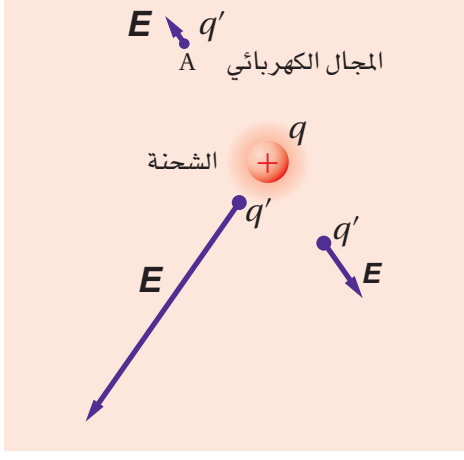


الشكل 1–4 رُسمت خطوط القوى بصورة متعامدة خارجة من جسم شحنته موجبة (**a**)، ورُسمت بصورة متعامدة داخلة إلى جسم شحنته سالبة (**b**).

المجال الكهربائي The electric field

درست سابقًا أنه يوجد نوعان من الشحنات الكهربائية: موجبة وسالبة، وأن الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب؛ حيث تؤثر هذه الشحنات بعضها في بعض بقوى كهربائية عن بُعد من خلال ما يُعرف **بالمجال الكهربائي**؛ وهو الحيز المحيط بالشحنة الكهربائية الذي يظهر فيه تأثير هذه الشحنة في الشحنات الأخرى الموجودة فيه بقوة كهربائية. وتعرفت أيضًا أن المجال الكهربائي كمية متجهة له مقدار واتجاه محددان؛ حيث يعتمد مقداره على مقدار الشحنة التي سببَّت المجال، ويكون اتجاهه في اتجاه القوة الكهربائية التي يؤثر بها هذا المجال في شحنة موجبة؛ أي يكون المجال الكهربائي خارجًا من الشحنة الموجبة وداخلاً إلى الشحنة السالبة. ويُمثّل المجال الكهربائي بخطوط تسمّى **خطوط المجال الكهربائي**؛ وهي خطوط وهميةٌ تستخدَم لتمثيل المجال الكهربائي والتعبير عنه من حيث الشدة والاتجاه، انظر **الشكل 1–4**. ويُقاس المجال الكهربائي E للشحنة q بدلالة القوة $\boldsymbol{F}$ التي يؤثر بها هذا المجال في شحنة اختبار موجبة صغيرة جدًّا q' موضوعة عند تلك النقطة.

يوضّح **الشكل 2–4** جسمًا مشحونًا بشحنة مقدارها q. إذا وضعت شحنة اختبار موجبة q' في مجال هذه الشحنة عند الموقع A مثلًا، ثم قِست القوة المؤثرة فيها، فسوف



الشكل 2–4 تُستخدم الأسهم لتمثيل مقدار المجال الكهربائي المتولّد حول شحنة كهربائية عند مواقع مختلفة، واتجاهه.

تجد أنها تساوي F، وإذا ضاعفت مقدار شحنة الاختبار ($2q'$) وقِست القوة المؤثرة فيها فسوف تجد أنها تضاعفت أيضًا؛ أي أصبحت $2F$؛ وهذا يعني أن هذه القوة تتناسب طرديًّا مع مقدار شحنة الاختبار؛ لذا تبقى النسبة بين القوة وشحنة الاختبار عند الموقع A ثابتة. وإذا قسمت القوة على شحنة الاختبار فستحصل على كمية متجهة F/q'، تُسمّى شدة المجال الكهربائي. ويُعبَّر عن شدة المجال الكهربائي عند النقطة A التي تمثل موقع شحنة الاختبار، بالمعادلة التالية:

شدة المجال الكهربائي $E = \frac{F}{q'}$

شدة المجال الكهربائي تساوي مقدار القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

ويكون اتجاه المجال الكهربائي في نفس اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة، وتقاس شدة المجال الكهربائي بوحدة N/C.

ماذا قرأت؟ ما المجال الكهربائي ؟ وما وحدة قياس شدة المجال الكهربائي

الطاقة والجهد الكهربائي Energy and electric potential

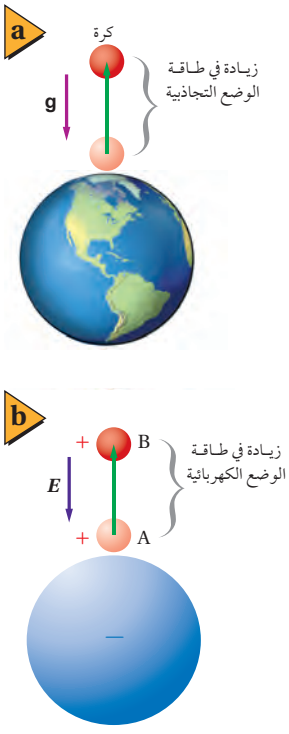
عندما ترفع كرة إلى أعلى مسافة d عن سطح الأرض بسرعة ثابتة، فإنك تكون قد بذلت عليها **شغلاً Work** يعرف بأنه ناتج ضرب القوة F التي أثّرت بها في الكرة في المسافة d التي تحركتها الكرة في اتجاه القوة؛ $W = Fd$، وهذا الشغل المبذول تُختزن في الكرة على شكل طاقة وضْع تجاذبية، كما هو موضّح في **الشكل 3–4**. إن كلًّا من قوة الجاذبية F، ومجال الجاذبية $g = F/m$ يتجه نحو الأرض؛ لذا عند رفْع كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية فإنك تبذل شغلاً عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها.

وهذه الحالة مماثلة لحالة شحنتين كهربائيتين مختلفتين في النوع؛ حيث تجذب كل منهما الأخرى؛ لذا يجب أن تبذل شغلاً لسحب إحداهما وإبعادها عن الأخرى، وعندما تبذل ذلك الشغل تكون قد نقلت طاقة إلى الشحنة، حيث تُختزن هذه الطاقة فيها على شكل طاقة وضْع كهربائية، وكلما زاد مقدار الشحنة كانت الزيادة في طاقة وضعها الكهربائية ΔE_p أكبر.

ذكرنا سابقًا عند دراسة **الشكل 2–4** أن القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار q' الموضوعة عند النقطة A تتناسب طرديًّا مع مقدار شحنة الاختبار. أما المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار (عند النقطة A) فلا يعتمد على مقدارها؛ لأن المجال الكهربائي $E = F/q'$ هو القوة لكل وحدة شحنة. ويُعرّف **فرق الجهد الكهربائي Electric potential difference** (ΔV) بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بسرعة

دلالة الألوان

- خطوط المجال الكهربائي باللون النيلي.
- الشحنة الموجبة باللون الأحمر.
- الشحنة السالبة باللون الأزرق.



الشكل 3–4 هناك حاجة إلى بذل شغل لتحريك جسم في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية الأرضية (a)، وفي اتجاه معاكس لاتجاه القوة الكهربائية (b). وفي كلتا الحالتين ستزداد طاقة وضع الجسم.

الشكل 4–4 يستخدم جهاز الفولتميتر لقياس فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين.

ثابتة بين نقطتين في مجال كهربائي مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

فرق الجهد الكهربائي $\Delta V = \frac{W_{q'}}{q'}$

الفرق في الجهد الكهربائي هو النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة ومقدار تلك الشحنة.

ويقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم (J/C)، التي تُسمّى الفولت volt، ويعبَّر عنه بالرموز $V = J/C$، ويستخدم جهاز الفولتميتر Voltmeter كالموضّح في **الشكل 4–4** لقياس فرق الجهد بين نقطتين.

ماذا قرأت؟ **ماالمقصود بفرق الجهد الكهربائي ؟ وما وحدة قياسه؟**

ولإيجاد جهد نقطة في مجال كهربائي (جهد النقطة A مثلاً في **الشكل 3–4**)، فلا بد من اختيار نقطة مرجعية يكون الجهد عندها صفرًا. وقد اصطلح على عدّ الجهد عند المالانهاية صفرًا؛ لذا يكون **الجهد الكهربائي عند نقطة** في مجال كهربائي هو الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنات الكهربائية (+1 C) بسرعة ثابتة من المالانهاية إلى تلك النقطة. أما طاقة الوضع الكهربائية لشحنة عند نقطة في مجال كهربائي فتساوي ناتج ضرْب مقدار الشحنة في الجهد الكهربائي عند هذه النقطة.

طاقة الوضع الكهربائية $E_p = q\Delta V$

طاقة الوضع الكهربائية لشحنة عند نقطة في مجال كهربائي تساوي ناتج ضرب مقدار الشحنة في الجهد الكهربائي عند هذه النقطة.

وتقاس طاقة الوضع الكهربائية بوحدة C.V، التي تُسمّى جول J.

مثـــال 1

طاقة الوضع الكهربائية شحنة كهربائية مقدارها 4×10^{-6} C موضوعة عند النقطة A التي جهدها 8 V. فإذا أردنا تحريك هذه الشحنة إلى النقطة B التي جهدها 12 V فأجب عما يلي:

a. ما فرق الجهد بين النقطتين A وB؟

b. ما الشغل اللازم بذْله لتحريك الشحنة الكهربائية بين النقطتين A وB؟

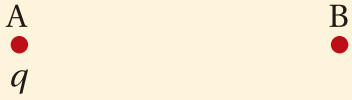
c. ما طاقة الوضع الكهربائية للشحنة عند النقطة A؟

d. ما طاقة الوضع الكهربائية للشحنة عند النقطة B؟

e. ما التغير في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة عند نقلها من النقطة A إلى النقطة B؟

1 تحليل المسألة ورسمها

• مثّل الوضع، وبيِّن النقطتين A وB والشحنة الكهربائية q.



المعلوم

$q = 4.0 \times 10^{-6}\,C$

$V_A = 8.0\,V$

$V_B = 12\,V$

المجهول

$\Delta V_{AB} = ?$ $E_{PA} = ?$ $E_{PB} = ?$ $\Delta E_P = ?$ $W_{q'} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a.

بالتعويض $V_B = 12\,V$، $V_A = 8.0\,V$

$$\Delta V_{AB} = V_{AB} = V_B - V_A$$
$$= 12\,V - 8.0\,V = 4\,V$$

b.

بالتعويض $\Delta V_{AB} = V_{AB} = 4.0\,V$

$q' = q = 4.0 \times 10^{-6}\,C$

$$\Delta V = W_{q'}/q'$$
$$W_{q'} = q'\,\Delta V$$
$$= (4.0 \times 10^{-6}\,C)(4.0\,V)$$
$$= 1.6 \times 10^{-5}\,C.V$$
$$= 1.6 \times 10^{-5}\,J$$

c. طاقة الوضع الكهربائية عند النقطة A:

بالتعويض $V_A = 8\,V$، $q = 4.0 \times 10^{-6}\,C$

$$E_{PA} = qV_A$$
$$= (4.0 \times 10^{-6}\,C)(8.0\,V)$$
$$= 3.2 \times 10^{-5}\,C.V$$
$$= 3.2 \times 10^{-5}\,J$$

d. طاقة الوضع الكهربائية عند النقطة B:

بالتعويض $V_A = 8\,V$، $q = 4.0 \times 10^{-6}\,C$

$$E_{PB} = qV_B$$
$$= (4.0 \times 10^{-6}\,C)(12\,V)$$
$$= 4.8 \times 10^{-5}\,C.V$$
$$= 4.8 \times 10^{-5}\,J$$

e.

بالتعويض

$E_{PB} = 4.8 \times 10^{-5}\,J\,,\ E_{PA} = 3.2 \times 10^{-5}\,J$

$$\Delta E_P = E_{PB} - E_{PA}$$
$$= 4.8 \times 10^{-5}\,J - 3.2 \times 10^{-5}\,J$$
$$= 1.6 \times 10^{-5}\,J$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات القياس هي: V للجهد وفرق الجهد، وC.V أو J للطاقة والشغل.
- **هل للإشارات معنى؟** الشغل المبذول لنقل الشحنة من A إلى B موجب، وهذا يعني أنه يلزم التأثير في الشحنة بقوة لتحريكها في هذا الاتجاه.
- **هل الجواب منطقي؟** مقدار الشغل المبذول يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية للشحنة؛ أي أن هذا الشغل خُزّن في الشحنة على شكل طاقة وضْع كهربائية.

مسائل تدريبية

1. ما فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين إذا لزم شغل مقداره $2.6 \times 10^{-4}\,J$ لنقل شحنة مقدارها $4.0 \times 10^{-6}\,C$ بينهما؟
2. ما طاقة الوضع الكهربائية لشحنة مقدارها $5.0 \times 10^{-6}\,C$ موضوعة عند نقطة جهدها 4.0 V؟

ماذا قرأت؟ ما الجهد عند نقطة في مجال كهربائي ؟

التيار الكهربائي Electric current

تختلف المواد بعضها عن بعض من حيث قابليتها للسماح للشحنات الكهربائية بالانتقال خلالها، وبناءً على ذلك فإن المواد تُصنّف إلى ثلاثة أنواع، هي: مواد موصلة، ومواد عازلة، ومواد شبه موصلة (أشباه الموصلات). فـ**المواد العازلة Insulators** ومنها الخشب والبلاستيك تتميز بمقاومة كبيرة لمرور الشحنات الكهربائية خلالها، بينما **أشباه الموصلات Semiconductors** ومنها السليكون والجرمانيوم فهي مواد صلبة مقاومتها لمرور الشحنات الكهربائية خلالها تقع بين المواد الموصلة والمواد العازلة، ويتم التحكم في موصليتها الكهربائية بإضافة عناصر معينة إليها كشوائب. وتستخدم أشباه الموصلات في صناعة الخلايا والألواح الشمسية والدايودات والترانزستورات والدوائر المتكاملة. وستتعرف المزيد عنها في الوحدة الخامسة إن شاء الله. أما **المواد الموصلة Conductors** فتحتوي على عدد كبير من الشحنات الكهربائية الحرة الحركة أكثر من غيرها من المواد،

وتتحرك هذه الشحنات في الموصل حركة عشوائية، وعند تأثرها بقوة كهربائية ناشئة عن مجال كهربائي، فإنها تتحرك جميعًا في اتجاه محدد. وتكون الشحنات الحرة في الموصلات الفلزية هي الإلكترونات السالبة، بينما في المحاليل الإلكتروليتية هي أيونات موجبة وسالبة، وفي الغازات المتأينة تكون الشحنات الحرة أيونات موجبة وسالبة إضافة إلى الإلكترونات.

ماذا قرأت؟ **ما أنواع المواد من حيث قابليتها للسماح للشحنات الكهربائية بالانتقال خلالها؟**

ما الذي يحدث عند توصيل طرفي موصل فلزي بمصدر قدرة كهربائية؟ إذا وُصِّل طرفا موصل فلزي (سلك نحاسي مثلًا) بمصدر قدرة كهربائية (بطارية مثلًا) فإن مجالًا كهربائيًّا ينشأ خلال السلك، ونتيجة لذلك تتحرك الإلكترونات (الشحنات الحرة) بتأثير المجال الكهربائي في عكس اتجاه المجال، وعندها نقول إن تيارًا كهربائيًّا Electric current قد سرى في السلك؛ ويعرف **التيار الكهربائي** بأنه تدفُّق الشحنات الكهربائية في اتجاه واحد. أما المعدل الزمني لتدفق الشحنات الكهربائية في مقطع الموصل فيسمّى **شدة التيار الكهربائي (I) Electric current intensity**، ويعبر عنه بالمعادلة التالية:

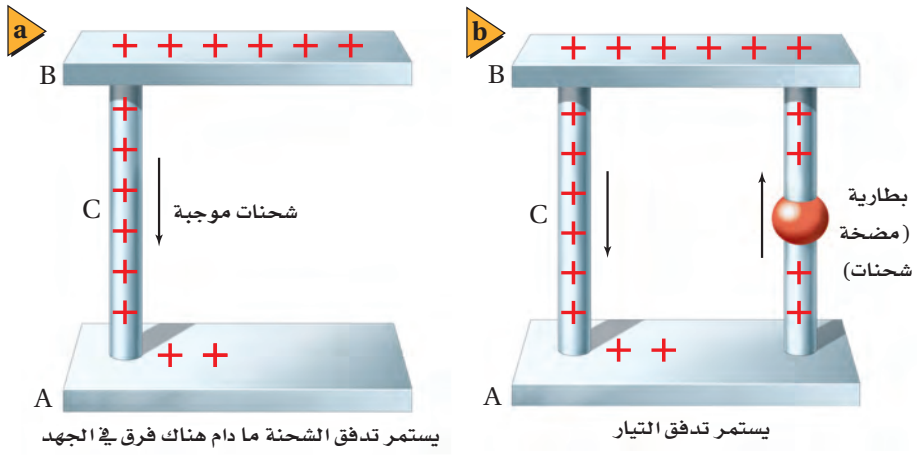
شدة التيار الكهربائي $$I = q/t$$

شدة التيار الكهربائي تساوي المعدل الزمني لتدفق الشحنات الكهربائية في مقطع موصل.

وتقاس شدة التيار الكهربائي بوحدة الأمبير Ampere (A)، ويستخدم لقياسه جهاز الأميتر Ammeter، الموضح في **الشكل 5–4**.

ويمكن رؤية الشحنات الكهربائية المتحركة أحيانًا كما في حركة الأيونات الملونة، ويمكن أحيانًا سماع صوتها كما في صوت الفرقعة المصاحب للتفريغ الكهربائي، أو استنتاج أثر مرورها كما في إضاءة المصابيح الكهربائية.

الشكل 5–4 يستخدم جهاز الأميتر لقياس شدة التيار الكهربائي.



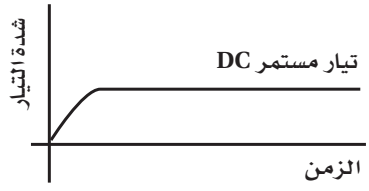
الشكل 4–6 يُعرّف التيار الكهربائي اصطلاحًا بأنه تدفُّق الشحنات الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب (a). ويضخ المولّد الشحنات الموجبة لتعود إلى اللوح الموجب، مما يؤدي إلى استمرار سريان التيار (b). وفي أغلب الفلزات تتدفق الإلكترونات ذات الشحنة السالبة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب، مما يجعل الشحنات الموجبة تبدو كأنها تتحرك في الاتجاه المعاكس.

ماذا قرأت؟ ما المقصود بشدة التيار الكهربائي ؟ وكيف تُقاس ؟

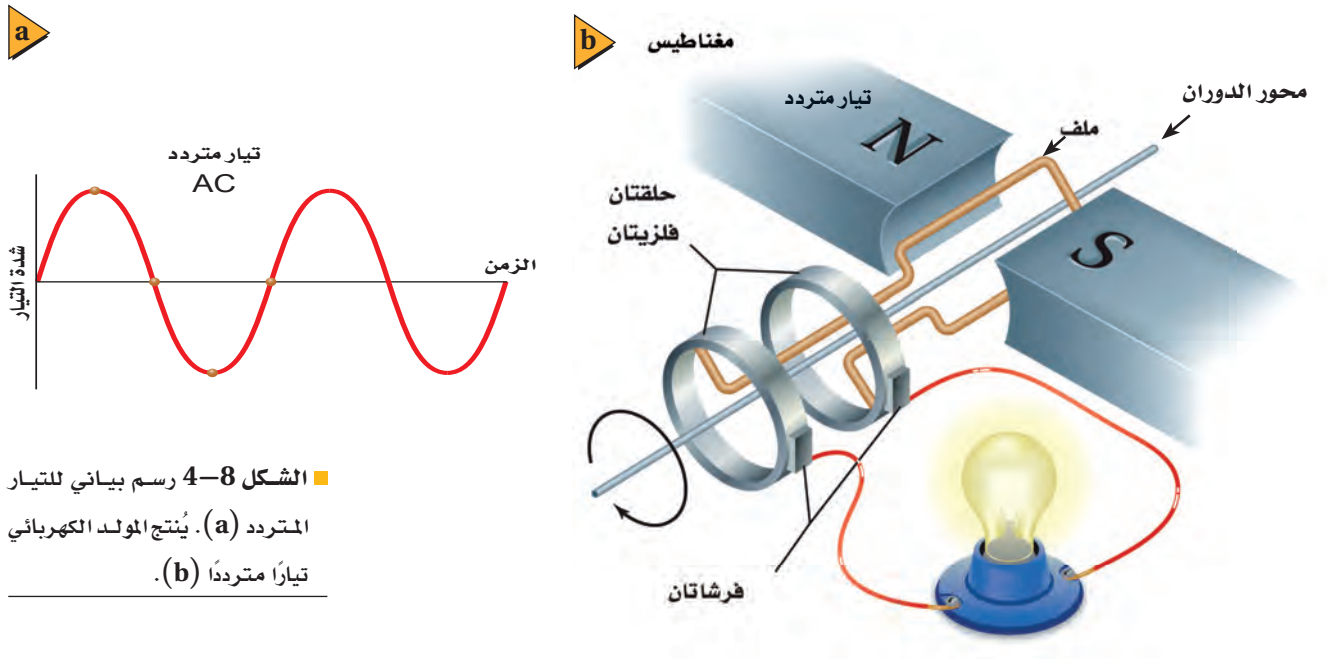
توليد التيار الكهربائي Producing electric current تتدفق الشحنات الكهربائية في الدوائر الكهربائية من النقطة التي يكون جهدها أعلى إلى النقطة التي يكون جهدها أقل، ويستمر تدفقها بين النقطتين باستمرار وجود فرق جهد بين قطبي المصدر. وللمحافظة على استمرار تدفُّق الشحنات الكهربائية (استمرارية مرور تيار كهربائي) نحتاج إلى المحافظة على وجود فرق الجهد. فكيف يتم ذلك؟ يوضح **الشكل 4–6a** لوحين موصلين A وB، تم توصيلهما بسلك موصل C. ولأن جهد B أكبر من جهد A فإن الشحنات تتدفق من B إلى A عبر السلك C. ويسمّى تدفُّق الشحنات الموجبة **التيار الاصطلاحي**، ولكن سرعان ما يتوقف تدفق الشحنات (سريان التيار) عندما يصبح فرق الجهد الكهربائي بين A وB وC صفرًا. ويمكنك المحافظة أو الإبقاء على وجود فرق جهد كهربائي بين A وB عن طريق ضخ الشحنات الكهربائية من اللوح A لتعود إلى اللوح B، كما هو موضّح في **الشكل 4–6b**.

نوعا التيار الكهربائي Types of electric current لأن المضخة (مصدر الجهد) الموضحة في **الشكل 4–6b** تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات، فإنها تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي حتى تعمل. ولهذه الطاقة مصادر متنوعة بحسب نوع التيار الكهربائي المطلوب.

التيار الكهربائي المستمر Direct current (DC) عندما تتدفق الشحنات الكهربائية في اتجاه واحد فإننا نحصل على **تيار كهربائي مستمر Direct current (DC)**، وهو تيار ثابت الاتجاه، وقد يكون مقداره ثابتًا أو متغيرًا؛ اعتمادًا على المصدر الذي ولّده. انظر **الشكل 4–7** الذي يوضح التيار الكهربائي المستمر بيانيًّا.



الشكل 4–7 التمثيل البياني للتيار المستمر.



الشكل 8–4 رسم بياني للتيار المتردد (a). يُنتج المولد الكهربائي تيارًا مترددًا (b).

وتعد الخلية الفولتية، أو الخلية الجلفانية (البطارية الجافة الشائعة)، أحد مصادر الطاقة المألوفة للحصول على التيار المستمر؛ إذ تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية داخلها إلى طاقة كهربائية. وعند وصْل عدة خلايا جلفانية معًا يتشكل ما يسمى البطارية. وهناك مصدر آخر لهذه الطاقة الكهربائية، وهو الخلية الفولتية الضوئية أو الخلية الشمسية، حيث تعمل هذه الخلية على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية.

التيار الكهربائي المتردد Alternating current (AC) عندما يتغير اتجاه تدفُّق الشحنات الكهربائية بشكل مستمر نحصل على **تيار كهربائي متردد Alternating current (AC)**، وهو تيار تتغير شدته واتجاه سريانه بشكل دوري. انظر **الشكل 8a–4** الذي يوضح التيار المتردد بيانيًّا. ويُطلق على عدد مرات تغيُّر اتجاه التيار الكهربائي في الثانية الواحدة اسم تردُّد التيار، ويُقاس بوحدة الهرتز Hz.

ويتم الحصول على التيار الكهربائي المتردد من المولّدات الكهربائية، التي تعمل على تحويل الطاقة الحركية بوجود مجال مغناطيسي إلى طاقة كهربائية. انظر **الشكل 8b–4** الذي يوضح مولدًا كهربائيًّا.

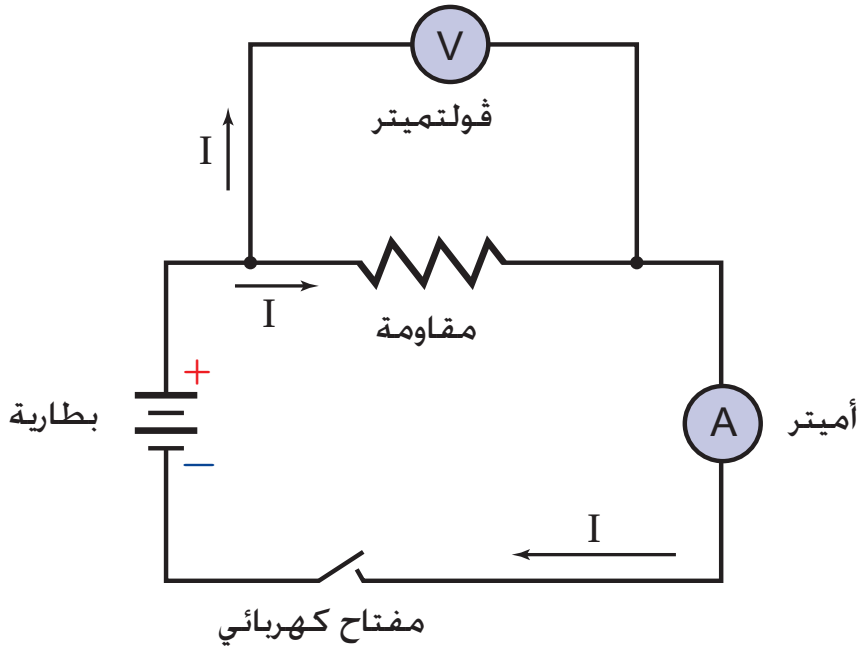
ماذا قرأت؟ ما نوعا التيار الكهربائي؟ وما الفرق بينهما؟

الطاقة في الدوائر الكهربائية Energy in electric circuits لاحظت أن الشحنات تتحرك في مسار مغلق، كما هو موضح في **الشكل 4–6b**، بحيث تتحرك في دورة تبدأ من البطارية (المضخة)، ثم تصل إلى اللوح B من خلال الموصل C، وتصل بعد ذلك إلى اللوح A لتعود إلى المضخة مرة أخرى. وتسمى أي حلقة موصلة أو مسار موصل مغلق يسمح بتدفق الشحنات الكهربائية عبره الدائرة الكهربائية Electric circuit. وتشتمل الدائرة الكهربائية على بطارية (مضخة للشحنات)، تعمل على زيادة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من A إلى B، كما تتضمن أيضًا مقاومة كهربائية تقلل من طاقة الوضع الكهربائية للشحنات المتدفقة من B إلى A. وتتحول عادة طاقة الوضع التي تفقدها الشحنات المتحركة (qV) عبر المقاومة إلى أشكال أخرى للطاقة. فمثلاً يعمل المحرك الكهربائي على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية، ويحوّل المصباح الكهربائي الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية وطاقة حرارية، وتحوّل المدفأة الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية وطاقة ضوئية.

ماذا قرأت؟ ما الدائرة الكهربائية؟

وتلاحظ أن دور البطارية هو تزويد الشحنات الكهربائية بطاقة تمكّنها من التدفق في الدائرة مُشكِّلة تيارًا كهربائيًّا، ولا تولّد البطارية شحنات كهربائية. وترسم الدائرة الكهربائية البسيطة كما في **الشكل 4–9**. لاحظ أن الأميتر (A) يُوصَّل في الدائرة من دون وجود تفرُّع في أسلاك التوصيل (على التوالي)، بينما يلزم لتوصيل الفولتميتر (V) تفرُّع في أسلاك التوصيل (على التوازي).

ماذا قرأت؟ ما دور البطارية في الدوائر الكهربائية؟



الشكل 4–9 دائرة كهربائية بسيطة. (يوصل الأميتر على التوالي بينما يوصل الفولتميتر على التوازي).

حفظ الشحنة Conservation of charge الشحنات لا تفنى ولا تستحدث، ولكن يمكـن فصلهـا؛ لذا فـإن الكمية الكلية للشـحنة – عدد الإلكترونات السـالبة والأيونات الموجبة – في الدائرة لا تتغير. فإذا تدفق كولوم واحد من الشحنات الكهربائية خلال ثانية واحدة في جزء من الدائرة الكهربائية المغلقة فسـيتدفق المقدار نفسـه من الشحنات في جميع أجـزاء الدائـرة إذا لم يكن بها تفرعات، أما إذا تفرعت توصيلاتها فسـيكون المجموع الكلي للشـحنات المتدفقة عبر الأفرع جميعها مسـاويًا للشـحنات المتدفقة من المصدر؛ لذا تكون كمية الشحنة محفوظة، كما تكون الطاقة محفوظة أيضًا؛ حيث إن التغير في الطاقة الكهربائية ΔE يسـاوي $q\,\Delta V$. ولأن q محفوظـة فـإن التغـير الكلي في طاقة الوضع للشـحنات التي تحركت دورة كاملة في الدائرة الكهربائية يساوي صفرًا.

المقاومة الكهربائية وقانون أوم Resistance and Ohm's law

يمر تيار كهربائي في الدائرة الكهربائية المغلقة، لكن إذا وُضع قضيب زجاجي أو بلاستيكي مـكان جزء من سـلك التوصيل فلن يمر تيار كهربائي في تلـك الدائرة غالبًا؛ فبعض المواد – ومنها البلاستيك والخشب وغيرهما – تمانع مرور التيار الكهربائي (الشحنات) خلالها، والخاصيـة التـي تحدد مقـدار التيـار الـذي سـيمر في الدوائـر الكهربائية تسـمّى **المقاومة الكهربائية Resistance**، ويرمز لها بالرمز R، وتعرف بأنها مقاومة المادة لمرور الشـحنات خلالها.

وقـد درس العـالم الألماني جـورج سـيمون أوم العلاقة بين شـدة التيـار الكهربائي المار في موصـل وفـرق الجهد بين طرفيـه، وتوصّل إلى أن "شـدة التيار الكهربائـي المار في موصل تتناسـب طرديًّا مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة حرارته"، وتعرف هذه النتيجة باسم **قانون أوم Ohm's law**؛ أي أن:

$$\Delta V \alpha\, I$$

وبتحويل علاقة التناسب إلى مساواة ينتج ثابت يعتمد على نوع مادة الموصل، وسمّي هذا الثابت المقاومة الكهربائية لمادة الموصل؛ لذا يمكن كتابة قانون أوم على الصورة:

$$\Delta V = RI$$

وتلاحظ أن نسـبة فرق الجهد الكهربائي بين طرفي موصل إلى شـدة التيـار الكهربائي المار فيه تسـاوي مقدارًا ثابتًا يسـاوي المقاومة الكهربائية لمادة الموصل. ويمكن تعريف المقاومة الكهربائية باستخدام قانون أوم كما يلي:

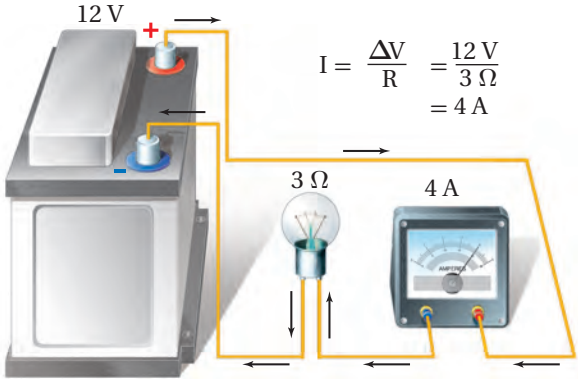
المقاومة الكهربائية $R = \frac{\Delta V}{I}$

المقاومة تساوي فرق الجهد الكهربائي مقسومًا على شدة التيار الكهربائي.

ويتـم قياس المقاومـة الكهربائية لمادة موصل بتطبيق فرق جهد على طرفيه، ثم قسـمة فرق الجهد على شدة التيار المار فيه. وتلاحظ من قانون أوم أن وحدة قياس المقاومة الكهربائية بحسـب النظـام الدولي للوحدات هي V/A، وتسـمى الأوم Ohm، تكريـمًا لجهود العالم جـورج سـيمون أوم. ويعـرّف **الأوم** الواحـد (1 Ω) بأنـه مقاومـة موصـل يمر فيـه تيار شدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V.

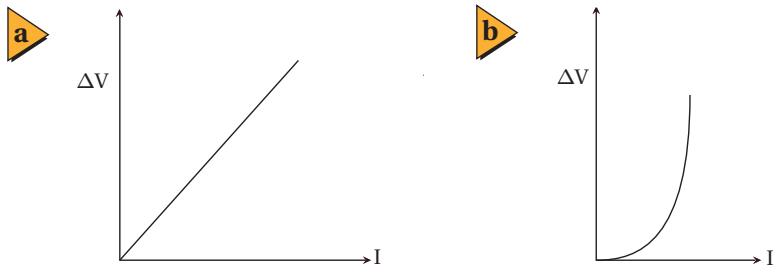
ماذا قرأت؟ علامَ ينص قانون أوم؟

يوضّح **الشـكل 10–4** دائرة كهربائية بسيطة تتكون من مصدر قدرة، ومقاومة (مصباح)، وأميتر وصلت معًا دون تفرع. ويمكن حسـاب شـدة التيار الكهربائي المار في تلك الدائرة من العلاقة $R = \Delta V/I$ كما يلي:



الشـكل 10–4 يعُـرّف الأوم الواحـد (1 Ω) بأنه 1 V/A. يمـر تيـار كهربائي شـدته 4 A في دائرة كهربائية تحوي مقاومة كهربائية مقدارها 3 Ω عنـد وصلهـا ببطارية فـرق الجهد بين قطبيها 12 V.

ولا تتغـير مقاومـة معظم الموصـلات بتغير مقدار أو اتجـاه الجهد المُطبّق عليهـا. ويُقال إن الموصـل يُحقّق قانـون أوم إذا كانت مقاومتـه لا تعتمد على فرق الجهد بـين طرفيه. وتُحقّق معظم الموصلات الفلزية قانون أوم ضمن حدود معينة لفروق الجهد، وتسمى موصلات أومية Ohmic، وتكون العلاقة خطية طردية بين فرق الجهد بين طرفي موصل أومي وشدة التيـار المـار فيـه. انظر **الشـكل 4–11a**. أمـا الموصلات التـي لا تُحقّق قانون أوم فتسـمى موصـلات غير أوميـة Non – ohmic، ولا تكون العلاقة خطيـة بين فرق الجهد بين طرفي الموصل وشدة التيار المار فيه، انظر **الشكل 4–11b**. فالمذياع والآلة الحاسبة يحويان أدوات إلكترونية – منها الترانزسـتورات والدايودات التي ستدرسـها في الوحدة التالية – التي لا تحقـق قانون أوم. ومـما يجدر ذكره أن فتيلة المصباح الكهربائـي لا تُحقّق قانون أوم عمومًا؛ لارتفـاع درجة حرارتها كثيرًا بزيادة شـدة التيار المار فيها، ولكنهـا تُحقّق العلاقة الخطية في نطاق التغيرات المحدودة والطفيفة في فرق الجهد المطبَّق.



الشـكل 4–11 تكـون العلاقـة خطيـة طرديـة بين فرق الجهد بين طرفي موصل أومـي وشـدة التيـار المـار فيـه (a). أمـا الموصلات غير الأومية فلا تكون العلاقة خطيـة بين فرق الجهد بين طرفي الموصل وشدة التيار المار فيه (b).

وتعتمد مقاومة الموصلات الفلزية على: طول الموصل، ومساحة مقطعه العرضي، ونوع مادته، إضافة إلى درجة حرارته. وقد توصَّل العلماء من خلال التجارب إلى أن مقاومة موصل فلزي تتناسب طرديًّا مع طوله ℓ وعكسيًّا مع مساحة مقطعه العرضي A، وتم ربْط هذه العوامل بالعلاقة:

المقاومة $R = \rho \frac{\ell}{A}$

مقاومة موصل فلزي R تساوي مقاومته النوعية ρ مضروبة في طوله ℓ مقسومًا على مساحة مقطعه العرضي A.

حيث ترمز ρ إلى المقاومة النوعية (المقاومية) لمادة الموصل، وهي ثابتة للمادة الواحدة عند درجة حرارة محددة. وتعرف **المقاومة النوعية Resistivity** بأنها مقاومة موصل طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ m^2$، وتقاس بوحدة $\Omega.m$.

وهناك مصطلح آخر يرتبط بالمقاومة النوعية هو **الموصلية Conductivity**؛ وهي مقياس لسماحية الموصل لمرور التيار الكهربائي خلاله، وتساوي مقلوب المقاومة النوعية، ويرمز لها بالرمز σ؛ أي أن: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

ووحدة قياس الموصلية هي مقلوب وحدة قياس المقاومة النوعية؛ أي $(\Omega.m)^{-1}$.

ماذا قرأت؟ ما الفرق بين المقاومة النوعية والموصلية لمادة ما؟

ويبين **الجدول 1–4** المقاومة النوعية لمواد مختلفة عند درجة حرارة $20^\circ C$، حيث تعتمد

الجدول 1–4 المقاومة النوعية لمواد مختلفة عند درجة حرارة $20^\circ C$

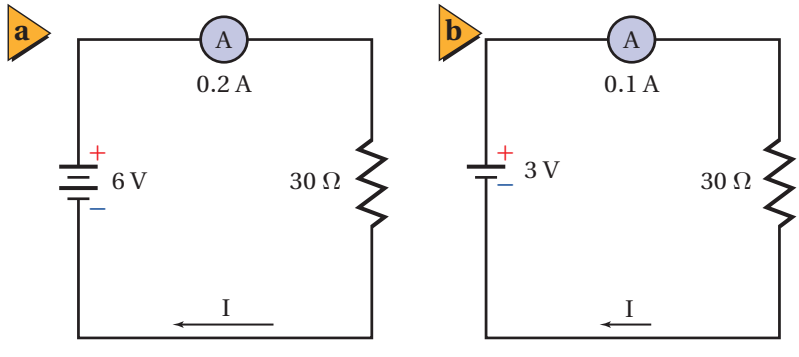
المادة	المقاومة النوعية $(\Omega.m)$
الموصلات	
الفضة	1.59×10^{-8}
النحاس	1.72×10^{-8}
التنجستن	5.6×10^{-8}
الحديد	9.71×10^{-8}
أشباه الموصلات	
الكربون النقي	3.5×10^{-5}
الجرمانيوم النقي	600×10^{-3}
السليكون النقي	2300
العوازل	
الزجاج	$10^{9} - 10^{14}$
المطاط الصلب	$10^{13} - 10^{16}$
الخشب	$10^{8} - 10^{11}$

مقاومة المواد ومقاوميتها على درجة حرارتها؛ فمثلاً تزداد مقاومة المقاومات الفلزية بزيادة درجة حرارتها؛ بينما تقل مقاومة بعض المواد، ومنها المطاط والزجاج، بزيادة درجة حرارتها. ويمكن أن تصبح مقاومة بعض المواد صفرًا عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا، وتُسمى المواد في هذه الحالة **المواد الفائقة التوصيل Superconductors**.

إن مقاومة الأسلاك المستخدمة في توصيل الأجهزة الكهربائية تكون قليلة. فمقاومة سلك طوله 1 m من النوع المستخدم عادةً في مختبرات الفيزياء تساوي 0.03 Ω، أما الأسلاك المستخدمة في التمديدات الكهربائية المنزلية فتكون مقاومتها أقل من ذلك، وتساوي 0.004 Ω تقريبًا لكل متر من طولها. ولأن مقاومة هذه الأسلاك قليلة جدًّا فإنه لا يحدث – غالبًا – نقصان أو هبوط للجهد خلالها. ويمكن صنع المقاومات من الجرافيت أو باستعمال أسلاك طويلة ورفيعة.

ويمكن التحكم في شدة التيار الكهربائي المار في دائرة كهربائية؛ بتغيير ΔV، أو بتغيير R، أو تغيير كليهما معًا؛ وذلك لأن $I = \Delta V/R$. ويوضّح **الشكل 4–12a** دائرة بسيطة؛ فعندما تكون ΔV تساوي 6 V ، وR تساوي 30 Ω تكون شدة التيار 0.2 A. أما إذا قلّ فرق الجهد المُطبّق على المقاومة إلى النصف فسوف تقل شدة التيار المار فيها إلى النصف أيضًا. ويوضح **الشكل 4–12b** أن الجهد المُطبّق على طرفي المقاومة قلّ من 6 V إلى 3 V؛ وذلك لتقليل شدة التيار لتصبح 0.1 A. وتُستخدم المقاومات عادةً للتحكم في شدة التيار المار في الدائرة الكهربائية، أو في أجزاء منها. فمثلاً يمكن تعديل سرعة محرك من دوران سريع عندما يكون طول السلك في الدائرة قصيرًا (مقاومة كهربائية صغيرة)، ليصبح دورانه بطيئًا عند زيادة طول السلك في الدائرة (مقاومة كهربائية كبيرة). وهناك أمثلة أخرى على استخدام المقاومات المتغيرة للتحكم في مستويات الطاقة الكهربائية في التلفاز وضبطها، مثل التحكم في الصوت ودرجة سطوع الصورة وتباينها والألوان، وتعدّ جميع أدوات الضبط هذه مقاومات متغيرة.

ماذا قرأت؟ **كيف يمكن التحكم في شدة التيار الكهربائي المار في دائرة كهربائية؟**



الشكل 4–12 يمكن التحكم في شدة التيار المار في الدائرة البسيطة الموضّحة في الشكل (a) عن طريق إزالة بعض الخلايا الجافة (b).

مثـــال 2

حساب مقاومة موصل سـلك موصل طوله 1.8 m ومسـاحة مقطعه $0.3\ mm^2$ مصنوع من مادة مقاومتها النوعية تساوي $5\times10^{-6}\ \Omega.m$. احسب مقاومة السلك الكهربائي.

1 تحليل المسألة

المعلوم	المجهول
$\ell = 1.8\ m$	$R = ?$
$A = 0.3\times10^{-6}\ m^2$	
$\rho = 5\times10^{-6}\ \Omega.m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم علاقة المقاومة النوعية.

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

بالتعويض عن قيم كل من ρ ، A ، ℓ

$$R = \frac{5\times10^{-6}\ \Omega.m \times 1.8\ m}{0.3\times10^{-6}\ m^2} = 30\ \Omega$$

3 تقويم الجواب

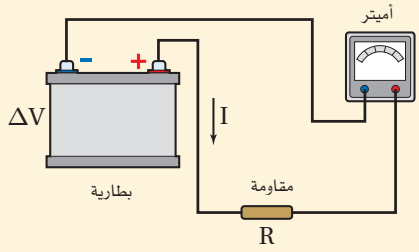
- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس المقاومة بوحدة Ω.
- **هل الجواب منطقي؟** مساحة مقطع الموصل صغيرة جدًّا، فمن المنطق أن تكون مقاومته كبيرة.

مثـــال 3

التيـار المـار في مقاومـة وصلت بطارية فرق الجهد بـين قطبيها 30.0 V بمقاومة مقدارها 10.0 Ω. ما شـدة التيار المار في الدائرة؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم دائرة تحتوي على بطارية وأميتر ومقاومة.
- وضّح اتجاه التيار الاصطلاحي.



المعلوم	المجهول
$\Delta V = 30.0\ V$ $\quad R = 10.0\ \Omega$	$I = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم المعادلة $I = \Delta V/R$ لإيجاد شدة التيار:

بالتعويض $\Delta V = 30.0\ V$، $R = 10.0\ \Omega$

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

$$= \frac{30.0\ V}{10.0\ \Omega} = 3.00\ A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تُقاس شدة التيار بوحدة الأمبير A.
- **هل الجواب منطقي؟** فرق الجهد كبير والمقاومة قليلة؛ لذا تكون شدة التيار 3.00 A منطقية.

مسائل تدريبية

افترض في هذه المسائل جميعها أن جهد البطارية ومقاومات المصابيح ثابتة، بغض النظر عن شدة التيار.

3. إذا وُصل محرك بمصدر جهد، وكانت مقاومة المحرك في أثناء تشغيله 33 Ω، وشدة التيار المار في تلك الدائرة 3.8 A، فما جهد المصدر؟

4. يمر تيار شدته 2.0×10^{-4} A في مجسّ عند تشغيله ببطارية جهدها 3.0 V. ما مقدار مقاومة دائرة جهاز المجسّ؟

5. احسب المقاومة النوعية لمادة سلك طوله 2 m ومساحة مقطعه $0.3\ mm^2$ ومقاومته 8 Ω.

6. سلك موصل نصف قطر مقطعه 1.0 mm ومقاومته النوعية $1.5\times10^{-6}\ \Omega.m$، كم يجب أن يكون طوله لتصبح مقاومته الكهربائية 20 Ω؟

4–1 مراجعة

7. **شدة المجال واتجاهه** تؤثر قوة كهربائية مقدارها 1.50×10^{-3} N في اتجاه الشرق في شحنة اختبار موجبة مقدارها 2.40×10^{-8} C، أوجد شدة المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار.

8. **المجال مقابل القوة** كيف يختلف المجال الكهربائي ***E*** عند موضع شحنة اختبار عن القوة ***F*** المؤثرة في هذه الشحنة؟

9. وصِل مصدر قدرة كهربائية مع صفيحتين، فأصبحت شدة المجال الكهربائي بينهما 2.00×10^{4} N/C، فإذا علمت أن شدة المجال الكهربائي متساوية عند جميع النقاط بين الصفيحتين، وشحنة الإلكترون 1.6×10^{-19} C، فأجب عما يلي:

a. ما القوة الكهربائية التي تؤثر في إلكترون موضوع بينهما؟

b. إذا وضعت كرة من مادة معزولة بينهما وتأثرت بقوة 4×10^{-4} N فما شحنتها؟

10. كيف تميّز بين جهد نقطة وفرق الجهد الكهربائي بين نقطتين وطاقة الوضع الكهربائية لشحنة عند نقطة؟

11. **رسم تخطيطي** ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية تحتوي على بطارية ومصباح كهربائي، وتأكد من أن المصباح الكهربائي سيضيء في هذه الدائرة.

12. يمكن لبطارية سيارة جهدها 12 V ومشحونة تمامًا أن تختزن شحنة مقدارها 1.44×10^{6} C. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟

13. ما فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين إذا كان الشغل المبذول لنقل شحنة مقدارها 5 C بينهما يساوي 200 J؟

14. يتحرك إلكترون عبر أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، بفرق جهد مقداره 18000 V. ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون؟

15. يوصل الأميتر في الدائرة الكهربائية مباشرة دون تفرُّع (على التوالي)، بينما لوصل الفولتميتر فيها يلزم تفرُّع في الدائرة (على التوازي). لماذا؟

16. **التفكير الناقد** إذا وضعت عدة أميترات في أماكن مختلفة في دائرة توالٍ كهربائية، فما العلاقة بين قراءاتها؟ وضح إجابتك.

4–2 القدرة الكهربائية والدوائر الكهربائية
Electric power and electric circuits

تعمل العديد من الأجهزة الكهربائية على تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى للطاقة؛ منها الضوء أو الطاقة الحركية أو الصوت أو الطاقة الحرارية. فعند تشغيل أحد هذه الأجهزة تُغلق الدائرة الكهربائية ويبدأ تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى. ستتعلم في هذا القسم كيفية تحديد معدل تحويل الطاقة، وكمية الطاقة المحوّلة، والدوائر الكهربائية البسيطة، إضافة إلى القوة الدافعة الكهربائية.

القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية
Electric power and electric energy

عند مرور تيار كهربائي في دائرة كهربائية تتحول الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة بحسب نوع المقاومة الموجودة في الدائرة. ويسمى المعدل الزمني لتحوّل الطاقة من شكل إلى آخر **القدرة Power**؛ أي أن: $P = \mathrm{E}/t$، حيث تُمثّل P القدرة الكهربائية، وE الطاقة المُحوّلة، وt الزمن الذي تم خلاله تحوّل الطاقة بوحدة s. وتُقاس الطاقة المحوّلة بوحدة **الجول joule (J)** بواسطة **مقياس الجول joulemeter**؛ وهو جهاز لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال مدة معينة، انظر **الشكل 13–4**. أما القدرة الكهربائية فتكون وحدة قياسها بحسب النظام الدولي للوحدات هي J/s، وتسمى **الواط watt**، ويرمز لها بالرمز W؛ ويُعرف 1 W بأنه قدرة آلة أو جهاز يحوّل طاقة مقدارها 1 J خلال ثانية واحدة. فإذا حوّل مولّد كهربائي 1 J من الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية في كل ثانية فعندئذٍ يمكننا القول إن المولد يحوّل الطاقة بمعدل 1 J/s أو 1 W. وتعتمد الطاقة التي يحملها التيار الكهربائي على كمية الشحنات المنقولة q، كما تعتمد أيضًا على فرق الجهد $\Delta \mathrm{V}$ بين طرفي المسار الذي يتحرك فيه التيار؛ أي أن:

$$\mathrm{E} = q\Delta \mathrm{V}$$

وحيث إن شدة التيار الكهربائي تعطى بالعلاقة: $\mathrm{I} = q/t$

أي أن: $q = \mathrm{I}t$، وبتعويض قيمة q في العلاقة $\mathrm{E} = q\Delta \mathrm{V}$ نجد أن:

$$\mathrm{E} = \mathrm{I}t\Delta \mathrm{V}$$

الشكل 13–4 يستخدم مقياس الجول لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة.

معايير الأداء الرئيسة
23.2– 23.4

معايير البحث والاستقصاء العلمي
1.1–1.3–1.4–3.1–3.2–3.4–4.1

الأهداف
- **توضح** المقصود بكلٍّ من: القدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية والقوة الدافعة الكهربائية.
- **تقارن** بين توصيل التوالي وتوصيل التوازي في الدوائر الكهربائية.
- **تحسب** المقاومة المكافئة لمجموعات مقاومات موصولة على التوالي وعلى التوازي.
- **تفرق** بين فرق الجهد الكهربائي لمصدر والقوة الدافعة الكهربائية له.
- **تطبّق** بحل مسائل على القوة الدافعة الكهربائية باستخدام معادلة الدائرة الكهربائية البسيطة.
- **توضح** مبدأ عمل كل من الجلفانوميتر والأميتر والفولتميتر.

المفردات
- القدرة • Power
- الجول • joule (J)
- مقياس الجول • joulemeter
- الواط • watt
- دائرة التوالي • Series circuit
- المقاومة المكافئة • Equivalent resistance (R_{eq})
- دائرة التوازي • Parallel circuit
- القوة الدافعة الكهربائية • Electromotive force
- دائرة القصر • Short circuit

وبقسمة طرفي المعادلة على t:

$$\frac{E}{t} = \frac{I t \Delta V}{t}$$

أي أن:

$$P = I\Delta V$$

وهذه هي الصورة المألوفة لمعادلة القدرة الكهربائية الواصلة إلى جهاز كهربائي.

القدرة $P = I\Delta V$

القدرة الكهربائية تساوي شدة التيار الكهربائي مضروبة في فرق الجهد.

وباستخدام قانون أوم ($\Delta V = IR$) يمكن الحصول على صور مختلفة لمعادلة القدرة، كما يلي:

$$P = I\Delta V$$
$$= I\Delta V = I\,(IR) = I^2R$$
$$= I\Delta V = (\frac{\Delta V}{R})\,\Delta V = \frac{\Delta V^2}{R}$$

ماذا قرأت؟ ما القدرة الكهربائية؟ وما وحدة قياسها؟

تسخين مقاومة Heating resistance عند مرور تيار كهربائي في مقاومة فإنها تسخن؛ وذلك بسبب تصادم الإلكترونات مع ذراتها؛ حيث تعمل هذه التصادمات على زيادة الطاقة الحركية للذرات، ونتيجة لذلك ترتفع درجة حرارة المقاومة. لقد صُمّمت كل من المدفأة الحرارية وصفيحة التسخين وأسلاك التسخين في مجفّف الشعر لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. وهذه التطبيقات وغيرها من الأجهزة المنزلية، ومنها الموضّحة في **الشكل 14–4**، تعمل عمل مقاومات عند توصيلها في الدوائر الكهربائية. ويمكن استخدام معادلات القدرة السابقة لحساب الطاقة الكهربائية المُحوَّلة إلى أشكال أخرى من الطاقة، فمثلاً يمكن حساب الطاقة الكهربائية المُحوَّلة إلى طاقة حرارية في مقاومة مسخِّن مغمور في الماء أو مقاومة صفيحة تسخين خلال فترة زمنية t من مرور التيار الكهربائي فيها بالعلاقة:

$$E = Pt$$

ويمكن التعبير عن الطاقة الكلية المُحوّلة بصيغ مختلفة كما يلي:

الطاقة الحرارية

$$E = Pt$$
$$E = I^2\,Rt$$
$$E = (\frac{\Delta V^2}{R})t$$

الطاقة الحرارية تساوي القدرة المستهلكة مضروبة في الزمن، كما أنها تساوي مربع شدة التيار مضروبًا في المقاومة والزمن، وتساوي مربع فرق الجهد مقسومًا على المقاومة، ومضروبًا في الزمن.

الشكل 14–4 صُمّمت هذه الأجهزة لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية.

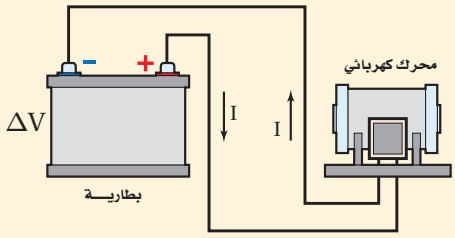
مثـــال 4

القـدرة الكهربائيـة والطاقـة ولّدت بطاريـة جهدها 6.0 V تيارًا شـدته 0.50 A في محرك كهربائي عنـد وصله بطرفيها. احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة إلى المحرك.

b. الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك، إذا تم تشغيله مدة 5.0 min.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم دائرة تبين فيها الطرف الموجب لبطارية موصولة بمحرك، والسلك الراجع من المحرك موصول بالطرف السالب للبطارية.
- وضّح اتجاه التيار الاصطلاحي.

المعلوم	المجهول
$\Delta V = 6.0\ V$	$P = ?$
$I = 0.50\ A$	$E = ?$
$t = 5.0\ min$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم المعادلة $P = I\Delta V$ لإيجاد القدرة.

بالتعويض $\Delta V = 6.0\ V$، $I = 0.50\ A$

$$P = I\Delta V$$
$$= (0.50\ A)(6.0\ V)$$
$$= 3.0\ W$$

b. تعلمت سابقًا أن $P = E/t$. حُلَّ هذه المعادلة بالنسبة لـ E لإيجاد الطاقة الكهربائية الواصلة إلى المحرك.

$$E = Pt$$

بالتعويض $P = 3.0\ W$، $t = 5.0\ min$

$$= (3.0\ W)(5.0\ min)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$
$$= 9.0\times10^{2}\ J$$

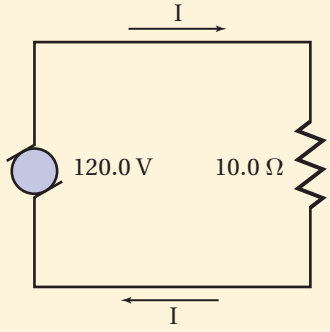
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس القدرة بالواط، والطاقة بالجول.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة التيار وفرق الجهد صغيران نسبيًّا؛ لذا يكون المقدار الصغير للقدرة منطقيًّا.

مثـــال 5

التسخين الكهربائي يعمل سخّان كهربائي مقاومته 10.0 Ω على فرق جهد مقداره 120.0 V. احسب مقدار:
a. القدرة التي يستهلكها السخان الكهربائي. **b**. الطاقة الحرارية التي ينتجها السخان خلال 10.0 s.

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم الحالة.
- عيّن العناصر المعلومة في الدائرة، وهي مصدر جهد مقداره 120.0 V، ومقاومة 10.0 Ω

المعلوم	المجهول
$R = 10.0\ \Omega$	$P = ?$
$\Delta V = 120.0\ V$	$E = ?$
$t = 10.0\ s$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن مقداري R وΔV معلومان فإننا نستخدم المعادلة $P = \Delta V^2 / R$.

بالتعويض $R = 10.0\ \Omega$، $\Delta V = 120.0\ V$

$$P = \frac{(120.0\ V)^2}{10.0\ \Omega} = 1.44\ kW$$

b. حُلَّ لإيجاد الطاقة:

بالتعويض $P = 1.44\ kW$، $t = 10.0\ s$

$$E = Pt$$
$$= (1.44\ kW)\ (10.0\ s) = 14.4\ kJ$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس القدرة بوحدة الواط، والطاقة بوحدة الجول.
- **هل الجواب منطقي؟** القدرة في حدود: $10^2 \times 10^2 \times 10^{-1} = 10^3$، لذلك فإن مقدار القدرة الناتج بالكيلوواط منطقي. أما الطاقة فهي في حدود: $10^3 \times 10^1 = 10^4$، لذا فإن المقدار 10000 جول منطقي (حسب معطيات السؤال).

مسائل تدريبية

افترض في هذه المسائل جميعها أن كفاءة الأجهزة المذكورة 100%

17. إذا مرّ تيار شدته 0.50 A في مصباح كهربائي فرق الجهد بين طرفيه 125 V، فما المعدل الزمني لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية؟ افترض أن كفاءة المصباح 100%.

18. تَوَلّد تيار شدته 2.0 A في مصباح متصل ببطارية سيارة. ما مقدار القدرة المستهلكة في المصباح إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 12 V؟

19. ما شدة التيار الكهربائي المار في مصباح قدرته 150 W متصل بمصدر فرق جهده 220 V؟

20. يمرّ تيار كهربائي شدته 210 A في جهاز بدء تشغيل السيارة. فإذا كان فرق الجهد بين قطبي البطارية 12 V، فما مقدار الطاقة الكهربائية التي تصل إلى جهاز بدء التشغيل خلال 10.0 s؟

21. مصباح كهربائي كُتب عليه 0.90 W. إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 3.0 V فما شدة التيار المار فيه؟

22. تحوِّل دائرة كهربائية طاقة مقدارها $2.2\times10^{3}\ J$ عندما تُشغّل ثلاث دقائق. حدّد مقدار الطاقة التي ستحوّلها عندما تُشغَّل مدة ساعة واحدة.

23. يسحب مصباح تيارًا شدته $0.50\ A$ عند توصيله بمصدر جهد مقداره $120\ V$. احسب مقدار:

a. مقاومة المصباح. **b.** القدرة الكهربائية المستهلكة في المصباح.

24. وصِل مصباح كُتب عليه $75\ W$ بمصدر جهد $125\ V$، احسب مقدار:

a. شدة التيار المار في المصباح. **b.** مقاومة المصباح.

25. يعمل سخّان كهربائي مقاومته $15\ \Omega$ على فرق جهد مقداره $120\ V$. احسب مقدار:

a. شدة التيار المار في السخان. **b.** الطاقة المستهلكة في السخان خلال $30.0\ s$.

