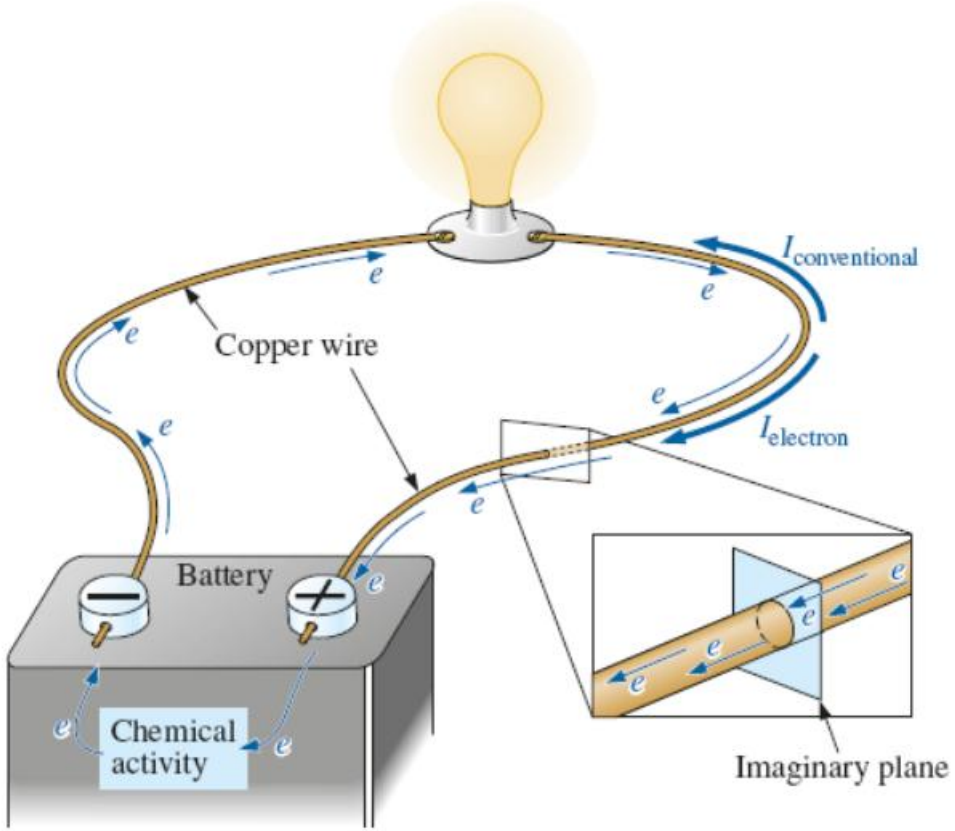
الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الدوائر الكهربائية

الدكتور المهندس عبد القادر عمر الور

الأكاديمية العربية الدولية – منصة أعد

محتويات المحاضرة



- مقدمة
- الوحدات الأساسية
- الشحنة الكهربائية
- التيار الكهربائي
- الجهد والكمون الكهربائي

١ـ أنظمة الوحدات

كمهندسين كهربائيين، فإننا نتعامل مع كميات قابلة للقياس. قياسنا ومع ذلك، يجب أن يتم توصيلها بلغة قياسية يمكن لجميع المهنيين تقريبًا أن يفهموا ذلك، بغض النظر عن البلد حيث يتم إجراء القياس. مثل هذا القياس الدولي اللغة هي النظام الدولي للوحدات SI، الذي اعتمده العالم المؤتمر العام للأوزان والمقاييس عام ١٩٦٠. وفي هذا النظام هناك وحدات رئيسية يمكن استخلاص الكميات منها.

يوضح الجدول ١ الكميات الأساسية و واحدات القياس الخاصة بها

١ـ أنظمة الوحدات

الكمية	الرمز العام	الوحدة SI	الرمز الدال على الوحدة
الطول	L.l	متر	M
الكتلة	M.m	كيلوغرام	Kg
الزمن	T.t	ثانية	S
التيار	I.i	أمبير	A

١ ـ أنظمة الوحدات

الكمية	الرمز العام	الوحدة SI	الرمز الدال على الوحدة
الشحنة الكهربائية	Q.q	كولوم	C
الكمون الكهربائي	V.v	فولط	V
المقاومة	R	أوم	Ω
الناقلية (الموصلية)	σ	سيمنز	S
الحث (التحريض)	L	هنري	H
السعة	C	فاراد	F
التردد	.f	هيرتز	Hz
القوة	F	نيوتن	N
العمل (الشغل)	W	جول	J
القدرة (الاستطاعة)	P	واط	W
الفيض المغناطيسي	Φ	ويبر	Wb
كثافة الفيض المغناطيسي	B	تسلا	T

١ـ أنظمة الوحدات

يوضح الجدول ٢ بادئات SI ورموزها. على سبيل المثال، فيما يلي تعبيرات لنفس المسافة بالأمتار (م):

معامل التصغير أو التكبير	قيمة المعامل	الرمز
Yotta	10^{24}	Y
Zetta	10^{21}	Z
Exa	10^{18}	E
Peta	10^{15}	P
Tera	10^{12}	T
Giga	10^{9}	G
Mega	10^{6}	M
Kilo	10^{3}	K
Hecto	10^{2}	H
Deca	10^{1}	Da

١ـ أنظمة الوحدات

يوضح الجدول ٢ بادئات SI ورموزها. على سبيل المثال، فيما يلي تعبيرات لنفس المسافة بالأمتار (م):

D	10^{-1}	Deci
C	10^{-2}	Centi
M	10^{-3}	Milli
μ	10^{-6}	Micro
N	10^{-9}	Nano
P	10^{-12}	Pico
F	10^{-15}	Femto
A	10^{-18}	Atto
Z	10^{-21}	Zepto
Y	10^{-24}	Yocto

٢ـ الشحنة والتيار

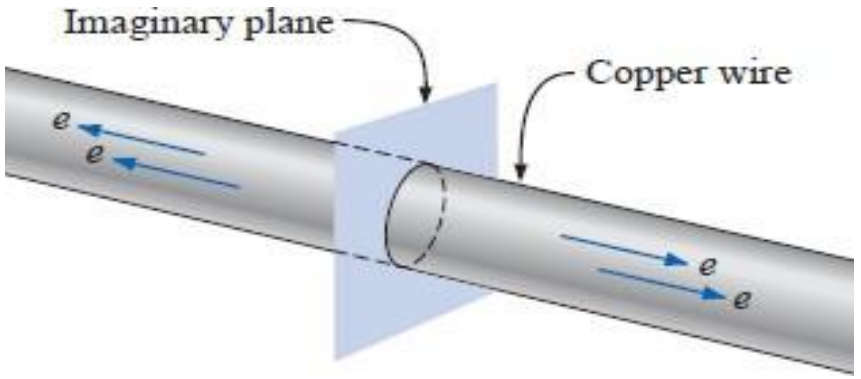
لنفترض أن طولًا قصيرًا من سلك نحاسي مقطوع بمستوى متعامد وهمي، ينتج عنه المقطع العرضي الدائري الموضح في الشكل ١,١.

توجد داخل السلك النحاسي حركة عشوائية للإلكترونات الحرة الناتجة عن الطاقة الحرارية التي تكتسبها الإلكترونات من الوسط المحيط بها

الإلكترون الحر هو حامل الشحنة في سلك نحاسي أو أي موصل صلب آخر للكهرباء

٢ـ الشحنة والتيار

عدد الإلكترونات التي تتحرك نحو اليمين عبر المقطع العرضي الدائري في الشكل ١ يساوي تمامًا عدد الإلكترونات التي تتحرك إلى اليسار.



