محاضرات مادة الفيزياء /1/

لطلاب السنة الأولى

(ميكاترونيكس – معلوماتية – عمارة)

الأستاذ الدكتور جبُّور نوفل جبُور

2025 - 2024

المحاضرة العاشرة

الكهرباء

(الأمان الكهربائي)

Electric

(Electric Safety)

1- مقدمة – Introduction

2- الدارات المنزلية – Household Circuits

3- الأمن أو الأمان الكهربائي – Electric Safety

4- الأمان في توصيلات الأجهزة الكهربائية – Safety in Electrical Appliance Connections

1- مقدمة – Introduction

سنقوم بالتذكير ببعض المفاهيم الأساسية في الكهرباء التي تم دراستها، بشيء من التفصيل، في المحاضرات السابقة وذلك بهدف استخدامها في الأمن أو الأمان الكهربائي.

2- الكهرباء المُتحركة ومفهوم الدارة الكهربائية:

(آ) التيار الكهربائي:

- إن سبب التيار الكهربائي هو انتقال الإلكترونات في السلك الكهربائي. أُصطلح على أن اتجاه التيار هو الاتجاه المعاكس لانتقال الإلكترونات.
- تُقاس شدة التيار الكهربائي بوحدة الأمبير (A). تُقيس الشدة عدد الإلكترونات التي تدخل في السلك الكهربائي في الثانية.
- تُدعى المواد التي يكون فيها الإلكترونات غير قوية الارتباط بذراتها بالمواد **"الناقلة" (conductor)**. إن المواد الناقلة تسمح بسهولة مرور التيار الكهربائي. نذكر أن الفضة والنحاس هما من أفضل المواد الناقلة. نذكر أيضاً من بين المواد الناقلة الماء، والرصاص... وهناك مواد تُدعى **بالمواد ما فوق الناقلية (superconductor)**.

(ب) الجهد (التوتر) الكهربائي:

- إن الجهد مقدار يتناسب مع الطاقة الكامنة الكهربائية، ويعمل على دوران التيار الكهربائي (تقدم الإلكترونات) في الدارة الكهربائية. يُقاس الجهد الكهربائي بوحدة الفواط (V).
- إن الجهد الذي نحصل عليه (المُقدم من مؤسسة الكهرباء) يساوي $(220V)$ "قيمة فعالة"، وهو جهد متناوب وذو تردد $(50\ Hertz)$.
- إن **الطاقة الكهربائية** تساوي جداء الجهد في الشحنة، أي جداء الجهد في التيار الكهربائي في الزمن المُنقضي.

(ج) المقاومة الكهربائية:

إن المقاومة عبارة عن مفعول "سلبي" للمادة، أي تؤدي إلى إنقاص الجهد محلياً (موضعياً). مثال على ذلك: مصباح متوهج (تتعلق الطاقة المصروفة في المصباح بارتفاع درجة الحرارة وبالأشعة الضوئية الصادرة عنه. ويتعلق التيار الكهربائي الذي يجتاز المصباح بالجهد المُطبق، وبمقاومة المصباح (قانون أوم: $V = RI$).

نُذكِّر على سبيل المثال أن مقاومة الجسم البشري تُقدر بـ $\boldsymbol{R \approx 1500\Omega}$ (عندما يكون حافي القدمين)، بينما $\boldsymbol{R \approx 50000\Omega}$ (عندما يكون منتعلاً حذاءً).

إن شدة التيار التي تُعدّ مؤذية (ضارة) للصحة تُقدر بـ $(0,2\ mA)$ (عتبة الإحساس والشعور بالتيار) إلى $(65\ mA)$ (عتبة الاختلاج القلبي، انقباض في عضلة القلب...):

$$U = 120V \Longrightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{120}{1500} = 80mA \text{ (حافي القدمين)}$$

$$U = 120V \Longrightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{120}{50000} = 2,4mA \text{ (منتعلاً حذاءً)}$$

انتباه: يجب ألا ننسى أن ننتعل حذاءً من الكاوتشوك عند استخدام الأجهزة الكهربائية.

