خواص المادة
والحرارة والكهرباء
د. محمد قيصرون ميرزا
جامعة البحرين
2008

خواص المادة
والحرارة والكهرباء

جميع الحقوق محفوظة

كافة حقوق الطبع والنشر والتوزيع محفوظة

ولايجوز إعادة نسخ أو تصوير أو طباعة كل أو جزء

من هذا الكتاب بأي صورة ضوئية أو إلكترونية أو ورقية

أو أي طريقة أخرى بدون الموافقة الخطية من المؤلف.

عنوان الكتاب:

خواص المادة والحرارة والكهرباء

اسم المؤلف:

د. محمد قيصرون ميرزا

رقم النشر الدولي: ISBN 978-99901-12-26-9

رقم الإيداع بإدارة المكتبات العامة: د.ع. 2008 / 7062م

خواص المادة

والحرارة والكهرباء

د. محمد قيصرون ميرزا

جامعة البحرين

2008

إلى العاملين لخدمة لغة القرآن الكريم

اللغة العربية

"إنا أنزلناه قرآناً عربياً لعلكم تعقلون"

صدق الله العظيم

لُغةٌ إذا وقعتْ على أسمَاعِنا .. كانتْ لنا بَرْداً على الأكبادِ

ستظَلُ رابِطَةً تُوحِدُ بيننا ... فهي الرَجاءُ لِنَاطِقٍ بالضَادِ

محتويات الكتاب

الفصل الأول: حركات الأجسام والميكانيك	9
الفصل الثاني: المادة والحرارة	39
الفصل الثالث: الكهرباء الساكنة	91
الفصل الرابع: الكهرباء المتحركة وتوليد الطاقة الكهربائية	129
الفصل الخامس: المغناطيسية	159
الفصل السادس: الفيزياء الحديثة	197

مراجع وملحق رياضي

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله وأصحابه أجمعين، وبعد،
فقد تم بفضل الله إنجاز هذا الكتاب المخصص لطلبة المعاهد المتوسطة وكليات المجتمع ليغطي المفاهيم الأساس في الفيزياء العامة وبخاصة الناحية التطبيقية التي صارت معظم الجامعات والمعاهد والكليات تعتمدها بدلا من الفيزياء الكلاسيكية التي تنتهج الطرق النظرية البحتة.
وقد حاولت في هذا الكتاب أن أغطي المواضيع الرئيسة التي تشملها مناهج المعاهد التقنية أساساً فاختصرت مفاهيم الميكانيك النظرية ما أمكن وركزت على الكهرباء والمغاطيسية والحرارة. وهو كتاب غير تحليلي بمعني أن المعالجة الرياضية اقتصرت على طرح الأفكار العلمية وإعطاء العلاقات الرياضية اللازمة دون الخوض في تفاصيل الاشتقاقات الرياضية المعقدة التي لايحتاج إليها طلبة المعاهد التقنية وكليات المجتمع.
وقد أعددت المادة العلمية والرسوم والجداول بطريقة مبسطة ميسرة كما أضفت في نهاية كل فصل بعض الأسئلة التطبيقية المفيدة والبسيطة التي تسمح للطالب أن يمتحن مقدار استيعابه وتفهمه للمادة بسرعة وسلاسة.
وحيث أن هذا العمل جهد فردي بحت فلا يستبعد وجود بعض الهفوات والأخطاء المطبعية أو طرق الطرح والمعالجة لبعض المواضيع الواردة فيه، ولذا فإنني أرجو من الزملاء والزميلات المدرسين والمدرسات أن يوافوني بأي مقترحات للتصويب او التعديل أو الحذف أو الإضافة.
ويسعدني في الختام أن أشكر جامعة البحرين على إتاحة هذه الفرصة لي لإعداد هذا الكتاب خلال فترة إجازة التفرغ العلمي.

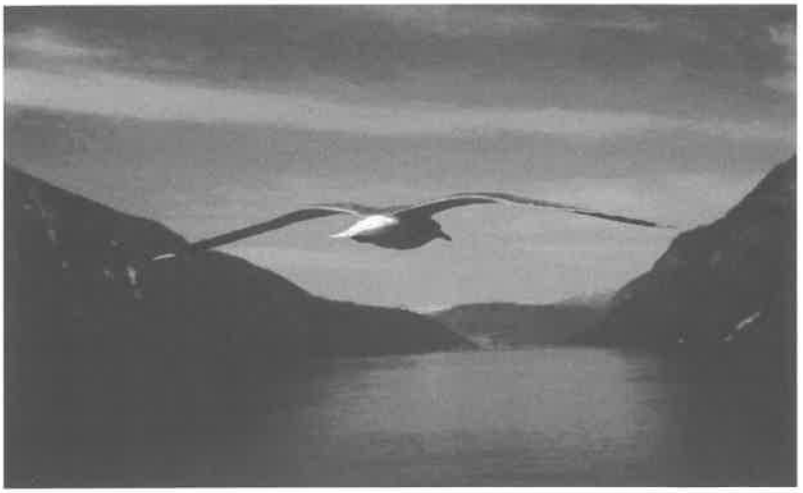
"**وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون**" صدق الله العظيم

والله من وراء القصد.

د. محمد قيصرون ميرزا
قسم الفيزياء – جامعة البحرين
mkmerza@gmail.com

الفصل الأول

حركات الأجسام والميكانيك



تمهيد

من المهم في حياتنا اليومية ونحن نتابع الأجسام المختلفة بدءاً من الرياح القوية التي تعصف أحيانا في الجو أو طيور النورس التي تبدو معلقة في السماء وهي تطير أو عندما نرى سيارة مسرعة في الطريق تدور منعطفا خطراً ونتساءل هل سيستطيع السائق أن يسطير عليها؟ من المهم أن نفهم كيف تتحرك كل هذه الأجسام وما الذي يسيطر عليها وكيف يمكن الاستفادة من كل ذلك.

لذلك سندرس في هذا الفصل طريقة حركة الأجسام وكيف نتحكم بها. فندرس باختصار قوانين الحركة على خط مستقيم والسقوط الحر أولاً ثم نستعرض قوانين نيوتن في التحريك وبعض تطبيقاتها ثم نتطرق لمفاهيم الشغل والطاقة والقدرة وأهمية ذلك في صناعة الالآت المختلفة.

محتويات الفصل

مقدمة
السرعة
التسارع
الحركة بتسارع ثابت
تسارع الجاذبية والسقوط الحر
قوانين نيوتن في الحركة
قانون نيوتن الأول
قانون نيوتن الثاني
قانون نيوتن الثالث: الفعل ورد الفعل
القوى المركزية
الشغل والطاقة
الشغل
طاقة الحركة وطاقة الوضع
مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية
القدرة
الآلات ومردودها
ملخص الفصل
أسئلة

1-1 مقدمة

نحاول في حياتنا اليومية أن نتحكم في الأجسام التي نستعملها من سيارات وطائرات وغيرها. ونريد أن نعرف طريقة حركتها وكيف تتغير سرعة جسم أو تسارعه أو المسافة التي يقطعها مع الوقت، وهذه تسمى قوانين الحركة. وسنستعرض فيما يلي العلاقات التي تربط بين متغيرات حركة جسم، ثم ندرس قوانين نيوتن التي تعطي المؤثرات أو القوى التي تجعل أي جسم يتحرك أو ينتقل من مكانه ونحدد أنواع القوى الأساس وطرق تأثيرها.

2-1 السرعة

إذا قطعت سيارة مسافة 200 km خلال أربع ساعات فإننا نقول إنها سارت بسرعة متوسطة50 km/h. وهذا لايعني بالضرورة أنها كانت تسير بهذه السرعة طوال الوقت بل يعني أنها لو سارت هكذا لقطعت مسافة 200 km في أربع ساعات وهذا مانطلق عليه اسم **السرعة المتوسطة** *(average speed)*. ويمكن تعريف **السرعة المتوسطة** بكتابة المسافة التي انتقلها الجسم:

$$\Delta x = x_2 - x_1 \qquad (1\text{-}1)$$

والزمن اللازم للانتقال:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \qquad (2\text{-}1)$$

عندئذ نعرّف **السرعة المتوسطة** بالعلاقة:

$$\mathbf{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \qquad (3\text{-}1)$$

فسرعة الجسم هي دليل على تغيّر موضعه مع الزمن وتساوي المسافة التي قطعها على الزمن اللازم لذلك. وتعطى وحدة السرعة في النظام الدولي بالمتر لكل ثانية، أي m/s.

ومن الواضح أن معرفة السرعة المتوسطة خلال انتقال الجسم بين نقطتين لايعطينا أية معلومات عن تفاصيل الرحلة الفعلية. فإذا افترضنا أننا انتقلنا من دمشق لعمان بسرعة متوسطة 80 km/h فإن ذلك لايعني أننا تحركنا بهذه السرعة طوال الوقت، إذ يمكن أن نسرع في مرحلة ثم نتباطأ في مرحلة أخرى، وهكذا.

مثال (1-1)

ينتقل مسافر من مدينة دمشق لمدينة بيروت في رحلة تستغرق 3 ساعات. ماسرعته المتوسطة إذا افترضنا المسافة بين المدينتين 250 كم؟

الحل:

نلاحظ هنا أن المسافة الفعلية بين المدينتين أكبر من الخط المباشر المرسوم بينهما لكننا نهتم فقط بهذه المسافة ونكتب السرعة المتوسطة من العلاقة (1-1) بالشكل:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{250\,\text{km}}{3\,\text{h}}$$

ويجب تحويل الوحدات إلى النظام الدولي بأن نقدر المسافة بالمتر والزمن بالثانية. لذلك نكتب:

$$1\,\text{km}=1000\,\text{m} \quad \text{و} \quad 1\,\text{h}=60\,\text{min}=3600\,\text{s}$$

فتصير السرعة المتوسطة مساوية إلى:

$$v=\frac{250(\text{km})(1000\text{m/km})}{3\,(\text{h})\,(3600\,\text{s/h})}$$
$$=\frac{250\times1000\,\text{m}}{3\times3600\,\text{s}}=24.1\,\text{m/s}$$

ونعطي بالجدول أدناه بعض السرعات لبعض الأجسام مقدرة بالمتر لكل ثانية.

بعض السرعات في الطبيعة(m/s)

سرعة الضوء في الفراغ	3.0×10^{8}
سرعة الصوت في الهواء	3.4×10^{2}
سرعة دوران الأرض حول الشمس	4.0×10^{4}
سرعة دوران القمر حول الأرض	1.1×10^{4}
سرعة دوران الأرض حول نفسها	9.6×10^{2}
سرعة دوران الإلكترون في الذرة	6.3×10^{5}
سرعة مركبة فضائية حول الأرض	7.5×10^{5}
سرعة طائرة ركاب عبر المحيط	2.0×10^{2}
سرعة أسرع عداء في العالم	1.02×10^{1}

ونلاحظ من تعريف الإزاحة Δx أنها تتحدد بمعرفة موضع المتحرك لحظة بداية مراقبته ولحظة نهايتها فقط، بغض النظر عن تفاصيل الطريق التي اتبعها للانتقال بينهما. كما أن هاتين اللحظتين قد تختلفان كلياً عن لحظة بداية الحركة نفسها أو نهايتها. ومما لاشك فيه أن متجه الإزاحة قد لاينطبق على المسافة الفعلية التي تحركها الجسم بين النقطتين A وB، إلاّ أن لتعريفها بهذه الطريقة أهمية كبيرة لتحديد متجه السرعة المتوسطة، كما يساعد في حل الكثير من المسائل التي تبدو معقدة بكل يسر وسهولة.

3-1 التسارع

نعرف تسارع جسم بأنه معدل تغير سرعته بالنسبة للزمن، أي بالعلاقة:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

وتعطى وحدة التسارع كما نلاحظ من هذه العلاقة بالمتر لكل ثانية مربع، أي m/s^2.

ومن أشهر التسارعات التي تهمنا ولها أثر بالغ على حياتنا اليومية تسارع الجاذبية الأرضية التي تساوي $9.8\ m/s^2$ وتتجه دوماً نحو مركز الأرض ونقول إنها تتجه للأسفل. وهذا تسارع ثابت بالقيمة والاتجاه ولذا يهمنا أن ندرس حركة اجسام تتحرك بتسارعات ثابتة بالقيمة والاتجاه على خط مستقيم كسقوط الماء من شلال أو حركة سيارة في شارع مستقيم وغيرها.

سقوط الماء من شلال بشكل حر تحت تأثير الجاذبية

4-1 الحركة بتسارع ثابت

تعتبر حركة جسم بتسارع ثابت ذات أهمية خاصة لأن الكثير من الحركات في الطبيعة تتم كذلك، كما ذكرنا سابقاً، كسقوط الأجسام بالقرب من سطح الأرض. فإذا تحرك جسم على خط مستقيم بتسارع ثابت فإن العلاقات التي تربط بين سرعته وتسارعه والمسافة التي يقطعها والزمن تعطى على النحو التالي:

$$v = at + v_0 \qquad (4\text{-}1)$$

حيث تدل v_0 على سرعته لحظة بداية دراسة حركته، وتسمى السرعة الابتدائية.

ونكتب كذلك المسافة التي يقطعها الجسم خلال زمن معين بالشكل:

$$x = \tfrac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \qquad (5\text{-}1)$$

حيث تدل x_0 على موضعه بالنسبة للشخص الذي يدرس حركته لحظة بداية دراسة حركته، وتسمى الموضع الابتدائي.
وباختصار الزمن بين العلاقتين الأخيرتين نجد:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) = 2as \qquad (6\text{-}1)$$

حيث s الإزاحة أو الانتقال من x_0 إلى x.
وتمثل العلاقة (1-4) تناسباً خطياً بين السرعة اللحظية والزمن. فإذا كان a يساوي الصفر فإن الجسم يتحرك بسرعة ثابتة دوماً،أما عندما يكون $a\neq0$ فإن السرعة تتزايد أو تتناقص مع الزمن بشكل خطي، بحسب كون a موجباً أو سالباً.

مثل 1-2

تسير سيارة على خط مستقيم بسرعة 30 m/s وعلى بعد 200 m منها سيارة أخرى تسير أمامها على نفس الخط وبنفس الاتجاه بسرعة 10 m/s. لتجنب التصادم تتباطأ السيارة الأولى بمعدل $1\ m/s^2$، ماسرعتها عندما تلحق بالسيارة الثانية وما المسافة التي ستقطعها خلال ذلك؟

الحل: نفترض أن السيارة الثانية ستقطع مسافة x إلى أن تلحق بها الأولى التي ستكون قد قطعت مسافة $x+200$ ، كما هو موضح بالشكل (1-1)، وباستعمال العلاقة(1-5) نكتب لكل سيارة:

الشكل (1-1)

$$x + 200 = \tfrac{1}{2}at^2 + 30t$$

بالنسبة للسيارة الأولى

$$x = 10t$$

بالنسبة للسيارة الثانية

وبحل هاتين المعادلتين نجد: $x = 200 \quad (\mathrm{m})$

أي أن المسافة التي قطعتها السيارة الأولى هي:

$$x = 200 + x = 400 \text{ m}$$

ولإيجاد سرعة هذه السيارة عندما تلحق بالثانية نستعمل (1-6) ونكتب:

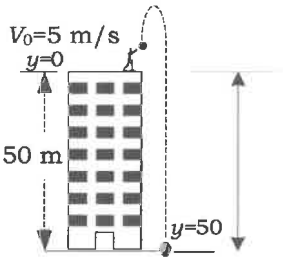
$$v^2 - v_0^2 = 2as \quad \Rightarrow \quad v = 10 \text{ m/s}$$

1-4 تسارع الجاذبية والسقوط الحر

من أفضل الأمثلة على حركة الأجسام بتسارع ثابت هو السقوط الحر تحت تأثير الجاذبية. وفي هذه الحالة يكون تسارع الجسم مساوياً لتسارع الجاذبية الأرضية g ويساوي قرب سطح الأرض 9.8 m/s^2 إلا أننا سنستخدم $g=10 \text{ m/s}^2$ لسهولة الحسابات. ونلاحظ أن تسارع الجاذبية يتجه للأسفل دوماً بغض النظر عن طريقة حركة الجسم واتجاهها سواء تحرك الجسم للأسفل أم للأعلى. ونعطي مثالاً لهذا لمعرفة كيف نعرف تفاصيل حركة جسم يسقط سقوطاً حراً.

مثل 1-3

يقذف طفل يقف على سطح بناء ارتفاعه 50 m كرة بسرعة 5 m/s نحو الأعلى. (أ) ما أعلى ارتفاع تصل إليه الكرة وماسرعتها عندما تعود لنفس ارتفاع نقطة الإطلاق؟ (ب) مازمن طيرانها؟



الشكل (1-2)

الحل: نفترض الاتجاه الموجب للأعلى ونقطة المبدأ (أي موضع المراقب الذي يدرس الحركة) تقع عند سطح البناء، كما في الشكل (1-2). لذا نكتب تسارع الكرة في أي مرحلة $a=-g$، أما سرعتها الابتدائية فهي $v_0=+5$ m/s، كما أن $y_0=0$.

(أ) لإيجاد أعلى ارتفاع تصل إليه الكرة نلاحظ أن سرعتها تصير مساوية للصفر عندما تصل هناك، ونكتب:

$$v^2 - v_0^2 = 2(-g)(y - y_0) \Rightarrow$$
$$0 - 25 = 2(-9.8)s \;\Rightarrow\; s = 1.28 \text{ m}$$

ولإيجاد سرعة الكرة عندما تعود لنفس ارتفاع نقطة إطلاقها نلاحظ أنها تسقط من ارتفاع ابتدائي $y_0=1.28$ m بسرعة ابتدائية معدومة إلى ارتفاع نهائي $y=0$ لذا نجد من (1-6):

$$v^2 - v_0^2 = 2(-g)(y - y_0) \Rightarrow$$
$$v^2 - 0 = 2(-9.8)(0 - 1.28) \;\Rightarrow\; v_0 = -5 \text{ m/s}$$

حيث نضع الإشارة السالبة لأن الجسم يتحرك للأسفل. ونلاحظ من هذه النتيجة أن الكرة تعود لنفس الارتفاع بنفس السرعة، وهذه نتيجة عامة لأي جسم يسقط بشكل حر في الفضاء.

(ب) لحساب زمن الطيران من لحظة الإطلاق إلى أن تعود الكرة للأرض نعتبر حركتها الكلية بالنسبة لمراقب يقف على السطح، فنلاحظ أن ارتفاعها الابتدائي $y_0=0$، وسرعتها الابتدائية $v_0=+5$ m/s وارتفاعها النهائي عندما تصل للأرض $y=-50$ m، وذلك بفرض الاتجاه الموجب للأعلى، كما حددنا ببداية المثل. ومن ثم نستخدم العلاقة (1-5) فنجد:

$$y = -\tfrac{1}{2}gt^2 + v_0 t + y_0 \quad \Rightarrow$$
$$0 = \tfrac{1}{2}(-9.8)t^2 + 5t - 50 \quad \Rightarrow \quad t = 3.75 \text{ s}$$

1-5 قوانين نيوتن في الحركة

1- 5 أ قانون نيوتن الأول:

من المعروف أنه إذا دُفع جسمٌ على الأرض فإنه ينزلق عليها مسافة معينة ثم يتباطأ إلى أن يقف. وقد اعتقد القدماء أن سبب ذلك يعود إلى أن طبيعة المادة هي السكون، بمعنى أن حركة أي شي تؤول للسكون. إلاّ أن التجارب العلمية أظهرت أن ذلك يعود لوجود قوى مقاومة لحركة الجسم المنزلق تعمل على إبطائه حتى يقف، ولو لم تكن موجودة لتابع سيره باستمرار. يطلق على ماتقدم اسم **قانون نيوتن الأول** الذي نصيغه بالشكل: **يبقى أي جسم على حالته التحركية من سكون أو سرعة ثابتة (قيمة واتجاهاً) مالم تؤثر عليه محصلة قوى خارجية غير معدومة** ونكتب هذا القانون بالشكل:

$$F_T = 0 \Rightarrow v = \text{constant} \Rightarrow a = 0 \qquad (7\text{-}1)$$

حيث F_T محصلة القوى المؤثرة على الجسم و v و a متجهي سرعته وتسارعه، على الترتيب. ونلاحظ من العلاقة السابقة أن كون التسارع

مساوياً للصفر يعني أن سرعة الجسم ستبقى ثابتة وهذا يسمى **اتزاناً** *(equilibrium)*. فإن كانت سرعته مساوية للصفر، أي كان ساكناً ومحصلة القوى عليه تساوي الصفر، فسيبقى كذلك ونقول إنه **متزن سكونياً** *(static equilibrium)*. أما إن كان الجسم يتحرك بسرعة ما ومحصلة القوى عليه معدومة فسيبقى متحركاً بنفس السرعة ونفس الاتجاه ونقول إنه في حالة **اتزان حركي** *(static equilibrium)*. ولذلك نطلق على التسارع (أي تغير السرعة) اسم **دليل التحريك** بينما نسمي القوة **سبب التحريك**.

1- 5 ب قانون نيوتن الثاني

أما لو كانت محصلة القوى المؤثرة على الجسم لاتساوي الصفر فإن سرعته ستتغير بالتأكيد ويكتسب تسارعاً يتناسب مع مقدار القوة الكلية المؤثرة عليه. لكن لو كانت كتلته كبيرة فسيكون تسارعه صغيراً بالمقارنة مع جسم آخر صغير الكتلة. فهناك تناسب عكسي بين التسارع والكتلة. ومن ثم نكتب العلاقة بين التسارع والقوة والكتلة على النحو:

$$F_T = ma \qquad (8\text{-}1)$$

وتسمى العلاقة السابقة **قانون نيوتن الثاني في حركة الأجسام**.

مثل 1-3

يتحرك جسم كتلته 2 kg بدءاً من السكون على خط مستقيم بتسارع ثابت فيقطع مسافة 8 m خلال ثانيتين، ثم يسير بسرعة ثابتة لمسافة 20 m أخرى. ما القوة المؤثرة عليه في كل مرحلة من مراحل الحركة؟

الحل: نحسب تسارع الجسم خلال المرحلة الأولى فنكتب:

$$x = \tfrac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0 \quad \Rightarrow$$
$$8 = \tfrac{1}{2}a(2)^2$$

ومنه: $a = 4\ \mathrm{m/s^2}$

وبوضع: $F = ma$

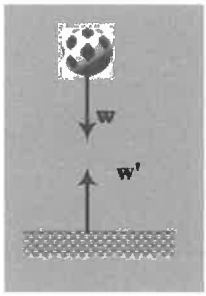
نجد: $F = 8\ \mathrm{N}$

أما في المرحلة الثانية فإن الجسم يتحرك بسرعة ثابتة لذلك تكون القوة المؤثرة عليه معدومة.

1- 5 جـ قانون نيوتن الثالث: الفعل ورد الفعل

تحدث القوى بشكل مزدوج أو ثنائي دوماً. فأي شخص حاول دفع سيارة معطلة لابد وأن شعر بدفع معاكس متناسب مع قوة دفعه لها. وإذا قمنا بشد حبل مربوط طرفه الآخر بجسم ما فإننا نعاني من شد معاكس ناتج عن ذلك الجسم. وتلخص هذه الملاحظات قانون نيوتن الثالث الذي نصيغه بالشكل: **إذا أثر جسم أول بقوة على جسم ثاني فإن الجسم الثاني يؤثر على الأول بقوة مساوية بالقيمة ومعاكسة بالاتجاه.** ويطلق على هاتين القوتين اسم الفعل ورد الفعل، ولايهم أي منهما هي الفعل أو رد الفعل.

وكثيراً مايُقرأ القانون الثالث بالشكل **لكل فعل رد فعل يساويه بالقيمة ويعاكسه بالاتجاه** لكن يجب الانتباه إلى أن هاتين القوتين لاتؤثران على نفس الجسم بل هما قوتان متبادلتان بين جسمين مختلفين دوماً.



الشكل (1-3)

وكمثل مباشر على ذلك نعتبر كرة تسقط سقوطاً حراً في الهواء، كما في الشكل (1-3)، وبالتالي فهي تخضع لقوة جذب الأرض لها (الوزن)، كما أنها تجذب الأرض للأعلى بقوة مساوية ومعاكسة لوزنها (وزن الكرة). ونلاحظ أن هاتين القوتين لاتؤثران على نفس الجسم، فواحدة تؤثر على الكرة والثانية تؤثر على الأرض لكننا نلاحظ حركة الكرة فقط لأن ممانعتها (كتلتها) صغيرة جداً بالمقارنة مع ممانعة الأرض.