شكل ١ يبين الحركة العشوائية للإلكترونات في سلك نحاسي بدون تطبيق جهد خارجي

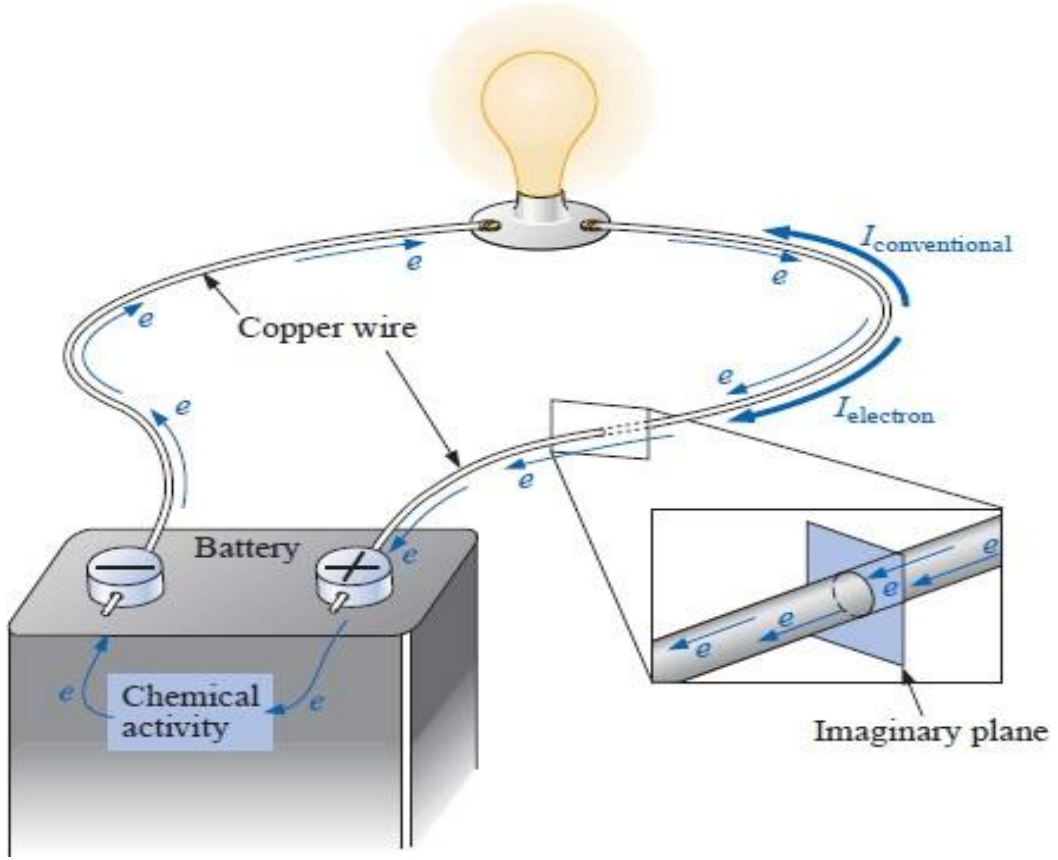
مع عدم وجود قوى خارجية مطبقة ، يكون صافي تدفق الشحنة في موصل في أي اتجاه واحد صفرا.

٢ـ الشحنة والتيار

لنقم الآن بتوصيل سلك نحاسي بين طرفي بطارية ومصباح كهربائي، كما هو موضح في الشكل ٢، لإنشاء أبسط الدوائر الكهربائية.

- تحتوي البطارية شحنة موجبة صافية في أحد طرفيها وشحنة سالبة صافية في الطرف الآخر.
- سوف تتحرك الإلكترونات الحرة (ذات الشحنة السالبة) نحو الطرف الموجب.
- الطرف السالب هو "منبع" الإلكترونات التي ستتحرك في السلك النحاسي نحو الطرف الموجب.

٢ـ الشحنة والتيار



شكل٢ الدائرة الكهربائية الأساسية.

٢ـ الشحنة والتيار

التيار هو المعدل الذي تتدفق به الشحنة عبر المقطع العرضي للموصل.

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

I = amperes (A)
Q = coulombs (C)
t = seconds (s)

نعرف التيار اللحظي / على النحو التالي:

$$I \equiv \frac{dQ}{dt}$$

$$1\ \text{A} = \frac{1\ \text{C}}{1\ \text{s}}$$

وحدة التيار فى النظام الدولى للوحدات هى الأمبير A

أي أن ١ أمبير 1A من التيار يعادل ١ كولوم 1C من الشحنة التي تمر عبر مساحة السطح في ١ ثانية.

٢ـ الشحنة والتيار

مثال الشحنة المتدفقة عبر السطح التخيلي في الشكل ٢ السابق تبلغ ٠,١٦ كولوم كل ٦٤ مللي ثانية.

المطلوب حدد التيار بالأمبير.

الجواب:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0.16\,\text{C}}{64 \times 10^{-3}\text{s}} = \frac{160 \times 10^{-3}\,\text{C}}{64 \times 10^{-3}\,\text{s}} = \mathbf{2.50A}$$

٢ـ الشحنة والتيار

مثال يمكن تعريف وحدة الشحنة، الكولوم C، بأنها مقدار الشحنة التي، عند وضعها على بعد متر واحد من شحنة مساوية ومماثلة في الفراغ، تصدها بقوة مقدارها $1/4\pi\varepsilon$ نيوتن.

حيث $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ C2/N.m2 هي سماحية الفضاء الحر.

- سماحية الفضاء الحر هي ثابت فيزيائي يعكس قدرة المجالات الكهربائية على المرور عبر الفراغ

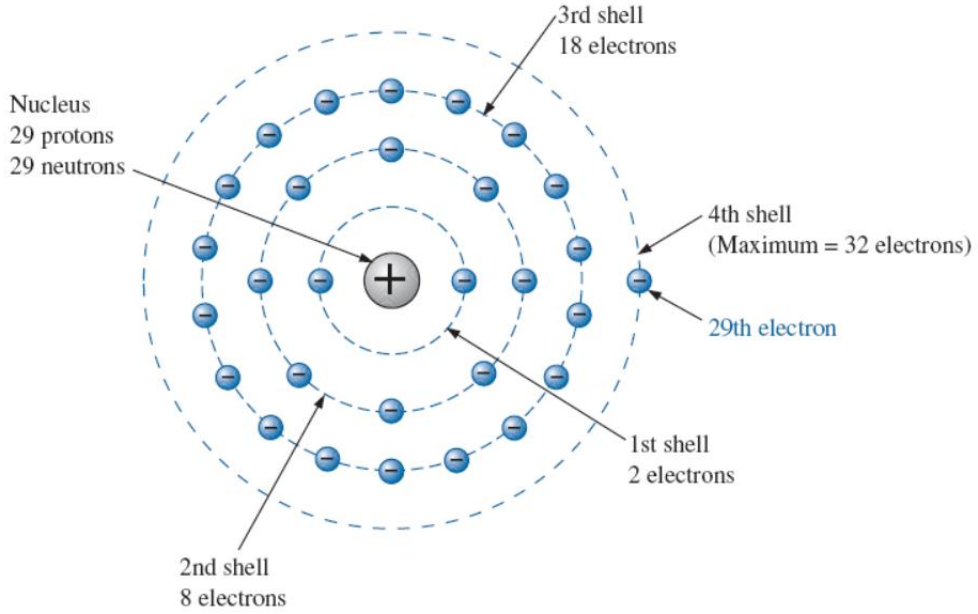
- يمكننا تعريف أجزاء الكولوم هي:

$1\ \mu C = 1\ microcoulomb = 10^{-6}\ coulombs$

$1\ pC = 1\ picocoulomb = 10^{-12}\ coulombs$

٢ـ الشحنة والتيار

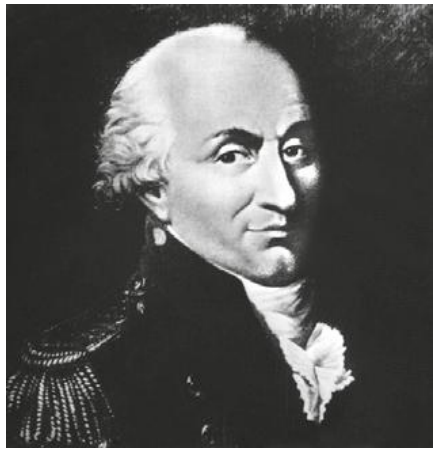
بالعودة إلى أي ذرة وهنا نركز على ذرة النحاس نجد اننها تتكون من بروتونات موجبه والكترونات سالبة والالكترون في المدار الأخير (يدعى الكترون التكافؤ) يميل للفقد بحيث تصبح الذرة مستقرة .