يُمكن تلخيص ما سبق على النحو الآتي: **بماذا يتميز التيار الكهربائي؟** يُبين الجدول (9-1) مميزات التيار ومقارنته بجريان الماء.

الجدول (9-1): يُبيّن مميزات التيار الكهربائي.

جريان الماء	جريان الشحنات
الضغط (باسكال)	الجهد (فولط)
المعدل (ليتر في ثانية)	شدة (أمبير)

وبماذا تتميز المواد الناقلة للكهرباء وغير الناقلة للكهرباء؟ تتميز بالآتي:

- بمقاومتها: كلما سمحت المادة بمرور التيار بسهولة، كلما كانت مقاومتها صغيرة.
- تمتلك النواقل السيئة مقاومة كبيرة.
- بما أن لكل مادة مقاومة، فهذا يؤدي إلى تبطيء حركة الإلكترونات فيها، فتفقد (تخسر) الإلكترونات جزءاً من طاقتها، وبالتالي فهي تفقد جزءاً من سرعتها.
- تتحول الطاقة التي تفقدها الإلكترونات إلى حرارة.
- إن مرور التيار في مقاومة يؤدي إلى تسخينها، وهذا ما يُدعى بـ **"مفعول جول"**.

تطبيق: السخان الكهربائي:

$$W = \frac{1}{2}R.I^2.t$$

حيث: I شدة التيار تُقدر بالأمبير (A).

R المقاومة تُقدر بالأوم (Ω).

W الطاقة الكهربائية تُقدر بالجول (J).

t الزمن يُقدر بالثانية (s).

ونشير إلى أن الحرارة تُقاس بالحريرية، حيث:

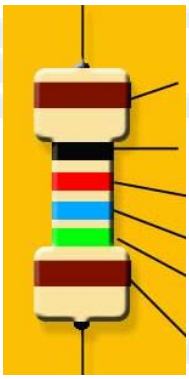
$$1\ calorie = 4,18\ joule$$

وتسمح الحريرية برفع درجة حرارة غرام واحد من الماء درجة واحدة.

(د) كيفية قراءة المقاومات انطلاقاً من الألوان المسجلة عليها:

- مصطلحات: رمز الألوان:

اللون	اسم اللون	رمز اللون	أول رقم معنوي	ثاني رقم معنوي	ثالث رقم معنوي	معامل الضرب	الخطأ (±)	معامل درجة الحرارة
	فضي	0,01					10%	
	ذهبي	0,1					5%	
	أبيض	9	9	9	9	10^9		
	رمادي	8	8	8	8	10^8	0,05%	
	بنفسجي	7	7	7	7	10^7	0,10%	
	أزرق	6	6	6	6	10^6	0,25%	
	أخضر	5	5	5	5	10^5	0,5%	
	أصفر	4	4	4	4	10^4		
	برتقالي	3	3	3	3	10^3		
	أحمر	2	2	2	2	10^2	2%	
	بني	1	1	1	1	10^1	1%	
	أسود	0	0	0	0	10^0		



الرقم المعنوي الأول

الرقم المعنوي الثاني

الرقم المعنوي الثالث

معامل الضرب (عدد الأصفار)

الخطأ

معامل الحرارة

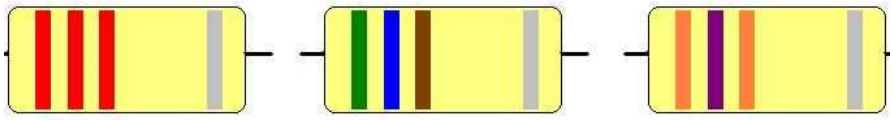
ملاحظة (1): إذا لم يُشَر إلى الخطأ فالخطأ يكون عادة (20%).

ملاحظة (2): معامل الحرارة يساوي:

$$200\ ppm\ = 200\ \ parts\ per\ million$$

أي 200 جزء من المليون.