لكل فعل رد فعل: من يدفع من في هذه الصورة؟

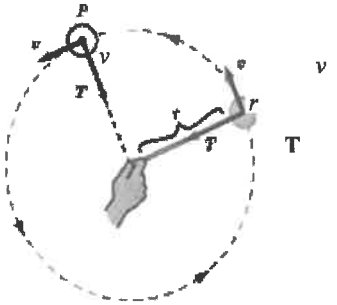
1-6 القوى المركزية

عندما يدور جسم على دائرة ولو بسرعة ثابتة بالقيمة فإنه سرعته تتغير بالاتجاه ممايعني أن له تسارع وأن هناك قوة مؤثرة عليه. ويمكن البرهان أن اتجاه القوة المءثرة يكون نحو المركز ولذا تسمى قوة مركزية وتعطى قيمتها بالعلاقة:

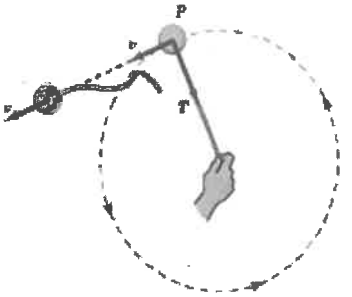
$$F_c = ma_c = m\frac{v^2}{r} \qquad (9\text{-}1)$$

وتتجه هذه القوة، **نحو مركز الدائرة.** ومن الأخطاء الشائعة عند البعض افتراض أن القوة تتجه بعيداً عن المركز ويطلقون عليها –**خطأً**– اسم **القوة**

الطاردة. لكن هذا غير صحيح إذ لاوجود لقوة طاردة مؤثرة على جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة، بل إن القوة المؤثرة عليه **جاذبة** نحو المركز *(central)* تعطى قيمتها بالعلاقة (1-9).



الشكل (1-4 أ)



الشكل (1-4 ب)

ويمكن فهم هذه النقطة لو تابعنا حركة كرة مربوطة بخيط، كما في الشكل (1-4أ)، للاحظنا أنها خضعة لقوة شد من يد الشخص الذي يلوّح بها، تتجه نحو المركز. وبحسب قانون نويتن الثالث، فإن الكرة تؤثر على يده بقوة مساوية بالقيمة ومعاكسة بالاتجاه، أي بعيداً عن المركز. ولذلك يعتقد البعض أن هناك قوة طاردة أو نابذة. ولو أن الشخص أفلت الكرة من يده لطارت كمقذوف باتجاه مماسي للدائرة لحظة الإفلات، كما في الشكل (1-4 ب)، إلاّ أننا نعتقد أنها تطير بعيداً عنا لأننا عندما نتابع حركتها بالعين نراها تبتعد عنا فنقول إنها خاضعة لقوة طاردة وهذا غير صحيح.

ولابأس من الإشارة إلى أن العلاقة (1-9) تعطي قيمة القوة المركزية وليست قوة جديدة. وبالتالي فعندما يكون هناك جسم يدور على دائرة، أي خاضع لقوة مركزية، فإن أول مايجب أن نسأله هو مامصدر هذه القوة ومالذي يدوّر هذا الجسم؟ ففي حالة القمر الذي يدور حول الأرض في مسار دائري نلاحظ أن مصدر القوة المركزية المؤثرة عليه هو الأرض التي تجذبه بقوة الجاذبية. وكذلك في حالة الإلكترون الذي يدور حول البروتون

في ذرة الهيدروجين حيث يخضع لقوة مركزية مصدرها البروتون الذي يجذبه بقوة كولوم الكهربائية، وهكذا.

7-1 الشغل والطاقة

درسنا حتى الآن طبيعة حركة الأجسام، ووجدنا أنه عندما تؤثر محصلة قوى لاتساوي الصفر على جسم فإنه يتحرك بشكل أو بآخر. ونتساءل الآن ما الفائدة من حركة وتحريك الأجسام؟ ولماذا نزعج أنفسنا بهذه التفاصيل؟ تأتي الإجابة في شقين؛ أولاهما أن الإنسان بفضوله الدائم يسعى لتفسير الظواهر الطبيعية وأسبابها وماينتج عنها. وثانيهما أن الإنسان يريد الاستفادة بما أنعم الله عز وجل علينا وسخره لنا، فهو يريد سيارة تنقله من مكان لآخر، ومصابيح كهربائية لإنارة المدن والبيوت، وغير ذلك. وبالطبع فإن كل هذا لن يتحقق مالم نعرف كيف نتحكم بالأشياء ونستفيد من حركاتها، سواء كانت إلكترونات صغيرة تعطينا إشارات كهربائية أو أجسام كونية تسبب دوران الأرض وتعاقب الليل والنهار.

لذلك سندرس فيما يلي كيف نستفيد من حركة جسم فنعرّف **طاقة الحركة**، وكيف نستفيد من تحريكه فنعرّف **الشغل** و**طاقة الوضع**. كذلك نعرف مبدأ حفظ الطاقة ثم نعرّف أبسط الآلات التي استخدمها الإنسان ونقارن بينها بحساب **القدرة** الناتجة عن كل واحدة ومردودها.

7-1 أ الشغل

إذا اثرت قوة F على جسم خلال انتقاله مسافة s فإننا نعرف شغلها بالعلاقة

$$W = Fs\cos\phi \qquad (10\text{-}1)$$

حيث تدل ϕ على الزاوية بين اتجاه القوة واتجاه الحركة.

وتعطى وحدة الشغل في نظام الوحدات الدولي بالجول (Joule).

ونلاحظ من العلاقة (1-10) أنه إذا كانت الزاوية أقل من 90° درجة فإن هذه القوة تعطينا شغلاً موجباً بينما لو صارت الزاوية أكبر من ذلك فإن القوة تعاكس اتجاه الحركة مما يجعلها تضيع الشغل الذي نقوم به. مثل قوة الاحتكاك التي تنشا بين صندوق نسحبه على أرض الغرفة حيث نلاحظ أنها تحاول منعه عن الحركة ونتعب خلال سحبه أي أن بعضاً من شغلنا يضيع بسبب هذه القوة.

مثال 1- 4

ماشغل قوة مقدارها 20 نيوتن تميل بزاوية 37 فوق الأفق عندما تؤثر على جسم يسير على طريق أفقية مسافة 10 متر؟

الحل:

نلاحظ أن الزاوية في هذا المثل هي مباشرة 37 درجة ولذلك نستخدم العلاقة (1-10) ونكتب الشغل:

$$W = Fs\cos\phi \Rightarrow$$
$$W = (20)(10)\cos 37° = 200(0.8)$$
$$W = 160\ \text{J}$$

سيارة تشد بيت متنقل: هل يحتاج لشغل كبير ياترى؟

1- 7 ب طاقة الحركة وطاقة الوضع

تتميز حركة أي جسم كسيارة مثلاً أنه يملك طاقة بسبب حركته. ومن المعروف أنه كلما كانت سرعة الجسم كبيرة كلما كانت هذه الطاقة كبيرة. وكذلك، كلما كانت كتلته كبيرة كانت طاقته كبيرة. فطاقة كرة صغيرة تتحرك بسرعة بطيئة أقل بكثير من طاقة شاحنة تندفع بسرعة عالية. ولهذا نعرف **طاقة حركة** جسم كتلته m وسرعته v بالعلاقة:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (11\text{-}1)$$

ووحدة هذه الطاقة طبعا مثل الشغل تعطى بالجول، وتسمى طاقة حركة لأنها ناتجة عن حركة الجسم.

لكن لو افترضنا أن لدينا كيس رمل ساكن على أرض الشارع فإننا لانشعر بالخوف من تركه هكذا لأنه لن يتحرك ولن يسبب أذى وهو بهذا الوضع، لكن لو رفعناه لسطح بناء مرتفع ووضعناه على حافته لشعرنا أنه صار يملك طاقة كبيرة ونخشى أن يسقط على رأسنا لاسمح الله. وهذه الطاقة التي يملكها هذا الجسم نتجت ولاشك بسبب ارتفاعه ووجود قوة جاذبية من الأرض تحاول إيقاعه للأسفل. بحيث نقول إن الجسم يملك طاقة تعطى بالعلاقة:

$$U = mgh \qquad (1\,2\text{-}1)$$

تسمى هذه الطاقة **طاقة وضع** ووحدتها ايضاً هي الجول.

أحيراً لو كان الجسم متحركاً بسرعة معينة وعلى ارتفاع ما من سطح الأرض فإنه ولاشك يملك طاقة حركة وطاقة وضع بنفس الوقت. ولذلك نعرف **الطاقة الميكانيكية الكلية** (أي الناتجة عن حركته وتحريكه) ونكتب هذه الطاقة بالشكل:

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 + mgh \qquad (1\ 3\text{-}1)$$

1–8 مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية

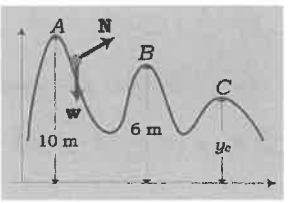
إذا تحرك جسم بحيث انه لاتوجد قوى تضيع طاقته، كالاحتكاك مثلاً، فإن طاقته الميكانيكية الكلية تبقة ثابتة دائماً، بحيث انه إذا انتقل من موضع اول 1 إلى موضع ثاني 2 فإن طاقته تبقى كما هي ونكتب:

$$E_1 = K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \qquad (1\ 4\text{-}1)$$

يطلق على العلاقة (1-15) اسم **مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية.**

مثل 1–5

ينزلق جسم كتلته 1 kg على المنحني الموضح بالشكل (1-5) مبتدءاً عند A من السكون. ماسرعته عند B وما ارتفاع C إذا وصل إليها بسرعة 2 m/s بفرض أن الاحتكاك مهمل؟



الشكل (1-5)

الحل: بما أن الاحتكاك مهمل لذا تكون الطاقة الميكانيكية الكلية محفوظة ونكتب:

$$E_A = E_B = E_C$$

ولكن

$$U_A = mgy_A \quad K_A = 0 \;\Rightarrow\; E_A = mgy_A$$

لأن v_A=0. كما أن:

$$E_B = mgy_B + \tfrac{1}{2}mv_B^2$$

وبوضع $E_A = E_B$ والتعويض عن القيم المعطاة نجد v_B=8.8 m/s.
وبنفس الشكل، نكتب طاقة النقطة C:

$$E_C = \tfrac{1}{2}mv_C^2 + mgy_C = E_A$$

وبملاحظة أن v_C=2 m/s وتعويض القيم المعطاة نجد y_C=9.8 m.

9-1 القدرة

لنفترض أننا نراقب عمالاً يحملون أكياس رمل من الطابق الأول للطابق الخامس من بناء. فنرى عاملاً يرفع أربعين كيساً خلال ساعة ونصف، وآخر يرفع خمسة وعشرين كيساً بخمس وخمسين دقيقة، وثالث يرفع كيسين كل أربع دقائق. ونتساءل أيهم أكثر كفاءة؟ لاشك بأن الإجابة مباشرة صعبة بعض الشئ لكن لو حسبنا الشغل الذي يقوم به كل عامل خلال نفس الزمن

لصار بالإمكان مقارنتهم. ومن هنا نعرف مقدار الشغل المبذول من قبل اي شخص و آلة بأنه قدرة هذا الشخص أو الآلة.

أي أننا نكتب **القدرة المتوسطة** *(average power)* بأنها الشغل المبذول على الزمن اللازم لبذله، أي:

$$P_{av} = \frac{W}{t} \qquad (15\text{-}1)$$

وتعطى وحدة القدرة بـــ جول/ثانية=وات (W=J/s).

وكثيراً مانستخدم الكيلووات($kW=10^3$ W) أو ميغاوات ($MW=10^6$ W) للتعبير عن القدرة الكهربائية المستهلكة في المنازل والمصانع.

1-10 الآلات ومردودها

كان الإنسان القديم أول آلة في الطبيعة، فكان يكسر الحجارة وينقلها من مكان لآخر، ويقطع الأشجار ويحرث الأرض، وهكذا. ومما لاشك فيه أن هذا ليس بالأمر السهل ويتطلب قوة وجهداً كبيرين. ولذلك قام الإنسان بتصنيع آلات تساعده في عمله كرفع الأجسام ونقلها وغيره.

ومن أبسط الآلات التي استخدمها الإنسان **المستوي المائل** حيث يمكن سحب جسم عليه لارتفاعات مختلفة مع بذل قوة صغيرة نسبياً. وقد استخدم العمال المصريون القدماء هذه الوسيلة لبناء الأهرامات، إذ قاموا برفع تلك الحجارة الضخمة بواسطة مستويات مائلة يزداد طولها مع ارتفاع الهرم، كما في الشكل (1-6) الذي نلاحظ منه أن الشغل اللازم لرفع حجر كتلته m لارتفاع h يساوي mgh لكن القوة المبذولة ستكون mg لورفعناه للأعلى مباشرة أو $mg\sin\theta$ لو سحبناه على المستوي المائل. وبالطبع فكلما قل هذا الميل

كلما صارت القوة المطلوبة أقل، وهذا مهم حتى يمكن رفع تلك الأحجار الثقيلة إلى تلك الارتفاعات.

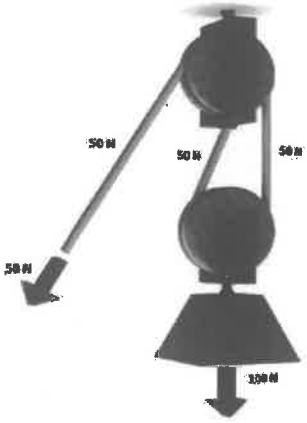
الشكل (1-6)

ومن الآلات الأخرى التي كانت أول ما استخدم الإنسان الحجر والعصا التي تطورت لرافعة السيارة في العصر الحديث، كما في الشكل (1-7)، حيث تطبق قوة F_1 عند الطرف البعيد ليد الجهاز المرتكزة عند o فترفع السيارة الثقيلة F_2 عند النهاية الأخرى القريبة. وحيث أن عزم قوة يتناسب طرداً مع ذراعها وهذا ما توفره هذه الآلة البسيطة لأن ذراع F_1 أكبر من ذراع F_2 وبالتالي يمكن رفع (أو تدوير) جسم كتلته أكبر من القوة F_1 بهذه الوسيلة الفعالة.

الشكل (1-7)

وهناك أيضاً آلة بسيطة هي البكرة والحبل (آلة آتوود) التي تستخدم لرفع الأجسام حيث يربط الجسم المراد رفعه بحبل يمر حول البكرة المثبتة عند

الوضع المطلوب رفع الجسم إليه، بينما يُسحب الطرف الآخر للحبل وهو يميل بزاوية كبيرة حتى تكون القوة اللازمة أصغر من وزن الجسم.



آلة أتوود لرفع الأجسام

وتتميز الآلات عن بعضها بمردودها *(efficiency)* الذي يساوي نسبة الطاقة المأخوذة من الآلة (W_{in}) إلى الطاقة المعطاة لها (W_{out})، أي أن:

$$e = \frac{W_{out}}{W_{in}} \qquad (40\text{-}5)$$

فإذا قامت آلة أو شخص بعمل ولم يستفاد إلاّ من جزء منه فإن مردود هذه الآلة أو الشخص يساوي نسبة ماتم من الشغل إلى الشغل الفعلي المبذول.

الآلات جزء مهم من حياة الإنسان في العصر الحديث

مثل 1-6

يُستعمل محرك قدرته 10 kW لرفع مصعد كتلته 1800 kg مسافة 10 m. ماشغل هذا المحرك خلال رفع المصعد إذا كان مردوده 60% وما الزمن الذي سيستغرقه لرفع المصعد؟

الحل: لنحسب الشغل الذي نريد المحرك أن يقوم به وهو رفع المصعد مسافة 10 m فنكتب:

$$W_{out} = mgh = (1800\ \text{kg})(9.8\ \text{m/s}^2)(10\ \text{m})$$
$$= 17.6\times10^4\ \text{J}$$

وبما أن مردود المحرك 60% لذلك نجد الشغل الذي يستهلكه المحرك:

$$e = \frac{W_{out}}{W_{in}} = 0.6 \ \Rightarrow\ W_{in} = \frac{W_{out}}{0.6} = 29.4\times10^4\ \text{J}$$

فالمحرك يستهلك 294 kJ حتى يعطينا 176 kJ وهذه خسارة كبيرة للطاقة!

أما الزمن اللازم لرفع المصعد فنجده بكتابة:

$$P = \frac{W_{ouy}}{t} \ \Rightarrow\ t = \frac{W_{out}}{P} = \frac{17.6\times10^4\ \text{J}}{10\times10^3\ \text{W}} = 17.6\ \text{s}$$

ملخص الفصل

السرعة المتوسطة $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

التسارع المتوسط $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

قوانين الحركة بتسارع ثابت

$$\left.\begin{aligned} v &= at + v_0 \\ x &= \tfrac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0 \\ v^2 - v_0^2 &= 2as \end{aligned}\right\}$$

قانون نيوتن الأول $F_T = 0 \quad \Rightarrow \quad v = \text{ثابت}$

قانون نيوتن الثاني $F_T = ma$

قانون نيوتن الثالث: لكل فعل (من جسم أول على جسم ثاني) رد فعل(من الجسم

الثاني على الجسم الأول)

وزن جسم $w = mg$

القوة المركزية $F_c = m\frac{v^2}{r}$

شغل قوة ثابتة $W = Fs\cos\phi$

الطاقة الحركية $K = \frac{1}{2}mv^2$

طاقة الوضع لقوة الجاذبية $U(y) = mgy$

الطاقة الميكانيكية $E = K + U$

حفظ الطاقة للقوى المافظة $E_1 = E_2$

القدرة المتوسطة $P_{av} = W / t$

مردود الآلة $e = W_{out} / W_{in}$

أسئلة

1-1 ما المسافة التي تقطعها سيارة تسير بسرعة 80 km/h خلال انشغال سائقها بالنظر إلى حادث على جانب الطريق لمدة ثانية واحدة؟

2-1 ركض كارل لويس مسافة 100 m خلال 10 s، وركض هشام الغروج مسافة 5000 m بزمن 13 دقيقة و49.39 ثانية في الألعاب الأولمبية عام 2004. ما السرعة المتوسطة لكل منهما؟ ما زمن كارل لويس لقطع 5000 m لو استطاع المحافظة على سرعته لذلك؟

3-1 تبتعد مجرة كونية بسرعة 21,600 km/h عن مجرتنا (درب التبانة) التي تبعد عنها حالياً حوالي 1.4×10^9 سنة ضوئية. ما الزمن الذي استغرقته هذه المجرة للوصول إلى هذا البعد بفرض أنها تسير بسرعة ثابتة؟ (السنة الضوئية هي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة كاملة).

4-1 يعتبر الفهد أسرع كائن حي إذ تصل سرعته إلى 100 km/h، بينما يعتبر الظبي ثاني أسرع كائن حي إذ تصل سرعته إلى 88 km/h. (أ) ما الزمن اللازم لفهد ليلحق بظبي يبعد عنه 50 m وما المسافة التي سيقطعها الأخير خلال ذلك؟ (ب) بفرض أن الفهد لايستطيع العدو بهذه السرعة لأكثر من 20 s بينما يستطيع الظبي المحافظة على سرعته لفترة أطول بكثير. ما أكبر مسافة يمكن أن تفصل بينهما ليستطيع الأول اللحاق بالثاني؟

6-1 تمر سيارة بسرعة 20 m/s بالقرب من إشارة ضوئية في اللحظة t=0 وبعد خمس ثواني تمر سيارة أخرى بالقرب من نفس الإشارة وبنفس الاتجاه بسرعة 30 m/s. (أ) ارسم تغيرات المسافة x مع الزمن لكل سيارة. (ب) ما الزمن اللازم للسيارة الثانية لتلحق بالأولى وما المسافة التي ستكون الأخيرة قطعتها خلال ذلك؟

7-1 يقذف رائد فضاء على سطح القمر حجراً نحو الأعلى بسرعة ابتدائية 10 m فيلاحظ أنه يعدو إليه بعد 4 s. ماتسارع الجاذبية على سطح القمر؟

8-1 يُقلت طفل يقف على جسر حجراً من يده فيرتطم بالماء بعد 3 s. ما ارتفاع الجسر؟

9-1 يخضع جسم كتلته 15 kg موضوع على طاولة أفقية ملساء لقوة أفقية مقدارها 30 N. ماتسارع الجسم وما المسافة التي يقطعها خلال 10 ثانية إذا بدأ من السكون وماسرعته عندئذ؟

10-1 ماوزن شخص كتلته 60 kg على سطح القمر؟

12-1 تؤثر قوة أفقية موازية لمحور السينات مقدارها 200 N على جسم كتلته 1 kg موجود عند نقطة المبدأ لمدة خمس ثواني فقط ثم تختفي. (أ) ماموضع الجسم وسرعته لحظة زوال القوة؟ (ب) ماسرعة الجسم إذا أعدنا تطبيق القوة بعد 15 ثانية من بداية الحركة؟

13-1 ما القوة المؤثرة على جسم كتلته 0.2 kg يدور على دائرة نصف قطرها 20 cm بسرعة 10 m/s؟

14-1 تحتاج سيارة لقوة 300 N لتتحرك على طريق أفقية. ما الشغل اللازم لدفعها مسافة 5 m؟

15-1 ما الشغل الذي يقوم به رباع في رفعة الخطف عندما يرفع 260 kg مسافة 2 m؟ وكم يعمل للبقاء في ذلك الوضع لمدة 20 ثانية؟

15-1 ما الشغل اللازم لقص قطعة خشب بمنشار يحتاج لقوة 40 N لدفعه مسافة 15 cm للأمام والخلف؟

17-1 تسقط بيضة وزنها 0.5 N من سطح بناء ارتفاعه 15 m. ماسرعتها لحظة ارتطامها بالرصيف؟ مامتوسط القوة المؤثرة على البيضة لو سقطت على أرض رملية ناعمة فاخترقتها 30 cm لتقف؟

18-1 يرفع ثلاثة عمال عارضة خشبية وزنها 3000 N لسطح بناء ارتفاعه 30 m بواسطة رافعة مؤلفة من بكرة وحبل. ما الزمن اللازم لرفع العارضة إذا كانت قدرة كل عامل 200 W ومردود الرافعة 70%؟

الفصل الثاني

المادة والحرارة

محتويات الفصل

مقدمة

خواص المادة

تركيب المادة

حالات المادة: الكثافة والضغط

الضغط في السوائل الساكنة وقاعدة باسكال

تطبيقات لقاعدة باسكال وعلاقة المانومتر

الرافعة الهيدروليكية وقاعدة الأواني المستطرقة وقاعدة أرخميدس والتوتر السطحي

تحريك السوائل ومعادلة برنولي

المرونة، حدود المرونة والتشوه ونقطة التصدع

الحرارة

الطاقة الحرارية ودرجة الحرارة وميزان الحرارة

تأثير الحرارة على المواد: التمدد الطولي والتمدد السطحي والتمدد الحجمي

التبادل الحراري وقانون المسعر الحراري

تغير الحالة وانتقال الحرارة بالتوصيل والحمل والإشعاع

ملخص الفصل

أسئلة

تمهيد

تتميز المواد المختلفة عن بعضها بعدة خواص منها الكثافة والصلابة والمرونة. وتعتمد هذه الخواص على مايحويه الجسم من طاقة وكيف تتحرك ذراته وجزيئاته. وتعتمد هذه الطاقة والحركة بشكل رئيس على حرارة الجسم أي الطاقة الحرارية التي يملكها. ولهذا فإن هناك ارتباط وثيق بين حالة المادة وحرارتها. وسندرس في هذا الفصل نوعية الترابط بين ذرات الأجسام وانعكاس ذلك على حالته وخواصه.

ونبدأ هذه الدراسة بتعريف الحرارة وتأثيرها على الجسم ثم نعرف الكثافة والمرونة للأجسام المختلفة.