شكل ٣ ذرة النحاس

٢ـ الشحنة والتيار

الشحنة التي يحملها الإلكترون السالب e^-أو البروتون الموجب e^+هي e =
1.602×10^{-19} C(شحنة أولية)



Charles Augustin Coulomb.

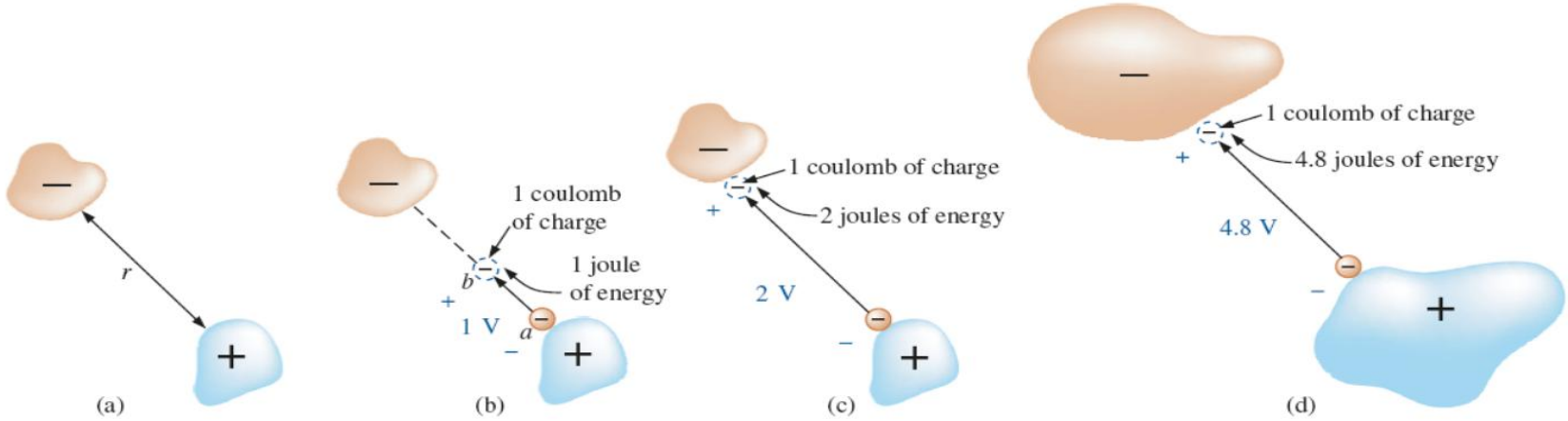
تم **تعريف كولوم (C)** للشحنة على أنه إجمالي الشحنة المرتبطة ب
6.242×10^{18} إلكترونا

$$Q_e = \frac{1}{6.242 \times 10^{18}} \text{C} = 0.1602 \times 10^{-18} \text{ C}$$

٢ـ الشحنة والتيار

في بطارية الشكل ٢، ستقوم العملية الكيميائية بتراكم للشحنات السالبة (الإلكترونات) على طرف واحد (الطرف السالب) والشحنات الموجبة (الأيونات الموجبة) على الطرف الآخر (الطرف الموجب).

إذا تم استخدام إجمالي ١ جول 1 Joule من الطاقة W لتحريك شحنة سالبة قدرها ١ كولوم 1 C، فسيكون هناك فرق قدره ١ فولت 1 V بين النقطتين.



٢- الجهد

باستخدام الرياضيات الجبرية ، يمكننا كتابة

Count Alessandro Volta

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

V = volts (V)

W = joules (J)

Q = coulombs (C)

$$W = QV \quad \text{(joules, J)}$$

$$Q = \frac{W}{V} \quad \text{(coulombs, C)}$$

٢- الجهد

Count Alessandro Volta

كيف يمكننا التمييز ما بين منابع الجهد E وهبوط الجهد على العناصر الكهربائية V :

التمييز بين مصادر الجهد (البطاريات وما شابه) والخسائر في الجهد عبر العناصر المبددة ، سيتم استخدام الترميز التالي:

١. E لمصادر الجهد (فولت)

٢. V لانخفاض الجهد (فولت)

٢- الجهد

يتم توفير التعريفات التالية كوسيلة مساعدة في فهم معنى كل مصطلح:

١. **الكمون Potential:** الجهد عند نقطة بالنسبة إلى نقطة أخرى في النظام الكهربائي. عادة ما تكون النقطة المرجعية هي الأرض ، والتي تكون عند جهد صفري.

٢. **فرق الكمون Potential difference**: الفرق الجبري في الجهد (أو الكمون) بين نقطتين من الشبكة. وهو مصطلح أكثر تحديداً يشير إلى الفرق في الجهد الكهربائي بين نقطتين محددتين في الدائرة، وغالباً ما يركز على تحويل الطاقة الكهربائية في تلك النقاط.

٣. **الجهد Voltage :** هو مصطلح أكثر عمومية يشمل أي حالة يوجد فيها فرق في الجهد الكهربائي، سواء كان عبر مصدر طاقة كامل أو مكونات فردية في الدائرة.

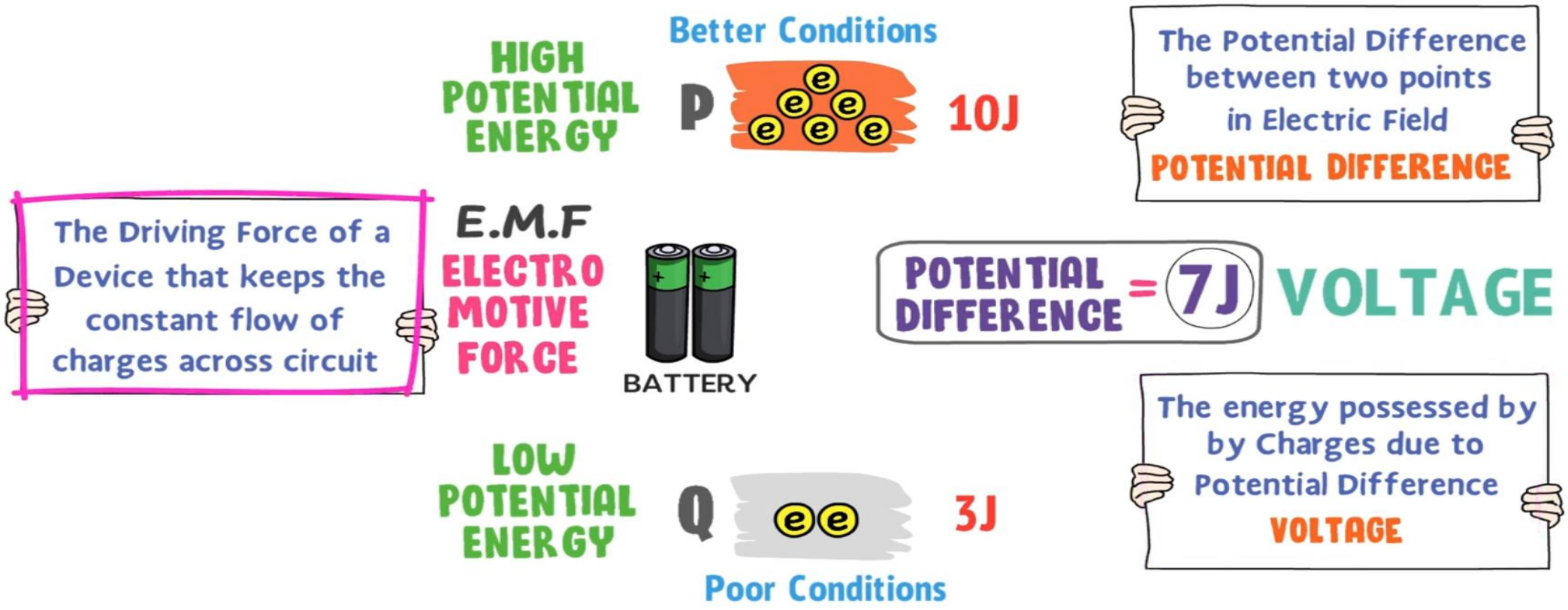
٢- الجهد

يتم توفير التعريفات التالية كوسيلة مساعدة في فهم معنى كل مصطلح:

٤. **القوة الدافعة الكهربائية emf :** القوة التي تحدد تدفق الشحنة (أو التيار) في النظام بسبب تطبيق اختلاف في الجهد. لا يتم تطبيق هذا المصطلح في كثير من الأحيان، ولكنه يرتبط في المقام الأول بمصادر الطاقة.

٢- الجهد

يتم توفير التعريفات التالية كوسيلة مساعدة في فهم معنى كل مصطلح:

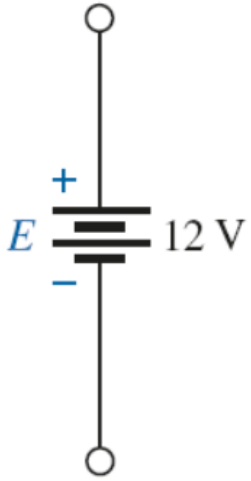


٢- الجهد

مصادر جهد التيار المستمر DC VOLTAGE SOURCES

نظرًا لأن مصدر جهد التيار المستمر هو الأكثر شيوعًا بين مصادر الجهد، فسنقوم بدراسته أولاً.

يظهر الرمز المستخدم لجميع مصادر جهد التيار المستمر في الشكل ٤ تشير الأطوال النسبية للأقطاب الكهربائية إلى النهايات التي تمثلها.



شكل ٤ الرمز القياسي لمصدر جهد التيار المستمر.

يمكن تقسيم مصادر جهد التيار المستمر إلى ثلاث فئات عريضة:

١. البطاريات (الفعل الكيميائي)

٢. المولدات (الكهروميكانيكية)

٣. إمدادات الطاقة (مقومات الجهد المتناوب).

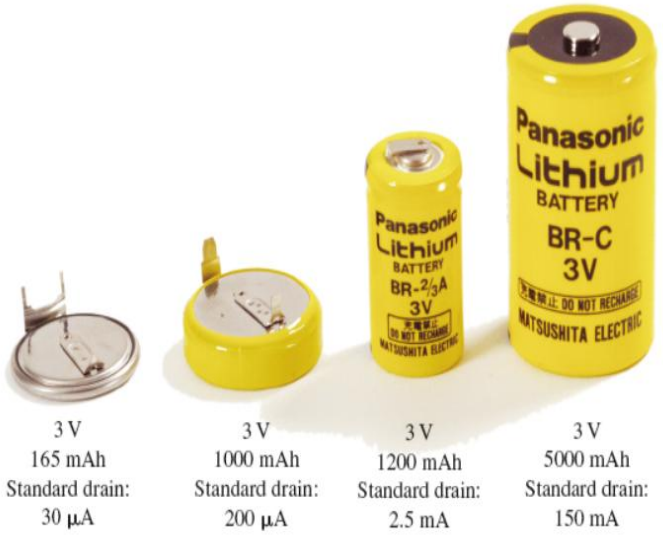
٢ـ الجهد

مصادر جهد التيار المستمر DC VOLTAGE SOURCES

يمكن تقسيم مصادر جهد التيار المستمر إلى ثلاث فئات عريضة:

١ـ البطاريات (الفعل الكيميائي)

شكل ٥ الخلايا الأولية القلوية
Alkaline primary cells



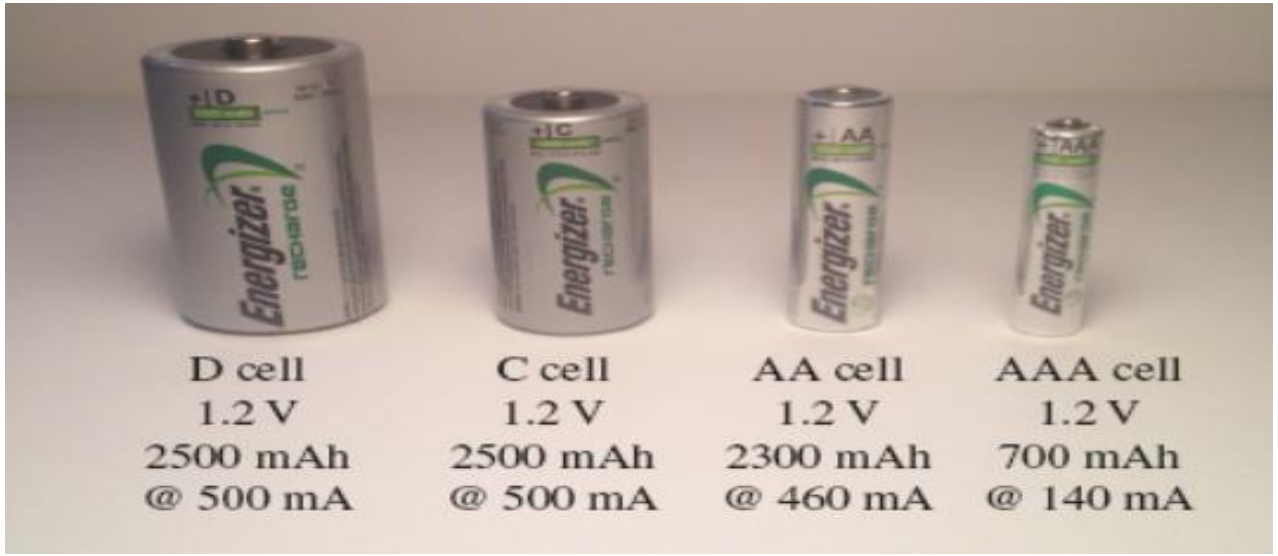
شكل ٦ بطاريات الليثيوم الأولية
Lithium primary batteries

٢ـ الجهد

مصادر جهد التيار المستمر DC VOLTAGE SOURCES

يمكن تقسيم مصادر جهد التيار المستمر إلى ثلاث فئات عريضة:

١ـ البطاريات (الفعل الكيميائي)



شكل ٧ بطاريات النيكل-هيدريد المعدن (NiMH) القابلة لإعادة الشحن
Nickel–metal hydride (NiMH) rechargeable batteries

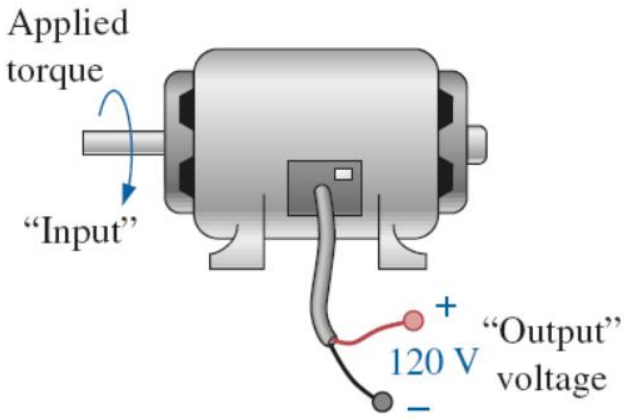
٢ـ الجهد

مصادر جهد التيار المستمر DC VOLTAGE SOURCES

يمكن تقسيم مصادر جهد التيار المستمر إلى ثلاث فئات عريضة:

٢ـ المولدات (الكهروميكانيكية)

يختلف مولد التيار المستمر تمامًا عن البطارية، سواء من حيث البناء (الشكل ٨) أو من حيث طريقة التشغيل. عندما يدور عمود المولد بسرعة لوحة الاسم بسبب عزم الدوران المطبق لبعض المصادر الخارجية للطاقة الميكانيكية، يظهر جهد ذو قيمة مقدرة عبر الأطراف الخارجية. عادةً ما تكون إمكانات الجهد الطرفي وقدرات التعامل مع الطاقة لمولد التيار المستمر أعلى من تلك الخاصة بمعظم البطاريات، ويتم تحديد عمره فقط من خلال بنائه. عادةً ما يكون لمولدات التيار المستمر المستخدمة تجاريًا جهد خرج يبلغ ١٢٠ فولت أو ٢٤٠ فولت. ولأغراض هذا النص، يتم استخدام نفس الرموز للبطارية والمولد



شكل ٨ مولد DC

٢ - الجهد

مصادر جهد التيار المستمر DC VOLTAGE SOURCES

يمكن تقسيم مصادر جهد التيار المستمر إلى ثلاث فئات عريضة:

٣ - إمدادات الطاقة (مقومات الجهد المتناوب).

يستخدم مصدر التيار المستمر الذي يتم مواجهته بشكل متكرر في المختبر عمليات التقويم rectification والفلترة filtering كوسيلة للحصول على جهد مستمر ثابت .

يتم تحويل الجهد المتناوب بمرور الوقت (مثل جهد التيار المتردد المتوفر من منفذ منزلي) إلى جهد ثابت الحجم. يظهر الشكل ٩ مزود طاقة في المختبر من نوع التيار المستمر

شكل ٩ مزود طاقة تيار مستمر

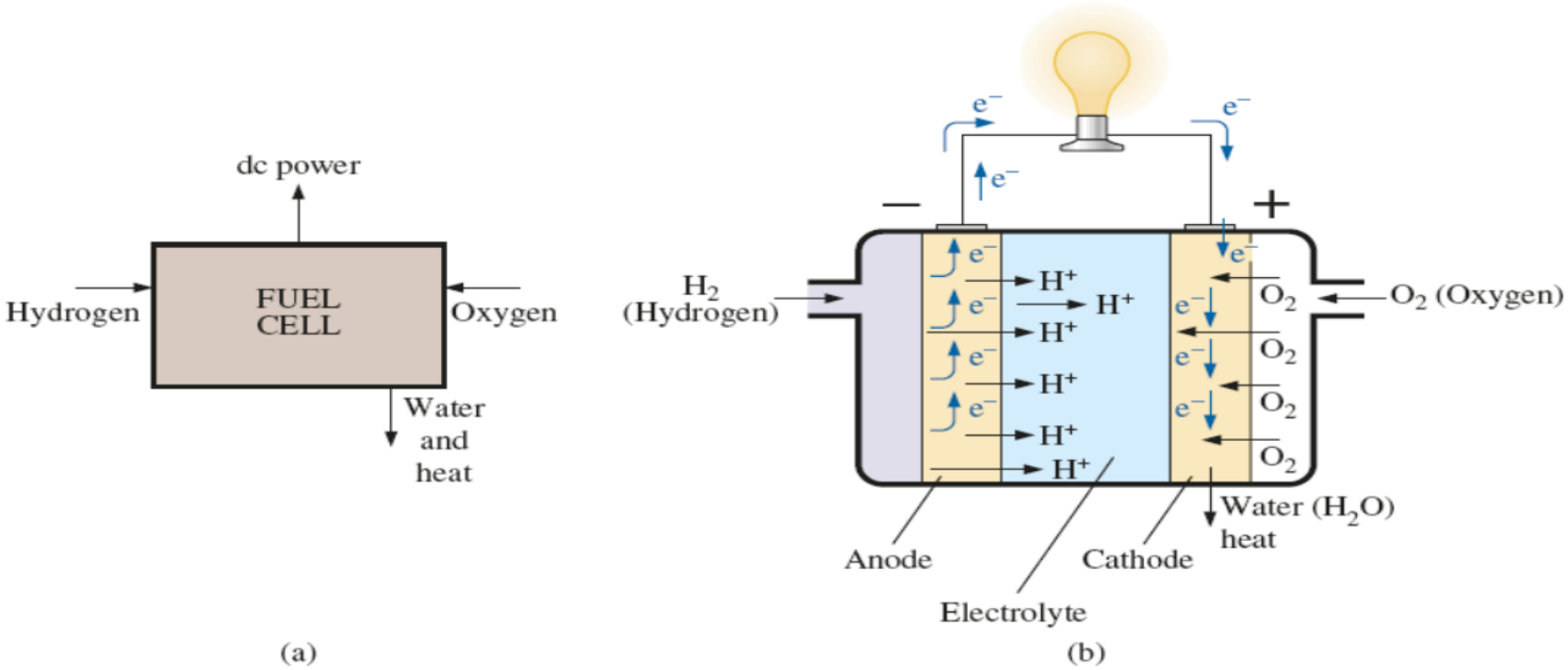
٢- الجهد

مصادر جهد التيار المستمر الحديثة (خلايا الوقود) Fuel Cells

- ✓ **خلايا الوقود:** مصدر بديل للطاقة يزداد الاهتمام به.
- ✓ **التطبيقات**: تستخدم في محطات الطاقة الصغيرة، وسائل النقل مثل الحافلات، وأيضًا في الأجهزة المحمولة مثل مكوك الفضاء.
- ✓ **البحث والتطوير:** يتم استثمار مبالغ كبيرة لتصميم مركبات تعمل بخلايا الوقود بأسعار معقولة.
- ✓ **الكفاءة**: تعمل بكفاءة تتراوح بين ٧٠% و٨٠% مقارنةً بـ٢٠% إلى ٢٥% في محركات الاحتراق الداخلي الحالية.
- ✓ **الفوائد**: قلة الأجزاء المتحركة - إنتاج ضئيل أو معدوم من التلوث - ضوضاء منخفضة جدًا - استخدام وقود مثل الهيدروجين والأكسجين المتوفرين بسهولة