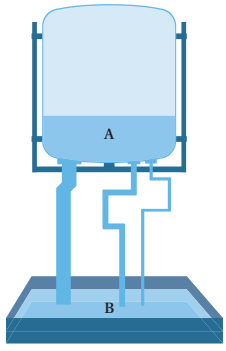
c. الطاقة الحرارية الناتجة في هذه المدة.

26. إذا وُصِلت مقاومة مقدارها $39\ \Omega$ ببطارية جهدها $45\ V$ فاحسب مقدار:

a. شدة التيار المار في الدائرة. **b.** الطاقة المستهلكة في المقاومة خلال $5.0\ min$.

الدوائر الكهربائية Electrical circuits

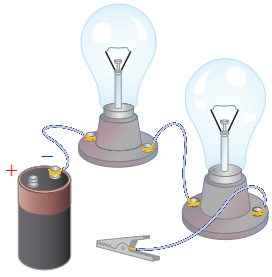
يمكن اعتبار نموذج تفريغ الماء من خزان علوي إلى خزان سفلي كما هو موضح في **الشكل 15–4** نموذجًا لتوضيح التوصيلات الكهربائية في دائرة مغلقة؛ حيث ينحدر ماء الخزان العلوي A نحو الخزان السفلي B، ويكون التغير في الارتفاع عند جريان الماء هو نفسه أيًّا كان المسار الذي يسلكه ماء الخزان A؛ حيث ينحدر ماؤه في مسارات مختلفة. وبغض النظر عن عدد المسارات التي ينحدر فيها الماء فإن كمية الماء الموجودة في الخزان A سوف تصل كاملة إلى الخزان B. إن الارتفاع الذي ينحدر منه ماء الخزان A مشابه لفرق الجهد في دائرة كهربائية، وكمية الماء المتدفق مشابهة للشحنات الكهربائية المتدفقة في الدائرة الكهربائية، والمسارات الضيقة التي تعيق حركة الماء مشابهة للمقاومة الكهربائية. ارجع إلى نموذج الخزان في أثناء دراستك للتيار الكهربائي في الدوائر الكهربائية كلما دعت الحاجة إلى ذلك.



الشكل 15–4 من قانون حفظ الطاقة فإن المجموع الكلي لطاقة الماء في خزان A يساوي المجموع الكلي لطاقته في الخزان B.

دوائر التوالي الكهربائية Series circuits

وَصَل ثلاثة طلاب مصباحين متماثلين بطرفي بطارية، كما هو موضّح في **الشكل 16–4**. وقبل إغلاقهم الدائرة الكهربائية طلب إليهم المعلم توقّع مدى سطوع المصباحين.

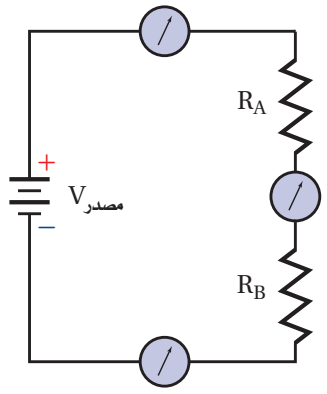


الشكل 16–4 ما توقعك بشأن سطوع المصباحين بعد إغلاق الدائرة الكهربائية؟

يعلم كل طالب منهم أن سطوع مصباح ما يعتمد على شدة التيار الكهربائي المار فيه، فتوقع الطالب الأول أن المصباح الأقرب إلى القطب الموجب (+) للبطارية هو فقط الذي سيضيء؛ لأن التيار سيُستهلك جميعه على شكل طاقة حرارية وضوئية. وتوقع الطالب الثاني أن المصباح الأول سيستهلك جزءًا من التيار، وأن المصباح الثاني سيتوهج، ولكن بسطوع أقل من المصباح الأول. أما الطالب الثالث فتوقع أن يكون سطوعَا المصباحين متساويين؛ لأن التيار عبارة عن تدفُّق للشحنات، وكمية الشحنات التي تدخل إلى المصباح

الأول تساوي كمية الشحنات التي تدخل إلى المصباح الثاني. وأضاف الطالب الثالث: لأن شدة التيار نفسها ستمر في كلٍّ من المصباحين فإن سطوعيهما سيكونان متساويين. كيف تتوقع أن يكون سطوع المصباحين؟

إذا رجعت إلى تدفُّق الماء في نموذج تفريغ الخزان، وتذكرت ما درسته عن قانون حفظ المادة، فسوف تستنتج أن كمية الماء التي تدخل أحد المسارات تساوي كمية الماء التي تَعْبر أي مقطع عرضي في هذا المسار، وتساوي كمية الماء التي تغادر هذا المسار إلى الخزان B، مهما اختلف حجم وشكل المسار الذي يسلكه الماء المنقول بين الخزانين. والآن إذا قارنت نموذج الخزان بالدوائر الكهربائية فستدرك أن توقُّع الطالب الثالث هو التوقع الصحيح. تذكَّر ممّا تعلمته سابقًا أن الشحنة لا تفنى ولا تستحدث. ولأن للشحنة مسارًا واحدًا فقط تسلكه في هذه الدائرة، وهي لا تفنى، فإنه يجب أن تكون كمية الشحنة التي تدخل الدائرة الكهربائية مساوية للكمية التي تخرج منها؛ وهذا يعني أن شدة التيار تكون هي نفسها في أيّ جزء من أجزاء الدائرة. فإذا وُصِلت ثلاثة أجهزة أميتر في الدائرة، كما هو موضّح في **الشكل 17–4**، فإن قراءات الأجهزة جميعها ستكون متساوية، وتسمّى مثل هذه الدائرة التي يمر التيار نفسه في كلِّ جزء من أجزائها **دائرة التوالي Series circuit**.



الشكل 17–4 تبين قراءة أجهزة الأميتر أن التيار يكون متساويًا في جميع أجزاء دائرة التوالي.

ولكن إذا كان التيار المارّ في المصباحين متساويًا، فمن أين تأتي الطاقة اللازمة لإضاءتهما؟ لا بد أن يكون مصدر هذه الطاقة هو التيار الكهربائي. تذكّر أن القدرة الكهربائية هي المعدل الزمني لتحوّل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة، وتُمثّل بالعلاقة $P = I\Delta V$، وهذا يعني أن تحوّل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى يعتمد على كلٍّ من: شدة التيار، وفرق الجهد. وبما أن شدة التيار المارّ في المصباحين متساوية فإنه يجب أن يوجد فرق في الجهد (هبوط في الجهد) بين طرفي كل مصباح. ولأن مقاومة المصباحين متساوية فإن فرق الجهد بين طرفي كلٍّ منهما متساوٍ أيضًا بحسب العلاقة $\Delta V = IR$؛ لذا يكون للمصباحين السطوع نفسه.

التيار والمقاومة في دائرة التوالي Current and resistance in a series circuit

تكون الزيادة في الجهد الذي يوفّره المولد أو أيّ مصدر طاقة V_{source}، مساويةً مجموع الهبوط (النقصان) في فرق الجهد في كلا المصباحين A و B، ويمكن تمثيلها بالمعادلة: $V_{source} = \Delta V_A + \Delta V_B$. وتعمل المقاومات الكهربائية في دائرة التوالي عمل مجزئ جهد في الدائرة؛ حيث يتوزع جهد المصدر على المقاومات في الدائرة الكهربائية، بحسب مقدار كل منها.

ولإيجاد الهبوط في الجهد عبر مقاومة، اضرب شدة التيار المار في الدائرة الكهربائية في مقدار تلك المقاومة. ولأن شدة التيار المار في كلا المصباحين هي نفسها فإن:

$$\Delta V_A = IR_A \text{ و } \Delta V_B = IR_B$$

لذا يكون: $V_{source} = IR_A + IR_B$ أو $V_{source} = I(R_A + R_B)$

تطبيق الفيزياء

اختبار قياس المقاومة

تعمل الأوميترات، وهي أجهزة تستخدم في قياس المقاومات، بتطبيق فرق جهد معلوم بين طرفي المقاومة فتقيس شدة التيار، ثم يُظهر الجهاز مقدار المقاومة. وتَستخدم بعض الأوميترات جهودًا أقل من فولت واحد 1V لتجنب إتلاف المكونات الإلكترونية الحساسة، في حين قد يستخدم بعضها الآخر مئات الفولتات للتحقق من سلامة المواد العازلة.

ويمكن إيجاد شدة التيار من خلال المعادلة:

$$I = \frac{V_{source}}{R_A + R_B}$$

يمكن تعميم الفكرة نفسها لتشمل أي عدد من المقاومات المتصلة معًا على التوالي، وليس مقاومتين فقط. وستمر شدة التيار نفسها في هذه الدائرة الكهربائية إذا وضعنا فيها مقاومة واحدة R تساوي مجموع مقاومتي المصباحين، وتسمى مثل هذه المقاومة **المقاومة المكافئة Equivalent resistance (R_{eq})** للدائرة الكهربائية؛ حيث المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة معًا على التوالي هي مجموع المقاومات المفردة، ويمكن التوصل إلى ذلك كما يلي:

يكون مجموع فروق الجهد في الدائرة مساويًا لفرق الجهد بين طرفي المصدر:

$$V_{source} = \Delta V_A + \Delta V_B$$

$$IR_{eq} = IR_A + IR_B$$

ولأن شدة التيار الكهربائي المار في أجزاء دائرة التوالي متساوية، لذا نقسم طرفي المعادلة على شدة التيار؛ للتوصل إلى معادلة المقاومة المكافئة للمقاومتين الموصولتين على التوالي:

$$R_{eq} = R_A + R_B$$

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة على التوالي $R_{eq} = R_A + R_B + \ldots$

المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوالي تساوي مجموع المقاومات المفردة.

لاحظ أن المقاومة المكافئة في حالة التوصيل على التوالي تكون أكبر من أي مقاومة مفردة، لذا إذا لم يتغير فرق جهد البطارية فإن إضافة أجهزة جديدة على التوالي ستقلل من شدة التيار المار في الدائرة. ولحساب شدة التيار في دائرة توالٍ نحسب المقاومة المكافئة أولاً، ثم نستخدم المعادلة التالية:

التيار الكهربائي $I = \frac{V_{source}}{R_{eq}}$

شدة التيار الكهربائي المار في دائرة التوالي تساوي فرق جهد المصدر مقسومًا على المقاومة المكافئة.

مسائل تدريبية

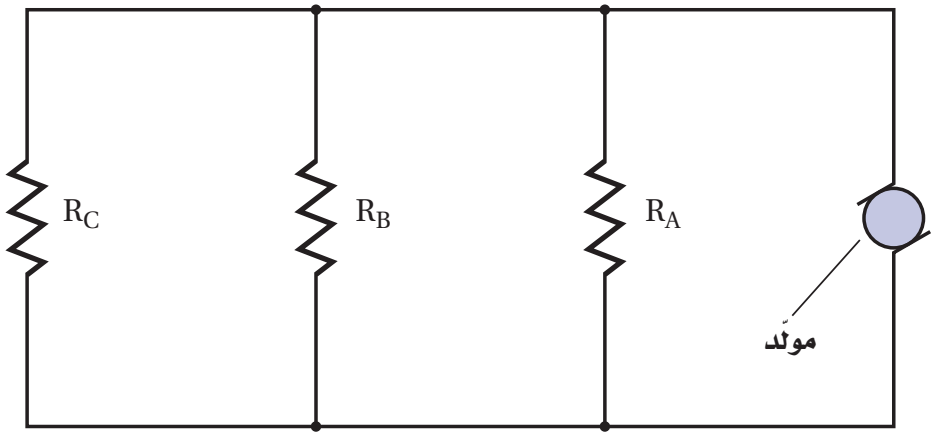
27. وصِلت المقاومات 5 Ω و10 Ω و15 Ω في دائرة توالٍ كهربائية ببطارية فرق جهدها 90 V. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟ وما شدة التيار المار فيها؟

28. وصِلت بطارية فرق جهدها 9 V بثلاث مقاومات موصولة على التوالي في دائرة كهربائية. إذا زاد مقدار إحدى المقاومات، فأجب عما يلي:

a. كيف تتغير المقاومة المكافئة؟

b. ماذا يحدث لشدة التيار؟

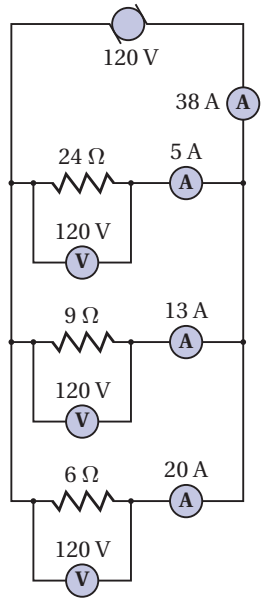
c. هل يكون هناك أي تغيُّر في فرق جهد البطارية؟



الشكل 18–4 تكون المسارات المتوازية للتيار الكهربائي في هذا المخطط مماثلة للمسارات المتعددة التي يمكن أن يسلكها الماء في أثناء انحداره من الخزان A في **الشكل 15–4**.

دوائر التوازي الكهربائية Parallel circuits انظر إلى الدائرة الكهربائية الموضّحة في **الشكل 18–4**. ما عدد مسارات التيار فيها؟ يمكن أن يمر التيار الخارج من المولّد في أي من المقاومات الثلاث. وتسمّى مثل هذه الدائرة التي تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي **دائرة التوازي Parallel circuit**. فالمقاومات الثلاث في الشكل موصولة على التوازي؛ حيث يتصل طرفا كل مسار بطرفي المسار الآخر. بالرجوع إلى نموذج خزان الماء تلاحظ أن مثل هذه الدائرة الكهربائية موضحة بعِدّة مسارات مختلفة تشبه تدفُّق الماء من الخزان A في عدة أنابيب، حيث يمكن أن يكون تدفُّق الماء في بعض الأنابيب كبيرًا، وفي بعضها الآخر أقل، ولكن يظل التدفق الكلي مساويًا مجموع التدفُّقات في كل الأنابيب. وبالمثل تكون شدة التيار الكلي في دائرة التوازي الكهربائية مساوية مجموعَ شدة التيارات التي تمر في كل المسارات، مع تساوي فرق الجهد في جميع المسارات الذي يساوي فرق الجهد بين طرفي المصدر في هذه الحالة. وتعمل المقاومات الكهربائية في دائرة التوازي عمل مجزئ للتيار الكهربائي المار في الدائرة، بحيث يتوزع التيار على المسارات بحسب مقاومة كل منها.

الشكل 19–4 شدة التيار الكلي في دائرة توازٍ كهربائية يساوي مجموع شدة التيارات في المسارات المفردة.



ما شدة التيار المار في كل مقاومة في دائرة توازٍ كهربائية؟ تعتمد شدة التيار المارّ في كل فرع على مقدار مقاومته. ففي **الشكل 19–4** مثلًا يكون فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة 120 V، وتعطى شدة التيار المار في كل مقاومة بالعلاقة $I = \frac{\Delta V}{R}$، وبالمثل يمكن حساب شدة التيار المار في المقاومة 24 Ω كما يلي:

$$I = \frac{120\ V}{24\ \Omega} = 5\ A$$

ثم تحسب شدة التيار المار في كل من المقاومتين الأخريين، وتكون شدة التيار الكلي المار في المولّد مساوية مجموع شدة التيارات في المسارات الثلاثة، وتساوي في هذه الحالة 38 A.

ماذا يحدث عند فصل المقاومة 6 Ω من الدائرة؟ وهل تتغير شدة التيار المار في المقاومة 24 Ω؟ تعتمد شدة هذا التيار فقط على مقدار المقاومة وعلى فرق الجهد بين طرفيها. ولأن أيًّا منهما لم يتغير فإن شدة التيار تبقى ثابتة ولا تتغير. وينطبق ذلك على شدة التيار الذي يمر في المقاومة 9 Ω؛ أي أن فروع دائرة التوازي الكهربائية لا يعتمد بعضها على بعض.

أما شـدة التيار الكلي المار في المولّد فتتغير عند فصل أي من المقاومات الثلاث، فعند فصل المقاومة 6 Ω يصبح مجموع التيارين في المسارين 18 A.

المقاومة في دائرة التوازي Resistance in a parallel circuit كيف يمكن إيجاد المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ كهربائية؟ شدة التيار الكلي المار في المولّد الموضّح في **الشكل 19–4** تساوي 38 A، لذا فإن مقدار المقاومة المُفردة التي يمر فيها تيار شدته 38 A عند توصيلها بفرق جهد مقداره 120 V هو:

$$R_{eq} = \frac{\Delta V}{I}$$

$$= \frac{120\ V}{38\ A}$$

$$= 3.2\ \Omega$$

لاحظ أن هذه المقاومة تكون أقل من أي مقاومة من المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي. فتوصيل مقاومتين أو أكثر على التوازي يقلّل دائمًا من المقاومة المكافئة للدائرة؛ وذلك لأن كل مقاومة جديدة توصل على التوازي تُضيف مسارًا جديدًا للتيار، وهذا يزيد من شدة التيار الكلي مع بقاء فرق الجهد ثابتًا.

لحساب المقاومة المكافئة لدائرة توازٍ، مشابهة للدائرة الموضحة في **الشكل 20a–4**، لاحظ أولًا أن شدة التيار الكلي في الدائرة تساوي مجموع شدة التيارات في كل الفروع، فإذا كانت التيارات I_A وI_B وI_C هي شدة التيارات المارة في الفروع، وI هو شدة التيار الكلي فإن:

$$I = I_A + I_B + I_C$$

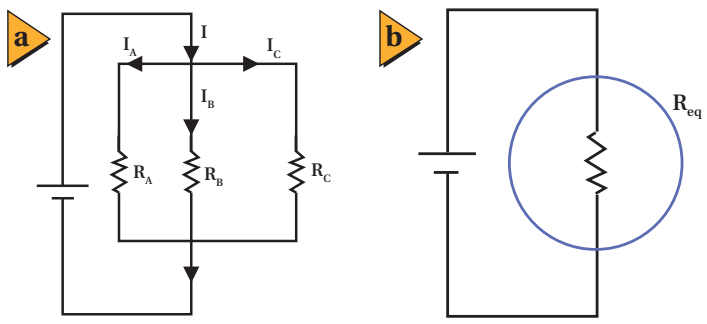
أما فرق الجهد بين طرفي أيّ مقاومة فسيكون هو نفسه في كل المقاومات، لذا يمكن إيجاد شدة التيار المار في المقاومة R_A بالعلاقة التالية:

$$I_A = \frac{\Delta V}{R_A}$$

وبناءً على ذلك يمكن إعادة كتابة معادلة مجموع التيارات في الدائرة كما يلي:

$$\frac{\Delta V}{R_{eq}} = \frac{\Delta V}{R_A} + \frac{\Delta V}{R_B} + \frac{\Delta V}{R_C}$$

وبقسمة طرفي المعادلة على ΔV، نوجد المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث الموصولة على التوازي R_{eq}. انظر **الشكل 20b–4**.



الشكل 20–4 دائرة توازٍ كهربائية تتضمن ثلاث مقاومات (a). المقاومة المكافئة للمقاومات الموصولة على التوازي (b).

تجربة

المقاومة في دوائر التوازي والتوالي الكهربائية

ركّب دائرة كهربائية تتكوّن من مصدر قدرة، ومقاومة، وأميتر.

1. **توقع** ماذا يحدث لشدة التيار الكهربائي في الدائرة الكهربائية عند توصيل مقاومة أخرى مماثلة للمقاومة الأولى على التوازي مع المقاومة الأولى؟
2. **اختبر** توقعك.
3. **توقع** ماذا يحدث لشدة التيار الكلي إذا تضمنت الدائرة ثلاث، أو أربع مقاومات متماثلة موصولة معًا على التوازي.
4. **اختبر** توقعك.
5. كرّر الخطوات 4–1 في حالة التوصيل على التوالي

التحليل والاستنتاج

6. سجّل بياناتك لتوضيح النتائج في حالة التوصيل على التوازي.
7. سجّل بياناتك لتوضيح النتائج في حالة التوصيل على التوالي.
8. **فسّر** نتائجك بتضمينها كيفية تغير المقاومة في كل حالة..

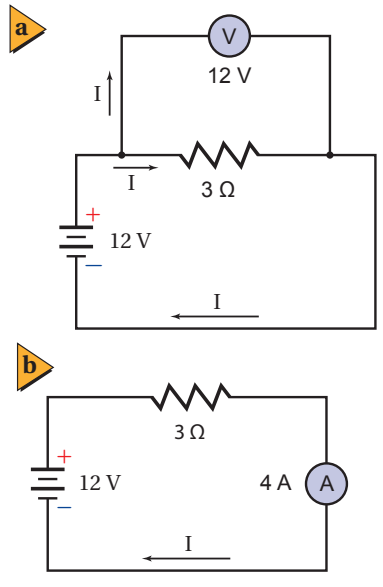
المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة معًا على التوازي

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} \ldots\ldots$$

مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات موصولة معًا على التوازي يساوي مجموع مقلوب المقاومات المفردة.

ويمكن استخدام هذه المعادلة لإيجاد المقاومة المكافئة لأيّ عدد من المقاومات الموصولة على التوازي.

بالرجوع إلى ما درسته عن توصيل المقاومات، وباعتبار أجهزة القياس الكهربائية مقاومات، وأن الأميتر يقيس شدة التيار الكهربائي فإنه يجب توصيله في الدائرة الكهربائية دائمًا على التوالي. أما الفولتميتر الذي يستخدم لقياس فرق الجهد بين نقطتين فيجب أن يُوصَّل على التوازي معهما كما هو موضح في **الشكل 21–4**.



الشكل 21–4 يبين توصيل الأميتر والفولتميتر في الدائرة الكهربائية: (a) الأميتر يوصل على التوالي، (b) الفولتميتر يوصل على التوازي.

ماذا قرأت؟ قارن بين توصيل المقاومات على التوالي وتوصيلها على التوازي في الدوائر الكهربائية من حيث شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة المكافئة.

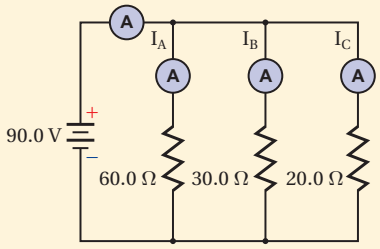
مثـــال 6

المقاومة المكافئة وشدة التيار في دائرة توازٍ كهربائية وصِلت المقاومات الثلاث التالية: 20.0 Ω و30.0 Ω و60.0 Ω على التوازي ببطارية فرق جهدها 90.0 V ، احسب مقدار:

a. شدة التيار المار في كل فرع في الدائرة الكهربائية.

b. المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية.

c. شدة التيار المار في البطارية.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.
- ضمِّن رسمك مجموعة من الأميترات لتبين أين توصلها لتقيس التيارات جميعها.

المعلوم			المجهول		
$R_A = 60.0\ \Omega$	$R_C = 20.0\ \Omega$		$I_A = ?$	$I = ?$	
$R_B = 30.0\ \Omega$	$\Delta V = 90.0\ V$		$I_B = ?$	$R = ?$	
			$I_C = ?$		

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لأن الجهد على كلّ مقاومة يكون هو نفسه لجميع المقاومات، لذا نستخدم العلاقة $I = \frac{\Delta V}{R}$ في كل فرع.

بالتعويض $\Delta V = 90.0\ V$ ، $R_A = 60.0\ \Omega$

$$I_A = \frac{\Delta V}{R_A} = \frac{90.0\ V}{60.0\ \Omega} = 1.50\ A$$

بالتعويض $\Delta V = 90.0\ V$ ، $R_B = 30.0\ \Omega$

$$I_B = \frac{\Delta V}{R_B} = \frac{90.0\ V}{30.0\ \Omega} = 3.00\ A$$

$$I_C = \frac{\Delta V}{R_C} = \frac{90.0\ V}{20.0\ \Omega} = 4.50\ A$$

بالتعويض $\Delta V = 90.0\ V$، $R_C = 20.0\ \Omega$

b. استخدم معادلة المقاومة المكافئة لدوائر التوازي.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}$$

$$= \frac{1}{60.0\ \Omega} + \frac{1}{30.0\ \Omega} + \frac{1}{20.0\ \Omega} = \frac{1}{10.0\ \Omega}$$

بالتعويض $R_A = 60.0\ \Omega$، $R_B = 30.0\ \Omega$، $R_C = 20.0\ \Omega$

$$R = 10.0\ \Omega$$

c. استخدم $I = \frac{\Delta V}{R}$ لإيجاد شدة التيار الكلي (وهو التيار المار بالبطارية).

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

$$= \frac{90.0\ V}{10.0\ \Omega} = 9.00\ A$$

بالتعويض $\Delta V = 90.0\ V$، $R = 10.0\ \Omega$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم قياس شدة التيار بوحدة الأمبير، والمقاومة بوحدة الأوم.
- **هل الجواب منطقي؟** المقاومة المكافئة أقل من أي مقاومة مفردة، وشدة التيار في الدائرة I تساوي مجموع شدة التيارات المارة في كل المقاومات $I = I_A + I_B + I_C$.

مسائل تدريبية

29. وصِلت ثلاث مقاومات مقاديرها 40.0 Ω و 60.0 Ω و120.0 Ω على التوازي مع بطارية جهدها 12.0 V، احسب مقدار كل من:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

b. شدة التيار الكهربائي الكلي المار في الدائرة.

c. شدة التيار المار في كل مقاومة.

30. إذا أردنا تقليل مقاومة فرع في دائرة كهربائية من 150 Ω إلى 93 Ω فيجب إضافة مقاومة إلى هذا الفرع. ما مقدار المقاومة التي يجب إضافتها؟ وكيف يتم توصيلها؟

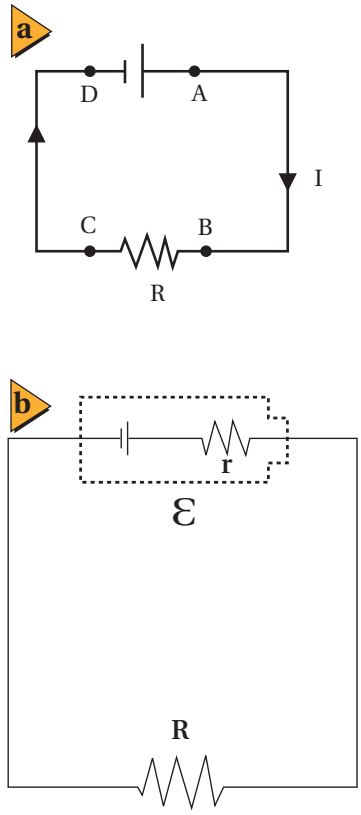
31. وُصلت مقاومة مقدارها 12 Ω وقدرتها 2 W على التوازي بمقاومة أخرى مقدارها 6.0 Ω وقدرتها 4 W. ما أقصى فرق جهد تتحمله المقاومتان؟ وأي من المقاومتين تصل إلى القيمة العظمى لاستهلاك الطاقة أولاً عند الجهد نفسه؟

القوة الدافعة الكهربائية Electromotive force

علمت أن التيار الكهربائي تدفق للشحنات الكهربائية عبر موصل، ولا بد من وجود فرق جهد بين نقطتين حتى تتدفق هذه الشحنات الكهربائية بينهما. يوضح **الشكل 22a–4** رسمًا تخطيطيًّا لدائرة كهربائية بسيطة يسري فيها تيار كهربائي في الاتجاه الموضح على الشكل، حيث تتدفق الشحنات الكهربائية من النقطة التي جهدها أعلى (A) إلى النقطة التي جهدها أقل (D) عبر المقاومة الخارجية R؛ لذا لا بد من وجود مصدر قدرة كهربائية (بطارية مثلًا) لإحداث فرق الجهد المطلوب. وحتى يكتمل مسار الشحنات في المسار المغلق (دائرة كهربائية مغلقة) فلا بد للشحنات أن تتحرك داخل البطارية من النقطة D ذات الجهد المنخفض إلى النقطة A ذات الجهد المرتفع، وهذا لا يتم إلا بوجود البطارية التي تبذل شغلاً على هذه الشحنات لنقلها من النقطة D إلى النقطة A داخل البطارية؛ أي من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية، ومن النقطة A إلى النقطة D خارج البطارية، أي من القطب الموجب إلى القطب السالب لها لتتحرك الشحنات الكهربائية في المسار المغلق؛ أي أن عملها يشبه إلى حد ما عمل المضخة التي ترفع الماء من المكان المنخفض إلى المكان المرتفع. ويعرف مقدار الشغل الذي يبذله مصدر القدرة (البطارية) في نقل وحدة الشحنات الموجبة من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل المصدر، ومن القطب الموجب إلى القطب السالب خارج المصدر بـ **القوة الدافعة الكهربائية Electromotive force (emf)** للمصدر، ويرمز لها بالرمز $\mathcal{E}$. ويمكن تعريفها أيضًا بأنها تساوي الطاقة التي يعطيها مصدر القدرة لكل شحنة مقدارها +1 C تمر عبره. ويمكن التعبير عن القوة الدافعة الكهربائية رياضيًّا كما يلي:

$$\text{emf}\ (\mathcal{E}) = W/Q$$

وللعلم فإن القوة الدافعة الكهربائية ليست قوة، وإنما هي فرق جهد، وتقاس بوحدة الفولت (V)، فعندما نقول إن القوة الدافعة الكهربائية لبطارية تساوي 6 V، فهذا يعني أن فرق الجهد بين قطبيها يساوي 6 V. لكن البطارية كأي مادة أخرى لها مقاومة كهربائية تعتمد على مكوناتها، وتسمى مقاومة داخلية للبطارية، ويرمز لها بالرمز r، وتمثّل بمقاومة تُرسم إلى جانب البطارية، انظر إلى **الشكل 22b–4**. وفي الحسابات الكهربائية الدقيقة لا بد أن تؤخذ هذه المقاومة الداخلية في الحسبان. ويمكن التقليل من أثر هذه المقاومة بتوصيل البطارية مع مقاومة أكبر بكثير من مقاومتها الداخلية على التوازي؛ حيث التوصيل على التوازي يقلل من المقاومة الكلية، وعندها يمكن اعتبار البطارية مثالية تقريبًا (البطارية المثالية تكون مقاومتها الداخلية صفرًا). ويمكن ملاحظة تأثير وجود المقاومة الداخلية للبطارية عند لحظة تشغيل سيارة مضاءة المصابيح، حيث نلاحظ خفوتًا في إضاءتها عند تلك اللحظة قبل أن تعود الإضاءة إلى ما كانت عليه. من هنا يمكن حساب القوة الدافعة



الشكل 22–4 رسم تخطيطي لدائرة كهربائية بسيطة (**a**)، رسم تخطيطي يبين المقاومة الداخلية لبطارية (r)، والمقاومة الخارجية (R) الموصولة مع البطارية (**b**).

الكهربائية للبطارية من العلاقة:

$$\mathcal{E} = V_{AB\ (across\ R)} + V_{AB\ (across\ r)}$$

$$= IR + Ir$$

$$= \Delta V + Ir$$

ويمكن إعادة صياغة المعادلة السابقة لتصبح كما يلي:

$$\Delta V = \mathcal{E} - Ir$$

حيث r المقاومة الداخلية للمصدر، بينما R المقاومة الكلية في الدائرة الخارجية، أما ΔV فهي تمثّل فرق الجهد الكلي خارج البطارية، بينما Ir تمثل فرق الجهد الداخلي بين قطبيها، وتسمى الهبوط في الجهد عبر البطارية. وإذا كانت الدائرة مفتوحة فإن I تصبح صفرًا، وبذلك فإن $\Delta V = \mathcal{E}$. ومن هنا يمكن تعريف **القوة الدافعة الكهربائية** بأنها فرق الجهد بين قطبي البطارية عندما تكون الدائرة مفتوحة.

ماذا قرأت؟ **ما القوة الدافعة الكهربائية لمصدر؟ وما العلاقة بينها وبين فرق الجهد الكهربائي بين طرفيه؟**

ويمكن حساب شدة التيار الكهربائي المار في دائرة كهربائية بسيطة تحوي بطارية ومقاومة، مثل تلك الموضحة في **الشكل 4–22a**، كما يلي:

$$\mathcal{E} = I(R + r)$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

وإذا احتوت الدائرة الكهربائية على أكثر من مقاومة خارجية موصولة معًا على التوالي، انظر **الشكل 4–23a**، تصبح المعادلة كما يلي:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + R_3 + r} = \frac{\mathcal{E}}{R_{eq}}$$

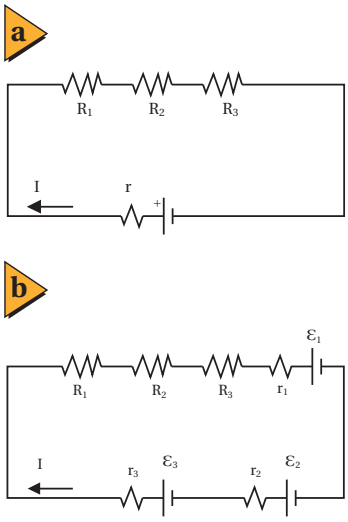
حيث $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + r$

وإذا احتوت الدائرة الكهربائية على عدد من البطاريات والمقاومات الخارجية الموصولة معًا على التوالي، انظر **الشكل 4–23b**، تصبح المعادلة كما يلي:

$$I = \frac{\Sigma\mathcal{E}}{R_{eq}}$$

حيث $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2 + r_3$

وتعرف هذه المعادلة بمعادلة الدائرة الكهربائية. ولإيجاد مجموع القوى الدافعة الكهربائية للبطاريات ($\Sigma\mathcal{E}$) يجب ملاحظة اتجاه كل منها؛ فإذا كانت القوى الدافعة في اتجاه واحد

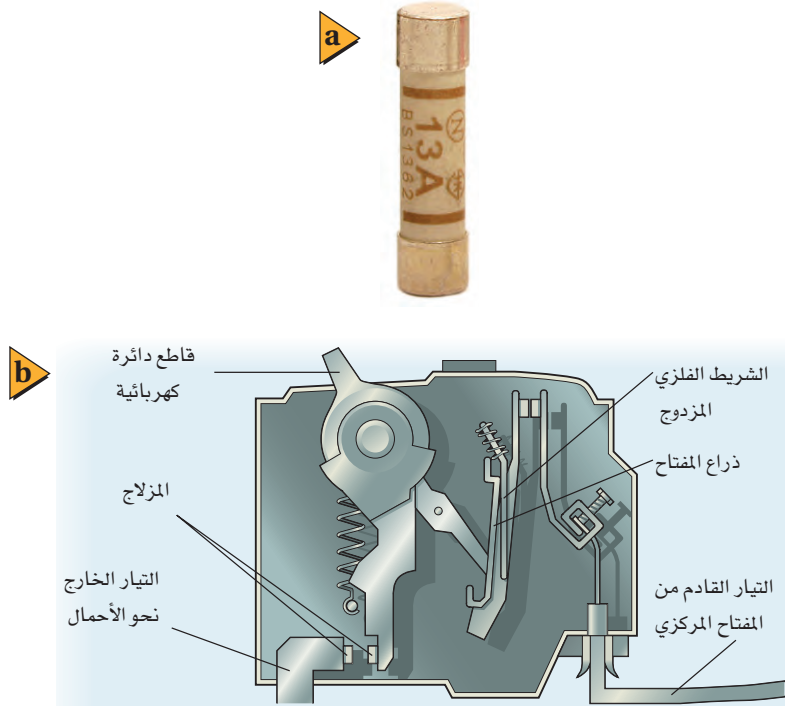


الشكل 4–23 رسم تخطيطي لدائرة توالٍ كهربائية تتضمن بطارية واحدة وعدة مقاومات (**a**)، ورسم تخطيطي لدائرة توالٍ كهربائية تتضمن عدة بطاريات ومقاومات (**b**).

فإننا نجمعها معًا ويكون التيار في اتجاه القوة الدافعة لأي منها. أما إذا كانت القوى الدافعة في اتجاهات مختلفة فإننا نجمع التي في اتجاه واحد، ثم نجمع التي في الاتجاه الآخر، وتكون القوة الدافعة الكلية في الدائرة مساوية للمجموع الأكبر مطروحًا منه المجموع الأصغر، أما اتجاه التيار في الدائرة فيكون في اتجاه القوة الدافعة للمجموع الأكبر. ويوضح المثالان 8 و9 كيفية حساب ذلك.

دائرة القصر Short circuit تحدث دائرة القصر **Short circuit** في الدائرة الكهربائية، عندما تصبح المقاومة الكلية صغيرة جدًّا، ويكون التيار المار فيها كبيرًا جدًّا. فعند توصيل مجموعة من الأجهزة الكهربائية على التوازي تقل المقاومة المكافئة للدائرة الكهربائية أكثر كلما شغّلنا جهازًا منها، مما يؤدي إلى زيادة شدة التيار المار في الأسلاك، وقد يُنتج هذا التيار الإضافي طاقة حرارية كافية لصهر المادة العازلة للأسلاك، فيؤدي ذلك إلى تلامُس الأسلاك وحدوث دائرة قصر، وقد تُحدث حريقًا.

تعمل المنصهرات والقواطع الكهربائية بوصفها أدوات حماية وسلامة؛ حيث تمنع مرور تيارات كهربائية زائدة في الدوائر الكهربائية نتيجة تشغيل عدد من الأجهزة الكهربائية على المقبس نفسه، أو عند حدوث دائرة قصر في أحد الأجهزة الكهربائية. والمنصهر الكهربائي هو قطعة قصيرة من فلز تنصهر عندما يمرّ فيها تيار كبير، انظر إلى **الشكل 24a–4**. وسمك هذه القطعة الفلزية يُحدّده شدة التيار اللازم لعمل الدائرة الكهربائية، بحيث يمر فيها التيار الكهربائي بأمان دون أن يؤدي إلى تلفها. وإذا مر تيار أكبر من شدة التيار الذي تتحمله الدائرة تنصهر هذه القطعة وتقطع التيار الكهربائي عن الدائرة، وتصبح الدائرة مفتوحة (لا يمر فيها تيار)، وهذا يؤدي إلى حماية الدائرة من التلف. ويوضّح **الشكل 24b–4** قاطع الدائرة الكهربائية، وهو مفتاح كهربائي آلي يعمل على فتح الدائرة



الشكل 24–4 المنصهر الكهربائي (a) قاطع الدائرة الكهربائية (b).

الكهربائية عندما تتجاوز شدة التيار المار فيها القيمة المسموح بها؛ لأن مرور مثل هذا التيار في الدائرة يشكل خطرًا كبيرًا قد يؤدي إلى حرائق أو أضرار أخرى؛ لذا يعمل القاطع على فتح الدائرة الكهربائية وإيقاف مرور التيار.

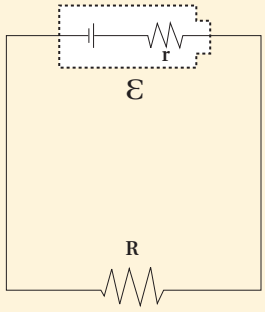
ماذا قرأت؟ ما وظيفة المنصهرات والقواطع الكهربائية في الدوائر الكهربائية؟

مثـــال 7

القـوة الدافعـة الكهربائية بطاريـة قوتها الدافعـة الكهربائية 24 V ومقاومتهـا الداخلية 0.5 Ω، إذا وُصِـل قطباها بمقاومة كهربائية مقدارها 5.5 Ω، فاحسب:

a. شدة التيار الكهربائي المار في الدائرة.

b. فرق الجهد بين قطبي البطارية.



1 تحليل المسألة ورسمها

- وضّح أجزاء الدائرة الكهربائية بالرسم.
- حدد المتغيرات emf و r و R.

المعلوم	المجهول
$emf = 24\ V$	$I = ?$
$r = 0.5\ \Omega$	$V_{Battery} = ?$
$R = 5.5\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. نستخدم معادلة الدائرة الكهربائية

$$I = \frac{\Sigma \mathcal{E}}{R_{eq}}$$

بالتعويض $r = 0.5\ \Omega\ ,\ R = 5.5\ \Omega\ ,\ \mathcal{E} = 24\ V$

$$= \frac{24\ V}{(5.5\ \Omega + 0.5\ \Omega)}$$

$$= \frac{24\ V}{6\ \Omega}$$

$$= 4\ A$$

b. فرق الجهد بين قطبي البطارية يساوي قوتها الدافعة الكهربائية مطروحًا منها الهبوط في الجهد داخل البطارية، وهو يساوي أيضًا فرق الجهد بين طرفي المقاومة الخارجية.

$$V_{Battery} = IR$$

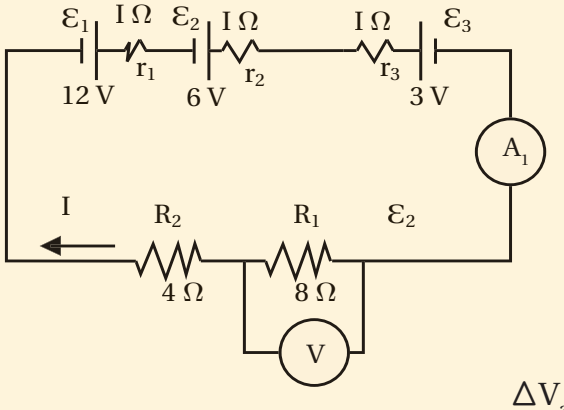
$$= 4\ A \times 5.5\ \Omega$$

$$= 22\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس شدة التيار الكهربائي بوحدة A وفرق الجهد بوحدة V. وهذا يتفق مع المعطيات.
- **هل الجواب منطقي؟** إذا ضربنا شدة التيار الناتجة في المقاومة الكهربائية الكلية في الدائرة فسيكون الناتج 24 V، وهو مقدار القوة الدافعة الكهربائية. وكذلك فإن فرق الجهد بين قطبي البطارية يساوي الفرق بين القوة الدافعة الكهربائية والهبوط في الجهد (شدة التيار في المقاومة الداخلية). وهذا يتفق مع القيم المعطاة.

القـوة الدافعـة وفـرق الجهد وُصلـت مجموعة من البطاريـات والمقاومات على التـوالي كما هو موضح في الشـكل أدناه.



اعتمادًا على البيانات المثبتة على الشكل أوجد ما يلي:

a. شدة التيار الكهربائي المار في الدائرة (قراءة A_1).

b. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 8 Ω.

1 تحليل المسألة ورسمها

• حدد المتغيرات emf و r و R

المعلوم

$\mathcal{E}_1 = 12\ V \quad \mathcal{E}_2 = 6\ V \quad \mathcal{E}_3 = 3\ V$

$r_1 = r_2 = r_3 = 1\ \Omega$

$R_1 = 8\ \Omega \quad R_2 = 4\ \Omega$

المجهول

$I = ?$

$\Delta V_{across\ 8\Omega} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

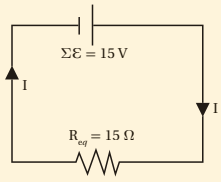
a. نحسب مجموع القوى الدافعة الكهربائية كما يلي:

$$\Sigma\mathcal{E} = 12\ V + 6\ V - 3\ V$$
$$= 15\ V$$

ثم نحسب المقاومة المكافئة للمقاومات الداخلية والخارجية، وهي موصولة جميعها على التوالي.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + r_1 + r_2 + r_3$$
$$= 8\ \Omega + 4\ \Omega + 1\ \Omega + 1\ \Omega + 1\ \Omega$$
$$= 15\ \Omega$$

يصبح شكل الدائرة كما يلي:



نستخدم معادلة الدائرة الكهربائية.

$$I = \frac{\Sigma\mathcal{E}}{R_{eq}}$$
$$= \frac{15\ V}{15\ \Omega}$$
$$= 1\ A$$

بالتعويض $R_{eq} = 15\ \Omega\ ,\ \Sigma\mathcal{E} = 15\ V$

b. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 8 Ω.

$$\Delta V_{across\ 8\ \Omega} = IR_1$$
$$= (1\ A)(8\ \Omega)$$
$$= 8\ V$$

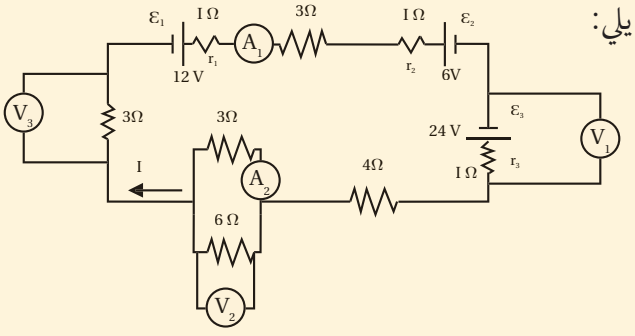
3 تقويم الجواب

• **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس شدة التيار الكهربائي بوحدة A وفرق الجهد بوحدة V. وهذا يتفق مع المعطيات.

• **هـل الجـواب منطقي؟** فرق الجهد بين طرفي المقاومة R_1 كبير؛ لأنها المقاومة الأكبر في الدائرة، وبقسـمة فرق الجهد بين طرفي المقاومة على مقدارها نحصل على شدة التيار الكهربائي المار في الدائرة.

مثـــال 9

القـوة الدافعـة وفرق الجهد يوضح الشـكل أدناه مخطط دائـرة كهربائية تحتوي على مجموعة مـن البطاريات والمقاومات الموصولة معًا. مستعينًا بالبيانات المثبتة على المخطط أجب عما يلي:



a. ما قراءة الأميتر A_1؟

b. ما قراءة الفولتميتر V_1؟

c. ما قراءة الفولتميتر V_2؟

d. ما قراءة الأميتر A_2؟

e. ما قراءة الفولتميتر V_3؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- حدد المتغيرات emf و r و R.

المعلوم	المجهول
$\mathcal{E}_1 = 12\ V \quad \mathcal{E}_2 = 6\ V \quad \mathcal{E}_3 = 24\ V$	$I_1 = ?$
$r_1 = r_2 = r_3 = 1.0\ \Omega$	$I_2 = ?$
$R_1 = 3.0\ \Omega, R_2 = 4.0\ \Omega, R_3 = 3.0\ \Omega,$	$V_1 = ?$
$R_4 = 6.0\ \Omega, R_5 = 3.0\ \Omega$	$V_2 = ?$
	$V_3 = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. قـراءة الأميتر A_1 تسـاوي شـدة التيار الكلي المـار في الدائرة. بداية نعمل على تبسـيط الدائـرة الكهربائية بإيجاد المقاومـة المكافئـة للمقاومـات الموصولة على التوازي، ثم إيجـاد المقاومة المكافئة للمقاومـات التي على التوالي.

المقاومتان 3 Ω و6 Ω موصولتان على التوازي؛ لذا تكون المقاومة المكافئة لهما:

$$\frac{1}{R_{36}} = \frac{1}{3.0\ \Omega} + \frac{1}{6.0\ \Omega}$$

$$R_{36} = \frac{18\ \Omega}{9.0} = 2.0\ \Omega$$

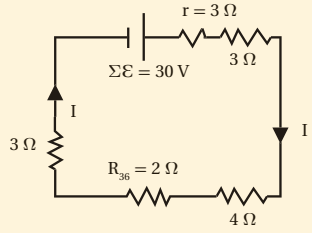
والمقاومة المكافئة للمقاومات الداخلية تكون:

$$r = r_1 + r_2 + r_3$$
$$= 1.0\ \Omega + 1.0\ \Omega + 1.0\ \Omega = 3.0\ \Omega$$

أما مجموع القوى الدافعة الكهربائية في الدائرة فيكون:

$$\Sigma\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$
$$= 12\ V + 24\ V - 6.0\ V$$
$$= 30\ V$$

فيصبح شكل الدائرة الكهربائية واتجاه التيار الكهربائي كما يلي:



نستخدم معادلة الدائرة الكهربائية لإيجاد شدة التيار الكهربائي I_1 المار في الأميتر A_1، كما يلي:

$$I_1 = \frac{\Sigma\mathcal{E}}{R_{eq}}$$

بالتعويض $R_{eq} = 15\ \Omega\ ,\ \Sigma\mathcal{E} = 30\ V$

$$= \frac{30\ V}{(3.0\ \Omega + 4.0\ \Omega + 2.0\ \Omega + 3.0\ \Omega + 3.0\ \Omega)}$$

$$= \frac{30\ V}{15\ \Omega}$$

$$= 2.0\ A$$

b. قراءة الفولتميتر V_1 تساوي فرق الجهد بين طرفي البطارية $\mathcal{E}_3$، مع ملاحظة أن اتجاه القوة الدافعة لهذه البطارية هو في اتجاه التيار المار في الدائرة؛ لذا نجد فرق الجهد بين طرفيها كما يلي:

$$V_1 = \Delta V_3 = \mathcal{E} - Ir_3$$

$$= 24\ V - (2\ A)(1\ \Omega)$$

$$= 22\ V$$

c. فرق الجهد بين طرفي المقاومة المكافئة R_{36} المكوّنة من مقاومتين على التوازي يساوي فرق الجهد بين طرفي المقاومة $3.0\ \Omega$، ويساوي فرق الجهد بين طرفي المقاومة $6.0\ \Omega$، وهو يساوي قراءة الفولتميتر V_2.

$$V_2 = \Delta V_{36} = IR_{36}$$

$$= (2.0\ A)(2.0\ \Omega)$$

$$= 4.0\ V$$

$$= \Delta V_{\text{across } 3\ \Omega} = \Delta V_{\text{across } 6\ \Omega} = V_2$$

d. يمكن إيجاد قراءة الأميتر A_2 الذي يمثل شدة التيار المار في المقاومة $3\ \Omega$ بناء على نتائج حسابات الفرع السابق، حيث أصبح فرق الجهد بين طرفي المقاومة $3\ \Omega$ معروفًا.

$$I_2 = \frac{\Delta V_{\text{across } 3\ \Omega}}{R_3}$$

بالتعويض $R_3 = 3.0\ \Omega\ ,\ \Delta V_{\text{across } 3\ \Omega} = 4.0\ V$

$$= \frac{4\ V}{3\ \Omega}$$

$$= 1.33\ A$$

e. قراءة الفولتميتر V_3 تساوي فرق الجهد بين طرفي المقاومة $3\ \Omega$.

$$V_3 = \Delta V_{\text{across } 3\Omega} = IR_3$$

بالتعويض $R_3 = 3.0\ \Omega\ ,\ I = 2.0\ A$

$$= (2.0\ A)(3.0\ \Omega)$$

$$= 6.0\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس شدة التيار الكهربائي بوحدة A وفرق الجهد بوحدة V. وهذا يتفق مع المعطيات.
- **هل الجواب منطقي؟** مجموع فروق الجهد على المقاومات الداخلية والخارجية يساوي القوة الدافعة الكهربائية الكلية في الدائرة، وقراءة الأميتر A_2 أقل من التيار الكلي المار في الدائرة وأكبر من التيار المار في المقاومة $6\ \Omega$ الموصولة معها على التوازي.

مسائل تدريبية

32. وُصِلت مقاومتان كهربائيتان مقداراهما 3 Ω و 2.5 Ω على التوالي، ثم وُصِل طرفاهما مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية 12 V ومقاومتها الداخلية 0.5 Ω، احسب شدة التيار المار في كل من المقاومتين.

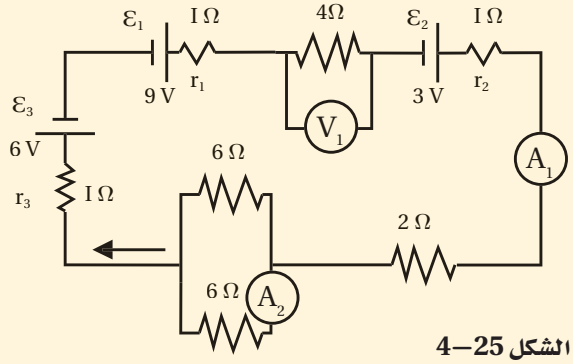
33. مقاومتان كهربائيتان مقداراهما 3 Ω و 6 Ω وُصِلتا على التوازي، ثم وُصِل طرفاهما مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية 24 V ومقاومتها الداخلية 0.4 Ω، احسب شدة التيار المار في كل من المقاومتين.

34. وُصِلت مجموعة من البطاريات والمقاومات كما هو موضح في **الشكل 25–4**. بناءً على المعطيات المثبتة على الشكل:

a. ما قراءة الأميتر A_1؟

b. ما قراءة الفولتميتر V_1؟

c. ما قراءة الأميتر A_2؟



الشكل 25–4

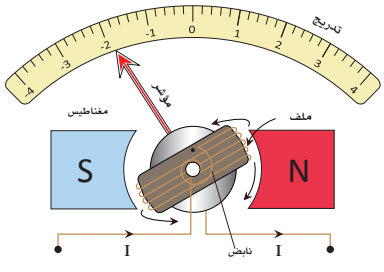
أجهزة قياس كهربائية Electrical measurement devices

تُستخدم أجهزة متعددة لتحديد مقادير الكميات الفيزيائية المختلفة، ومن هذه الأجهزة:

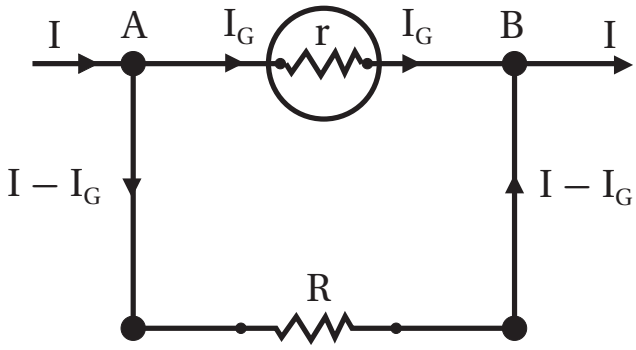
الجلفانوميتر Galvanometer يُستخدَم الجلفانوميتر للكشف عن التيارات الكهربائية الصغيرة نسبيًّا وقياسها، وهو يتكون من ملف خفيف ملفوف على قلب حديدي قابل للدوران حول محور ثابت في مجال مغناطيسي منتظم، ويتصل بملف الجلفانوميتر نابض خفيف يسمى نابض الإرجاع، ويُثبَّت على الملف مؤشر خفيف من الألومنيوم يشير إلى مقياس مدرج، كما هو موضح في **الشكل 26–4**. ويقوم مبدأ عمل الجلفانوميتر على أنه عند مرور تيار كهربائي في ملفه فإنه ينشأ قوة مغناطيسية ينتُج عنها عزم ازدواج يعمل على تدوير الملف بزاوية تتناسب مع شدة التيار المار فيه، فيشير المؤشر المتصل به إلى قراءة على المقياس المدرج تكون هي قيمة شدة التيار الكهربائي المار فيه. وبعد فصل التيار عن الدائرة الكهربائية يعمل النابض على إرجاع الملف والمؤشر إلى وضعه الأصلي عند التدريج صفر. ويعد الجلفانوميتر الأساس المستخدم في صناعة أجهزة قياس كهربائية أخرى، حيث يمكن تحويله إلى أميتر لقياس تيارات كهربائية كبيرة نسبيًّا، كما يمكن أيضًا تحويله إلى فولتميتر لقياس فروق في الجهد الكهربائي.

ماذا قرأت؟ ما الجلفانوميتر؟ وما مبدأ عمله؟

الأميتر Ammeter يُستخدَم الأميتر في قياس شدة التيارات الكهربائية الكبيرة نسبيًّا. ولقياس شدة التيار الكهربائي المار في أحد أجزاء دائرة كهربائية يتم وصْل جهاز الأميتر



الشكل 26–4 يستخدم الجلفانوميتر للكشف عن التيارات الكهربائية الصغيرة نسبيًّا وقياسها.



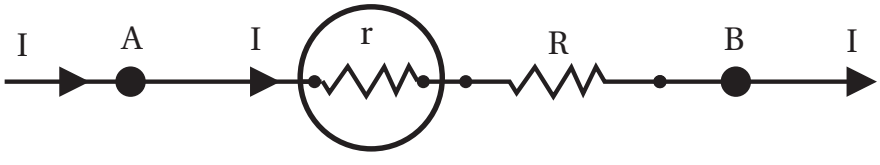
الشكل 27–4 يتم تحويل الجلفانوميتر إلى أميتر بوصل مقاومة صغيرة على التوازي مع ملفه.

على التوالي مع هذا الجزء. ويعد الأميتر جهازًا معدلاً لجهاز الجلفانوميتر؛ حيث يتم تحويل الجلفانوميتر إلى أميتر بوصل مقاومة صغيرة على التوازي مع ملفه، واستخدام نابض عزم إرجاعه للملف أكبر منه لنابض الجلفانوميتر. انظر **الشكل 27–4**. وتعمل المقاومة في هذه الحالة عمل مجزئ للتيار الكهربائي؛ حيث تجزئ التيار الكهربائي المُراد قياسه I إلى جزأين: الجزء الأول (I_G) يمر عبر ملف الجلفانوميتر، ويكون هذا التيار صغيرًا نسبيًّا ومقداره يساوي شدة التيار الكهربائي الذي يتحمله ملف الجلفانوميتر دون أن يحترق. أما الجزء الثاني من التيار ($I - I_G$)، وهو الجزء الأكبر، فيمر عبر المقاومة الصغيرة R.

الفولتميتر Voltmeter يُستخدَم الفولتميتر في قياس فروق الجهد الكهربائي، وهو عبارة عن جلفانوميتر يتصل مع ملفه مقاومة كبيرة على التوالي. انظر **الشكل 28–4**. وتعمل المقاومة في هذه الحالة عمل مجزئ لفرق الجهد الكهربائي، حيث تجزئ فرق الجهد الكهربائي إلى جزأين: الجزء الأول يساوي فرق الجهد بين طرفي ملف الجلفانوميتر $\Delta V_{across\ r}$. أما الجزء الثاني فيساوي فرق الجهد بين طرفي المقاومة الكبيرة $\Delta V_{across\ R}$. ويكون فرق الجهد الكهربائي الكلي المُراد قياسه مساويًا لمجموع فرقي الجهد $\Delta V_{across\ r}$ و $\Delta V_{across\ R}$؛ أي أن فرق الجهد ΔV بين النقطتين A وB:

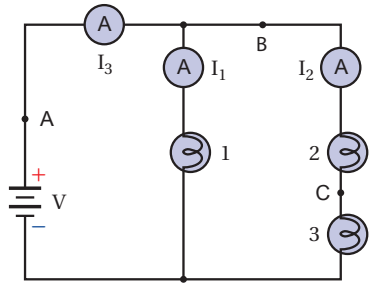
$$\Delta V = \Delta V_{across\ r} + \Delta V_{across\ R}$$

ماذا قرأت؟ قارن بين الأميتر والفولتميتر من حيث: الاستخدام، وطريقة التوصيل.



الشكل 28–4 يتم تحويل الجلفانوميتر إلى فولتميتر بوصل مقاومة كبيرة على التوالي مع ملفه.

35. التيار الكهربائي بالرجوع إلى **الشكل 29–4** وبافتراض أن جميع المصابيح في الدائرة الكهربائية متماثلة للفروع a, b, c أجب عما يلي:



الشكل 29–4

a. قارن بين سطوع المصابيح.

b. إذا كان $I_1 = 1.1\ A$ و $I_3 = 1.7\ A$، فما شدة التيار المار في المصباح 2؟

c. إذا فُصِل السلك عند النقطة C، ووُصِلت مقاومة صغيرة على التوالي بالمصباحين 2 و3، فماذا يحدث لسطوع كل منهما؟

إذا تم استبدال بعض المصابيح في الدائرة، فأجب عن التالي:

d. عند وصْل فولتميتر بين طرفي المصباح 2 كانت قراءته 3.8 V، وعند وصْل فولتميتر آخر بين طرفي المصباح 3 كانت قراءته 4.2 V. ما مقدار جهد البطارية؟

e. بالرجوع إلى المعلومات الواردة في الفرع السابق، هل المصباحان 2 و3 متماثلان؟

f. هل هناك طريقة لجعل المصابيح الثلاثة في الشكل تُضيء بالشدة نفسها إذا كان المصباحان 2 و3 متماثلين؟ وضّح إجابتك.