خواص المادة

2-1 تركيب المادة

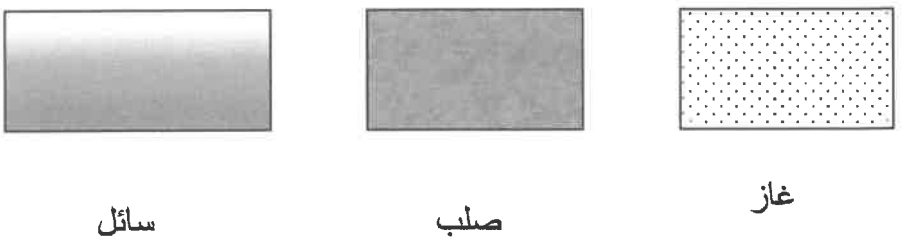
المادة جسم يحتل حيزاً من الفضاء، كسيارة تسير في الشارع وجهاز تلفاز في البيت وكرسي يجلس عليه الطالب، وغيرها. وقد تساءل الإنسان منذ القدم عن ماهية هذه المادة ومم تتركب. ولو أننا قمنا بتجزئة قطعة ورق إلى النصف ثم نصف النصف، وهكذا دواليك، فهل يمكن أن نصل إلى جزء صغير لايمكن تجزأته؟ لقد اعتقد القدماء أنه لايمكن تجزئة المادة إلى مالانهاية بل نصل لجسيم غاية في الصغر أطلق عليه اسم **ذرة** (atom) ويعني باليونانية الجسم غير القابل للانقسام. وفي أوائل القرن التاسع عشر وبعد تجارب عديدة على العناصر في الطبيعة وضع الكيميائي دالتون نظرية عن المادة بفرض أنها مؤلفة من ذرات، وتعزز ذلك فيما بعد بالتجارب

والدراسات التي أجراها العلماء منذ ذلك الوقت، وبالفعل تم تصوير الذرات بواسطة المكبر الإلكتروني فتبين أن أبعادها لاتتجاوز عشـــرات النانومتـــر (10^{-9} m). كما تبين أن الذرة ليست غير قابلة للانقسام كما افترض ديمقراطيس بل تتألف من إلكترونات تدور حول نواة ثقيلة نسبياً في مسارات شبه دائرية. وتتحد الذرات في العناصر لتشكل مايسمى **الجزئ** (molecule) كجزئ الهيدروجين H_2، والأوكسجين O_2، والماء H_2O، وغيرها. وتختلف المواد عن بعضها حسب تركيب ذراتها وارتباطها ببعضها، فبعض الذرات متاسكة جدا وتبقي الجسم صلبا دائما، بينما بعض المواد ذراتها متوسطة التماسك فلا تحافظ على المسافات بينها. وهناك عناصر قوة تماسك ذراتها ضعيفة بحيث نقول إن ذراتها حرة، وهذه هي الغازات. وهناك عوامل أخرى كثيرة تتحكم في طبيعة العناصر سندرسها في فصول لاحقة. أما في هذا الفصل فسننظر كيف تتغير المادة عند التسخين و التبريد وما الذي يحصل لها نيجة لذلك. كما ندرس تاثير الإجهاد أو الشد عليها وكيف تجابه ازدياد الضغوط عليها. ونعرف الخواص الساس للمادة من كثافة ودرجة حرارة وغيرها.

توليد الحرارة بفرك اليدين لترتفع درجة حرارة اليد

2-2 حالات المادة

تختلف المواد في الطبيعة عن بعضها بشكل واضح، فبعضها خفيف وبعضها ثقيل، وهناك الصلب منها والمائع، وبعض الأجسام لين طري وبعضها قاس شديد. فما الذي يعطي المادة خواصها هذه؟ وما الذي يجعل الأجسام تختلف عن بعضها بهذا الشكل؟ لقد ميز الإنسان ثلاث حالات أساس للمادة هي **الصلبة** (solid) و**السائلة** (liquid) و**الغازية** (gas). وتختلف هذه الحالات عن بعضها بحسب قوى ترابط ذرات وجزيئات الجسم فيها. ففي الأجسام الصلبة تكون هذه القوى كبيرة جداً بحيث تقيد حركة الذرات والجزيئات بشكل كبير فيحافظ الجسم على شكله تماماً عند درجة حرارة معينة. أما في السوائل فإن قوى الترابط الجزيئي أضعف نسبياً ولذا تتحرك الجزيئات والذرات بشكل محدود بحيث يأخذ السائل شكل الإناء الموضوع به. وفي الغازات فإن قوى الترابط بين ذرات الغاز تكاد تكون معدومة بحيث يمكن اعتبار كل ذرة فيه حرة تماماً لتتحرك بحرية وينتشر الغاز في كافة أرجاء الحجم الذي يوضع فيه، كما في الشكل (2-1). كما أن السوائل والأجسام الصلبة غير قابلة للإنضغاط بحيث أنه من الصب تغيير حجمها، أما الغازات فيمكن ضغطها بسهولة وتتقلص وتتمدد مع الحرارة مثلاً.



الشكل (2-1): حالات المادة الثلاث

3-1 الكثافة

هناك معادن خفيفة كالأمنيوم بينما هناك معادن ثقيلة كالرصاص والحديد، وهناك أجسام طرية يمكن ليها بسهولة كالورق والكرتون وهناك أجسام شبه مستحيل أن نطويها كالبلاستيك والخشب المقوى. ولو حاولت أن تحمل قطعة خشب وقطعة رصاص لهما نفس الحجم تماماً للاحظت أن الأخيرة أثقل من الأولى بكثير، وكذلك لو قارنت قطعتين متماثلتين من الألمنيوم والذهب لوجدت أن الأخيرة أثقل. فلماذا؟ لاشك أن لنوع العنصر علاقة بذلك. ولتركيب ذراته وتراصها أهمية في هذه الخاصة الغريبة التي يملكها. إن سبب ذلك أن ذرات الرصاص تكون مرصوصة بقرب بعضها بشكل أكبر بالمقارنة مع الخشب، وكذلك ذرات الذهب بالمقارنة مع الألمنيوم، لذا نقول إن كثافة الرصاص أكبر من كثافة الخشب، وكثافة الذهب أكبر من كثافة الألمنيوم. ونعرف فيما يلي مانعنيه بكلمة كثافة للعنصر.

تمثل الكثافة كمية المادة الموجودة (عدد الذرات والجزيئات) في واحدة الحجم، أي نسبة كتلة جسم M لحجمه V، بحيث نكتب:

$$\rho = \frac{M}{V} \qquad (1\text{-}2)$$

وتعطى وحدة الكثافة في نظام الوحدات الدولي بالكيلوغرام لكل متر مكعب، أي بـــ kg/m^3، فكثافة الماء العادي تساوي $1000\ kg/m^3$ وهذه تعادل $1\ g/cm^3$ ، أي لو أحضرت علبة ابعادها 1 سم بـــ 1 سم بـــ 1 سم وملأتها ماءاً لكانت كتلة الماء فيها 1 جرام فقط. بينما تصل كثافة الذهب لـــ $19300\ kg/m^3$ أي أكبر من الماء بعشرين مرة تقريباً.

وتعطى في كثير من الأحيان **الكثافة النسبية للأجسام** ρ_{rel} مقارنة بالماء، أي:

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{obj}}{\rho_{H_2O}} = \frac{\rho_{obj}(\text{kg/m}^3)}{1000} \qquad (2\text{-}2)$$

حيث يحصل الإنسان على شعور بمعنى كلمة كثافة لأي مادة بملاحظة فيما إذا كانت تطفو أو تغرق عند وضعها في الماء ذلك أن المواد الخفيفة بالنسبة للماء تطفو فوقه بينما تلك الثقيلة بالنسبة للماء تغرق فيه. فإن طفت نستنتج أن كثافتها أقل من الماء وإن غرقت تكون أكبر. فإذا علمت أن الكثافة النسبية للبنزين تساوي 0.739 فإنك تستنتج أنه يطفو على سطح الماء لأنه أخف منه، بينما كثافة الزئبق النسبية تساوي 13.6 مما يعني أنه أثقل من الماء العادي فيغرق فيه. وبنفس الشكل فغن كثافة ماؤ البحر النسبية اكبر من كثافة الماء العذب، وهذا يفسر لك سبب شعورك بأنك خفيف الوزن عندما تسبح في البحر.

نعطي الجدول (2-1) كثافة بعض المواد.

الجدول (2-1): كثافة بعض الأجسام

المادة	الكثافة (kg/m^3)	الكثافة النسبية	المادة	الكثافة (kg/m^3)	الكثافة النسبية
الألمنيوم	2700	2.70	الماء (4°C)	1000	1.00
الزئبق	13600	13.60	الهواء (0°C)	1.29	0.129
النحاس	8900	8.90	الهواء (25°C)	1.2	0.12
الحديد	7800	7.80	دم الإنسان (25°C)	1060	1.06

الفضة	10500	10.50	ماء البحر	1030	1.03
الرصاص	11300	11.30	زيت الزيتون (15°C)	920	0.92
الذهب	19300	19.30	البنزين (15°C)	739	0.739
الفولاذ	7800	7.80	الجليد	920	0.92

مثال (2-1)

تخلط كمية $300\ \text{cm}^3$ من الماء مع $600\ \text{cm}^3$ من البنزين. ماكثافة المزيج الناتج؟

الحل:

لإيجاد كثافة أي جسم أو مزيج يجب أن نجد كتلته الكليه وحجمه الكلي.

فنجد كتلة كل من الماء والبنزين بكتابة:

$$m_{water} = \rho_{water} V_{water} = (1000\,\text{kg/m}^3)(300\ \text{cm}^3) = (1\,g/\text{cm}^3)(300\,\text{cm}^3)$$

$$\Rightarrow \quad m_{water} = 300\,\text{g}=0.3\,\text{kg}$$

وكذلك بالنسبة للبنزين:

$$m_{benz} = \rho_{benz} V_{benz} = (739\,\text{kg/m}^3)(600\ \text{cm}^3) = (0.739\,g/\text{cm}^3)(600\,\text{cm}^3)$$

$$\Rightarrow \quad m_{benz} = 443\,\text{g} = 0.443\,\text{kg}$$

ومن ثم نجد الكتلة الكلية والحجم الكلي:

$$m_T = m_{water} + m_{benz} = (0.3 + 0.443)\,\text{kg} = 0.743\,\text{kg}$$
$$V_T = V_{water} + V_{benz} = (300 + 600)\,\text{cm}^3 = 900\,\text{cm}^3 = 9\times10^{-4}\,\text{m}^3$$

ولذلك تكون كثافة المزيج:

$$\rho = \frac{m_T}{V_T} = \frac{0.743\,\text{kg}}{9\times10^{-4}\,\text{m}^3} = 825.6\,\text{kg/m}^3$$

فهذا المزيج أخف من الماء.

4-2 الضغط

من المعروف أن الأحوال الجوية تتغير خلال السنة بشكل واضح وحتى خلال نفس اليوم. ونسمع في اخبار الجوية ن البلاد تتأثر بمنخفض جوي و مرتفع جوي. وهذا قد يؤدي لعواصف رملية أو تساقط الأمطار او برودة الجو وغير ذلك. ولو أنك تابعت يوماً النشرة الجوية على التلفاز، بخاصة أيام الشتاء حيث يظهر على الخارطة الجوية مناطق مرتفعة الضغط ومناطق منخفضة الضغط. فهل تستطيع فهم ذلك؟ كيف يؤثر الضغط الجوي ياترى على طبيعة الطقس؟ ونلاحظ عندما نأخذ سيارتنا أحياناً لتغيير إطار من إطاراتها بأن العامل يرفعها بواسطة رافعة يدوية بسيطة يقوم هو بتشغيلها بسهولة فترتفع السيارة وكأنها لعبة خفيفة بيده. فكيف يستطيع شخص رفع سيارة كبيرة بيد واحدة بهذا الشكل؟ هنا يأتي دور الفيزياء وتطبيقاتها لفهم كيفية عمل هذه الآلات وغيرها والاستفادة منها بأفضل السبل.

ولذلك سندرس في هذه الفقرة **الضغط** وعلاقته بالقوة وكيف نستخدمه ونسخره للقيام بأعمال كانت سابقاً تكاد تكون مستحيلة.

فمن المعروف أن المواد تتأثر بالقوى التي تؤثر عليها بحسب طبيعتها وشكلها ومقدار القوى المطبقة. لذلك نعرف **ضغط قوة** على جسم ما بالعلاقة:

$$p = \frac{F}{A} \qquad (3\text{-}2)$$

حيث A سطح الجسم الخاضع للقوة F التي نفترض أنها عمودية عليه، أو نأخذ المركبة العمودية منها إن كانت غير ذلك، كما هو مبين بالشكل (2-2 أ و ب).

(ب) مركبة القوة غير العمودية (أ) القوة عمودية

الشكل (2-2): ضغط قوة على جسم

وبمعرفة الضغط على سطح ما يمكن معرفة القوة العمودية المؤثرة عليه بكتابة:

$$F = pA \qquad (4\text{-}2)$$

وتعطى وحدة الضغط في نظام الوحدات الدولي **بالباسكال**-(B. Pascal, 1623 1662) ويرمز لها اختصاراً بـــ Pa وتساوي:

$$1\ \text{Pa} = 1\ \text{N/m}^2$$

ويعبر عن الضغط بوحدات أخرى منها:

4-2 أ **الضغط الجوي** (atm):

يعادل ضغط جوي واحد وزن اسطوانة من الهواء مساحة قاعدتها متر مربع ويمتد ارتفاعها من سطح البحر وحتى نهاية الغلاف الجوي (أي حوالي 10 كيلومتر). وقد وجد أن قيمة الضغط الجوي هي:

$$1\ \text{atm} = 1.01\times10^{5}\ \text{Pa}$$

فإذا كان الضغط في منطقة ما أكبر من الضغط الجوي فهذا يعني أن كمية الهواء هناك كبيرة بالمقارنة مع مناطق أخرى. أما المناطق منخفضة الضغط ففيها كمية أقل من الهواء الذي يتدفق إليها من المناطق الأعلى ضغطاً. وهذا هو سبب حركة الرياح وحدوث مايسمى بموجة برد في الشتاء مثلاً حيث يتدفق الهواء البارد من مناطق ضغطٍ مرتفع إلى مناطق ضغطٍ منخفض.

4-2 ب **البار** (bar) (أو الميلي بار):

يستخدم البارغالباً في علم الجو والطقس ويذكر في النشرات الجوية بكثرة، حيث يعادل البار ضغطاً جوياً واحداً تقريباً، وبالتحديد:

$$1\ \text{bar} = 1000\ \text{mbar} = 10^{5}\ \text{Pa}$$

ولذلك نسمع مقدم النشرة الجوية يقول إن الضغط في منطقة ما هو 980 ميلي بار مثلاً، أي أقل من الضغط الجوي، وهكذا.

4-2 ج **الميلمتر الزئبقي** (mmHg):

يستخدم الميلمتر الزئبقي لتقدير الضغط في المختبرات وموازين الضغط المخبرية، ويعادل الضغط الجوي بهذه الوحدة وزن اسطوانة من الزئبـــق

مساحـــة قاعدتـــها $1\ cm^2$ وارتفاعها 76 cm أو 760 mm، ولذلك نقول إن الضغط الجوي يساوي 760 مم زئبقي أي وزن هذا العمود من الزئبق، ونكتب:

$$1\ atm = 760\ mmHg$$

ويطلق على 1 mmHg في المختبرات المتخصصة اسم **التور** (torr)، أي أن:

$$1\ atm = 760\ torr = 760\ mmHg$$

مثال (2-2)

ماضغط الماء على قاع مسبح طوله 50 m وعرضه 10 m وارتفاعه 2 m ؟

الحل:

نحسب القوة الناتجة عن وزن هذا الماء فنكتب:

$$F = mg = (\rho V)g$$

حيث V حجم المسبح ويساوي الطول × العرض × الارتفاع، أي أن:

$$V = (50\ m)(10\ m)(2m) = 1000\ m^3$$

ومن ثم فالقوة المؤثرة على القاع هي:

$$F = (1000\ kg/m^3)(1000\ m^3)(9.80\ m/s^2) = 9.80 \times 10^6\ N$$

كما أن مساحة القاع تساوي الطول × العرض، أي $A = 500\ m^2$ ، لذا يكون الضغط عليه هو:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{9.80 \times 10^6\ \text{N}}{500\,\text{m}^2} = 19.6 \times 10^3\ \text{Pa}$$

وهذا ضغط صغير بالمقارنة مع الضغط الجوي (الذي كان يجب أخذه بعين الاعتبار ولكننا أهملناه في حسابنا هذا) ولذلك يستطيع الإنسان الغوص إلى قعر هذا المسبح بسهولة دون أن يتأثر كثيراً بضغط الماء عليه.

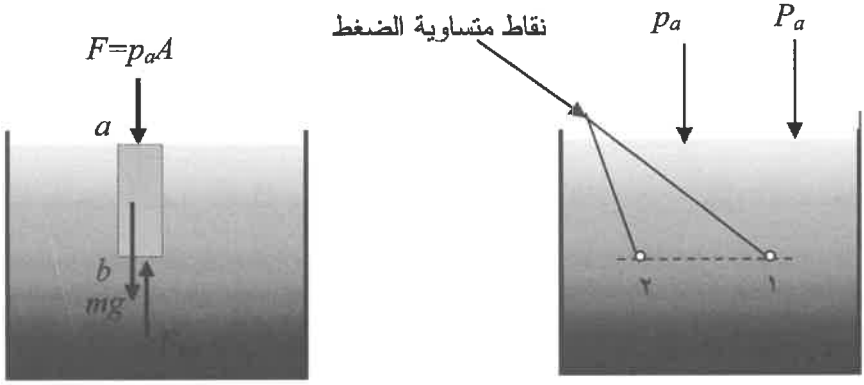
و لاتتغير كثافة الأجسام الصلبة والمائعة كثيراً مع الضغط لذا نقول إنها غير قابلة للإنضغاط (incompressible) بالمقارنة مع الغازات التي تنضغط بشكل واضح.

من جهة أخرى لو كتبنا وحدة الضغط بقوة على مسافة أي N/m للاحظنا بأنه لو ضربنا طرفي هذه النسبة بـــ m لصارت $N.m/m^3 = J/m^3$ أي طاقة على حجم، أي **كثافة الطاقة**. لذلك نستنتج أن ضغط سائل في منطقة ما يمثل كثافة الطاقة الناتجة عن ضغطه هناك.

5-2 الضغط في السوائل الساكنة وقاعدة باسكال

تبين لنا من المثال (2-1) أن أي سائل يضغط على الأجسام الموجودة فيه. ولكن هل تتأثر كل نقاط السائل والأجسام الموجودة فيه بالضغط الجوي أيضاً؟ للوصول لإجابة شافية سنفترض أن لدينا سائل ساكن في إناء، كما في الشكل (2-3)، فنلاحظ عندئذ مايلي:

أ- يخضع سطح السائل لوزن الهواء الذي فوقه، أي أن كل نقطة عليه تخضع للضغط الجوي الذي نرمز له بـــ p_a.



(أ) الضغط متساوي عند نفس الارتفاع (ب) الضغط مختلف على ارتفاعات متفاوتة

الشكل (2-3): الضغط في السوائل الساكنة

ب – تخضع النقاط الداخلية الواقعة على نفس الارتفاع في السائل لنفس الضغط لأنه لو لم يكن الأمر كذلك لتحرك السائل لوحده من مواضع الضغط المرتفع لمواضع الضغط المنخفض وهذا غير منطقي طبعاً ولايشاهد بأي حال. فالضغط عند النقطة 1 والنقطة 2 في الشكل (2-3 أ) واحد.

جـ– يختلف الضغط عند النقاط الواقعة على ارتفاعات مختلفة بحسب عمقها، حيث يكون الضغط في الأسفل أكبر من الضغط في الأعلى، أي أن الضغط عند النقطة b في الشكل (2-3 ب) أكبر من الضغط عند a. ويمكن تفسير هذا بسهولة إذا توهمنا جزءاً من السائل على شكل اسطوانة ارتفاعها h ومساحة قاعدتها A التي تقع عند النقطة b. عندئذ نعلل سبب سكون هذه الأسطوانة بأن محصلة القوى عليها تساوي الصفر. لكن القوى المؤثرة عليها للأسفل هي: قوة الضغط الجوي (p_aA) ووزن الاسطوانة mg. فحتى يبقى هذا العمود ساكناً يجب أن يؤثر عليه السائل من تحته بقوة F_{up} نحو الأعلى، أي أن:

$$F_{up} = mg + p_a A \tag{5-2}$$

وبملاحظة أن كتلة هذا العمود تساوي كثافته مضروبة بحجمه:

$$m = \rho V = \rho(Ah)$$

كما أن قوة السائل من الأسفل عند النقطة b هي:

$$F_{up} = p_b A$$

حيث p_b ضغط السائل عند النقطة b.
بتعويض قوة الدفع للأعلى في العلاقة (5-2) نجد أن:

$$p_b A = (\rho Ah)g + p_a A$$

وباختصار المساحة A تؤول العلاقة السابقة إلى:

$$p_b = p_a + \rho gh \tag{6-2}$$

فالضغط عند النقطة b يساوي الضغط الجوي مضافاً إليه الحد ρgh المتغير بحسب عمق النقطة b. وهذه نتيجة مهمة جداً نستنتج منها مايلي:
1- نلاحظ أن الضغط الجوي المؤثر على سطح السائل قد أثر ايضاً على النقاط الأخرى في العمق. لذلك نقول بأنه إذا أثر ضغط على سائل في أي نقطة منه فإنه ينتشر لبقية نقاط السائل. ومن جهة أخرى، لو كان الإناء مغلقاً لما أثر الضغط الجوي عليه، لأن غطاءه سيكون عازلاً بين السائل

وبين الجو الخارجي، لكن لو طبق ضغط ما على أي نقطة من السائل فإنه سينتشر إلى كل نقاطه أيضاً تماماً مثلما ينتشر الضغط الجوي فيما لو كان الإناء مفتوحاً. هذه هي **قاعدة باسكال** الذي تنص على مايلي: "إذا طبق ضغط على سائل ساكن في وعاء مغلق فإنه ينتشر إلى كل جزء من السائل وإلى جدران الوعاء الحاوي عليه".

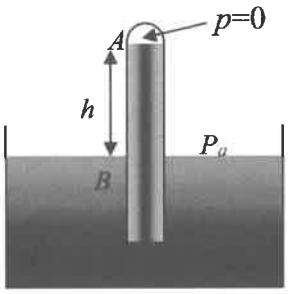
2- يزداد الضغط من نقطة لأخرى في سائل بحسب عمقها وكثافة السائل نفسه.

يطلق على العلاقة (2-6) اسم **قاعدة المانومتر**(manometer formula)، التي تكتب على النحو:

$$\Delta p = p_b - p_a = \rho g h$$

لتعطي **فرق الضغط** (gauge pressure) بين النقطتين a و b.

ويستفاد من العلاقة (2-6) لتصميم مقياس ضغط **توريشيلي** الموضح بالشكل (2-4)، حيث يقلب أنبوب مملوء بالزئبق في إناء فيه زئبق أيضاً. عندئذ يكون الضغط عند النقطة A مهمل (لأنه يساوي وزن بخار الزئبق المتجمع في تلك المنطقة وهو مهمل فعلاً) فيرتفع الزئبق في الأنبوب ليصير ارتفاعه محققاً للعلاقة (2-6)، حيث وجد أنه يساوي 76 سم عند سطح البحر ولهذا يقال إن الضغط الجوي 76 سم زئبقي.



الشكل (2-4): مقياس ضغط توريشيلي

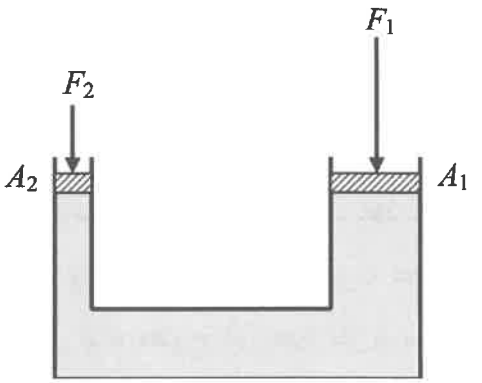
6-2 تطبيقات

كيف نستفيد من قاعدة باسكال؟ هل يمكن استخدامها لتصنيع ألآت مفيدة في حياتنا؟ لاشك ان هناك وسائل وأفكار وتطبيقات عديدة يمكن تسخيرها لجعل حياة الإنسان مريحة ومفيدة. وسنذكر هنا بعض التطبيقات المفيدة الآتية:

6-2 أ الرافعة الهيدروليكية:

يستفاد من قاعدة باسكال في تصميم الرافعة الهيدروليكية، كما هو موضح بالشكل (2-5) المستخدمة في محطات إصلاح وغسيل السيارات مثلاً، والمؤلف من أنبوب على شكل حرف U مملوء بسائل كالزيت وله ذراعان، بحيث تطبق قوة كبيرة F_1 على الذراع الأول ذو المساحة A_1 بينما تطبق قوة صغيرة F_1 على الذراع الآخر ذو المساحة A_2. عندئذ وبسبب تساوي الضغط عند كل نقاط السائل المملوء بينهما يكون:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \qquad (7\text{-}2)$$



الشكل (2-5): الرافعة الهيدروليكية

مثال (2-3)

ترفع سيارة كتلتها 1000 kg في مغسلة في رافعة هيدروليكيـــة على ذراع مساحـــة قاعدتـــه $0.3\ m^2$. ما القوة اللازم تطبيقها على الذراع الآخر إذا كانت مساحة قاعدته $0.01\ m^2$ ؟

الحل:

لمعرفة القوة اللازمة عند الذراع الصغيرة نلاحظ أن القوة المؤثرة على الذراع الكبيرة هي وزن السيارة، أي $(1000\ kg)(9.80\ m/s^2)$، ومن ثم نستخدم العلاقة (2-7) ونكتب:

$$\frac{F_1}{A_1}=\frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \frac{(1000\,kg)(9.80\,m/s^2)}{(0.3\,m^2)}=\frac{F_2}{(0.01\,m^2)}$$

ومنه:

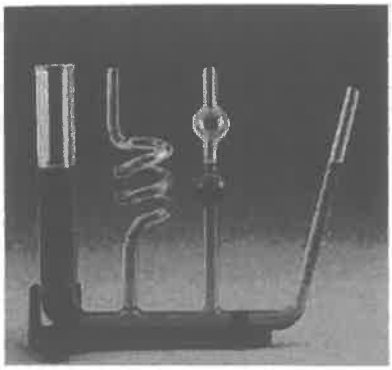
$$F_2 = 326.7\,N$$

وهذه قوة صغيرة تعادل وزن جسم كتلته 33 كغ فقط بالمقارنة مع وزن السيارة !