٢- الجهد

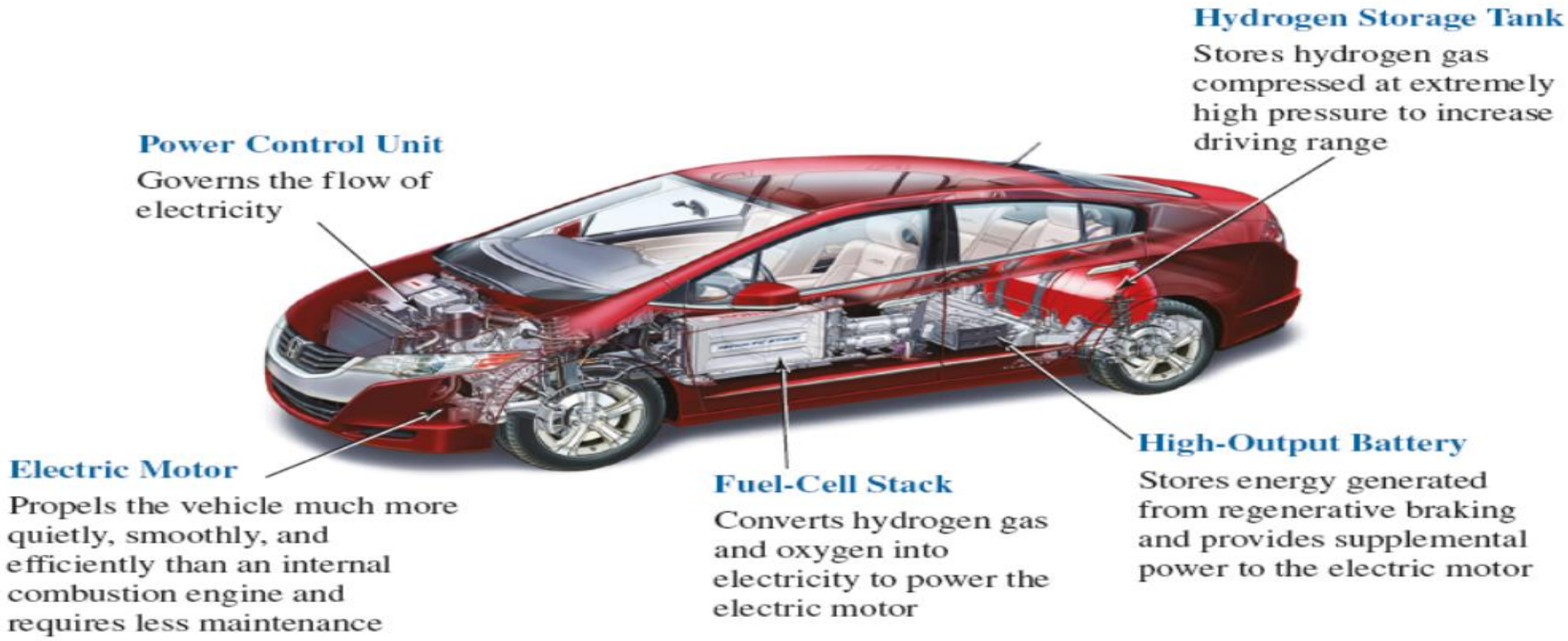
مصادر جهد التيار المستمر الحديثة (خلايا الوقود) Fuel Cells



شكل ١٠ : خلية الوقود (أ) مخطط كتلة وظيفية (ب) البناء الأساسي.

٢- الجهد

مصادر جهد التيار المستمر الحديثة (خلايا الوقود) Fuel Cells



شكل ١٠ : سيارة هوندا FCX Clarity التي تعمل بخلايا الوقود

٢- الجهد

حسابات أمبير ساعة

يوفر تصنيف أمبير ساعة (Ah) إشارة إلى المدة التي ستتمكن فيها بطارية ذات جهد ثابت من توفير تيار معين.

ستوفر البطارية ذات تصنيف أمبير ساعة ١٠٠ نظريًا تيارًا قدره ١ أمبير لمدة ١٠٠ ساعة، أو ١٠ أمبير لمدة ١٠ ساعات، أو ١٠٠ أمبير لمدة ساعة واحدة. ومن الواضح أنه كلما زاد التيار، كلما قصر الوقت. معادلة تحديد المدة الزمنية التي ستزود فيها البطارية بتيار معين هي كما يلي:

$$\text{Life (hours)} = \frac{\text{ampere-hour (Ah) rating}}{\text{amperes drawn (A)}}$$

٢- الجهد

حسابات أمبير ساعة

مثال ١ : ما المدة التي ستوفر فيها بطارية الترانزستور ٩ V مع معدل أمبير ساعة قدره ٥٢٠ مللي أمبير في الساعة تيارًا قدره ٢٠ مللي أمبير؟

$$\text{Life} = \frac{520\ \text{mAh}}{20\ \text{mA}} = \frac{520}{20}\ \text{h} = \mathbf{26\ h}$$

مثال ٢ : ما هي المدة التي يمكن أن توفرها بطارية مصباح يدوي جهدها ١,٥ V تيارًا مقداره ٢٥٠ mA إضاءة المصباح إذا كان معدل أمبير الساعة هو ١٦ Ah؟

$$\text{Life} = \frac{16\ \text{Ah}}{250\ \text{mA}} = \frac{16}{250 \times 10^{-3}}\ \text{h} = \mathbf{64\ h}$$

٢- الجهد

حسابات أمبير ساعة

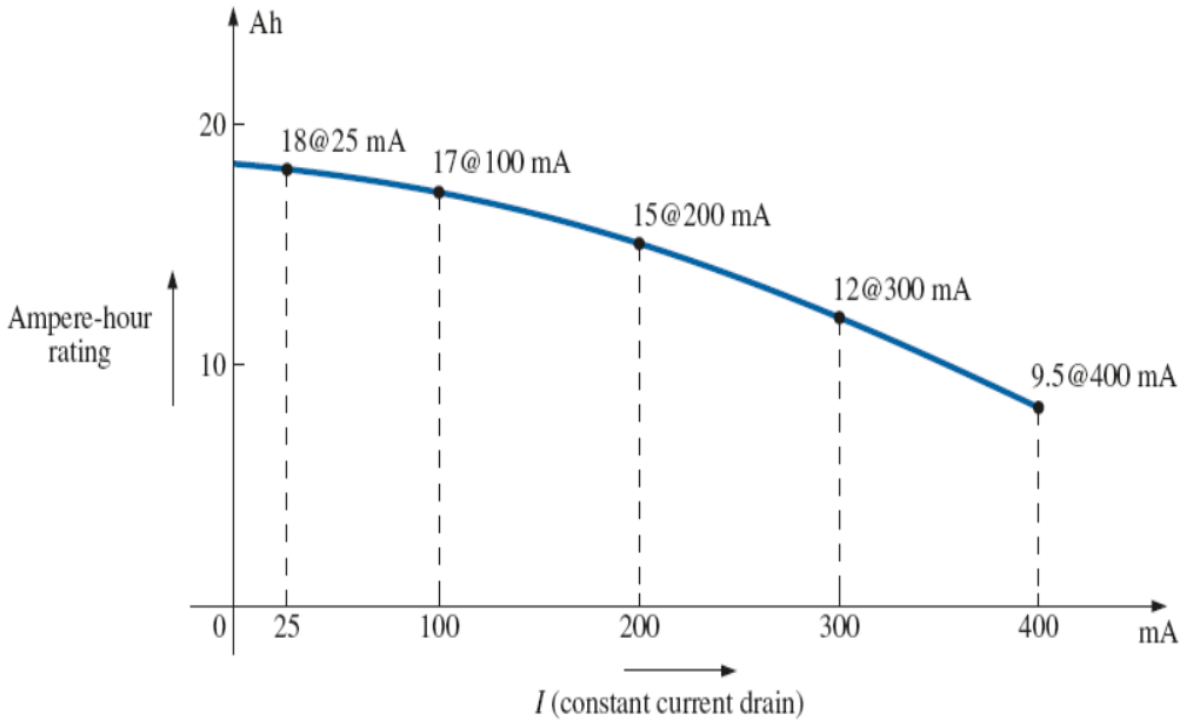
تأثير تغير الطلب على التيار على سعة البطارية

السعة والتغير في التيار: تتغير سعة البطارية (بالأمبير-ساعة) بتغير الطلب على التيار. على الرغم من أن المعادلة حساب الامبير ساعة تعطي فكرة عن مدة تزويد البطارية بتيار معين، يجب مراعاة عوامل تؤثر على تصنيف الأمبير-ساعة.