36. المقاومة الكهربائية يدَّعي طارق أن المقاومة ستزداد بزيادة فرق الجهد؛ وذلك لأن $R = \Delta V/I$. فهل ما يدعيه طارق صحيح؟ فسر ذلك.

37. المقاومة الكهربائية إذا أردت قياس مقاومة سلك طويل، فبيّن كيف تركّب دائرة كهربائية باستخدام بطارية وفولتميتر وأميتر والسلك الذي تريد قياس مقاومته. حدّد ما الذي ستقيسه، وبيّن كيف تحسب المقاومة.

38. القدرة تتصل دائرة كهربائية مقاومتها $12\ \Omega$ ببطارية جهدها $12\ V$. حدّد التغير في القدرة إذا قلّت المقاومة إلى $9.0\ \Omega$.

39. مدفأة كهربائية تكون قدرتها 2000 W عندما تعمل على فرق جهد مقداره 220 V. إذا كان طول السلك المستخدم فيها 10.0 m، ومساحة مقطعه العرضي $0.15\ mm^2$، وتم تشغيلها مدة 5 h، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار مقاومة سلك المدفأة؟

b. ما المقاومة النوعية لمادة سلك المدفأة؟

c. ما شدة التيار المار في سلك المدفأة؟

d. ما مقدار الطاقة الكهربائية التي تستهلكها المدفأة خلال فترة تشغيلها؟

40. التفكير الناقد نقول إن القدرة تُستهلَك وتُستنفد في مقاومة، والاستنفاد يعني الاستخدام، أو الضياع. فما (الاستخدام) عند مرور شحنات في مقاومة كهربائية؟

مختبر الفيزياء

دوائر التوالي والتوازي الكهربائية

يوجد في كل دائرة كهربائية علاقة بين شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة. سوف تستقصي في هذه التجربة العلاقة بين شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة في دوائر التوالي الكهربائية، وتقارنها بالعلاقة الخاصة بها في دوائر التوازي الكهربائية.

سؤال التجربة

ما العلاقة بين شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة في دوائر التوالي مقارنة بالعلاقة بينها في دوائر التوازي؟

الأهداف

- **تصف** العلاقة بين شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوالي الكهربائية.
- **تلخّص** العلاقة بين شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوازي الكهربائية.
- **تجمع بيانات** حول شدة التيار وفرق الجهد باستعمال أجهزة القياس الكهربائية.
- **تحسب** مقاومة مصباح كهربائي من خلال بيانات فرق الجهد و شدة التيار.

المواد والأدوات

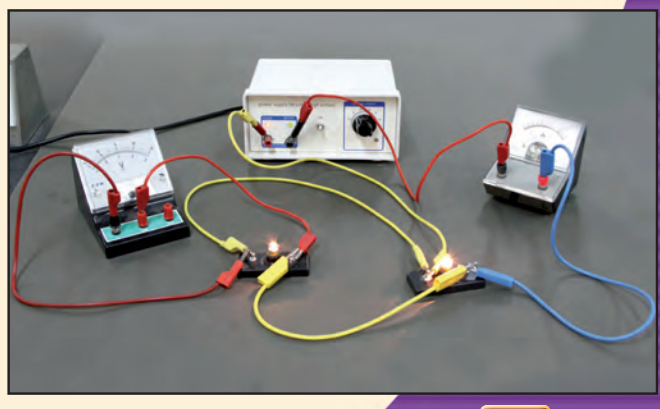
مصدر قدرة قليل الجهد
قاعدتا مصباح
مصباحان كهربائيان صغيران
أميتر ذو مدى تدريج 0–500 mA
فولتميتر ذو مدى تدريج 0–30 V
عشرة أسلاك نحاسية مزوّدة بمشابك فم التمساح

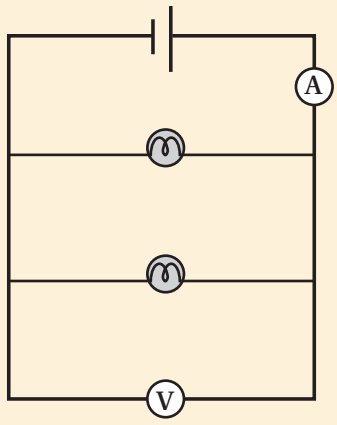
احتياطات السلامة

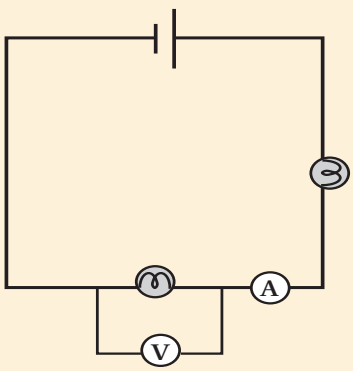
- **الخطورة الناجمة عن الصدمة الكهربائية قليلة؛ لأن شدة التيارات الكهربائية المستخدمة في هذه التجربة صغيرة. يجب ألا تنفذ هذه التجربة باستخدام تيار مُتردد؛ لأن هذا التيار قاتل.**
- **أمسك أطراف الأسلاك بحذر؛ لأنها قد تكون حادة، فتجرح جلدك.**

الخطوات

1. صِل قاعدتي المصباحين على التوالي بالأميتر ومصدر القدرة. راعِ التوصيل الصحيح للأقطاب عند وصْل الأميتر.
2. ركّب المصباحين في القاعدتين، وشغِّل مصدر القدرة، ثم اضبط مصدر القدرة حتى تصبح إضاءة المصباحين خافتة.
3. افصل أحد المصباحين، ودوّن ملاحظاتك في جدول بيانات تنشئه بنفسك.







4. ركّب المصباح مرة ثانية، وأوجد فرق الجهد بين طرفي النظام المكوّن من المصباحين، ثم دوّن قياساتك في جدول البيانات.

5. أوجد فرق الجهد بين طرفي كل مصباح منهما، ثم دوّن قياساتك في جدول البيانات.

6. صِل الأميتر بمواقع مختلفة في دائرة التوالي؛ لحساب شدة التيار المار في كلٍّ من: المصباح الأول، والمصباح الثاني، والدائرة، ودوّن شدة هذه التيارات في جدول البيانات.

7. صِل قاعدتي المصباحين على أن تكونا متصلتين على التوازي مع مصدر الجهد نفسه، وأن تكونا متصلتين على التوالي مع الأميتر.

8. ركّب المصباحين في القاعدتين، وشغِّل مصدر القدرة، ثم اضبط مصدر القدرة حتى تصبح إضاءة المصباحين خافتة، ودوّن قراءة التيار من الأميتر في جدول البيانات.

9. أوجد فرق الجهد وشدة التيار عبر الدائرة كلها، ثم عبْر كل مصباح، ودوّن القيم في جدول البيانات.

التحليل

1. احسب المقاومة المكافئة للمصباحين في دائرة التوالي.

2. احسب مقاومة كل مصباح في دائرة التوالي.

3. ما العلاقة بين المقاومة المكافئة للمصباحين ومقدار مقاومة كل منهما في دائرة التوالي؟

4. ما العلاقة بين فرق الجهد على طرفي كل مصباح وفرق الجهد على طرفي النظام المكوّن منهما عندما يكونان موصولين على التوالي؟

5. ما العلاقة بين شدة التيار المار في كل مصباح وشدة التيار المار في النظام في دوائر التوالي؟

6. احسب المقاومة المكافئة للمصباحين في دائرة التوازي.

7. احسب مقاومة كل مصباح في دائرة التوازي.

8. ما العلاقة بين المقاومة المكافئة للمصباحين ومقدار مقاومة كل منهما في دائرة التوازي؟

9. ما العلاقة بين فرق الجهد على طرفي كل مصباح وفرق الجهد على طرفي النظام المكوّن منهما عندما يكونان موصولين على التوازي؟

10. ما العلاقة بين شدة التيار المار في كل مصباح وشدة التيار المار في النظام في دائرة التوازي؟

الاستنتاج والتطبيق

1. لخِّص العلاقة لكل من شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوالي لكل مصباح وكذلك النظام؟

2. لخص العلاقة لكل من شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة في دائرة التوازي لكل مصباح وكذلك النظام.

التوسع في البحث

كرّر التجربة بتطبيق فروق جهد مختلفة على المصابيح، 1.5 V و3.0 V و6.0 V مثلاً.

الفيزياء في الحياة

1. تعمل المصابيح في معظم المنازل على فرق جهد 120 V بغض النظر عن عددها. كيف تتأثر مقدرتنا على استعمال أي عدد من المصابيح المتماثلة الجهد بطريقة التوصيل (توازٍ، أو توالٍ)؟

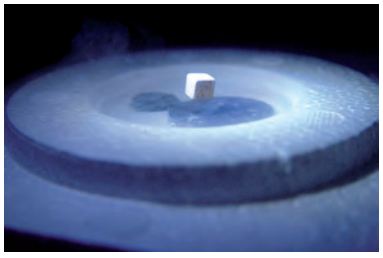
2. لماذا يخفت الضوء في المنزل عند تشغيل جهاز كهربائي يحتاج إلى تيار كبير، كالمكيّف مثلاً؟

لمزيد من المعلومات عن دوائر التوالي والتوازي الكهربائية ارجع إلى شبكة الإنترنت
أو قم بزيارة الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

الموصلات الفائقة التوصيل Superconductors

يتدفق التيار الكهربائي بسهولة عبر المواد الموصلة، وأهمها الفلزات، على الرغم من وجود بعض المقاومة لمروره خلالها، التي تؤدي إلى تسخين الموصل بفعل تصادمات الإلكترونات المتحركة (الحرة) مع ذرات الموصل أو الشوائب الموجودة فيه. وهذه المقاومة وما يترتب عليها تُسبِّب فقْد جزء مهم من الطاقة، مما يجعل تقليلها أو التخلص منها هدفًا مهمًّا في الكثير من التطبيقات.

ومن المعروف أنّ مقاومة الموصلات (الفلزات) تقل تدريجيًّا بانخفاض درجة حرارتها، وتكون العلاقة بينهما خطية في مدى واسع من درجات الحرارة، غير أنه في عام 1911 لاحظ عالم الفيزياء الهولندي هيك كامرلين أونيس، ومساعده، أن مقاومة مادة الزئبق النقي تلاشت فجأة عند تبريده إلى درجة حرارة تقارب 4 K، وكان ذلك إيذانًا باكتشاف ظاهرة مهمة عُرِفت "بالموصلية الفائقة"، وأُطلِق على المواد التي تُظهِر مثل هذه الخاصية **الموصلات الفائقة التوصيل Superconductors**؛ وهي فلزات أو مركّبات تنخفض مقاومتها فجأة إلى الصفر عند تبريدها إلى درجة حرارة معينة منخفضة جدًّا، تسمى درجة الحرارة الحرجة Critical temperature لهذه المادة. فمثلاً، يصبح الألومنيوم فائق التوصيل عند درجة حرارة 1.19 K (−271.96 °C)، وهي درجة الحرارة الحرجة له. ويوجد الآن الآلاف من الموصلات الفائقة التوصيل المعروفة والمكتشفة.



وتظهر **أهمية** هذه الموصلات الفائقة في عدم ضياع الطاقة الكهربائية؛ حيث إن التيار الكهربائي المار فيها لا يلاقي مقاومة، ومن ثم لا يحدث تسخين يسبب فقْد الطاقة. ولها ميزة أخرى لها مهمة، وهي طردها أو نبذها للمجال المغناطيسي؛ حيث يتنافر المغناطيس مع المادة الفائقة التوصيل، فعند تقريب مغناطيس من هذه المادة فإنها تولّد مجالاً مغناطيسيًّا معاكسًا لمجال المغناطيس، مما يؤدي إلى طفو المغناطيس فوقها.

ومن ميزات الموصلات الفائقة التوصيل أيضًا أنه عندما يسري فيها تيار كهربائي فإنه يستمر في المرور في الدائرة حتى بعد زوال فرق الجهد؛ لأن المقاومة صفر. وتبقى التيارات الكهربائية تسري في دائرة كهربائية مكونة من موصلات فائقة عدة سنوات دون أن يظهر أي نقصان في شدة التيار المار فيها.

ومن **استخدامات الموصلات الفائقة التوصيل** نقْل التيار الكهربائي دون ضياع للطاقة؛ بسبب انعدام مقاومتها. ولأنه يمكن أن يمر تيار كهربائي كبير في السلك المصنوع من المادة الفائقة التوصيل، ولأن للتيارات الكهربائية تأثيرات مغناطيسية فقد تم صُنع مغانط كهربائية من هذه الأسلاك مجالاتها المغناطيسية قوية جدًّا (مغانط فائقة الموصلية). فمثلاً تستخدم مغانط فائقة الموصلية في مسارعات الجسيمات Particle accelerators؛ لتسريع الجسيمات دون الذرية (وبخاصة البروتونات) إلى سرعات كبيرة جدًّا؛ تقارب سرعة الضوء، كما تُستخدم في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي MRI لتصوير أعضاء داخل جسم الإنسان، دون الحاجة لإجراء تدخّلات جراحية. وبخلاف الأشعة السينية التي قد تُتلِف أنسجة الجسم عند التصوير، فإن التصوير بالرنين المغناطيسي يستخدم مجالاً مغناطيسيًّا قويًّا وموجات راديوية، كما تُستخدم أيضًا في قطارات الرفع المغناطيسي Maglev train الفائقة السرعة؛ لرفْع عربة القطار بضعة سنتمترات فوق السكة باستخدام تقنيات مختلفة.

وما زالت استخدامات الموصلات الفائقة محدودة نسبيًّا؛ لأنها لا تكون فائقة التوصيل عند درجة حرارة الغرفة أو ما يقاربها، فدرجة الحرارة الحرجة للموصلات الفائقة المعروفة متدنية جدًّا، وقريبة من الصفر المطلق (−273.15 °C)، وهذه الدرجات يصعب تحقيقها والمحافظة على ثباتها، ولو أمكن الحصول على موصلات فائقة عند درجة حرارة الغرفة، سيكون أثرها في التطبيقات العلمية والعملية (التكنولوجيا) وتطورها هائلاً جدًّا.

وقد اكتشف العلماء مؤخرًا موصلات فائقة التوصيل عند درجات حرارة مرتفعة نسبيًّا؛ بعضها عند درجة حرارة أكبر من 30 K، وأخرى عند درجات حرارة أعلى، مثل 150 K (−123.15 °C)، ولكن تبقى المشكلة أن درجات الحرارة هذه لا تزال منخفضة جدًّا؛ لذا استمر البحث عن مواد لها ميزات فائقة الموصلية عند درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة.

التوسع

1. **حلل واستنتج** ما الصعوبات التي تواجه استخدام الموصلات الفائقة التوصيل على نحوٍ واسع؟
2. **التفكير الناقد** كيف تُستخدم المغانط الفائقة الموصلية في قطارات الرفع المغناطيسي Maglev train؟

الوحدة 4

دليل مراجعة الوحدة

4–1 فرق الجهد وشدة التيار والمقاومة Potential difference, electric current, and resistance

المفردات

- الشغل
- فرق الجهد الكهربائي
- المواد العازلة
- أشباه الموصلات
- المواد الموصلة
- شدة التيار الكهربائي
- التيار الكهربائي المستمر
- التيار الكهربائي المتردد
- قانون أوم
- الأوم
- المقاومة النوعية
- الموصلية
- المواد الفائقة التوصيل

المفاهيم الرئيسة

- الشغل هو ناتج ضرب القوة F المؤثرة في جسم في المسافة d التي يتحركها الجسم في اتجاه القوة.
- يُعرّف فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين ΔV بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بسرعة ثابتة بين نقطتين في مجال كهربائي مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.
- تقاس شدة التيار الكهربائي بوحدة الأمبير، بينما يقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت.
- يستخدم جهاز الأميتر لقياس شدة التيار الكهربائي، بينما يستخدم الفولتميتر لقياس فرق الجهد الكهربائي.
- تتميز المواد العازلة بمقاومة كبيرة لمرور الشحنات الكهربائية خلالها، بينما أشباه الموصلات فهي مواد صلبة مقاومتها لمرور الشحنات الكهربائية خلالها تقع بين المواد الموصلة والمواد العازلة. أما المواد الموصلة فتحتوي على عدد كبير من الشحنات الكهربائية حرة الحركة أكثر من غيرها من المواد.
- شدة التيار الكهربائي هي المعدل الزمني لتدفق الشحنات الكهربائية في مقطع الموصل.
- التيار الكهربائي المستمر هو تيار ثابت الاتجاه، وقد يكون مقداره ثابتًا أو متغيرًا، وذلك اعتمادًا على المصدر الذي ولّده. أما التيار الكهربائي المتردد فهو تيار يتغير مقداره واتجاه سريانه بشكل دوري.
- المقاومة الكهربائية تساوي فرق الجهد الكهربائي مقسومًا على شدة التيار، وتقاس بوحدة الأوم Ω.
- ينص قانون أوم على أن شدة التيار الكهربائي المار في موصل تتناسب طرديًّا مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة حرارته.
- معظم الموصلات الفلزية تحقق قانون أوم ضمن حدود معينة وتسمى موصلات أومية.
- الموصلات التي لا تحقق قانون أوم تسمى موصلات غير أومية.
- المقاومة النوعية لمادة ما ثابتة عند درجة حرارة محددة، وتعرف المقاومة النوعية بأنها مقاومة موصل طوله 1 m ومساحة مقطعه $1\ m^2$، وتقاس بوحدة Ω.m.
- الموصلية هي مقياس لسماحية الموصل لمرور التيار الكهربائي خلاله، وتساوي مقلوب المقاومة النوعية.

الوحدة 4

دليل مراجعة الوحدة

4–2 القدرة الكهربائية والدوائر الكهربائية Electrical power and electric circuits

المفردات

- القدرة الكهربائية
- الجول
- مقياس الجول
- الواط
- دائرة التوالي
- المقاومة المكافئة
- دائرة التوازي
- القوة الدافعة الكهربائية
- دائرة القصر

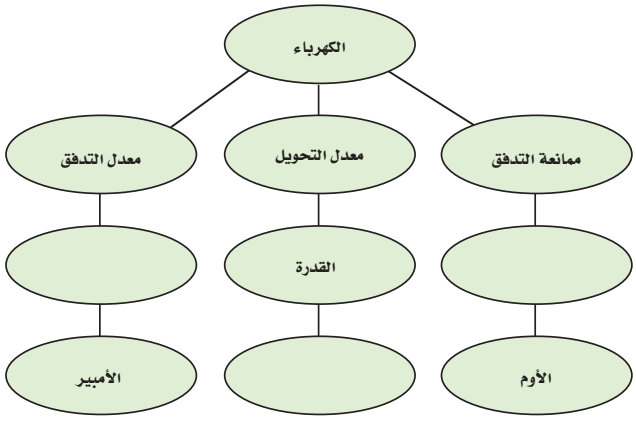
المفاهيم الرئيسة

- القدرة الكهربائية تساوي شدة التيار الكهربائي مضروبة في فرق الجهد، وتقاس بوحدة الواط W.
- تُقاس الطاقة المحوّلة بوحدة الجول.
- مقياس الجول هو جهاز لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال مدة معينة.
- يُعرف الواط بأنه قدرة آلة أو جهاز تحوّل طاقة مقدارها 1 J خلال ثانية واحدة.
- الطاقة الحرارية تساوي القدرة المستهلكة مضروبة في الزمن.
- الدائرة الكهربائية مسار مغلق يحوي مصدرًا للقدرة ومقاومة كهربائية.
- في التوصيل على التوالي للمقاومات يكون التيار ثابتًا، والمقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات، بينما عند توصيلها على التوازي فإن فرق الجهد يكون ثابتًا، ويكون مقلوب المقاومة المكافئة مساويًا لمجموع مقلوب المقاومات.
- القوة الدافعة الكهربائية لمصدر، $\mathcal{E}$، تساوي الطاقة التي يعطيها مصدر القدرة لكل شحنة مقدارها +1 C تمر عبره.
- تحدث دائرة القصر في الدائرة الكهربائية، عندما تصبح المقاومة الكلية صغيرة جدًّا، ويكون التيار المار فيها كبيرًا جدًّا.

الوحدة 4
التقويم

خريطة المفاهيم

41. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات التالية: الواط، التيار، المقاومة.



إتقان المفاهيم

42. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟

43. ارسم بعض خطوط المجال الكهربائي لكلٍّ من الحالات التالية:

a. شحنتين متساويتين في المقدار ومتماثلتين في النوع.

b. شحنتين مختلفتين في النوع ولهما المقدار نفسه.

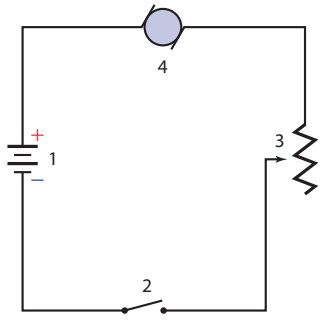
c. لوحين متوازيين مختلفين في الشحنة.

44. كيف تتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟

45. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، وفْق النظام الدولي للوحدات SI؟

46. عرّف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة تتحرك في مجال كهربائي.

ارجع إلى **الشكل 30–4** للإجابة عن الأسئلة ***47–50***.



الشكل 30–4

47. كيف يجب وصْل فولتميتر في الشكل لقياس جهد المحرك؟

48. كيف يجب وصْل أميتر في الشكل لقياس تيار المحرك؟

49. ما اتجاه التيار الاصطلاحي في المحرك؟

50. ما رقم الأداة التي:

a. تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية؟

b. تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية؟

c. تعمل على فتْح الدائرة وإغلاقها؟

d. تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية؟

51. صِفْ تحوّلات الطاقة التي تحدث في الأدوات التالية:

a. مصباح كهربائي متوهّج.

b. مجفّفة ملابس.

c. مذياع رقمي مزوّد بساعة.

52. عند عمل دائرة قصر لبطارية بوصْل طرفي سلك نحاسي بقطبي البطارية ترتفع درجة حرارة السلك. فسّر لماذا يحدث ذلك.

53. اشتقّ وحدة القدرة الكهربائية بدلالة الوحدات الأساسية MKS.

تقويم الوحدة 4

54. لماذا تنطفئ جميع المصابيح الموصولة على التوالي إذا احترق أحدها؟

55. إذا وصِلت مجموعة مقاومات مختلفة في قيمها على التوازي، فكيف تُقَارن قيمة كل منها بالمقاومة المكافئة للمجموعة؟

56. لماذا يُصمّم الأميتر بحيث تكون مقاومته صغيرة جدًّا؟

57. لماذا يُصمّم الفولتميتر بحيث تكون مقاومته كبيرة جدًّا؟

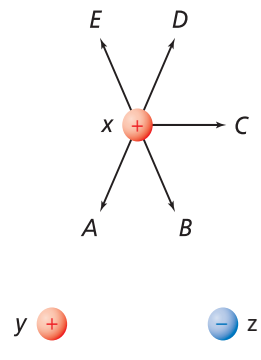
58. كيف تختلف طريقة توصيل الأميتر في دائرة كهربائية عن طريقة توصيل الفولتميتر في الدائرة نفسها؟

59. ما العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية لمصدر قدرة وفرق الجهد بين طرفيه؟

تطبيق المفاهيم

60. ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربائية لجسيم مشحون موجود داخل مجال كهربائي عندما يُطلق الجسيم ليصبح حُرَّ الحركة؟

61. يبيّن **الشكل 31–4** ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه بالشحنات الموضّحة في الشكل. الكرتان y و z ثابتتان في مكانيهما، والكرة x حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y وz في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه، مفترضًا أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.



الشكل 31–4

62. **المصابيح الكهربائية** يعمل مصباحان كهربائيان في دائرة كهربائية فرق جهدها 120 V. إذا كانت قدرة أحدهما 50 W والآخر 100 W، فأيّ المصباحين مقاومته أكبر؟ وضّح إجابتك.

63. **قانون أوم** وجدت سارة أداة تُشبه مقاومة. عندما وصلت هذه الأداة ببطارية فرق جهدها 1.5 V مرَّ فيها تيار شدته 45×10^{-6} A فقط، ولكن عندما استخدمت بطارية جهدها 3.0 V مر فيها تيار شدته 25×10^{-3} A، فهل تحقّق هذه الأداة قانون أوم؟

64. صِف طريقتين لزيادة شدة التيار في دائرة كهربائية.

65. إذا ثُبّت فرق الجهد في دائرة كهربائية، وتمت مضاعفة مقدار المقاومة، فما تأثير ذلك في شدة تيار الدائرة؟

66. سلكان أحدهما مقاومته كبيرة والآخر مقاومته صغيرة. إذا وصِل كل منهما بقطبي بطارية جهدها 6.0 V، فأي السلكين قدرته الكهربائية أكبر (يُنتج طاقة بمعدل أكبر)؟ ولماذا؟

67. تحتوي دائرة كهربائية على ثلاثة مصابيح كهربائية موصولة على التوالي. ماذا يحدث لشدة التيار المار في مصباحين من هذه المصابيح إذا احترق فتيل المصباح الثالث؟

68. تحتوي دائرة كهربائية على ثلاثة مصابيح كهربائية موصولة على التوازي. ماذا يحدث لشدة التيار المار في مصباحين من هذه المصابيح إذا احترق فتيل المصباح الثالث؟

69. إذا كان لديك بطارية جهدها 6 V وعدد من المصابيح جهد كلٍّ منها 1.5 V، فكيف تصل المصابيح بحيث تضيء، على ألا يزيد فرق الجهد بين طرفي كلٍّ منها على 1.5 V؟

تقويم الوحدة 4

70. مصباحان كهربائيّان مقاومة أحدهما أكبر من مقاومة الآخر. أجب عمّا يلي:

a. إذا وصل المصباحان على التوازي فأيُّهما يكون سطوعه أكبر (أيْ أيُّهما يستنفد قدرة أكبر)؟

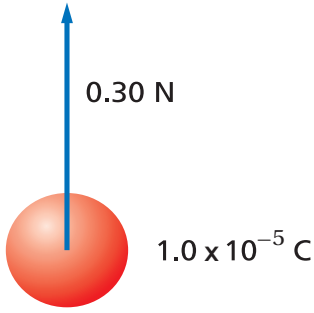
b. إذا وصِل المصباحان على التوالي فأيهما يكون سطوعه أكبر؟

إتقان حلّ المسائل

4–1 فرق الجهد وشدة التيار والمقاومة

71. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها $1.4 \times 10^{-8}\ \text{N}$ عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها $5.0 \times 10^{-4}\ \text{N}$؟

72. يوضّح **الشكل 4–32** شحنة موجبة مقدارها $1.0 \times 10^{-5}\ \text{C}$، تتعرض لقوة 0.30 N، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟



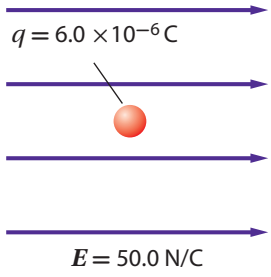
الشكل 4–32

73. ارسم بدقة الحالات التالية:

a. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة مقدارها $+1.0\ \mu\text{C}$.

b. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة $+2.0\ \mu\text{C}$

74. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها $6.0 \times 10^{-6}\ \text{C}$ في مجال كهربائي شدته $50.0\ \text{N/C}$، كما هو موضّح في **الشكل 4–33**. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟



الشكل 4–33

75. **مجفّفات الملابس** وُصِلت مجفّفة ملابس قدرتها 4200 W بدائرة كهربائية جهدها 220 V، احسب شدة التيار المار فيها.

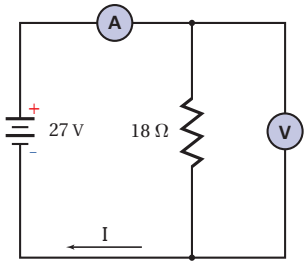
76. ارجع إلى **الشكل 4–34** للإجابة عن الأسئلة التالية:

a. ما قراءة الأميتر؟

b. ما قراءة الفولتميتر؟

c. ما مقدار القدرة الواصلة إلى المقاومة؟

d. ما مقدار الطاقة التي تصل إلى المقاومة كل ساعة؟



الشكل 4–34

77. يمثل الرسم البياني في **الشكل 4–35** العلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار المار في جهاز يسمى الصمام الثنائي (الدايود) وهو مصنوع من السليكون. أجب

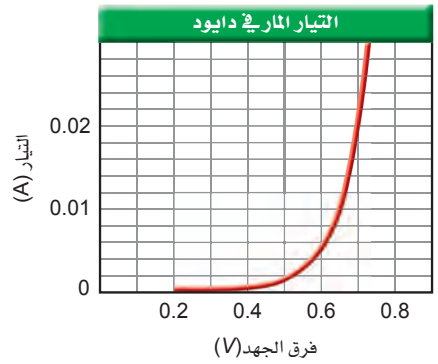
تقويم الوحدة 4

عن الأسئلة التالية:

a. إذا وصِل الدايود بفرق جهد مقداره 0.70 V فما مقدار مقاومته؟

b. ما مقدار مقاومة الدايود عند اللحظة التي يكون فيها فرق الجهد 0.60 V؟

c. هل يُحقّق الدايود قانون أوم؟



الشكل 4–35

4–2 القدرة الكهربائية والدوائر الكهربائية

78. يمر تيار كهربائي شدته 0.50 A في مصباح متصل بمصدر فرق جهد 120 V، احسب مقدار:

a. القدرة الواصلة.

b. الطاقة التي يتم تحويلها خلال 5.0 min.

79. **المصابيح اليدوية** إذا وصِل مصباح يدوي بفرق جهد 3.0 V، فمرّ فيه تيار شدته 1.5 A:

a. فما معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في المصباح؟

b. وما مقدار الطاقة الكهربائية التي يحولها المصباح خلال 11 min؟

80. ارسم رسمًا تخطيطيًّا لدائرة توالٍ كهربائية تحوي مقاومة مقدارها 16 Ω، وبطارية، مع أميتر قراءته 1.75 A، حدّد كلًّا من الطرف الموجب للبطارية وجهدها، والطرف الموجب للأميتر، واتجاه التيار الاصطلاحي.

81. يمر تيار كهربائي شدته 66 mA في مصباح عند توصيله ببطارية فرق جهدها 6.0 V، ويمر فيه تيار شدته 75 mA عند استخدم بطارية فرق جهدها 9.0 V، أجب عن الأسئلة التالية:

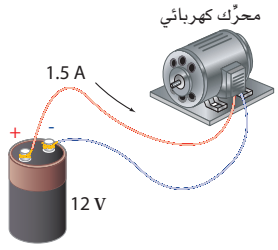
a. هل يحقّق المصباح قانون أوم؟

b. ما مقدار القدرة المستنفدة في المصباح عند توصيله ببطارية 6.0 V ؟

82. وُصِل محرك ببطارية جهدها 12 V كما هو موضّح في **الشكل 4–36**. احسب مقدار:

a. القدرة التي تصل إلى المحرك.

b. الطاقة المُحوَّلة إذا تم تشغيل المحرك 15 min.

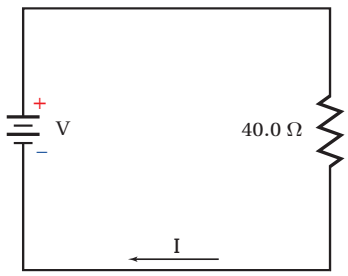


الشكل 4–36

83. ما شدة أكبر تيار ينتج عن قدرة كهربائية مقدارها 5.0 W في مقاومة مقدارها 220 Ω ؟

84. في الدائرة الموضّحة في **الشكل 4–37** تبلغ أكبر قدرة كهربائية آمنة 50.0 W. استخدم الشكل لإيجاد كل مما يلي:

a. أكبر تيار آمن. **b.** أكبر جهد آمن.



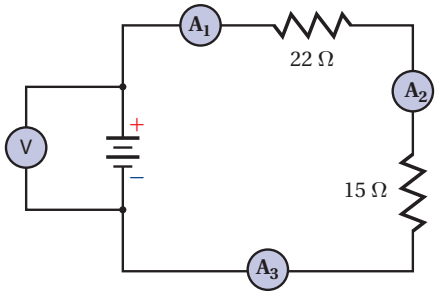
الشكل 4–37

تقويم الوحدة 4

85. إذا كانت قراءة الأميتر A_1 الموضح في **الشكل 4–38** تساوي 0.20 A، فما مقدار:

a. قراءة الأميتر A_2؟

b. قراءة الأميتر A_3؟



الشكل 4–38

86. إذا كانت قراءة الأميتر A_1 في **الشكل 4–38** تساوي 0.20 A فما مقدار:

a. المقاومة المكافئة للدائرة؟

b. جهد البطارية؟

c. القدرة المستنفدة في المقاومة 22 Ω ؟

d. القدرة الناتجة عن البطارية؟

87. إذا كانت قراءة الأميتر A_2 الموضّح في **الشكل 4–38** تساوي 0.50 A فاحسب مقدار:

a. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 22 Ω.

b. فرق الجهد بين طرفي المقاومة 15 Ω.

c. جهد البطارية.

88. وصِلت مقاومتان 16.0 Ω و20.0 Ω، على التوازي بمصدر جهد مقداره 40.0 V، احسب مقدار:

a. المقاومة المكافئة لدائرة التوازي.

b. شدة التيار الكلي المار في الدائرة.

c. شدة التيار المار في المقاومة 16.0 Ω.

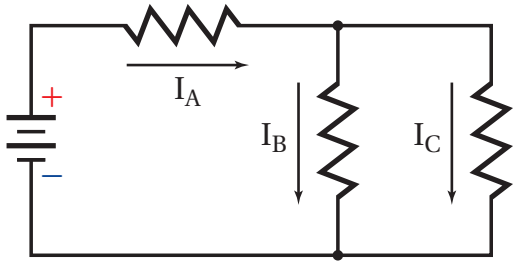
*ارجع إلى **الشكل 4–39** للإجابة عن الأسئلة **89–92**.*

89. إذا كان مقدار كل مقاومة من المقاومات الموضّحة في الشكل يساوي 30.0 Ω فاحسب المقاومة المكافئة.

90. إذا استنفدت كل مقاومة 120 mW فاحسب القدرة الكلية المستنفدة.

91. إذا كان $I_A = 13\ mA$ و $I_B = 1.7\ mA$ فما مقدار I_C؟

92. بافتراض أن $I_C = 1.7\ mA$ و $I_B = 13\ mA$، فما مقدار I_A؟



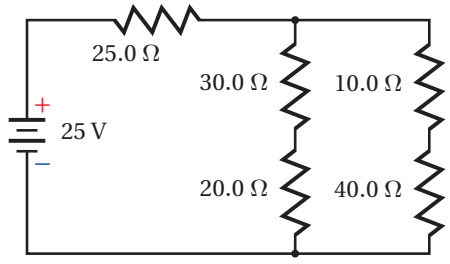
الشكل 4–39

93. بالرجوع إلى **الشكل 4–40** أجب عما يلي:

a. ما مقدار المقاومة المكافئة؟

b. احسب شدة التيار المار في المقاومة 25 Ω.

c. أي المقاومات يكون أسخن، وأيها يكون أبرد؟



الشكل 4–40

94. **القوة الدافعة وفرق الجهد** يوضح **الشكل 4–41** مخطط دائرة كهربائية تحتوي مجموعة من البطاريات والمقاومات الموصولة معًا. إذا كانت قراءة الأميتر A_1 تساوي 1.2 A، وقراءة الفولتميتر $V_1 = 23.6$،

تقويم الوحدة 4

والقـوة الدافعـة الكهربائية لـكل مـن البطاريتين $\mathcal{E}_2$ و$\mathcal{E}_3$ تسـاوي 12 V، ومسـتعينًا بالبيانـات المثبتـة على المخطط أجب عما يلي:

a. ما شدة التيار الكهربائي الكلي المار في الدائرة؟

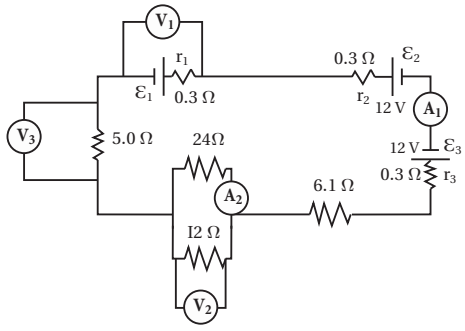
b. ما القوة الدافعة الكهربائية للبطارية $\mathcal{E}_1$؟

c. ما فرق الجهد بين طرفي البطارية $\mathcal{E}_2$؟

d. ما فرق الجهد بين طرفي المقاومة 12 Ω؟

e. ما شدة التيار الكهربائي المار في المقاومة 24 Ω؟

f. ما فرق الجهد بين طرفي المقاومة 5.0 Ω؟



الشكل 4–41

مراجعة عامة

95. وصِلت مقاومة مقدارها 6.0 Ω ببطارية قوتها الدافعة الكهربائية 15 V، ومقاومتها الداخلية 0.50 Ω.

a. ما شدة التيار المار في الدائرة؟

b. ما فرق الجهد بين طرفي البطارية؟

c. مـا مقـدار الطاقـة الحراريـــة الناتجـــة خـلال 10.0 min؟

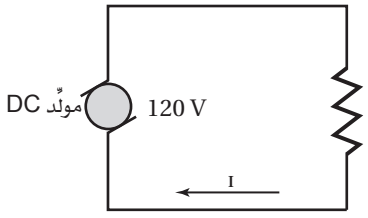
96. **المصابيـح الكهربائيـة** تبلغ مقاومة مصبـاح كهربائي متوهّـج 10.0 Ω قبـل إنارته، وتُصبـح 40.0 Ω عند إنارته بتوصيله بمصدر فرق جهد 120 V. أجب عن الأسئلة التالية:

a. مـا شـدة التيار الذي يمـر في المصباح لحظـة إنارته (التيار اللحظي)؟

b. ما شدة التيار الذي يمر في المصباح بعد إنارته؟

c. متى يَستهلِك المصباح أكبر قدرة كهربائية؟

97. يبين **الشـكل 4–42** دائرة كهربائية بسيطة تحتوي على مولّـد DC، ومقاومـة. فإذا كانت المقاومة في الرسـم تمثل مُجفّف شـعر مقاومته 8.5 Ω، فما شدة التيار المار في الدائـرة؟ وما مقدار الطاقة التي يسـتهلكها مجفف الشعر إذا تم تشغيله 2.5 min؟



الشكل 4–42

98. صِف طريقتين لزيادة التيار في دائرة كهربائية.

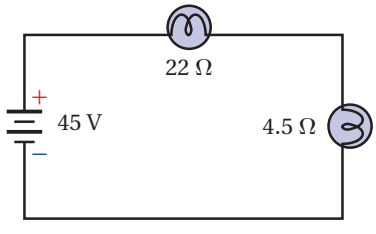
99. وصِـل مصباحـان مقاومـة الأول 22 Ω ومقاومـة الثاني 4.5 Ω عـلى التـوالي بمصدر فرق جهد مقـداره 45 V، كما هو موضّح في **الشكل 4–43**. احسب:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

b. شدة التيار المار في الدائرة.

c. مقدار الهبوط في الجهد في كل مصباح.

d. القدرة المستهلكة في كل مصباح.



الشكل 4–43

تقويم الوحدة 4

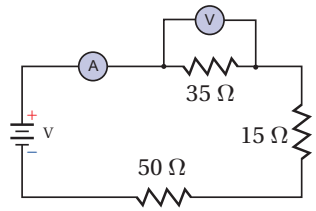
100. إذا كانت قراءة الفولتميتر الموضّح في **الشكل 44–4** تساوي 70.0 V، فأجب عن الأسئلة التالية:

a. ما مقدار قراءة الأميتر؟

b. أي المقاومات أسخن؟

c. أي المقاومات أبرد؟

d. ما القدرة المزوّدة بواسطة البطارية؟



الشكل 44–4

101. إذا كان جهد البطارية الموضحة في **الشكل 45–4** يساوي 110 V، فأجب عن الأسئلة التالية:

a. ما قراءة الأميتر A_1؟

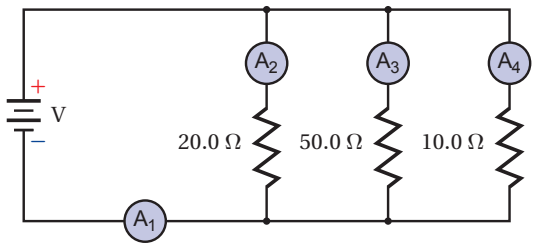
b. ما قراءة الأميتر A_2؟

c. ما قراءة الأميتر A_3؟

d. ما قراءة الأميتر A_4؟

e. أي المقاومات أسخن؟

f. أي المقاومات أبرد؟



الشكل 45–4

102. إذا كانت قراءة الأميتر A_3 الموضح في **الشكل 45–4** تساوي 0.40 A، فما:

a. مقدار جهد البطارية؟

b. قراءة الأميتر A_1؟

c. قراءة الأميتر A_2؟

d. قراءة الأميتر A_4؟

103. ما اتجاه التيار الاصطلاحي المار في المقاومة 50.0 Ω الموضّح في **الشكل 45–4**؟

104. إذا وُجِد هبوطان في الجهد في دائرة توالٍ كهربائية مقداراهما: 3.50 V و4.90 V، فما مقدار جهد المصدر؟

105. احسب القيمة العظمى للجهد الآمن الذي يمكن تطبيقه على المقاومات الثلاث الموصولة على التوالي، والموضّحة في **الشكل 46–4**، إذا كانت قدرة كلٍّ منها 5.0 W.

الشكل 46–4

106. وصلت ثلاث مقاومات مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية 12 V كما هو موضح في **الشكل 47–4**. مستعينًا بالبيانات المثبتة على الشكل أوجد:

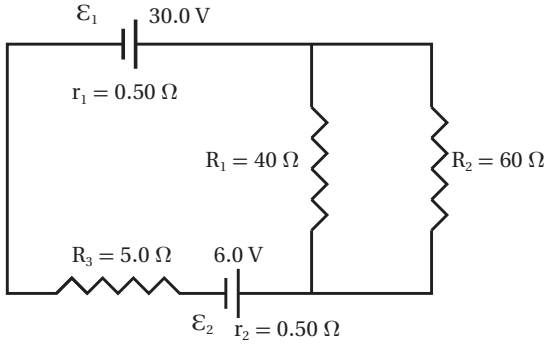
a. المقاومة المكافئة للدائرة.

b. شدة التيار الكهربائي المار في المقاومة R_3.

c. فرق الجهد بين طرفي البطارية $\mathcal{E}_1$.

d. القدرة المستنفدة في المقاومة R_3.

e. الطاقة الحرارية الناتجة في المقاومة R_2 بعد 10 min من مرور التيار الكهربائي فيها.



الشكل 47–4

تقويم الوحدة 4

التفكير الناقد

107. **تطبيق المفاهيم** تتراوح أحجام مقاومة مقدارها 10 Ω بين رأس دبوس ووعاء حساء. وضح ذلك.

108. **تطبيق الرياضيات** اشتق علاقة لحساب المقاومة المكافئة في كل من الحالات التالية:

a. مقاومتان متساويتان موصولتان معًا على التوازي.

b. ثلاث مقاومات متساوية موصولة معًا على التوازي.

c. عدد N من مقاومات متساوية موصولة معًا على التوازي.

109. **تطبيق المفاهيم** صمّم دائرة كهربائية يمكنها إضاءة 12 مصباحًا متماثلًا، بكامل شدتها الضوئية الصحيحة بواسطة بطارية جهدها 48 V، لكل حالة مما يلي:

a. يقتضي التصميم A أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح تبقى المصابيح الأخرى مضيئة.

b. يقتضي التصميم B أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح تضيء المصابيح الأخرى التي بقيت تعمل بكامل شدتها الضوئية الصحيحة.

c. يقتضي التصميم C أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح ينطفئ مصباح آخر.

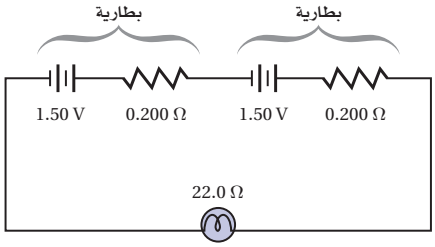
d. يقتضي التصميم D أنه إذا احترقت فتيلة أحد المصابيح فإما أن ينطفئ مصباحان وإما لا ينطفئ أي مصباح في الدائرة.

110. **تطبيق المفاهيم** تتكوّن بطارية من مصدر فرق جهد مثالي يتصل بمقاومة صغيرة على التوالي. تنتج الطاقة الكهربائية للبطارية عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث فيها، وينتج أيضًا عن هذه التفاعلات مقاومة صغيرة لا يمكن إلغاؤها بالكامل أو تجاهلها. فإذا علمت أن مصباحًا كهربائيًّا يدويًّا يحتوي على بطاريتين موصولتين على التوالي كما هو موضّح في **الشكل 48–4**، وفرق جهد كلٍّ منهما يساوي 1.50 V، ومقاومتها الداخلية 0.200 Ω، ومقاومة المصباح 22.0 Ω، فأجب عمّا يلي:

a. ما شدة التيار المار في المصباح؟

b. ما القدرة المستنفدة في المصباح؟

c. إذا أُهملت المقاومة الداخلية للبطاريتين، فما الزيادة في القدرة المستنفدة؟



الشكل 48–4

الكتابة في الفيزياء

111. تتمدد المادة عند تسخينها. ابحث في العلاقة بين التمدد الحراري وأسلاك التوصيل المستخدمة لنقل الجهد العالي.

مراجعة تراكمية

112. إذا قلّت شدة التيار المار في دائرة كهربائية فرق الجهد فيها 12 V من 0.55 A إلى 0.44 A، فاحسب التغير في المقاومة.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. إذا تأثرت شحنة مقدارها $2.1\times10^{-9}\ C$ بقوة مقدارها $14\ N$، فما شدة المجال الكهربائي المؤثر؟

(A) $0.15\times10^{-9}\ N/C$

(B) $6.7\times10^{-9}\ N/C$

(C) $29\times10^{-9}\ N/C$

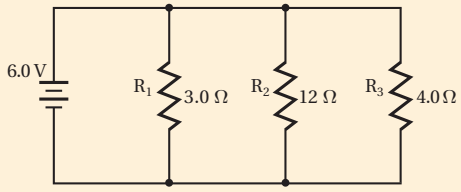
(D) $6.7\times10^{9}\ N/C$

2. إذا وصلت مقاومة مقدارها $5.0\ \Omega$ ببطارية جهدها $9.0\ V$، فما مقدار الطاقة الحرارية الناتجة خلال $7.5\ min$؟

(A) $1.2\times10^{2}\ J$ (C) $3.0\times10^{3}\ J$

(B) $1.3\times10^{3}\ J$ (D) $7.3\times10^{3}\ J$

*استخدم الرسم التخطيطي أدناه الذي يمثّل دائرة كهربائية للإجابة عن الأسئلة **3–6**.*



3. ما مقدار المقاومة المكافئة للدائرة؟

(A) $\frac{1}{19}\ \Omega$ (C) $1.5\ \Omega$

(B) $1.0\ \Omega$ (D) $19\ \Omega$

4. ما شدة التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

(A) $0.32\ A$ (C) $1.2\ A$

(B) $0.80\ A$ (D) $4.0\ A$

5. ما شدة التيار الكهربائي المار في المقاومة R_3؟

(A) $0.32\ A$ (C) $2.0\ A$

(B) $1.5\ A$ (D) $4.0\ A$

6. ما مقدار قراءة فولتميتر يوصل بين طرفي المقاومة R_2؟

(A) $0.32\ V$ (C) $3.8\ V$

(B) $1.5\ V$ (D) $6.0\ V$

7. أيّ العبارات التالية صحيحة؟

(A) مقاومة الأميتر المثالي كبيرة جدًّا.

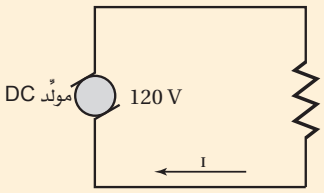
(B) مقاومة الفولتميتر المثالي صغيرة جدًّا.

(C) مقاومة الأميترات تساوي صفرًا.

(D) تُسبّب الفولتميترات تغيرات صغيرة في التيار.

الأسئلة الممتدة

8. يبين الرسم أدناه دائرة كهربائية بسيطة تحتوي على مولّد DC، ومقاومة. فإذا كانت المقاومة في الرسم تمثل مُجفّف شعر مقاومته $8.5\ \Omega$، فما شدة التيار المار في الدائرة؟ وما مقدار الطاقة التي يستهلكها مجفف الشعر إذا تم تشغيله $2.5\ min$؟



9. يقيم حامد حفلاً ليليًّا، ولإضاءة الحفل وصل 15 مصباحًا كهربائيًّا كبيرًا ببطارية سيارة جهدها $12.0\ V$، وعند وصْل هذه المصابيح بالبطارية لم تُضئ، وأظهرت قراءة الأميتر أن شدة التيار المار في المصابيح $0.350\ A$، فإذا احتاجت المصابيح إلى تيار شدته $0.500\ A$، لكي تُضيء، فكم مصباحًا عليه أن يفصل من الدائرة؟

✓ إرشاد

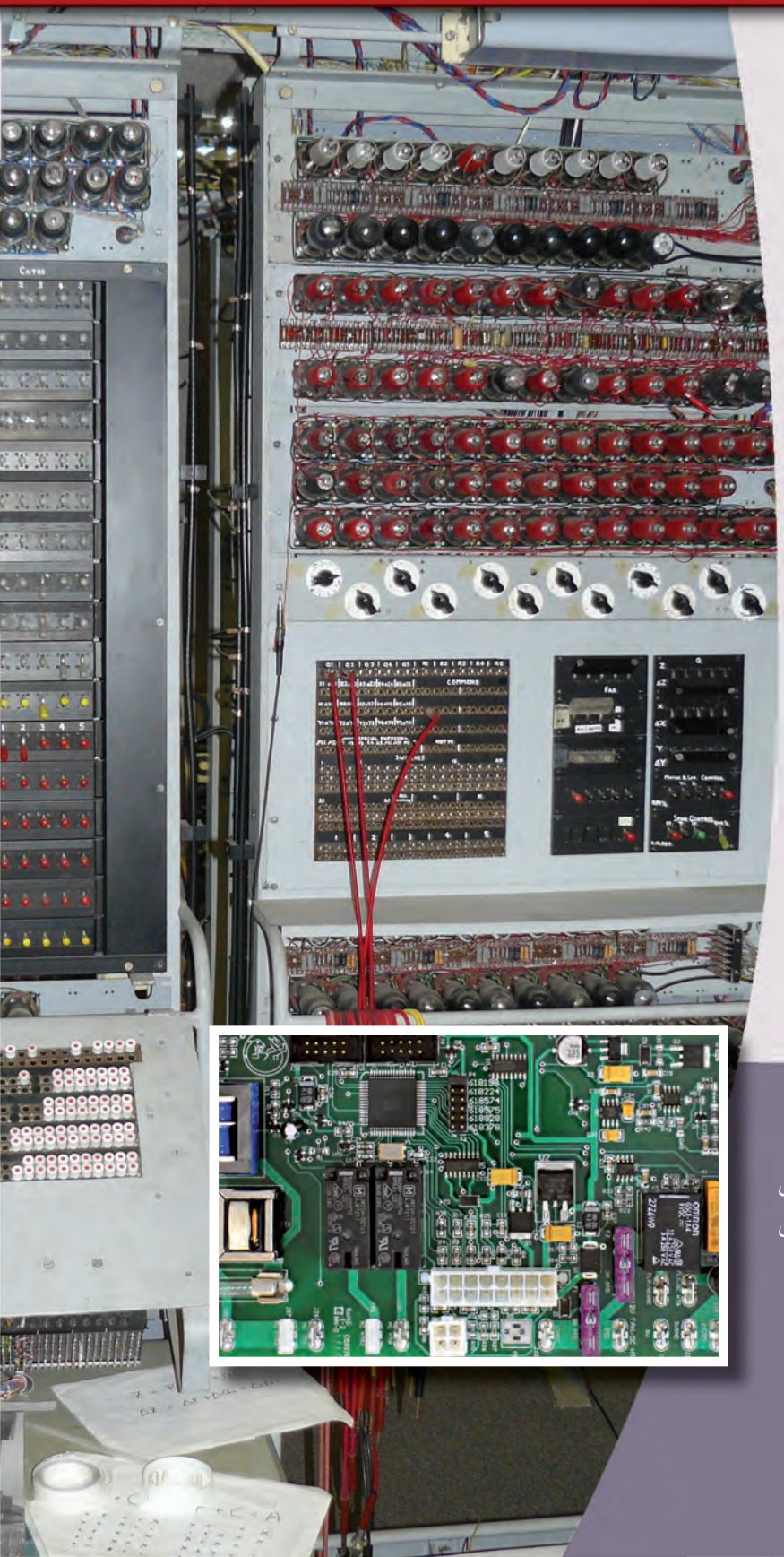
حاول أن تتخطّى

قد ترغب في تخطّي المسائل الصعبة وتعود إليها لاحقًا. إن إجابتك عن الأسئلة السهلة قد تساعدك على الإجابة عن الأسئلة التي تخطيتها.

الوحدة 5

الأجهزة الإلكترونية ودوائر التحكم

Electronic devices and control circuits



رقمُ الوحدةِ: 11FP.5

ما الذي ستتعلمه في هذه الوحدة؟

- التمييز بين الموصلات وأشباه الموصلات والعوازل الكهربائية.
- معرفة كيفية تعديل أشباه الموصلات النقية؛ لإكسابها خصائص كهربائية معينة.
- التعرف على مبدأ عمل العديد من العناصر الإلكترونية، ومنها: المكثف، ومجزئ الجهد، والثرمستور، والمقاوم الضوئي، والدايود، والترانزستور.
- التعرف على البوابات المنطقية، ودورها في دوائر التحكم الكهربائية.

الأهمية

استَخدَمت حواسيب الجيل الأول الأنابيبَ المفرَّغة (الصمامات)؛ التي تمرّر التيار في الدوائر الكهربائية أو توقفه دون مفتاح كهربائي ميكانيكي، وكانت الصمامات كبيرة الحجم ويلزم أن تَسْخن لتعمل، فكانت الأجهزة الإلكترونية ضخمة وتستهلك طاقة كبيرة. وباكتشاف الخصائص الكهربائية لأشباه الموصلات التي تجعلها تعمل موصلات في اتجاه واحد، وتضخّم الإشارات الكهربائية، استُخدمت الترانزستورات المصنوعة من أشباه الموصلات بدلاً من الصمامات.

فكِّر

قد تكون رقاقة السليكون الميكروية صغيرة الحجم، إلا أنها تحتوي على ملايين المقاومات والدايودات والترانزستورات. فكيف يمكن لهذا المستوى من التعقيد أن يوجد في مثل هذا التركيب الصغير؟

5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة
Electric Conduction in Solids

معايير الأداء الرئيسة

10A.30.1

معايير البحث والاستقصاء العلمي

1.8

الأهداف

- **تصف** حركة الإلكترون في الموصلات وأشباه الموصلات الكهربائية.
- **تقارن** بين أشباه الموصلات من النوع n وأشباه الموصلات من النوع p.

المفردات

- أشباه الموصلات — Semiconductors
- نظرية الأحزمة — Band theory
- أشباه الموصلات النقية — Intrinsic semiconductors
- الشوائب — Dopants
- أشباه الموصلات غير النقية — Extrinsic semiconductors

لا تعتمد الأدوات الإلكترونية على الموصلات والعوازل الطبيعية فقط، ولكنها تعتمد أيضًا على مواد أخرى صممت وأنتجت بجهد وعمل مشترك من العلماء والمهندسين. وفي هذه الوحدة ستدرس كيفية توصيل المواد للكهرباء.

يعود الفضل في عمل جميع الأدوات الإلكترونية إلى أنابيب التفريغ (الصمامات) التي استخدمت في بدايات القرن العشرين؛ حيث تتدفق الإلكترونات خلال الفراغ في أنابيب التفريغ لتكبير الإشارات الكهربائية الضعيفة وضبطها. وكانت أنابيب الغازات المخلخلة المستخدمة كبيرة، مما يتطلب قدرة كهربائية كبيرة، وبسبب احتوائها على فتائل التسخين كانت تنتج كمية كبيرة من الحرارة، مما يتطلب استبدالها خلال سنة إلى خمس سنوات. وفي أواخر أربعينيات القرن الماضي اختُرعت أدوات الحالة الصلبة، التي يمكن أن تقوم بوظيفة أنابيب التفريغ نفسها. وصُنعت هذه الأدوات من مواد تسمّى **أشباه الموصلات Semiconductors**، ومنها: السليكون، والجرمانيوم.

تجربة استهلالية

ما الفرق بين الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات؟

سؤال التجربة كيف تؤثر الحرارة في التوصيل الكهربائي لكلٍّ من الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات؟

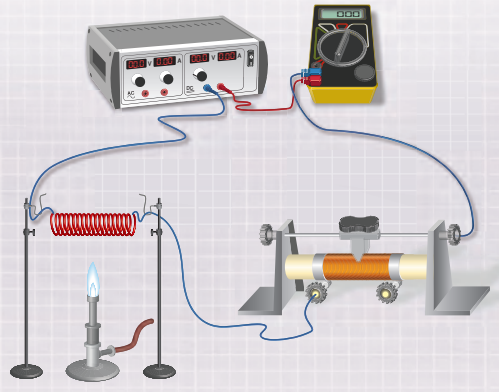
الخطوات

1. صِل الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل أدناه، على أن تلف سلك النحاس على صورة ملف.
2. شغّل مصدر القدرة الكهربائية، واضبطه على فرق جهد مناسب، ثم سجّل قراءة الأميتر.
3. أشعل موقد بنزن أسفل سلك النحاس ولاحظ قراءة الأميتر مرة أخرى، وسجّل ملاحظاتك.
4. كرر الخطوات 3–1 على أن تستخدم في كل مرة إحدى المواد (ألومنيوم، حديد، قضيب جرافيت، شريحة سليكون، قضيب زجاجي، قطعة مايكا) بدلًا من سلك النحاس الملفوف، وسجّل ملاحظاتك.

التحليل

ما دلالة تغير قراءة الأميتر عند تنفيذ الخطوة 3؟ وهل اختلفت قراءة الأميتر عند تسخين المواد جميعها؟ صنّف المواد التي استخدمتها وفقًا لتغير قراءة الأميتر (زيادة أو نقصًا أو ثباتًا).

التفكير الناقد اقترح تفسيرًا محتملاً لملاحظاتك.



وتقوم هذه الأدوات بتضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة جدًّا وضبطها، من خلال حركة الإلكترونات داخل منطقة بلورية صغيرة. وتعمل الأدوات المصنوعة من أشباه الموصلات بقدرة كهربائية صغيرة؛ بسبب قلة عدد الإلكترونات المتدفقة خلالها، بالإضافة إلى أنها لا تحتوي على فتائل. وهذه الأدوات صغيرة جدًّا، ولا تولّد حرارة كبيرة، وتكلفة صناعتها قليلة، ويقدّر عمرها الافتراضي بعشرين عامًا أو أكثر.