2-6 ب قاعدة الأواني المستطرقة:

نستنتج من علاقة المانوميتر بأن الضغط واحد عند كافة نقاط السائل الواقعة على ارتفاع واحد في إناء مفتوح. لذا لو اعتبرنا عدة نقاط عند نفس العمق في سائل موضوع في إناء مفتوح ذو عدة أذرع مختلفة المقاطع، كما في الشكل (2-6)، عندئذ نلاحظ أن الفرق في الضغط بين أي نقطة منها وسطح السائل سيكون واحداً. ولكن هذا الفرق بحسب علاقة المانومتر يساوي كثافة السائل مضروبة بتسارع الجاذبية وارتفاع السائل في تلك الذراع. وبما أن الكثافة هي نفسها وتسارع الجاذبية نفسه لذلك نستنتج أن السائل سيرتفع في

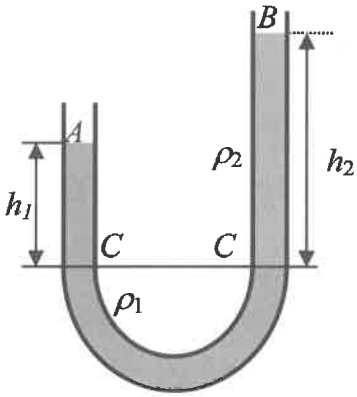
كافة الأذرع إلى نفس الارتفاع. يطلق على هذه النتيجة اسم **قاعدة الأواني المستطرقة.**



الشكل (2-6): قاعدة الأواني المستطرقة

كيف يتغير ارتفاع السوائل ذات الكثافات المختلفة؟

إذا كان هناك سائلان مختلفان في ذراعي انبوب واحد، كما في الشكل (2-7) فإن ارتفاع كل ذراع سيعتمد على كثافة السائل الموجود فيه. ذلك أنه إذا اعتبرنا النقاط A وB و C في الشكل (2-6) لوجدنا من العلاقة (2-6) أن:



الشكل (2-7)

$$p_B - p_C = \rho_1 g h_1$$

و

$$p_A - p_C = \rho_2 g h_2$$

ولكن $p_A = p_B = p_a$ (ضغط جوي) ولذلك يكون:

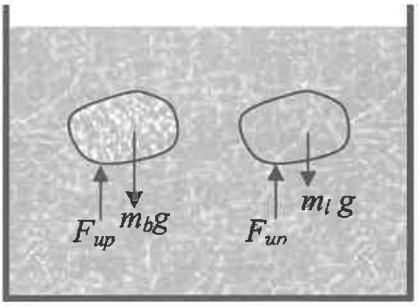
$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 \qquad (8\text{-}2)$$

أي أن السائل يرتفع في الذراع ذي الكثافة الأقل، والعكس بالعكس.

6-2 جـ قاعدة أرخميدس:

كثير من الناس سمع بأرخميدس بل ويتذكرون شيئاً اسمه قاعدة ارخميدس او ظاهرة الطفو. لكن القليل من يستطيع ان يشرح ذلك ولو بشكل منطقي أو إعطاء فكرة عما تعنيه. ومن المعروف لكل من يسبح أنه يشعر بأنه أخف في الماء مما هو عليه في الهواء. ويزداد هذا الشعور عندما نسبح في البحر (الماء المالح) بالمقارنة مع الماء العذب. ماسبب هذا ياترى؟ تروي القصص التاريخية أن العالم الإغريقي أرخميدس حل هذه المعضلة عندما طلب منه الملك معرفة فيما إذا كان تاجه من الذهب الخالص أم لا دون أن يحلله كيميائياً أو يؤدي لتشويهه بأي شكل من الأشكال وإلا ستكون العواقب وخيمة عليه. وبينما هو يستحم في حمام منزله (الذي كان مسبحاً في تلك الأيام)، يفكر في طريقة تمكنه من النجاة من هذه المصيبة، توصل لنتيجة بسيطة لكن مهمة وصرخ كلمته المشهورة: وجدتها (Eureka!). فماذا وجد؟ من المحتمل أنه وجد رقبته التي كان يخشى أن يفقدها لو فشل في حل مسألة التاج، والله أعلم. لكن من الثابت أنه استطاع أن يثبت أن "**الجسم المغمور في سائل كلياً أو جزئياً يخضع لقوة دافعة نحو الأعلى تعادل وزن السائل**

الذي أزاحه الجسم". هذه هي **قاعدة ارخميدس** المشهورة، ويطلق على القوة الدافعة اسم **قوة الطفو** (buoyancy force).



الشكل (2-8)

ويمكن إثبات قاعدة أرخميدس بسهولة لو اعتبرنا سائلاً كثافته ρ_l ساكن في إناء، كما في الشكل (2-8). نلاحظ أن محصلة القوى على أي حجم V_l من السائل نفسه بداخل الإناء تساوي الصفر. وحيث أن لهذا الحجم وزن $m_l g=(\rho_l V_l)g$ للأسفل فلاشك أن هناك قوة من السائل الذي تحته للأعلى تساوي:

$$F_{up} = m_l g = \rho_l V_l g \qquad (9\text{-}2)$$

فلو كان هناك جسم كثافته ρ_b مختلف عن السائل نفسه ويحتل (كلياً أو جزئياً) هذا الحجم منه فإنه سيخضع لنفس القوة الدافعة للأعلى، وبالتالي ستكون محصلة القوى عليه هي وزنه $m_b g$ للأسفل وقوة الطفو F_{up} للأعلى، كما في الشكل (2-8)، أي أن محصلة القوى عليه هي:

$$F_{Total} = w' = m_b g - F_{up}$$

حيث يدعى w' **الوزن الظاهري** للجسم (apparent weight).

فإذا كتبنا كتلة الجسم $m_b=\rho_b V_b$، وعوضنا عن F_{up} بقيمتها من (2-9)، عندئذ تؤول العلاقة السابقة إلى:

$$w' = (\rho_b V_b - \rho_l V_l)g \qquad (10\text{-}2)$$

تعطي هذه العلاقة **الوزن الظاهري** لجسم مغمور جزئياً أو كلياً في سائل، ولو وضعنا تحته ميزاناً وهو في السائل لوجدنا أن الميزان يقرأ هذه القيمة w'. أما لو طفا الجسم (float) عندئذ تتساوى قوة الطفو مع وزنه فيصير وزنه الظاهري معدوماً ويقرأ الميزان صفراً، وتؤول العلاقة (2-10) في هذه الحالة إلى:

$$\rho_b V_b - \rho_l V_l = 0$$

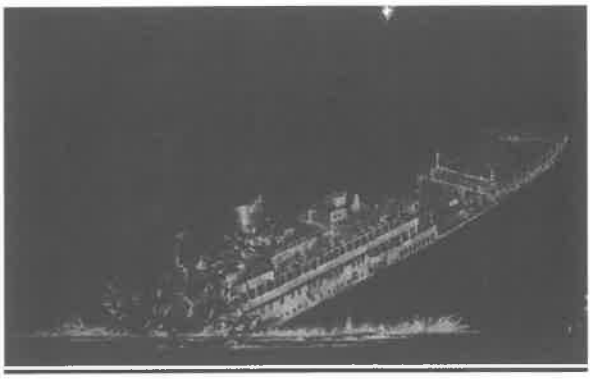
أي أن:

$$\rho_b V_b = \rho_l V_l \qquad (11\text{-}2)$$

للأجسام الطافية.

مثال (2-4)

من المعروف أن السفينة السياحية تايتانك غرقت في المحيط الأطلسي في أول رحلة لها بعد اصطدامها بجبل جليدي طاف فوق سطح الماء. مانسبة الجزء المغمور من هذا الجبل إلى الجزء الطافي إذا علمت أن كثافة الجليد $920\ \text{kg/m}^3$ وكثافة ماء المحيط $1030\ \text{kg/m}^3$؟



الشكل (2-9): غرق التايتانك

الحل:

بما أن الجبل الجليدي يطفو فوق سطح الماء لذا نستخدم العلاقة (2-11) مباشرة ونكتب:

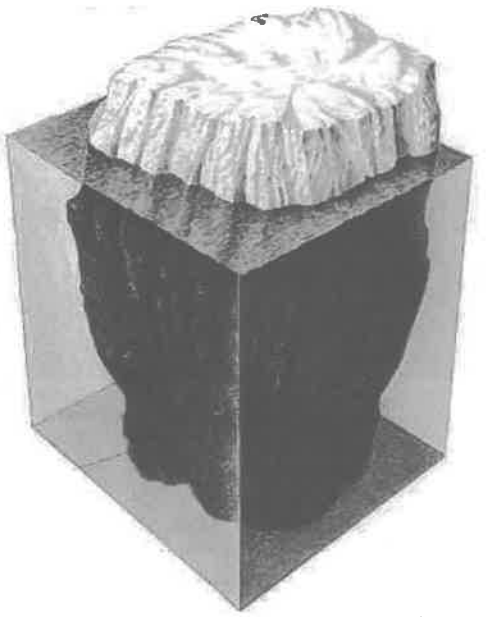
$$\rho_b V_b = \rho_l V_l$$

حيث V_l حجم الماء الذي أزاحه الجبل الجليدي، أي الجزء المغمور منه، و V_b حجم الجبل كله.

من ثم نكتب العلاقة الأخيرة بالشكل:

$$\rho_b V_b = \rho_l V_l \Rightarrow \frac{V_l}{V_b} = \frac{\rho_b}{\rho_l} = \frac{920\text{kg/m}^3}{1030\text{kg/m}^3} = 0.89$$

أي أن 89% من الجبل الجليدي كان مغموراً تحت الماء بينما لم يظهر منه على فوق الماء سوى 11% ! انظر الشكل (2-10).

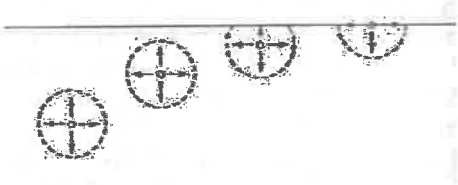


الشكل (2-10): نسبة الجزء الظاهر والجزء المغمور من جبل جليدي

2-6 د التوتر السطحي:

تعتبر ظاهرة التوتر السطحي من أجمل وأروع الظواهر التي نعيشها يومياً تقريباً دون أن نعي تماماً ماسببها وكيف تؤثر على صفحات الماء وقطرات المطر والندى الصباحي وغيرها. وهل لاحظت يوماً كيف تتجمع قطرات الندى على ورقة الشجر وتتدلى منها بكل جمال ولطف؟ أم هل انزعجت ليلة ما عندما بقي صنبور الماء يقطر ويقطر ويقطر طوال الليل ؟ لماذا تتجمع كل قطرة لفترة معينة ثم تسقط فجأة لتبدأ قطرة جديدة بالتشكل إلى أن تقع هي الأخرى وهكذا دواليك؟ إن سبب ذلك هو تجمع جزيئات الماء داخل القطرة تدريجياً فتكبر وتكبر لكن غشاءها الخارجي يبقى متماسكاً لدرجة معينة، كغلاف بالون هوائي، إلى أن يصل لدرجة تصير كمية السائل داخله أثقل من تماسكه فينفجر فجأة وتسقط القطرة من مكانها. تسمى هذه الظاهرة **التوتر السطحي** وتنتج عن قوى التماسك بين ذرات وجزيئات السائل وخصوصاً تلك القريبة من السطح. ويوضح الشكل (2-11) بعض ذرات

من سائل في إناء حيث نلاحظ أن كل ذرة داخلية تخضع لتأثير الذرات المحيطة بها من كل جانب. أما الذرات القريبة من السطح فتخضع لتأثير من كل الاتجاهات ماعدا الجهة العلوية. لذلك تسحب جزيئات السطح للداخل مما يؤدي لتقلصه بأكبر قدر ممكن ونقول إنه مشدود أو متوتر. ولهذا تسمى هذه الظاهرة بالتوتر السطحي. وينتج عن توتر ذرات السطح أنها تبقى متماسكة ما أمكنها ذلك فتتجمع ذرات القطرة تحت السطح إلى يصير وزن القطرة أكبر من قوة التوتر السطحي فتقع القطرة. وبنفس الشكل يمكن لدبوس أن يطفو عند وضعه برفق على سطح سائل طالما كان وزنه أقل من التوتر السطحي.



الشكل (2-11): التوتر السطحي

الشكل (2-12): تشكل قطرات الماء على ورقة الشجر بفعل قوى التوتر السطحي

7-2 تحريك السوائل

إن دراسة حركة السوائل هي من أصعب الحركات في الطبيعة للدراسة لصعوبة متابعة حركة جزيئات المائع كله، كما يتضح لمن يراقب فيضان نهر كبير أو تدفق جدول صغير، من جهة وعدم انتظام حركة هذه الأجسام من جهة أخرى.

إلا أن هناك حالات مثالية يمكن الاستفادة منها للحصول على معلومات مهمة عن حركة سوائل معينة كالدم في الشرايين وحتى الماء في الأنابيب المنزلية أو القنوات العريضة طالما لم تكن سرعتها عالية جداً.

ونخصص في كتابنا هذا على مايسمى حركة **السائل المثالي** (ideal fluid) فقط الذي نفترض أنه **عديم اللزوجة** (non-viscous) و**غير قابل للانضغاط** (incompressible). ويمكن اعتبار الكثير من السوائل، كالماء، محققة للشرط الثاني لأنها صعبة الانضغاط، إلا أن غالبيتها لزجة بمعنى أن هناك احتكاك بين ذراتها وجزيئاتها. وتسبب **اللزوجة** إجهاداً سطحياً (shear stress) بين طبقات السائل المتجاورة مما يؤدي لإعاقة حركتها بالنسبة لبعضها فتتداخل خطوط سريانها لتظهر الدوامات المعروفة عندئذ مما يجعل دراسة الحركة أكثر تعقيداً وصعوبة. لهذا سنفترض في هذه الفقرة أن السائل المدروس مثالي لالزوجة فيه وأن خطوط جريان جزئياته لاتتداخل مع بعضها. في هذه الحالة نقول إن **الجريان ثابت أو دائم** (steady flow).

فإذا كان لدينا سائل يجري في أنبوب مساحة مقطعه A بسرعة v، كما في الشكل (2-13)، عندئذ نلاحظ أن السائل يقطع في زمن ما t مسافة $h=vt$، ومن ثم تكون كمية السائل المتدفقة في الأنبوب خلال هذا الزمن تساوي حجم السائل المار مضروباً بكثافة السائل، أي:

$$m = \rho V = \rho A h = \rho A(vt)$$

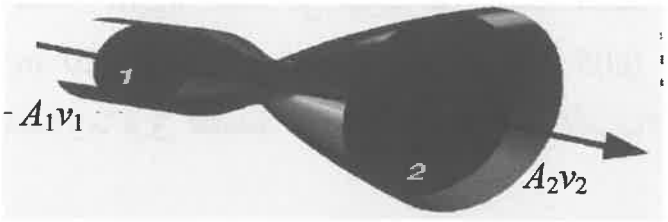
وبما أن السائل غير قابل للانضغاط فيجب أن تبقى m ثابتة في أي منطقة في الأنبوب، ولذلك إذا مر السائل في منطقة أولى مساحة مقطعها A_1 بسرعة v_1 ثم في منطقة ثانية مساحتها A_2 بسرعة v_2 عندئذ يجب أن تكون كمية السائل المارة في كلتا المنطقتين واحدة، أي أن:

$$A_1 \rho g v_1 = A_2 \rho g v_2$$

ومنه:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \qquad (12-2)$$

تسمى العلاقة السابقة **معادلة الاستمرار** (equation of continuity).



الشكل (2-13): جريان سائل مثالي

من جهة أخرى، تبين لنا سابقاً أن ضغط السائل p في موضع معين يمثل طاقة داخلية لواحدة الحجوم منه هناك، فلو كان لدينا سائل يجري بسرعة v على ارتفاع y فإن الطاقة الكلية لواحدة الحجوم منه تساوي طاقته الحركية $(\rho v^2/2)$ وطاقة وضعه $(\rho g y)$ وطاقة الضغط p (لاحظ أننا وضعنا الكتلة=الكثافة×الحجم، وحيث أننا نعتبر واحدة الحجوم لذا تصير الكتلة تساوي الكثافة)، أي أن الطاقة الكلية في واحدة الحجم من السائل عند موضع ما هي:

$$u = \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y + p$$

وبفرض أن السائل مثالي لا لزوجة فيه عندئذ يجب أن تبقى هذه الكمية ثابتة في أي موضع من مواضع جريان السائل، أي أن:

$$\tfrac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 + p_1 = \tfrac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 + p_2 \qquad (13\text{-}2)$$

تسمى هذه المعادلة **معادلة برنولي** (D. Bernoulli, 1700-1782) ولها تطبيقات أساس في تحريك السوائل.

مثال (2-5) حركة الدم في الشرايين وضغط الدم

يجري دم كثافته $1060\ \text{kg/m}^3$ في أنبوب أفقي مساحة مقطعه $0.2\ \text{cm}^2$ بسرعة $20\ \text{m/s}$ عندما يصل لاختناق مساحته $0.05\ \text{cm}^2$. ماسرعة الجريان هناك؟ وما فرق الضغط عن الجذع الرئيس من الأنبوب؟

الحل:

نستخدم معادلة الاستمرار لمعرفة سرعة السائل في الاختناق فنكتب:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \Rightarrow (0.2\,\text{cm}^2)(20\,\text{m/s}) = (0.05\,\text{cm}^2)v_2$$

أي أن:

$$v_2 = 80\,\text{m/s}$$

أما فرق الضغط بين الجذع الرئيس والاختناق في الأنبوب فنجده من معادلة برنولي حيث نلاحظ أن طاقة وضع الجاذبية واحدة في الجزأين ولذلك نكتب:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2 \Rightarrow p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2$$

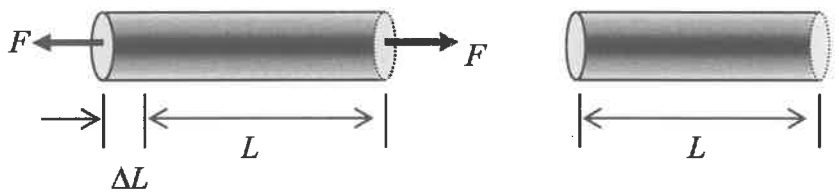
$$\Rightarrow p_1 - p_2 = \frac{1}{2}(1060\,\text{kg/m}^3)(6400-400)(\text{m/s})^2 = 31.8\times10^5\,\text{Pa}$$

نستنتج من هذا المثال بأنه على النقيض مما يعتقد الإنسان لأول وهلة فإن الضغط في الجذع الرئيس أكبر من الضغط في الاختناق. ولهذه النتيجة أهمية كبيرة على سريان الدم في الشرايين التي يمكن أن تتضيق نتيجة تراكم الدهون وغيرها من المواد فينخفض ضغط الدم في منطقة الاختناق مؤدياً لانغلاق الشريان كله والإصابة بنوبة قلبية وعواقب وخيمة أخرى، كما هو معروف في الطب.

8-2 المرونة

تتأثر المواد الصلبة بأي قوة تؤثر عليها بحسب قساوتها أو مرونتها، إذ يحتمل أن تتشوه خلال تطبيق القوة، فإن عادت لشكلها الأصلي بعد زوال القوة نقول إنها مرنة، وإن لم يحدث ذلك فإن المادة تتشوه بشكل دائم. وتعتمد مرونة المواد على طبيعتها بشكل أساس.

ولدراسة مفهوم المرونة نفترض أن لدينا قطعة اسطوانية من مادة طولها L ومساحة مقطعها A، فإذا طبقنا قوة F على قاعدتيها، كما في الشكل (2-14)، عندئذ يتغير طولها قليلاً بمقدار ΔL.



الشكل (2-14): تطبيق إجهاد على اسطوانة

ونعرف الكميتين التاليتين:

الإجهاد (stress): ويمثل ضغط القوة المؤثرة على قاعدة الاسطوانة، أي أن: **الإجهاد** = $\frac{F}{A}$.

الانفعال (strain): ويمثل التغير النسبي في طول الاسطوانة بسبب الإجهاد المطبق عليها، أي أن: **الإنفعال** = $\frac{\Delta L}{L}$.

ومن الواضح أن الانفعال يتناسب مع الإجهاد بشكل مباشر (ولو أُجهد أحدنا كثيراً فإنه ينفعل بسرعة!).

وتسمى نسبة الإجهاد إلى الإنفعال **معامل يانغ** في المرونة للأجسام ونكتب:

$$Y = \frac{(F/A)}{(\Delta L/L)} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}} \quad (14\text{-}2)$$

ونلاحظ أن وحدة معامل يانغ من العلاقة السابقة هي N/m^2.

ويعطي الجدول (2-2) معامل يانغ لبعض المواد.

الجدول (2-2): معامل يانغ لبعض المواد

المادة	Y (10^{10} N/m^2)
الألمنيوم	70
النحاس	110
النحاس الأصفر	90
الحديد	190
الرصاص	16
الفولاذ	200
التنغستين	360

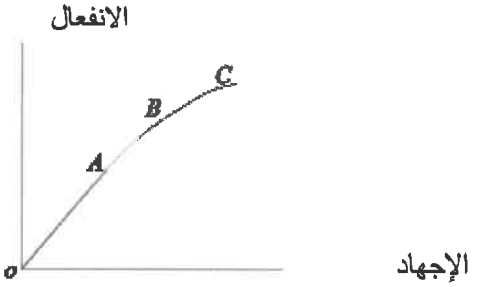
9-2 حدود المرونة والتشوه ونقطة التصدع

تتراوح انفعالات الأجسام مع الإجهادات المطبقة عليها بحسب نوعها، كما أسلفنا. ويوضح المنحنى الموضح بالشكل (2-15) تغير الإجهاد مع الانفعال لأسطوانة مثلاً، حيث نلاحظ ثلاث مناطق مميزة هي:

1- بين O و A: يتناسب الانفعال مع الإجهاد خطياً بحيث تعود الاسطوانة لطولها الأصلي عند زوال الإجهاد، تماماً مثل زنبرك. تسمى هذه المنطقة **منطقة المرونة** (elastic region)، ونقول إن الجسم يحقق قانون هوك في المرونة $F=-kx$.

2- بين A و B: إذا خضعت الاسطوانة لإجهاد كبير فإنها تستطيل لكنها لاتعود لطولها الأصلي عند زوال هذا الأجهاد بل تبقى مشوهة بعض الشئ. تسمى هذه المنطقة **المنطقة البلاستيكية**، فلا يزال الجسم طرياً قليلاً لكنه ليس مرناً.

3- إذا صار الإجهاد كبيراً جداً بحيث يصل للنقطة C عندئذ تتصدع الاسطوانة وتنشطر ولذلك تسمى C **نقطة التصدع** (breaking point).



الشكل (1-15)

مثال (2-6):

يثبت سلك من الفولاذ بسقف المختبر ويعلق بطرفه السفلي جسم كتلته 500 kg. ما استطالة السلك إذا علمت أن طوله 3 m ومساحة مقطعه 0.15 cm^2؟

الحل:

نلاحظ أن وزن الجسم المعلق هو

$$F=mg=(500\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)=4900\ \text{N}$$

لذا نحسب الإجهاد المطبق على السلك:

$$\frac{F}{A}=\frac{4900\,\text{N}}{0.15\times10^{-4}\,\text{m}^2}=3.27\times10^{8}\ \text{N/m}^2$$

ثم نحصل على معامل يانغ للفولاذ من الجدول (2-3) ونستخدم العلاقة (2-14) فنجد:

$$\frac{\Delta L}{L}=\frac{(F/A)}{Y}=\frac{3.27\times10^{8}\ \text{N/m}^2}{200\times10^{10}\ \text{N/m}^2}=1.63\times10^{-4}$$

أي أن استطالة السلك هي:

$$\Delta L=3\times1.63\times10^{-4}\,\text{m}=4.89\times10^{-4}\,\text{m}\cong0.5\,\text{mm}$$

10-2 الحرارة

تنقسم طاقة الأجسام إلى عدة أنواع منها: الميكانيكية والحرارية والنووية والكيميائية وغيرها. وسندرس في هذا الجزء من الوحدة الطاقة الحرارية، وكيف نقيسها، وتأثيرها على الأجسام المختلفة، وطرق انتقالها من وسط لآخر.