٢- الجهد

حسابات أمبير ساعة

تأثير زيادة الطلب: كما هو الحال في معظم الأنظمة، بما في ذلك جسم الإنسان، كلما زاد الطلب، قلّت مدة القدرة على الحفاظ على مستوى الإخراج. يظهر هذا بوضوح في منحنيات الشكل ١١ لبطارية إيفريدي إنرجايزر D، حيث انخفض تصنيف الأمبير-ساعة من حوالي ١٨ Ah عند ٢٥ mA إلى حوالي ١٢ Ah عند ٣٠٠ mA

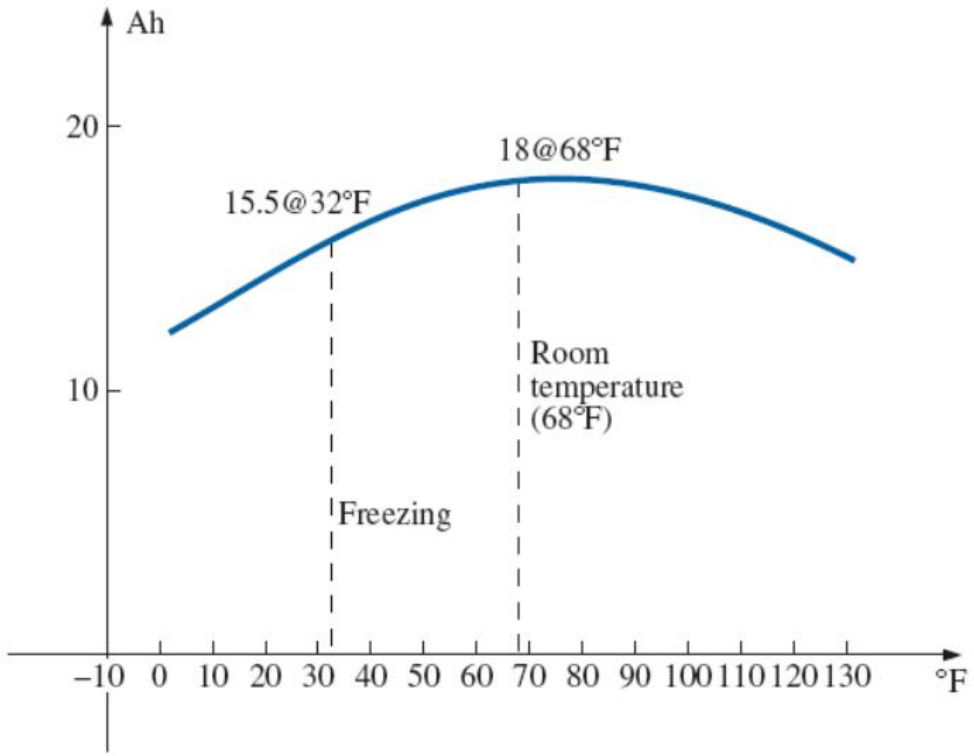


شكل ١١ : تصنيف أمبير ساعة (السعة) مقابل تيار التفريغ لخلية Energizer® D.

٢- الجهد

حسابات أمبير ساعة

تأثير درجة الحرارة : عامل آخر يؤثر على تصنيف الأمبير-ساعة هو درجة حرارة الوحدة والوسط المحيط. يظهر الشكل ١٢ أن سعة نفس البطارية تصل إلى قيمة قصوى عند درجة حرارة الغرفة (٦٨° F) تنخفض السعة في درجات الحرارة الباردة جداً والساخنة جداً. لذا، يتم تحديد تصنيف الأمبير-ساعة عند أو بالقرب من درجة حرارة الغرفة لتحقيق قيمة قصوى، ولكنه ينخفض مع الزيادة أو النقصان في درجة الحرارة.



شكل ١٢ : تصنيف أمبير ساعة (السعة) مقابل درجة الحرارة لخلية Energizer® D.

٢- الجهد

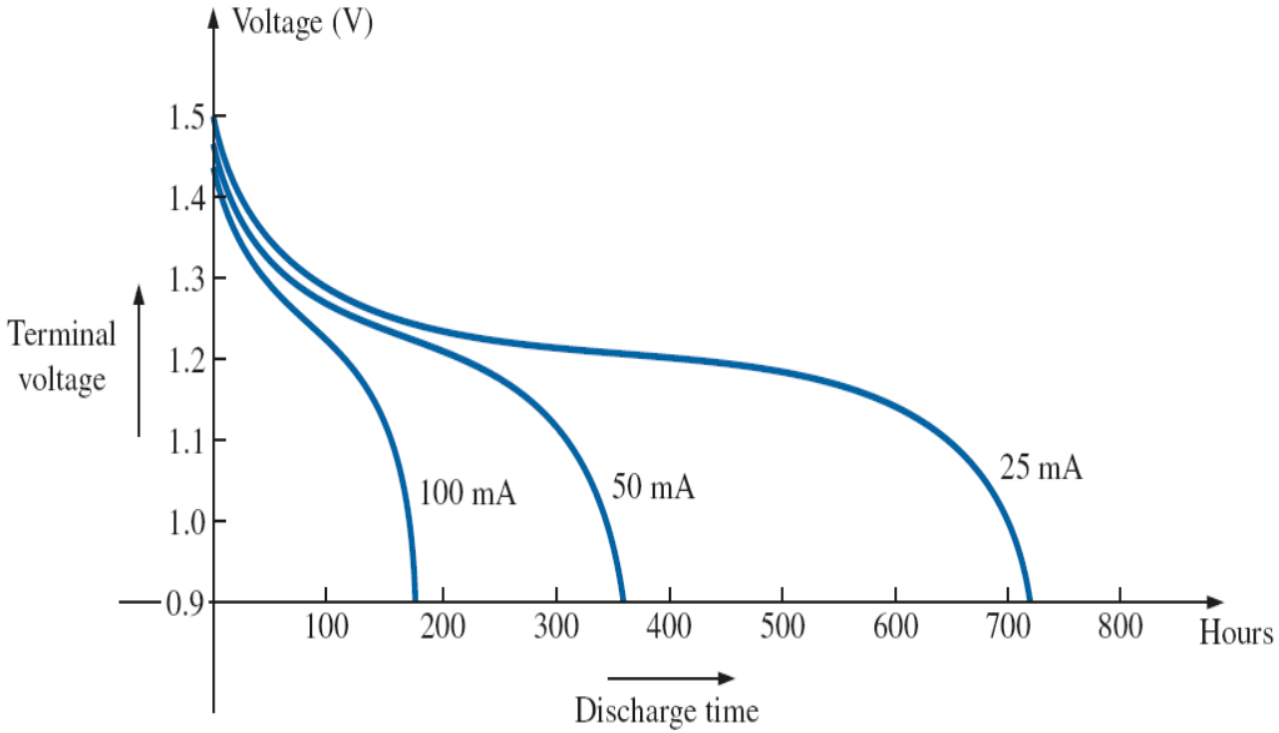
حسابات أمبير ساعة

تأثيرات الطقس البارد: معظمنا يلاحظ أن البطارية في السيارة، الراديو، الهواتف المحمولة، والمصابيح الكهربائية تبدو أقل قوة في الطقس البارد، مما يشير إلى انخفاض السعة في هذه الظروف.

٢- الجهد

حسابات أمبير ساعة

عامل مهم آخر يؤثر على أداء البطارية هو المدة التي يُطلب فيها منها توفير جهد معين بتيار مستمر. تظهر المنحنيات في الشكل ١٣ أن الجهد عند طرف البطارية ينخفض مع زيادة المدة الزمنية للتصريف. كلما كان التصريف الحالي أقل، زادت المدة التي يمكن للبطارية فيها توفير التيار المطلوب. على سبيل المثال، عندما كان التصريف ١٠٠ مللي أمبير، كانت البطارية محدودة إلى حوالي ١٠٠ ساعة بالقرب من الجهد المقيَّم، ولكن عند ٢٥ مللي أمبير، لم ينخفض الجهد دون ١,٢ فولت إلا بعد مرور حوالي ٥٠٠ ساعة. هذا زيادة في الوقت بنسبة ١:٥، وهو أمر مهم. النتيجة هي أن جهد البطارية سينخفض في النهاية (عند أي مستوى من تصريف التيار) إذا كانت مدة التفريغ المستمر طويلة جدًا.