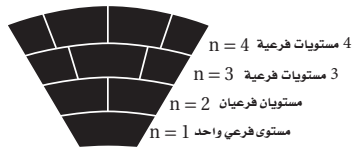
نظرية الأحزمة للمواد الصلبة Band Theory of Solids

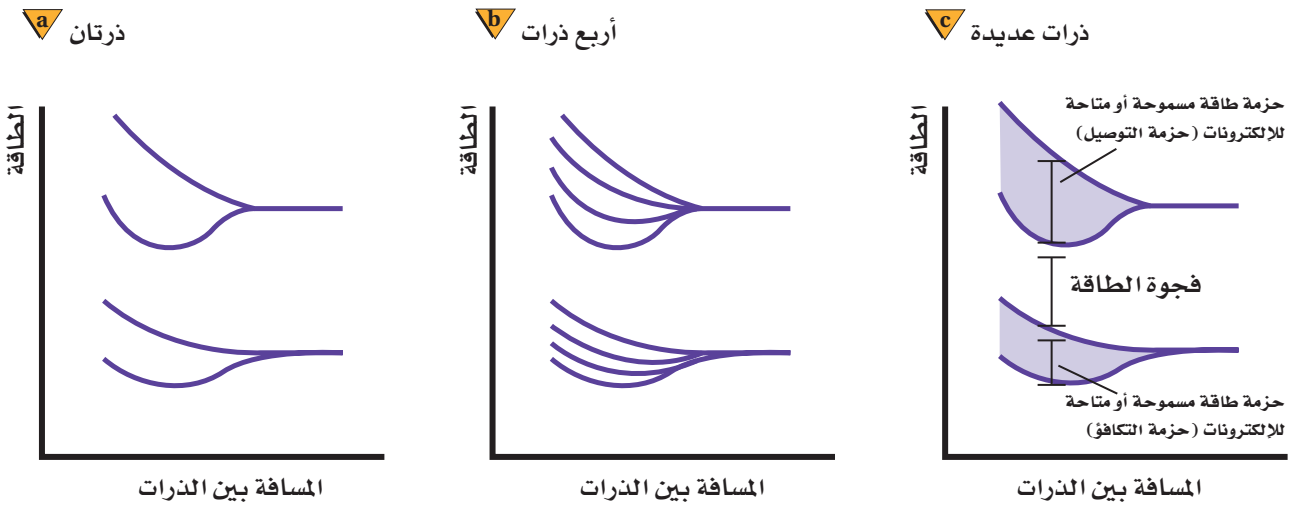
تُقسَّم المواد الصلبة من حيث خصائصها الكهربائية إلى: مواد جيدة التوصيل للتيار الكهربائي، تُسمَّى الموصلات conductors، ومنها: النحاس، الألومنيوم، الحديد، الفلزات الأخرى، ومواد رديئة التوصيل للتيار الكهربائي، تُسمَّى العوازل Insulators، ومنها: الخشب، المطاط، الزجاج، المايكا، ومواد شبه موصلة semiconductors، ومنها: السليكون، الجرمانيوم، الكربون، السلينيوم، الجاليوم، كبريتيد الرصاص الثنائي. وتمتاز المواد شبه الموصلة عن غيرها من المواد الأخرى بخصائص منها: مقاومتها النوعية أكبر بكثير من المقاومة النوعية للموصلات، وأقل بكثير من المقاومة النوعية للعوازل. كما تقل مقاومتها مع ارتفاع درجة الحرارة، على عكس الموصلات التي تزداد مقاومتها بارتفاع درجة الحرارة. ويكون عدد الإلكترونات الحرة في المواد شبه الموصلة أقل منه في الموصلات، وأكثر منه في العوازل.

ومما سبق يبرز السؤال التالي: لماذا تكون بعض المواد موصلات، وبعضها الآخر عوازل، ومواد أخرى شبه موصلة؟ لتفسير سبب وجود المواد الصلبة في ثلاث فئات (موصلات، عوازل، أشباه موصلات) يمكن استخدام نموذج يُسمَّى نظرية **حزم الطاقة Band theory**، ويمكن أن تُفسِّر هذه النظرية آليات التوصيل الكهربائي في معظم المواد الصلبة، وكذلك التباين في الموصلية الكهربائية لهذه المواد. وتُعدُّ نظرية حزم الطاقة أساسًا مهمًّا لفهم ظاهرتي التوصيل الحراري والتوصيل الكهربائي في المواد الصلبة، فضلاً عن تفسير العديد من الخصائص الضوئية للمواد الصلبة.

وقد درست في مبحث الكيمياء في الصف العاشر أن لكل ذرة مفردة عددًا من مستويات الطاقة المحددة المسموح لإلكترونات الذرة بأن تحتلها أو تُشغلها؛ سواء أكانت الذرة مستقرة أم مُثارة. ويمثّل **الشكل 1–5** توضيحًا لمستويات الطاقة الرئيسة والفرعية حسبما درسته. ولكن، ماذا يحدث لمستويات الطاقة تلك عند اقتراب الذرات بعضها من بعض؟ حين تكون ذرات المادة متباعدة إحداها عن الأخرى، فإن مستويات الطاقة لأي ذرة تُماثل مستويات الطاقة لأي ذرة أخرى في المادة. وحينما تتقارب الذرات إحداها من الأخرى تتداخل مستويات الطاقة الخارجية لمختلف الذرات، فيتغير مستوى الطاقة الخارجي في ذرة معينة بتأثير المجال الكهربائي لذرة أخرى مجاورة لها، وينقسم كل مستوى طاقة خارجي

الشكل 1–5 يمكن التفكير في مستويات الطاقة كأنها صفوف المقاعد في هذا المسرح الأثريّ؛ إذ تحتوي الصفوف العليا على مقاعد أكثر. وبشكل مماثل تحتوي مستويات الطاقة الأبعد عن النواة على مستويات فرعية للطاقة أكثر.





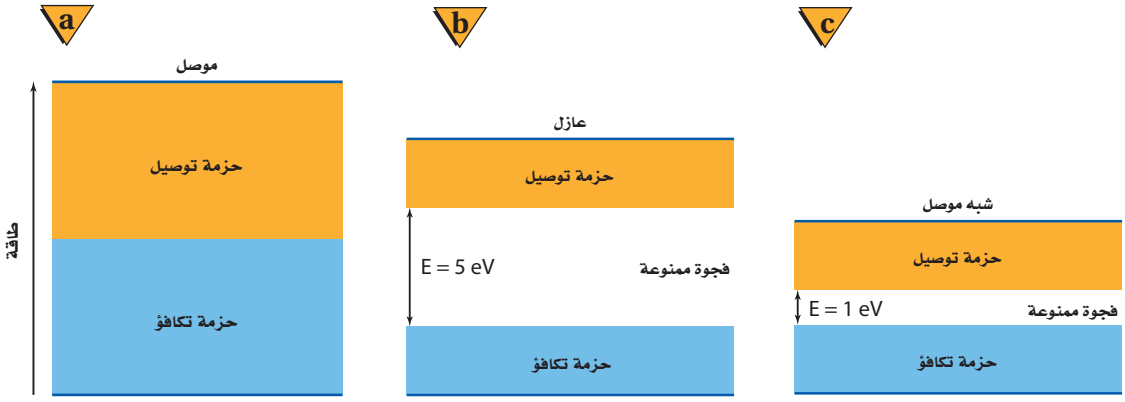
الشكل 2–5 تنقسم مستويات الطاقة الخارجية للذرتين عندما تقترب إحداهما من الأخرى (a)، وتقريب أربع ذرات إحداها إلى الأخرى يؤدي إلى حدوث المزيد من الانقسام (b)، وحين تتقارب عدة ذرات تصبح مستويات الطاقة متقاربة جدًا بحيث يمكن تمثيلها بحزم طاقة (c)

في الذرتين إلى مستويي طاقة مختلفين ومتقاربين. ويوضح **الشكل 2a–5** انقسام مستويي طاقة الذرتين الخارجيين عندما تصبح الذرتان قريبتين إحداهما من الأخرى. لاحظ أن فرق الطاقة بين مستويي الطاقة الجديدين يعتمد على المسافة الفاصلة بين الذرتين.

ويوضح **الشكل 2b–5** مستويي الطاقة الخارجيين لأربع ذرات متقاربة إحداها من الأخرى، ولعلك تلاحظ أن كل مستوى طاقة خارجي قد انقسم إلى أربعة مستويات طاقة جديدة، وأصبحت المسافات بينها متقاربة مقارنة بحالة الذرتين. وحين تقترب عدة ذرات إحداها من الأخرى ينقسم كل مستوى طاقة خارجي إلى عدة مستويات، ويعتمد عدد الانقسامات على عدد الذرات المتفاعلة؛ فحين تكون عدة ذرات متقاربة ينقسم مستوى الطاقة مرات عدة، وتصبح مستويات الطاقة الجديدة متقاربة جدًّا، ويكون فرق الطاقة بين كل مستويين متجاورين ضئيلًا بحيث يمكن اعتبارها حزمَ طاقة متصلة. ونلاحظ من **الشكل 2c–5** أن حزم الطاقة تفصل بينها فجوات طاقة، ولا يوجد في هذه الفجوات مستويات طاقة متاحة للإلكترونات؛ لذا تسمى تلك الفجوات مناطق الطاقة الممنوعة أو المحظورة. أما إلكترونات المستويات الداخلية للذرة، فيكون تأثُّرها بالذرات المجاورة شبه مهمل؛ لذا تبقى المستويات الداخلية للذرات على حالها كما هي للذرة المنفردة.

ومما سبق يمكن تعريف حزمة الطاقة Energy band بأنها مجموعة من مستويات الطاقة المتقاربة جدًّا، وتنشأ بسبب تداخل مستويات الطاقة الخارجية للذرات المتجاورة في البلورة. ويمكن تعريف فجوة الطاقة Energy gap بأنها المنطقة التي تفصل بين حزمتين متتاليتين للطاقة، ولا يُسمَح بوجود أي إلكترون فيها. وعندما ينتقل الإلكترون من حزمة طاقة إلى الحزمة التي تليها، فإن عليه أن يكتسب طاقة تمكّنه من الانتقال عبر فجوة الطاقة.

إن طريقة توزيع حزم الطاقة في البلورة، واتساع الفجوات الفاصلة بينها هما اللذان يحددان الخصائص الكهربائية للمادة. فإلكترونات مستوى الطاقة الأخير (إلكترونات التكافؤ) تتوزع عادة على حزمتين للطاقة، هما: حزمة التوصيل، وحزمة التكافؤ. إن حزمة الطاقة ذات مستويات الطاقة الدنيا أو حزمة التكافؤ تشغلها إلكترونات المستوى



الشكل 3–5 في المادة الجيدة التوصيل، يوجد تداخل بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ (a)، العازل له حزمة تكافؤ مملوءة بالكامل وفجوة طاقة واسعة (b)، شبه الموصل له حزمة تكافؤ مملوءة وفجوة طاقة صغيرة (c).

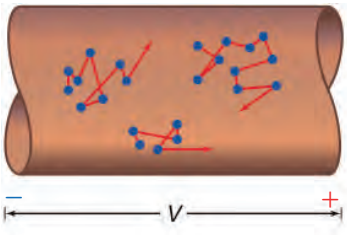
الأخير الأكثر ارتباطًا بذراتها؛ بسبب اشتراكها في الروابط الكيميائية، أما مستويات الطاقة العليا أو حزمة التوصيل، فتشغلها إلكترونات المستوى الأخير الأقل ارتباطًا بالذرات. وتكون الإلكترونات في حزمة التوصيل حُرَّة الحركة، ويكون انتقال الإلكترونات فيها من ذرة إلى أخرى متاحًا، وعليه تكون هذه الحزمة عادة هي المسؤولة عن انتقال التيار الكهربائي خلال المادة. فعندما تكون المادة موصلة للكهرباء، يُلاحظ عادة وجود عدد من الإلكترونات في حزمة التوصيل، وكلما زاد عدد الإلكترونات في حزمة التوصيل زادت موصلية المادة وقلت مقاومتها النوعية. وفي المواد الصلبة العازلة وشبه الموصلة لا توصل الإلكتروناتُ الموجودةُ في حزمة التكافؤ الكهرباءَ، ولكن في المواد الصلبة الموصلة تكون إلكترونات حزمة التكافؤ قادرة على توصيل التيار الكهربائي. ويوضح **الشكل 3–5** حزم الطاقة لإلكترونات المستوى الأخير في كل من الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات.

ففي المادة الجيدة التوصيل، يكون هناك تداخل بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ، أما العازل فتكون حزمة التكافؤ فيه مملوءة بالكامل ولديه فجوة طاقة واسعة، وتكون حزمة التكافؤ في شبه الموصل مملوءة، وفجوة الطاقة صغيرة.

ماذا قرأت؟ ما الفرق بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل في المواد الصلبة؟

الموصلات الكهربائية Conductors

عند تطبيق فرق جهد عبر مادة ما يؤثر المجال الكهربائي الناتج بقوة في الإلكترونات، فتتسارع وتكتسب طاقة، وبذلك يبذل المجال شغلاً عليها. وعند وجود حزم مملوءة جزئيًّا فقط في المادة تكون هناك مستويات طاقة متاحة طاقتها أكبر قليلاً من طاقة الإلكترونات في مستويات الاستقرار. ونتيجة لذلك، فإن الإلكترونات التي اكتسبت طاقة من المجال الكهربائي يمكنها أن تتحرك من ذرة إلى الذرة التالية. وتسمى حركة الإلكترونات هذه التيار الكهربائي، وتعرف العملية كاملةً بالتوصيل الكهربائي. والمواد ذات الحزم المملوءة جزئيًّا كالفلزات – ومنها الألومنيوم والرصاص والنحاس – توصل الكهرباء بسهولة.



الشكل 4–5 تتحرك الإلكترونات في الموصل بسرعة وبصورة عشوائية. وإذا طبّق مجال كهربائي عبر السلك، فإن الإلكترونات تندفع نحو إحدى نهايتي السلك في اتجاه معاكس لاتجاه حركة التيار الاصطلاحي.

الحركة العشوائية Random motion تتحرك الإلكترونات في الموصلات بسرعة وبصورة عشوائية، حيث تتغيّر اتجاهاتها عندما تصطدم بالذرات. أما إذا طبّق مجال كهربائي على طول معين من سلك فلزي، فستؤثر قوة محصلة تدفع الإلكترونات في اتجاه واحد. وعلى الرغم من أن حركتها لا تتأثر كثيرًا، إلا أنها تتحرك حركة بطيئة وموجهة بتأثير المجال الكهربائي، كما هو موضح في **الشكل 4–5**. وتستمر الإلكترونات في التحرك بسرعة $10^{6}\ m/s$ في اتجاهات عشوائية، وتتحرك ببطء شديد بسرعة تساوي $10^{-5}\ m/s$ أو أقل في اتجاه النهاية الموجبة للسلك. وعندما ترتفع درجة الحرارة تزداد سرعة الإلكترونات، ومن ثم تزداد تصادماتها بالذرات؛ لذا عندما ترتفع درجة حرارة الفلز فإن موصليته تقل، والموصلية هي مقلوب المقاومة (المقاومة النوعية)، لذا كلما قلت موصلية المادة ازدادت مقاومتها.

ماذا قرأت؟ وضح كيف تعمل الموصلات على نقل الشحنات الكهربائية.

العوازل Insulators

تكون حزمة التكافؤ في المادة العازلة مملوءة، في حين تكون حزمة التوصيل فارغة. وكما هو موضح في **الشكل 3–5**، فإنه يتعين أن يكتسب الإلكترون كمية كبيرة من الطاقة لكي ينتقل إلى مستوى الطاقة التالي. وفي العوازل يكون أدنى مستوى للطاقة في حزمة التوصيل فوق أعلى مستوى للطاقة في حزمة التكافؤ بمقدار 5–10 eV ، كما هو موضح في **الشكل 3b–5**. وتوجد في العوازل فجوات طاقة مقدارها 5 eV على الأقل، وهذه الطاقة ليست لدى الإلكترونات.

على الرغم من أن للإلكترونات بعض الطاقة الحركية الناتجة عن طاقتها الحرارية، إلا أن متوسط الطاقة الحركية للإلكترونات عند درجة حرارة الغرفة لا تكفيها لكي تقفز عن الفجوة الممنوعة. وإذا طبق مجال كهربائي صغير على عازل فإن الإلكترونات غالبًا لا تكتسب طاقة كافية للوصول إلى حزمة التوصيل، ولذلك لا يتولد تيار كهربائي. ولكي تنتقل الإلكترونات إلى حزمة التوصيل في العازل فإنه يجب أن تزود هذه الإلكترونات بكمية كبيرة من الطاقة. ونتيجة لذلك، فإن الإلكترونات في المادة العازلة تميل إلى أن تبقى في أماكنها، لذا فإن المادة العازلة لا توصل التيار الكهربائي.

ماذا قرأت؟ وضح لماذا لا توصل العوازل الشحنات الكهربائية؟

أشباه الموصلات Semiconductors

تتحرك الإلكترونات بحرية أكبر في أشباه الموصلات مقارنة بحركتها في العوازل، ولكن حركتها ليست حرة كما في الموصلات. وكما هو موضح في **الشكل 3c–5**، فإن فجوة الطاقة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل تساوي 1 eV تقريبًا. كيف يفسّر تركيب أشباه الموصلات خصائصها الإلكترونية؟ لذرات أشباه الموصلات

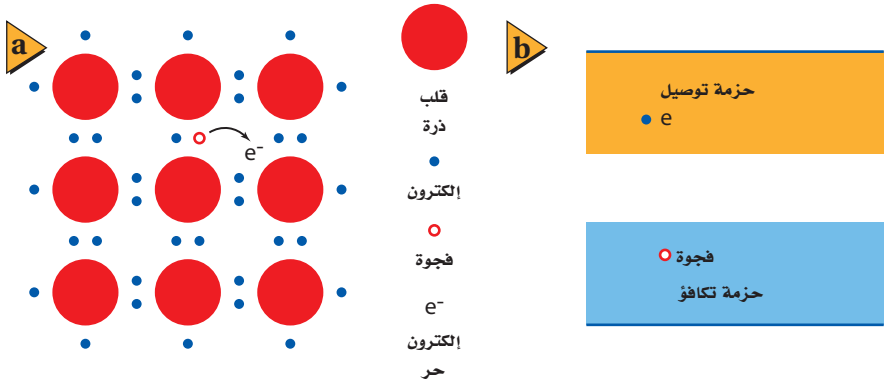
الأكثر شيوعًا كالسليكون Si والجرمانيوم Ge أربعة إلكترونات تكافؤ. وتساهم هذه الإلكترونات الأربعة في ربط الذرات معًا في المادة الصلبة البلورية. وتشكل إلكترونات التكافؤ حزمة مملوءة، كما في العوازل، في حين تكون الفجوة الممنوعة بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل أصغر كثيرًا مقارنة بالعوازل. ولذلك فإنَّ نقل أحد إلكترونات ذرة السليكون ووضعه في حزمة التوصيل لا يحتاج إلى طاقة كبيرة، كما هو موضح في **الشكل 5a–5**. وتكون الفجوة صغيرة جدًّا، بحيث يمكن أن تصل بعض الإلكترونات إلى حزمة التوصيل نتيجة لطاقتها الحركية الحرارية وحدها فقط. ولذلك فإن الحركة العشوائية للذرات والإلكترونات تزوّد بعض الإلكترونات بطاقة كافية للتحرر من ذراتها الأصلية وتتجول حول بلورة السليكون.

وإذا طبّق مجال كهربائي على مادة شبه موصلة فإن الإلكترونات الموجودة في حزمة التوصيل تتحرك خلال المادة الصلبة بحسب اتجاه المجال الكهربائي المطبّق. وعلى النقيض من التأثير في الفلزّ، فإن زيادة درجة حرارة أشباه الموصلات يزيد عدد الإلكترونات القادرة على الوصول إلى حزمة التوصيل، ومن ثم تزداد الموصلية.

عندما يتحرر إلكترون من ذرة يترك مكانه فجوة. وكما هو موضح في **الشكل 5b–5**، فإن الفجوة عبارة عن مستوى طاقة فارغ في حزمة التكافؤ، وتصبح الشحنة الكلية للذرة موجبة، ويمكن لإلكترون موجود في حزمة التوصيل أن يقفز داخل هذه الفجوة ليصبح مرتبطًا مع الذرة مرة أخرى، وعندما يعاد اتحاد الفجوة مع الإلكترون الحر فإن شحنتيهما المختلفتين تعادل كل منهما الأخرى. غير أن الإلكترون ترك خلفه فجوة في موقعه السابق؛ لذا تتحرك الإلكترونات الحرة السالبة الشحنة في اتجاه واحد، في حين تتحرك الفجوات الموجبة الشحنة في الاتجاه المعاكس.

وتسمى **أشباه الموصلات النقية** التي توصل نتيجة لتحرير الإلكترونات والفجوات حراريًّا أشباهَ الموصلات النقية. ولأن عددًا قليلاً جدًّا من الإلكترونات والفجوات متوافر لحمل الشحنة، فإن التوصيل في أشباه الموصلات النقية منخفض جدًّا، مما يجعل مقاوماتها كبيرة جدًّا.

ماذا قرأت؟ قارن بين أثر الحرارة في موصلية الفلزات وأثرها في موصلية أشباه الموصلات؟



الشكل 5–5 لبعض الإلكترونات في أشباه الموصلات طاقة حركية حرارية كافية لكي تتحرر وتتجول خلال البلورة، كما هو موضح في التركيب البلوريّ (a) وفي الحزم (b).

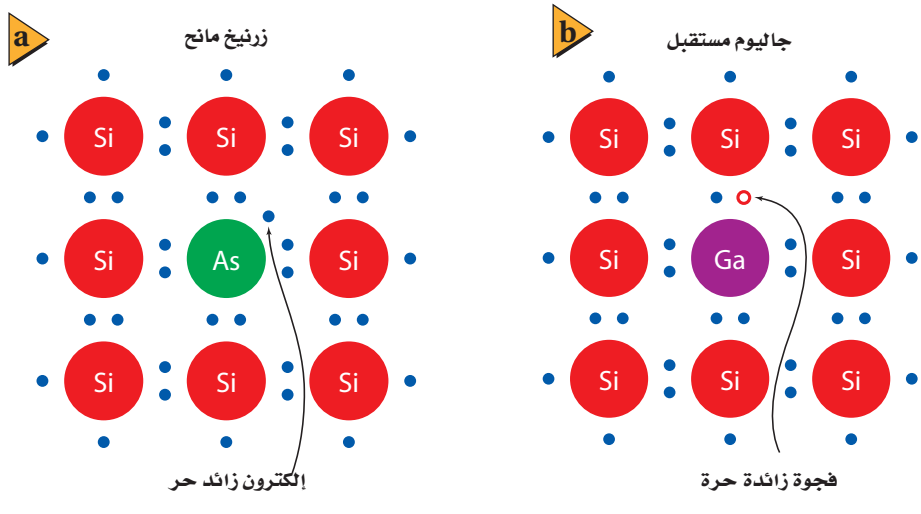
أشباه الموصلات المعالجة Doped Semiconductors

يجب أن تزداد موصلية أشباه الموصلات النقية بمقدار كبير لصنع أدوات عملية؛ لذا تضاف ذرات مانحة أو مستقبلة للإلكترونات بتراكيز قليلة إلى أشباه الموصلات النقية تسمى **الشوائب**، تعمل على زيادة موصليتها، وذلك بتوفير إلكترونات أو فجوات إضافية. وأشباه الموصلات التي تعالج بإضافة شوائب تسمى **أشباه الموصلات غير النقية (المعالَجة)**.

أشباه الموصلات من النوع السالب n—Type semiconductors (n) إذا كانت المادة المانحة لإلكترون ما خماسية التكافؤ كالزرنيخ As الذي يستخدم في معالجة السليكون، فإن الناتج يكون مادة شبه موصلة من النوع n. ويوضح **الشكل 6a—5** الموقع الذي احتلته الذرة المعالجة As محل إحدى ذرات السليكون Si في بلورة السليكون؛ حيث ترتبط أربعة من إلكترونات التكافؤ الخمسة مع ذرات السليكون المجاورة. ويسمى الإلكترون الخامس لذرة As الإلكترونَ المانح. وتكون طاقة الإلكترون المانح قريبةً جدًّا من طاقة حزمة التوصيل، بحيث تكون الطاقة الحرارية كافية لنقل هذا الإلكترون بسهولة من الذرة المعالجة إلى حزمة التوصيل، كما هو موضح في **الشكل 7a—5**. ويزداد توصيل أشباه الموصلات من النوع n بتوافر عدد أكبر من هذه الإلكترونات المانحة وانتقالها إلى حزمة التوصيل.

تمنح كل ذرة زرنيخ بلورة شبه الموصل إلكترونًا حرًّا، لذلك فإن عدد ناقلات الشحنة في شبه الموصل من النوع n يساوي $N_d+n_i+p_i$، حيث تمثل N_d عدد الإلكترونات الحرة وتساوي عدد ذرات المانح الذي هو الزرنيخ في هذه الحالة. وتسمى الإلكترونات في شبه الموصّل من النوع n؛ ناقلات الشحنة الأكثرية Majority carriers، وأما الفجوات في شبه الموصل من النوع n فتسمى ناقلات الشحنة الأقلية Minority carriers.

ماذا قرأت؟ وضح كيف يمكن الحصول على شبه موصل من النوع n.



الشكل 6—5 تحل ذرة الزرنيخ المانحة مع إلكترونات التكافؤ الخمسة الخاصة بها محل ذرة السليكون وتنتج إلكترونًا غير مرتبط في بلورة السليكون (a). وتنشئ ذرة الجاليوم المستقبلة مع إلكترونات التكافؤ الثلاثة الخاصة بها فجوة في البلورة (b).

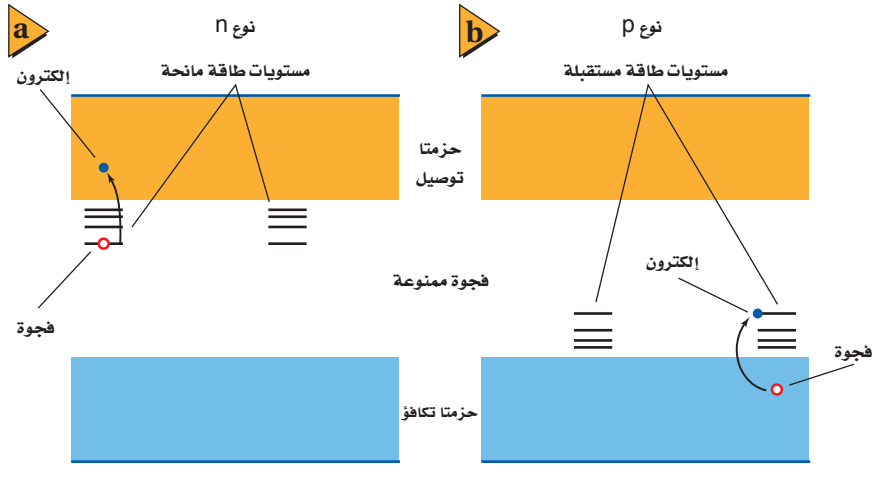
أشباه الموصلات من النوع الموجب (p) p–Type semiconductors إذا كانت المادة المستقبلة لإلكترون ما ثلاثية التكافؤ كالجاليوم Ga الذي يستخدم في معالجة السليكون، فإن الناتج يكون مادة شبه موصلة من النوع p. وعندما تحل ذرة الجاليوم Ga محل ذرة السليكون Si في بلورة السليكون ترتبط إلكترونات التكافؤ الثلاثة مع ذرات السليكون المجاورة، وينقص إلكترون واحد، مما يُحدث فجوة في بلورة السليكون كما هو موضح في **الشكل 6b–5**. ويمكن للإلكترونات في حزمة التكافؤ أن تسقط بسهولة في هذه الفجوات، محدثةً فجوات جديدة. ومما يعزّز التوصيل في أشباه الموصلات من النوع p وجود وفرة في الفجوات التي تنتجها ذرات المستقبل المعالج، كما هو موضح في **الشكل 7b–5**.

تُحدِث كل ذرة جاليوم في بلورة شبه الموصل فجوة واحدة، ولذلك فإن عدد ناقلات الشحنة في شبه الموصل من النوع p يساوي $N_a+n_i+p_i$ ، حيث تمثل N_a عدد الفجوات، وتساوي عدد ذرات المستقبل الذي هو الجاليوم في هذه الحالة. وتكون الإلكترونات الحرة في حزمة التوصيل في شبه الموصل من النوع p ناقلات الشحنة الأقلية؛ أما الفجوات في شبه الموصل من النوع p فتسمى ناقلات الشحنة الأكثرية.

تكون كل من أشباه الموصلات من النوع p والنوع n متعادلة كهربائيًّا، وإضافة ذرات معالجة من كلا النوعين لا تضيف أي شحنة محصلة إلى المادة شبه الموصلة، وكلا النوعين من أشباه الموصلات يستخدمان الإلكترونات والفجوات في عملية التوصيل، ولا يتطلب سوى القليل من الذرات المعالجة لكل مليون ذرة سليكون مثلاً لزيادة موصلية أشباه الموصلات بمعامل مقداره 1000 أو أكثر.

يُعالَج السليكون بوضع بلورة نقية منه في فراغ مع عينة من المادة المعالجة، ثم يُسخّن المعالج حتى يتبخر، وتتكاثف ذراته على السليكون البارد، حيث ينتشر المعالج في السليكون بالتسخين، وتبخر طبقة رقيقة من الألومنيوم أو الذهب على البلورة المعالَجة. ويُلحَم سلك بطبقة الفلزّ هذه، مما يسمح للمستخدِم بتطبيق فرق جهد على السليكون المعالج بالشوائب.

ماذا قرأت؟ وضح كيف يمكن الحصول على شبه موصل من النوع p.



الشكل 7–5 في النوع n من أشباه الموصلات (a)، مستويات الطاقة المانحة الإلكترونات تضع الإلكترونات في حزمة التوصيل. في النوع p من أشباه الموصلات (b)، تُنتج مستويات طاقة المستقبل فجوات في حزمة التكافؤ.

1–5 مراجعة

1. **حركة الناقل** في أي المواد الموصلة أو شبه الموصلة أو العوازل يُرجّح أن تبقى الإلكترونات في الذرة نفسها؟

2. **أشباه الموصلات** إذا زادت درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة في أشباه الموصلات النقية. فمثلاً زيادة درجة الحرارة بمقدار (8 °C) درجات سليزية يضاعف عدد الإلكترونات الحرة في السليكون، فهل المرجح أن تعتمد موصلية الموصل النقي، أم شبه الموصل غير النقي، على درجة الحرارة؟ وضح إجابتك.

3. **عازل أم موصل؟** يستخدم ثاني أكسيد السليكون على نطاق واسع في صناعة أدوات الحالة الصلبة، ويبيّن مخطط حزم الطاقة الخاص به فجوة طاقة بمقدار 9 eV بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل، فهل ثاني أكسيد السليكون مفيد أكثر بوصفه عازلًا أم موصلًا؟

4. **موصل أم عازل؟** لأكسيد الماغنسيوم فجوة ممنوعة مقدارها 8 eV، فهل هذه المادة موصلة أم عازلة أم شبه موصلة؟

5. **أشباه الموصلات النقية وغير النقية** إذا كنت تصمم دائرة متكاملة باستخدام بلورة سليكون، وأردت أن تحصل على منطقة ذات خصائص عازلة جيدة نسبيًّا، فهل يجب أن تعالج هذه المنطقة أم تتركها بوصفها شبه موصل نقي؟

6. **التفكير الناقد** يتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها السليكون عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 8 °C، ويتضاعف عدد الناقلات الحرارية الحرة التي ينتجها الجرمانيوم عند كل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 13 °C، ويبدو أن الجرمانيوم أفضل للتطبيقات ذات درجة الحرارة الكبيرة، ولكن العكس هو الصحيح. وضح ذلك.

5–2 الأدوات الإلكترونية Electronic devices

معايير الأداء الرئيسة

24.1– 24.2

معايير البحث والاستقصاء العلمي

1.1 – 1.3 – 1.5 – 3.4 – 4.1 – 4.2

الأهداف

- **تعرف** مفهوم كل من المقاوم الحراري (الثرمستور) والمقاوم الضوئي.
- **توضح** مبدأ عمل مجزئ الجهد.
- **تصف** كيف يعمل الدايود على جعل التيار الكهربائي يسري في اتجاه واحد فقط.
- **التعرف** على الدايود الضوئي والدايود المشع للضوء.
- **تُوضح** كيف يمكن للترانزستور العمل على زيادة أو تضخيم تغيرات الجهد.
- **تعرّف** مبدأ عمل المكثف الكهربائي.

المفردات

- المقاوم الحراري (الثرمستور) Thermistor
- المقاوم الضوئي Light dependent resistor (LDR)
- مجزئ الجهد Potential divider
- المكثف Capacitor
- الدايود Diode
- طبقة النضوب Depletion layer
- الدايود الضوئي Photodiode
- الدايود المشع للضوء Light emitting diode (LED)
- الترانزستور Transistor
- رقاقة ميكروية Microchip

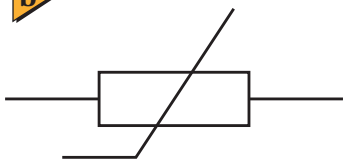
تعتمد الأجهزة الإلكترونية في عصرنا الحاضر – ومنها المذياع والتلفاز ومشغلات الأقراص المدمجة CD والحواسيب الصغيرة – على أدوات مصنوعة من أشباه الموصلات، تتجمع في رقائق من السليكون لا يتجاوز عرضها بضعة ملمترات، وفي هذه الأدوات يتغير كل من التيار والجهد بطرائق أكثر تعقيدًا عما وصف قانون أوم.

المقاوم الحراري (الثرمستور) Thermistor

إن الموصلية الكهربائية لأشباه الموصلات النقية وغير النقية حساسة لكل من درجة الحرارة والضوء، وبعكس الفلزّات التي تنخفض موصليتها بارتفاع درجة حرارتها، فإن زيادة درجة حرارة أشباه الموصلات تسمح بوصول المزيد من الإلكترونات إلى حزمة التوصيل، فتزداد الموصلية وتقل المقاومة. ولقد صُممت قطعة إلكترونية مصنوعة من مواد شبه موصلة سُمِّيَت **المقاوم الحراري (الثرمستور) Thermistor**، بحيث تعتمد مقاومته بدرجة كبيرة على درجة الحرارة. وعلى الرغم من أن الثرمستور يتكون من مواد شبه موصلة، إلا أنه لا يعد وصلة ثنائية كالدايود، فالثرمستور يتكون من السليكون أو الجرمانيوم أو من خليط من أكاسيد الكوبالت والنيكل والسترونتيوم، أو المنجنيز. وتصنع رقاقة الثرمستور على شكل قرص أو قضيب أو حلقة أو في صورة حبة أو خرزة صغيرة لا يتجاوز قطرها بضعة ملمترات كما هو موضح في **الشكل 5–8a**، ويكون للثرمستور طرفان يُلحمان بأسلاك من البلاتين، وبعض الثرمستورات التي تكون في صورة خرزة صغيرة تُغلّف بطلاء زجاجي يشبه الكبسولة؛ إذ يوفر الزجاج درجة عالية من الحماية من التعرض للعوامل البيئية المحيطة ومنها الرطوبة. وتستجيب هذه الثرمستورات بسرعة كبيرة للتغيرات في درجة الحرارة بسبب صغر حجمها، ويرمز إلى الثرمستور في الدوائر الكهربائية بالرمز الموضح في **الشكل 5–8b**.

a

b



الشكل 5–8 أشكال مختلفة للثرمستورات (a)، رمز الثرمستور في الدوائر الكهربائية (b).

تنخفض مقاومة معظم الثرمستورات بزيادة درجة الحرارة، وتُعرف مثل هذه الثرمستورات بثرمستورات ذات معامل درجة حرارة سالب Negative Temprature Coefficient(NTC). وتُصنَع أيضًا ثرمستورات ذات معامل درجة حرارة موجب Positive Temprature Coefficient(PTC). إلا أن استخدامها قليل. والتركيبة المستخدمة في صُنع الثرمستور هي التي تحدد ما إذا كان الثرمستور ذا معامل درجة حرارة سالب أو ذا معامل درجة حرارة موجب.

تُستخدَم الثرمستورات في صُنْع مجسات الحرارة التي تعد مقياسًا حساسًا لدرجة الحرارة، وفي الكشف عن تغيرات درجة الحرارة للمكوّنات الأخرى للدائرة الكهربائية، ويمكن أن تستخدم أيضًا في الدوائر الكهربائية لتَحُد من أثر التغيرات في درجة الحرارة؛ إذ تعمل الثرمستورات تلقائيًّا على تعويض التغيرات التي تنجم عن التغير في درجات الحرارة، ويمكن استخدامها أيضًا للكشف عن الموجات الراديوية والأشعة تحت الحمراء والأنواع الأخرى من الإشعاع.

عند تشغيل أي جهاز كهربائي بتوصيله بقابس الكهرباء، يندفع مقدار كبير من التيار الكهربائي إلى الجهاز لحظة التشغيل، ويستمر هذا التيار فترة زمنية بسيطة (أجزاء من الثانية)، ثم ينخفض التيار المتدفق في الجهاز بعد ذلك وبسرعة إلى قيمة الثبات أو الاستقرار، واندفاع التيار الكهربائي المفاجئ واللحظي في بداية التشغيل يُطلق عليه اسم تيار الذروة أو الاندفاع Inrush current، وقد يؤدي تيار الاندفاع إلى تلف بعض العناصر الإلكترونية الموجودة داخل الجهاز، خصوصًا مع تكرار حدوثه في كل مرة يتم فيها تشغيل الجهاز، ويمكننا أن نحدّ من تأثير تيار الاندفاع باستخدام الثرمستور من نوع NTC ؛ لأن الثرمستور NTC يمنع تدفُّق تيار الاندفاع، أو يخفض مقداره إلى درجة تتحملها العناصر الإلكترونية الأخرى الموجودة في الدائرة. ومن هنا يُطلق في بعض الأحيان على الثرمستور NTC اسم آخر، ألا وهو "مُحدّد تيار الاندفاع Inrush Current Limiter"، وتتلخص طريقة عمله في أنه مع بداية التشغيل يكون الثرمستور NTC باردًا، فتكون مقاومته أكبر ما يمكن بحيث تسمح لمقدار محدد من التيار بالتدفق عبره، وبتدفق التيار خلال الثرمستور NTC ترتفع درجة حرارته بالتدريج، فتبدأ مقاومته بالانخفاض تدريجيًّا، مما يسمح لمزيد من التيار بالتدفق خلاله، وبذلك ينخفض مقدار التيار الكهربائي المتدفق عبر العناصر الإلكترونية الأخرى الموصولة مع الثرمستور على التوازي، وتتم تلك العملية خلال زمن قصير جدًّا.

ماذا قرأت؟ صِف العلاقة بين درجة الحرارة وموصلية الثرمستور.

المقاوم الضوئي Light dependent resistor (LDR)

تعتمد التطبيقات المفيدة الأخرى لأشباه الموصلات على حساسيتها للضوء، فعندما يسقط الضوء على المادة شبه الموصلة، فإنه يعمل على إثارة إلكترونات حزمة التكافؤ، فتنقل إلى

تجربة

صُنْع مجس حرارة

احصل من معلمك على ثرمستور من نوع NTC، وبطارية، وأسلاك توصيل، ومقاومة كهربائية ثابتة مناسبة، ومصباح كهربائي صغير، وماء ثلج، وماء دافئ.

تحذير: قد ينتج حرارة عالية.

1. صِل الثرمستور (نوع NTC) على التوالي مع مقاومة كهربائية ثابتة وبطارية.
2. صِل المصباح الكهربائي على التوازي مع الثرمستور.
3. ضَع الثرمستور في كوب يحوي ماءً ثلجًا، ثم سجِّل ملاحظاتك.
4. ضع الثرمستور في كوب يحوي ماء دافئًا، ثم سجِّل ملاحظاتك.

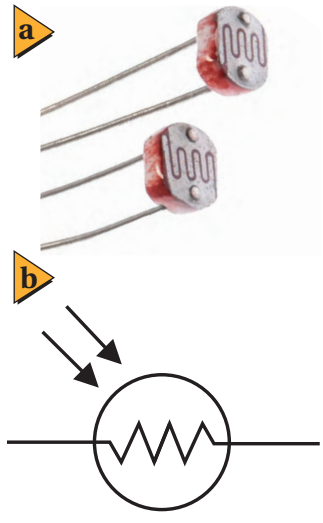
التحليل والاستنتاج

5. حاول تفسير ما يحدث لإضاءة المصباح الكهربائي بعد تنفيذ الخطوة 3.
6. حاول تفسير ما يحدث لإضاءة المصباح الكهربائي بعد تنفيذ الخطوة 4.
7. كيف يمكن تعديل الدائرة الكهربائية بحيث تزداد إضاءة المصباح عندما يسخن الثرمستور.

حزمة التوصيل بالطريقة نفسها التي تعمل بها مصادر الطاقة الأخرى على إثارة الذرات. وبذلك تتناقص المقاومة مع زيادة شدة الضوء، **فالمقاوم الضوئي Light dependen resistor (LDR)** هو أداة مصنوعة من مواد شبه موصلة، ومنها السليكون أو السيلينيوم أو كبريتيد الكادميوم أو كبريتيد الرصاص، ويمتاز المقاوم الضوئي بأن مقاومته الكهربائية تتغير وفقًا لكمية الضوء الساقطة عليه؛ حيث تنخفض مقاومته من بضعة آلاف أوم في الظلام إلى بضع مئات أوم عند تعرضه للإضاءة، فمثلاً، تتغير مقاومة ضوئية مثالية من 400000 Ω عندما تكون المقاومة في مكان معتم إلى 400 Ω عند سقوط ضوء عليها.

ويوضح **الشكل 9a–5** أحد أشكال المقاومات الضوئية، ويمكن تصميم أشباه الموصلات المعالجة للاستجابة لأطوال موجية محددة من الضوء، ويتضمن ذلك مناطق الأشعة تحت الحمراء، ومنطقة الضوء المرئي من الطيف، فيُصنَع المقاوم الضوئي الذي يستجيب للضوء المرئي من أنواع خاصة من المواد شبه الموصلة ومنها كبريتيد الكادميوم، أمّا المقاوم الذي يعمل بالأشعة تحت الحمراء فيُصنَع من كبريتيد الرصاص.

ويُستخدَم المقاوم الضوئي في دوائر المفاتيح الآلية التي تُفعّل في العتمة أو في الضوء، وفي دوائر الكواشف الحساسة للضوء، وأيضًا في مقاييس الضوء التي يستخدمها مهندسو الإضاءة في إنارة المحال التجارية والمكاتب والمنازل، كما يستخدمها المصورون الفوتوجرافيون لتعديل آلات التصوير لالتقاط أفضل الصور. ويبين **الشكل 9b–5** رمز المقاوم الضوئي المستخدم في الدوائر الكهربائية.



الشكل 9–5 مقاوم ضوئي LDR (**a**). ورمز المقاوم الضوئي المستخدم في الدوائر الكهربائية (**b**).

ماذا قرأت؟ صِف العلاقة بين شدة الإضاءة وموصلية المقاوم الضوئي.

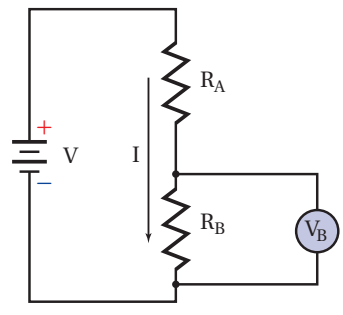
مجزئ الجهد Potential divider

عند مرور تيار كهربائي في أيّ دائرة كهربائية يجب أن يكون مجموع التغيرات في الجهد عبر كل عناصر الدائرة صفرًا؛ وذلك لأن مصدر الطاقة الكهربائية للدائرة؛ أي البطارية أو المولّد الكهربائي، يعمل على رفْع الجهد بمقدار يساوي مجموع الهبوط في الجهد الناتج عن مرور التيار في جميع مقاومات الدائرة الكهربائية؛ لذا يكون المجموع الكلي للتغيرات في الجهد صفرًا.

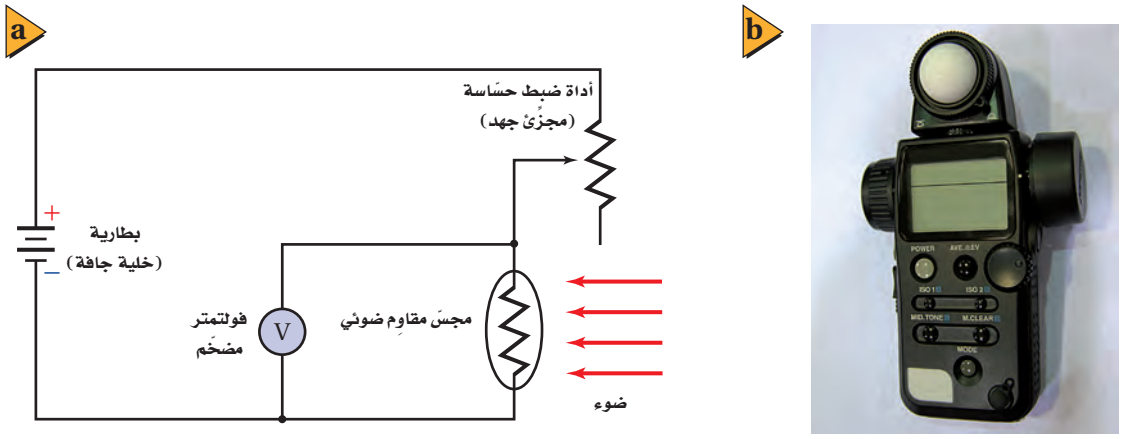
ومن التطبيقات المهمة على دوائر التوالي دائرة تسمّى **مجزئ الجهد Potential divider**، وهو دائرة توالٍ تُستخدم لإنتاج مصدر جهد بالقيمة المطلوبة من بطارية ذات جهد كبير. افترض مثلًا أن لديك بطارية جهدها 9 V، إلا أنك تحتاج إلى مصدر فرق جهد 5 V. انظر الدائرة الموضّحة في **الشكل 10–5** ولاحظ أن المقاومتين R_A وR_B متصلتان على التوالي ببطارية جهدها V؛ لذا تكون المقاومة المكافئة للدائرة $R = R_A + R_B$. أما التيار فيحسب بالمعادلة التالية:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_A + R_B}$$

القيمة المطلوبة للجهد 5 V، وهي هنا تساوي الهبوط في الجهد V_B عبر المقاومة



الشكل 10–5 في دائرة مجزئ الجهد هذه اختيرت قيمتا المقاومتين R_A و R_B بحيث يكون الهبوط في الجهد خلال المقاومة R_B مساويًا الجهد المطلوب.



■ **الشكل 11–5** الجهد الناتج عن مجزئ الجهد يعتمد على كمية الضوء التي تسقط على مجسّ المقاومة الضوئية (**a**). تستفيد أجهزة قياس كمية الضوء المستخدمة في التصوير الفوتوجرافي من مجزئ الجهد (**b**).

R_B: $V_B = IR_B$، وباستخدام هذه المعادلة، وقيمة التيار (المعادلة السابقة) نحصل على:

$$V_B = I\,R_B$$

$$= \left(\frac{V}{R_A+R_B}\right)R_B$$

$$= V\left(\frac{R_B}{R_A+R_B}\right)$$

تُستخدم عادة مجزِّئات الجهد مع المجسّات؛ ومنها المقاومات الضوئية؛ حيث تعتمد المقاومة الضوئية على كمية الضوء التي تسقط عليه. ويعتمد الجهد الناتج عن مجزئ الجهد المستخدم في المقاومة الضوئية على كمية الضوء التي تسقط على مجسّ المقاومة، ويمكن استعمال هذه الدائرة مقياسًا لكمية الضوء، كما هو موضّح في **الشكل 11–5**؛ حيث تكشف دائرة إلكترونية في هذا الجهاز فرق الجهد وتحوّله إلى قياس للاستضاءة يمكن قراءته على شاشة رقمية. وستقل قراءة الفولتمتر المضخّم عند زيادة الاستضاءة.

مثـــــال 1

الهبوط في الجهد في دائرة التوالي وصِلت مقاومتان كلٌّ منهما 47.0 Ω و82.0 Ω على التوالي بقطبي بطارية جهدها 45.0 V، أجب عما يلي:

a. ما مقدار التيار الكهربائي المار في الدائرة؟

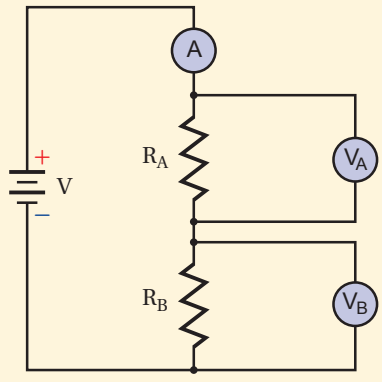
b. ما مقدار الهبوط في الجهد في كل مقاومة؟

c. إذا وضِعت مقاومة مقدارها 39.0 Ω بدلًا من المقاومة 47.0 Ω، فهل تزداد شدة التيار أم تقلّ أم تبقى ثابتة؟

d. ما مقدار الهبوط الجديد في الجهد في المقاومة 82.0 Ω؟

1 تحليل المسألة ورسمها

• ارسم رسمًا تخطيطيًّا للدائرة الكهربائية.



المعلوم	المجهول
$V_{مصدر} = 45.0\ V$	$I = ?$
$R_A = 47.0\ \Omega$	$V_A = ?$
$R_B = 82.0\ \Omega$	$V_B = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لحساب التيار نجد أولًا المقاومة المكافئة.

$R = R_A + R_B$ ، $I = \frac{V_{مصدر}}{R}$

بالتعويض $R = R_A + R_B$

$= \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$

بالتعويض

$V_{مصدر} = 45.0\ V$ ، $R_A = 47.0\ \Omega$ ، $R_B = 82.0\ \Omega$

$= \frac{45.0\ V}{47.0\ \Omega + 82.0\ \Omega} = 0.349\ A$

b. استخدم المعادلة $V = IR$ لكل مقاومة.

بالتعويض $I = 0.349\ A$ ، $R_A = 47.0\ \Omega$

$V_A = IR_A = (0.349\ A)(47.0\ \Omega) = 16.4\ V$

بالتعويض $R_B = 82.0\ \Omega$ ، $I = 0.349\ A$

$V_B = IR_B = (0.349\ A)(82.0\ \Omega) = 28.6\ V$

c. احسب التيار المار في الدائرة باستخدام المقاومة $39.0\ \Omega$ بوصفها قيمة جديدة لـ R_A

$I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$

بالتعويض

$V_{مصدر} = 45.0\ V$ ، $R_B = 82.0\ \Omega$ ، $R_A = 39.0\ \Omega$

$= \frac{45.0\ V}{39.0\ \Omega + 82.0\ \Omega} = 0.372\ A$ يزداد التيار

d. أوجد الهبوط الجديد في الجهد في R_B

بالتعويض $I = 0.372\ A$ ، $R_B = 82.0\ \Omega$

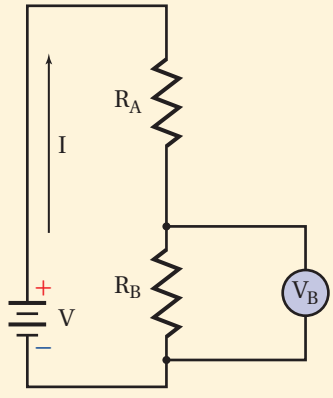
$V_B = IR_B = (0.372\ A)(82.0\ \Omega) = 30.5\ V$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة التيار الكهربائي عبارة عن $A = V/\Omega$، ووحدة الجهد $V = A.\Omega$
- **هل الجواب منطقي؟** بالنسبة للتيار إذا كان $R > V$ فإن $I < 1$. كذلك فإن الهبوط في الجهد عبر أي مقاومة يجب أن يكون أقل من جهد الدائرة (المصدر)، ومقدارا V_B في الحالتين أقل من $V_{مصدر}$ التي تساوي $45.0\ V$

مثـــــال 2

مجـزئ الجهد وصِلـت بطاريـة جهدهـا $9.0\ V$ بمقاومتـين: $390\ \Omega$ و $470\ \Omega$، على شـكل مجزئ جهد. مـا مقدار جهد المقاومة $470\ \Omega$؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم البطارية والمقاومتين في دائرة توالٍ كهربائية.

المعلوم	المجهول
$V_{مصدر} = 9.0\ V$	$V_B = ?$
$R_A = 390\ \Omega$	
$R_B = 470\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لحساب التيار نجد أولاً المقاومة المكافئة للدائرة.

$R = R_A + R_B$

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R}$$

$$I = \frac{V_{مصدر}}{R_A + R_B}$$

$$V_B = IR_B$$

$$= \frac{V_{مصدر}\, R_B}{R_A + R_B}$$

$$= \frac{(9.0\ V)(470\ \Omega)}{390\ \Omega + 470\ \Omega}$$

$$= 4.9\ V$$

بالتعويض $R = R_A + R_B$

احسب جهد المقاومة R_B

بالتعويض

$R_A = 390\ \Omega$، $V_{مصدر} = 9.0\ V$ ، $R_B = 470\ \Omega$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة الجهد $V = V\Omega / \Omega$، ونختصر Ω فيبقى V.
- **هل الجواب منطقي؟** الهبوط في الجهد أقل من جهد البطارية. ولأن $470\ \Omega$ أكبر من نصف المقاومة المكافئة، لذلك يكون الهبوط في الجهد أكبر من نصف جهد البطارية.

مسائل تدريبية

7. إذا أظهرت الدائرة الموضّحة في المثال 1 النتائج التالية: قراءة الأميتر 0 A، وقراءة V_A تساوي 0 V، وقراءة V_B تساوي 45 V، فما الذي حدث؟

8. تتكوّن دائرة توالٍ كهربائية من بطارية جهدها 12.0 V وثلاث مقاومات. فإذا كان جهد إحدى المقاومات 1.21 V، وجهد مقاومة ثانية 3.33 V، فما مقدار جهد المقاومة الثالثة؟

9. وصِلت المقاومتان $22\ \Omega$ و $33\ \Omega$ في دائرة توالٍ كهربائية بفرق جهد مقداره 120 V. احسب:

a. المقاومة المكافئة للدائرة.

b. شدة التيار المار في الدائرة.

c. مقدار الهبوط في الجهد عبر كل مقاومة.

d. مقدار الهبوط في الجهد عبر المقاومتين معًا.

10. قام طالب بعمل مجزئ جهد يتكوّن من بطارية جهدها 45 V ومقاومتين قيمتاهما: $475\ k\Omega$ و $235\ k\Omega$. إذا قيس الجهد الناتج عبر المقاومة الصغرى فما مقدار هذا الجهد؟

11. ما مقدار المقاومة التي يمكن استخدامها عنصرًا في دائرة مجزئ جهد مع مقاومة أخرى مقدارها $1.2\ k\Omega$، بحيث يكون الهبوط في الجهد عبر المقاومة $1.2\ k\Omega$ مساويًا 2.2 V عندما يكون جهد المصدر 12 V؟

المُكثّفات Capacitors

لعلك لاحظت يومًا أنه عند قطْع التيار الكهربائي عن بعض الأجهزة الكهربائية، ومنها الراديو أو الحاسوب، أن المصباح الكهربائي الذي يدل على مرور التيار أو عدم مروره لا ينطفئ مباشرة، وإنما ينطفئ تدريجيًّا. إن ذلك يدل على أن هناك طاقة كهربائية مخزونة في الجهاز، وأنه يتم إمداد الجهاز بهذه الطاقة فترة من الزمن بعد انقطاع التيار الكهربائي. إن العنصر المسؤول عن تخزين الطاقة الكهربائية في الدوائر الكهربائية يسمى **المكثّف Capacitor**، وتتكون المكثفات جميعها من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة، وللموصلين شحنتان متساويتان في المقدار لكنهما مختلفان في النوع، وتستخدم المكثفات في أيامنا هذه في الدوائر الكهربائية لتخزين الشحنات. ويوضّح **الشكل 12–5** مجموعة من المكثفات التجارية التي تحوي عادة شرائط من الألومنيوم مفصولة بطبقة رقيقة من البلاستيك، ثم تلفّ بصورة أسطوانية حتى يقلّ حجمها ولا تشغل حيّزًا كبيرًا.

تختلف المكثفات بعضها عن بعض في قدرتها على تخزين الشحنات، وإذا كان شكل المكثف وحجمه ثابتين تبقى النسبة بين الشحنة المخزنة على لوحيه وفرق الجهد الكهربائي بين لوحيه $q/\Delta V$ ثابتة، وتسمى تلك النسبة **السعة الكهربائية C**. وتكون وحدة قياس السعة الكهربائية هي الفاراد F. والسعة الكهربائية للمكثف لا تعتمد على شحنته، وإنما تعتمد على شكله (أبعاده الهندسية) وطبيعة المادة العازلة الموجودة بين لوحيه؛ ولذلك صُمّمت بعض المكثفات ليكون لها سعات كهربائية محدّدة.

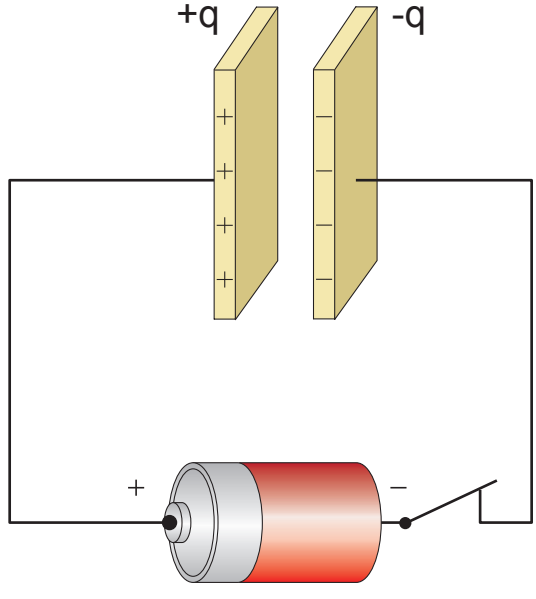
السعة الكهربائية $C = \frac{q}{\Delta V}$

السعة الكهربائية هي النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما.

الشكل 12–5 تبيّن الصورة المجاورة أنواعًا مختلفة من المكثفات.

الفاراد The Farad تُقاس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد، وقد سُمِّيت بهذا الاسم نسبة إلى العالم مايكل فارادي. والفاراد الواحد عبارة عن واحد كولوم لكل فولت (C/V). وكما أسلفنا أن 1 C وحدة كبيرة جدًّا لقياس الشحنة، و1 F وحدة كبيرة جدًّا أيضًا لقياس السعة الكهربائية؛ لذا فأغلب المكثّفات المستخدمة في الإلكترونيات الحديثة لها سعات كهربائية تتراوح بين 10 بيكوفاراد (10×10^{-12} F) و500 ميكروفاراد (500×10^{-6} F). أما المكثفات التي تستخدم في ذاكرة الحاسوب لمنع الفقد في الذاكرة فلها سعات كهربائية كبيرة تتراوح بين 0.5 F و1.0 F. لاحظ أنه إذا زادت الشحنة زاد فرق الجهد الكهربائي أيضًا؛ لأن سعة المكثف لا تعتمد على الشحنة q، وإنما تعتمد على الأبعاد الهندسية للمكثف فقط.