أمثلة:



$22 \times 100 = 2200\ \Omega$ $56 \times 10 = 560\ \Omega$ $37 \times 100 = 37000\ \Omega$

الخطأ (10%) من أجل المقاومات الثلاث

أولاً – مقاومات بأربع حلقات:

- تُعطي الحلقة الأولى والثانية الأرقام المعنوية: الأولى تُعطي العشرات والثانية تُعطي الآحاد،
- تُعطي الحلقة الثالثة عامل الضرب: قوة العشرة التي يجب أن نضرب بها الأرقام المعنوية،
- تُعطي الحلقة الرابعة الخطأ أو الارتياب في قيمة المقاومة المُعطى من قبل المُصنّع.

ثانياً – مقاومات بخمس حلقات:

- تُعطي الحلقات الثلاث الأولى الأرقام المعنوية: الأولى تُعطي المئات، الثانية تعطي العشـــرات والثالثة تعطي الآحاد،
- تُعطي الحلقة الرابعة عامل الضرب: قوة العشرة التي يجب أن نضرب بها الأرقام المعنوية،
- تُعطي الحلقة الخامسة الخطأ أو الارتياب في قيمة المقاومة المُعطى من قبل المصنع.

ثالثاً – مقاومات بست حلقات:

- إن الحلقات الأربع الأولى لها نفس المعنى كما هو الحال في المقاومات بخمس حلقات.
- ترمز الحلقة السادسة إلى عامل الحرارة (أي تغير الناقلية الكهربائية بتابعية درجة الحرارة).

مثال:

أول رقم معنوي أصفر = 4

ثاني رقم معنوي أخضر = 5

معامل الضرب برتقالي = 3

الخطأ: لونه ذهبي: أي (5%)

أي أن قيمة المقاومة تساوي: $45 \times 10^3 = 45\ k\Omega$ بخطأ يُقدر بـ (5%).

مثال:

أول رقم معنوي أحمر = 2

ثاني رقم معنوي بنفسجي = 7

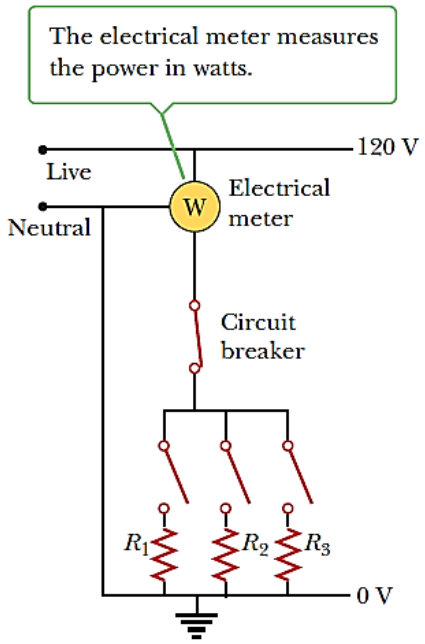
معامل الضرب بني = 1

الخطأ: لونه فضي: أي (10%)

أي أن قيمة المقاومة تساوي: $27 \times 10^1 = 270\ \Omega$ بخطأ يُقدر بـ (10%).

2- الدارات المنزلية – Household Circuits

إن الدارات المنزلية هي تطبيقات عملية لبعض الأفكار التي وردت في المحاضرات السابقة. على سبيل المثال إن مؤسسة الكهرباء التي تهتم بتوزيع الطاقة الكهربائية على المنازل يتم بواسطة زوج من الأسلاك، أو أسلاك الطاقة. إن الأجهزة المنزلية توصل على التوازي بهذه الأسلاك، كما هو موضح في الشكل التالي. إن فرق الكمون بين السلكين هو حوالي $(120\ V)$. (إن التيارات والجهود هي متناوبة، ولكن حالياً سنعتبرهما مستمرة. يتم وصل سلك إلى الأرض الذي يُسمى السلك "**الحيادي – Neutral**"، والآخر، الذي يُطلق عليه اسم السلك "**الحار – Hot**" أو "**الفاز**" يوصل إلى الجهد $(120\ V)$. مقياس الجهد أو مقياس الطاقة (Electrical meter) ودارة قاطعة (Circuit breaker) (أو **فيوز - Fuse**) يوصلان على التسلسل مع السلك الداخل إلى المنزل، كما هو مبين في الشكل.