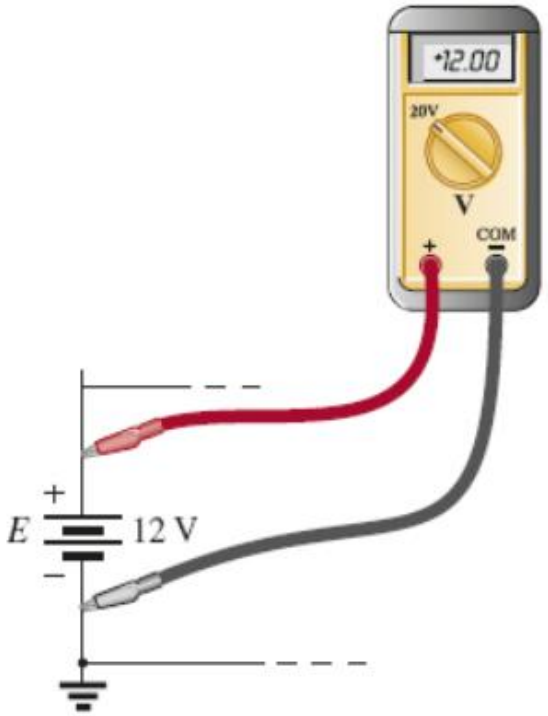


شكل ١٣ : الجهد الطرفي مقابل وقت التفريغ لتيارات تصريف محددة لخلية Energizer® D.

٣- أدوات القياس (الأميتر AMMETERS والفولتميتر VOLTMETERS)

الفولتميتر VOLTMETERS

يمكن قياس الفارق الكهربائي بين نقطتين عن طريق توصيل أطراف الجهاز عبر النقطتين، كما هو موضح في الشكل ١٤. يتم الحصول على قراءة متزايدة عند وضع الطرف الإيجابي للجهاز على النقطة ذات الجهد الأعلى في الشبكة والطرف السالب على النقطة ذات الجهد الأقل. توصيل العكس يؤدي إلى قراءة سالبة أو إشارة أقل من الصفر.

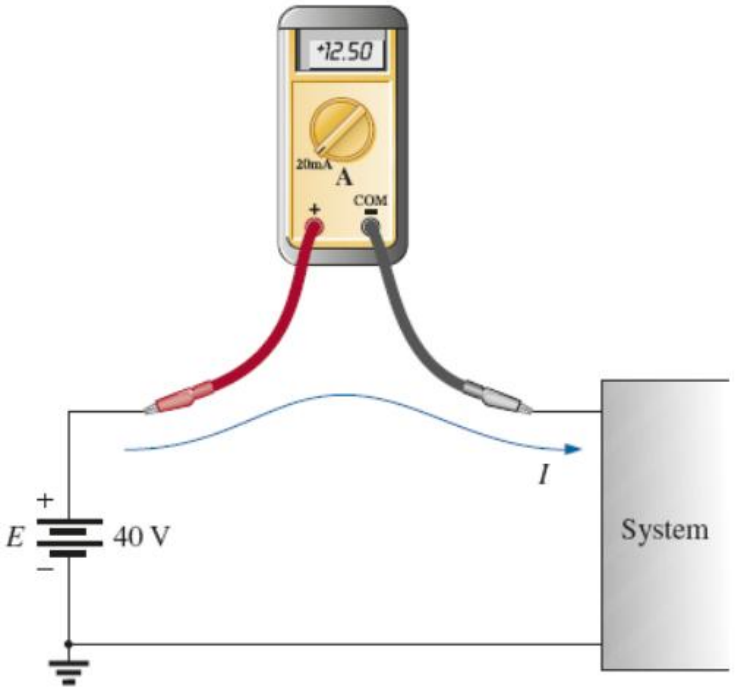


شكل ١٤ وصلة الفولتميتر للحصول على قراءة عالية المستوى (+).

٣- أدوات القياس (الأميتر AMMETERS والفولتميتر VOLTMETERS)

الأميتر AMMETERS

توصيل الأميترات كما هو موضح في الشكل ١٥. حيث أن الأميترات تقيس معدل تدفق الشحنة، يجب وضع الجهاز في الشبكة بحيث تمر الشحنة من خلال الأميتر. الطريقة الوحيدة لتحقيق ذلك هي فتح المسار الذي يجري فيه التيار ووضع الجهاز بين الطرفين الناتجين. في الشكل ١٥، يجب فصل الطرف (+) لمصدر الجهد عن النظام وتركيب الأميتر كما هو موضح. سيتم الحصول على قراءة متزايدة إذا كانت القطبيات على الطرفين للأميتر تسمح بدخول تيار النظام إلى الطرف الإيجابي.



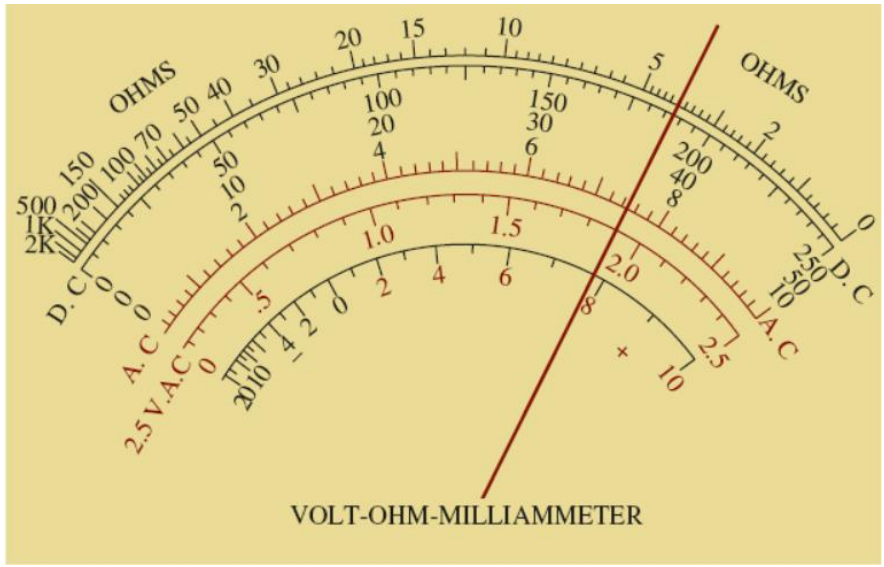
شكل ١٥ وصلة الاميتر للحصول على قراءة عالية المستوى (+).

٣- أدوات القياس (الأميتر AMMETERS والفولتميتر VOLTMETERS)

تتضمن الأدوات المخصصة لقياس مستويات التيار أو الجهد فقط. ومع ذلك، فإن أكثر أجهزة المختبر شيوعًا تشمل متر الفولت والأوم والملي امبير VOM وجهاز قياس الجهد والمقاومة الرقمي DMM، كما هو موضح في الشكلين ١٦ و١٧ على التوالي.

تقيس كلا الأداتان الجهد والتيار ومقدار ثالث، وهو المقاومة. يستخدم VOM مقياسًا تناظريًا، مما يتطلب تفسير موضع المؤشر على مقياس مستمر، بينما يوفر DMM عرضًا للأرقام مع دقة نقطة عشرية يتم تحديدها بواسطة المقياس المختار. يمكن أن يستغرق استخدام المقياس التناظري المستمر بعض التدريب، ولكن لا يزال المقياس التناظري يظهر بشكل شائع لدرجة أن الشخص يجب أن يصبح ماهرًا في قراءة المقياس بشكل صحيح. تجربة المختبر ربما تكون أفضل فرصة لممارسة قراءة مثل هذا المقياس.

٣- أدوات القياس (الأميتر AMMETERS والفولتميتر VOLTMETERS)



شكل ١٦ مقياس تناظري فولت أوم ملي أمبير (VOM)

شكل ١٧ المليمتر الرقمي المتعدد (DMM)