شحن المكثّف وتفريغه Charging and discharging the capacitor يكون المكثف في البداية متعادل الشحنة، وعند توصيله ببطارية في دائرة مغلقة كما هو موضح في **الشكل 13–5**، يبدأ التيار الكهربائي بالتدفق عبر الدائرة؛ حيث تنتقل الإلكترونات من الطرف السالب للبطارية إلى اللوح الموصول بذلك الطرف، وبسبب التنافر بين الإلكترونات في اللوحين ينتقل نفس المقدار من الإلكترونات من اللوح الآخر إلى الطرف الموجب للبطارية، تاركة وراءها شحنات موجبة، وباستمرار عملية الشحن يزداد تراكم الشحنات على لوحي المكثف، فيتولّد فرق جهد بين طرفي المكثف معاكس لفرق الجهد حول طرفي البطارية. وتستمر عملية انتقال الإلكترونات حتى يصبح فرق الجهد بين طرفي المكثف يساوي ويعاكس فرق الجهد بين طرفي البطارية، عندها يتوقف تدفُّق الإلكترونات، ويكون المكثف قد تم شحنه. وعندما نقول إنه تم شحن المكثف بشحنة مقدارها q فهذا يعني أن أحد اللوحين مشحون بشحنة +q، واللوح الآخر مشحون بشحنة –q، وكلتا الشحنتين متساوية في المقدار، ومن ثم يظل المكثف متعادل الشحنة.



الشكل 13–5 شحن المكثّف.

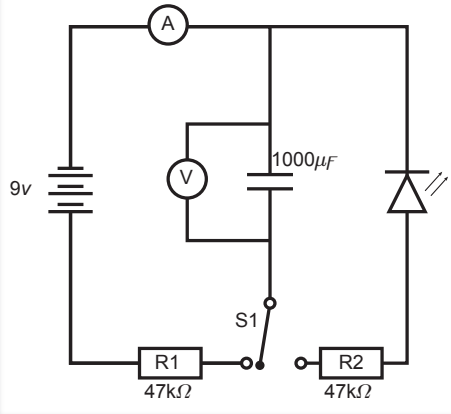
تجربة

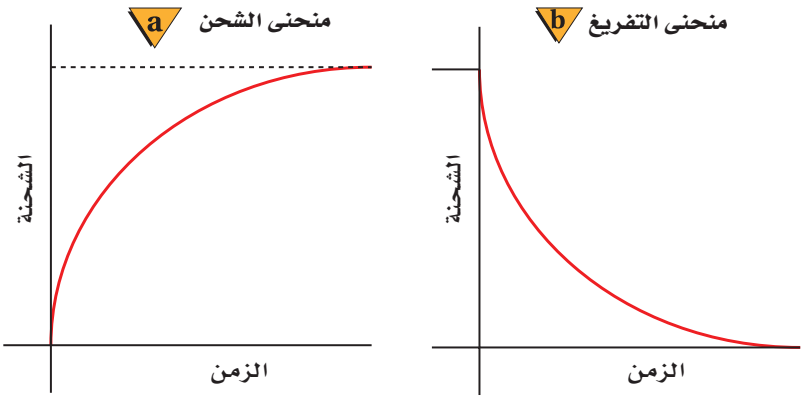
شحن المكثّف وتفريغه

1. صل الدائرة الكهربائية كما هو موضح في الرسم أدناه.
2. جهّز جدولي بيانات؛ يتضمن الأول (1) عمودين: لزمن شحن المكثف، ولفرق الجهد حول طرفيه، ويتضمن الثاني (2) عمودين: لزمن تفريغ المكثف، ولفرق الجهد حول طرفيه.
3. أغلق الجزء الأيسر من الدائرة بالمفتاح الكهربائي، ثم قِس فرق الجهد بين طرفي المكثف على فترات زمنية مقدارها 10.0 s، مع ملاحظة إضاءة الدايود المشع، وسجّل نتائجك في الجدول 1، ثم افصل المفتاح الكهربائي.
4. أغلق الجزء الأيمن من الدائرة بالمفتاح الكهربائي، وقِس فرق الجهد بين طرفي المكثف على فترات زمنية مقدارها 10.0 s، مع ملاحظة إضاءة الدايود المشع، وسجّل نتائجك في الجدول 2.

التحليل والاستنتاج

5. ما أقصى فرق جهد وصل إليه المكثف بعد إتمام عملية الشحن؟ قارن هذه القيمة بفرق جهد البطارية. ماذا تلاحظ؟ فسّر إجابتك.
6. أعدّ رسمًا بيانيًا على أن يكون الزمن على المحور الأفقي وفرق الجهد على المحور الرأسي، وارسم خطين بيانيين؛ أحدهما خاص بعملية الشحن، والآخر خاص بعملية التفريغ.
7. أعد الخطوات 4–1 باستخدام قارئ بيانات، ثم قارن بين الخطوط البيانية التي رسمتها في الخطوة السابقة، والرسوم التي حصلت عليها من قارئ البيانات.
8. صف العلاقة بين منحنيي الشحن والتفريغ باختصار.
9. ما سبب وجود المقاومة في دائرتي الشحن والتفريغ؟
10. هل يحتاج مكثف آخر أكبر سعة إلى زمن أطول حتى يُشحن تمامًا؟ لماذا؟





الشكل 14–5 منحنى شحن المكثف (a)، ومنحنى تفريغ المكثف (b).

سيحافظ المكثف المشحون على شحنته الموجودة على لوحيه، وعند فصل المكثف عن الدائرة الكهربائية يمكن استخدامه فترة قصيرة مصدرًا للجهد، إذ تتفرغ شحنته عند وصله بحمل كهربائي، حيث تعود ألواحه إلى التعادل مرة أخرى. ولعلك تستنتج مما سبق أن تيار الشحن أو التفريغ يمر في الدائرة الخارجية ولا يمر عبر المكثف نفسه؛ نظرًا لوجود المادة العازلة بين لوحيه. ويوضح **الشكل 14–5** منحنيَي الشحن والتفريغ للمكثف.

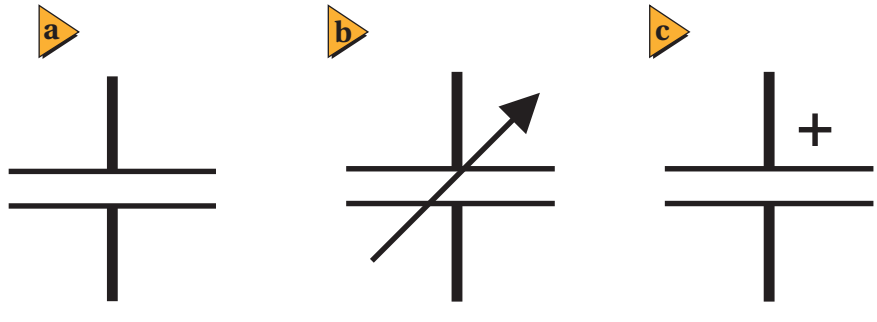
أنواع المكثفات المختلفة Types of capacitors تُصنَع المكثفات بأشكال وأحجام مختلفة كما يوضّح **الشكل 12–5**، فبعض المكثفات كبيرة وضخمة جدًّا، حتى إنها تملأ غرفة كاملة، ويمكنها تخزين شحنات تكفي لإحداث برق اصطناعي، أو تشغيل ليزرات عملاقة قادرة على إطلاق آلاف الجولات من الطاقة خلال بضعة أجزاء من المليون من الثانية. أما المكثفات الموجودة في التلفاز فيمكنها تخزين كمية كافية من الشحنات عند فروق جهد مساوية لعدة مئات من الفولتات، لذا تكون خطيرة جدًّا إذا لُمست، وتبقى هذه المكثفات مشحونة عدة ساعات بعد إغلاق التلفاز، وهذا هو سبب التحذير من نزع غطاء جهاز التلفاز القديم أو غطاء شاشة جهاز الحاسوب حتى لو لم تكن متصلة بمصدر جهد كهربائي.

ويمكن التحكم في السعة الكهربائية للمكثف بتغيير المساحة السطحية للموصلين، أو اللوحين الفلزيين داخل المكثف، أو تغيير المسافة بين اللوحين، أو تغيير طبيعة المادة العازلة بينهما. وتسمّى المكثفات بحسب نوع العازل الذي يفصل بين اللوحين، ومن ذلك: السيراميك، المايكا، البوليستر، الورق،

الهواء، ويمكن الحصول على سعة كهربائية كبيرة لمكثف بزيادة المساحة السطحية للوحين الفلزيين وتقليل المسافة بينهما، ولبعض المواد العازلة القدرة على عزل الشحنات الموجودة على لوحي المكثف بفاعلية وكفاءة، بحيث تسمح بتخزين كمية أكبر من الشحنة.

هناك بعض المكثفات التي تسمى المكثفات الكيميائية أو الإلكتروليتية، ومن ميزات هذه المكثفات أن سعتها كبيرة وحجمها صغير، ويتكون هذا النوع من المكثفات من عدة طبقات، ومن الأمثلة عليها مكثف يتكون من لوح سفلي يصنع من الألومنيوم، تعلوه طبقة عازلة من أكسيد الألومنيوم، وطبقة من الورق مشبعة بمادة كيميائية مناسبة مثل بلورات الأمونيوم، ولوح ألومنيوم علوي، وعند توصيل المكثف بجهد مستمر يشكل اللوح السفلي القطب الموجب للمكثف، ويصبح أكسيد الألومنيوم المترسب عليه هو الوسط العازل؛ كونه عازلًا جيدًا، بينما تشكل طبقة الورق واللوح العلوي القطبَ السالبَ للمكثف. وعند وصْل مثل هذا المكثف بالدوائر الإلكترونية، يوصل الطرف الموجب بنقطة الجهد الأكثر إيجابية، ومن الجدير ذكره أن عكس قطبية المكثف الكيميائي قد تؤدي إلى انفجاره وتلفه، ويوضح **الشكل 15–5** رموز المكثفات المستخدمة في الدوائر الكهربائية.

وبما أن المكثفات تعمل على تخزين الشحنات، لذا فإنه يمكن استخدامها في عدة مجالات، منها: استعمال المكثف الكيميائي في عمليتي الشحن والتفريغ في دوائر الترشيح التي تعمل على تحويل التيار المتناوب إلى تيار مستمر، حيث تعمل تلك الدوائر على تقليل التموج في قيمة الجهد الخارج من دائرة التقويم، وهذا ما سيتم توضيحه في البند اللاحق. ويستعمل المكثف الكيميائي ذو السعة الكبيرة في دوائر ومضات الفلاش في آلات التصوير، ويستخدم المكثف متغيّر السعة بربطه على التوازي مع ملف كهربائي لاختيار الترددات في جهاز الراديو أو التلفاز. وتستخدم المكثفات في الدوائر الإلكترونية بوصفها أداة لضبط الوقت في الدوائر الكهربائية، كما في أجهزة الإنذار.



الشكل 15–5 رمز المكثف ثابت السعة (a) رمز المكثف متغيّر السعة (b) رمز المكثف الكيميائي (c).

الدايودات Diodes

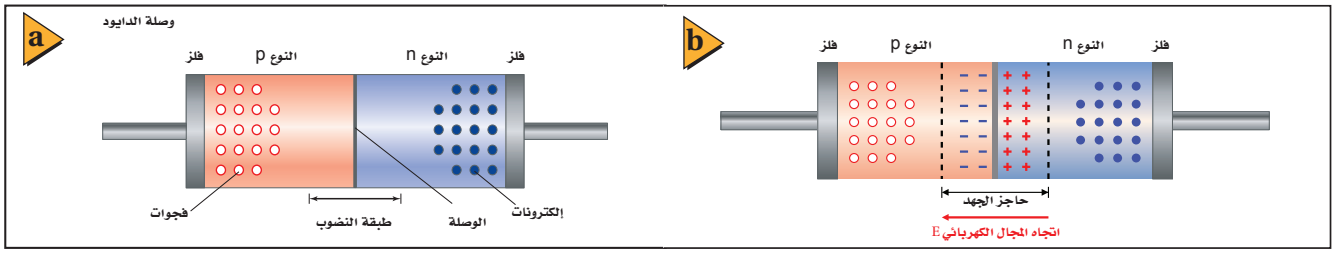
يعدّ **الدايود (الوصلة الثنائية)** أبسط الأدوات المصنوعة من أشباه الموصلات، وهو يتكوّن من قطعة صغيرة من مادة شبه موصلة من النوع p موصولة بقطعة أخرى من النوع n. وبدلاً من استخدام قطعتين منفصلتين من السليكون المعالج، ومن ثم وصلهما معًا، تؤخذ عينة واحدة من السليكون النقي وتُعالج أولاً بالمعالج p، ثم تعالج بالمعالج n، وتُطلى منطقة الوصل الفلزّية في كل منطقة، بحيث يمكن وصْل الأسلاك بها، كما هو موضح في **الشكل 5–16a**، ويطلق على الحد الفاصل بين شبه الموصل من نوع p وشبه الموصل من نوع n الوصلة؛ لذا فإن الأداة الناتجة تسمى الدايود من نوع pn.

إن التركيز العالي للإلكترونات الحرّة في الطرف n، والفجوات في الطرف P يؤدي إلى انتشار بعض الإلكترونات الحرة في الطرف n وانجذابها نحو الفجوات الموجبة في الطرف p، فتتحرك الإلكترونات بسهولة إلى الطرف p وتتحد مع الفجوات هناك. وبطريقة مماثلة تنتشر الفجوات من الطرف p إلى الطرف n، حيث تتحد مع الإلكترونات الموجودة هناك، وعندما تتّحد الإلكترونات الحرة مع الفجوات، تتشكل منطقة خالية من ناقلات الشحنة على جانبي الطبقة الفاصلة.

إن عملية انتقال ناقلات الشحنة من الإلكترونات والفجوات عبر الطبقة الفاصلة تسمى الانتشار، وينشأ عنها تيار عابر لفترة قصيرة يسمى تيار الانتشار Diffusion current، ونتيجة لهذا الانتشار يكون للمنطقة n شحنة كلية موجبة، بينما يكون للمنطقة p شحنة كلية سالبة، علمًا بأن كلا الطرفين كان متعادلًا كهربائيًّا في الأصل، على الرغم من احتوائهما على تركيزٍ عالٍ من ناقلات الشحنة الحرة سواء السالبة (الإلكترونات) أو الموجبة (الفجوات)، وذلك لأن كل ذرة من ذرات الشوائب هي نفسها متعادلة كهربائيًّا.

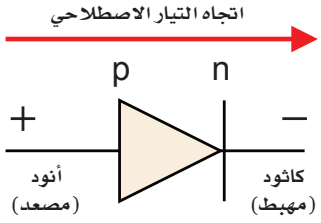
وبما أن المنطقة n أصبحت ذات شحنة كلية موجبة، والمنطقة p ذات شحنة كلية سالبة،فإن هذه الشحنات تنتج قوى في الاتجاه المعاكس؛ إذ ينشأ على جانبي الطبقة الفاصلة فرق في الجهد يسمى حاجز الجهد Potential barrier، يصل مقداره إلى بضعة أعشار من الفولتات، وينشأ عن فرق الجهد ذلك مجال كهربائي يتجه من المنطقة n نحو المنطقة p كما هو موضح ب**الشكل 5–16b**، مما يؤدي إلى توقُّف حركة المزيد من ناقلات الشحنة، وتترك المنطقة المحيطة بالطبقة الفاصلة دون فجوات أو إلكترونات حرة، فتنضب فيها ناقلات الشحنة، لذلك تسمى طبقة النضوب، وهي منطقة رقيقة جدًّا يبلغ سمكها

الشكل 5–16 الرسم التوضيحي لدايود نوع pn يوضح أن طبقة النضوب لا تحتوي على ناقلات للشحنة **(a)**، اتجاه المجال لحاجز الجهد الناشئ على جانبي الطبقة الفاصلة **(b)**.



حوالي 10^{-4} µm. ولأن طبقة النضوب لا تحتوي على ناقلات الشحنة، فإنها تعدّ رديئة التوصيل للكهرباء، ولذلك يتكون الدايود من موصلين جيدي التوصيل نسبيًّا عند الطرفين، بينهما منطقة رديئة التوصيل.

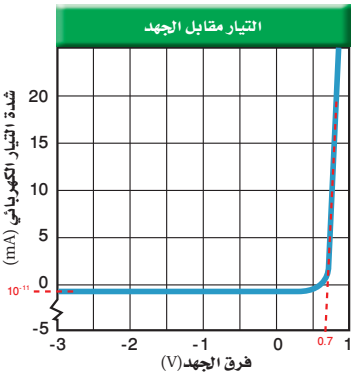
ويبين **الشكل 17–5** رمز الدايود المستخدم في الدوائر الكهربائية؛ حيث يمثل المثلث الطرف الموجب (ويسمى المصعد أو الأنود)، أما الخط المستقيم على رأس المثلث فيمثل الطرف السالب للدايود (ويسمى المهبط أو الكاثود)، ومن الجدير بالذكر أن اتجاه تدفُّق التيار الاصطلاحي في الدايود يكون دائمًا في اتجاه السهم.



الشكل 17–5 رمز الدايود في الدوائر الكهربائية، واتجاه التيار الاصطلاحي.

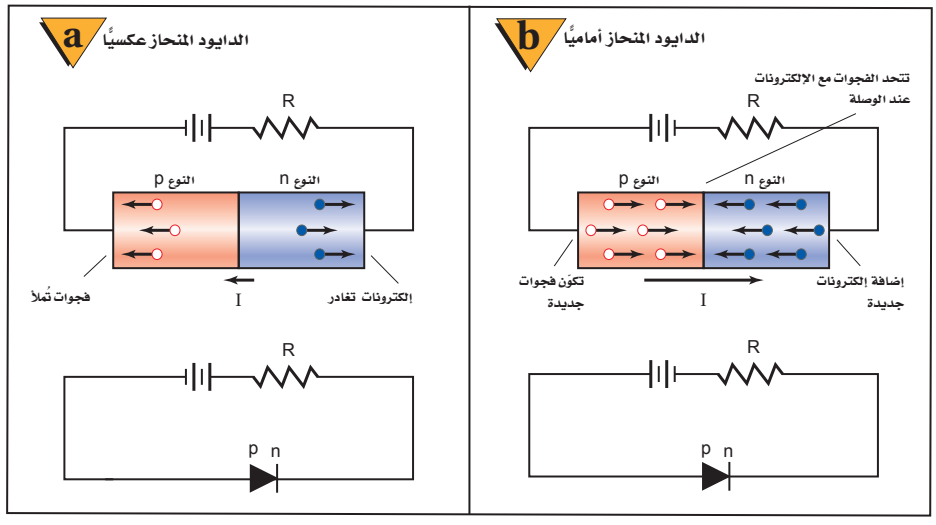
عندما يُوصَّل الدايود في الدائرة الكهربائية بالطريقة الموضحة في **الشكل 18a–5**، فإن كلًّا من الإلكترونات الحرة في المادة شبه الموصلة من النوع n والفجوات في المادة شبه الموصلة من النوع p تنجذب نحو البطارية، فيزداد عرض طبقة النضوب، ولا تتلاقى ناقلات الشحنة، ولا يكاد يمرّ تيار كهربائي من خلال الدايود؛ لذا فإنه يعمل عمل مقاوم كبير جدًّا، ويسمى الدايود الموصول بهذه الطريقة الدايود المنحاز عكسيًّا.

أما إذا عُكس اتجاه توصيل البطارية، كما هو موضح في **الشكل 18b–5**، فإن ناقلات الشحنة تُدفع في اتجاه طبقة النضوب، وإذا كان جهد البطارية كبيرًا بدرجة كافية – 0.7 V عند استعمال دايود السليكون– فإن الإلكترونات تصل إلى الطرف p وتملأ الفجوات، وتضمحل طبقة النضوب، ويعبر التيار من خلال الدايود، وتستمر البطارية في تزويد الطرف n بالإلكترونات، وتزيل الإلكترونات من الطرف p، وبذلك تعمل البطارية عمل مزوّد للفجوات، وبزيادة متواصلة في الجهد من البطارية يزداد التيار، ويسمى الدايود الموصول بهذه الطريقة الدايود المنحاز أماميًّا.

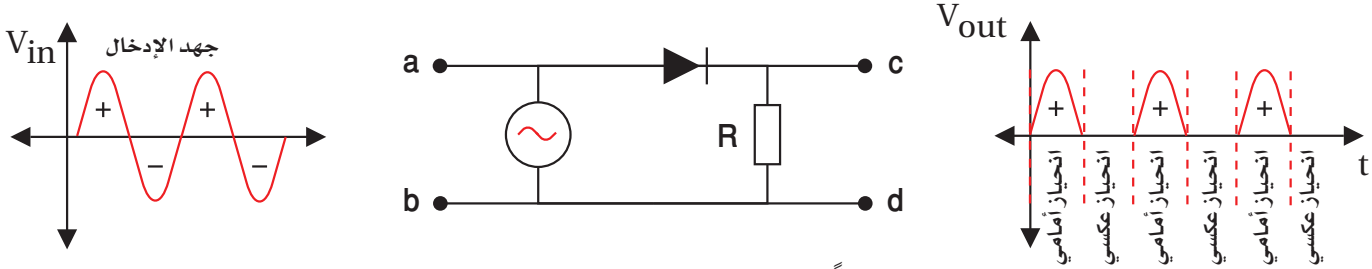


الشكل 19–5 يشير الرسم البياني إلى خصائص التيار–الجهد لوصلة دايود مصنوع من السليكون.

يبين الرسم البياني الموضح في **الشكل 19–5** التيار الكهربائي المارّ في دايود السليكون بوصفه دالّة رياضية للجهد المطبق عليه، فإذا كان الجهد المطبق عليه سالبًا، فإن الدايود يكون منحازًا عكسيًّا، ويعمل عمل مقاومة ذات مقدار كبير جدًّا، ووفقًا لذلك يمرّ تيار



الشكل 18–5 دائرة الانحياز العكسي ورسمها التخطيطي (a)، دائرة الانحياز الأمامي ورسمها التخطيطي (b).



الشكل 20–5 دائرة تقويم نصف الموجه.

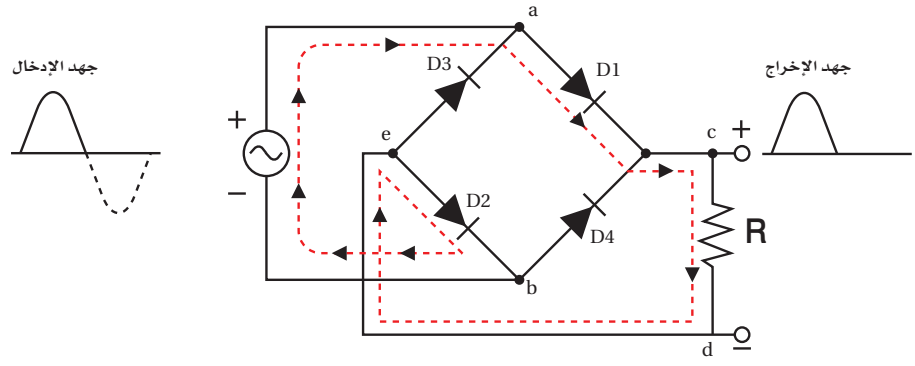
صغير جدًّا فقط (10^{-11} A تقريبًا لدايود السليكون)، ويسمى هذا التيار تيار الانحياز العكسي. وإذا كان الجهد المطبق على الدايود موجبًا، فإن الدايود يكون منحازًا أماميًّا، ويعمل عمل مقاوم صغير، وعلى الرغم من ذلك فإن الدايود لا يحقق قانون أوم.

ونستنتج مما سبق أن مقاومة الدايود للتيار الكهربائي تكون صغيرة في حالة توصيل الانحياز الأمامي، وكبيرة جدًّا في حالة توصيل الانحياز العكسي؛ أي أن الدايود يمرر التيار في اتجاه واحد فقط. ويمكن اعتبار الدايود في حالة الانحياز الأمامي مفتاحًا كهربائيًّا مغلقًا، أما في حالة الانحياز العكسي، فيمكن اعتباره مفتاحًا كهربائيًّا مفتوحًا.

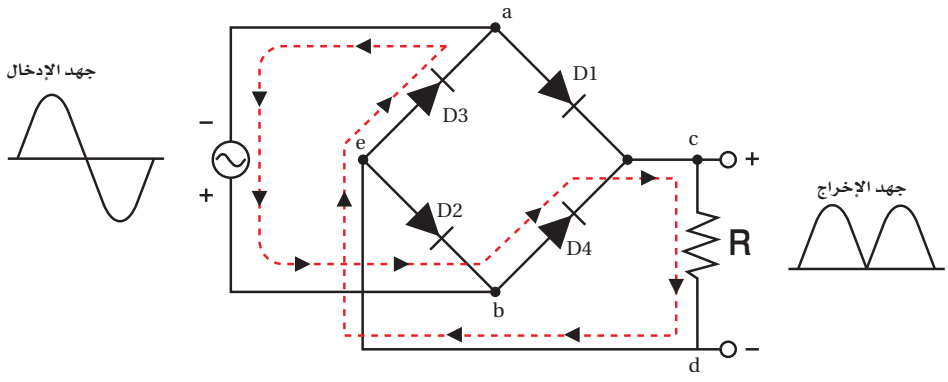
إن أحد الاستخدامات الرئيسة للدايود هي تحويل الجهد المتناوب AC إلى جهد مستمر DC بقطبية واحدة فقط، وعندما يستخدم الدايود في دائرة كهربائية تقوم بهذه الوظيفة، فعندئذ يسمى المقوّم.

ماذا قرأت؟ ما وظيفة الدايود في الدوائر الكهربائية؟

مقوّم نصف الموجة half wave rectifier إن التيار المتناوب (المتردد) يغير اتجاهه كل نصف دورة؛ أي أن اتجاهه يكون موجبًا في نصف الزمن الدوري وسالبًا في نصفه الآخر، وعند توصيل مقاومة كهربائية ودايود معًا، وتطبيق جهد كهربائي متناوب عليهما، ومن ثم عرض رسْم الجهد الكهربائي المطبّق على المقاومة بواسطة راسم الذبذبات Oscilloscope كما هو موضح في **الشكل 20–5**، فإننا نحصل على نصف الموجة الموجب فقط (وبالتالي نفقد نصف الطاقة الكهربائية المنتجة)؛ لأن الدايود يسمح بتدفق التيار في اتجاه واحد فقط؛ حيث يُوصِّل الدايود الجزء الموجب من التيار المتناوب (حيث يكون الانحياز أماميًّا)، ولا يسمح بمرور الجزء السالب من التيار المتناوب (حيث يكون الانحياز عكسيًّا)، مما ينتج عنه وجود تيار فقط خلال الجزء الموجب، ومن الشكل يظهر أن هذا التيار على الرغم من أنه موحد الاتجاه إلا أنه يبقى متغير القيمة.



الشكل 21–5 دائرة تقويم الموجه الكاملة خلال النصف الموجب.

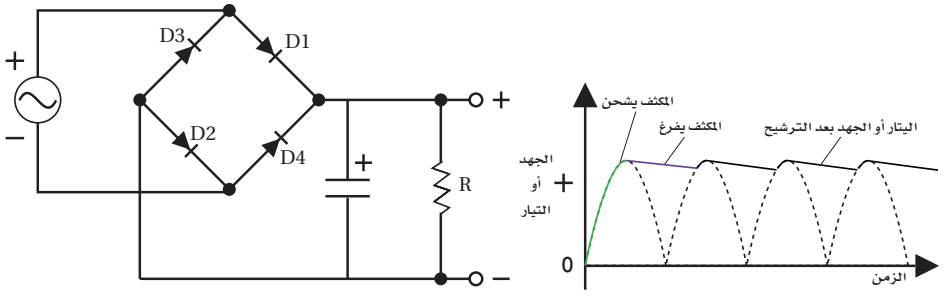


الشكل 5–22 دائرة تقويم الموجة الكاملة خلال النصف السالب.

مقوّم الموجة الكاملة Full wave rectifier لتقويم التيار المتناوب كاملًا، وبالتالي الاستفادة من الطاقة الكهربائية بالكامل، يُستخدم أربعة دايودات توصل على شكل قنطرة، كما هو موضح في **الشكل 21–5**، حيث يوصل مصدر فرق الجهد المتناوب إلى النقطتين a وb، وخلال النصف الموجب من الموجة الذي تكون فيه النقطة a موجبة بالنسبة للنقطة b، فإن كلًّا من الدايودين D1 وD2 يكونان موصلين للتيار؛ لأنهما في حالة انحياز أمامي، أما الدايودين D3 وD4 فيكونان غير موصلين؛ لأنهما في حالة انحياز عكسي، فيمر التيار خلال الدايود D1 إلى النقطة c ومنها إلى النقطة d خلال المقاومة R، ثم إلى النقطة e ومنها للدايود D2 ليكمل الدائرة إلى مصدر الجهد المتناوب.

وخلال النصف السالب حيث تكون النقطة a سالبة بالنسبة إلى النقطة b، فإن كلًّا من الدايودين D3 وD4 يكونان موصلين للتيار؛ لأنهما في حالة انحياز أمامي، أما الدايودين D1 وD2 فيكونان غير موصلين؛ لأنهما في حالة انحياز عكسي، فيمر التيار خلال الدايود D4 إلى النقطة c ومنها إلى النقطة d خلال المقاومة R، ثم إلى e ومنها إلى a خلال الدايود D3 ليكمل الدائرة إلى مصدر الجهد المتناوب، كما هو موضح في **الشكل 22–5**.

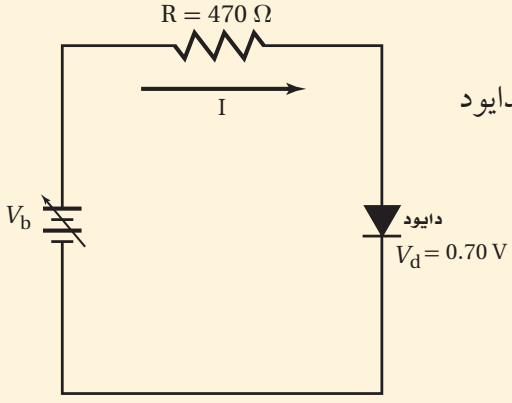
دوائر التنعيم Smoothing circuits نحصل من دائرة تقويم الموجة الكاملة على جهد موحد الاتجاه ولكنه متغيّر القيمة، ويؤدي عدم الثبات في قيمة الجهد الخارج إلى ظهور تشويه في الإشارات التي يتم نقلها وتكبيرها في الدوائر الإلكترونية التي يتم تزويدها بواسطة هذه الجهود المقوّمة. ومن الأمثلة على ذلك نشوء طنين منتظم في صوت المذياع يرافق الصوت الأصلي، لذا فإن مصممي الدوائر الإلكترونية التي تستخدم فيها عملية التقويم يلجؤون إلى تقليل التغير في قيمة الجهد باستخدام دوائر تنعيم Smoothing تعمل على تقليل التموج في قيمة الجهد الخارج من دائرة التقويم. ومن أبسط طرق التنعيم استخدام مكثف كيميائي؛ حيث تؤدي عمليتا شحن المكثف وتفريغه إلى تقليل التموج في قيمة الجهد الخارج من دائرة التقويم، كما هو موضح في **الشكل 23–5**.



الشكل 23–5 دائرة تنعيم، حيث يعمل المكثف الكيميائي على تقليل التموج في قيمة الجهد الخارج من دائرة التقويم.

مثـــال 3

دايود في دائرة كهربائية بسيطة دايود مصنوع من السليكون له خصائص I /V موضحة في الشكل 19–5، وموصول بمصدر قدرة ومقاوم مقداره 470 Ω. إذا عمل مصدر القدرة على انحياز الدايود إلى الأمام، وعُدّل جهده حتى أصبح التيار المار في الدايود 12 mA، فما مقدار جهد مصدر القدرة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخططًا توضيحيًّا للدائرة الكهربائية التي وُصِل بها الدايود والمقاومة 470 Ω ومصدر القدرة، ثم بيّن اتجاه التيار.

المعلوم	المجهول
$I = 0.012\ A$	$V_b = ?$
$V_d = 0.70\ V$ (من الشكل)	
$R = 470\ \Omega$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

يُعطى الهبوط في الجهد عبر المقاوم من خلال المعادلة V = IR، وجهد مصدر القدرة يساوي مجموع الهبوط في الجهد في المقاوم والدايود.

بالتعويض

$I = 0.012\ A$ ،$R = 470\ \Omega$ ،$V_d = 0.70\ V$

$$V_b = IR + V_d$$
$$= (0.012\ A)\ (470\ \Omega) + 0.70V$$
$$= 6.3\ V$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** فرق جهد مصدر القدرة مقيس بوحدة الفولت.
- **هل الجواب منطقي؟** تتفق مع التيار والمقاومة.

مسائل تدريبية

12. ما جهد البطارية اللازم لتوليد تيار كهربائي شدته 2.5 mA في الدايود الوارد في المثال 3؟

13. ما جهد البطارية اللازم لتوليد تيار كهربائي شدته 2.5 mA إذا وصل دايود آخر مماثل على التوالي مع الدايود الوارد في المثال 3؟

14. صف كيف يجب أن يوصل الدايودان معًا في المسألة السابقة.

15. صف ما يحدث في المسألة 13 إذا وصل الدايودان على التوالي في اتجاه غير صحيح.

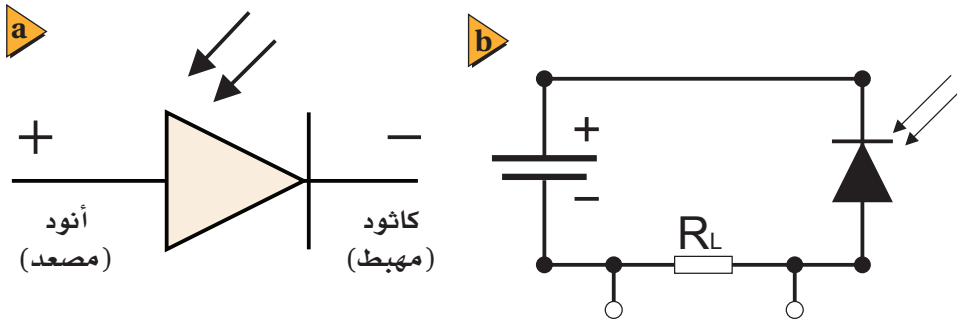
16. يبلغ مقدار الهبوط في الجهد للدايود المصنوع من الجرمانيوم 0.40 V عند مرور تيار كهربائي شدته 12 mA خلاله. فإذا وُصِل مقاوم مقداره 470 Ω على التوالي مع الدايود، فما جهد البطارية اللازم؟

الدايودات الضوئية Photodiodes

يتكون الدايود الضوئي من شريحة رقيقة من السليكون أو الجرمانيوم لها جانبان: أحدهما مصنوع من مادة شبه موصلة من النوع N، والآخر مصنوع من مادة شبه موصلة من النوع P، وتوضع هذه الشريحة داخل غلاف من الزجاج أو البلاستيك الشفاف الذي يسمح بمرور الضوء ليصل إلى الحاجز الفاصل أو الوصلة الفعّالة (منطقة التقاء P مع N)، وتغطى الجوانب الأخرى بطلاء أسود لمنع مرور الضوء منها. وللدايود الضوئي طرفا توصيل، هما: الأنود المتصل مع المنطقة P، والكاثود المتصل مع المنطقة N، ويرمز إلى الدايود الضوئي بالرمز الموضح في **الشكل 24a–5**.

يعمل الدايود الضوئي في حالة الانحياز العكسي كما هو موضح في **الشكل 24b–5**، فعندما يكون الدايود الضوئي منحازًا عكسيًّا يمر تيار ثابت خلاله، يسمى تيار الإشباع العكسي الذي لا يعتمد على جهد الانحياز، ويمر هذا التيار نتيجة لحاملات الشحنة المتولدة حراريًّا، ويُسمّى هذا التيار تيار الإظلام (Dark current). وعند سقوط الضوء على مادة شبه الموصل فإن بعض إلكترونات التكافؤ تكتسب طاقة إضافية، فتنتقل هذه الإلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل، مكونةً أزواجًا من الإلكترونات والفجوات، لتشترك هذه الإلكترونات والفجوات في التوصيل الكهربائي، فيزداد التيار العكسي نتيجة لذلك. ويعتمد التيار العكسي على شدة الضوء الساقط؛ فكلما زادت شدة الضوء تحررت المزيد من أزواج الإلكترونات والفجوات، وقلّت مقاومة منطقة النضوب، ومن ثم يمر التيار.

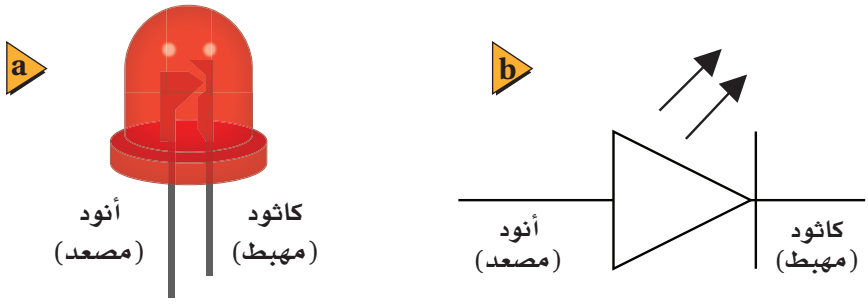
تُستعمَل الدايودات الضوئية في دوائر التحكم التي تعمل بالضوء، كما تستخدم في تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية كما في الخلايا الشمسية.



الشكل 24–5 رمز الدايود الضوئي في الدوائر الكهربائية **(a)** دايود ضوئي منحاز عكسيًّا **(b)**.

تطبيق الفيزياء

دايود الليزر يبعث دايود الليزر المثالي الضوء بطول موجي مقداره 800 nm، الذي يعدّ قريبًا من الأشعة تحت الحمراء، فيخرج الشعاع من بقعة صغيرة في رقاقة GaA/As، وعندما يُزوَّد الدايود بتيار مقداره 80 mA، يحدث فيه هبوط جهد أمامي مقداره 2 V. وتستخدم دايودات الليزر عادة في الإرسال عبر الألياف البصرية.



الشكل 25–5 رمز الدايود المشع للضوء في الدوائر الكهربائية.

الدايودات المشعة للضوء Light – emitting diodes

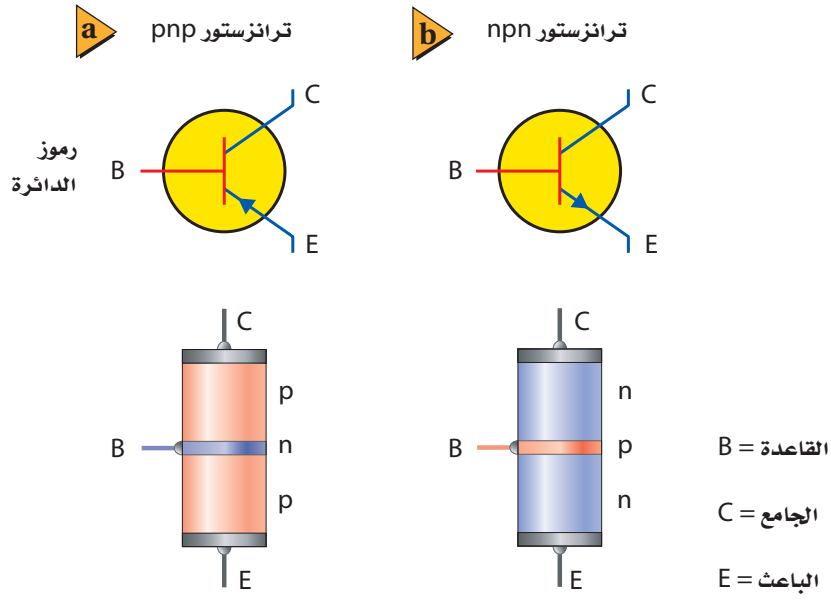
تبعث الدايودات المصنوعة من مزيج الجاليوم والألومنيوم مع الزرنيخ والفوسفور ضوءًا عندما تكون منحازة أماميًّا. فعندما تصل الإلكترونات إلى الفجوات في الوصلة فإنها تتّحد معًا مجددًا، وتُطلَق الطاقة الفائضة على هيئة ضوء بأطوال موجية محددة. وتعرف هذه الدايودات بالدايودات المشعة للضوء، أو LEDs. وقد شكلت بعض الدايودات المشعة للضوء لتبعث حزمة ضيقة من ضوء الليزر المترابط الأحادي اللون. وتُعد دايودات الليزر هذه مصادر قوية للضوء، وتستخدم في مشغلات الأقراص المدمجة CD، ومؤشرات الليزر، وفي الماسحات الضوئية لأشرطة الترميز المستخدمة في الأسواق التجارية، كما تستخدم في شاشات التلفاز الحديثة، والإضاءة وغيرها من الإستخدامات الواسعة. ويمثل **الشكل 25a–5** أحد أشكال الدايودات المشعة للضوء، ويرمز إلى الدايود المشع للضوء في الدوائر الكهربائية بالرمز الموضح في **الشكل 25b–5**.

الترانزستورات والدوائر المتكاملة

Transistors and Integrated Circuits

يعدّ الترانزستور خطوة جديدة ومتقدمة – بعد صناعة الدايود – على طريق التطور الإلكتروني التقني الهائل الذي شهده النصف الثاني من القرن العشرين، ولا يزال مستمرًا حتى اليوم. وتحتوي الدوائر المتكاملة المستخدَمة في معظم الصناعات الإلكترونية والأجهزة على عدد كبير من الترانزستورات. فعندما تستمع إلى الأصوات الصادرة عن مضخمات الصوت، أو تشاهد بعض الأجهزة الحساسة التي تُشغّل المصباح عند انخفاض شدة الضوء، اعلم أنك تستخدم الترانزستور الذي يعدّ عنصرًا أساسيًّا في عمل تلك الأجهزة.

والترانزستور أداة بسيطة مصنوعة من مادة شبه موصلة معالَجة، وهو على نوعين: أحدهما يسمى ترانزستور npn، والآخر يسمى ترانزستور pnp، ويتكون ترانزستور npn من طبقتين من مادة شبه موصلة من النوع n على طرفي طبقة رقيقة مصنوعة من مادة شبه



الشكل 26–5 يُقارن بين رمزي الدائرتين الكهربائيتين المستخدمتين لتمثيل ترانزستور pnp(**a**). وترانزستور npn(**b**) .

موصلة من النوع p. أما ترانزستور pnp فيتكون من طبقتين من مادة شبه موصلة من النوع p على طرفي طبقة رقيقة مصنوعة من مادة شبه موصلة من النوع n. وتسمى الطبقة المركزية القاعدة، أما الطبقتان الأخريان فتسمى إحداهما الباعث، والأخرى المجمِّع. ويوضح **الشكل 26–5** رسمين تخطيطيين لنوعي الترانزستور، ويوضح السهم المرسوم على الباعث اتجاه التيار الاصطلاحي. وتجدر الإشارة إلى أن ترانزستور npn هو الأكثر شيوعًا واستخدامًا في الدوائر الكهربائية.

وتمتاز طبقة القاعدة في الترانزستور بأنها رقيقة جدًّا وهي أقل طبقاته من حيث السُّمك ونسبة الشوائب، كما أنها أكبر الطبقات مقاومة وأقلها في درجة التوصيل. أما طبقة الباعث فتتميّز باحتوائها على أعلى نسبة شوائب، وبأنها أقل سُمكًا من المجمّع وأكثر من القاعدة. وتتميز طبقة المجمّع بأنها أكبر طبقات الترانزستور سُمكًا، أما نسبة الشوائب فيها فهي أقل منها في طبقة الباعث.

وتقوم فكرة استخدام الترانزستور في الدوائر الكهربائية على اعتباره حلقة وصل بين دائرتين كهربائيتين مختلفتين؛ بحيث تتحكم إحدى الدائرتين في عمل الدائرة الأخرى بحسب طريقة توصيله بينهما، وبذلك يعمل الترانزستور عمل مفتاح كهربائي، كما يمكن استخدام الترانزستور مضخِّمًا للإشارات الكهربائية بين الدائرتين؛ بحيث يَنتج عن أي تغيير بسيط في إشارة الدائرة الأولى تغيرٌ كبير في إشارة الدائرة الثانية.

تجربة

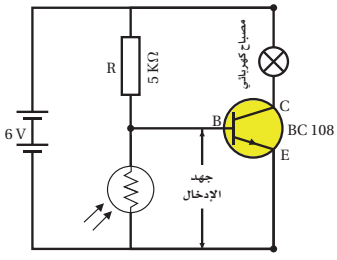
الترانزستور بوصفه مفتاحًا كهربائيًّا

احصل من معلمك على مقاوم ضوئي LDR، وترانزستور من نوع npn، وبطاريات وأسلاك توصيل، ومقاومة كهربائية ثابتة، ومصباح كهربائي صغير، ومصباح يدوي.

1. صل الدائرة الموضحة أدناه.
2. سلّط ضوء المصباح اليدوي على المقاوم الضوئي، ثم سجِّل ملاحظاتك، ماذا يحدث لإضاءة المصباح الكهربائي.
3. أطفئ المصباح اليدوي واحجب الضوء تمامًا عن المقاوم الضوئي، ثم سجِّل ملاحظاتك.

التحليل والاستنتاج

4. ماذا يشكل وصْل المقاوم الضوئي والمقاومة R معًا بالطريقة الموضحة في الدائرة؟
5. إن فرق الجهد حول طرفي المقاوم الضوئي يشكّل جهد الإدخال إلى الترانزستور بين القاعدة B والباعث E. وضح ماذا يحدث لجهد الإدخال إلى الترانزستور عندما يسقط الضوء على المقاوم الضوئي، وما أثر ذلك في إضاءة المصباح؟
6. وضح ما يحدث لإضاءة المصباح عند حجب الضوء تمامًا عن المقاوم الضوئي؟

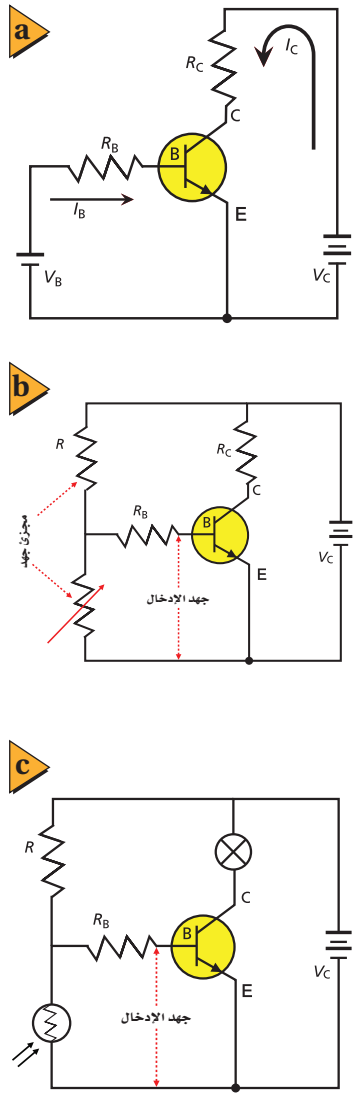


وتصنَّف طرق توصيل الترانزستور بين الدائرتين بحسب نوع قطب الترانزستور المشترك بينهما، وهذه الطرق هي: طريقة الباعث المشترك، وطريقة القاعدة المشتركة، وأخيرًا طريقة المجمّع المشترك. ونظرًا لأن طريقة الباعث المشترك هي الأكثر شيوعًا واستخدامًا في تكبير الجهد والقدرة، لذا سنتناولها في هذا القسم.

يوضح **الشكل 5–27a** طريقة عمل ترانزستور npn، وهو النوع الأكثر استخدامًا في الدوائر العملية كما ذكرنا. ويمكن اعتبار وصلتي pn في الترانزستور تشكيلًا مبدئيًّا لدايوديين موصولين معًا بصورة عكسية. والبطارية الموضوعة عن اليمين V_C تعمل على إبقاء شحنة المجمّع موجبةً أكثر من شحنة الباعث، ويكون الدايود الموجود بين القاعدة والمجمّع منحازًا عكسيًّا، وتكون طبقة النضوب عريضة، ولذلك لا يتدفق تيار من المجمِّع إلى القاعدة. وعندما توصل البطارية الموضوعة عن يسار V_B تكون شحنة القاعدة موجبة أكثر من شحنة الباعث، وهذا يجعل الدايود الموجود بين القاعدة والباعث منحازًا أماميًّا، فيسمح ذلك للتيار I_B بالمرور من القاعدة إلى الباعث.

وتمثّل القاعدة الرقيقة جدًّا جزءًا من كلا الدايوديين في الترانزستور، كما يقلّل حقن الشحنات بالتيار I_B من الانحياز العكسي للدايود الموجود بين القاعدة والمجمّع، بحيث يسمح للشحنة بالتدفق من المجمّع إلى الباعث؛ لذا يُنتج التغيرُ القليل في التيار I_B تغيرًا كبيرًا في التيار I_C. ويسبب تيار المجمّع هبوطًا في الجهد عبر المقاوِم R_C، وتُنتج التغيرات الصغيرة في الجهد V_B المطبَّق على القاعدة تغيراتٍ كبيرةً في تيار المجمّع، مما يُحدِث تغيرات في الهبوط في الجهد عبر المقاوم R_C أيضًا، ونتيجة لذلك يضخّم الترانزستور تغيراتِ الجهد الصغيرة إلى تغيرات أكبر كثيرًا. وإذا كانت الطبقة المركزية مصنوعة من مادة شبه موصلة من النوع n فإن الأداة عندئذ تسمى ترانزستور pnp. ويعمل هذا الترانزستور بطريقة تماثل عمل ترانزستور npn، إلا أن قطبي كل من البطاريتين معكوسان.

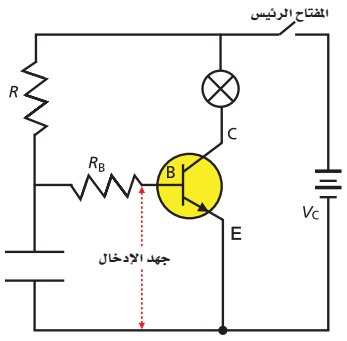
وحتى لا نستخدم أكثر من مصدر قدرة كهربائية في الدائرة الموضحة في **الشكل 5–27a** يمكننا الاستعاضة عن ذلك باستخدام مجزئ الجهد الموضح في **الشكل 5–27b**. ووفق قانون مجزئ الجهد فعندما تنعدم قيمة المقاومة المتغيرة ينعدم فرق الجهد حول طرفيها، ولذلك لا يمر تيار خلال المقاوم R_C. ويمكن استخدام الدائرة الموضحة في **الشكل 5–27b** بوصفها مفتاحًا كهربائيًّا آليًّا، فإذا وضعنا مقاومًا ضوئيًّا LDR بدلًا من المقاومة المتغيرة، ومصباحًا كهربائيًّا صغيرًا بدلًا من المقاوم R_C، كما هو موضح في **الشكل 5–27c**، فإن المقاومة R والمقاوم الضوئي يشكلان مجزئَ جهدٍ. وعندما يسقط الضوء على المقاوم الضوئي، تنخفض مقاومته، ويقلّ فرق الجهد بين طرفيه، وبالتالي يكون جهد الإدخال إلى الترانزستور صغيرًا، مما يزيد المقاومة بين منطقتي: المجمّع والباعث بالنسبة للترانزستور إلى درجة كبيرة. ولذلك يكون فرق الجهد حول طرفي المصباح صغيرًا جدًّا، وعليه يكون التيار المتولّد خلال هذا الجزء من الدائرة صغيرًا جدًّا فلا يضيء المصباح. وعندما تُحجب الإضاءة عن المقاوم الضوئي تصبح مقاومته عالية، ويصبح فرق جهد الإدخال كبيرًا



الشكل 5–27 تُظهر الدائرة التي تستخدم ترانزستور npn كيف يمكن تضخيم الجهد (a)، وحتى نستخدم بطارية واحدة نستخدم مجزئ الجهد (b). دائرة يتم من خلالها التحكم في إضاءة المصباح باستخدام مقاوم ضوئي (c).

(فـرق الجهد بين القاعـدة B والباعث E)، وتصبح المقاومة بين منطقـة المجمّع C ومنطقة الباعث E منخفضة، ولذا يضيء المصباح.

يمكـن اسـتخدام ترانزسـتور ومكثـف كهربائـي بوصفهـما مفتاحًـا لتأخـير الوقـت a time delay switch، كـما هـو موضـح في **الشـكل 28–5**، فعندمـا يغلـق المفتـاح الكهربائي الرئيس الموضح في الدائرة لن يضيء المصباح مباشرة، وإنما سيضيء بعد فترة من الزمن، وبناء عليه سيكون هناك وقت تأخير قبل إضاءة المصباح، ويرجع سبب ذلك إلى أن المكثف يُشحن ببطء لوجود المقاومة، وقد تستغرق عملية شحنه عدة ثوان، وعندما يصبح جهد المكثف كافيًا لتشـغيل الترانزسـتور، يعمل جهد المكثف على فتح دائرة الترانزستور، فيضيء المصباح. ويمكن زيادة زمن التأخير بزيادة سعة المكثف أو زيادة المقاومة R.



الشـكل 28–5 يعمـل الترانزسـتور والمكثـف في هذه الدائرة بوصفهما مفتاحًا لتأخير الوقت.

كسـب التيـار Current gain يعدّ كسـب التيار مـن دائرة القاعدة إلى دائـرة المجمّع مؤشرًا مفيدًا على أداء الترانزستور، وعلى الرغم من أن تيار القاعدة صغير جدًّا، إلا أنه يعتمد على جهد القاعدة–الباعث الذي يتحكم في تيار المجمّع. فمثلاً، إذا أزيل الجهد V_B في الشـكل **27a–5**، فسـوف يهبـط تيـار المجمّـع إلى الصفـر. وإذا ازداد الجهـد V_B ازداد تيـار القاعـدة I_B، وازداد أيضًـا تيـار المجمّـع I_c ولكـن بصـورة كبيرة (مـن المحتمـل أن يزيد 100 مـرة أو أكثر). ويـتراوح مـدى كسـب التيار مـن القاعـدة إلى المجمّع مـن 50 إلى 300 للاسـتخدامات العامة للترانزستورات.

في جهـاز التسـجيل، تُضخَّـم التغـيرات الصغـيرة في الجهـد الحثـي في الملـف الناتجـة عن المناطـق الممغنطـة الموجودة على الشريط؛ لتحريك ملف السـماعة، وفي الحواسـيب يمكن للتيارات الصغيرة في دوائر القاعدة –الباعث تشـغيل وإيقاف التيارات الكبيرة في دوائر المجمّع–الباعث، وبالإضافة إلى ذلك يمكن وصْل العديد من الترانزسـتورات معًا لتنفيذ عمليـات منطقيـة، أو لإضافـة أرقام معًا. وفي هـذه الحالات تعمل الترانزسـتورات عمل مفاتيح تحكُّم سريعة الأداء بدلاً من عملها مضخمات.

عند توصيل الترانزسـتور في الدوائـر الكهربائية بطريقة الباعث المشـترك يتجه معظم تيار الباعـث I_E نحـو المجمّع، ويمر تيار المجمّع I_C في حين يكـون تيار القاعدة I_B صغيرًا جدًّا، وعليـه يمكن تمثيل تيار الباعث بالعلاقة التاليـة: $I_E=I_C+I_B$. وقد بينت التجارب العملية – كما ذكرنا سابقًا – أن شدة تيار المجمّع I_C تتأثر كثيرًا بأي تغير يطرأ على تيار القاعدة I_B؛ حيث يؤدي توقف تيار القاعدة إلى توقف تيار المجمّع، كما تؤدي زيادة شـدة تيار القاعدة أو انخفاضها إلى زيادة شـدة تيار المجمع أو انخفاضها بنسـبة ثابتة تسـمى كسب التيار β، ويمكـن تمثيـل ذلك من خلال العلاقة: ؛ أي أن $I_C=\beta I_B$، وهذا يعني أن تيار المجمّع أكبر من تيار القاعدة، وبالتعويض عن تيار المجمّع بعلاقة تيار الباعث نحصل على:

$$I_E=I_C+I_B$$

$$I_E=\beta I_B+I_B$$

$$I_E=(\beta+1)I_B$$

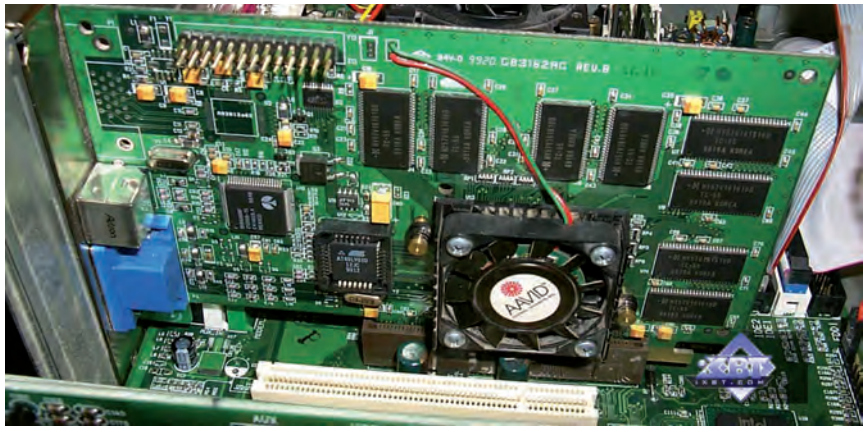
وبما أن مقدار كسب التيار β تتراوح قيمته بين 50 و 300؛ أي أن β أكبر بكثير من الواحد الصحيح، فيمكننا أن نستخدم التقريب الآتي: $\beta+1 \approx \beta$، وعليه نستنتج أن العلاقة بين تيار الباعث وتيار القاعدة هي كما يلي: $I_E = \beta I_B$، وبالمقارنة بين تيار الباعث I_E وتيار المجمّع I_C، نجد أن $I_C \approx I_E$

الرقائق الميكروية Microchips دوائر متكاملة، يسمّى كل منها **رقاقة ميكروية Microchip**، تتكوّن من آلاف الترانزستورات والدايودات والمقاومات والموصلات، وطول كل منها لا يتجاوز الميكرومتر الواحد، ويمكن صناعة كل هذه المكوّنات بمعالجة السليكون وتشويبه (إضافة شوائب) بذرات مانحة أو مستقبلة. وتبدأ الرقاقة الميكروية ببلورة واحدة من السليكون عالية النقاوة، يتراوح نصف قطرها بين 10 cm و30 cm وطولها بين 1 m و2 m، ثم يقطع السليكون بمنشار مطلي بالألماس إلى شرائح سمكها أقل من 1 mm، ثم تبنى الدائرة طبقة بعد أخرى على سطح هذه الشريحة.

وتُنتَج آلاف الدوائر المتماثلة في شريحة واحدة تُسمَّى عادة الرقاقة، ثم تُفحَص هذه الرقائق، وتُقطَّع إلى شرائح منفردة، وتوضع في حامل، ثم توصل الأسلاك بوصلاتها، وعند التجميع النهائي يغلّف المنتج بإحكام بمواد بلاستيكية حافظة.

إن الحجم الصغير للرقائق الميكروية الموضحة في **الشكل 29–5** يسمح بوضع الدوائر المعقدة في مساحة صغيرة. ولأن الإشارات الإلكترونية تنتقل خلال مسافات قصيرة جدًّا فقد زاد هذا من سرعة الحواسيب، وتستخدم الرقائق الآن في الأجهزة الكهربائية وفي السيارات، كما تُستخدَم في الحواسيب.