تنتج الطاقة الحرارية لجسم أو منظومة من الحركة العشوائية للذرات والجزيئات بداخلها، فكلما زادت سرعة هذه الجسيمات كلما صارت الطاقة الحرارية أكبر ويسخن الجسم أكثر فأكثر، ونقول إن درجة حرارته قد ارتفعت. **فدرجة الحرارة** هي معيار لقياس هذه الطاقة التي نسميها **حرارة**.

ومن المعروف أن الإحساس بسخونة أو برودة جسم تحدث بشكل تلقائي وعفوي عند الإنسان عندما يلمس جسماً ساخناً أو جسماً بارداً. لكن لو تمعنا في في هذا الأمر بعض الشئ لتبين لنا أننا عندما نقول إن جسماً ما بارد فإننا نقارنه غريزياً بحرارة يدنا. ومن أبسط الأمثلة على ذلك أن نمسك بقطعة جليد لفترة طويلة نسبياً ونتركها لنمسك بعدها مباشرة ملعقة معدنية درجة حرارتها عادية، عندئذ نقرر أن الملعقة ساخنة لأنها كذلك بالنسبة ليدنا، فتنتقل الحرارة منها إلينا. أما لو كانت يدنا أسخن من الملعقة لانتقلت الحرارة إليها من يدنا ونقول عندئذ إنها باردة.

11-2 ميزان الحرارة

نستنتج من الفقرة السابقة أن قياس مقدار حرارة جسم ما تتم عادة بمقارنته بجسم آخر. وإذا وضعنا جسماً أول A مع جسم ثاني B ولم يتبادلا أي حرارة فإننا نقول إنهما متزنان حرارياً بالنسبة لبعضهما ولهما نفس درجة

الحرارة. ويتم معرفة ذلك عملياً بمقارنة كل واحد منهما بجسم ثالث C. فإذا كان A متزن حرارياً مع C و B متزن مع C عندئذ نقول إن A و B متزنان حرارياً. يطلق على هذه النتيجة الواضحة اسم **القانون الصفر في التحريك الحراري**، ويمثل مبدأ عمل **ميزان الحرارة** الذي يتميز بأنه جهاز يعطي دليلاً على حرارة جسم دون أن يغير من خواصه أو يؤثر عليه. لذا فمن الطبيعي أن يكون ميزان الحرارة صغيراً بالمقارنة مع الجسم المراد تحديد درجة حرارته.

ويتم تصميم موازين الحرارة باستخدام مواد وأدوات مناسبة لهذا الغرض وتستند لظواهر فيزيائية معروفة وسهلة القياس، كاستطالة أو تقلص الأسلاك المعدنية، أو تغير المقاومة الكهربائية لمعدن، أو تغير حجم مائع، وغيرها.

وهناك عدة أنظمة لتصميم موازين الحرارة. ففي النظام المئوي تعتبر نقطة تجمد الماء عند الدرجة 0° C ونقطة غليانه عند 100° C، وقسمت الدرجات بينهما بالتساوي، وهذا هو ميزان الحرارة الشائع الاستعمال في معظم دول العالم. أما في النظام الفهرنهيتي فاعتبرت درجة تجمد الماء عند 32° F ودرجة الغليان عند 212° F. ومن ثم فإن تدريج النظام الفهرنهيتي يختلف أساساً عن النظام المئوي، كما هو موضح بالشكل (2-16).

الشكل (2-16): ميزان حرارة يظهر عليه التدريجان المئوي والفهرنهيتي

ويرتبط التدريج المئوي بالتدريج الفهرنهيتي بالعلاقة:

$$T_F = (\tfrac{9}{5}T_C + 32)\ °\text{F} \qquad (15\text{-}1)$$

أو

$$T_C = \tfrac{5}{9}(T_F - 32)°\text{C} \qquad (16\text{-}1)$$

أما في نظام الوحدات الدولي فقد تقرر استخدام الحالة التي يكون عندها الماء صلباً (جليد) ومائعاً (ماء) وغازياً (بخار) بنفس الوقت، لتدريج درجات الحرارة. وقد حددت هذه النقطة بالقيمة 273.16 K حيث K وحدة درجة الحرارة في النظام الدولي وتدعى كلفن، نسبة للورد كلفن الذي كان له باع طويل في دراسة خواص الأجسام والحرارة. تسمى هذه الحالة **بالنقطة الثلاثية** للماء ويرمز لها بـــ T_3 أي أن:

$$T_3 = 273.16\text{K}$$

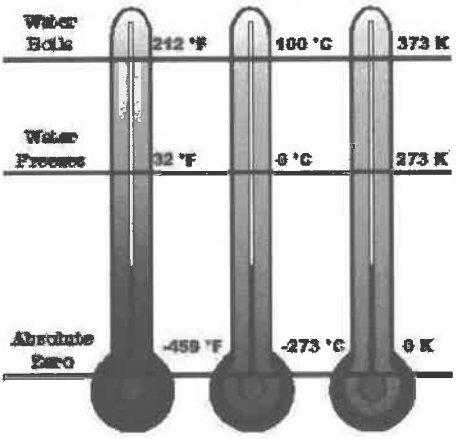
وقد تم التوصل لهذا الرقم الغريب نتيجة دراسات في التحريك الحراري حيث وجد أن حركة الذرات والجزيئات داخل أي مادة تنعدم تماماً عند درجة حرارة 0 K الذي يطلق عليه اسم الصفر المطلق (absolute zero).
ويجدر التنويه إلى أننا لانقول إن درجة حرارة جسم 20 درجة كلفن (مثلما نقول 20 درجة مئوية أو 20 درجة فهرنهيتية) بل نقول إن درجة حرارة الجسم 20 كلفن، ولايحوي رمزها رمز الدرجة °. وينطبق على الكلفن جميع تدريجات النظام الدولي للوحدات، أي نقول مثلاً إن:

$$0.001\text{K}=1\text{mK}$$

وقد تقرر أن تكون نقطة غليان الماء في النظام الدولي 312.16 K، أي أن هناك مئة كلفن بين تجمد الماء وغليانه تماماً كما في النظام المئوي. وترتبط درجة الحرارة في النظامين بالعلاقة:

$$T_C = T_K - 273.16° \qquad (17\text{-}1)$$

ويمكن الربط بين التدريجات الثلاثة بسهولة بتذكر درجة تجمد الماء ودرجة غليانه في كل نظام، كما هو موضح بالشكل (6-17).



الشكل (1-17): تدريجات درجة الحرارة في الأنظمة المختلفة

12-2 تمدد الأجسام وتغير الحالة

يؤدي ارتفاع درجة حرارة جسم ليزيد من طاقته الحرارية التي تكسبها جزيئاته على شكل طاقة حركية فتزيد سرعها وتتباعد عن بعضها. ولهذا كلما ارتفعت درجة حرارة المادة تباعدت جزيئاتها عن بعضها أكثر، وهذا هو سبب التمدد الحراري في الأجسام.

وتتمدد معظم المواد عند ارتفاع درجة حرارتها بشكل أو بآخر لكن مقدار تمددها يعتمد على عدة عوامل كنوع المادة وأبعادها الهندسية ومقدار التغير في درجة حرارتها. لذلك سندرس في هذه الفقرة ثلاثة أشكال من التمدد الحراري: هي **التمدد الطولي، والتمدد السطحي، والتمدد الحجمي.**

12-2 أ التمدد الطولي:

لنفترض أن لدينا جسماً طوله l_0 عند درجة حرارة ما T_0، فإذا صارت درجة حرارته T، أي ارتفعت بمقدار $\Delta T=T-T_0$، فإن طوله يتغير إلى طول جديد l، أي يزيد بمقدار $\Delta l=l-l_0$، يعطى بالعلاقة:

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T \qquad (18\text{-}1)$$

حيث α ثابت يسمى معامل التمدد الطولي ووحدته كما يتضح من العلاقة السابقة هي مقلوب تغير درجة الحرارة أي 1/K أو 1/°C لأن مقدار تغير درجة الحرارة متساوي في النظام المئوي والنظام الدولي. وتكتب العلاقة (14-1) في كثير من الأحيان بالشكل:

$$l = l_0(1+\alpha \Delta T) \qquad (19\text{-}1)$$

ويعطي الجدول (1–3) معامل التمدد الطولي لبعض المواد.

الجدول (6–3): معامل التمدد الطولي لبعض المواد شائعة الاستعمال

المادة الصلبة	$\alpha(10^{-6}/°C)$	المادة السائلة	$\alpha(1/°C)$
ألمنيوم	24	زئبق	0.0018
نحاس	17	كحول	1.01
حديد	12	أثير	1.51
رصاص	29	بنزين	0.95
زجاج تجاري	11	غليسرين	0.49
زجاج بايركس	3.3	زيت زيتون	0.68
اسمنت مسلح	12	كربون	1.18

ونلاحظ من الجدول السابق أن معامل تمدد الأجسام الصلبة صغير جداً بالمقارنة مع الموائع وهذا ينسجم تماماً مع طبيعة القوى بين ذرات وجزيئات كل مادة، كما أسلفنا.

مثال (2-7):

ترتفع درجة حرارة سلك نحاسي في يوم صيفي حار بمقدار 25°C بين الصباح والظهيرة. مامعدل تغير طول السلك؟

الحل:

لمعرفة معدل تغير طول السلك نستخدم العلاقة (2-18) ونكتب:

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta T \Rightarrow \frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta T$$

فمعدل التغير، أي التغير النسبي في طول السلك النحاسي، يساوي:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta T = (17 \times 10^{-6} 1/°C)(25°C) = 425 \times 10^{-6}$$

أي أن:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = 0.0425\%$$

2-12 ب التمدد السطحي:

تتمدد سطوح الأجسام لأنها تتمدد طولياً وعرضياً لذلك يمكن أن نكتب تغير كل من الطول l والعرض w بنفس العلاقة (1-19)، أي أن:

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T), \quad w = w_0(1 + \alpha \Delta T)$$

ومن ثم يصير السطح معطى بالعلاقة:

$$A = l.w = l_0(1+\alpha\Delta T).w_0(1+\alpha\Delta T) = l_0 w_0(1+2\alpha\Delta T+\alpha^2\Delta T^2)$$

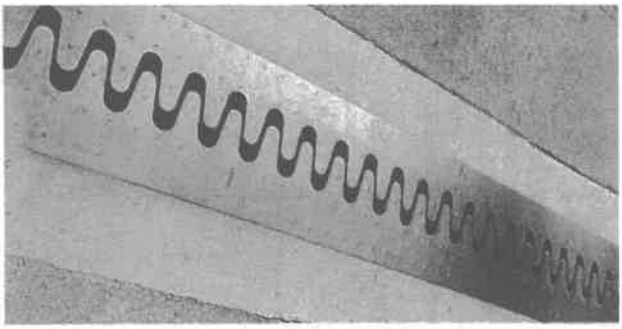
ولكن $A_0=l_0w_0$ تمثل المساحة الأصلية للجسم، كما أن المقدار $\alpha^2\Delta T^2$ صغير جداً بالمقارنة مع بقية الحدود ولذلك نهمله ونكتب العلاقة الأخيرة بالشكل:

$$A = A_0(1+\beta\Delta T) \qquad (20\text{-}2)$$

حيث وضعنا $\beta=2\alpha$ وتسمى **معامل التمدد السطحي**.

ونكتب التغير النسبي في السطح في هذه الحالة بالشكل:

$$\frac{\Delta A}{A_0} = \beta\Delta T \qquad (21\text{-}2)$$



الشكل (2-18): توضع فواصل معدنية على الجسور تحسباً لتمدد الطرقات في الصيف

12-2 جـ التمدد الحجمي:

يمكننا بنفس الطريقة التي وجدنا بها كيف تتمدد الأجسام سطحياً أن نجد العلاقة التي تعطي التمدد الحجمي لها ونكتب:

$$V = V_0(1+\gamma\Delta T) \qquad (22\text{-}2)$$

حيث نسمي γ معامل التمدد الحجمي للأجسام ويساوي $\gamma=3\alpha$ (برهن ذلك). ونكتب التغير النسبي في الحجم على النحو:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \gamma\Delta T \qquad (23\text{-}2)$$

وتخضع معظم المواد لقواعد التمدد المذكورة أعلاه باستثناء الماء الذي تبين أنه يتقلص عندما ترتفع درجة حرارته من صفر إلى أربع درجات مئوية، ويتمدد عندما تنخفض من أربع درجات إلى صفر مئوية. ولهذه النتيجة أهمية كبيرة على الحياة المائية في المناطق الباردة في فصل الشتاء حيث تتشكل على السطح طبقة جليدية درجة حرارتها 0°C بينما يكون الماء تحتها عند درجة حرارة 4°C محافظاً على الحياة المائية فيه! فسبحان الله على قدرته والحمد له على فضله.

13-2 التبادل الحراري وقانون المسعر الحراري

من المعروف أننا عندما نريد أن نشرب كأساً من عصير البرتقال في يوم من أيام الصيف الملتهب فإننا نضع فيه قطعاً من الجليد لتبريده بعض الشئ ولو انتظرنا لفترة وجيزة نجد أن الجليد ذاب فيما برد العصير اللذيذ. لاشك

إذاً أن الجليد أعطى "برودته" للعصير بينما أعطاه هذا الأخير بعضاً من "سخونته". لذا نستنتج أن الأجسام المتماسة تتبادل الحرارة مع بعضها فيأخذ البارد من الحار والعكس بالعكس. وتتناسب كمية الحرارة التي يأخذها أو يعطيها جسم من أو إلى غيره على عدة عوامل هي: كتلته m والفرق بين درجة حرارته ودرجة حرارة الجسم الآخر ΔT وبالطبع على نوعه ولهذا نكتب:

$$Q = mc\Delta T \qquad (24\text{-}2)$$

حيث تدل c على كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوغرام واحد من الجسم بمقدار درجة واحدة وتسمى **الحرارة النوعية**. وتختلف الأجسام عن بعضها بهذه الكمية فالأجسام جيدة النقل تتبادل الحرارة مع غيرها بسهولة، كالمعادن، أما الأجسام رديئة النقل فبعكس ذلك، كالخشب والبلاستيك. ويعطي الجدول (2-4) الحرارة النوعية لبعض الأجسام الشائعة.

وتقدر Q في النظام الدولي بالجول لكن جرت العادة على استخدام الحريرة التي تمثل كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الجسم بمقدار درجة مئوية واحدة، أي أن:

$$1\ \text{cal} = 4.18\ \text{J}$$

ولذلك تكون الحرارة النوعية للماء هي 1 cal/g.°C أو 4180 J/kg.°C .

يطلق على العلاقة (2-24) اسم **قانون المسعر الحراري** الذي ينظم تبادل الحرارة بين الأجسام المختلفة.

الجدول (2-4): الحرارة النوعية لبعض المواد

المادة	c(kJ/kg.C)	المادة	c(kJ/kg.C)
الماء	4.18	النحاس	0.39
ماء البحر	3.89	الألمنيوم	0.91
الكحول	2.52	الغرانيت	0.80
الزئبق	0.14	الفضة	0.23
الجليد	2.11	التنغستين	0.13
الزجاج التاجي	0.67	الرصاص	0.13

مثال (2-8):

توضع قطعة رصاص كتلتها 0.5 kg ودرجة حرارتها 300 °C في مسعر نحاسي معزول كتلته 0.2 kg يحوي ماءاً كتلته 0.5 kg عند درجة حرارة الغرفة 25 °C. مادرجة حرارة النظام النهائية؟

الحل:

لتحديد درجة الحرارة النهائية للنظام كله، T_f، نلاحظ أن المسعر والماء سيكسبان حرارة من الرصاص لذلك نكتب $Q_{Pb} = Q_{Cu+H_2O}$ حيث:

$$Q_{Pb} = m_{Pb}c_{Pb}(\Delta T)_{Pb} = (0.5\text{kg})(0.13\text{kJ/kg.C})(300 - T_f)°\text{C}$$

و

$$Q_{Cu+H_2O} = (m_{Cu}C_{Cu} + m_{H_2O}c_{H_2O})(\Delta T)$$
$$= [(0.2kg)(0.39\text{kJ/kg°C}) + (0.5\text{kg})(4180\text{kJ/kg°C})](T_f - 25)°\text{C}$$

وبمساواة كميتي الحرارة نجد:

$$T_f = 32.8°\text{C}$$

14-2 تغير الحالة (Phase Change)

ذكرنا فيما سبق أن القوى بين ذرات وجزيئات الأجسام الصلبة أكبر مماهي عليه في السوائل والغازات، ولذا تبقى ذرات المادة محدودة الحركة ويحافظ الجسم على شكله. ولكن إذا امتص الجسم حرارة كافية فإن ذراته تكتسب طاقة حركية رويداً رويداً مما قد يؤدي لتحررها من القوى الرابطة لها من الذرات المجاورة، ونقول عندئذ إن حالة الجسم تغيرت وقد ينصهر أو يتبخر. ويحتاج جسم كتلته m لكمية حرارة معينة Q لتتغير حالته (من صلب لسائل أو من سائل لغاز) تعطى بالعلاقة:

$$Q = ml \qquad (25\text{-}2)$$

حيث تسمى l **حرارة الانصهار الكامنة** (latent heat of fusion) إذا انصهر الجسم ويرمز لها عندئذ بـــ l_f، أو **حرارة التبخر الكامنة** (latent heat of vaporization) إذا تبخر الجسم ويرمـــز لها حينئذ بـــ l_v. ويعطي الجدول (5-6) قيم l_f و l_v لبعض المواد الشائعة.

الجدول (2-5) حرارة الانصهار والتبخر لبعض المواد

المادة	درجة حرارة الانصهار (°C)	l_f (kJ/kg)	درجة حرارة التبخر (°C)	l_v (kJ/kg)
الماء	0	334	100	2256
النتروجين	210	25.9	196	200
الأوكسجين	218	13.8	183	213

الهيليوم	_	_	269	25
الهيدروجين	259	62.8	253	448
الألمنيوم	660	399	2467	10549
الهيليوم	1083	205	2567	5191
الهيدروجين	1535	272	2750	6781
الألمنيوم	328	28.5	1740	850

مثال (2-9):

ماعدد مكعبات الجليد اللازم إضافتها لكيلوغرام ماء يغلي لتصير درجة حرارة المزيج 20 °C إذا كانت كتلة المكعب الواحد 20 g ؟

الحل:

نحسب مقدار الحرارة التي يفقدها الماء عندما تتغير درجة حرارته من 100 °C إلى 20 °C فنكتب من العلاقة (2-24):

$$Q = mc\Delta T = (1\text{kg})(4.18\text{kJ/kg.°C})(100\text{-}20)\text{°C}=334.4\text{ kJ}$$

ويستهلك جزء Q_1 من هذه الحرارة لصهر الجليد والجزء الباقي Q_2 لتسخينه حتى درجة 20 °C.

فإذا افترضنا أن هناك n مكعب من الجليد فنجد Q_1 من العلاقة (1-25):

$$Q_1 = m_{ice}l_v = n(20\text{g})(334\text{kJ/kg}) = n(0.02\text{kg})(334\text{kJ/kg}) = n(6.68\text{kJ})$$

كما نجد كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجليد المنصهر لدرجة حرارة 20 °C فنكتب:

$$Q_2 = mc\Delta T = n(0.02\text{kg})(4.18\text{kJ/kg.°C})(20\text{-}0)\text{°C}=n(1.67\text{kJ})$$

أخيراً نضع $Q_1+ Q_2= Q$ فنجد:

$$334.4kJ = n(6.68\text{kJ}) + n(1.67\text{kJ})=n(8.35\text{kJ})$$

أي أن:

$$n = \frac{334.4}{8.35} \cong 40$$

15-2 التبادل الحراري وانتقال الحرارة

تتبادل الأجسام الحرارة فيما بينها بثلاث طرق هي:

15-2 أ التوصيل

إذا وضعنا ملعقة معدنية في كوب شاي ساخن فإن يدها تسخن بعد فترة زمنية معينة مما يعني أن الحرارة انتشرت من أسفلها لأعلاها بدون أن تتحرك جزيئاتها من مكانها طبعاً. نسمي هذا الشكل من انتقال الحرارة **التوصيل**. وتحدث هذه الظاهرة عندما يكون هناك فرق في درجة الحرارة بين وسطين، كغرفة الجلوس المكيفة وحديقة المنزل الحارة أيام الصيف فتنتقل الحرارة عبر جدار الغرفة بالتوصيل. ويمكن معرفة كمية الحرارة المارة عبر الحائط في الثانية، أي مايسمى **التيار الحراري** H (heat current) بملاحظة أنه يتناسب طرداً مع مساحة الحائط A وعكساً مع سمكه

L، كما يزداد H كلما كان الفرق في درجة الحرارة بين الوسطين، ΔT، كبيراً. وبالطبع فإن التيار الحراري المار عبر أي حاجز أو حائط يعتمد على طبيعة الحائط والمادة المصنوع منها. لذلك نكتب التيار الحراري على النحو:

$$H = K\frac{A\Delta T}{L} \qquad (26\text{-}2)$$

حيث K ثابت يعتمد على طبيعة السطح الفاصل بين الوسطين ويسمى **معامل التوصيل الحراري** (coefficient of thermal conduction)، ووحدته هي W/K.m. وتختلف قيم K للمواد بحسب قابليتها لتوصيل الحرارة، فبعضها ناقل جيد كالمعادن، وبعضها الآخر ردئ التوصيل كالخشب والبلاستيك. ويعطي الجدول (2-6) قيم K لبعض المواد شائعة الاستعمال.

الجدول (2-6): معامل التوصيل الحراري لبعض المواد

المادة	K(W/K.m)	المادة	K(W/K.m)
الآجر	0.6	الاسمنت	0.1
الخشب المضغوط	0.05	الزجاج	1.0
الجليد	2.0	الخشب	0.15
الماء	0.59	الهواء	0.024
النحاس	365	الحديد	72
الفضة	418	الزئبق	8.0

مثال (2-10):

ما التيار الحراري المفقود عبر نافذة زجاجية مساحة وجهها $2\ m^2$ وسمكها $2\ mm$ في غرفة درجة حرارتها $25\ °C$ إذا كانت درجة الحرارة في الخارج $0\ °C$ ؟

الحل:

نستعمل العلاقة (2-26) ونكتب:

$$H = K\frac{A\Delta T}{L} = (1\text{W/K.m})\frac{(2m^2)(25-0)\text{K}}{2\times10^{-3}\text{m}} = 25\text{kW}$$

وهذه طاقة ضائعة كبيرة جداً مما يعني أن هناك عوامل أخرى تتدخل في عملية انتشار الحرارة عبر الأجسام. وهذا ماسنأتي عليه في الفقرة القادمة.

15-2 ب الحمل

إذا سخنا سائلاً في إناء فإن درجة حرارة طبقاته السفلى تسخن قبل تلك التي فوقها مما يجعل الذرات في الأسفل تتحرك أكثر فأكثر وتتباعد عن بعضها لتنخفض كثافة السائل هناك ويرتفع للأعلى بينما يحل مكانه الجزء البارد الأكثف الموجود فوقه لتتكرر العملية ثانية وتستمر حركة السائل على هذا النحو ليسخن كله. تسمى هذه العملية **الحمل المحايد** لأننا لم نتدخل في حركة طبقات السائل بتاتاً. أما لو قمنا بتحريك السائل، عند الطبخ مثلاً أو عند استخدام مروحة كهربائية في المنزل لتحريك الهواء، فإن الحمل يسمى عندئذ **حملاً قسريا**. ولاشك أن تفاصيل عملية انتقال الحرارة بالحمل معقدة رياضياً بحيث يكون من الصعب وصفها بمعادلات محددة نظراً لكثرة العوامل الداخلية والخارجية التي يمكن أن تؤثر على انتقال الحرارة هكذا. ولكن يمكن القول أنه تتشكل طبقة حرارية راكدة قرب سطح أي جسم ساخن

مما يجعل انتقال الحرارة عبرها بطيئاً ولذلك يكون الفرق في درجة الحرارة بين سطح النافذة والوسط الخارجي في المثال (2-6) أقل بكثير من 25 °C ولذلك يكون الضياع في الطاقة أقل مما وجدناه بكثير ولاتتعدى قيمته 80 W فقط.