مخطط سلكي لدارة منزلية. المقاومات R_1، R_2، و R_3 تُمثل أدوات أو أجهزة كهربائية تعمل بجهد مطبق قدره $120\ V$. المقياس باللون الأصفر يقيس الاستطاعة بالواط.

في المنازل الحديثة، دارة القطع تُستخدم مكان الفيوزات (Fuses). عندما يجتاز التيار قيمة معينة (بشكل نموذجي $15\ A$ أو $20\ A$)، تتفعل دارة القطع وتعمل كقاطع يفتح الدارة.

إن سلك دارة القطع يُختار بعناية لكي يتحمل التيار المطلوب للدارة. إذا كانت الدارة مصممة لتحمل تيار أكبر من $30\ A$، فمهمه السلك تحمل هذا التيار (سلك ذات قطر ثخين)، ودارة قطع خاصة يجب أن تُستخدم. عادة، الدارات المنزلية تُستخدم لإنارة المصابيح وبعض الأدوات التي تتطلب تيار قيمته $20\ A$. إن كل دارة لها دارة قطع خاصة بها مختارة لتحمل التيار الأعظمي بهدف الأمان.

على سبيل المثال، لنعتبر دارة جهاز لتحميص الخبز (محمصة خبز - Toaster)، فرن مايكروويف (Microwave)، وسخانة (Heater)، كما هو ممثل في الشكل السابق بالمقاومات R_1، R_2، و R_3. باستخدام العلاقة:

$P = I.\Delta V$

يمكننا حسـاب التيار الناتج عن كل جهاز أو أداة. محمصـة الخبز، اسـتطاعتها $1000\ W$، تسـحب أو تجر تيار قيمته:

$$I = \frac{P}{\Delta V} = \frac{1000}{120} = 8{,}33\ A$$

وفرن المايكروويف، استطاعته $800\ W$، تسحب أو تجر تيار قيمته:

$$I = \frac{P}{\Delta V} = \frac{800}{120} = 6{,}67\ A$$

والسخانة التي استطاعتها $1300\ W$، تسحب أو تجر تيار قيمته:

$$I = \frac{P}{\Delta V} = \frac{1300}{120} = 10{,}83\ A$$

وإذا تم استعمال الأدوات أو الأجهزة السابقة بآن واحد، فالتيار الكلي المسحوب يساوي:

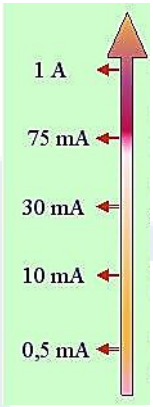
$$\boldsymbol{I_{tot} = 8{,}33\ A + 6{,}67\ A + 10{,}83\ A = 25{,}8\ A}$$

وبالنتيجة، فإن دارة القطع يجب على الأقل أن تتحمل هذا التيار الكبير، أو يمكن أن تُجزأ. في التيار المتناوب، محمصـة الخبز وفرن المايكروويف يمكن أن يعملا على دارة واحدة تتحمل $20\ A$، والسـخان يعمل على دارة أخرى منفصلة تماماً تتحمل تيار $20\ A$.

3- الأمن أو الأمان الكهربائي – Electric Safety

يمكن لشـخص أن يتلقى صـدمة كهربائية بلمس السـلك السـاخن وهو في تماس مع الأرض. مثل هذه الصدفة يجب علينا في أغلب الأحيان تجنبها وعزل السلك الناقل أو السلك الحار. التماس الأرضي يجب أن يتم بملامسـة أنبوب المياه (الذي عادة كمونه هو الكمون الأرضـي)، أو بإقامة على الأرض أوتاد مبللة لأن المياه تُعتبر ناقل جيد. بشكل واضح، مثل تلك الأوضاع يجب علينا تفاديها مهما كلف الثمن.