تتطلب إلكترونيات أشباه الموصلات عمل الفيزيائيين والكيميائيين والمهندسين معًا في فريق واحد؛ حيث يساهم الفيزيائيون بمعرفتهم لحركة الإلكترونات والفجوات في أشباه الموصلات، ويعمل الفيزيائيون والكيميائيون معًا على إضافة كميات مضبوطة ودقيقة من المعالجات (الشوائب) إلى السليكون ذي النقاوة الكبيرة، ويطوّر المهندسون وسائل إنتاج الرقائق التي تحتوي على الآلاف من الدايودات والترانزستورات المصغّرة؛ وبتكاتف جهودهم معًا استطاعوا نقْل عالمنا هذا إلى العصر الإلكتروني.



الشكل 29–5 تشكل الرقائق الميكروية قلب وحدة المعالجة المركزية في أجهزة الحاسوب.

مثـــــال 4

الترانزستور في دائرة كهربائية بسيطة لديك ترانزستور من النوع npn متصل بطريقة الباعث المشترك. إذا كانت شدة تيار المجمّع تساوي $I_C=6\times10^{-3}\,A$، وشدة تيار القاعدة $I_B=60\times10^{-6}\,A$، فاحسب:

a. مقدار الكسب في التيار.

b. شدة تيار الباعث.

1 تحليل المسألة

المعلوم	المجهول
$I_C=6\times10^{-3}\,A$	$\beta=?$
$I_B=60\times10^{-6}\,A$	$I_E=?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم العلاقة بين تيار القاعدة وتيار المجمّع

$$\beta=\frac{I_C}{I_B}$$

بالتعويض $I_B=60\times10^{-6}\,A$، $I_C=6\times10^{-3}\,A$

$$=\frac{6x10^{-3}}{60\,x\,10^{-6}}=100$$

b. استخدم العلاقة بين تيار الباعث وتيار المجمّع وتيار القاعدة

$$I_E=I_C+I_B$$

بالتعويض $I_B=60\times10^{-6}\,A$، $I_C=6\times10^{-3}\,A$

$$I_E=60\times10^{-6}\,A+6\times10^{-3}\,A$$

$$=0.00606\,A$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** نعم فكسب التيار من دون وحدات.
- **هل الجواب منطقي؟** نعم لأن $I_E\approx I_C$.

مسائل تدريبية

17. ما العلاقة بين شدة تيار المجمّع وشدة تيار القاعدة عندما يعمل الترانزستور بوصفه مضخمًا؟ احسب شدة تيار القاعدة إذا كان كسب التيار يساوي 120، وشدة تيار المجمّع تساوي 0.6 A، واحسب مقدار تيار الباعث I_E.

18. إذا وصل ترانزستور من النوع npn بطريقة الباعث المشترك، وكانت شدة تيار المجمّع تساوي $I_C=2\times10^{-3}\,A$، وشدة تيار القاعدة تساوي $I_B=30\times10^{-6}\,A$، فاحسب:

a. مقدار كسب التيار.

b. شدة تيار الباعث (I_E).

2–5 مراجعة

19. **دائرة الترانزستور** تيار الباعث في دائرة الترانزستور يساوي دائمًا مجموع تياري القاعدة والمجمّع: $I_E=I_B+I_C$. فإذا كان كسب التيار من القاعدة إلى المجمّع يساوي 95، فما النسبة بين تيار الباعث إلى تيار القاعدة؟

20. **هبوط جهد الدايود** إذا كان الدايود في **الشكل 19–5** منحازًا إلى الأمام بواسطة بطارية ومقاوم موصول به على التوالي، وتكوّن تيار يزيد على 10 mA، وهبوط في الجهد دائمًا 0.70 V تقريبًا – افترض أن جهد البطارية زاد بمقدار 1 V – فاحسب:

a. مقدار الزيادة في الجهد عبر الدايود أو الجهد عبر المقاوم.

b. مقدار الزيادة في التيار المارّ في المقاوم.

21. **مقاومة الدايود** قارن بين مقداري مقاومة الدايود نوع pn عندما يكون منحازًا إلى الأمام وعندما يكون منحازًا عكسيًّا.

22. **قطبية الدايود** في الدايود المشع للضوء، ما الطرف الذي يجب أن يوصل بالطرف p لجعل الدايود يضيء؟

23. **كسب التيار** إذا قيس تيار القاعدة في دائرة الترانزستور فكان 55 μA، وتيار المجمّع 6.6 mA، فاحسب مقدار كسب التيار من القاعدة إلى المجمّع.

24. **السعة الكهربائية** ما مقدار الشحنة المختزنة في مكثف سعته 0.47 μF عندما يُطبّق عليه فرق جهد مقداره 12 V؟

25. **التفكير الناقد** هل يمكن أن تستبدل ترانزستور npn بدايودين منفصلين يوصلان معًا من الطرف p لكل منهما؟ وضح إجابتك.

5–3 البوابات المنطقية والمفاتيح الكهربائية
Logic gates and switches

الإشارات الإلكترونية Electronic signals

تعمل الدوائر الإلكترونية بالإشارات الإلكترونية، فما هي هذه الإشارات؟ **الإشارات الإلكترونية Electronic signals** كميات تتغير مع الزمن، وتنقل نوعًا من المعلومات. وفي مجال الإلكترونيات تكون هذه الكمية التي تتغير مع الزمن هي الجهد الكهربائي (وإلّا فتكون هي التيار الكهربائي عادة)، ولذلك عندما نتحدث عن الإشارات الإلكترونية سيكون المقصود بها الجهد الذي يتغير مع الزمن. وتمرر الإشارات الإلكترونية خلال الأجهزة الإلكترونية من أجل إرسال المعلومات واستقبالها، وقد تُعبّر هذه الإشارات عن صوت، أو مشاهد متحركة (فيديو)، أو نوعًا من البيانات المشفرة.

وعادة ما تنتقل الإشارات من خلال الأسلاك، لكنها يمكن أن تمرّ أيضًا عبر الهواء عن طريق موجات الراديو. فعلى سبيل المثال قد تنتقل الإشارات الصوتية بين بطاقة الصوت في جهاز الحاسوب والسماعة، بينما تنتقل إشارات البيانات عن طريق الهواء بين حاسوبك اللوحي وجهاز البث اللاسلكي للإنترنت WiFi router، كما هو موضح في **الشكل 30–5**.

ماذا قرأت؟ ما الإشارات الإلكترونية؟

الإشارات التماثلية والإشارات الرقمية Analogue and digital signals

تنقسم الدوائر الإلكترونية وفق نوع الإشارات المستخدمة فيها إلى قسمين: الدوائر الإلكترونية التماثلية؛ وهي الدوائر التي تتعامل مع الإشارات التماثلية، والدوائر الإلكترونية الرقمية؛ وهي الدوائر التي تتعامل مع الإشارات الرقمية. فما الفرق بين الإشارات التماثلية والإشارات الرقمية؟

نحن نعيش في عالم تماثلي، حيث يوجد عدد لا نهائي من الألوان لطلاء جسم ما (حتى لو لم ندرك الفرق في اللون بأعيننا)، كما يوجد عدد لا نهائي من النغمات التي يمكننا سماعها، ويوجد أيضًا عدد لا نهائي من الروائح التي يمكننا شمّها. إن القاسم المشترك بين كل هذه الإشارات التماثلية هو الإمكانيات أو الاحتماليات اللانهائية. فعلى سبيل المثال تتغير درجة حرارة

معايير الأداء الرئيسة

24.3– 24.4

معايير البحث والاستقصاء العلمي

4.2– 1.2

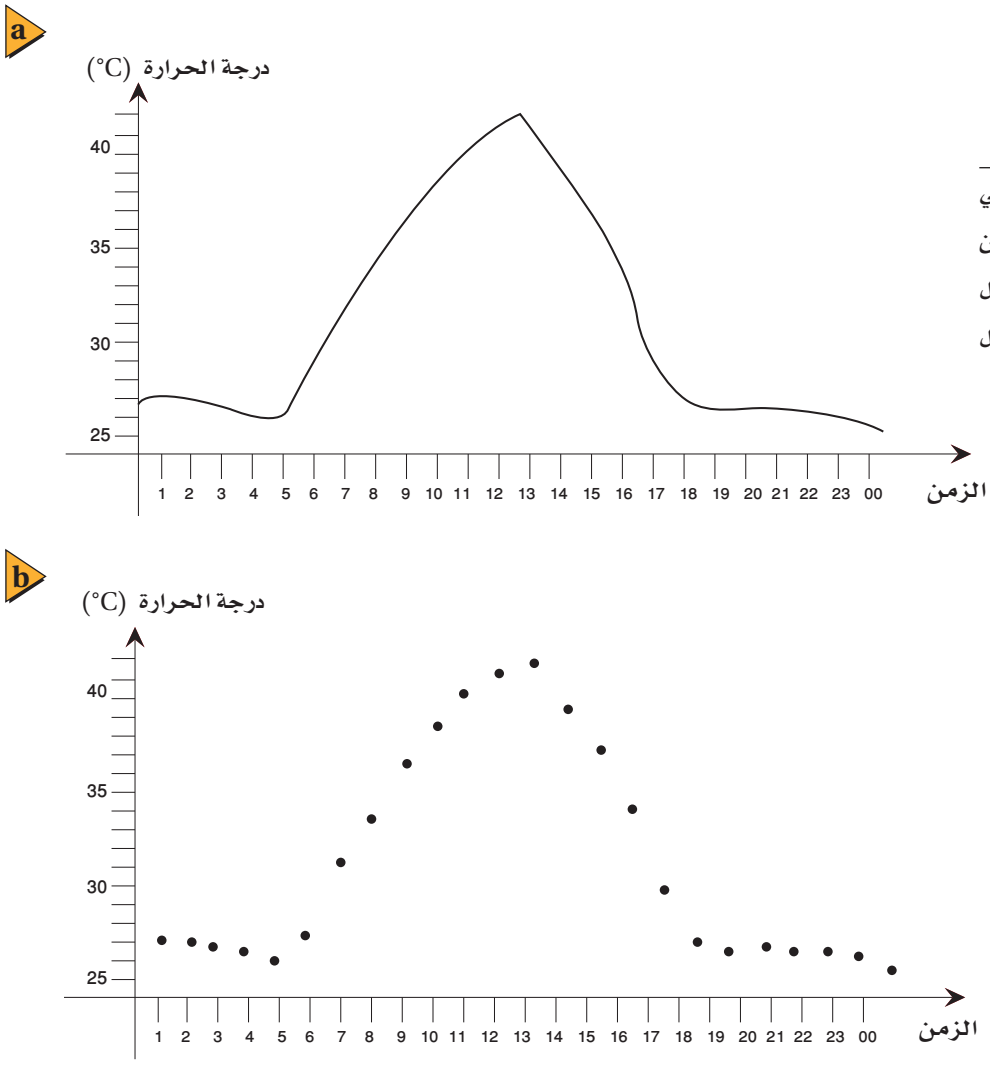
الأهداف

- **تعرُّف** مفهوم الإشارات الإلكترونية.
- **التمييز** بين الإشارات التماثلية والإشارات الرقمية.
- **تعرُّف** مفهوم البوابة المنطقية، وأنواعها، واستخداماتها في الأنظمة والدوائر الإلكترونية.

المفردات

- الإشارة الإلكترونية Electronic signal
- الإشارة التماثلية Analogue signal
- الإشارة الرقمية Digital signal
- البوابة المنطقية Logic gate

الشكل 30–5 جهاز البث اللاسلكي للإنترنت (الراوتر).

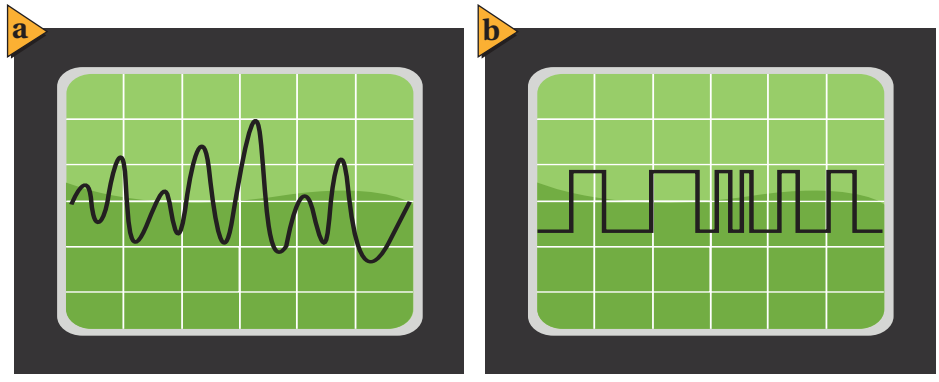


الشكل 5–31 التمثيل البياني التماثلي لدرجة الحرارة مقابل الزمن خلال يوم صيفي حار (a). التمثيل البياني الرقمي لدرجة الحرارة مقابل الزمن خلال يوم صيفي حار (b).

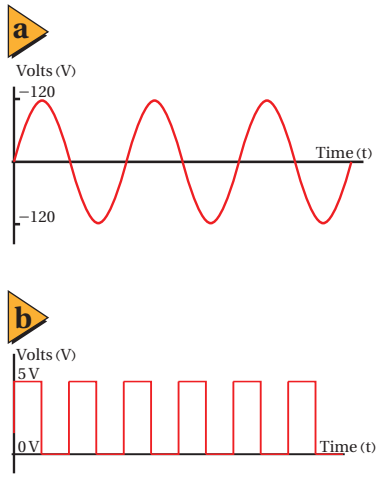
الجو غالبًا من قيمة إلى أخرى بصورة متواصلة؛ سواء ارتفعت من الصباح الباكر حتى الزوال، أو انخفضت من بعد العصر إلى آخر الليل. فإذا قيست درجة الحرارة بمجس حرارة دقيق فسيحدث التغير من قيمة إلى أخرى بصفة متواصلة، وقد يبلغ عدد القيم بين هاتين القيمتين عددًا لا نهائيًّا، وإذا مُثّلت درجة الحرارة بيانيًّا بدلالة الزمن خلال يوم صيفي حار فإنه سيشبه المنحنى الموضح في **الشكل 5–31a**. ولعلك تلاحظ في هذه الحالة تواصل نقاط المنحنى كلها بعضها مع بعض. وإذا أردنا معالجة درجة الحرارة بجهاز إظهار رقمي أو بالحاسوب فما علينا إلا أن نحوِّل الإشارة التماثلية إلى إشارة رقمية. ويمكن أن تتم هذه العملية التحويلة من خلال أخذ عينات للإشارة التماثلية؛ كأن نأخذ قياس درجة الحرارة كل ساعة فقط كما هو موضح في **الشكل 5–31b**. فالإشارات الرقمية تتعامل مع القيم المنفصلة أو المفردة أو المحدودة، وهذا يعني وجود مجموعة محدودة من القيم التي يمكن أن تكون. وخير مثال على الإشارة الرقمية مقياس درجة الحرارة الرقمي؛ إذ تقفز القراءة من درجة إلى أخرى في خطوات واضحة، ولا يكون التغيير سلسًا أو مستمرًا. ويمكن عرض البيانات في العالم الحقيقي بصورة تماثلية كما هو موضح في **الشكل 5–32a**، كما يمكن عرضها بصورة رقمية كما هو موضح في **الشكل 5–32b**.

الشكل 32–5 عرض بعض البيانات بصورة تماثلية (a). عرض بعض البيانات بصورة رقمية (b).

وبما أن الإشارة الإلكترونية تتغير مع الزمن، فمن المفيد تمثيلها بيانيًّا؛ حيث يتم تمثيل الزمن على المحور الأفقي x، والجهد الكهربائي على المحور الرأسي y. ويعدّ النظر إلى التمثيل البياني من أسهل الطرق عادة لتحديد ما إذا كانت الإشارة تماثلية أم رقمية؛ فمنحنى الزمن– الجهد للإشارة التماثلية ينبغي أن يكون مستمرًّا، ويوضح **الشكل 33a–5** شكل الإشارة التماثلية كما يُظهرها جهاز راسم الإشارات، أما الإشارات الرقمية فيمكن تخيلها على أنها سلسلة من النبضات التي تتكون من حالتين فقط: ON (1) أو OFF (0)، ولا توجد أية قيمة بينهما، ويوضح **الشكل 33b–5** شكل الإشارة الرقمية كما يُظهرها جهاز راسم الإشارات.



الشكل 33–5 شكل الإشارة التماثلية كما يُظهرها جهاز راسم الذبذبات (a). شكل الإشارة الرقمية كما يُظهرها جهاز راسم الذبذبات (b).



الشكل 5–34 شكل الجهد التماثلي الخارج من مقبس الكهرباء في الحائط (a). التمثيل البياني لبعض الإشارات الرقمية (b).

وعلى الرغم من أن الإشارات التماثلية قد تكون محددة ضمن مدى من القيم القصوى والدنيا، إلا أنه لا يزال يوجد عدد لانهائي من القيم الممكنة ضمن هذا المدى. فعلى سبيل المثال؛ الجهد التماثلي الخارج من مقبس الكهرباء في الحائط الموضح في **الشكل 5–34a** قد يكون مقيدًا بين 120 V– و 120 V+، ولكن عندما تزيد الدقة أكثر فأكثر، ستكتشف وجود عدد لانهائي من القيم التي يمكن للإشارة أن تمتلكها فعلًا (مثل 64.4 V و 64.42 و 64.424 ، وإلى ما لانهاية من الأرقام، فتصبح القيم دقيقة على نحو متزايد).

غالبًا ما يتم نقل الفيديو والصوت أو تسجيلهما باستخدام الإشارات التماثلية؛ فإشارة الصورة الخارجة من مشغل الفيديو القديم إشارة تماثلية مشفرة تتراوح قيمتها عادة بين الصفر و 1.073 V، والتغيرات الصغيرة في الإشارة الخارجة لها تأثير كبير على لون أو موقع الصورة التي يعرضها جهاز التلفاز.

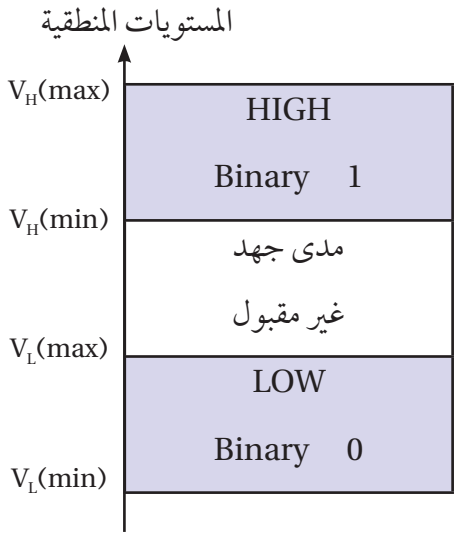
أما الإشارات الرقمية فيكون لها مجموعة محدودة من القيم الممكنة، وعدد القيم في المجموعة يمكن أن يقع في أي مكان بين قيمتين. والإشارات الرقمية الأكثر شيوعًا تأخذ إحدى قيمتين؛ فمثلًا قد تكون 0 V أو 5 V. وسيبدو التمثيل البياني لهذه الإشارات كأنها موجات مربعة، كما هو موضح في **الشكل 5–34b**.

إن العمل في مجال الإلكترونيات يعني التعامل مع الإشارات التماثلية والإشارات الرقمية بالنسبة لمدخلات الدوائر الإلكترونية أو مخرجاتها. وينبغي أن تتعامل أجهزتنا الإلكترونية مع العالم التماثلي الحقيقي بطريقة ما، ولكن معظم المعالجات الدقيقة وأجهزة الحاسوب والوحدات المنطقية تُعدّ مكونات رقمية محضة، و هذان النوعان من الإشارات يمكن اعتبارهما مثل اللغات الإلكترونية المختلفة؛ فبعض أجهزة الإلكترونيات يكون ثنائي اللغة، وبعضها الآخر يتعامل بإحدى اللغتين فقط.

ماذا قرأت؟ **ما الاختلاف بين الإشارات التماثلية والإشارات الرقمية؟**

المستويات المنطقية logic levels تحتوي الدوائر الإلكترونية الرقمية على دوائر وأنظمة تستخدم حالتين فقط تتمثلان بقيمتين للجهد: المستوى العالي والمستوى المنخفض. ويمكننا أن نمثِّل الحالتين بمفاتيح كهربائية مغلقة أو مفتوحة، أو يمكننا تمثيل الحالتين بمصباح مضيء "ON" أو أن المصباح غير مضيء "OFF". وسنستخدم الأرقام 0 و 1 للتعامل رياضيًّا مع هذا النوع من الحالات، والنظام الرياضي الذي يتولى هذه العمليات هو النظام الثنائي، الذي تحتوي رموزه على الأرقام 0 و 1.

وتُسمى الجهود الكهربائية التي تمثل 0 و 1 بمستويات منطقية، وفي الحالة المثالية يمثل أحد المستويات High والمستوى الثاني يمثل Low. ولكن في الدوائر الرقمية يدل المستوى High عمليًّا على أي قيمة للجهد تتراوح قيمتها بين قيمة محددة دنيا وقيمة محددة قصوى،



■ **الشكل 35–5** المستويات المنطقية لدائرة إلكترونية رقمية ما.

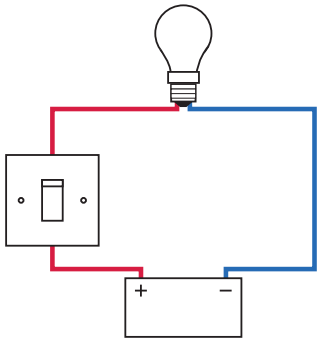
وكذلك الوضع بالنسبة للمستوى Low، ومن غير المقبول أن يكون هناك تداخل بين مدى قيم الـ High مع مدى قيم الـ Low، كما هو موضح في **الشكل 35–5**.

ولعلك تلاحظ من خلال **الشكل 35–5** أن جهد الـ High يتراوح بين VH(min) وVH(max) كما يتراوح جهد الـ Low بين VL(min) و VL(max) وتكون الجهود التي قيمتها بين VL(max) و VH(min) غير مقبولة؛ لأنها قد تعني 0 وقد تعني 1 أيضًا، لذا لاتُستخدم القيم في هذا المدى على الإطلاق. فعلى سبيل المثال يوضح **الشكل 35–5** المستويات المنطقية لدائرة إلكترونية رقمية ما، ويكون مدى الـ High فيها بين 2V و 5V، ومدى الـ Low فيها بين 0V و 0.8V. فإذا استقبلنا إشارة في لحظة ما وكانت قيمتها 3.2 V فسنقرؤها على أنها High أو 1، وإذا حصلنا على إشارة قيمتها 0.6 V فسوف تعني لنا أن قيمتها Low أو 0. وكل القيم التي تكون أكبر من 0.8 V وأصغر من 2 V تكون قيمًا غير مقبولة.

ماذا قرأت؟ وضِّح المقصود بالمستويات المنطقية.

البوابات المنطقية Logic gates

تعمل الأنظمة الرقمية على معالجة الإشارات الرقمية؛ وهي التي تتكوّن من قيمتين فقط 0 أو 1 كما تعرّفت سابقًا. وإذا تمعنت في الدائرة الكهربائية البسيطة الموضحة في **الشكل 36–5** ستجد أن المفتاح الكهربائي يولّد إشارات رقمية؛ أي أن المفتاح إما أن يكون مغلقًا وإما أن يكون مفتوحًا، وعليه يكون الجهد الكهربائي في الدائرة 0 V أو 9 V.



■ **الشكل 36–5** دائرة كهربائية بسيطة.

ويوجد في الأنظمة الرقمية البسيطة حالتان فقط للإشارة؛ مرتفعة HIGH، أو منخفضة LOW. وحتى ندرك أهمية البوابات المنطقية دعنا نطرح أحد التطبيقات العملية للبوابات المنطقية وهو دائرة الإنذار ضد السرقة. فمثلًا لو أردنا تصميم دائرة تنبيه وإنذار إلكترونية ضد سرقة الخزائن، تعمل عن طريق إطلاق إنذار مدوٍّ عند اقتراب شخص منها، فإن

مثل هـذا النوع من الأنظمـة الإلكترونيـة يعمل على مدخلـين: الأول يتغـير بتغير درجة حرارة الوسـط المحيط عند اقتراب شخص ما، أما المدخل الثاني فيتغير عندما يعمل جسم الشـخص على قطع مسـار شـعاع ليزر يكون مسـلطًا على خلية ضوئية مثبتة في جسم تلك الخزائـن. وفي مثـل هـذا التطبيق تلاحظ وجود خـرج واحد فقط يتمثـل في تفعيل صوت التحذير، وفي المقابل يوجد مدخلان؛ يتمثل الأول في وجود دائرة كهربائية تتحسس التغير في درجـة حـرارة الوسـط المحيط، أما المدخل الثـاني فيتمثل في وجود دائرة شـعاع الليزر. ويوضـح **الجـدول 1–5** مدخـلات ومخرجـات هـذا النظام الذي يسـمى جـدول الحقيقة والصواب، ويمكن إعادة كتابته بصورة رقمية كما هو موضح في **الجدول 2–5**.

الجدول 1–5

جدول الحقيقة والصواب لنظام التحذير ضد سرقة الخزائن

الإشارة الخارجة (output)	**الإشارة الداخلة** (input)	
صوت المنبه	شعاع الليزر	درجة حرارة المحيط
لا يعمل	مستمر	ثابتة
لا يعمل	مستمر	متغيرة
لا يعمل	تم قطعه	ثابتة
يعمل	تم قطعه	متغيرة

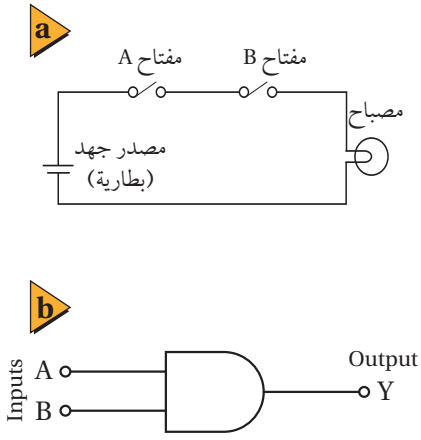
الجدول 2–5

الصورة الرقمية لجدول الحقيقة والصواب لنظام التحذير ضد سرقة الخزائن

الإشارة الخارجة (output)	**الإشارة الداخلة** (input)	
output	Input B	Input A
0	1	1
0	1	0
0	0	1
1	0	0

ومما سـبق يمكننا القول إن تلك الدوائر الإلكترونيـة التي تعمل بناء على مدخلات محددة تعطـي مخرجـات تتوافق مـع تلك المدخلات تسـمى **البوابـات المنطقيـة Logic gates**. ومفهـوم البوابـة a gate في الإلكترونيـات الرقميـة هو **دائـرة منطقية** تَدخل الإشـارات إليهـا من خلال مدخـل واحد أو أكثر، ويكون لهذه الدائرة مخرج واحد فقط. وتعدّ البوابة المنطقية Logic gate وحدة البناء الأساسـية في الدوائر الإلكترونية الرقمية، وبما أن هذه البوابـات تسـتخدم نظام العد الثنائي لذا تسـمى البوابـات المنطقية الثنائيـة. وتميز الدوائر الرقميـة بين حالتين فقط للجهود الكهربائية؛ فإما أن يكون الجهد عاليًا HIGH، ويترتب عـلى هـذه الحالة سريان للتيار الكهربائـي في الدائرة (حالة الدائـرة ON)، أو يكون الجهد

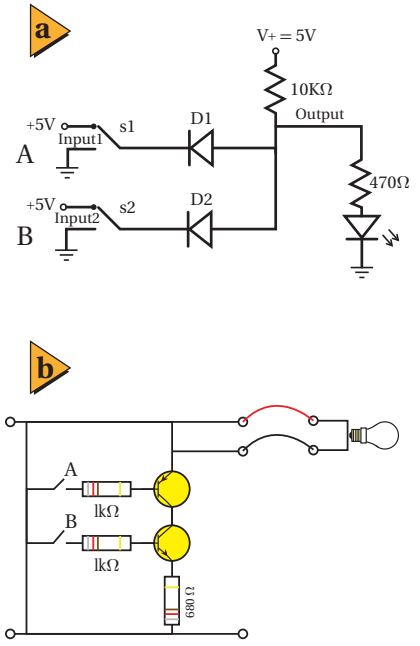
منخفضًا LOW، ويترتب على هذه الحالة عدم سريان التيار الكهربائي في الدائرة (حالة الدائرة OFF)، ولهذا السبب تم استخدام نظام العد الثنائي لكونه يستخدم رمزين فقط؛ فالرقم 1 يقابل حالة الجهد HIGH أو حالة التيار ON، والرقم 0 يقابل حالة الجهد LOW أو حالة التيار OFF. وتصمم أنظمة الدوائر الرقمية كلها باستخدام ثلاث بوابات منطقية أساسية هي: بوابة AND، بوابة OR، بوابة NOT. وهناك أربع بوابات منطقية ثانوية مشتقة من البوابات المنطقية الأساسية هي: بوابة NAND، بوابة NOR، بوابة XOR، بوابة XNOR، وسنتعرف فيما يلي على هذه البوابات ورموزها وجداول الحقيقة والصواب لكل منها.



الشكل 37–5 الدائرة الكهربائية التي توضح مبدأ عمل بوابة AND (a). رمز بوابة AND (b).

ماذا قرأت؟ ما البوابات المنطقية الأساسية؟

بوابة AND تسمى بوابة AND بوابة كل شيء أو لا شيء، والدائرة الكهربائية المبينة في **الشكل 37a–5** توضح فكرة عمل هذه البوابة. ولعلك تلاحظ أن المصباح الكهربائي في الدائرة الكهربائية الموضحة يضيء فقط عندما يكون كلا المفتاحين الكهربائيين A و B مغلقًا في الوقت نفسه، و**الجدول 3–5** الذي يسمى جدول الحقيقة والصواب Truth table يمثل الحالات الممكنة للإشارات الداخلة إلى الدائرة، التي تتمثل في حالتي المفتاحين الكهربائيين A و B، وما يقابلها من حالات ممكنة بالنسبة للإشارات الخارجة التي تتمثل في حالة المصباح من حيث كونه مضاءً أم مطفأ. وتتكون الدائرة السابقة من مدخلين للإشارة يتمثلان في المفتاحين الكهربائيين A و B، كما تحتوي على مخرج واحد يتمثل في حالة المصباح الكهربائي.



الشكل 38–5 تصميم للدائرة المنطقية AND باستخدام الدايودات (a). تصميم للدائرة المنطقية AND باستخدام الترانزستورات (b).

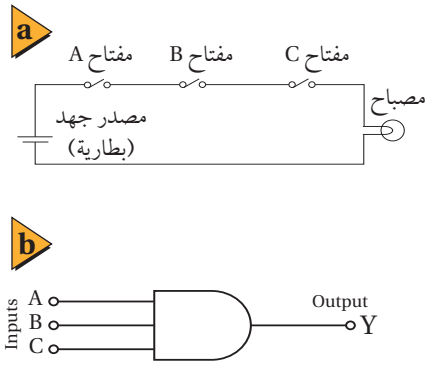
الجدول 3–5

جدول الحقيقة والصواب للبوابة AND

الإشارة الخارجة (output)	الإشارة الداخلة (input)	
حالة المصباح	حالة المفتاح B	حالة المفتاح A
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	OFF
OFF	OFF	ON
ON	ON	ON

فالإشارة الخارجة تكون HIGH أو ON أو 1 إذا كانت الإشارات الداخلة جميعها HIGH أو ON أو عند المستوى المنطقي 1. ويبين **الشكل 37b–5** الرمز المستخدم لبوابة AND ذات مدخلين ومخرج واحد، ويبين **الجدول 4–5** جدول الحقيقة والصواب باستخدام نظام العد الثنائي. ويمكن تصميم الدائرة المنطقية AND باستخدام الترانزستورات أو الدايودات، كما هو موضح في **الشكل 38–5**.

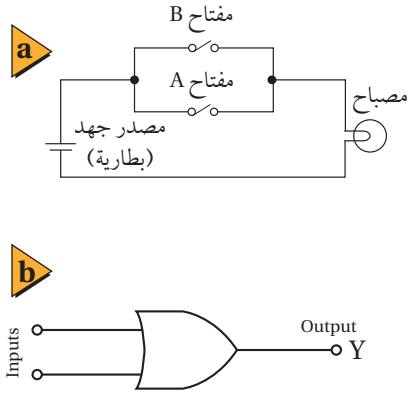
الجدول 4–5		
الصورة الرقمية لجدول الحقيقة والصواب للبوابة AND		
الإشارة الداخلة (input)		الإشارة الخارجة (output)
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



الشكل 39–5 الدائرة الكهربائية التي توضح مبدأ عمل بوابة AND (a).
رمز بوابة AND (b).

يمكن أن يكون للدائرة المنطقية ثلاثة مداخل أو أكثر، كما هو مبين في الدائرة الكهربائية الموضحة في **الشكل 39a–5**، والتي تمثل المنطقة AND ذات المداخل الثلاث والمخرج الواحد. ويبين **الشكل 39b–5** الرمز المستخدم لبوابة AND ذات الثلاث مداخل، ويمكن استخدام العلاقة 2^n لمعرفة عدد الاحتمالات الممكنة لحالات الإشارة الخارجة وذلك بمعرفة عدد المداخل التي يرمز إليها في العلاقة السابقة بـ n، فمثلًا إذا كان عدد المداخل يساوي 3 فإن عدد الاحتمالات الممكنة للإشارة الخارجة يساوي 2^3 أي يساوي 8 احتمالات. ويبين **الجدول 5–5** الاحتمالات الثمانية للإشارة الخارجة في جدول الحقيقة والصواب لبوابة AND ذات المداخل الثلاث.

الجدول 5–5			
جدول الحقيقة والصواب للبوابة AND التي تتكون من ثلاث مداخل			
الإشارة الداخلة (input)			الإشارة الخارجة (output)
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1



الشكل 40–5 الدائرة الكهربائية التي توضح مبدأ عمل بوابة OR (a).
رمز بوابة OR (b).

بوابة OR توضح الدائرة الكهربائية المبينة في **الشكل 40a–5** فكرة عمل بوابة OR. ولعلك تلاحظ أن المصباح الكهربائي في الدائرة الكهربائية الموضحة يضيء في جميع الحالات إلا في حالة كون المفتاحين الكهربائيين A و B مفتوحين؛ أي غير موصلين في الوقت نفسه. ويبين **الشكل 40b–5** الرمز المستخدم لبوابة OR ونلاحظ أن بوابة OR تكون الإشارة الخارجة لها مساويةً للصفر فقط إذا كانت كلتا الإشارتين الداخلتين

تساوي صفرًا، وعدا ذلك تكون الإشارة الخارجة منها تساوي 1. ويمثل **الجدول 6–5** جدول الحقيقة والصواب الحالات الممكنة للإشارات الداخلة إلى الدائرة والتي تتمثل بحالتيي المفتاحين الكهربائيين A و B، وما يقابلها من حالات ممكنة بالنسبة للإشارات الخارجة والتي تتمثل بحالة المصباح من حيث أنه مضاء أم غير مضاء. ويمكن تصميم الدائرة المنطقية OR باستخدام الترانزستورات أو باستخدام الدايودات كما هو موضح في **الشكل 41–5**.

الجدول 6–5

الصورة الرقمية لجدول الحقيقة والصواب للبوابة OR

الإشارة الخارجة (output)	الإشارة الداخلة (input)	
Y	B	A
0	0	0
1	1	0
1	0	1
1	1	1

ماذا قرأت؟ وضح فكرة عمل البوابة AND والبوابة OR.

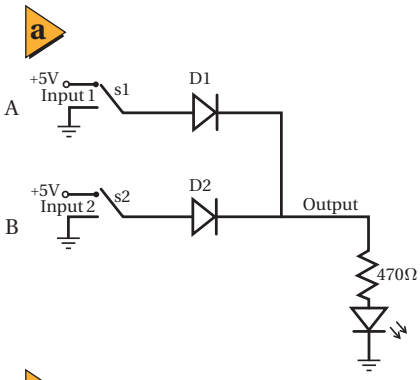
يمكن تصميم دائرة إلكترونية رقمية تحتوي على أكثر من بوابة منطقية كما هو موضح في **الشكل 42–5**، ويوضح **الجدول 7–5** جدول الحقيقة والصواب لتلك الدائرة.

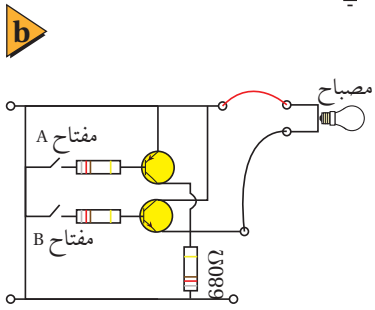
الجدول 7–5

جدول الحقيقة والصواب للدائرة الإلكترونية التي تحتوي على بوابة AND وبوابة OR

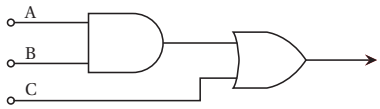
الإشارة الخارجة (output)	الإشارة الداخلة (input)		
Y	C	B	A
0	0	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	1	1	0
0	0	0	1
1	1	0	1
1	0	1	1
1	1	1	1

بوابة NOT يمكن تمثيل البوابة NOT بالدائرة الكهربائية المبينة في **الشكل 43a–5**. وفي هذه الدائرة تلاحظ أن الإشارة الخارجة (حالة المصباح) تكون عكس الإشارة الداخلة (حالة المفتاح الكهربائي)؛ فالمصباح يضيء عندما يكون المفتاح الكهربائي مفتوحًا (غير موصل)، ويبين **الشكل 43b–5** الرمز المستخدم لتمثيل البوابة NOT،

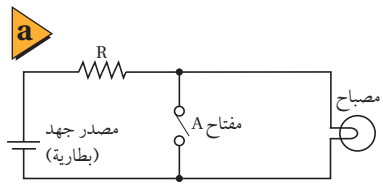


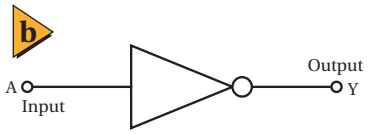


الشكل 41–5 تصميم للدائرة المنطقية OR باستخدام الدايودات (a)، وتصميم للدائرة المنطقية OR باستخدام الترانزستورات (b).



الشكل 42–5 تصميم للدائرة الإلكترونية التي تحتوي على بوابة AND وبوابة OR.





الشكل 43–5 الدائرة الكهربائية التي توضح مبدأ عمل بوابة NOT (a). رمز بوابة NOT (b).

ويوضح **الجدول 5–8** جدول الحقيقة والصواب للبوابة NOT. ويمكن تصميم الدائرة المنطقية NOT باستخدام الترانزستورات كما هو موضح في **الشكل 5–44**.

الجدول 5–8

الصورة الرقمية لجدول الحقيقة والصواب للبوابة NOT	
الإشارة الخارجة (output)	الإشارة الداخلة (input)
Y	A
1	0
0	1

ماذا قرأت؟ وضح فكرة عمل البوابة NOT.

بوابة NAND إن عمل بوابة NAND عكس عمل بوابة AND، ويوضح **الشكل 5–45** الرمز المستخدم لبوابة NAND، ويبين **الجدول 5–9** جدول الحقيقة والصواب لبوابة NAND.

الجدول 5–9

الصورة الرقمية لجدول الحقيقة والصواب للبوابة NAND		
الإشارة الخارجة (output)	الإشارة الداخلة (input)	
Y	B	A
1	0	0
1	1	0
1	0	1
0	1	1

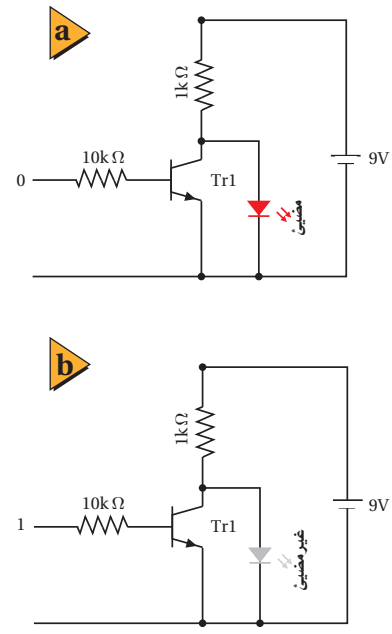
ماذا قرأت؟ ما علاقة البوابة NAND بالبوابة AND؟

بوابة NOR إن عمل بوابة NOR عكس عمل بوابة OR، ويوضح **الشكل 5–46** الرمز المستخدم لبوابة NOR، ويبين **الجدول 5–10** جدول الحقيقة والصواب لبوابة NOR.

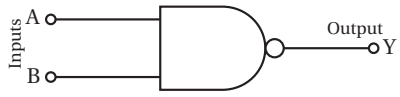
ماذا قرأت؟ ما علاقة البوابة NOR بالبوابة OR؟

الجدول 5–10

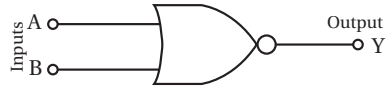
الصورة الرقمية لجدول الحقيقة والصواب للبوابة NOR		
الإشارة الخارجة (output)	الإشارة الداخلة (input)	
Y	B	A
1	0	0
0	1	0
0	0	1
0	1	1



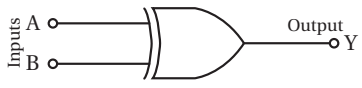
الشكل 5–44 تصميم للدائرة المنطقية NOT باستخدام الترانزستور؛ عندما تساوي الإشارة الداخلة 0 (a)، وعندما تساوي الإشارة الداخلة 1 (b).



الشكل 5–45 رمز بوابة NAND.



الشكل 5–46 رمز بوابة NOR.



الشكل 47–5 رمز بوابة XOR.

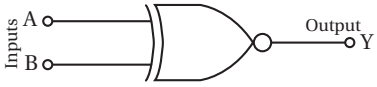
بوابة XOR إن البوابة XOR تكون الإشارة الخارجة فيها 1 عندما يوجد عدد فردي من الإشارات الداخلة عند المستوى المنطقي 1، وما عدا ذلك تكون الإشارة الخارجة 0. ويوضح **الشكل 47–5** الرمز المستخدم لبوابة XOR، ويبين **الجدول 11–5** جدول الحقيقة والصواب لبوابة XOR.

ماذا قرأت؟ وضح فكرة عمل البوابة XOR.

الجدول 11–5

الصورة الرقمية لجدول الحقيقة والصواب للبوابة XOR

الإشارة الداخلة (input)		الإشارة الخارجة (output)
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



الشكل 48–5 رمز بوابة XNOR.

بوابة XNOR إن البوابة XNOR تعمل عكس بوابة XOR السابقة؛ فتكون الإشارة الخارجة فيها 1 عندما يوجد عدد زوجي من الإشارات الداخلة عند المستوى المنطقي 1، وما عدا ذلك تكون الإشارة الخارجة 0. ويوضح **الشكل 48–5** الرمز المستخدم لبوابة XNOR، ويبين **الجدول 12–5** جدول الحقيقة والصواب لبوابة XNOR.

ماذا قرأت؟ وضح فكرة عمل البوابة XNOR.

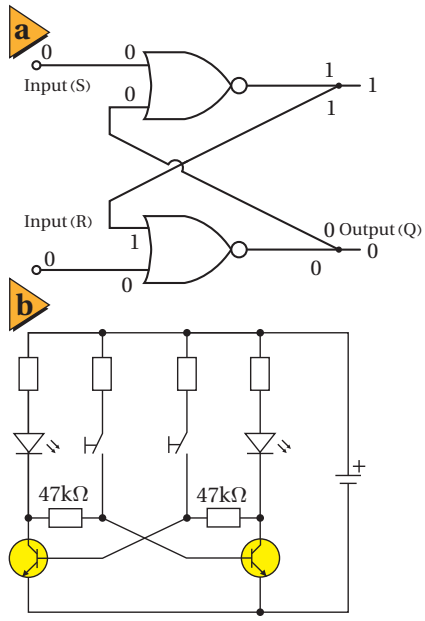
الجدول 12–5

الصورة الرقمية لجدول الحقيقة والصواب للبوابة XNOR

الإشارة الداخلة (input)		الإشارة الخارجة (output)
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

تطبيقات على البوابات المنطقية

نظام ثنائي الاستقرار The bistable يستخدم هذا النظام في تخزين البيانات على القرص الصلب في الحاسوب على هيئة مجموعات من الكميات الثنائية 0 و 1 فيما يعرف بنظام التشفير الثنائي Binary code، ويتكون هذا النظام من بوابتين منطقيتين من النوع NOR موصولتين معًا كما هو موضح في **الشكل 49a–5**. ولعلك تلاحظ من خلال الشكل أن لهذا النظام مدخلين؛ مدخل S للبوابة العليا، ومدخل R للبوابة السفلية. ولهذا النظام مخرج واحد ألا وهو Q. ولعلك تلاحظ أيضًا أن المدخل الثاني للبوابة العلوية موصول مع مخرج البوابة السفلية، والمدخل الثاني للبوابة السفلية موصول مع مخرج البوابة العلوية.

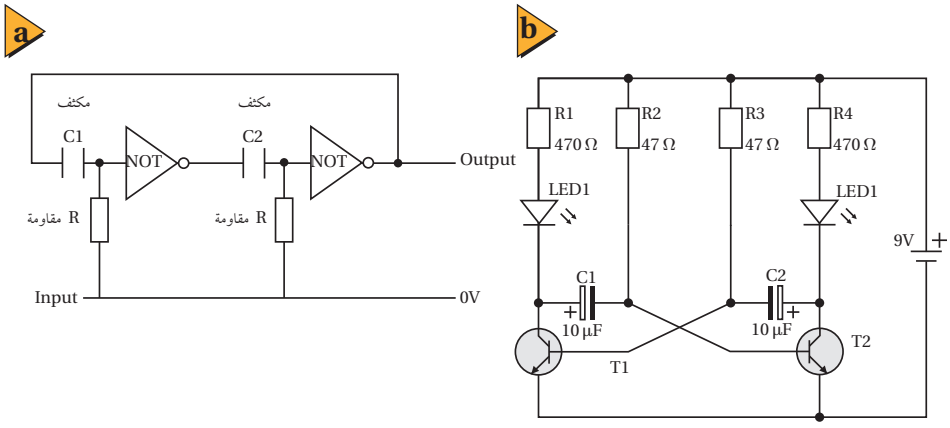


الشكل 49–5 الدائرة المنطقية لنظام ثنائي الاستقرار (a)، وتصميم للدائرة ثنائية الاستقرار باستخدام الترانزستورات والدايودات (b).

ويمكن تصميم نظام ثنائي الاستقرار باستخدام الترانزستورات والدايودات كما هو موضح في **الشكل 49b–5**. وتتلخص فكرة عمل هذا النظام في أنه إذا كان هناك إشارة داخلة في جانب من الدائرة فإن الوصلة ستضيء وستبقى مضاءة حتى زوال الإشارة الداخلة؛ أي سيتم تخزين الحالة الأولى إلى أن تدخل إشارة أخرى في الجانب الآخر من الدائرة، ولهذا السبب سميت هذه الدائرة نظامًا ثنائي الاستقرار؛ إذ تبقى الدائرة على حال من حالتين ما لم نُحدث فيها خللًا أو تغييرًا، وهذه فكرة عمل ذاكرة الحاسوب.

ماذا قرأت؟ ما استخدامات الدائرة الثنائية الاستقرار؟

نظام غير مستقر (متعدد الذبذبات) Astable (Multivibrator) يُستخدم هذا النظام لجعل المصباح يومض بصورة متقطعة (يضيء أو ينطفئ بصورة دورية)، ومثال ذلك مصباح التنبيه الموجود في السيارة. ويتكون هذا النظام من بوابتين منطقيتين من النوع NOT موصولتين معًا كما هو موضح في **الشكل 50a–5**، ولعلك تلاحظ من خلال الشكل أن لهذا النظام مدخلًا واحدًا ومخرجًا واحدًا. وتتلخص فكرة عمل هذا النظام في أنه عند عدم وجود المقاومة والمكثف تكون الإشارة الخارجة من الدائرة إما 1 وإما 0، أما في حالة وجود المقاومات والمكثفات فتتبدل الإشارة الخارجة من الدائرة بين 1 و 0. فمثلًا إذا كانت الإشارة الخارجة من البوابة الأولى 1 فإن المكثف C2 سيُشحن وسيستغرق شحنه فترة زمنية، ولذلك فإن الإشارة الداخلة إلى البوابة الثانية تساوي 0، وعليه فإن الإشارة الخارجة من البوابة الثانية ستكون 1. وبعد شحن المكثف C2 يصبح فرق الجهد بين لوحيه كافيًا لتشغيل البوابة الثانية، ولذلك تساوي الإشارة الداخلة إليها 1، فتعطي إشارة خارجة مقدارها 0، وهكذا تبدل البوابة الإشارة الخارجة منها بين 1 و 0.



الشكل 5–50 الدائرة المنطقية لنظام غير مستقر (متعدد الذبذبات) (a)، وتصميم للدائرة غير المستقرة باستخدام الترانزستورات والدايودات (b).

ولعلك تلاحظ أن مخرج البوابة الثانية موصول بسلك مع مدخل البوابة الأولى، وذلك من شأنه أن الإشارة الخارجة من البوابة الثانية عندما تساوي 1 فسيتم شحن المكثف C1، فتصبح الإشارة الداخلة إلى البوابة الأولى 0، والإشارة الخارجة منها 1، وبعد أن يتم الشحن تتبدل حالة البوابة فتكون الإشارة الداخلة إليها 1؛ بسبب فرق الجهد بين لوحي المكثف، وتكون الإشارة الخارجة من البوابة 0 وهكذا، أما إذا تمت زيادة المقاومة وسعة المكثف فإن الزمن بين النبضات يزداد؛ أي يقلّ تردّدها. ويمكن تصميم نظام ثنائي الاستقرار باستخدام الترانزستورات والدايودات كما هو موضح في **الشكل 5–50b**.

ماذا قرأت؟ ما استخدامات الدائرة غير المستقرة؟

تجربة

تصميم دائرة مصباحين متبادلين في الإضاءة وعدم الإضاءة

احصل من معلمك على العناصر الإلكترونية الموضحة في الدائرة التي تظهر في الشكل **5–50b**.

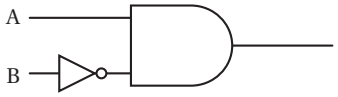
1. ركّب الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل **5–50b** على أن توصل البطارية في آخر خطوة.

التحليل والاستنتاج

2. صِف ما يحدث للدائرة بعد توصيل البطارية مباشرة.
3. وضّح فكرة عمل هذه الدائرة.

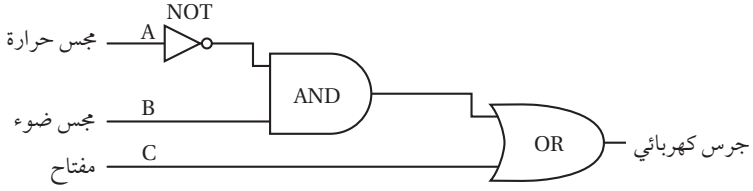
5–3 مراجعة

26. **ميّز** بين الإشارات التماثلية والإشارات الرقمية.
27. **وضح** الفرق بين البوابة المنطقية والدائرة الإلكترونية.
28. كم عدد إشارات الإدخال التي يمكن للبوابة المنطقية أن تتلقاها، وعدد الإشارات الخارجة من البوابة المنطقية التي يمكنها أن تنتجها؟
29. متى تكون الإشارة الخارجة من بوابة AND ذات الثلاث مداخل (A, B, C) ذات مستوى مرتفع High؟
30. ارسم رمز البوابة المنطقية OR ذات الثلاث مداخل، واكتب جدول الحقيقة والصواب لها.
31. يمثل **الشكل 5–51** دائرة إلكترونية تحتوي على بوابتين منطقيتين: NOT و AND، اكتب جدول الحقيقة والصواب لهذه الدائرة.



الشكل 5–51

32. **التفكير الناقد** متى يعمل الجرس الكهربائي الموصول في الدائرة الإلكترونية الموضحة في **الشكل 5–52**؟



الشكل 5–52

مختبر الفيزياء

تيار الدايود وجهده

تُصنع أدوات أشباه الموصلات (ومنها الدايودات والترانزستورات) باستخدام شبه موصل مصنوع من مادة من النوع p ومادة من النوع n. وتسمى المادة شبه الموصلة المعالجة بالذرات المانحة شبهَ الموصل من النوع n، في حين تسمى المادة شبه الموصلة المعالجة بعنصر يترك فجوات في بنية الشبكة البلورية شبهَ موصل من النوع p. ويصنع الدايود بمعالجة المناطق المتجاورة في شبه الموصل بذرات المانح والمستقبِل، مكوّنًا وصلة pn. وفي هذه التجربة ستستقصي خصائص جهد وتيار الدايود.

سؤال التجربة

كيف تقارن بين خصائص التيار–الجهد لكل من الدايود والمقاوم؟

الأهداف

- **تجمع** وتنظّم بيانات الهبوط في الجهد والتيار لكل من الدايود والمقاوم.
- **تقيس** التيار المارّ عبر الدايود بوصفه دالّة رياضية في الهبوط في الجهد.
- **تقارن** خصائص التيار–الجهد للمقاوم الكهربائي مع الدايود.

احتياطات السلامة

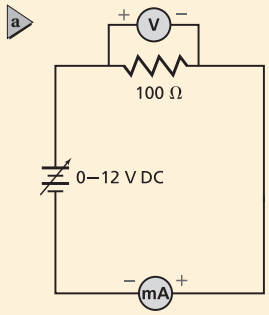
- **استخدم التحذير المرفق مع التوصيلات الكهربائية، وتجنَّب لمس المقاوم؛ لأنه قد يصبح ساخنًا.**
- **صِل مصادر القدرة مع مقبس GFCI المحمي؛ لتجنب خطر الصدمة الكهربائية.**

المواد والأدوات

مصدر قدرة مستمر 0–12 V DC	أميتر 0–100 mA DC
مقاوِم 100 Ω،	فولتمتر (0–5) V DC
وقدرته 1/2 W، أو 1 W	أسلاك توصيل معزولة
دايود 1N4002	

الخطوات

1. أنشئ جدولَي بيانات مماثلين للجدولين الموضحين في الصفحة التالية.
2. صل مكونات الدائرة كما هو موضح في الشكل أدناه.

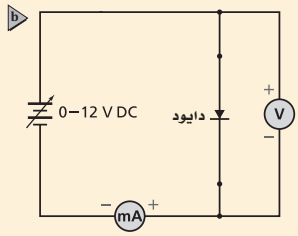


3. تأكد من أن مؤشر مفتاح مصدر القدرة عند الصفر، ثم صله بمقبس الكهرباء. ابدأ بتدوير مفتاح مصدر القدرة ببطء؛ لزيادة الهبوط في الجهد عبر المقاوم من 0 حتى 2.0 V، وبزيادة جهد مقدارها 0.1 V في كل مرة، ثم دوّن قيمة التيار المقابلة لكل قيمة جهد في جدول البيانات 1. ***تحذير: إذا أصبح التيار أكبر مما يتحمله جهاز الأميتر الذي تستخدمه فلا تعمل على زيادة الجهد إلى قيمة أكبر، وتوقّف عن أخذ القراءات. حرّك مفتاح مصدر القدرة إلى الصفر، ثم افصله عن مقبس الكهرباء***

الجدول 1	
هبوط الجهد (V)	تيار المقاوم الكهربائي (mA)
0	
0.1	
0.2	
1.9	
2.0	

الجدول 2	
هبوط الجهد (V)	تيار الدايود (mA)
0	
0.1	
0.2	
1.9	
2.0	

4. صل مكونات الدائرة كما هو موضح في الشكل أدناه، مع مراعاة التوصيل الصحيح للأطراف الموجبة والسالبة لكل جهاز. (لاحظ أن الطرف المغطى بشريط الفضة للدايود يوصل بالطرف الموجب للأميتر)



5. تأكد من أن مؤشر مفتاح مصدر القدرة عند الصفر، ثم صله بمقبس الكهرباء. ابدأ بتدوير مفتاح مصدر القدرة ببطء؛ لزيادة الهبوط في الجهد عبر الدايود من 0 حتى 0.8 V، وبزيادة جهد مقدارها 0.1 V في كل مرة، ثم دوّن قيمة التيار المقابلة لكل قيمة جهد في جدول البيانات 2. ***تحذير: إذا أصبح التيار أكبر مما يتحمله جهاز الأميتر الذي تستخدمه فلا تعمل على زيادة الجهد إلى قيمة أكبر، وتوقّف عن أخذ القراءات. حرّك مفتاح مصدر القدرة إلى الصفر، ثم افصله عن مقبس الكهرباء.***

التحليل

1. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** باستخدام ورقة رسم بياني واحدة، ارسم وعيّن الرسم البياني للتيار مقابل الهبوط في الجهد لكل من الدايود والمقاوم الكهربائي، ومثّل التيار على المحور y، والهبوط في الجهد على المحور x. ما شكل هذين المنحنيين البيانيّين؟

2. **صياغة النماذج** باستخدام قانون أوم احسب وحدد على الرسم البياني نفسه علاقة الجهد–التيار للمقاوم 100 Ω من الجهد 0 حتى 2 V، وسمِّ هذا الخط المقاوم 100 Ω. ما شكل هذا المخطط؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **قارن** بين المنحنيات البيانية التيار–الجهد للدايود والمقاوم الكهربائي.
2. أيّ هذه الأدوات تحقق قانون أوم؟
3. **الاستنتاج والتحليل** توصف الدايودات بأن لها نقطة تحوّل في الجهد. ما نقطة التحول للدايود المصنوع من السليكون، الذي استخدمته؟

التوسع في البحث

ما الذي يمكن فعله للحصول على أفضل قياسات لتيار الدايود؟

الفيزياء في الحياة

يسرى تيار مقداره 75–150 mA في المصابيح الكهربائية الصغيرة المثالية عند جهد معين. لماذا تفضل الشركات الصانعة استخدام الدايودات المشعة للضوء في أجهزة تشغيل الأقراص المدمجة أو مشغلات MP3 التي تعمل بالبطاريات؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
لمزيد من المعلومات حول إلكترونيات الحالة الصلبة ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.obeikaneducation.com

الذكاء الاصطناعي ArtificialIntelligence

استخدمت عبارة الذكاء الاصطناعي لأول مرة عام 1955م. وعرّفت على أنها "الفهم العلمي لآليات التفكير الضمني والسلوك الذكي وتضمينها في الآلات". فمثلًا تحتاج المهمة أحيانًا إلى ذكاء اصطناعي لكي تكون منطقية جدًّا، وأحيانًا أخرى تحتاج إلى ذكاء اصطناعي للتفكير والتصرف وفقًا لرغبات الإنسان. ويهدف الذكاء الاصطناعي إلى تطوير أنظمة يمكنها أداء المهام المنطقية والتصرف وفقًا لرغبات الإنسان معًا.

نموذج للطوافة مارس وهي تقرر كيفية تخطّي العقبات

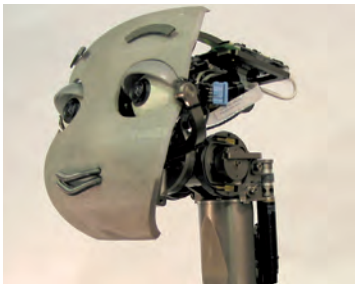
تطبيقات يُستخدم الذكاء الاصطناعي في العديد من المجالات، وسيكون له أهمية أكثر في المستقبل. فعندما يلعب الحاسب الآلي لعبة الشطرنج فإنه يبحث عن مئات الآلاف من الحركات المحتملة قبل أن يختار أفضل حركة.