15-2 جـ الإشعاع

تنتشر الحرارة من الشمس للأرض بواسطة أشعتها القوية، وكذلك نستشعر بدف المدفأة المنزلية بواسطة أشعة الحرارة المنطلقة منها وإن كنا لانراها. ولهذا نقول إن الأجسام تشع أمواجاً حرارية غير مرئية. وإذا كان الجسم مشعاً جيداً للحرارة فإنه يكون ماصّ جيداً للحرارة أيضاً، ويطلق على الجسم الذي يمتص كل الأشعة الساقطة عليه اسم **الجسم الأسود** لأنه لايعكس أي شئ فيبدو أسوداً. ويعتبر جلد الإنسان قريباً جداً من الجسم الأسود ولو أنه يعكس بعض الأمواج المرئية (ولذلك نرى بعضنا !).

وتتناسب كمية الحرارة التي يشعها الجسم الأسود في الثانية من واحدة المساحة من سطحه مع درجة حرارته بحيث نكتب:

$$\varepsilon = \sigma T^4 \qquad (27\text{-}2)$$

حيث يسمى الثابت σ **ثابت ستيفان** (Stefan constant) في الإشعاع ويساوي 5.67×10^{-8} W/m^2.K بينما T درجة حرارة الجسم الأسود مقدرة بالكلفن. ويطلق على العلاقة (2-27) اسم **قانون ستيفان وبولتزمان بالإشعاع.**

ملخص الفصل

الكثافة = نسبة كتلة الجسم على حجمه.

ضغط قوة = مقدار مركبة القوة العمودية مقسوماً على السطح المتؤثر عليه.

علاقة المانومتر: $p = p_a + \rho gh$

قاعدة باسكال: يتنتشر الضغط في سائل موضوع في وعاء إلى كل نقاط السائل وإلى جدران الوعاء.

قاعدة أرخميدس: يؤثر أي سائل على جسم فيه بقوة تساوي وزن السائل الذي أزاحه الجسم.

قاعدة الأواني المستطرقة: يرتفع سائل في أناء له عدة أذرع مفتوحة إلى نفس الارتفاع.

السوائل المثالية غير قابلة للانضغاط وغير لزجة.

معادلة الاستمرار: $A_1 v_1 = A_2 v_2$

معادلة برنولي: $\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 + p_2$

الإجهاد = ضغط قوة على جسم.

الإنفعال = الزيادة النسبية في طول الجسم.

معامل يانغ: الإجهاد على الانفعال.

درجة الحرارة معيار للطاقة الحرارية التي يملكها الجسم

علاقة المسعر الحراري: $Q = mc\Delta T$

التمدد الحراري: تتمدد أبعاد الأجسام بحسب العلاقة: $\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$

تغير الحالة: كمية الحرارة اللازمة لتغيير حالة جسم هي: $Q = ml$

تنتقل الحرارة بين الأجسام بالتوصيل والحمل والإشعاع.

في حالة التوصيل يكون التيار الحراري المنتشر هو $H = K\frac{A\Delta T}{L}$

أما في الإشعاع فتكون الطاقة المشعة من واحدة المساحة لجسم أسود في ثانية هي $\varepsilon = \sigma T^4$.

أسئلة

2-1 ماوزن باب من البلوط كثافته $500\ kg/m^3$ وارتفاعه $2\ m$ وعرضه $75\ cm$ وسمكه $4\ cm$ ؟

2-2 ماكتلة كرة من النحاس نصف قطرها $2\ cm$ ؟

2-3 ماوزن الهواء في غرفة أبعادها $3\times4\times5\ m$ ؟

2-4 يتصدع سلك نحاسي عندما يصير الإجهاد عليه $3\times10^8\ N/m^2$ (أ) ما أكبر حمل يمكن تعليقه بالسلك إذا كان نصف قطره $0.4\ mm$ ؟ (ب) مامعدل استطالة السلك عندما يعلق به نصف الحمل الأعظم ؟

2-5 في تجربة لقياس معامل يانغ للعظام توضع كتلة $10\ kg$ فوق مقطع عظمة اسطوانية مساحتها $1.5\ cm^2$ مثبتة شاقولياً فتنضغط بمقدار 0.0065% . ماقيمة Y لهذه العظمة ؟

2-6 تصمم غواصة لتصل لعمق $600\ m$ تحت سطح البحر. (أ) ما الضغط هناك ؟ (ب) ما القوة المؤثرة على نافذة الغواصة إذا كان قطرها $15\ cm$ ؟

2-7 تغطي طبقة زيت سمكها $15\ cm$ ماءاً ارتفاعه $25\ cm$ في برميل مفتوح. (أ) مافرق الضغط بين الماء والزيت إذا كانت كثافة الزيت $600\ kg/m^3$ ؟ (ب) مافرق الضغط بين سطح الزيت وقعر البرميل ؟

2-8 يسكب زئبق في ذراع انبوب مفتوح على شكل حرف U فيما يسكب ماء في الذراع الأخرى فيصل طول عمود الماء إلى $15\ cm$. (أ) ما الفرق بين الضغط الجوي والضغط عند السطح الفاصل بين السائلين ؟ (ب) ما الفرق في ارتفاع الزئبق والماء ؟

2-9 ماحجم قطعة نحاس تزن $125\ N$ في الهواء ؟ وماوزنها في الماء ؟

10-2 تربط كرة بلاستيكية مفرغة حجمها $0.2\ m^3$ بسلسلة مثبتة بقاع مسبح فيصير الشد في الأخيرة $600\ N$. (أ) ماقوة الطفو المؤثرة على الكرة ؟ (ب) ماكتلة الكرة؟ (جـ) مانسبة الحجم الذي سيبقى مغمورا من الكرة لو انقطعت السلسلة وطفت الكرة على سطح الماء ؟

11-2 ماحجم جسم يزن في الهواء $12\ N$ وفي الماء $10\ N$ ؟

12-2 ما أكبر عدد من الأشخاص يمكن لطوافة خشبية أبعادها $0.3 \times 2 \times 2$ m حملهم إذا كانت كتلة الواحد $65\ kg$ وكانت كثافة الخشب $500\ kg/m^3$ ؟

13-2 يتدفق ماء في انبوب غير منتظم فيمر من منطقة مساحة مقطعها $0.8\ cm^2$ بسرعة $4\ m/s$. (أ) ماسرعة السائل عند نقطة مساحة مقطعها $0.06\ cm^2$ ؟ (ب) ماحجم الماء المتدفق في ثانية واحدة ؟

14-2 يتدفق سائل في انبوب فيمر من نقطة مساحة المقطع عندها $0.2\ m^2$. (أ) ماذا يجب أن تكون سرعة السائل هناك حتى يكون معدل التدفق $0.8\ m^3/s$ ؟ (ب) مانصف قطر الأنبوب عند نقطة سرعة السائل عندها $3.8\ m/s$؟

15-2 يتدفق ماء في أنبوب مساحة مقطعه $10\ cm^2$ ثم يمر من منطقة مساحتها $5\ cm^2$. ماحجم الماء الخارج من هذه المنطقة بالثانية إذا كان فرق الضغط بين المنطقتين $300\ Pa$ ؟

16-2 يرتفع عمود الزئبق في ميزان حرارة $4\ cm$ عند وضعه في الجليد و $24\ cm$ عند وضعه في ماء يغلي. (أ) كم يرتفع الزئبق إذا وضع في ماء درجة حرارته $20\ °C$ ؟ (ب) مادرجة حرارة محلول كيميائي يصل فيه الزئبق لارتفاع $25.4\ cm$ ؟

17-2 تبلغ درجة غليان الأوكسجين $-182.86\ °C$. ماهي هذه الدرجة بالفهرنهايت والكلفن ؟

2-18 توضع شظايا من الألمنيوم الساخن كتلتها 100 g ودرجة حرارتها 100 °C في 500 g من الماء درجة حرارته 18.3 °C فتصل درجة حرارة المزيج إلى 21.7 °C. ما الحرارة النوعية للألمنيوم ؟

2-19 توضع قطعة من الرصاص كتلتها 200 g ودرجة حرارتها 90 °C في 500 g من الماء درجة حرارته 20 °C. مادرجة الحرارة النهائية للخليط ؟

التمدد الحراري

2-20 كم يتغير طول مسطرة من الفولاذ عندما تتغير درجة حرارتها من 20 °C إلى 100 °C إذا كان طولها عند 20 °C هو 30 cm ؟

2-21 ترتفع درجة حرارة قطعة مستطيلة من الحديد بمقدار 50 C ؟ ما الزيادة النسبية في سطحها ؟

2-22 توضع قطعة جليد كتلتها 200 g في 500 g من الماء درجة حرارته 20 °C. (أ) مادرجة الحرارة النهائية للنظام ؟ (ب) مامقدار الجليد الذائب ؟

2-23 تُبرَد قطعة من الأمنيوم كتلتها 50 g من 20 °C إلى 190 °C– بوضعها في نيتروجين سائل. ماكمية النيتروجين المتبخر ؟

2-24 يوضع قضيب نحاسي طوله 2 m ونصف قطر مقطعه 1 cm بحيث تقع ‘حدى نهايتيه عند درجة حرارة 100 °C والثانية عند 0 °C. (أ) ما التيار الحراري المار عبر القضيب ؟ (ب) مادرجة حرارة نقطة تبعد 25 cm عن الطرف الحار ؟

2-25 ما الطاقة التي تشعها الشمس من واحدة السطح فيها في كل ثانية إذا اعتبرناها جسماً أسود درجة حرارته 5000 °C ؟ ما الطاقة الكلية المشعة إذا كان نصف قطر الشمس 700 مليون متر ؟

الفصل الثالث

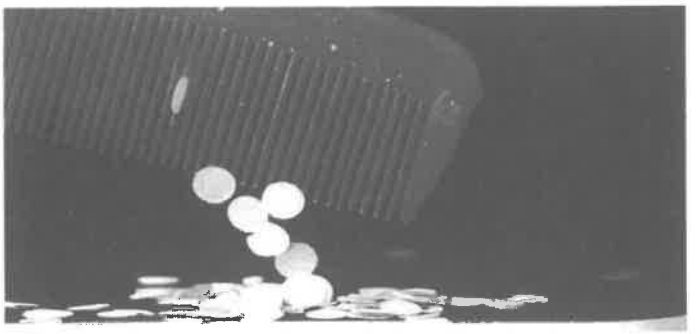
الكهرباء الساكنة

محتويات الفصل

مقدمة
الشحنة الكهربائية
الأجسام المشحونة والأجسام المعتدلة
النواقل والعوازل
المواد الناقلة
المواد العازلة
المواد شبه الناقلة
شحن الأجسام
الشحن بالدلك
الشحن بالتأثير
الإلكتروسكوب
قانون كولوم
المجال الكهربائي
المجال الكهربائي لشحنة نقطية
الجهد الكهربائي
الجهد الكهربائي لشحنة نقطية
المكثفات وتخزين الطاقة
جمع المكثفات على التوالي
جمع المكثفات على التوازي
الطاقة المخزنة في المكثف
مسرع فان دي جراف
ملخص الفصل
أسئلة

1-3 مقدمة

عرف الإنسان الكهرباء من أيام قدماء اليونان عندما لاحظ أن دلك قطعة كهرمان (بلورة متحجرة من خشب الصنوبر) بالفرو يجعلها تلتقط ذرات الغبار وقصاصات الورق الصغيرة بسهولة فقال إنها مكهربة (نسبة للكهرمان)، واستخدم كلمة إلكترون (الكلمة اليونانية للكهرمان) للدلالة على الأجسام المكهربة. كما لوحظت ظواهر مماثلة عندما يدلك الزجاج بالحرير، أو عند تمشيط الشعر بمشط بلاستيكي جاف فيلتقط قصاصات الورق الصغيرة، كما في الشكل (3-1).



الشكل (3-١)

ولو تلامست قطعة كهرمان مكهربة مع كرة معدنية صغيرة معلقة بخيط حريري ثم قربت هذه الكرة من أخرى مماثلة مشحونة بنفس الطريقة لتنافرت الكرتان. ولكن لو قربت الكرة الأولى نحو كرة مشحونة بالتلامس مع زجاج لتجاذبت الكرتان في هذه الحالة. فدل ذلك إلى أن هناك نوعان من الشحنات اصطلح على اعتبار إحداهما سالبة (يحملها الكهرمان) والثانية موجبة (يحملها الزجاج).

وبينت تجارب إضافية أن الكهرمان المدلوك بالفرو يحمل شحنة سالبة بينما يحمل الفرو شحنة موجبة، أما الزجاج المدلوك بالحرير فيحمل شحنة موجبة بينما يحمل الحرير شحنة سالبة. وعموماً فإن دلك أي جسمين ببعضهما يشحنهما بشحنتين متعاكستين، لذا فمن المنطقي أن تكون الأجسام العادية معتدلة وعندما تدلك تتبادل الكهرباء بين بعضها بعضاً.

2-3 الشحنة الكهربائية

ماالمقصود بقولنا إن جسماً ما مشحون ؟ هل له شكل أو حجم مختلف عن غيره ؟ ولو نظرنا له فهل يمكننا أن نتبين أنه مشحون من منظره فقط ؟ في الحقيقة إن كون الجسم مشحوناً لاتتعلق بخواصه الفيزيائية والطريقة الوحيدة لمعرفة فيما إذا كان مشحوناً هي أن نضعه قرب جسم آخر مشحون مسبقاً فإذا دفعه أو جذبه عندها فقط نعرف أنه مشحون. فالشحنة خاصية للجسم تمكنه من دفع أو جذب أجسام مشحونة أخرى، مثل خاصية الكتلة التي تمكن جسم ما له كتلة من جذب الكتل الأخرى. من هذا المنطلق نستطيع إعطاء ***تعريف تأثيري للشحنة*** بأنها ***الخاصية التي يملكها جسم للتأثير على غيره من الأجسام التي تحمل نفس الخاصية***. فالشحنات تؤثر على بعضها بقوة كهربائية والكتل تؤثر على بعضها بقوة الجاذبية. بينما لايؤثر جسم مشحون (كالبروتون) بقوة كهربائية على جسم غير مشحون (كالنيوترون) بينما يؤثر عليه بقوة الجاذبية لأن لكل منهما كتلة، لكن لايؤثرعلى جسم عديم الكتلة والشحنة (كالضوء) بأي قوة.

ومن أصغر الشحنات المعروفة للإنسان الإلكترون والبروتون حيث اصطلح إعطاء الإلكترون شحنة سالبة مقدارها 1.6×10^{-19} كولوم، بينما أعطي البروتون نفس الشحنة ولكن بإشارة موجبة. و**الكولوم** هي وحدة الشحنة

الكهربائية المستخدمة في نظام الوحدات الدولي نسبة للفيزيائي الفرنسي تشـــارلز كولـــوم الذي اكتشف القوة الكهربائية بين جسمين مشحونين. وكثيراً ماتعطى شحنات الأجسام بأجزاء الكولوم كالميللي كولوم (10^{-3} C)، والمايكرو كولوم (10^{-6} C)، والنانو كولوم (10^{-9} C) وهكذا.

مثال (3-1)

كم إلكترون يوجد في كولوم واحد ؟

الحل:

لحساب عدد الإلكترونات في كولوم واحد نكتب شحنة الإلكترون:

$$1e = 1.6\times10^{-19}\,\text{C} \Rightarrow 1\text{C} = \frac{1e}{1.6\times10^{-19}} = 6.25\times10^{18}\,e$$

أي أن شحن جسم بكولوم واحد يتطلب تجريده من أكثر من ستة مليون مليون مليون إلكترون !

3-3 الأجسام المشحونة والأجسام المعتدلة

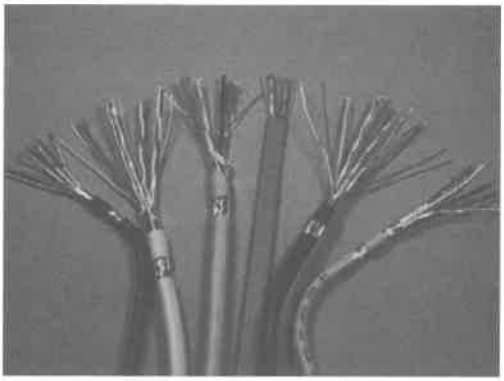
تتألف المادة في الطبيعة من ذرات تحوي إلكترونات سالبة الشحنة ونواة موجبة الشحنة تساوي وتعاكس شحنة الإلكترونات. ولهذا فالذرة العادية معتدلة، كأي مادة معدنية أو قطعة قماش ولوح خشبي وغيره. ولكن إذا فقدت المادة بعض الإلكترونات أو اكتسبت بعضاً منها فإننا نقول إنها صارت مشحونة بشحنة موجبة أو سالبة، على الترتيب.

3-4 النواقل والعوازل

من المعروف أن المعادن تنقل الكهرباء بشكل ممتاز بينما يستخدم الخشب لحمايتنا منها. وهناك بعض العناصر التي يمكن أن تكون موصلة في شروط معينة. فتختلف المواد في ناقليتها للكهرباء، فهناك مواد ناقلة وأخرى عازلة وشبه ناقلة.

3-4 أ المواد الناقلة

يوجد في الطبيعة مواد، كالمعادن، تكون الإلكترونات في ذراتها غير مقيدة بها بل تستطيع الحركة بحرية داخلها. يطلق على هذه الإلكترونات اسم *إلكترونات حرة* (free electrons) وتسمى هذه المواد **نواقل**. فالمواد الناقلة *تحوي شحنات حرة وتسمح لها بالحركة*. لكن حركة الإلكترونات في هذه الأجسام عشوائية وفي كل الاتجاهات بحيث أن محصلة الحركة الكلية لها تساوي الصفر مما يفسر عدم تكهربنا عند لمس جسم معدني غير موصول بمولد كهربائي، وعدم وجود تيارات كهربائية فيه في الحالة الطبيعية.



الأسلاك الكهربائية الناقلة للكهرباء

3-3 ب المواد العازلة

تكون غالبية الإلكترونات في بعض الأجسام، كالزجاج والخشب مثلاً، مقيدة ومرتبطة بالذرة التابعة لها بشكل كبير بحيث لاتستطيع الانتقال من موضعها. كما أن هذه المواد لاتسمح لشحنات خارجية توضع عليها بالتحرك من مكانها، كأن ندلك زجاج بقطعة فرو إذ تبقى الشحنة الناتجة في موضع الدلك تماماً. تسمى هذه المواد عوازل. فالمواد العازلة لاتحوي شحنات حرة ولاتسمح لها بالحركة.

تستخدم المواد العازلة في تركيب الأسلاك الكهربائية

3-3 ج المواد شبه الناقلة

هناك مواد متوسطة الناقلية كالجرمانيوم والسيليكون لاتحوي شحنات حرة كثيرة ولكن لو"طعّمناها" بذرات يمكن أن "تتبرع" بإلكتروناتها فتزيد ناقليتها بشكل كبير ولذا يطلق عليها اسم *أشباه نواقل*.

3-4 شحن الأجسام

ذكرنا أعلاه أن المواد الطبيعية معتدلة كهربائياً ويكون عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات) مساوياً لعدد الشحنات الموجبة (الآيونات أو النوى).

ولكن إذا تم إضافة إلكترونات لجسم ما يصير مشحوناً بشحنة سالبة، أما إذا نزعت منه بعض الإكترونات فإنه يصير مشحوناً بشحنة موجبة.

ويتم عادة شحن الأجسام بعدة طرق منها:

4-3 أ الشحن بالدلك

الدلك هو إحدى وسائل شحن الأجسام عندما تتلامس وتحتك ببعضها فتنتقل الإلكترونات من جسم لآخر لينشحن الأول ايجابياً والثاني سلبياً. وسبب ذلك أن هناك ذرات لها إلكترونات مرتبطة بها بشكل ضعيف وأي احتكاك بمادة ثانية يؤدي لتحرير هذه الإلكترونات وانتقالها للأجسام الأخرى، مثل الزجاج والمطاط والفرو وغيرها.

الشكل (3-2): الشحن بالدلك

ويشعر الإنسان بظاهرة الشحن بالدلك بشكل متكـــرر في الحياة اليومية كأن نشعر بصعقة كهربائية خفيفة لحظة مسك باب سيارة أو باص عند نزولنا منه أو عندما نلمس المقبض المعدني لباب الغرفة بعد سيرنا على سجادة فيها. وتعليل ذلك أننا حصلنا بالدلك على شحنة كهربائية كافية من مقعد الباص أو السيارة أو من السجادة في الغرفة التي تنتقل للجسم الملموس بسرعة مسببة الصعقة الخفيفة التي شعرنا بها.

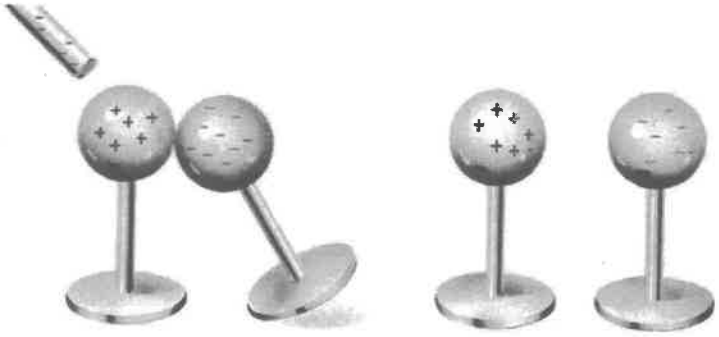
وقد نتساءل لماذا تحدث ظواهر الشحن بالدلك كالصعقات الكهربائية الخفيفة في الأيام الجافة بينما تكون نادرة في الأيام الرطبة؟ والجواب: لأن الشحنات

تتراكم في الأيام الجافة عند احتكاك الأجسام ببعضها، أما في الأيام الرطبة يكون الهواء مشبعاً بالبخار فيشكل طبقة رقيقة غير مرئية من الماء على الأجسام لتصير ناقلة للكهرباء وتتسرب الشحنة منها باستمرار ولا تتجمع على الجسم بشكل كاف.

إشارات تحذير للحماية من الصواعق الكهربائية

3-4 ب الشحن بالتأثير

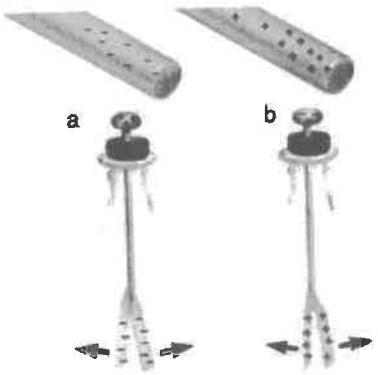
في هذه الحالة نقرب جسماً مشحوناً بشحنة سالبة مثلاً من كرتين معدنيتين متلامستين، كما في الشكل (3-3) حيث تقترب الشحنات الموجبة في الكرتين الجسم السالب بسبب قوة التجاذب بينهما أما الشحنات السالبة فتبتعد عنه. نقوم بعدها بإبعاد الكرتين عن بعضهما فتبقى الكرة الأولى مشحونة إيجابياً بينما تبقى الثانية مشحونة سلبياً.



الشكل (3-3): الشحن بالتأثير

3-4 ج الإلكتروسكوب

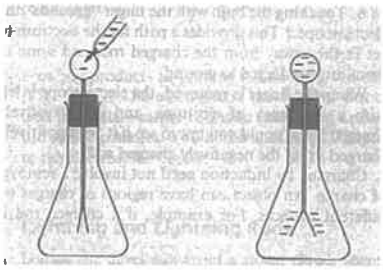
يستخدم الإلكتروسكوب للتحقق من شحن الأجسام بالدلك أو بالتأثير ويتألف من وعاء زجاجي مسدود الفتحة بكرة معدنية صغيرة تتصل بورقتين رقيقتين من الذهب بواسطة سلك معدني خفيف، كما في الشكل (3-4)، فعندما تنشحن الورقتان بنفس الشحنة تتباعدان عن بعضهما، وبذلك نتحقق من عملية الشحن.ففي الشحن بالتأثير يقرب جسم مشحون سلبياً مثلاً من الكرة المعتدلة أصلاً فتصير موجبة الورقتان سالبتين فتتباعدان عن بعضهما، كما في الشكل (3-5).



الشكل (3-5): الشحن بالتأثير

3-4 د الشحن بالتلامس

في الشحن بالتلامس يتلامس جسم مشحون مع الكرة التي تأخذ منه بعض الشحنة وتنقلها للورقتين اللتين تنشحنان أيضاً بنفش الشحنة وتتباعدان عن بعضهما، كما في الشكل (3-6 أ و 3-6 ب).