إن الصدمة الكهربائية يمكن أن تؤدي لحروق خطرة، أو تؤذي عضلات بعض الأعضاء الحيوية، مثل عضلة القلب، ومن ثم إلى اضـطراب عمله. إن درجة الضـرر بالجسـم تتعلق بشـدة التيار الكهربائي، بطول زمن التأثير، وبالجزء من الجسـم الذي يمر عبره التيار. إن التيارات التي شـدتها $5\ mA$ أو أقل يمكن الشـعور بها، لكن تأثيرها قليل وبدون ضرر. إذا كان التيار أكبر من $10\ mA$، عضلات اليد تتقلص والشخص عندها يمكن أنه لا يسـتطيع ترك الخط السـاخن. إذا كان التيار حوالي $100\ mA$ يمر عبر الجسـم، فخلال عدة ثواني، يمكن أن يكون هذا قاتل ومميت. مثل هذا التيار يمكن أن يشـل عضـلات التنفس. في بعض الحالات، تيارات بحدود $1\ A$ تمر في الجسـم تؤدي إلى نتائج وحروق خطيرة (وبعض الأحيان مميتة مثل توقف عمل عضـلة القلب). الشكل يوضح تلك القيم.



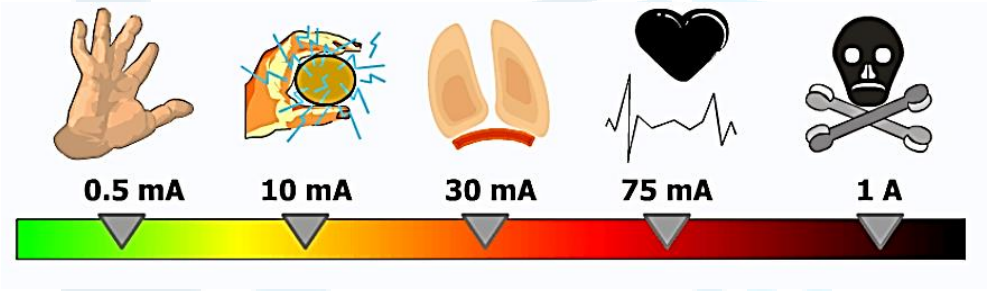
توقف القلب

عتبة انقباض العضلة القلبية

عتبة شلل الجهاز التنفسي

عتبة عدم قدرة ترك السلك

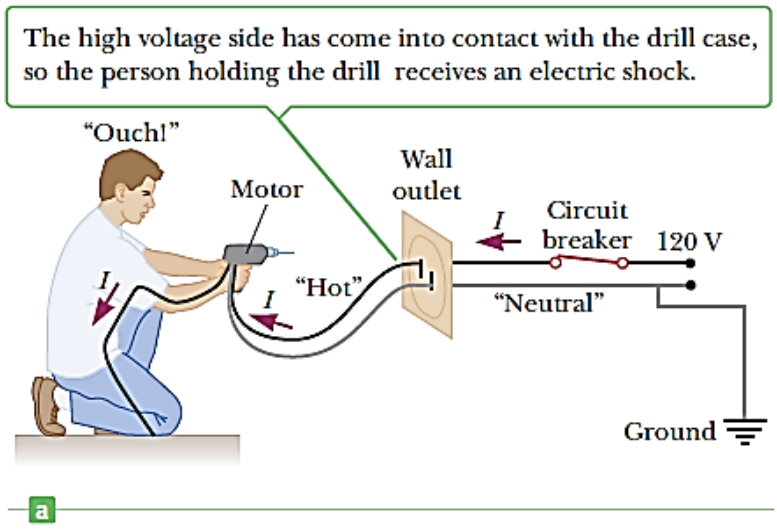
عتبة الشعور الضعيف بالصدمة الكهربائية

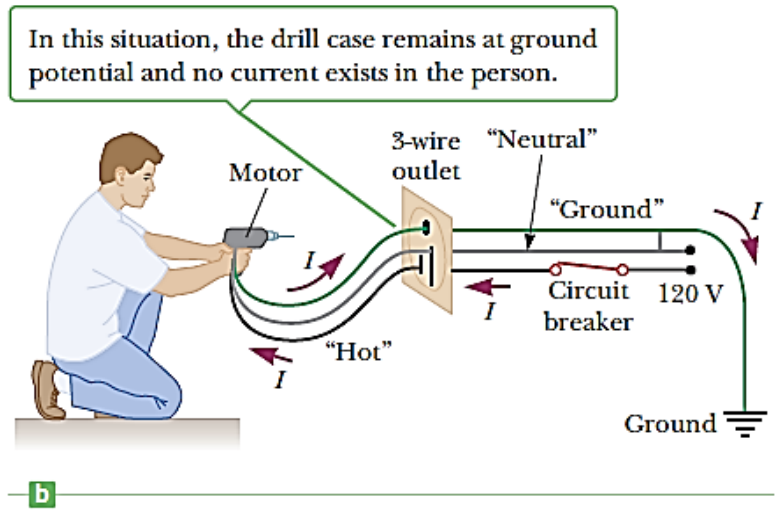


وكعامل أمان إضافي لحماية المستهلك، هناك تجهيزات الآن تستخدم أكبال كهربائية تحتوي سلك ثالث، ويُسمى هذا السلك بـــ "حالة التأريض أو سلك التأريض – Case ground". **والسؤال هو: ما هو مفهوم التأريض؟**

إن المنظومة الأرضية أو التأريض يمكن تعريفه بأنه اتصال كهربائي، تم تصميمه عن قصد بين جهاز كهربائي أو شبكة أجهزة من جهة، وكتلة الأرض، من جهة أخرى. لذا فإن التأريض مطلوب لتوفير السلامة للمنظومة الكهربائية وللعاملين في المنشأة وهذا معروف بشكل عام لدى الغالبية من الأشخاص ولكن غير واضح لدى النسبة العظمى من الناس كيفية تحقيق ذلك.