ويستخدم الذكاء الاصطناعي حاليًّا لتعرّف الصوت؛ حتى يسمح بإجراء الاتصال باستخدام الهواتف النقالة دون استخدام الأيدي، ولإنجاز المعاملات عبر الهاتف التفاعلي، إلا أنها غير قادرة تمامًا حتى الآن على فهم اللغة التي يخاطَب بها الجهاز بشكل تام ودقيق، ولكن هذا في ذاته يشكل هدفًا مستقبلاً.

وتمثل الرؤية الثلاثية الأبعاد في الحاسوب أحد التطبيقات المستقبلية الأخرى لمحاكاة المدخلات الحسية والسلوكات البشرية، وتحتاج الحواسيب إلى استخلاص واقع ثلاثي الأبعاد عوضًا عن الصور الثنائية الأبعاد.

وقد أُحرز تقدُّم في هذا المجال، ولكن حتى الآن لا يزال دماغ الإنسان أفضل كثيرًا من الحواسيب في هذا المجال. ومع تحسين الرؤية قد يكون بمقدور الذكاء الاصطناعي التحكم في حركة السيارات على الأرض، أو يمكّن الروبوتات الآلية من استكشاف كوكب آخر دون الحاجة إلى روّاد فضاء.

ويُستخدم الذكاء الاصطناعي أيضًا لإنشاء أنظمة حاسوبية خبيرة تبرمج بالمعرفة حول مواضيع محددة؛ حيث يكون بإمكان الإنسان أن يخبر الحاسوب بتفاصيل حالة معينة، ثم يقوم الحاسوب بحساب مسار العمل الأكثر منطقية. ويمكن استخدام الأنظمة الخبيرة في المجال الطبي لتشخيص الاضطرابات بدقة عالية؛ حيث يقوم الذكاء الاصطناعي بموازنة ومقارنة الحقائق عن الحالة، ثم يستنتج الإجراءات الأكثر ملاءمة. ومع ذلك فإن الذكاء الاصطناعي يعمل فقط مع وقائع زوّد بها الحاسوب، ويتعين على مستخدمي الحاسوب أن يكونوا على علم دائم بهذه القيود للأنظمة الخبيرة.



يعرض هذا الروبوت الآلي تعابير وجه الإنسان

مهن إن دراسة الرياضيات، والمنطق الرياضي ولغات برمجة الحاسوب مهمة لتطوير الأنظمة التي يمكنها اتخاذ قرارات منطقية، ويؤكد علم النفس أن هذه القرارات يمكن أن تأخذ طابعًا إنسانيًّا.

التوسع

1. **ناقش القضية** هل هناك حدود أخلاقية في تطوير الذكاء الاصطناعي؟
2. **إدراك السبب والنتيجة** ما المشكلات التي قد تؤدي بالأنظمة الخبيرة إلى اتخاذ قرار غير دقيق؟
3. **التفكير الناقد** في أي الحالات يجب أن يكون الذكاء الاصطناعي عقلانيًّا ورشيدًا بصورة مطلقة، وفي أي الحالات ينبغي أن يشمل الرغبات الإنسانية؟

الوحدة 5
دليل مراجعة الوحدة

5–1 التوصيل الكهربائي في المواد الصلبة Conduction in solids

المفردات

- أشباه الموصلات
- نظرية الأحزمة
- أشباه الموصلات النقية
- الشوائب
- أشباه الموصلات غير النقية (المعالجة)

المفاهيم الرئيسة

- إن مستويات الطاقة المسموح بها في المواد الصلبة للإلكترونات الخارجية في الذرة تتوزع في حزم واسعة بواسطة المجالات الكهربائية لإلكترونات الذرات المجاورة.
- تنفصل حزم التكافؤ والتوصيل بواسطة فجوات طاقة ممنوعة، وذلك يعني وجود مناطق في مستويات الطاقة ليس فيها إلكترونات.
- في الموصلات، يمكن أن تتحرك الإلكترونات خلال المواد الصلبة؛ لأن حزم التوصيل مملوءة جزئيًّا.
- تُعالج أشباه الموصلات من النوع n بذرات مانحة للإلكترونات، ويمكنها التوصيل نتيجة استجابة الإلكترونات الممنوحة لفروق الجهد المطبّقة.
- تعالج أشباه الموصلات من النوع p بذرات مستقبلة للإلكترونات، ويمكنها التوصيل بواسطة الفجوات، على أن تكون متاحة للإلكترونات في حزمة التوصيل.

5–2 الأدوات الإلكترونية Electronic devices

المفردات

- الدايود
- طبقة النضوب
- الترانزستور
- الرقاقة الميكروية

المفاهيم الرئيسة

- تعتمد مقاومة المقاوم الحراري (الثرمستور) بدرجة كبيرة على درجة الحرارة.
- المقاوم الضوئي أداة مصنوعة من مواد شبه موصلة، ومثال ذلك: السليكون، السيلينيوم، كبريتيد الكادميوم، كبريتيد الرصاص، ويمتاز بأن مقاومته الكهربائية تتغير وفقًا لكمية الضوء الساقطة عليه.
- يوصل الدايود الشحنات الكهربائية في اتجاه واحد فقط، ويمكن استخدامه في دوائر التقويم لتحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC.
- تتّحد الإلكترونات والفجوات القريبة من إحدى جوانب وصلة الدايود لِتُنتج منطقة خالية من ناقلات الشحنات، وتعرف هذه المنطقة بطبقة النضوب.
- تطبيق فرق جهد ذي قطبية محددة عبر الدايود يؤدي إلى زيادة عرض طبقة النضوب بصورة كبيرة، فلا يلاحظ أي تيارات خلالها، ويسمى الدايود في هذه الحالة الدايود المنحاز عكسيًّا.
- عكس القطبية للجهد المطبّق عبر الدايود يقلل من عرض طبقة النضوب بصورة كبيرة، فيلاحظ التيار خلالها، ويسمى الدايود في هذه الحالة الدايود المنحاز أماميًّا.
- يعمل الترانزستور مضخمًا ومقويًا للإشارات، وهو عبارة عن شريحة مكوّنة من ثلاث طبقات من المادة شبه الموصلة تكون على شكل طبقات npn أو pnp، وتكون طبقة القاعدة المركزية رقيقة جدًّا مقارنةً بالطبقات الأخرى؛ أي الباعث والمجمّع.
- السعة الكهربائية هي النسبة بين شحنة جسم وفرق الجهد الكهربائي عليه. $C = \frac{q}{\Delta V}$
- لا تعتمد السعة الكهربائية على شحنة الجسم ولا على فرق الجهد عليه.
- يُستخدم المكثّف الكهربائي في تخزين الشحنات الكهربائية.

5–3 البوابات المنطقية والمفاتيح الكهربائية Logic gates and switches

المفردات

- الإشارة الإلكترونية
- الإشارة التماثلية
- الإشارة الرقمية
- البوابة المنطقية

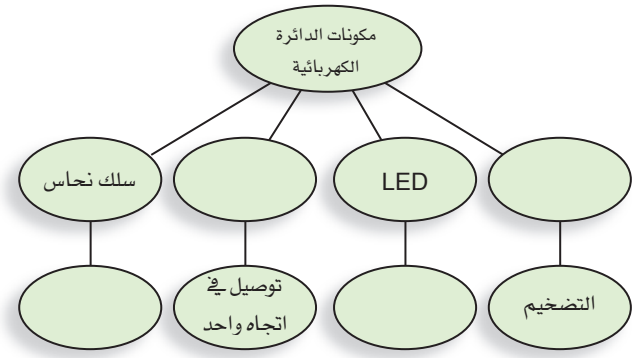
المفاهيم الرئيسة

- الإشارات الإلكترونية هي كميات تتغير مع الزمن، وهي تنقل نوعًا من المعلومات، وفي مجال الإلكترونيات فإن هذه الكمية التي تتغير مع الزمن تكون هي الجهد الكهربائي
- تتعامل الإشارات التماثلية مع القيم المستمرة والمتواصلة، أما الإشارات الرقمية فتتعامل مع القيم المنفصلة أو المفردة أو المحدودة.
- قد تكون الإشارات التماثلية محددة ضمن مدى من القيم القصوى والدنيا، إلا أنه لا يزال هناك عدد لانهائي من القيم الممكنة ضمن هذا المدى.
- يمكن تخيّل الإشارات الرقمية على أنها سلسلة من النبضات التي تتكون من حالتين فقط: (1) ON أو (0) OFF، ولا توجد أية قيمة بينهما.
- تعمل الأنظمة الرقمية على معالجة الإشارات الرقمية؛ وهي تلك التي تتكوّن من قيمتين فقط 0 أو 1.
- الدوائر الإلكترونية التي تعمل بناءً على مدخلات محددة تعطي مخرجات تتوافق مع تلك المدخلات تسمى البوابات المنطقية Logic gates.
- إن مفهوم البوابة a gate في الإلكترونيات الرقمية هو دائرة منطقية تدخل الإشارات إليها من خلال مدخل واحد أو أكثر، ويكون لهذه الدائرة مخرج واحد فقط.
- تصمَّم أنظمة الدوائر الرقمية كلها باستخدام ثلاث بوابات منطقية أساسية هي: بوابة AND، بوابة OR، بوابة NOT. وهناك أربع بوابات منطقية ثانوية مشتقة من البوابات المنطقية الأساسية هي: بوابة NAND، بوابة NOR، بوابة XOR، بوابة XNOR.

الوحدة 5
التقويم

خريطة المفاهيم

33. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: الترانزستور، دايود السليكون، يبعث ضوءًا، يوصل الكهرباء في كلا الاتجاهين.



إتقان المفاهيم

34. كيف تختلف مستويات الطاقة في بلورة عنصر معين عن مستويات الطاقة في ذرة مفردة من ذلك العنصر؟

35. لماذا يؤدي تسخين أشباه الموصلات إلى زيادة موصليتها؟

36. ما الناقل الرئيس للتيار في المادة شبه الموصلة من النوع P؟

37. يطبق جهاز الأوميتر فرق الجهد عبر الأداة لفحصها، ويقيس التيار، ويبيّن مقاومة الأداة. إذا قمت بتوصيل الأوميتر عبر الدايود، فهل يعتمد التيار الذي تقيسه على أي طرف للدايود يوصل مع القطب الموجب لجهاز الأوميتر؟ وضّح إجابتك.

38. ما معنى رأس السهم على الباعث في رمز دائرة الترانزستور؟

39. صف تركيب الدايود المنحاز أماميًّا، ووضح كيفية عمله.

40. ميّز بين الدايودات الضوئية والدايودات المشعة للضوء.

41. وضِّح مبدأ عمل كل من:

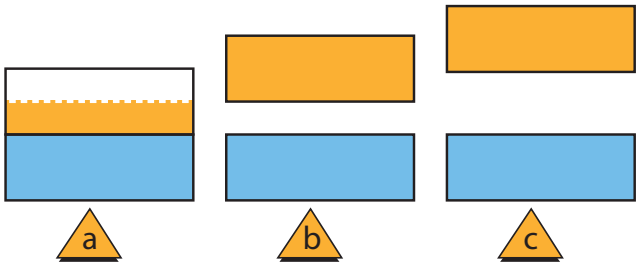
a. الدايود الضوئي

b. الدايود المشع للضوء

c. المقاوم الحراري (الثرمستور)

تطبيق المفاهيم

42. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في **الشكل 53–5**، أيٌّ منها تمثل المادة التي لها أكبر مقاومة؟



الشكل 53–5

43. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في **الشكل 53–5**، أيها له حزم توصيل نصف ممتلئة؟

44. في مخططات حزم الطاقة الموضحة في **الشكل 53–5**، أيها يمثل أشباه موصلات؟

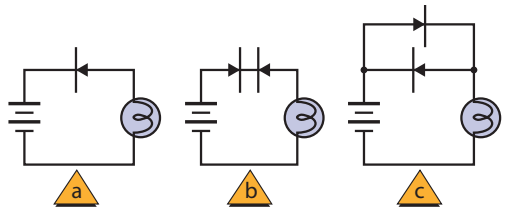
45. تتناقص مقاومة الجرافيت عندما ترتفع درجة الحرارة. فهل توصيل الجرافيت للكهرباء أكثر من النحاس أم السليكون؟

46. أي المواد الآتية تعمل عوازل جيدة: مادة لها فجوة ممنوعة عرضها 8 eV، أم مادة لها فجوة ممنوعة عرضها 3 eV، أم مادة ليس لها فجوة ممنوعة؟

47. بالنسبة لذرات المواد الثلاث الواردة في السؤال السابق، أيٌّ هذه المواد أكثر صعوبة عند انتزاع إلكترون منها؟

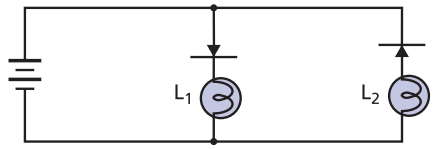
تقويم الوحدة 5

48. حدد ما إذا كان المصباح الكهربائي في كل من الدوائر *a,b,c* الموضحة في **الشكل 5–54** مضيئًا أم لا.



الشكل 5–54

49. في الدائرة الموضحة في **الشكل 5–55**، حدد ما إذا كان أحد المصباحين L_1 و L_2 مضيئًا، أم كلاهما مضيء، أم كلاهما غير مضيء.



الشكل 5–55

50. استخدم الجدول الدوري لتحديد أي العناصر الآتية يمكن أن يضاف إلى الجرمانيوم لتكوين شبه موصل من النوع n:

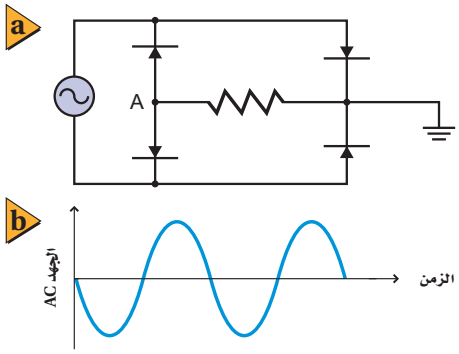
.B, C, N, P, Si, Al, Ge :p Ga, As, In، Sn, Sb

51. هل يُظهر جهاز الأوميتر مقاومة أكبر عندما يكون الصمام من نوع pn منحازًا أماميًّا أم منحازًا عكسيًّا؟

52. إذا أظهر جهاز الأوميتر في المسألة السابقة مقاومة متدنية فهل يكون سلك توصيل الجهاز عند رأس سهم الصمام الثنائي ذا جهد مرتفع أم ذا جهد منخفض؛ مقارنة بالسلك الآخر الموصول بالجهاز؟

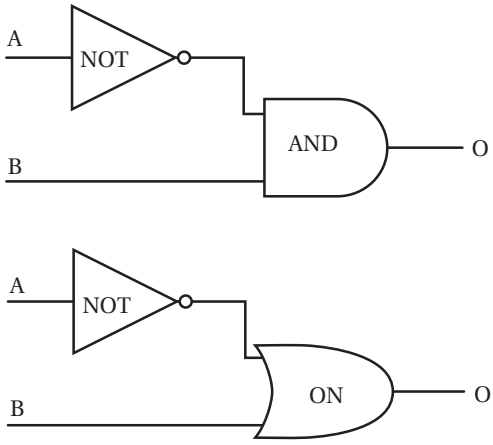
53. إذا قُمت بمعالجة الجرمانيوم النقي بعنصر الجاليوم وحده، فهل يَنتج مقاوم، أم دايود، أم ترانزستور؟

54. ارسم الشكل الموجي للزمن مقابل الاتساع للنقطة A في **الشكل 5–56a**، مفترضًا أن الشكل الموجي للتيار المتردد AC الداخل، كما هو موضح في **الشكل 5–56b**



الشكل 5–56

55. اكتب جدول الحقيقة والصواب لكل من الدوائر المنطقية الموضحة في **الشكل 5–57**:



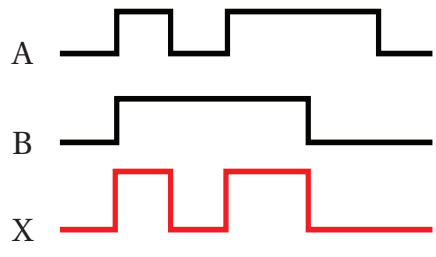
الشكل 5–57

56. متى تكون الإشارة الخارجة من بوابة OR ذات الثلاث مداخل؛ ذات مستوى مرتفع High؟

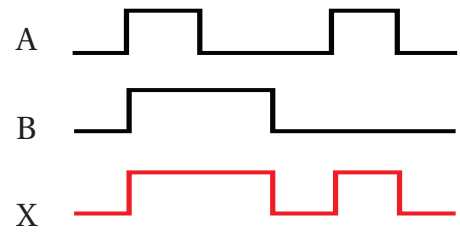
تقويم الوحدة 5

57. ادرس الإشارات الموضحة أدناه، التي تمثل الإشارات الداخلة إلى بوابة منطقية A و B والإشارة الخارجة منها X، ثم حدّد نوع البوابة:

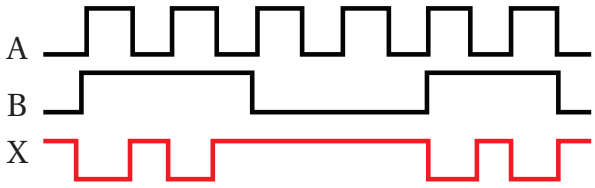
a.



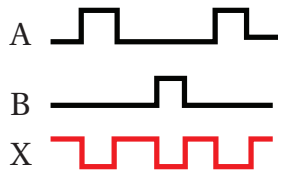
b.



c.



d.



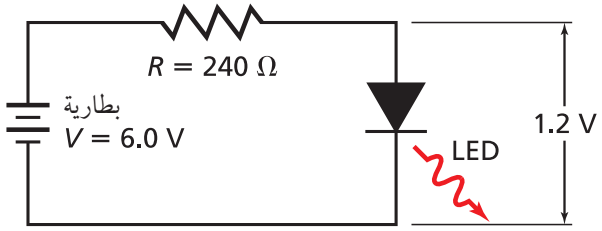
إتقان حل المسائل

5–2 الأدوات الإلكترونية

58. **LED** إذا كان هبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء المتوهج يساوي 1.2 V تقريبًا. وفي **الشكل 5–58**، فإن هبوط الجهد عبر المقاومة هو الفرق بين جهد البطارية وهبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء. ما مقدار التيار الكهربائي المارّ خلال كل مما يأتي؟

a. الدايود المشع للضوء LED.

b. المقاومة.



الشكل 5–58

59. أراد عمر زيادة التيار المارّ خلال الدايود المشع للضوء في المسألة السابقة ليصبح 3×10^{1} mA، على أن تكون إضاءته أكثر سطوعًا. افترض أن هبوط الجهد عبر الدايود المشع للضوء بقي 1.2 V، فما مقدار المقاومة التي يجب عليه استخدامها؟

60. **الدايود** وصل دايود من السليكون ذو الخصائص I/V الموضحة في **الشكل 5–19** مع بطارية من خلال مقاومة مقدارها 270 Ω. إذا كان الدايود منحازًا إلى الأمام بواسطة بطارية، وكان تيار الدايود يساوي 15 mA، فما مقدار جهد البطارية؟

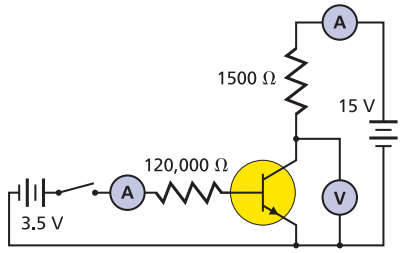
تقويم الوحدة 5

61. افترض أن المفتاح الموضح في **الشكل 59–5** مفتوح، وحدد كلاً من:

a. تيار القاعدة.

b. التيّار المجمّع.

c. قراءة جهاز الفولتمتر.



الشكل 59–5

62. افترض أن المفتاح الموضح في **الشكل 59–5** مغلق، وهبوط الجهد عبر وصلة القاعدة–الباعث يساوي 0.70 V، وكسب التيار من القاعدة للمجمّع يساوي 220، وحدد كلًّا من:

a. تيار القاعدة.

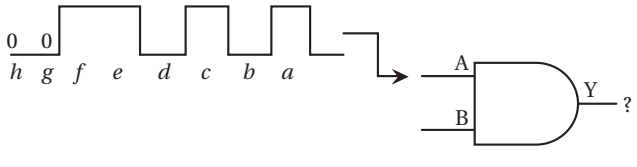
b. تيار المجمّع.

c. قراءة الفولتمتر.

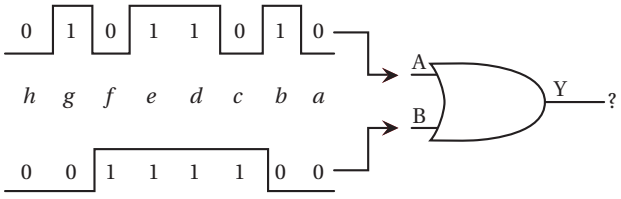
63. كيف تكون سلسلة النبضات الخارجة من البوابة المنطقية الموضحة في الشكل أدناه في كل من الحالات التالية؟

a. عندما تكون إشارة B تساوي 1

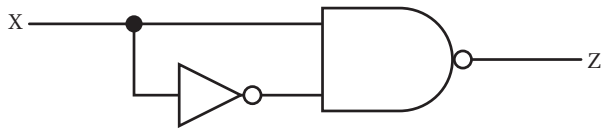
b. عندما تكون إشارة B تساوي 0



64. كيف تكون سلسلة النبضات الخارجة من البوابة المنطقية الموضحة في الشكل أدناه عندما تكون الإشارات الداخلة كما هي موضحة في الشكل؟



65. وضح شكل الإشارة الخارجة من الدائرة الإلكترونية المنطقية الموضحة في **الشكل 60–5**:



الشكل 60–5

5–3 البوابات المنطقية والمفاتيح الكهربائية

مراجعة عامة

66. الموجات الكهرومغناطيسية التي تصطدم بالسليكون تحرك الإلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل عندما تكون الفجوة الممنوعة فيه 1.1 eV. ما أكبر طول موجي للإشعاع الذي يمكن أن يثير الإلكترون بهذه الطريقة؟
تذكّر أن $E = 1240\ \text{eV.nm}/\lambda$.

67. **وصلة الـ Si** يُظهر دايود السليكون الخاص عند درجة حرارة 0°C تيارًا كهربائيًّا مقداره 1.0 nA عندما يكون منحازًا عكسيًّا. ما التيار الذي يمكن توقعه إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 104 °C؟ افترض أن جهد القاعدة العكسي بقي ثابتًا. (إنتاج الناقل الحراري للسليكون يتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 8°C).

تقويم الوحدة 5

68. وصلة الـ Ge يُظهر دايود الجرمانيوم الخاص عند درجة حرارة 0°C تيارًا كهربائيًّا مقداره 1.5 µA عندما يكون منحازًا عكسيًّا. ما التيار الذي يمكن توقعه إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 104 °C؟ افترض أن جهد القاعدة العكسي بقي ثابتًا. (إنتاج الناقل الحراري للجرمانيوم يتضاعف لكل زيادة في درجة الحرارة مقدارها 13 °C).

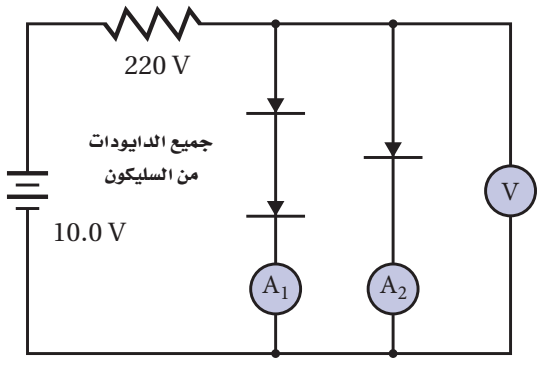
69. LED يُنتج الدايود المشع للضوء ضوءًا أخضر طوله الموجي 550 nm عندما تتحرك الإلكترونات من حزمة التوصيل إلى حزمة التكافؤ. احسب عرض الفجوة الممنوعة بوحدة eV في هذا الدايود.

70. مستعينًا **بالشكل 61–5**، حدد كلًّا من:

a. قراءة الفولتمتر.

b. قراءة A1.

c. قراءة A2



الشكل 61–5

71. ما شحنة مكثف سعته 15.0 pF عند توصيله بمصدر جهد 45.0 V؟

72. آلة التصوير يعبَّر عن الطاقة المختزنة في مكثف سعته C، وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيه ΔV، كما يلي: $W = \frac{1}{2} C\Delta V^2$، ومن التطبيقات على ذلك آلة التصوير الإلكترونية ذات الفلاش الضوئي، كالتي تظهر في **الشكل 62–5**. إذا شُحن مكثف في آلة تصوير مماثلة سعته 10.0 µF إلى أن أصبح فرق الجهد عليه 3.0×10^2 V، فما مقدار الطاقة المختزنة في المكثف؟

الشكل 62–5

73. افترض أن شحن المكثف في المسألة السابقة استغرق 25 s، وأجب عما يلي:

a. أوجد متوسط القدرة اللازمة لشحن المكثف خلال هذا الزمن.

b. عند تفريغ شحنة هذا المكثف خلال مصباح الفلاش يفقد طاقته كاملة خلال زمن مقداره 1.0×10^{-4} s. أوجد القدرة التي تصل إلى مصباح الفلاش.

c. ما أكبر قيمة ممكنة للقدرة؟

تقويم الوحدة 5

التفكير الناقد

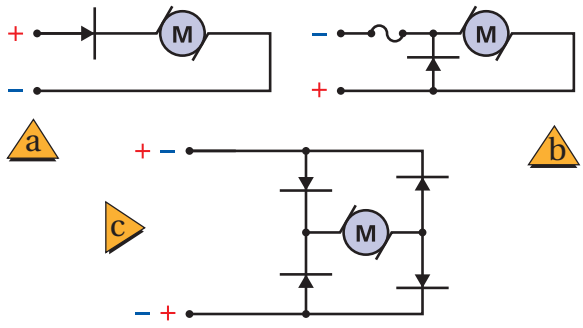
74. **تطبيق المفاهيم** بعض المحركات في **الشكل 63–5**، تدور في اتجاه عند تطبيق قطبية معينة، وتدور في الاتجاه المعاكس عند عكس القطبية.

a. أيّ دائرة (a، b، c) ستسمح للمحرك بالدوران في اتجاه واحد فقط؟

b. أيّ دائرة ستؤدي إلى تلف المنصهر الكهربائي (الفيوز) عند تطبيق قطبية غير صحيحة؟

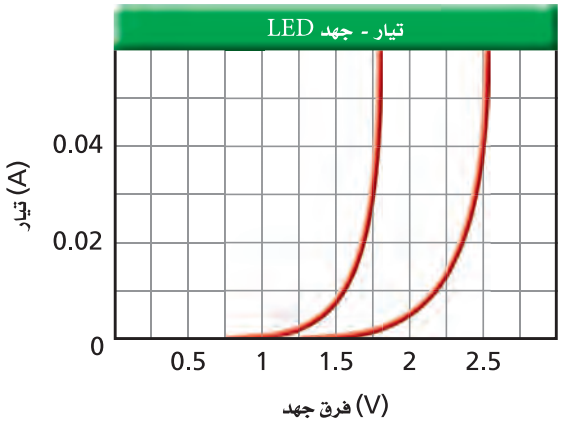
c. أيّ دائرة تُنتج اتجاه دوران صحيحًا بغضّ النظر عن القطبية المطبقة؟

d. ناقش مزايا وعيوب كل من الدوائر الثلاث.



الشكل 63–5

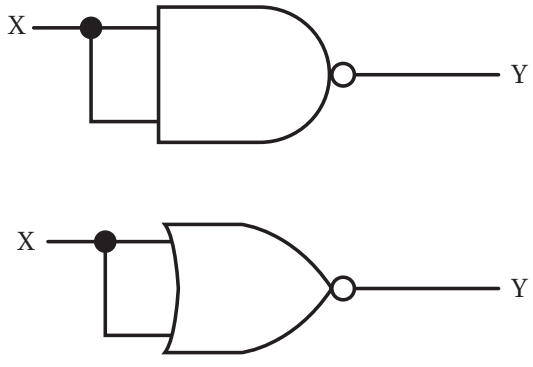
75. **تطبيق المفاهيم** يوضح **الشكل 64–5** خصائص I/V لاثنين من الدايودات المشعّة للضوء، التي تتوهج بألوان مختلفة. يتعين أن يوصل كل دايود ببطارية جهدها 9.0 V من خلال مقاومة. إذا كان كل دايود يشغّل بتيار مقداره 0.040 A، فما مقدار المقاومات التي ينبغي اختيارها لكل دايود؟



الشكل 64–5

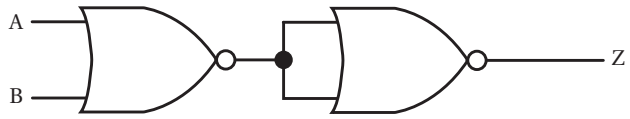
76. **تطبيق المفاهيم** افترض أن الصمامين الثنائيين الواردين في المسألة السابقة قد وُصلا معًا على التوالي، فإذا استخدمت البطارية الواردة في المسألة السابقة نفسها، وكان التيار المطلوب يساوي 0.035 A، فما المقاوم الذي ينبغي استخدامه؟

77. قارن بين مدخلات ومخرجات الدائرتين الموضحتين في **الشكل 65–5**:



الشكل 65–5

78. قارن بين مخرجات الدائرة الموضحة في **الشكل 66–5** ومخرجات البوابة المنطقية OR:



الشكل 66–5

79. يَختزن مكثف موصول بمصدر جهد 45.0 V شحنة مقدارها 90.0 μC. ما مقدار سعة المكثف؟

الكتابة في الفيزياء

80. ابحث حول مبدأ الاستبعاد لباولي وحياة فولفجانج باولي، وسلّط الضوء على إسهاماته البارزة في مجال العلوم، ثم صِفْ تطبيق مبدأ الاستبعاد على نظرية الحزم في التوصيل، وخصوصًا في أشباه الموصلات.

81. اكتب مناقشة تتكون من صفحة واحدة حول مستوى طاقة فيرمي عند تطبيقها على مخططات حزم الطاقة لأشباه الموصلات، على أن تتضمن المناقشة رسمًا واحدًا على الأقل.

مراجعة تراكمية

82. إذا نقص التيار المار في دائرة كهربائية فرق الجهد فيها 12V من 0.55A إلى 0.44A، فاحسب مقدار التغير في المقاومة.

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أيُّ العبارات الآتية الخاصة بالدايود تعدّ غير صحيحة؟ يمكن للدايود.....

Ⓐ تضخيم الجهد
Ⓑ الكشف عن الضوء
Ⓒ أن يبعث ضوءًا
Ⓓ تقويم التيار المتردد

2. إذا كان تيار القاعدة في دائرة الترانزستور يساوي 45 µA وتيار المجمّع يساوي 8.5 mA، فما مقدار كسب التيار من القاعدة إلى المجمّع؟

Ⓐ 110
Ⓑ 190
Ⓒ 205
Ⓓ 240

3. في المسألة السابقة إذا زاد تيار القاعدة بمقدار 5 µA، فما مقدار الزيادة في تيار المجمّع؟

Ⓐ 5 µA
Ⓑ 1 mA
Ⓒ 10 mA
Ⓓ 190 µA

4. تبين دائرة ترانزستور أن تيار المجمّع 4.75 mA، وكسب التيار من القاعدة إلى المجمّع 250، فما مقدار تيار القاعدة؟

Ⓐ 1.19 µA
Ⓑ 18.9 µA
Ⓒ 4.75 mA
Ⓓ 1190 mA

5. أي الصفوف في الجدول الآتي تمثّل الوصف الأفضل لأشباه موصلات السليكون لكل من النوع n والنوع p؟

	النوع n	النوع P
Ⓐ	معالج بالجاليوم	إلكترونات مضافة
Ⓑ	إلكترونات مضافة	معالج بالزرنيخ
Ⓒ	معالج بالزرنيخ	فجوات مضافة
Ⓓ	فجوات مضافة	معالج بالجاليوم

6. أي الصفوف الآتية تمثّل أفضل وصف لسلوك أشباه الموصلات النقية (سليكون نقي) عند زيادة درجة الحرارة؟

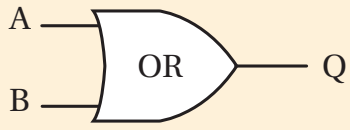
	الموصلية	المقاومة
Ⓐ	تزداد	تزداد
Ⓑ	تزداد	تقل
Ⓒ	تقل	تزداد
Ⓓ	تقل	تقل

8. يتضاعف إنتاج الإلكترون حراريًّا في السليكون لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره 8 °C. يظهر صمام السليكون تيارًا 2.0 nA عند درجة حرارة 0 °C عندما يكون منحازًا عكسيًّا. كم يكون مقدار التيار عند 112 °C إذا كان جهد القاعدة العكسي ثابتًا؟

Ⓐ 11µA
Ⓑ 33µA
Ⓒ 44µA
Ⓓ 66µA

الأسئلة الممتدة

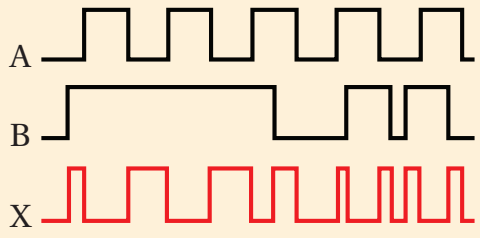
9. في البوابة المنطقية الموضحة في الشكل أدناه، إذا كانت الإشارات الداخلة في كل من A و B هي 1 و 1 على الترتيب، فما مقدار Q (مقدار الإشارة الخارجة من البوابة)؟



Ⓐ 0
Ⓑ 1
Ⓒ 1 و 0
Ⓓ 0 و 1

اختبار مقنن

10. ما البوابة المنطقية التي تكون سلسلة النبضات الداخلة إليها والخارجة منها كما هو موضح في الشكل أدناه؟

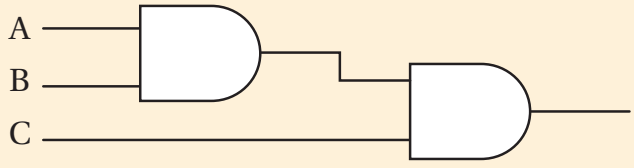


(A) بوابة AND ذات مدخلين
(B) بوابة OR ذات مدخلين
(C) بوابة XOR
(D) لا شيء مما ذكر

11. ما عدد المدخلات الضرورية اللازمة في جدول الحقيقة والصواب لبوابة منطقية ذات أربع مداخل؟

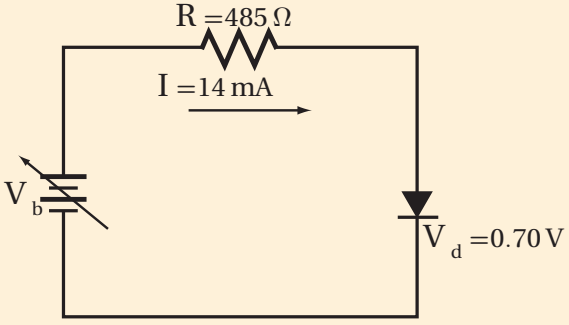
(A) 4
(B) 8
(C) 12
(D) 16

12. البوابات المنطقية الموضحة في الشكل أدناه تكافئ في عملها:



(A) بوابة AND ذات مدخلين
(B) بوابة AND ذات ثلاث مداخل
(C) بوابة NAND ذات ثلاث مداخل
(D) بوابة OR ذات ثلاث مداخل

13. وصل دايود السليكون في اتجاه منحاز إلى الأمام مع مصدر قدرة من خلال مقاوِم مقداره 485 Ω، كما موضح أدناه، إذا كان هبوط جهد الدايود يساوي 0.70 V، فما مقدار جهد مصدر القدرة عندما يكون تيار الدايود 14 mA؟



إرشاد

ركّز.

إذا تحدّث الطلاب الجالسون إلى جوارك أثناء الاختبار، فيتعين عليك أن تنتقل إلى مكانٍ آخر. فقط انتبه إلى تعليمات المعلم أثناء الاختبار؛ لأن الحديث أثناء الاختبار إلهاء ومضيعة للوقت، فضلاً عن أن المعلم قد يعتقد أنك تغشّ، فلا تتحدث مع الآخرين وركّز تفكيرك في الاختبار.

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

I. الرموز symbols

Δ	التغير في الكمية	$a \times b$	a مضروبة في b
$\pm$	زائد أو ناقص الكمية	ab	
$\propto$	يتناسب مع	$a(b)$	
$=$	يساوي	$a \div b$	a مقسومة على b
$\approx$	تقريبًا يساوي	a/b	
$\cong$	يطابق	$\frac{a}{b}$	
$\leq$	أقل من أو يساوي	$\sqrt{a}$	الجذر التربيعي لـ a
$\geq$	أكبر من أو يساوي	$\lvert a \rvert$	القيمة المطلقة لـ a
$<<$	أقل جدًّا من	$\log_b x$	لوغاريتم x بالنسبة إلى الأساس b
$\equiv$	يعرف كـ		

II. القياسات والأرقام المعنوية Measurement and Significant Digits

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء تعد الرياضيات لغة الفيزياء؛ فباستعمال الرياضيات يستطيع الفيزيائيون وصف العلاقات بين مجموعة من القياسات عن طريق المعادلات. ويرتبط كل قياس مع رمز معين في المعادلات الفيزيائية، وتسمى هذه الرموز المتغيرات.

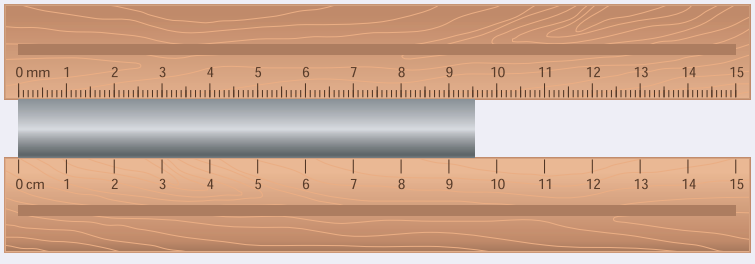
الأرقام المعنوية Significant Digits

إن جميع القياسات تقريبية وتُمثل بأرقام معنوية، بحيث يعبر عدد الأرقام المعنوية عن الدقة في القياس. وتعد الدقة مقياسًا للقيمة الحقيقية. ويعتمد عدد الأرقام المعنوية في القياس على الوحدة الصغرى في أداة القياس. ويكون الرقم الأبعد إلى اليمين في نتيجة القياس مقدَّرًا.

مثال: ما الرقم المقدَّر لكل من مسطرة القياس الموضحة في الشكل أدناه والمستخدمة لقياس طول القضيب الفلزي؟

باستعمال أداة القياس السفلية نجد أن طول القضيب الفلزي بين 9 cm و 10 cm لذلك فإن القياس سوف يقدَّر إلى أقرب جزء عشري من السنتمتر. وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9 cm أو 10 cm فإنه يجب عليك تسجيل نتيجة القياس 9.0 cm أو 10.0 cm.

أما عند استعمال أداة القياس العليا فإن نتيجة القياس تقع بين 9.5 cm و 9.6 cm، لذلك فإن القياس سوف يقدر إلى أقرب جزء مئوي من السنتمتر، وإذا كان الطول المقيس يقع تمامًا عند 9.5 cm أو 9.6 cm فيجب عليك تسجيل القياس 9.50 cm أو 9.60 cm



كل الأرقام غير الصفرية في القياسات أرقام معنوية. وبعض الأصفار أرقام معنوية، وبعضها ليست معنوية، وكل الأرقام من اليسار وحتى الرقم الأخير من اليمين والمتضمنة الرقم الأول غير الصفري تعد أرقامًا معنوية.

استعمل القواعد الآتية عند تحديد عدد الأرقام المعنوية:

1. الأرقام غير الصفرية أرقام معنوية.
2. الأصفار الأخيرة بعد الفاصلة العشرية أرقام معنوية.
3. الأصفار بين رقمين معنويين أرقام معنوية.
4. الأصفار التي تستعمل بهدف حجز منازل فقط هي أرقام ليست معنوية.

مثال: حدّد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

5.0 g يتضمن رقمين معنويين	استعمال القاعدتين 1و2
14.90 g يتضمن أربعة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و2
0.0 يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا	استعمال القاعدتين 2و4
300.00 mm يتضمن خمسة أرقام معنوية	استعمال القواعد 1و2و3
5.06 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
304 s يتضمن ثلاثة أرقام معنوية	استعمال القاعدتين 1و3
0.0060 mm يتضمن رقمين معنويين (6 والصفر الأخير)	استعمال القواعد 1و2و4
140 mm يتضمن رقمين معنويين (1و4 فقط)	استعمال القاعدتين 1و4

مسائل تدريبية

1. حدد عدد الأرقام المعنوية في كل من القياسات الآتية:

a. 1405 m	**d.** 12.007 kg
b. 2.50 km	**e.** 5.8×10^{6} kg
c. 0.0034 m	**f.** 3.03×10^{-5} ml

هناك حالتان تعد الأعداد فيهما دقيقة:

1. الأرقام الحسابية، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.
2. معاملات التحويل، وهي تتضمن عددًا لا نهائيًّا من الأرقام المعنوية.

التقريب Rounding

يمكن تقريب العدد إلى خانة (منزلة) معينة (مثل المنزلة المئوية أو العشرية) أو إلى عدد معين من الأرقام المعنوية. وحتى تقوم بذلك حدّد المنزلة المراد تقريبها، ثم استعمل القواعد الآتية:

1. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أقل من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويبقى الرقم الأخير في العدد المقرّب دون تغيير.

2. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه أكبر من 5 فإنه يتم إسقاطه هو والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرّب بمقدار واحد.

3. عندما يكون الرقم الواقع عن يمين العدد المراد التقريب إليه هو 5 متبوعًا برقم غير صفري فإنه يتم إسقاط ذلك الرقم والأرقام الأخرى التي تليه، ويزيد الرقم الأخير في العدد المقرَّب بمقدار واحد.

4. إذا كان الرقم الواقع عن يمين الرقم المعنوي الأخير المراد التقريب إليه يساوي 5 ومتبوعًا بالصفر، أو لا يتبعه أي أرقام أخرى فانظر إلى الرقم المعنوي الأخير، فإذا كان فرديًّا فزده بمقدار واحد، وإذا كان زوجيًّا فلا تزده.

أمثلة: قرّب الأرقام الآتية للعدد المعيّن إلى الأرقام المعنوية:

8.7645 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.76 — استعمال القاعدة 1

8.7676 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 8.77 — استعمال القاعدة 2

8.7519 تقريبه إلى رقمين معنويين ينتج 8.8 — استعمال القاعدة 3

92.350 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.4 — استعمال القاعدة 4

92.25 تقريبه إلى ثلاثة أرقام معنوية ينتج 92.2 — استعمال القاعدة 4

مسائل تدريبية

2. قرّب كل رقم إلى عدد الأرقام المعنوية المتضمنة بين الأقواس الآتية:

a. 1405 m (2)　　**c.** 0.0034 m (1)

b. 2.50 km (2)　　**d.** 12.007 kg (3)

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية Operations with Significant Digits

عندما تستعمل الآلة الحاسبة نفّذ العمليات الحسابية بأكبر قدر من الدقة التي تسمح بها الآلة الحاسبة، ثم قرب النتيجة إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية. يعتمد عدد الأرقام المعنوية في النتيجة على القياسات وعلى العمليات التي تجريها.

الجمع والطرح Addition and subtraction

انظر إلى الأرقام عن يمين الفاصلة العشرية، وقرّب النتيجة إلى أصغر قيمة دقيقة بين القياسات، وهو العدد الأصغر من الأرقام الواقعة عن يمين الفاصلة العشرية.

مثال: اجمع الأعداد 1.456 m ، 4.1 m و 20.3 m

القيم الأقل دقة هي 4.1 m و 20.3 m؛ لأن كلتيهما تتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا فقط يقع عن يمين الفاصلة العشرية.

اجمع الأعداد

$$\begin{array}{r} 1.456\ \text{m} \\ 4.1\ \text{m} \\ +20.3\ \text{m} \\ \hline 25.856\ \text{m} \end{array}$$

وفي النتيجة تكون دقة حاصل عملية الجمع هي دقة الرقم المُضاف الأقل دقة.

قرب النتيجة إلى القيمة الكبرى 25.9m

الضرب و القسمة Multiplication and division

حدد عدد الأرقام المعنوية في كل عملية قياس. ونفذ العملية الحسابية، ثم قرّب النتيجة بحيث يكون عدد الأرقام المعنوية فيها مساويًا لتلك الموجودة في قيمة القياس ذي الأرقام المعنوية الأقل.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكميتين 20.1 m و 3.6 m

$$(20.1\ \text{m})(3.6\ \text{m})=72.36\ \text{m}^2$$

القيمة الصغرى الدقيقة هي 3.6 m التي تتضمن رقمين معنويين. وحاصل عملية الضرب يجب أن يتضمن فقط عدد الأرقام المعنوية في العدد ذي الأرقام المعنوية الأقل.

قرّب النتيجة إلى رقمين معنويين 72 m

مسائل تدريبية

3. بسّط التعابير الرياضية الآتية مستعملًا العدد الصحيح من الأرقام المعنوية:

a. 2.33 km + 3.4 km + 5.012 km

b. 45 g - 8.3 g

c. 3.40 cm × 7.125 cm

d. 54 m ÷ 6.5 s

المجاميع Combination

عنـد إجراء الحسـابات التي تتضمـن عمليات الجمع والطرح والضرب والقسـمة اسـتعمل قاعدة عمليـة الضرب/ عملية القسمة.

أمثلة:

$$d=19\ m + (25.0\ m/s)(2.50\ s) + \frac{1}{2}(-10.0\ m/s^2)(2.50)^2$$
$$= 5.0 \times 10^1\ m$$

المقدار 19 m يتضمن رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن النتيجة رقمين معنويين.

$$m\ (\text{الميل}) = \frac{70.0\ m - 10.0\ m}{29\ s - 11\ s}$$
$$= 3.3\ m/s$$

29 s و 11 s يتضمن كل منهما رقمين معنويين فقط، لذلك يجب أن تتضمن الإجابة رقمين معنويين فقط.

الحسابات المتعددة الخطوات Multistep Calculation

لا تُجرِ عمليـة تقريـب الأرقام المعنوية خلال إجراء الحسـابات المتعددة الخطـوات. وبدلاً من ذلك قـم بالتقريب إلى العدد المعقول من المنازل العشرية، بشرط ألا تفقد دقة إجابتك. وعندما تصل إلى الخطوة النهائية في الحل عليك أن تقرّب الجواب إلى العدد الصحيح من الأرقام المعنوية.

مثال:

$$F = \sqrt{(24\ N)^2 + (36\ N)^2}$$
$$= \sqrt{576\ N^2 + 1296\ N^2}$$
$$= \sqrt{1872\ N^2}$$
$$= 43\ N$$

لا تجر التقريب إلى $580N^2$ و $1300N^2$

لا تجر التقريب إلى $1800N^2$

النتيجة النهائية، هنا يجب أن نقرّب إلى رقمين معنويين.

III. الكسور والنسب والمعدلات والتناسب Fractions, Ratios, Rates, and Proportions

الكسور Fractions

يقصد بالكسر جزء من الكل أو جزء من مجموعة. ويعبّر الكسر أيضًا عن النسبة.

ويتكوّن الكسر من البسط وخط القسمة والمقام.

$$\frac{\text{البسط}}{\text{المقام}} = \frac{\text{عدد الأجزاء المختارة}}{\text{عدد الأجزاء الكليّ}}$$

التبسيط من السهل أحيانًا تبسيط التعبير الرياضي قبل عملية تعويض قيم المتغيرات المعلومة، وتُختصر غالبًا المتغيرات من التعبير الرياضي.

مثال: بسّط $\frac{pn}{pw}$

افصل المتغير P في البسط والمقام، وجزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب كسرين.

بالتعويض $\left(\frac{p}{p}\right)=1$

$$\left(\frac{pn}{pw}\right) = \left(\frac{p}{p}\right)\left(\frac{n}{w}\right)$$
$$= (1)\left(\frac{n}{w}\right)$$
$$= \frac{n}{w}$$

عمليتا الضرب والقسمة لإجراء عملية ضرب الكسور اضرب القيم الممثلة للبسط، واضرب القيم الممثلة للمقام.

مثال: أوجد حاصل ضرب الكسر $\frac{s}{a}$ في الكسر $\frac{t}{b}$.

نفّذ عملية ضرب القيم في البسط والقيم في المقام

$$\left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{t}{b}\right) = \frac{st}{ab}$$

ولإجراء عملية قسمة الكسور اضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني. ولإيجاد مقلوب الكسر، اعكس الكسر بحيث يحل كل من البسط والمقام مكان الآخر.

مثال: أوجد عملية القسمة للكسر $\frac{s}{a}$ على الكسر $\frac{t}{b}$.

أوجد حاصل ضرب الكسر الأول في مقلوب الكسر الثاني.

$$\frac{s}{a} \div \frac{t}{b} = \left(\frac{s}{a}\right)\left(\frac{b}{t}\right)$$

اضرب القيم في البسط والقيم في المقام.

$$= \frac{sb}{at}$$

عمليتا الجمع والطرح لإجراء عملية جمع أو طرح كسرين اكتبهما أولاً في صورة كسرين لهما مقام مشترك، أي المقام نفسه. ولإيجاد المقام المشترك أوجد حاصل ضرب مقام كل من الكسرين، ثم اجمع بسطي كل منهما أو اطرحهما، ثم استعمل المقام المشترك.

مثال: أوجد حاصل جمع $\frac{1}{a}$ و $\frac{2}{b}$.

اضرب كلّ كسر في كسر يساوي 1.

اضرب كلًّا من قيم البسط وكلًّا من قيم المقام.

اكتب كسرًا مفردًا مقامه المقام المشترك.

$$\frac{1}{a} + \frac{2}{b} = \left(\frac{1}{a}\right)\left(\frac{b}{b}\right) + \left(\frac{2}{b}\right)\left(\frac{a}{a}\right)$$
$$= \frac{b}{ab} + \frac{2a}{ab}$$
$$= \frac{b+2a}{ab}$$

مسائل تدريبية

4. نفّذ العمليات التالية، ثم اكتب الإجابة في أبسط صورة.

a. $\frac{y}{3}+\frac{1}{x}$ **c.** $\left(\frac{1}{y}\right)\left(\frac{3}{x}\right)$

b. $\frac{3}{b}-\frac{a}{2b}$ **d.** $\frac{1}{2}\div\frac{2a}{5}$

النسب Ratios

تمثل النسب عملية مقارنة بين عددين باستعمال عملية القسمة. ويمكن كتابة النسب بعدة طرائق مختلفة، فالنسبة بين العددين 2 و3 يمكن كتابتها بأربع طرائق مختلفة: 2 إلى 3 أو 2 على 3 أو 3:2 أو $\frac{2}{3}$.

المعدّلات Rates

المعدل نسبة تقارن بين كميتين لهما وحدات قياس مختلفة. إن معدل الوحدة هو المعدل الذي يمكن تبسيطه بحيث يساوي المقام الرقم 1.

مثال: اكتب 98km في 2.0 *ساعة كمعدل وحدة.*

98km في 2.0 ساعة عبارة عن النسبة $\frac{98\text{km}}{2.0\text{h}}$

جزِّئ الكسر إلى حاصل ضرب الكسر العددي بكسر الوحدات

بسّط الكسر العددي

$$\frac{98\text{km}}{2.0\text{h}}=\left(\frac{98}{2.0}\right)\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$$
$$=(49)\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$$
$$=49\text{ km per h أو km/h}$$

التناسبات Proportions التناسب عبارة عن معادلة تنص على أن النسبتين متساويتان: $\frac{a}{d}=\frac{c}{b}$، بشرط أن d و b لا تساويان صفرًا. تستعمل التناسبات لحل مسائل النسبة التي تتضمن ثلاثة أرقام ومتغيرًا واحدًا. ويمكنك حل علاقة التناسب لإيجاد قيمة المتغير. ولحل التناسب استعمل الضرب التبادلي.

مثال: حل التناسب $\frac{c}{d}=\frac{a}{b}$ *بالنسبة إلى المتغير* a.

بإجراء عملية الضرب التبادلي للتناسب $\frac{c}{d}=\frac{a}{b}$

اكتب المعادلة الناتجة عن الضرب التبادلي $ad=bc$

حل المعادلة بالنسبة إلى المتغير a $a=\frac{bc}{d}$

مسائل تدريبية

5. حل التناسبات التالية:

a. $\frac{2}{3}=\frac{4}{x}$ **c.** $\frac{s}{16}=\frac{36}{12}$

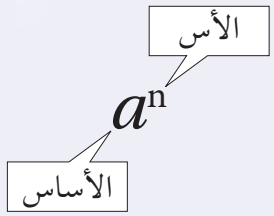
b. $\frac{n}{75}=\frac{13}{15}$ **d.** $\frac{7.5}{w}=\frac{2.5}{5.0}$

IV. الأسس والقوى والجذور والقيمة المطلقة Exponents, Powers, Roots, and Absolute value

الأسس Exponents

الأس عبارة عن عدد يخبرك بعدد المرات التي استعمل فيها الأساس a عاملًا، ويكتب الأس على صيغة رمز علوي. ففي الحد a^n، يمثل الرمز a الأساس ويمثل الرمز n الأس.

ويسمى المقدار a^n القوة النونية للرقم a أو أن الرقم a مرفوع للقوة n.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن الرمز السفلي لا يمثل الأس، وفي الفيزياء يمثل الرمز السفلي تعبيرًا آخر للمتغير. فمثلا v_0 يمكن أن تستعمل لتعبر عن السرعة عند الزمن 0، ولذلك فإن الرمز السفلي يعد جزءًا من المتغير.

الأس الموجب لأي رقم غير صفري a ، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^n = (a_1)(a_2)(a_3)\dots(a_n)$$

مثال: بسّط الحدود الأسية التالية:

$$10^4 = (10)(10)(10)(10) = 10{,}000$$

$$2^3 = (2)(2)(2) = 8$$

الأس الصفري لأي رقم a غير صفري،

$$a^0 = 1$$

مثال: بسّط الحدود الأسية الصفرية التالية:

$$2^0 = 1$$

$$13^0 = 1$$

الأس السالب لأي رقم a غير صفري، ولأي عدد صحيح n ،

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

مثال: اكتب الحدود الأسية السالبة الآتية في صورة كسور.

$$2^{-1} = \frac{1}{2^1} = \frac{1}{2} \qquad 2^{-2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$$

الجذور التربيعية والجذور التكعيبية Square and Cube Roots

الجذر التربيعي للرقم يساوي أحد معامليه الاثنين المتساويين. ويعبّر الرمز الجذري $\sqrt{\ }$ ، عن الجذر التربيعي. ويمكن أن يُعبّر عن الجذر التربيعي بالأس $\frac{1}{2}$ كما في $\sqrt{b} = b^{\frac{1}{2}}$. ويمكنك استعمال الآلة الحاسبة لإيجاد قيمة الجذور التربيعية.

أمثلة: بسّط حدود الجذور التربيعية الآتية:

$\sqrt{a^2} = \sqrt{(a)(a)} = a$

$\sqrt{9} = \sqrt{(3)(3)} = 3$

تتضمن الإجابة صفرًا عن يمين الفاصلة العشرية؛ وذلك للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{64} = \sqrt{(8.0)(8.0)} = 8.0$

ضع صفرين عن يمين إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على أربعة أرقام معنوية. $\sqrt{38.44} = 6.200$

قرّب إجابة الآلة الحاسبة للإبقاء على رقمين معنويين. $\sqrt{39} = 6.244997 = 6.2$

أما الجذر التكعيبي للرقم فيمثل أحد معاملاته الثلاثة المتساوية. ويعبر الرمز الجذري $\sqrt[3]{\ }$ أي استعمال الرقم 3، عن الجذر التكعيبي. كما يمكن تمثيل الجذر التكعيبي أيضًا في صورة أس $\frac{1}{3}$ كما في $\sqrt[3]{b} = b^{\frac{1}{3}}$.

مثال: بسّط حدود الجذر التكعيبي التالية:

$\sqrt[3]{125} = \sqrt[3]{(5.00)(5.00)(5.00)} = 5.00$

$\sqrt[3]{39.304} = 3.4000$

مسائل تدريبية

6. أوجد ناتج كل جذر، ثم قرّب الإجابة إلى أقرب مئة.

a. $\sqrt{22}$ **c.** $\sqrt{676}$

b. $\sqrt[3]{729}$ **d.** $\sqrt[3]{46.656}$

7. بسّط الجذور التالية من دون استعمال الرمز الجذري:

a. $\sqrt{16a^2b^4}$ **b.** $\sqrt{9t^6}$

8. اكتب الجذور الآتية في الصورة الأسية:

a. $\sqrt{n^3}$ **b.** $\frac{1}{\sqrt{a}}$

إجراء العمليات باستخدام الأسس Operations With Exponents

لإجراء العمليات التالية باستخدام الأسس فإن كلًّا من a و b يمكن أن يكونا أرقامًا أو متغيرات.

ضرب القوى: لإجراء عملية ضرب حدود لها الأساس نفسه، اجمع الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$(a^m)(a^n) = a^{m+n}$$

قسمة القوى: لإجراء عملية قسمة حدود لها الأساس نفسه، اطرح الأسس، كما هو موضح في الصيغة التالية:

$$a^m / a^n = a^{m-n}$$

القوة مرفوعة لقوة: لإيجاد ناتج قوة مرفوعة لقوة، استخدم الأساس نفسه واضرب الأسس بعضها في بعض، كما هو موضح في الصفحة التالية: $(a^m)^n = a^{mn}$

الجذر مرفوع لقوة: لإيجاد ناتج جذر مرفوع لقوة، استخدم الأساس نفسه وقسّم أس القوة على أس الجذر، كما هو موضح في الصيغة التالية: $\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}$

القوة لحاصل الضرب: لإيجاد القوة لحاصل الضرب a و b ، ارفع كليهما للقوة نفسها، ثم أوجد حاصل ضربهما معًا، كما في $(ab)^n = a^n b^n$

مسائل تدريبية

9. اكتب الصيغة المكافئة مستعملًا خصائص الأسس.

a. $x^2\, t / x^3$ **b.** $\sqrt{t^3}$ **c.** $(d^2n)^2$ **d.** $x^2\sqrt{x}$

10. بسّط $\frac{m}{q}\sqrt{\frac{2qv}{m}}$

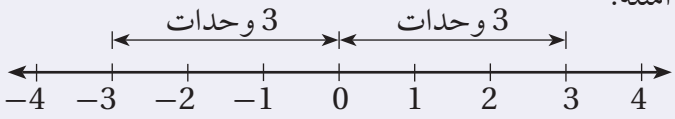
القيمة المطلقة Absolute Value

إن القيمة المطلقة للرقم n عبارة عن قيمته بغض النظر عن إشارته. وتكتب القيمة المطلقة للرقم n في صورة $|n|$. ولأن المقادير لا تكون أقل من الصفر فإن القيم المطلقة دائمًا أكبر من صفر أو تساوي صفرًا.