(ب) (أ)

الشكل (3-6): الشحن بالتلامس

3-5 قانون كولوم

تبين من تجارب عديدة أن أي شحنتين صغيرتين قيمة الأولى q_1 والثانية q_2 بينهما مسافة r تتدافعان أو تتجذابان بقوتين متساويتين ومتعاكستين تعطى قيمة أي منهما بالعلاقة:

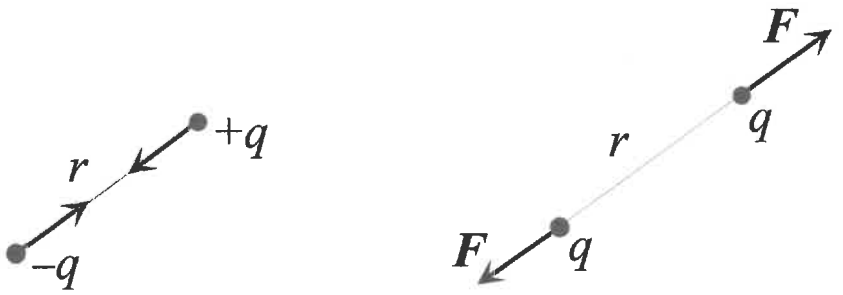
$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} \qquad (1\text{-}3)$$

حيث يدل k على ثابت القوة الكهربائية الذي يساوي $9\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2}$.

يطلق على هذه العلاقة اسم *قانون كولوم*.

أما اتجاه القوة المتبادلة بين الشحنتين فقد وجد أنهما تتنافران إذا كانت شحنتاهما من نفس الإشارة، وتتجاذبان إذا كانتا من إشارتين مختلفتين، كما في الشكل (3-7).

ويجدر التنويه إلى أن هذه العلاقة صحيحة لشحنتين نقطيتين فقط أي أنهما صغيرتين لدرجة يستحيل معرفة أبعاد أي واحدة منهما من موقع الأخرى، لذا يقال عنهما **شحنات نقطية** *(point charges)*.



القوة بين شحنتين متماثلتين متعاكستين

القوة بين شحنتين

الشكل (3-7): القوة بين شحنتين نقطيتين

ونلاحظ التناظر الواضح بين قانون القوة الكهربائية وقوة الجاذبية بين كتلتين صغيرتين (نقطيتين):

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \qquad (2\text{-}3)$$

مما يدل على تشابه القوى الطبيعية، لكن ثابت قوة الجاذبية G أصغر بكثير من ثابت القوة الكهربائية k مما يعني أن الأخيرة أقوى بكثير من الجاذبية،

ولهذا فهي الغالبة بين الأجسام المشحونة الذرية كالإلكترونات والبروتونات وغيرها، حيث نهمل قوة الجاذبية بالمقارنة معها.

مثال (3-2):

كم تتفوق القوة الكهربائية على قوة الجاذبية؟ قارن بين القوة الكهربائية وقوة الجاذبية بين إلكترون وبروتون في ذرة الهيدروجين علماً بأن لهما نفس الشحنة e وأن المسافة بينهما حوالي 0.5×10^{-10} m ومستخدما المعطيات التالية:

$e=1.9\times10^{-19}$ C و $m_p= 1.67\times10^{-27}$ kg و $m_e= 9.11\times10^{-31}$ kg

الحل:

نستخدم العلاقتين (3-1) و (3-2) لحساب القوة الكهربائية وقوة الجاذبية فنجد على الترتيب:

$$F_C = \frac{kq_1q_2}{r^2} = \frac{(9\times10^9\text{N.m}^2/\text{C}^2)(1.6\times10^{-19}\text{C})^2}{(0.5\times10^{-10}\text{m})^2}$$
$$= 92.2\times10^{-9}\text{N}$$

و

$$F_G = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = \frac{(6.67\times10^{-11}\text{N.m}^2/\text{kg}^2)(9.1\times10^{-31}\text{kg})(1.67\times10^{-27}\text{kg})}{(0.5\times10^{-10}\text{m})^2}$$
$$= 40.5\times10^{-49}\text{N}$$

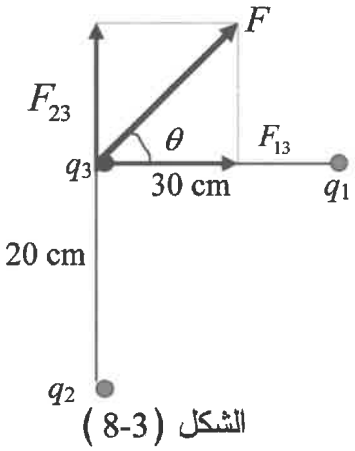
لذلك يكون:

$$\frac{F_G}{F_C} = \frac{40.5\times10^{-49}\text{N}}{92.2\times10^{-9}\text{N}}$$
$$= 0.4\times10^{-40}$$

فقوة الجاذبية بين بروتونين أصغر بـ 10^{40} مرة تقريباً من القوة الكهربائية بينهما!

مثل (3-3):

ماالقوة الكهربائية المؤثرة على الشحنة q_3 في الشكل (2-8) جانباً نتيجة وجود الشحنتين q_1 و q_2 علماً بأن $q_1 = 6\ \mu C$ و $q_2 = 10\ \mu C$ و $q_3 = -8\ \mu C$ ؟



الشكل (3-8)

الحل:

نحسب أولاً القوة التي تؤثر بها q_1 على q_3 فنجد:

$$F_{13} = \frac{(9\times10^{9}\ \mathrm{N.m^2/C^2})(6\times10^{-6}\ \mathrm{C})(+10\times10^{-6}\ \mathrm{C})}{(0.3\mathrm{m^2})} = 6\mathrm{N}$$

$$F_{23} = \frac{(9\times10^{9}\ \mathrm{N.m^2/C^2})(8\times10^{-6}\ \mathrm{C})(+10\times10^{-6}\ \mathrm{C})}{(0.2\mathrm{m^2})} = 18\mathrm{N}$$

ثم نحسب قيمة المحصلة من قانون فيثاغورث:

$$F = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2} = \sqrt{36 + 324} = 19\,\mathrm{N}$$

أما اتجاهها فنجده من العلاقة:

$$\tan\theta = \frac{F_{23}}{F_{13}} = 3 \;\Rightarrow\; \theta = 72°$$

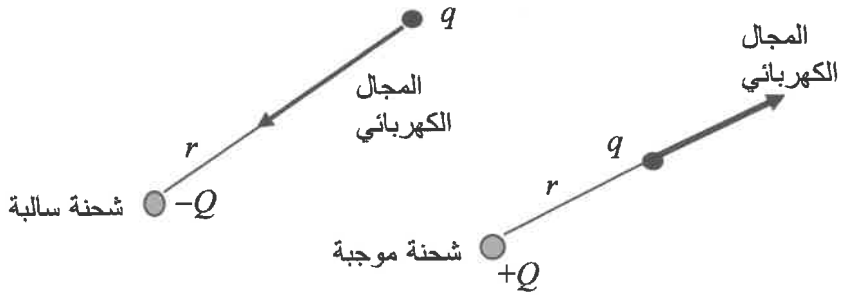
6-3 المجال الكهربائي

تماماً كما تؤثر الأرض على المنطقة المحيطة بها بمجال الجاذبية الأرضية حيث يخضع أي جسم قريب من الأرض لقوة الجاذبية، فإن أي شحنة تؤثر على المنطقة المحيطة به أيضاً بمجال كهربائي ينتج عنه قوة كهربائية يخضع لها أي جسم مشحون موجود هناك. ونعرف المجال الكهربائي الناتج عن شحنة ما عند نقطة بالفضاء المحيط بها بأنه القوة الكهربائية المؤثرة على واحدة الشحنات الكهربائية الموجبة الموجودة هناك.

فإذا كانت لدينا شحنة Q تؤثر بقوة $\mathbf{F}$ على شحنة q نفترض أنها صغيرة لدرجة لاتؤثر على غيرها من الشحنات (ولهذا يطلق عليها اسم شحنة تجريبية كما في الشكل (3-9 أ)، فإن المجال الكهربائي لـ Q عند موقع q يعطى بالعلاقة:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \qquad (3\text{-}3)$$

ويتجه المجال الكهربائي للشحنة Q بعيداً عنها إذا كانت موجبة ونحوها إذا كانت سالبة، كما في الشكل (3-7).



(ب) (أ)

الشكل (3-9)

7-3 المجال الكهربائي لشحنة نقطية

إذا كان لدينا شحنة نقطية Q فإننا نستطيع إيجاد قيمة المجال الكهربائي الناتج عنها عند نقطة تبعد عنها مسافة r بسهولة. فنفترض أنه يوجد على بعد r شحنة تجريبية q ونحسب القوة الكهربائية المؤثرة عليها نتيجة وجود Q ، كما في الشكل (3-9)، ونكتب:

$$F = \frac{kQq}{r^2}$$

وبحسب العلاقة (3-3) نجد أن:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{kQ}{r^2} \qquad (4\text{-}3)$$

ومن الواضح أن وحدة المجال الكهربائي هي قوة لواحدة الشحنات، أي N/C.

ويمكن كتابة العلاقة (3-4) بالشكل:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \qquad (5\text{-}3)$$

حيث نلاحظ منها أن للقوة والمجال نفس الاتجاه إذا كانت q موجبة بينما لهما اتجاهين متعاكسين إذا كانت q سالبة.

مثال (3-4)

ماقيمة واتجاه المجال الكهربائي الناتج عن شحنة نقطية سالبة مقدارها $Q=1\times10^{-4}$ C عند نقطة تبعد عنها 50 cm؟ وما القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة صغيرة قيمتها $+4\ \mu$C ؟

الحل:

نستفيد من العلاقة (3-4) لنجد قيمة المجال الكهربائي:

$$E = \frac{kQ}{r^2} = \frac{(9\times10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)(1\times10^{-4}\ \text{C})}{(0.5\text{m})^2} = 3.6\times10^6\ \text{N/C}$$

وبما أن Q سالبة فإن المجال يتجه نحوها.

أما القوة الكهربائية المؤثرة على شحنة $q=+4\ \mu$C في ذلك الموضع فنجدها بكتابة:

$$E = \frac{F}{q} \Rightarrow F = qE = (4\times10^{-6}\text{C})(3.6\times10^6\ \text{N/C}) = 14.4\text{N}$$

وتتجه هذه القوة بنفس اتجاه المجال الكهربائي، أي نحو Q لأن q موجبة، وهذا طبيعي لأن أي شحنتين متعاكستين تتجاذبان.

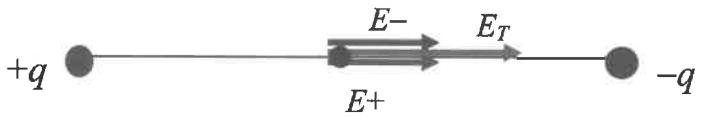
مثال (3-5)

ما المجال الكهربائي الكلي الناتج عند نقطة واقعة في منتصف المسافة بين شحنتين متساويتين بالقيمة ومتعاكستين بالإشارة؟

الحل:

لنفترض أن قيمة كل شحنة هو q وأن المسافة بينهما r ، كما في الشكل (3-10)، عندئذ نكتب قيمة المجال الناتج عن كل شحنة:

$$E_{\pm} = \frac{kq}{r^2}$$



الشكل (3-10)

ونلاحظ من الشكل أن المجال الناتج عن الشحنة الموجبة يتجه بعيداً عنها، بينما يتجه المجال الناتج عن الشحنة السالبة نحوها. لذلك تكون محصلة المجالين في هذه الحالة هي:

$$E_T = 2E_{\pm} = \frac{2kq}{r^2}$$

3-8 الجهد الكهربائي

كيف نستغل الأجسام المشحونة ونحصل على الطاقة الكهربائية منها لاستخداماتنا الحياتية؟ للوصول لإجابة شافية نحتاج أن نعرف **الجهد**

الكهربائي وهو كمية عددية سهلة الحساب ومفيدة للوصول للطاقة الكهربائية التي يحصل عليها جسم مشحون عند حركته في منطقة مجال كهربائي.

لفهم هذا نتذكر من دراسة الجاذبية أن أي جسم كتلته m موجود في مجال جاذبية g ويوضع على ارتفاع y من سطح الأرض يكتسب طاقة وضع تعطى بالعلاقة:

$$U_g = mgy \qquad (6\text{-}3)$$

ونلاحظ منها أن طاقة وضع الكتلة m عند موضع معين تعتمد على الكمية gy التي تنتج عن مجال الجاذبية. ولهذا نعيد كتابة العلاقة (6-3) بالشكل:

$$U_g = mV_g \qquad (7\text{-}3)$$

حيث يدعى V_g **جهد الجاذبية**. ونلاحظ من العلاقة (7-3) أننا حصلنا على طاقة الوضع بضرب جهد الجاذبية بخاصة الجسم الكتلية المرتبطة بها أي بكتلته m.

وبنفس الشكل نقول إن أي جسم شحنته q موجود في مجال كهربائي E سيكتسب طاقة وضع كهربائية نكتبها بالشكل:

$$U_{elec} = qV_{elec} \qquad (8\text{-}3)$$

حيث تدعى الكمية العددية V_{elec} **الجهد الكهربائي**.

فمعرفة الجهد الكهربائي في موضع ما يعطينا طاقة الوضع التي ستكسبها شحنة q عند وجودها هناك.

9-3 أ الجهد الكهربائي لشحنة نقطية

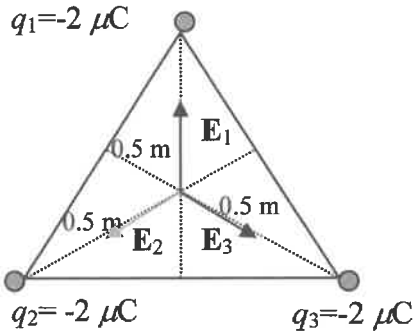
نعرف الجهد الكهربائي لشحنة نقطية q بالعلاقة:

$$V = \frac{kQ}{r} \qquad (9\text{-}3)$$

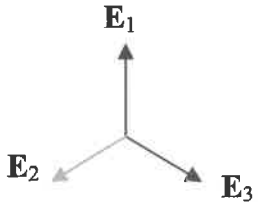
حيث نلاحظ أنها كمية عددية (scalar) ووحدتها في نظام الوحدات الدولي الفولط .

مثل (3-6)

ما الجهد الكهربائي الكلي الناتج عن الشحنات النقطية الثلاث المتوضعة على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع في مركزه الهندسي، كما في الشكل (3 -11أ)؟ ماهو المجال الكهربائي الكلي هناك؟



الشكل (3-11 أ)



الشكل (3-11 ب)

الحل:

بما أن الجهد الكهربائي كمية عددية فليس له اتجاه. ومن ثم فالجهد الكلي عند المركز c هو مجموع الجهود الناتجة عن الشحنات الثلاث هناك، أي أن:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$= \frac{kQ_1}{r_1} + \frac{kQ_2}{r_2} + \frac{kQ_3}{r_3} = 3\frac{kQ}{r} = 3\frac{(9\times10^9 \mathrm{N.C^2/m^2})(-2\times10^{-6}\mathrm{C})}{(0.5\mathrm{m})}$$

فالجهد الكهربائي الكلي هو:

$$V = 108\ k\mathrm{V}$$

أما المجال الكهربائي الكلي عند نقطة المركز فيساوي الصفر لأنه محصلة المتجهات الثلاث $\mathbf{E}_1$ و $\mathbf{E}_2$ و$\mathbf{E}_3$ كما في الشكل (3-11 ب) (تحقق من ذلك).

3-10 الفرق بين المجال الكهربائي والجهد الكهربائي

من المصطلحات التي تسبب لبعض الطلبة التباساً كبيراً مفهوم القوة والمجال وهما كميتان نقول إنهما متجهتان، والجهد والطاقة وهما كميتان عدديتان. وأحياناً يعرّف الإنسان مصطلحات لكميات فيزيائية لانراها ولانتحسسها مباشرة **كالزخم** أو **مجال الجاذبية** أو **المجال الكهربائي** أو**الجهد**، وغيرها. ويجدر التساؤل لماذا نعرّف هذه الكميات وما الفائدة من ذلك؟ لاشك بأن لكل كمية استخدام مهم يؤدي للوصول لتطبيق حياتي معين. فنعرف المجال الكهربائي لأنه يقودنا إلى القوة الكهربائية المؤثرة على الأجسام الموجودة فيه. ذلك أنه عندما نعرف قيمة واتجاه مجال كهربائي ناتج عن توزع ما لشحنات كهربائية يمكننا عندئذ أن نجد القوة المؤثرة على أي جسم مشحون موجود في تلك المنطقة. ومن ثم نعرف كيف سيتحرك هذا الجسم وأي طريق سيتبعه وما إلى ذلك. لهذا تم إعطاء المجال الكهربائي التعريف

الرياضي الوارد في العلاقة (3-5) حتى نتمكن من معرفة القوة الكهربائية منه. ونلاحظ أن كلا الكميتين هي كمية متجهة ناتجة عن الثانية.

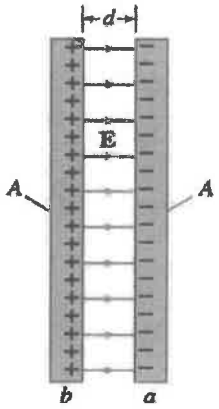
أما الجهد الكهربائي فنستخدمه لمعرفة الطاقة التي يكسبها جسم مشحون في موضع معين فيه جهد ما. لأن تحديد V يؤدي لمعرفة الطاقة التي يكتسبها الجسم عندئذ. ونلاحظ في هذه الحالة أن هاتين الكميتين هما عدديتان، بخلاف المجال والقوة.

فالمجال يفيد في معرفة القوة، والجهد يفيد في معرفة الطاقة. لهذا السبب نعرف هاتين الكميتين في الفيزياء ونتعب أنفسنا في حساب كل واحدة منهما.

3-11 المكثفات وتخزين الطاقة

يستخدم الإنسان أجهزة مختلفة لتخزين الطاقة الكهربائية لاستخدامها لاحقاً في الكثير من التطبيقات الحياتية المهمة كالأجهزة الكهربائية والطب والإلكترونيات وغيرها.

ومن أشهر أجهزة التخزين الكهربائي **المكثف** (capacitor) الذي يتألف، في أبسط أشكاله، من صفيحتين معدنيتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين متساويتين ومتعاكستين، كما هو موضح في الشكل (3-12).



الشكل (3-12): مكثف متوازي الوجهين

ويتميز المكثف بمقدار الشحنة التي يمكن أن يحملها كل طرف فيه (ويسمى لبوس أو لوح electrode) والتي تعتمد على تركيبه ومساحة الوجه الواحد وفرق الجهد المطبق عليه لشحنه، وذلك من العلاقة:

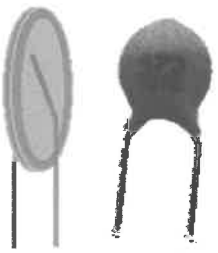
$$Q = CV \qquad (10\text{-}3)$$

حيث تدعى الكمية C **سعة المكثف** (capacitance) وتعتمد على الأبعاد الهندسية والوسط الموجود بين اللوحين.

وتعطى وحدة السعة في نظام الوحدات الدولي **بالفاراد**، نسبة للفيزيائي مايكل فاراداي، إلا أن هذه الوحدة كبيرة بالمقارنة مع سعات المكثفات العملية المستخدمة ولذلك تعطى السعات عـادة بأجزاء من الفاراد كالمايكروفاراد (10^{-6}) والنانوفاراد (10^{-9}) والبيكوفاراد (10^{-12}) وهكذا.

ويتولد بين لوحي المكثف مجال كهربائي يمكن اعتباره منتظماً (أي ثابت القيمة والاتجاه) داخل المكثف وبعيداً عن أطراف اللوحين، بفرض أن مساحة كل لوح A كبيرة بالمقارنة مع المسافة بينهما d، كما هو موضح بالشكل (3-12).

وهناك أنواع من المكثفات التي تصمم بحسب حاجة الأجهزة والأدوات الكهربائية كالتفاز والراديو وغيرها، كما في الصورة أدناه.



بعض أنواع المكثفات

وترتبط قيمة المجال المتولد بفرق الجهد بين اللوحين بعلاقة بسيطة يمكن استنتاجها لو تركنا شحنة اختبارية موجبة تتحرك من الطرف الموجب للطرف السالب فنلاحظ أنها تكسب طاقة نتيجة الشغل المبذول عليها من القوة الكهربائية بينهما، أي أن:

$$W = Fd = qEd$$

ولكن شغل القوة يساوي الفرق في طاقة وضع الشحنة بين الطرفين، أي:

$$W = U_1 - U_2 = qV_+ - qV_- = q\Delta V$$

ومن ثم نجد أن:

$$W = qEd = q\Delta V \Rightarrow E = \frac{\Delta V}{d}$$

أو:

$$E = \frac{V}{d} \qquad (11\text{-}3)$$

حيث تدل V على فرق الجهد بين لوحي المكثف ΔV، للسهولة في الكتابة. ولذلك نقول عادة إننا اشترينا بطارية من السوق جهدها 10 V أي أن فرق الجهد بين طرفيها 10 V.

مثال (3-7)

ماسعة مكثف متوازي الوجهين إذا شحناه بفرق جهد 20 V فصارت شحنته 5 μC ؟

الحل:

نستخدم العلاقة (3-10) لنكتب:

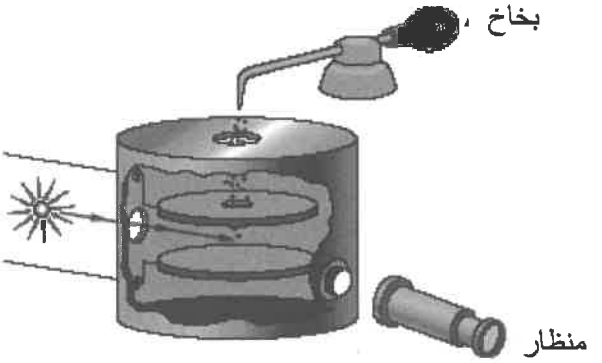
$$Q = CV \Rightarrow C = \frac{Q}{V}$$

ومن ثم نجد أن:

$$C = \frac{5\,\mu\text{C}}{20\,\text{V}} = 2.5\times10^{-7}\,\text{F} = 0.25\,\mu\text{F}$$

12-3 قياس شحنة الإلكترون وتجربة قطرة الزيت لميليكان

من أهم تطبيقات المجال الكهربائي بين لوحي مكثف متوازي الوجهين هو تحديد شحنة الإلكترون من خلال تجربة بسيطة قام بها الفيزيائي ميليكان.



الشكل (3-13): تجربة قطرة الزيت

كما هو موضح بالشكل (3-13)، يتم بخ رذاذ من الزيت بين لوحي مكثف فتتشحن قطرات الزيت نتيجة احتكاكها بفتحة البخاخ الضيقة، وتصير كل قطرة سالبة الشحنة. فإذا لم يطبق أي فرق جهد بين لوحي المكثف تسقط

القطرات تحت تأثير وزنها (بإهمال قوة الاحتكاك عليها من الهواء بالمقارنة مع القوة الكهربائية). لكن بتطبيق فرق جهد معاكس لشحنة القطرات يمكن أن تتزن القطرة عند تساوي وزنها مع القوة الكهربائية المؤثرة عليها، أي عندما يصير:

$$F_{elec} = w \Rightarrow qE = mg \Rightarrow q(V/d) = mg$$

أي أن:

$$q = \frac{mgd}{V} \qquad (12\text{-}3)$$

حيث V فرق الجهد بين اللوحين و d المسافة بينهما.

وقد وجد ميليكان بتكرار التجربة وشحن القطرات مرة إيجابياً ومرة سلبياً أن شحنة أي قطرة تساوي عدداً صحيحاً من 1.6×10^{-19} C. فاستنتج أن كل قطرة تشحن نتيجة فقد أو اكتساب عدد من الإلكترونات بحيث أن شحنة كل إلكترون منها 1.6×10^{-19} C .

13-3 جمع المكثفات

كثيراً ما نحتاج في التطبيقات العملية لمكثف له سعة معينة لايتوفر في المختبر وغير جاهز عملياً. في هذه الحالة نقوم بربط عدد من المكثفات بشكل مناسب للحصول على السعة المطلوبة.

ويتم ربط المكثفات عادة بإحدى طريقتين:

13-3 أ جمع المكثفات على التوالي

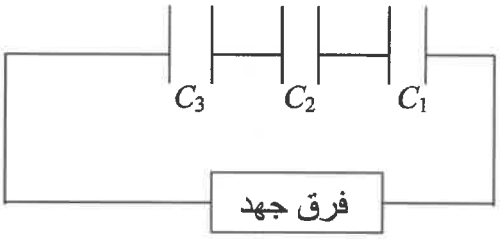
حيث يربط اللوح الموجب لمكثف أول باللوح السالب للثاني وموجب الثاني بسالب ثالث وهكذا، في حين يوصل اللوح الموجب للأول والسالب للأخير

بمزود فرق جهد يشحن المنظومة كلها، كما في الشكل (3-14). ومن الواضح أنه في هذه الحالة فستشحن المثفات كلها بنفس الشحنة ولكن بفروق جهد مختلفة بحسب سعة كل واحدة.