ولفهم كيف يعمل، لنعتبر أنه لدينا مثقب يُستخدم كما هو مبين في الشكل المرفق. هنا لدينا أداة بسلكين، الأول يُطلق عليه اسم "السلك الساخن – Hot wire"، موصول بالكمون العالي $(120\ V)$ حيث هنا خط دخول الطاقة، والثاني موصول بكمون الأرض الذي يساوي الصفر $(0\ V)$. إذا تم وصل سلك الكمون العالي، كما موضح في الحالة (a) من الشكل المرفق، فيحدث ما يُدعى بدارة القصر. في الحالة غير المرغوب بها، فإن طريق التيار يكون عبر سلك الجهد العالي عبر الشخص الذي يمسك المثقب والأرض، وهذا الطريق يكون قاتل. فلتلافي ذلك، تم إضافة سلك ثالث، يوصل إلى علبة المثقب، كما هو موضح في الحالة (b) من الشكل المرفق. في هذه الحالة، إذا حدث لدينا دارة مقصورة، فالطريق الأقل مقاومة يسلكه التيار من سلك الجهد العالي عبر علبة المثقب ويعود إلى الأرض عبر السلك الثالث. ونتيجة هذا التيار العالي المتولد سيحرق الفيوز (Fuse) أو يؤدي إلى اقلاع دارة القطع (Circuit breaker) قبل أن يتأذى المستهلك.



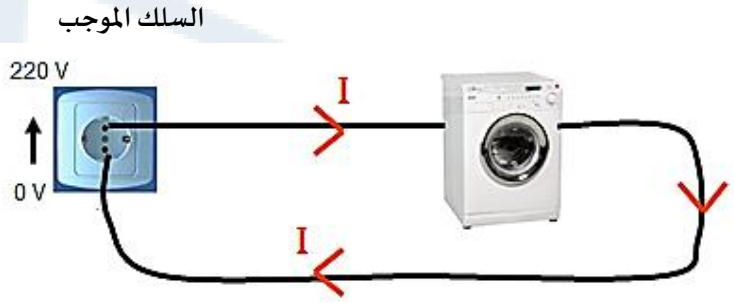


يوضح الشكل السلك الساخن (Hot or Live)، بجهد $120\ V$، وهناك أيضاً دارة قطع للأمان. (a) مثقب يعمل بسلكين، حيث التيار العادي يسلك الطريق من الساخن، عبر المحرك، ويعود للسلك الموصول بالأرض عن طريق السلك الحيادي (neutral). (b) يمكن تلافي الصدمة الكهربائية بواسطة سلك ثالث يمر عبر غلاف أو علبة المثقب إلى الأرضي. إن ألوان الأسلاك تمثل المعايير الكهربائية في الولايات المتحدة الأمريكية: الساخن (hot) باللون الأسود، السلك الأرضي (ground) باللون الأخضر، والسلك الحيادي (neutral) باللون الأبيض المشار إليه باللون البني في الشكل.