أمثلة:

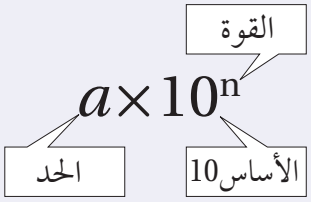
$|3| = 3$

$|-3| = 3$



V. الدلالة العلمية Scientific Notation

إن الرقم على الصيغة $a \times 10^n$ مكتوب بدلالته العلمية؛ حيث $1 \le a \le 10$، والرقم n عدد صحيح. الأساس 10 مرفوع للقوة n والحد a يجب أن يكون أقل من 10.



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يستعمل الفيزيائيون الدلالة العلمية مع القياسات التي تزيد على 10 أو الأقل من 1 للتعبير عنها، والمقارنة بينها، وحسابها. فمثلاً تكتب كتلة البروتون في صورة 6.73×10^{-28} kg، وتكتب كثافة الماء في صورة 1.000×10^{3} kg/m^3 وهذا يوضح استعمال قواعد الأرقام المعنوية؛ حيث يساوي هذا القياس 1000 تمامًا، وذلك لأربعة أرقام معنوية. ولذلك فعند كتابة كثافة الماء في صورة 1000 kg/m^3 سوف يشير ذلك إلى أن الرقم يتضمن رقمًا معنويًّا واحدًا، وهذا غير صحيح. لقد ساعدت الدلالة العلمية الفيزيائيين على الحفاظ على المسار الدقيق للأرقام المعنوية.

الأرقام الكبيرة، واستخدام الأسس الموجبة Large Numbers – Using Positive Exponents

إن عملية الضرب للقوة 10 تشبه تمامًا عملية تحريك النقطة العشرية لنفس عدد المنازل إلى يسار العدد (إذا كانت القوة سالبة) أو إلى اليمين (إذا كانت القوة موجبة). وللتعبير عن الرقم الكبير في الدلالة العلمية حدد أولاً قيمة الحد a، $1 \le a < 10$، ثم عد المنازل العشرية من النقطة العشرية في الحد a حتى النقطة العشرية في العدد، ثم استعمل العدد بوصفه قوة للرقم 10. وتبين الآلة الحاسبة الدلالة العلمية باستعمال e للأسس كما في $2.4 \text{ e+}11 = 2.4 \times 10^{11}$ وبعض الآلات الحاسبة تستخدم E لتبيان الأس أو يوجد غالبًا على الشاشة موضع مخصص، حيث تظهر أرقام ذات أحجام صغيرة نسبيًّا لتمثل الأسس في الآلة الحاسبة.

مثال: اكتب 7,530,000 *بدلالته العلمية.*

إن قيمة a هي 7.53 (النقطة العشرية عن يمين أول رقم غير صفري)، لذلك سيكون الشكل في صورة 7.53×10^{n}.

هناك ستة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 6 $7{,}530{,}000 = 7.53 \times 10^{6}$

لكتابة الصورة القياسية للرقم المعبَّر عنه بدلالته العلمية اكتب قيمة a، وضع أصفارًا إضافية عن يمين الرقم. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية للرقم a عدة منازل إلى اليمين.

مثال: اكتب الرقم التالي في صورته القياسية:

$2.389 \times 10^{5} = 2.38900 \times 10^{5} = 238{,}900$

الأرقام الصغيرة، واستخدام الأسس السالبة Small Numbers–Using Negative Exponents

للتعبير عن الأرقام الصغيرة بدلالتها العلمية حدد أولاً قيمة a ، $1 \le a < 10$ ، ثم احسب عدد المنازل العشرية مبتدئًا من النقطة العشرية للرقم a حتى النقطة العشرية في الرقم.

استعمل ذلك العدد قوةً للأساس 10 . إن عملية ضرب الرقم في قوة سالبة مماثل تمامًا لعملية القسمة على ذلك الرقم مع القوة الموجبة المرافقة.

مثال: اكتب 0.000000285 بدلالته العلمية.

إن قيمة a هي 2.85 (النقطة العشرية تقع عن يمين الرقم الأول غير الصفري) لذلك فإن الشكل سيكون في صورة 2.85×10^{n}.

توجد سبعة منازل عشرية، لذلك فإن القوة هي 7 – $0.000000285 = 2.85\times10^{-7}$

وللتعبير عن الأرقام الصغيرة بصورتها القياسية، اكتب قيمة الرقم a، وقم بإضافة أصفار إضافية عن يسار الرقم a. استعمل القوة وحرّك النقطة العشرية في a عدة منازل إلى اليسار.

مثال: $1.6 \times 10^{-4} = 00001.6 \times 10^{-4} = 0.00016$

مسائل تدريبية

11. عبّر عن كل رقم بدلالته العلمية:

a. 456,000,000 **b.** 0.000020

12. عبّر عن كل رقم بصورته القياسية.

a. 3.03×10^{-7} **b.** 9.7×10^{10}

إجراء العمليات الرياضية بدلالتها العلمية Operations with Scientific Notation

لإجراء العمليات الرياضية للأرقام المعبّر عنها بدلالتها العلمية نستخدم خصائص الأسس.

عملية الضرب أوجد حاصل عملية ضرب الحدود، ثم اجمع القوى للأساس 10.

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $(4.0\times10^{-8})\ (1.2\times10^{5}) = (4.0\times1.2)\ (10^{-8}\times10^{5})$

أوجد حاصل ضرب الحدود $= (4.8)\ (10^{-8+5})$

اجمع القوى للأساس 10 $= (4.8)\ (10^{-3})$

أعد صياغة النتيجة بدلالتها العلمية $= 4.8\times10^{-3}$

عملية القسمة قم بإجراء عملية قسمة الأرقام الممثلة للقواعد، ثم اطرح أسس الأساس 10.

مثال: بسّط

جمّع الحدود والأرقام ذات الأساس 10 $\frac{9.60\times10^{7}}{1.60\times10^{3}} = \left(\frac{9.60}{1.60}\right)\times\left(\frac{10^{7}}{10^{3}}\right)$

قسّم الحدود واطرح القوس للأساس 10 $= 6.00 \times 10^{7-3}$

$= 6.00 \times 10^{4}$

عمليتا الجمع والطرح إن إجراء عملية الجمع وعملية الطرح للأرقام بدلالتها العلمية هي عملية تحدٍّ أكبر؛ لأن قوى الأساس 10 يجب أن تكون متماثلة لكي تستطيع جمع أو طرح الأرقام. وهذا يعني أن أحد تلك الأرقام قد يحتاج إلى إعادة كتابته بدلالة قوة مختلفة للأساس 10، إما إذا كانت القوى للأساس 10 متساوية فاستعمل الخاصية التوزيعية للأعداد.

مثال: بسّط

جمّع الحدود $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^5) = (3.2+4.8)\times10^5$

اجمع الحدود $= 8.0\times10^5$

مثال: بسّط

أعد كتابة 4.8×10^4 في صورة 0.48×10^5 $(3.2\times10^5) + (4.8\times10^4) = (3.2\times10^5) + (0.48\times10^5)$

جمّع الحدود $= (3.2+0.48)\times10^5$

اجمع الحدود $= 3.68\times10^5$

قرّب النتيجة مستعملًا قاعدة الجمع / الطرح للأرقام المعنوية. $= 3.7\times10^5$

مسائل تدريبية

13. احسب نتيجة كل من التعابير التالية، وعبّر عن النتيجة بدلالتها العلمية.

a. $(4.0\times10^8)\ (5.2\times10^{-4})$ **b.** $(2.4\times10^3) + (8.0\times10^4)$

VI. المعادلات Equations

ترتيب العمليات Order of Operations

اتفق العلماء والرياضيون على مجموعة من الخطوات أو القواعد، تسمى ترتيب العمليات، لذلك يفسّر كل شخص الرموز الرياضية بالطريقة نفسها. اتّبع هذه الخطوات بالترتيب عندما تريد تقدير نتيجة تعبير رياضي أو عند استخدام صيغة رياضية معينة.

1. بسّط التعابير الرياضية داخل الرموز التجميعية، مثل القوسين ( )، والقوسين المعقوفين [ ]، والأقواس المزدوجة { }، وأعمدة الكسر.

2. قدّر قيمة جميع القوى والجذور.

3. نفّذ جميع عمليات الضرب و / أو جميع عمليات القسمة من اليسار إلى اليمين.

4. نفّذ جميع عمليات الجمع و / أو جميع عمليات الطرح من اليسار إلى اليمين.

مثال: بسّط التعبير التالي:

ترتيب العمليات: الخطوة 1 $4+3\ (4-1)-2^3 = 4+3\ (3)-2^3$

ترتيب العمليات: الخطوة 2 $=4+3\ (3)-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 3 $=4+9-8$

ترتيب العمليات: الخطوة 4 $= 5$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء يوضح المثال السابق تنفيذ عملية ترتيب العمليات خطوة خطوة. فعند حل المسائل الفيزيائية لا تجر عملية التقريب للرقم الصحيح للأرقام المعنوية إلا بعد حساب النتيجة النهائية. في حالة الحسابات التي تتضمن تعابير رياضية في البسط وتعابير رياضية في المقام عليك معاملة كل من البسط والمقام بوصفهما مجموعتين منفصلتين، ثم أوجد نتيجة كل مجموعة قبل أن تجري عملية قسمة البسط على المقام، لذلك فإن قاعدة الضرب / القسمة تستخدم لحساب الرقم النهائي للأرقام المعنوية.

حل المعادلات Solving Equations

إن حل المعادلة يعني إيجاد قيمة المتغير الذي يجعل المعادلة تعبيرًا رياضيًّا صحيحًا. وعند حل المعادلات طبّق خاصية التوزيع وخصائص التكافؤ، وإذا طبقت أيًّا من خصائص المتكافئات في أحد طرفي المعادلة وجب أن تطبق الخصائص نفسها في الطرف الآخر.

الخاصية التوزيعية لأي من الأعداد a ، b ، c يكون:

$$a\,(b+c) = ab + ac \qquad a\,(b-c) = ab - ac$$

مثال: استعمل الخاصية التوزيعية لتفكيك التعبير التالي:

$$\begin{aligned} 3\,(x+2) &= 3x + (3)\,(2) \\ &= 3x + 6 \end{aligned}$$

خاصيتا الجمع والطرح للمتكافئات إذا تساوت كميتان وأضيف العدد نفسه أو طرح العدد نفسه من كليهما، فإن الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

مثال: حل المعادلة $x - 3 = 7$ *مستعملًا خاصية الجمع*

$$\begin{aligned} x - 3 &= 7 \\ x - 3 + 3 &= 7 + 3 \\ x &= 10 \end{aligned}$$

مثال: حل المعادلة $t + 2 = -5$ مستعملًا خاصية الطرح

$$\begin{aligned} t + 2 &= -5 \\ t + 2 - 2 &= -5 - 2 \\ t &= -7 \end{aligned}$$

خاصيتا الضرب والقسمة للمتكافئات إذا ضربت أو قسمت كميتين متساويتين في/ على العدد نفسه، فستكون الكميات الناتجة متساوية أيضًا.

$$a\,c = b\,c$$

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c}, \text{ for } c \neq 0$$

مثال: حل المعادلة $\frac{1}{4}a = 3$ مستعملًا خاصية الضرب

$$\begin{aligned} \tfrac{1}{4}a &= 3 \\ (\tfrac{1}{4}a)\,(4) &= 3\,(4) \\ a &= 12 \end{aligned}$$

مثال: حل المعادلة $6\,n = 18$ مستخدمًا خاصية القسمة

$$6\,n = 18$$
$$\frac{6n}{6} = \frac{18}{6}$$
$$n = 3$$

مثال: حل المعادلة $2\,t + 8 = 5\,t - 4$ بالنسبة إلى المتغير t

$$2\,t + 8 = 5\,t - 4$$
$$8 + 4 = 5\,t - 2\,t$$
$$12 = 3\,t$$
$$4 = t$$

فصل المتغير Isolating aVariable

افترض معادلة تتضمن أكثر من متغير، لفصل المتغير – أيْ لحل المعادلة بالنسبة إلى ذلك المتغير – اكتب معادلة ارتباط مكافئة بحيث يتضمن أحد طرفيها المتغير فقط بمعامل يساوي 1.

ارتباط الرياضيات في الفيزياء افصل المتغير P (الضغط) في معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

قسّم طرفي المعادلة على V

$$\frac{PV}{V} = \frac{nRT}{V}$$

جمّع $(\frac{V}{V})$

$$P(\frac{V}{V}) = \frac{nRT}{V}$$

بالتعويض عن $\frac{V}{V} = 1$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

مسائل تدريبية

14. حل المعادلات الآتية بالنسبة إلى المتغير x.

a. $2 + 3\,x = 17$

b. $x - 4 = 2 - 3x$

c. $t - 1 = \frac{x+4}{3}$

d. $a = \frac{b+x}{c}$

e. $6 = \frac{2x+3}{x}$

f. $ax + bx + c = d$

خاصية الجذر التربيعي Square Root Property

إذا كان كل من a و n عددًا حقيقيًّا، $n > 0$ و $a^2 = n$، فإن $a = \pm\sqrt{n}$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء حل المعادلة بالنسبة إلى المتغير v في القانون الثاني لنيوتن لقمر يدور حول الأرض.

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm_E m}{r^2}$$

اضرب طرفي المعادلة كليهما في المتغير r

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{rGm_E m}{r^2}$$

بالتعويض $\frac{r}{r} = 1$

$$mv^2 = \frac{Gm_E m}{r}$$

قسّم طرفي المعادلة على m .

$$\frac{mv^2}{m} = \frac{Gm_E m}{rm}$$

بالتعويض $\frac{m}{m} = 1$

$$v^2 = \frac{Gm_E}{r}$$

ضع الجذر التربيعي على طرفي المعادلة

$$\sqrt{v^2} = \pm\sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

استعمل القيمة الموجبة للسرعة.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$

عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي من المهم الانتباه إلى المتغير الذي ستقوم بحل المعادلة بالنسبة إليه؛ لأننا قمنا بحل المعادلة السابقة بالنسبة إلى السرعة v، لذلك لم يكن من المنطق أن نستعمل القيمة السالبة للجذر التربيعي، وأنت تحتاج أيضًا إلى الأخذ في الحسبان ما إذا كانت القيمة السالبة أو الموجبة ستعطيك الحل الصحيح. فمثلاً عندما تستعمل خاصية الجذر التربيعي لحل المعادلة بالنسبة إلى المتغير t فإن القيمة السالبة تشير إلى الفترة الزمنية قبل بدء الحالة التي تدرسها.

المعادلات التربيعية Quadratic Equations

التعبير العام للمعادلة التربيعية $ax^2 + bx + c = 0$ ، حيث $a \neq 0$، وتتضمن المعادلة التربيعية متغيرًا واحدًا مرفوعًا للقوة (الأس) 2 بالإضافة إلى المتغير نفسه مرفوعًا للأس 1 . كما يمكن تقدير حلول المعادلة التربيعية بالتمثيل البياني باستعمال الآلة الحاسبة الراسمة بيانيًا. إذا كانت $b = 0$ فإن الحد x غير موجود في المعادلة التربيعية. ويمكن حل المعادلة بفصل المتغير المربع، ثم إيجاد الجذر التربيعي لكل من طرفي المعادلة باستخدام خاصية الجذر التربيعي.

الصيغة التربيعية Quadratic Formula

إن حلول أي معادلة تربيعية يمكن إيجادها باستعمال الصيغة التربيعية، لذلك فإن حلول المعادلة $ax^2 + bx + c = 0$، حيث $a \neq 0$، تعطى بالمعادلة التالية:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

وكما في حالة خاصية الجذر التربيعي، من المهم الأخذ في الحسبان ما إذا كانت حلول الصيغة التربيعية تعطيك الحل الصحيح للمسألة التي بصدد حلّها. فعادةً يُمكنك إهمال أحد الحلول لأنه حل غير حقيقي. تتطلب حركة المقذوف غالبًا استعمال الصيغة التربيعية عند حل المعادلة، لذلك حافظ على واقعية الحل في ذهنك عند حل المعادلة.

مسائل تدريبية

15. حل المعادلات الآتية بالنسبة إلى المتغير x.

a. $4x^2 - 19 = 17$

b. $12 - 3x^2 = -9$

c. $x^2 - 2x - 24 = 0$

d. $24x^2 - 14x - 6 = 0$

حسابات الوحدات Dimensional Calculations

عند إجراء الحسابات عليك أن ترفق وحدة كل قياس مكتوبة في الحسابات، وجميع العمليات التي تتم في صورة أعداد تُجرى أيضًا مرفقة بوحداتها.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء إن معادلة تسارع الجاذبية الأرضية a يعطى بالمعادلة $a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$. فإذا سقط جسم سقوطًا حرًّا على القمر مسافة 20.5 m خلال 5.00 s فأوجد التسارع a على سطح القمر.

يقاس التسارع بوحدة m/s^2.

$$a = \frac{2\Delta x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{2(20.5\ m)}{(5.00\ s)^2}$$

العدد 2 عدد دقيق، لذلك لن يؤثر في حساب الأرقام المعنوية

احسب وقرّب حتى ثلاثة أرقام معنوية

$$a = \frac{1.64\ m}{s^2}$$ مثل

أو مثل $a = 1.64\ m/s^2$

تحويل الوحدة استعمل معامل التحويل للتحويل من وحدة قياس إلى وحدة قياس أخرى من النوع نفسه، من وحدة الدقائق مثلاً إلى وحدة الثواني، وهذا يكافئ عملية الضرب في العدد 1 .

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء أوجد Δx عندما $v_0 = 67\ m/s$ و $\Delta t = 5.0\ min$. استخدم المعادلة $\Delta x = v_0 \Delta t$.

$$\frac{60\ s}{1\ min} = 1$$

$$\Delta x = v_0 \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{67\ m}{s}\left(\frac{5.0\ min}{1}\right)\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$$

اضرب في معامل التحويل $\left(\frac{60\ s}{1\ min}\right)$

احسب ثم قرّب إلى رقمين معنويين. إن العددين 60 s و 1 min مضبوطان ودقيقان، لذلك لن يؤثرا في حساب الأرقام المعنوية.

$$\Delta x = 20100\ m = 2.0 \times 10^4\ m$$

مسائل تدريبية

16. بسّط المعادلة $\Delta t = \frac{4.0\times10^{2}\ \text{m}}{16\ \text{m/s}}$

17. احسب السرعة المتجهة لقطعة قرميد ساقطة بعد مضي 5.0 s ، استعمل $a = -9.80\ \text{m/s}^2$ و $v = a\,\Delta t$.

18. أوجد حاصل ضرب الحدود: $\left(\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}\right)\left(\frac{60\ \text{min}}{1\text{h}}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right)\left(\frac{32\ \text{cm}}{1\text{s}}\right)$

19. في سجلّ الألعاب الأولمبية تم قطع المسافة 100.00 m خلال 9.87 s. ما السرعة بوحدة الكيلومترات لكل ساعة؟

تحليل الوحدات Dimensional Analysis

يعدّ تحليل الوحدات طريقة لتنفيذ العمليات الجبرية باستعمال الوحدات، وغالبًا ما يستعمل لاختبار صحة وحدات النتيجة النهائية وصحة المعادلة المستعملة، من دون إعادة تنفيذ الحسابات بصورة كاملة.

مثال فيزيائي تحقق من أن الإجابة النهائية للمعادلة $d_f = d_i + v_i t + \frac{1}{2}\,at^2$ وحدتها m.

d_i تقاس بوحدة m

t تقاس بوحدة s

v_i تقاس بوحدة m/s

a تقاس بوحدة m/s^2

بالتعويض عن وحدات كل متغير

$$d_f = \text{m} + \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)(\text{s}) + \frac{1}{2}\left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)(\text{s})^2$$

بسّط الكسور مستعملًا الخاصية التوزيعية

$$= \text{m} + (\text{m})\left(\frac{\text{s}}{\text{s}}\right) + \frac{1}{2}\,(\text{m})\left(\frac{\text{s}^2}{\text{s}^2}\right)$$

بالتعويض $\text{s}/\text{s} = 1$، $\text{s}^2/\text{s}^2 = 1$

$$= \text{m} + (\text{m})(1) + \frac{1}{2}\,(\text{m})(1)$$

جميع الحدود أعطت الوحدة m لذلك فإن d_f بوحدة m

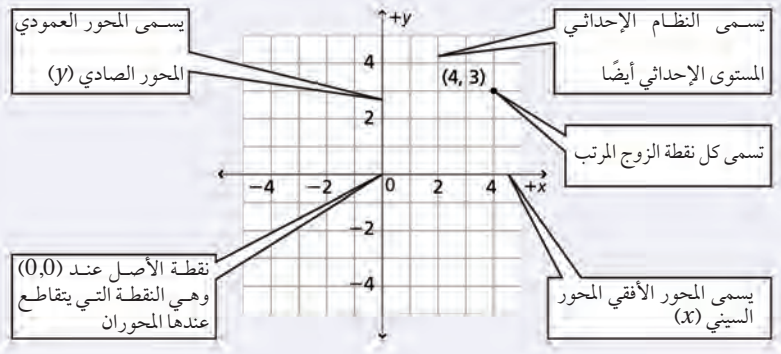
$$= \text{m} + \text{m} + \frac{1}{2}\,\text{m}$$

لا يطبّق المعامل $\frac{1}{2}$ في المعادلة أعلاه بالنسبة إلى الوحدات، ويطبّق فقط لأي من القيم العددية التي يتم تعويضها بدلاً من المتغيرات لحل المعادلة. ومن السهل إزالة المعاملات الرقمية مثل الرقم $\frac{1}{2}$ عندما تبدأ بإجراء تحليل الوحدات.

VI. التمثيل البياني للعلاقات Graphs of Relations

المستوى الإحداثي (الديكارتي) The Coordinate Plane

تعين النقاط بالنسبة إلى خطين مدرّجين متعامدين يطلق على كل منهما اسم المحور، ويسمى خط الأعداد الأفقي المحور السيني (x). أما خط الأعداد العمودي فيسمى المحور الصادي (y). ويمثل المحور السيني عادة المتغير المستقل (العامل الذي يُغيَّر أو يُعدَّل خلال التجربة)، فيما يمثل المحور العمودي المتغير التابع (العامل الذي يعتمد على المتغير المستقل)، بحيث تُمثّل النقطة بإحداثيين (x,y) يسميان أيضًا الزوج المرتب. وتَرد دائمًا قيمة المتغير التابع (x) أولًا في الزوج المرتب الذي يمثل $(0,0)$ نقطة الأصل، وهي النقطة التي يتقاطع عندها المحوران.

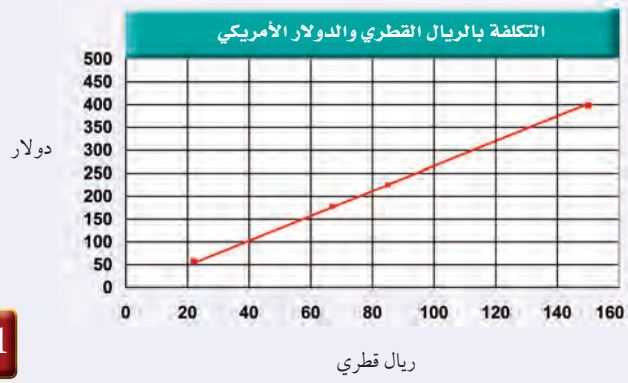


استعمال التمثيل البياني لتحديد العلاقة الرياضية Grahping Data to Determine Relationships

استعمل الخطوات الآتية لعمل رسوم بيانية:

1. ارسم محورين متعامدين.
2. حدّد المتغيرات المستقلة والمتغيرات التابعة، وعيّن محور كل منهما مستعملًا أسماء المتغيرات.
3. عيّن مدى البيانات لكل متغير، لتحديد المقياس المناسب لكل محور، ثم حدّد ورقّم المقاييس.
4. عيّن كل نقطة بيانيًّا.
5. عندما تبدو لك البيانات واقعة على خط مستقيم واحد ارسم الخط الأكثر ملاءمة خلال مجموعة النقاط. وعندما لا تقع النقاط على خط واحد ارسم منحنى بيانيًّا بسيطًا، بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط. وعندما لا يبدو هناك أي ميل لاتجاه معين فلا ترسم خطًّا أو منحنًى.
6. اكتب عنوانًا يصف بوضوح ما يمثله الرسم البياني.

نوع الخدمة	ريال	دولار
الفندق (الإقامة)	1500	398
الوجبات	850	225
الترفيه	670	178
المواصلات	220	58

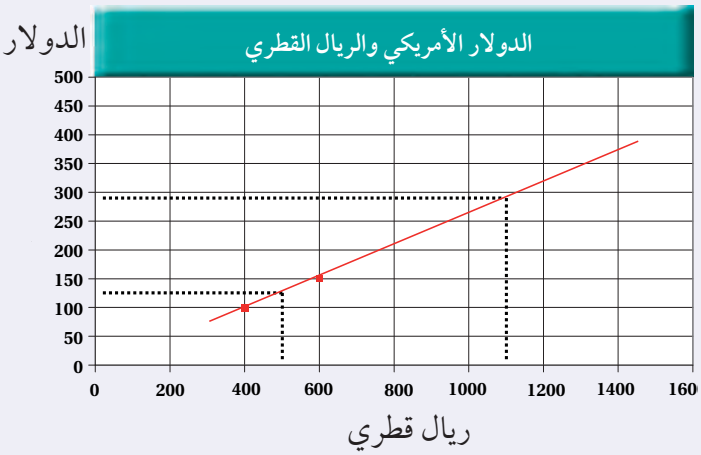


الاستيفاء والاستقراء Interpolating and Extrapolating

تستعمل طريقة الاستيفاء في تقدير قيمة تقع بين قيمتين معلومتين على الخط الممثل لعلاقة ما، في حين أن عملية تقدير قيمة تقع خارج مدى القيم المعلومة تسمى الاستقراء. إن معادلة الخط الممثل لعلاقة ما تساعدك في عمليتي الاستيفاء والاستقراء.

مثال: مستعينًا بالرسم البياني استعمل طريقة الاستيفاء لتقدير القيمة (السّعْر) المقابلة لـ 500 ريال.

حدد نقطتين على كل من جانبي القيمة 500 (400 ريال، 600 ريال)، ثم ارسم خطًّا مستمرًّا يصل بينهما.



ارسم الآن خطًّا متقطعًا عموديًّا من النقطة (500 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المرسوم، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا يصل إلى المحور الرأسي. سوف تجد أنه يتقاطع معه عند القيمة 131 أو 132 دولارًا.

مثال: استعمل الاستقراء لتحديد القيمة المقابلة لـ 1100 ريال.

ارسم خطًّا متقطعًا من النقطة (1100 ريال) على المحور الأفقي حتى يتقاطع مع الخط المستمر الذي رسمته في المثال السابق، ثم ارسم من نقطة التقاطع خطًّا متقطعًا أفقيًّا. ستجد أنه يتقاطع مع المحور الرأسي عند النقطة 290 دولارًا.

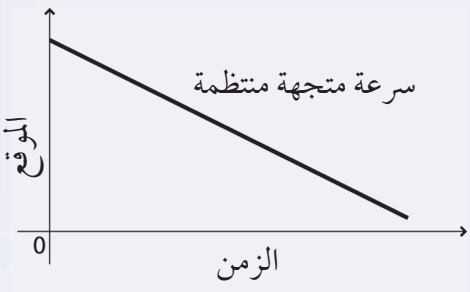
تفسير الرسم البياني الخطي Interpreting Line Graph

يوضح الرسم البياني الخطي العلاقة الخطية بين متغيرين. وهناك نوعان من الرسوم البيانية الخطية التي تصف الحركة تستخدم عادة في الفيزياء.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء

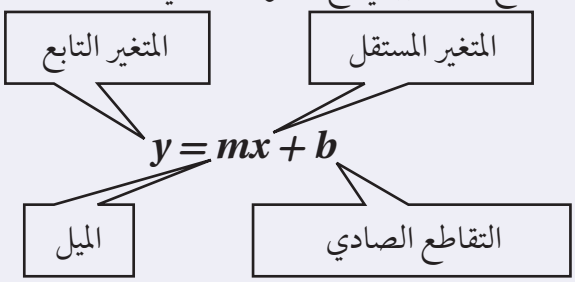
a. يوضح الرسم البياني علاقة خطية متغيرة بين (الموقع – الزمن).

b. يوضح الخط البياني علاقة خطية ثابتة بين متغيرين (الموقع – الزمن)



المعادلة الخطية Linear Equation

يمكن كتابة المعادلة الخطية بالشكل: $y = mx + b$، حيث b و m عددان حقيقيان، و(m) يمثل ميل الخط، و(b) يمثل التقاطع الصادي؛ وهي نقطة تقاطع الخط البياني مع المحور الصادي.



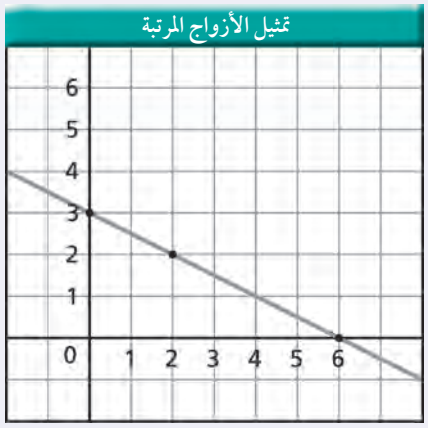
تمثل المعادلة الخطية بخط مستقيم، ولتمثيلها بيانيًّا قم باختيار ثلاث قيم للمتغير المستقل (يلزم نقطتان فقط، والنقطة الثالثة تستخدم لإجراء اختبار). احسب القيم المقابلة للمتغير التابع، ثم عيّن زوجين مرتبين (x, y)، وارسم أفضل خط يمر بجميع النقاط.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة

$$y = -\left(\frac{1}{2}\right)x + 3$$

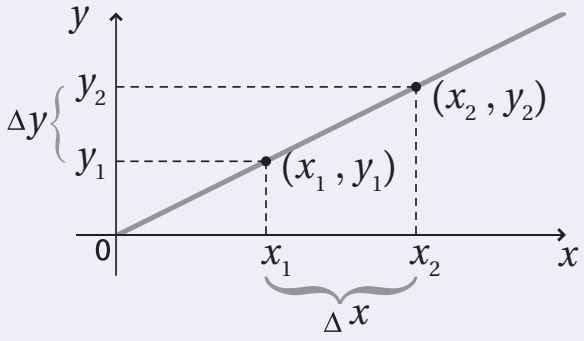
احسب ثلاثة أزواج مرتبة للحصول على نقاط لتعيينها.

الأزواج المرتبة	
x	y
0	3
2	2
6	0



الميل Slope

ميل الخط هو النسبة بين التغير في الإحداثيات الصادية، والتغير في الإحداثيات السينية، أو النسبة بين التغير العمودي (المقابل) والتغير الأفقي (المجاور). وهذا الرقم يخبرك بكيفية انحدار الخط البياني، ويمكن أن يكون رقمًا موجبًا أو سالبًا. ولإيجاد ميل الخط قم باختيار نقطتين (x_1 , y_1) و (x_2 , y_2)، ثم احسب الاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين السينيين $\Delta x = x_2 - x_1$، والاختلاف (الفرق) بين الإحداثيين الصاديين $\Delta y = (y_2 - y_1)$، ثم أوجد النسبة بين Δy و Δx .



$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

التغير الطردي Direct variation

إذا احتوت المعادلة على ثابتٍ غير صفري m، بحيث كانت $y = mx$، فإن y تتغير طرديًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يزداد أيضًا، ويقال عندئذٍ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا طرديًّا. وهذه معادلة خطية على الصورة $y = mx + b$، حيث قيمة b صفر، ويمر الخط البياني من خلال نقطة الأصل $(0,0)$.

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة القوة المعيدة (المُرجعة) للنابض المثالي $\boldsymbol{F = -kx}$، حيث $\boldsymbol{F}$ القوة المُرجعة و k ثابت النابض و x استطالة النابض، تتغير القوة المرجعة للنابض طرديًّا مع تغير استطالته؛ ولذلك تزداد القوة المرجعة عندما تزداد استطالة النابض.

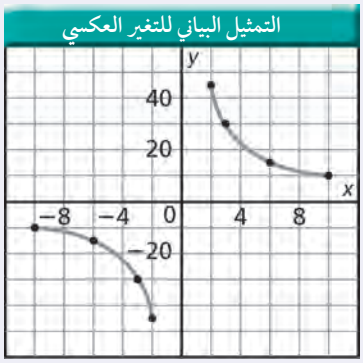
التغير العكسي Inverse Variation

إذا احتوت المعادلة على ثابت غير صفري m، بحيث كانت $y=m/x$، فإن y تتغير عكسيًّا بتغير x؛ وهذا يعني أنه عندما يزداد المتغير المستقل x فإن المتغير التابع y يتناقص، ويقال عندئذ إن المتغيرين x و y يتناسبان تناسبًا عكسيًّا. وهذه ليست معادلة خطية؛ لأنها تشتمل على حاصل ضرب متغيرين، والتمثيل البياني لعلاقة التناسب العكسي عبارة عن قطع زائد. ويمكن كتابة هذه العلاقة على الشكل:

$$xy = m$$
$$y = m \frac{1}{x}$$
$$y = \frac{m}{x}$$

مثال: مثِّل المعادلة $xy = 90$ بيانيًّا.

الأزواج المرتبة	
x	y
-10	-9
-6	-15
-3	-30
-2	-45
2	45
3	30
6	15
10	9



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء في معادلة سرعة الموجة $\lambda = \frac{v}{f}$؛ حيث λ الطول الموجي، و f التردد، و v سرعة الموجة، نجد أن الطول الموجي يتناسب عكسيًّا مع التردد؛ وهذا يعني أنه كلما ازداد تردد الموجة تناقص الطول الموجي، أما v فتبقى قيمتها ثابتة.

التمثيل البياني للمعادلة التربيعية Quadratic Graph

الصيغة العامة للعلاقة التربيعية هي:

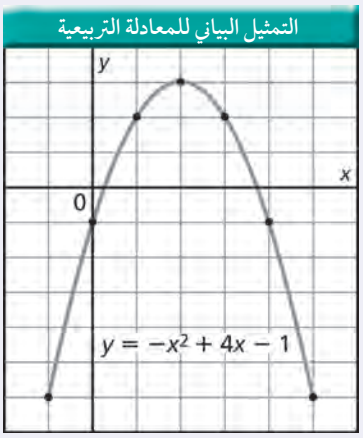
$$y = ax^2 + bx + c$$

حيث $a \neq 0$

التمثيل البياني للعلاقة التربيعية يكون في صورة قطع مكافئ، ويعتمد اتجاه فتحة هذا القطع على معامل مربع المتغير المستقل (a)، إذا كان موجبًا أو سالبًا.

مثال: مثّل بيانيًّا المعادلة $y = -x^2 + 4x - 1$.

الأزواج المرتبة	
x	y
−1	−6
0	−1
1	2
2	3
3	2
4	−1
5	−6



ارتباط الرياضيات مع الفيزياء عندما يكون منحنى (الموقع – الزمن) على شكل المنحنى البياني للمعادلة التربيعية فهذا يعني أن الجسم يتحرك بتسارع منتظم.

الأزواج المرتبة	
الزمن (s)	الموقع (m)
1	3
2	6
3	11
4	18

VIII. علم الهندسة والمثلثات (Geometry and Trigonometry)

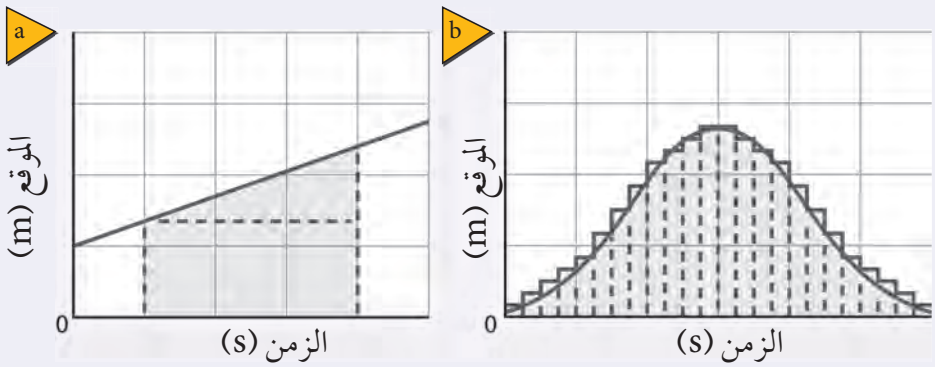
المحيط (Perimeter)، والمساحة (Area)، والحجم (Volume)

	المحيط وحدات خطية	المساحة وحدات مربعة	مساحة السطح وحدات مربعة	الحجم وحدات مكعبة
المربع الضلع a	$P = 4a$	$A = a^2$		
المستطيل الطول l العرض w	$P = 2l + 2w$	$A = lw$		
المثلث القاعدة b الارتفاع h		$A = (\frac{1}{2})\, bh$		
المكعب الضلع a			$SA = 6a^2$	$V = a^3$
الدائرة نصف القطر r	$C = 2\pi r$	$A = \pi r^2$		
الأسطوانة نصف القطر r الارتفاع h			$SA = 2\pi rh + 2\pi r^2$	$V = \pi r^2 h$
الكرة نصف القطر r			$SA = 4\pi r^2$	$V = (\frac{4}{3})\pi r^3$

ارتباط الرياضيات مع الفيزياء ابحث في مسائل الفيزياء التي درستها عن أشكال هندسية يمكن أن تكون ثلاثية الأبعاد أو ذات بعدين. يمكن أن تمثل الأشكال ذات البعدين السرعة المتجهة أو متجهات الموقع.

المساحة تحت المنحنى البياني Area Under a Graph

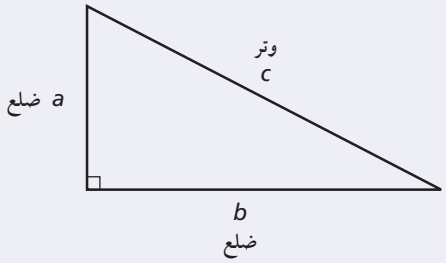
لحساب المساحة التقريبية الواقعة تحت المنحنى البياني، قسِّم المساحة إلى عدة أجزاء أصغر، ثم أوجد مساحة كل جزء مستعملًا الصيغ الرياضية في الجدول السابق. لإيجاد المساحة التقريبية الواقعة تحت الخط البياني، قسم المساحة إلى مستطيل ومثلث، كما هو موضح في الشكل a. ولإيجاد المساحة تحت المنحنى ارسم عدة مستطيلات من المحور السيني كما في الشكل b. إن رسم مستطيلات أكثر ذات قاعدة أصغر تمنحنا دقة أكثر في حساب المساحة المطلوبة.



المساحة الإجمالية تساوي
المساحة1 + المساحة 2 + المساحة 3 + ...

المساحة الإجمالية تساوي:
مساحة المستطيل + مساحة المثلث

المثلثات القائمة Right Triangles

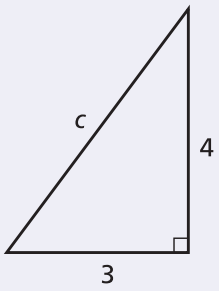


تنص نظرية فيثاغورس على أنه إذا كان b و a يمثلان قياسي ضلعي المثلث القائم الزاوية وكانت c تمثل قياس الوتر فإن $c^2 = a^2 + b^2$

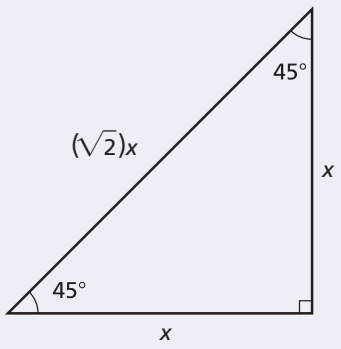
ولحساب طول الوتر استعمل خاصية الجذر التربيعي. ولأن المسافة موجبة فإن القيمة السالبة للمسافة ليس لها معنى.

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

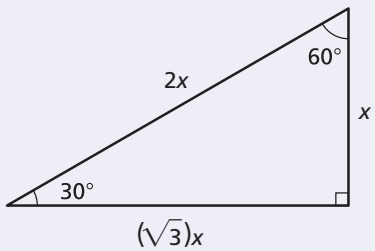
مثال: احسب طول الوتر c في المثلث حيث $a = 4$ cm و $b = 3$ cm



$$\begin{aligned} c &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ &= \sqrt{(4\text{ cm})^2 + (3\text{ cm})^2} \\ &= \sqrt{16\text{ cm}^2 + 9\text{ cm}^2} \\ &= \sqrt{25\text{ cm}^2} \\ &= 5\text{ cm} \end{aligned}$$



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 45°، 45°، 90° فإن طول الوتر يساوي $\sqrt{2}$ مضروبًا في طول ضلع المثلث.



إذا كان قياس زوايا المثلث القائم الزاوية 90°، 60°، 30° فإن طول الوتر يساوي ضعف طول الضلع الأصغر، وطول الضلع الأطول يساوي $\sqrt{3}$ مضروبًا في طول الضلع الأصغر.

النسب المثلثية Trigonometric Ratios

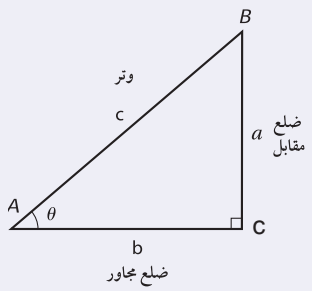
النسب المثلثية عبارة عن نسب أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية. والنسب المثلثية الأكثر شيوعًا هي الجيب $\sin\theta$، والجتا $\cos\theta$ والظل $\tan\theta$. ولاختصار هذه النسب تعلم الاختصارات التالية SOH–CAH–TOA. حيث ترمز SOH إلى جيب، مقابل، الوتر، في حين ترمز CAH إلى جيب تمام، مجاور، الوتر. أما TOA فترمز إلى ظل تمام، مقابل، المجاور.

التعابير	مساعدة الذاكرة	الرموز
يشير الـ sin إلى نسبة المقابل للزاوية إلى طول الوتر	$\sin\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$	$\sin\theta = \frac{a}{c}$
يشير الـ cos إلى نسبة طول الضلع المجاور للزاوية إلى طول الوتر.	$\cos\theta = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$	$\cos\theta = \frac{b}{c}$
يشير الـ tan إلى نسبة طول الضلع المقابل للزاوية إلى طول الضلع المجاور للزاوية	$\tan\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$	$\tan\theta = \frac{a}{b}$

مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC. إذا كانت $a = 3\text{ cm}$ ، $b = 4\text{ cm}$ ، $c = 5\text{ cm}$ ، فأوجد كلًّا من $\cos\theta$ و $\sin\theta$

$$\sin\theta = \frac{3\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.6$$

$$\cos\theta = \frac{4\text{ cm}}{5\text{ cm}} = 0.8$$



مثال: في المثلث القائم الزاوية ABC، إذا كانت $\theta = 30.0^\circ$ ، $c = 20.0\text{ cm}$، فأوجد a و b.

$$\sin 30.0^\circ = \frac{a}{20.0\text{ cm}} \qquad \cos 30.0^\circ = \frac{b}{20.0\text{ cm}}$$

$$a = (20.0\text{ cm})(\sin 30.0^\circ) = 10.0\text{ cm}$$

$$b = (20.0\text{ cm})(\cos 30.0^\circ) = 17.3\text{ cm}$$

قانون جيب التمام وقانون الجيب Law of Cosines and Law of Sines

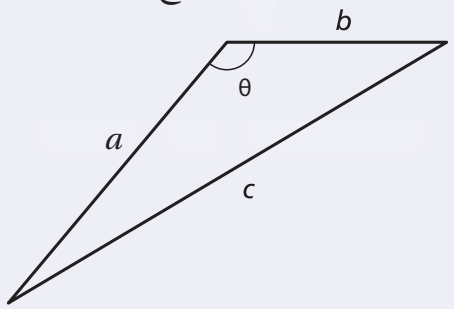
يمنحك قانونا جيب التمام والجيب القدرة على حساب أطوال الأضلاع والزوايا في أي مثلث.

قانون جيب التمام يشبه قانون جيب التمام نظرية فيثاغورس ما عدا الحد الأخير. وتمثل θ الزاوية المقابلة للضلع c. فإذا كان قياس الزاوية $\theta = 90^\circ$ فإن جتا $\theta = 0$ والحد الأخير يساوي صفرًا.

وإذا كان قياس الزاوية θ أكبر من 90° فإن جتا θ يُصبح عبارة عن رقم سالب.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

مثال: احسب طول الضلع الثالث للمثلث، إذا كان $a = 10.0\text{ cm}$ ، $b = 12.0\text{ cm}$ ، $\theta = 110.0°$.



$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(10.0\text{ cm})^2 + (12.0\text{ cm})^2 - 2(10.0\text{ cm})(12.0\text{ cm})(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= \sqrt{1.00\times10^2\text{ cm}^2 + 144\text{ cm}^2 - (2.40\times10^2\text{ cm}^2)(\cos 110.0^\circ)}$$

$$= 18.1\text{ cm}$$

قانون الجيب عبارة عن معادلة مكوّنة من ثلاثة نسب؛ حيث c، b، a الأضلاع المقابلة للزوايا C، B، A بالترتيب.

استعمل قانون الجيب عندما يكون قياس زاويتين وأي من الأضلاع الثلاثة للمثلث معلومة.

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

مثال: في المثلث ABC إذا كان $C = 60.0°$ ، $a = 4.0\text{ cm}$، $c = 4.6\text{ cm}$، فاحسب قياس الزاوية A.

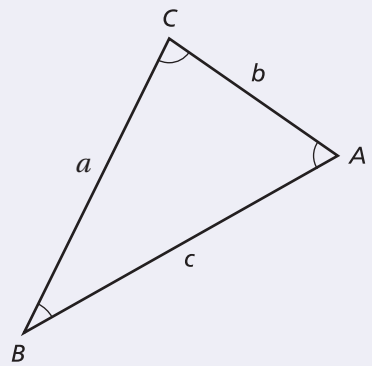
$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\sin A = \frac{a\sin C}{c}$$

$$= \frac{(4.0\text{ cm})(\sin 60.0^\circ)}{4.6\text{ cm}}$$

$$= 0.75$$

$$A = 49°$$



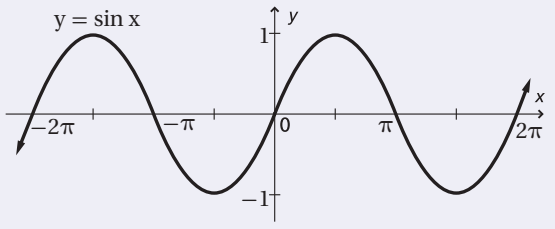
معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل Inverses of Sine, Cosine, and Tangent

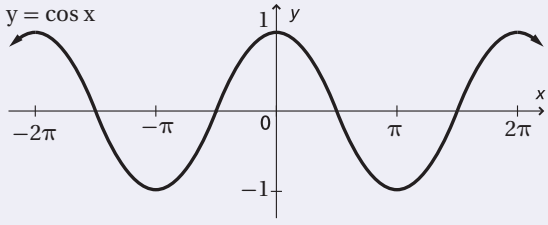
إن معكوس كل من الجيب، وجيب التمام، وظل التمام يمنحك القدرة على عكس اقترانات الجيب وجيب التمام وظل التمام، ومن ثم إيجاد قياس الزاوية. والاقترانات المثلثية ومعكوسها على النحو الآتي:

الاقتران المثلثي	المعكوس
$y = \sin x$	$x = \sin^{-1} y$ أو معكوس $x = \sin y$
$y = \cos x$	$x = \cos^{-1} y$ أو معكوس $x = \cos y$
$y = \tan x$	$x = \tan^{-1} y$ أو معكوس $x = \tan y$

التمثيل البياني للاقترانات المثلثية Graphs of Trigonometric Functions

إن كلًّا من اقتران الجيب، $y = \sin x$ و اقتران جيب التمام، $y = \cos x$ هي اقترانات دورية. والزمن الدوري لكل اقتران يساوي 2π، وتكون قيمة x أي عدد حقيقي، أما قيمة y فتكون أي عدد حقيقي بين -1 و 1.





تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	1kg = 6.02×10^{26} u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	1ev = 1.60×10^{-19} J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kWh = 3.60 MJ
1 m^3 = 264 gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	1atm = 1.01×10^5 N/m^2	1 mol= 6.022×10^{23}

البادئات		
البادئة	الرمز	التعبير العلمي
femto	f	10^{-15}
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}
dica	da	10^{1}
hecto	h	10^{2}
kilo	k	10^{3}
mega	M	10^{6}
giga	G	10^{9}
tera	T	10^{12}
peta	P	10^{15}

الجداول

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joule	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء (4°C)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (°C)	درجة الغليان (°C)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

السعة الحرارية النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار وحرارة التبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	حرارة الانصهار (J/kg)	حرارة التبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^{5}	5.07×10^{6}
ذهب	6.30×10^{4}	1.64×10^{6}
حديد	2.66×10^{5}	6.29×10^{6}
رصاص	2.04×10^{4}	8.64×10^{5}
زئبق	1.15×10^{4}	2.72×10^{5}
ميثانول	1.09×10^{5}	8.78×10^{5}
فضة	1.04×10^{5}	2.36×10^{6}
ماء (جليد)	3.34×10^{5}	2.26×10^{6}

المصطلحات

أ

الإشارة الإلكترونية
Electronic signal
كميـة تتغير مع الزمن، وتنقل نوعًا مـن المعلومات. وفي مجال الإلكترونيات تكون هذه الكمية هي الجهد الكهربائي (وإن لم تكن كذلك فتكون هي التيار الكهربائي عادة).

الإشارة التماثلية
Analogue signal
الإمكانيـات أو الاحتماليـات اللانهائيـة لكميـة تتغيـر مع الزمـن، وفي مجال الإلكترونيـات تكون هذه الكميـة هي الجهد الكهربائـي (وإن لم تكن كذلك فتكون هي التيار الكهربائي عادة).

الإشارة الرقمية
Digital signal
قيـم منفصلـة أو مفردة أو محدودة لكميـة تتغيّر مع الزمن، وهـذا يعني وجود مجموعـة محدودة مـن القيم التي يمكن أن تكون، وفـي مجال الإلكترونيات تكون هذه الكمية هي الجهد الكهربائي (وإن لم تكن كذلك فتكون هي التيار الكهربائي عادة).

أشباه الموصلات
Semiconductors
مـواد صُلبـة، مقاومتها لمـرور الشـحنات الكهربائيـة خلالها تقع بيـن المواد الموصلـة والمـواد العازلـة، ويتم التحكـم في موصليتهـا الكهربائيـة بإضافة عناصـر معينـة إليهـا كشـوائب، وعندما تُصنـع منها القطـع الإلكترونيـة فإنها تعمـل على تضخيم الإشـارات الكهربائية الضعيفة جـدًّا وضبطها، من خلال حركـة الإلكترونـات داخل منطقـة بلورية صغيـرة، ومن أمثلتها: السـليكون، الجرمانيوم.

أشباه الموصلات النقية
Intrinsic semiconductors
أشباه موصلات توصل نتيجة لتحرير الإلكترونات والفجوات حراريًّا.

أشباه الموصلات غير النقية (المعالَجة)
Extrinsic semiconductors
أشباه موصلات يكون توصيلها جيّدًا؛ لاحتوائها على شوائب.

الأوم
Ohm
يعـرّف الأوم (1 Ω) بأنـه مقاومـة موصل يمرّ فيه تيار شـدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V.

ب

البوابة المنطقية
Logic gate
دائـرة منطقيـة تَدخل الإشـارات إليها من مَدخـل واحد أو أكثـر، ويكون لهذه الدائرة مَخرج واحد فقط، وتعدّ البوابة المنطقية وِحدة البناء الأساسية في الدوائر الإلكترونية الرقمية.

المصطلحات

ت

الترانزستور
Transistor
أداة بسيطة، ويُصنع من مادة شبه موصلة معالَجة بالشوائب، ويعمل مضخِّمًا، ومقوِّيًا للإشارات الضعيفة.

تيار كهربائي متردد
Alternating current (AC)
تيار يتغير مقداره واتجاه سريانه دوريًّا.

تيار كهربائي مستمر
Direct current (DC)
تيار ثابت الاتجاه، وقد يكون مقداره ثابتًا أو متغيرًا؛ اعتمادًا على المصدر الذي ولّده.

ج

الجول
joule (J)
وحدة قياس الطاقة.

د

دائرة التوازي
Parallel circuit
دائرة تحتوي على مسارات متعددة للتيار الكهربائي، ويكون فرق الجهد متساوٍ في جميع هذه المسارات.

دائرة التوالي
Series circuit
دائرة يتم توصيل أجزائها في مسار واحد، بحيث يمرّ التيار نفسه في كلِّ جزء من أجزائها.

دائرة القصْر
Short circuit
دائرة كهربائية مقاومتها الكلية صغيرة جدًّا؛ مما يجعل التيار المارّ فيها كبيرًا جدًّا.

الدايود
Diode
شبه موصل بسيط، يوصل الشحنات في اتجاه واحد، ويتكون من قطعة صغيرة من أشباه الموصلات من النوع p، موصولة بقطعة أخرى من النوع n.

الدايود الضوئي
Photodiode
دايود يعمل عن طريق سقوط الضوء على الحاجز الفاصل بين طبقتيه (منطقة التقاء P مع N)، ويُستعمل في دوائر التحكم التي تعمل بالضوء، ويستخدم أيضًا في تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية كما في الخلايا الشمسية.

الدايود المشعّ للضوء
Light emitting diode (LED)
دايود يبعث الضوء عندما يكون منحازًا أماميًّا، ويُصنع من مزيج الجاليوم والألومنيوم مع الزرنيخ والفسفور.

المصطلحات

ر

الرقاقة الميكروية	Microchip	دوائر متكاملة تتكوّن من آلاف الترانزستورات والدايودات والمقاومات والموصلات.

ش

شدة التيار الكهربائي	Electric current intesity	المعدل الزمني لتدفق الشحنات الكهربائية في مقطع الموصل.
الشغل	Work	ناتج ضرب القوة F المؤثرة في جسم في المسافة d التي يتحركها الجسم في اتجاه القوة؛ $W = Fd$.
الشوائب	Dopants	ذرات مانحة أو مستقبِلة للإلكترونات بتراكيز قليلة تضاف إلى أشباه الموصلات النقية، فتعمل على زيادة موصليتها؛ وذلك بتوفير إلكترونات أو فجوات إضافية.

ط

طبقة النضوب	Depletion layer	منطقة تحيط بالطبقة الفاصلة pn، ولا يوجد فيها فجوات أو إلكترونات حرة، فتنضب (تقِلّ) فيها ناقلات الشحنة، وتصبح موصلاً ضعيفًا جدًّا.

ف

فرق الجهد الكهربائي	Electric potential difference	الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بسرعة ثابتة بين نقطتين في مجال كهربائي مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

ق

قانون أوم	Ohm›s law	شدة التيار الكهربائي المار في موصل تتناسب طرديًّا مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة حرارته.
القدرة	Power	المعدل الزمني لتحوّل الطاقة من شكل إلى آخر، وهي تساوي شدة التيار الكهربائي مضروبة في فرق الجهد، وتُقاس بوحدة W.

المصطلحات

القوة الدافعة الكهربائية
Electromotive force
هي مقدار الشغل الذي يبذله مصدر القدرة (البطارية) في نقل وحدة الشحنات الموجبة من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل المصدر، ومن القطب الموجب إلى القطب السالب خارج المصدر، ويرمز لها بالرمز $\mathcal{E}$. ويمكن تعريفها أيضًا بأنها تساوي الطاقة التي يعطيها مصدر القدرة لكل شحنة مقدارها $+1\ C$ تمر عبره.

م

مجزِّئ الجهد
Potential divider
دائرة توال، تُستخدم لإنتاج مصدر جهد بالمقدار المطلوب من بطارية ذات جهد كبير، ويُستخدم مجزِّئ الجهد عادة بوصفه مجسًّا حساسًا كما في المقاومات الضوئية.

المقاوِم الحراري (الثرمستور)
Thermistor
قطعة إلكترونية مصنوعة من مواد شبه موصلة، وتعتمد مقاومته بدرجة كبيرة على درجة الحرارة.

المقاوِم الضوئي
Light dependent resistor (LDR)
أداة مصنوعة من مواد شبه موصلة، ومنها: السليكون، أو السيلينيوم، أو كبريتيد الكادميوم، أو كبريتيد الرصاص، ويمتاز المقاوم الضوئي بتغيُّر مقاومته الكهربائية وفقًا لكمية الضوء الساقطة عليه.

المقاومة المكافئة
Equivellent resistance (Req)
المقاومة التي تحلّ محلّ عدة مقاومات موصولة معًا، ويكون تأثيرها في الدائرة هو نفس تأثير هذه المقاومات مجتمعة.

المقاومية (المقاومة النوعية)
Resistivity
مقاومة موصل طوله $1\ m$ ومساحة مقطعه $1\ m^2$، وتقاس بوحدة $\Omega.m$.

مقياس الجول
joulemeter
جهاز لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال مدة معيّنة.

المكثِّف
Capacitor
العنصر المسؤول عن تخزين الطاقة الكهربائية في الدوائر الكهربائية، ويتكون من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة.

المواد العازلة
Insulators
مواد تتميز بمقاومة كبيرة لمرور الشحنات الكهربائية خلالها، ومن أمثلتها: الخشب، البلاستيك.

المواد الفائقة الموصلية
Superconductors
المواد التي تُصبح مقاومتها صفرًا عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا.

المصطلحات

المواد الموصلة	**Conductors**	المـواد التـي تحوي عددًا كبـيرًا من الشـحنات الكهربائية الحرة الحركـة أكثر من غيرها من المواد، ومن أمثلتها: الفلزات.
الموصلية	**Conductivity**	مقياس لسـماحية الموصـل بمرور التيـار الكهربائـي خلاله، وتسـاوي مقلوب المقاوميـة، ويرمـز لهـا بالرمـز σ، ووحـدة قياسـها هـي مقلـوب وحـدة قياس المقاومية؛ أي $(\Omega.m)^{-1}$.

ن

نظرية الأحزمة	**Band theory**	نظريـة تفسِّر آليات التوصيل الكهربائي في معظم المواد الصلبة، وكذلك التباين في الموصلية الكهربائية لهذه المواد.

و

الواط	**watt**	قدرة آلة أو جهاز تحوِّل طاقة مقدارها 1 J خلال ثانية واحدة.

التصويبات

رقم الصفحة	الملاحظة	التعديل

الفيزياء

أعدَّ النسخة العربية : شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمواءمة

د.أحمد محمد رفيع

خلدون سليمان المصاروه

زهير يوسف حداد

التحرير اللغوي

محمد مصطفى الكشك

أحمد رمضان علي

تصميم الغلاف

أحمد بن محمد الحبيشي

إعداد الصور

متعب بن عبدالعزيز محمد الفراج

أنس بن عبدالعزيز محمد الفراج

منصور بن محمد عبدالله الفنيسان

Original Title

Glencoe Science

PHYSICS

PRINCIPLES AND PROBLEMS

By

Paul W. Zitzewitz

Todd George Elliott

David G. Haase

Kathleen A. Harper

Michael R. Herzog

Jane Bray Nelson

Jim Nelson

Charles A. Schuler

Margaret K. Zorn

مراجعة وتنقيح : لجان وفرق وطنية

الطبعة التجريبية للعام الأكاديمي 1437 هـ - 2016 م

www.edu.gov.qa

www.qatscience.net