4- الأمان في توصيلات الأجهزة الكهربائية – Safety in Electrical Appliance Connections

(1) توصيلات كهربائية:

يوجد سلكان، السلك الموجب، والسلك الحيادي، يصلان إلى مأخذ القاطع الذي يوصل بدوره بالأرض (الأرضي حيث الجهد معدوم). يحمل السلكان نفس شدة التيار، الشكل التالي.



السلك الموجب

السلك الحيادي

وصل الجهاز بمأخذ التيار.

(2) الفيوزات والدارات القصرية:

إن الفيوزات هي عبارة أن أجهزة أمان تمنع التيار الكبير من المرور في الدارة (يتبع على سبيل المثال مسار دارة مقصورة)، وإلا فإن هذا يؤدي إلى تسخين الأجهزة الكهربائية (بوساطة مفعول جول الذي سنتكلم عنه لاحقاً)، وهذا بدوره سيؤدي إلى حدوث حريق.

نشير هنا إلى أن الفيوزات هي عبارة عن مقاومات من الرصاص، تنصهر نتيجة مرور التيار الكبير فيها. وتكون عادة الدارات المقصورة من نوع كهرطيسي، أي تعتمد في عملها على مبدأ كهرطيسي.

(3) القاطع:

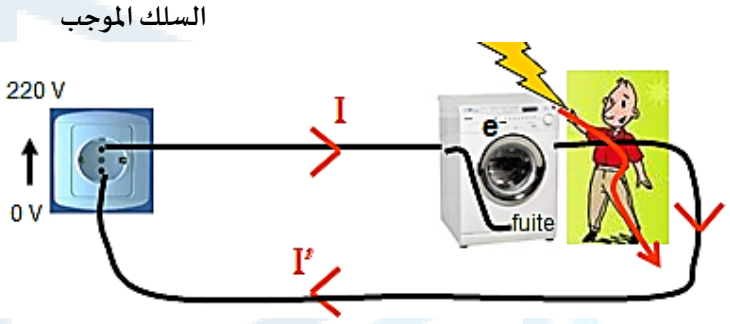
هو عبارة عن قاطع يدوي أو أتوماتيكي للدارة الكهربائية، يتأثر بالتيارات ذات الشدات الكبيرة، أو بفرق في الشدة بين السلك الموجب والسلك الحيادي، أي عندما يكون تهريب للتيار عند عمل الجهاز، الشكل (9-10)، ويُطلق عليه اسم "قاطع تفاضلي".

تهريب؟

حالة دارة مفتوحة: التيار معدوم I = 0.

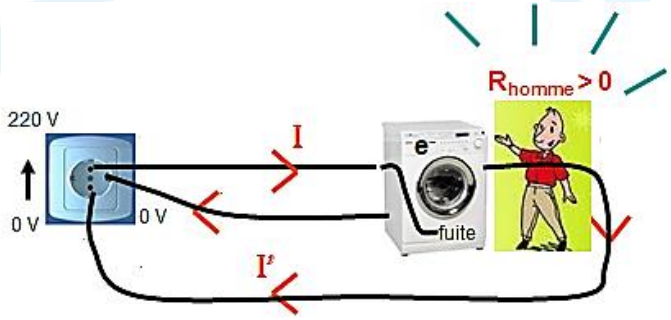
(4) المأخذ الأرضي:

يسمح المأخذ الأرضي لهيكل الأجهزة الكهربائية بأن يصبح دارة مقصورة، بطريقة منعه أي احتمال لحدوث تهريب للتيار يمر في الشخص الذي يستعمل الجهاز، الشكلان المرفقان.



(أ) دون مأخذ أرضي

آلية عمل المأخذ الأرضي.



(ب) مع مأخذ أرضي.

آلية عمل المأخذ الأرضي.