ويمكن البرهان أن سعة مجموعة المكثفات هذه تساوي سعة مكثف مكافئ معطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \mathrm{L} \qquad (12\text{-}3)$$

ونلاحظ من هذه النتيجة أن السعة الكلية أصغر من أصغر سعة أصلية. ولهذا تربط المكثفات على التوالي للحصول على سعة صغيرة عادة. ونلاحظ هنا أن فرق الجهد بين طرفي المكثف المكافئ يساوي مجموع فروق الجهد بين أطراف المكثفات الموصولة، أما شحنته فتساوي شحنة أي واحدة منهما فقط.

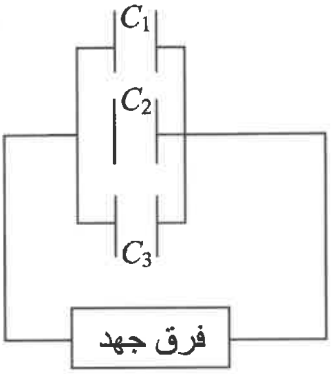


الشكل (3-14)

3-13 ب جمع المكثفات على التوازي

في جمع المكثفات على التوازي توصل ألواح المكثفات كلها من جهة واحدة بالقطب الموجب لمزود الجهد والألواح المقابلة بالقطب السالب، كما في الشكل (2-15)، وتعطى سعة المنظومة عندئذ بالعلاقة:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \mathrm{L} \qquad (13\text{-}3)$$



الشكل (3-15)

ونلاحظ أيضاً من هذه النتيجة أن السعة الجديدة أكبر من أكبر سعة. ولهذا تربط المكثفات على التوازي للحصول على سعات كبيرة عادة. كما نلاحظ أن شحنة المكثف المكافئ يساوي مجموع شحنات المكثفات الموصولة، بينما يكون فرق الجهد واحداً بين أطراف كل مكثف.

3-14 الطاقة الكهربائية المخزنة في مكثف

يتم شحن المكثف عادة بواسطة مصدر فرق جهد كالبطارية أو مولد كهربائي. حيث يتم نقل الشحنة من أحد اللوحين إلى الآخر وهذا يتطلب طاقة من المصدر المستخدم. وبالطبع لاتضيع هذه الطاقة بل تتخزن في المكثف. فإذا استخدمنا مصدراً له فرق جهد معين V لشحن مكثف سعته C بحيث تصير شحنته النهائية Q عندئذ يمكن البرهان أن الطاقة التي يختزنها تصير:

$$U = \tfrac{1}{2}QV = \tfrac{1}{2}CV^2 = \tfrac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \qquad (14\text{-}3)$$

وتعطى وحدة الطاقة في نظام الوحدات الدولي بالجول طبعاً.

مثال (3-8)

يوصل مثكف سعته $5\ \mu F$ ببطارية قوتها $15\ V$ لينشحن تماماً ثم يفصل عنها ويوصل على التوازي مع مكثف آخر سعته $10\ \mu F$ غير مشحون. ما السعة المكافئة لهما وما الطاقة الكهربائية الضائعة في هذه العملية ؟

الحل:

نحسب أولا الشحنة الناتجة على المكثف الأول فنكتب:

$$Q = CV = (5\times10^{-6}\,\mathrm{F})(15\,\mathrm{V}) = 75\,\mu\mathrm{C}$$

وطاقته الكهربائية المخزنة فيه:

$$U = \tfrac{1}{2}QV = \tfrac{1}{2}(75\,\mu\mathrm{C})(15\,\mathrm{V}) = 562.5\,\mu\mathrm{J}$$

الآن: عند وصل المكثفين على التوازي تصير سعتهما المكافئة بحسب العلاقة (3-13):

$$C_{eq} = C_1 + C_2 = 15\,\mu\mathrm{F}$$

وبما أن المكثف الجديد غير مشحون لذا تكون شحنة المنظومة كلها مساوية لشحنة المكثف الأول، أي أن:

$$Q_{Total} = Q_1 + Q_2 = 75\mu\mathrm{C}$$

لذا نجد طاقة المكثف المكافئ بعد الربط مساوية إلى:

$$U' = \tfrac{1}{2}\frac{Q^2}{C_{eq}} = \tfrac{1}{2}\frac{(75\,\mu\text{C})^2}{15\,\mu\text{F}} = 187.5\,\mu\text{J}$$

أي أن الطاقة الضائعة:

$$U - U' = 562.5 - 187.5 = 375\,\mu\text{J}$$

وهذه طاقة كبيرة تضيع لإعادة توزيع الشحنات على المكثفين.

وحدة الإلكترون فولت eV

من المفيد في الفيزياء الذرية والنووية تحديد طاقة إلكترون أو بروتون أو أي جسم ذري آخر بوحدة مناسبة عندما يسرع خلال فرق جهد V مقدر بالفولت. فإذا افترضنا أن بروتوناً مثلاً تسارع بين صفيحتي مكثف فرق الجهد بينهما 20 V عندئذ يكتسب طاقة تساوي:

$$KE = qV = (1.6\times10^{-19}\,\text{C})(20\,\text{V}) = 3.2\times10^{-19}\,\text{J}$$

لكن هذه الطاقة صغيرة جداً بسبب صغر شحنة البروتون، لذا من المناسب أن نعبر عنها بوحدة أخرى بأن نبقي شحنة البروتون e بدلاً من التعويض عنها بدلالة وحدة الكولوم الكبيرة جداً أصلاً، فنكتب:

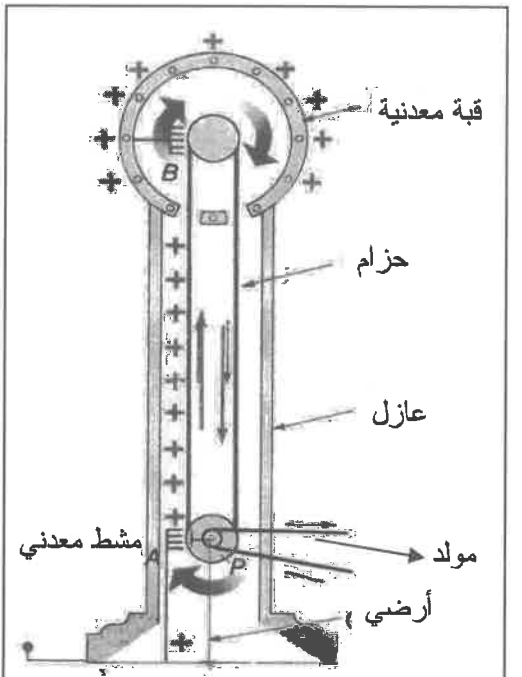
$$KE = qV = e(20\,\text{V}) = 20\ \text{eV}$$

وهذا ماهو متعارف عليه في الفيزياء الذرية والنووية. كما أنه من السهولة تحويل هذه الوحدة للجول، إن شئنا، بملاحظة أن قيمة شحنة البروتون أو الإلكترون e تساوي 1.6×10^{-19} C ولذا نضرب أي طاقة معطاة بالـ eV بهذا الرقم فنحولها إلى جول. فمثلاً لو اعطينا طاقة إلكترون 7.5 eV ونريد إيجادها بالجول نكتب مباشرة:

$$E = 7.5\,\text{eV} = (7.5\text{eV})(1.6\times10^{-19}\,\text{J/eV}) = 12\times10^{-19}\,\text{J}$$

15-3 مسرع فان دي جراف

من أبسط وأشهر الأجهزة الكهربائية التي تخزن الطاقة ونستفيد منها لتسريع البروتونات وغيرها من الأجسام المشحونة الصغيرة مسرع فان دي جراف نسبة لمصممه الفيزيائي فان دي جراف.



الشكل (٣-١٥): مسرع فان دي جراف

ويوضح الشكل (15-3) نموذجاً مبسطاً لهذا المسرع حيث يقوم مولد ميكانيكي بتوليد شحنات كهربائية (بالحك) ورشها على أسنان المشط المعدني قريباً من الحزام المتحرك الذي ينقلها للسطح الداخلي للكرة المعدنية. وبما أن الشحنات من نفس النوع فإنها تتباعد عن بعضها وتتوزع على السطح الخارجي للكرة ليصير السطح الداخلي فارغاً فيستقبل من

الحزام شحنات قادمة جديدة، وتستمر هذه العملية حتى يصل جهد الكرة لملايين الفولتات يستفاد منها لتسريع بروتونات أو جسيمات ألفا وغيرها لطاقات هائلة تمكنها من اختراق النواة لسبر أغوارها ودراسة تركيبها وطبيعتها.

ملخص الفصل

الشحنة الكهربائية: الخاصة الأساسية المرتبطة بالقوة الكهربائية.

قانون الشحنات الكهربائية: الشحنات المتماثلة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب.

قانون كولوم: العلاقة التي تعطي القوة بين شحنتين نقطيتين $F = kq_1q_2 / r^2$.

الناقل: جسم يحوي شحنات حرة (إلكترونات) ويسمح لها بالحركة.

العازل: جسم لايحوي شحنات حرة ولايسمح لها بالحركة.

شبه الناقل: جسم لايحوي شحنات حرة لكن يسمح لشحنات توضع عليه بالحركة.

حفظ الشحنة: مجموع شحنة الكون تساوي الصفر.

الشحن الكهربائي: إعادة توزيع الشحنات في جسم معتدل عند تقريب أو تلامس جسم مشحون به.

المجال الكهربائي: تأثير أي جسم مشحون على المنطقة المحيطة به. ويمثل المجال عند نقطة ما القوة الكهربائية الناتجة عن هذا الجسم على واحدة الشحنات الموجبة الموضوعة عند تلك النقطة ويساوي في حالة شحنة نقطية $E = kQ / r^2$ ويتجه بعيداً عن الشحنة إذا كانت موجبة ونحوها إذا كانت سالبة.

الجهد الكهربائي: معدل الطاقة الكهربائية الكامنة في واحدة الشحنات الموجبة في موضع معين ويساوي في حالة شحنة نقطية: $V = kQ / r$.

المكثف الكهربائي: جهاز يستخدم لتخزين الشحنات الكهربائية.

سعة المكثف: كمية تحدد الشحنة التي يمكن أن يستوعبها من فرق جهد معين بحيث أن: $Q = CV$.

جمع المكثفات: تجمع المكثفات على التوالي فتكون سعتها الكلية عندئذ: $\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\mathrm{L}$ كما تجمع المكثفات على التوازي لتصير السعة الكلية: $C=C_1+C_2+\mathrm{L}$

طاقة المكثف: مقدار الطاقة التي يخزنها مكثف من فرق جهد معين وتساوي: $U=\frac{1}{2}CV^2$.

أسئلة

3-1 كم إلكتروناً نحتاج لنشحن جسما ما بشحنة تساوي واحد كولوم ؟ كم بروتوناً نحتاج لنفس الغرض ؟

3-2 أين يمكن وضع إلكترون بين شحنتين سالبتين متساويتين قيمة الواحدة $1\mu C$ بحيث يبقى متزناً تماماً ؟ هل تتغير الإجابة لو وضعنا بروتون في مكانه ؟ علل إجابتك.

3-3 توضع شحنة سالبة عند طرف مسطرة مترية وأخرى مساوية لها بالقيمة ولكن موجبة عند الطرف الآخر. هل يوجد على المسطرة موضع يتزن عنده بروتون أو إلكترون ؟ علل إجابتك.

3-4 وجدنا بداية هذا الفصل أن القوة الكهربائية أكبر بكثير من قوة الجاذبية ومع ذلك فإننا نشعر بالأخيرة في حياتنا اليومية عند حمل ورفع الأشياء المختلفة. لماذا لانشعر بالقوة الكهربائية مع أن هناك إلكترونات وبروتونات في كل ذرات المادة ؟

3-5 هناك شحنة كهربائية موجبة Q وشحنة سالبة q بينهما مسافة r. كيف تقارن القوة الكهربائية المؤثرة على واحدة منهما بالقوة المؤثرة على الأخرى؟ هل تخضع هذه المقارنة لقانون فيزيائي في تخصص مختلف عن الكهرباء؟ إذا كانت الإجابة نعم فماهو هذا القانون ؟

3-6 كيف تتغير القوة الكهربائية المؤثرة على إلكترون نتيجة شحنة كهربائية Q إذا تضاعف بعده عنها ؟

3-7 تتنافر شحنتان متماثلتان بقوة 4.0×10^{-5} N عندما تكون المسافة بينهما 3 cm . ماقيمة القوة التي ستتنافران بها إذا صارت المسافة بينهما 6 cm ؟

3-8 تتنافر كرتان صغيرتان مشحونتان بشحنتين متماثلتين بقوة كهربائية قيمتها 2.5×10^{-4} N عندما تكون المسافة بينهما 2 cm. احسب قيمة القوة بينهما إذا تضاعفت شحنة إحدى الكرتين وزادت المسافة بينهما إلى 4 cm .

9-3 ماالقوة الكهربائية بين كرتين متماثلتين مشحونتين بشحنتين q_1=+20 μC و q_2=−6 μC إذا كانت المسافة بينهما 10 cm ؟

10-3 كم تصير قيمة القوة الكهربائية بين الكرتين المذكورتين إذا تلامستا ثم أعيدتا لوضعهما السابق ؟

11-3 تتأثر شحنة سالبة قيمتها 2×10^{-8} C بقوة كهربائية تتجه لليمين قيمتها 0.06 N . ماقيمة واتجاه المجال الكهربائي المؤثر على الشحنة ؟

12-3 تتنافر كرتان متماثلتان بقوة كهربائية قيمتها 64×10^{-9} N عندما تكون المسافة بينهما 3×10^{-3} m. ماقيمة كل شحنة ؟

13-3 ماهو فرق الجهد بين لوحي مكثف متوازي الوجهين إذا كان المجال الكهربائي بينهما 625×10^{3} N/C والمسافة بينهما 10 mm ؟ وما الشغل المبذول لنقل إلكترون من الطرف الموجب للطرف السالب ؟

14-3 تتزن قطرة زيت وزنها 1.9×10^{-14} N في مجال كهربائي شدته 4×10^{4} N/C. ماشحنة القطرة وماعدد الإلكترونات عليها ؟

15-3 **المكثف الكروي:** يمكن اعتبار كرة معدنية مكثفاً مؤلفاً من لوحين كرويين لهما نفس المركز لكن نصف قطر الخارجي لانهائي فيبقى الداخلي لوحده. لإيجاد سعة هذا المكثف نشحن الكرة ونقيس فرق الجهد بينها وبين الأرض (التي نعتبر جهدها مساوياً للصفر دوماً) ثم نأخذ نسبة فرق الجهد للشحنة لنجد السعة. في تجربة من هذا النوع وجد أن فرق الجهد بين كرة معدنية والأرض 60 V عندما تكون شحنتها 12 nC. ماسعة هذا المكثف وما الطاقة المخزنة فيه ؟

16-3 يشحن مكثف سعته 2 μF فيصير فرق الجهد بين طرفيه 6 V. كم يجب زيادة شحنة المكثف ليرتفع فرق الجهد إلى 15 V ؟

17-3 ما المجال الكهربائي الناتج بين لوحي مكثف المسافة بينهما 5 cm إذا كان فرق الجهد بينهما 15 V ؟

18-3 كم تتغير الطاقة الكهربائية المخزنة في مكثف إذا تناقصت سعته إلى النصف (بسبب تغيير المادة بين اللوحين) مع بقاء فرق الجهد نفسه ؟

19-3 يشحن مكثفان بنفس فرق الجهد فوجد أن طاقة الأول ضعف طاقة الثاني. مانسبة سعة الأول للثاني ؟

20-3 توصل ثلاث مكثفات متماثلة على التوالي أولاً بفرق جهد 15 V ثم توصل على التوالي معاً بنفس فرق الجهد. مانسبة الطاقة المخزنة في الحالة الأولى للثانية ؟

الفصل الرابع

الكهرباء المتحركة وتوليد الطاقة الكهربائية

محتويات الفصل

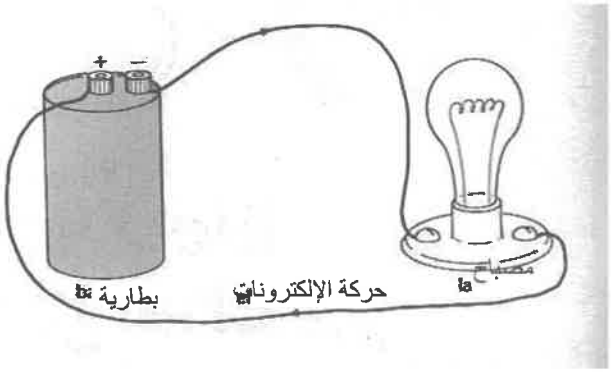
مقدمة
التيار الكهربائي
البطارية التجارية والبطارية الجافة
جمع البطاريات
مقاومة الناقل
قانون أوم
القدرة الكهربائية المنتجة والمستهلكة
نقل الطاقة الكهربائية
الدارات الكهربائية
الدارات المتسلسلة
الدارات المتوازية
طرق الحماية والصيانة الكهربائية في الأبنية العامة والمنازل.
ملخص الفصل
أسئلة

1-4 مقدمة

تعمل الأجهزة الكهربائية التي نستخدمها في حياتنا اليومية ومصانعنا نتيجة حركة الشحنات في المواد الناقلة، وهذا مانسميه التيار الكهربائي. وسندرس في هذه الوحدة كيفية حركة الشحنات ومقاومة المواد لهذه الحركة والطاقة الكهربائية المصاحبة لها. كما سندرس بعض الدارات الكهربائية البسيطة ومخاطر الأجهزة الكهربائية وسبل الوقاية من مخاطرها وصيانتها.

2-4 التيار الكهربائي

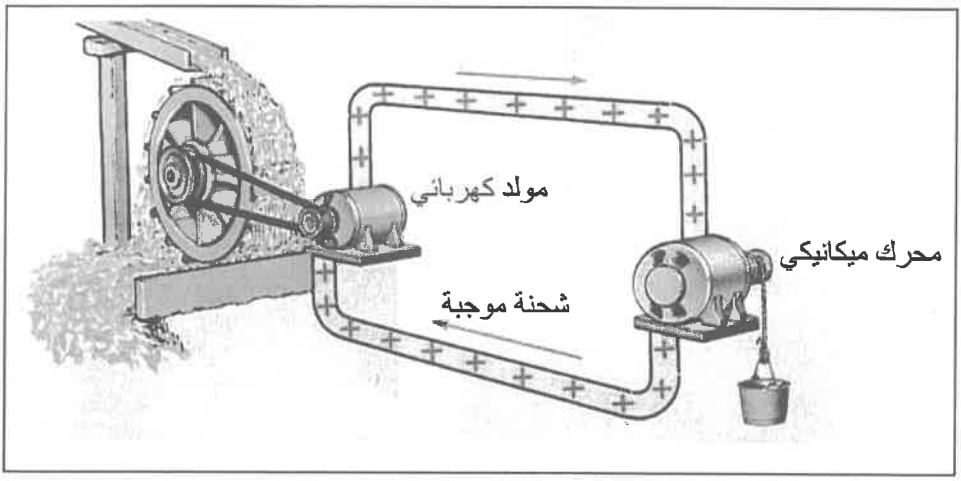
ذكرنا في تعريف النواقل، كالمعادن، أنها تحوي شحنات حرة وتسمح لها بالحركة، أي أن الإلكترونات في ذرات المادة غير مقيدة تماماً بل تستطيع الحركة من مكان لآخر داخل المعدن. إلا أن حركة الإلكترونات الكلية عشوائية بحيث تكون نتيجة انتقالاتها معدومة. وهذا مايحدث في المواد المعدنية العادية التي تتوفر في حياتنا اليومية. أما إذا كانت هناك محصلة لانسياب الإلكترونات داخل المادة عندئذ يظهر التيار الكهربائي وهذا لايتحقق إلا إذا وجد سبب لذلك هو توفر فرق جهد كاف يدفع الشحنات من مواضع الجهد العالي للجهد المنخفض كالبطارية التي نشتريها من السوق أو نقطة الكهرباء الموجودة في الغرفة وهكذا، كما هو موضح بالشكل (4-1).



الشكل (4-1): بطارية تجارية تزود فرق جهد لإضاءة المصباح الكهربائي الصغير

وينتج التيار الكهربائي من حركة الشحنات السالبة (الإلكترونات) في بعض المواد، بينما ينتج من حركة الشحنات الموجبة في مواد أخرى. لكننا سنفترض في هذا الكتاب أن اتجاه التيار الكهربائي هو نفس اتجاه حركة الشحنات الموجبة، الذي يطلق عليه اسم **التيار التقليدي** (conventional current) .

ويتم توليد التيار الكهربائي عادة باستخدام مصادر طبيعية لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، كما في الشكل (4-2) حيث تتحول طاقة الوضع الميكانيكية للماء الساقط من الشلال إلى طاقة حركية تدير المولد الكهربائي (الدينامو) الذي ينتج تياراً كهربائياً يشغل المحرك الميكانيكي. وهذا مشابه تماماً لعملية توليد التيار الكهربائي في الدراجة الهوائية العادية، حيث يؤدي تلامس الدينامو مع إطار الدراجة وهو يدور لتوليد تيار كهربائي يشعل مصباح الدراجة.



الشكل (4-2): تحويل الطاقة الميكانيكية لطاقة كهربائية وبالعكس

ونعرف التيار الكهربائي المار في ناقل ما بمعدل الشحنة المارة من نقطة معينة بواحدة الزمن. فإذا افترضنا أن هناك ناقلاً (سلكاً معدنياً) بين طرفيه فرق جهد (ناتج عن بطارية مثلاً)، عندئذ تتحرك الشحنات الموجبة من الجهد العالي للجهد المنخفض ويعطى التيار بالعلاقة:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad (1\text{-}4)$$

وتعطى وحدة التيار الكهربائي بالأمبير (A) (الذي يساوي 1 كولوم/ثانية). وتقدر التيارات الضعيفة بالميللي أمبير ($mA=10^{-3}$ A) أو بالمايكروأمبير ($\mu A=10^{-6}$ A).

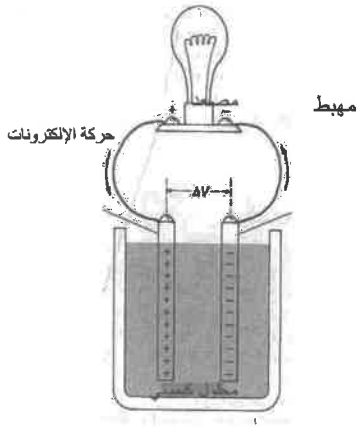
3-4 البطارية التجارية

ماهو تركيب البطارية التجارية وكيف تعمل لتشغيل المصباح اليدوي وغيره من الأجهزة الكهربائية؟

تحول البطارية التجارية الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، وتتألف عادة من عدة خلايا كيميائية (cells) ولو أننا نطلق عادة اسم بطارية على خلية واحدة. وقد صمم الفيزيائي الإيطالي أليساندرو فولتا أول بطارية عملية وسميت وحدة القوة الكهربائية الدافعة الناتجة عن البطارية (فرق الجهد بين طرفيها) بالفولت نسبة له.

بعض أنواع البطاريات التجارية

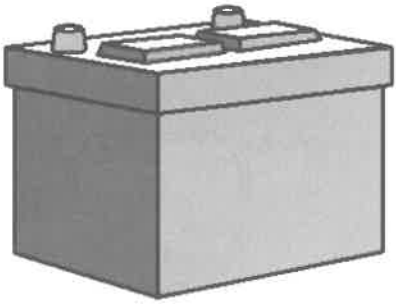
وتتكون البطارية الكيميائية أساساً من لوحين مغمورين في محلول كيميائي مناسب، كما في الشكل (4-3).



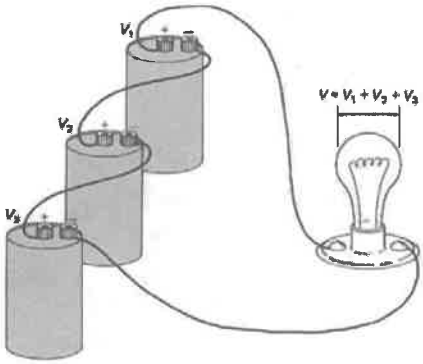
الشكل (4-3): بطارية كيميائية

وقد استخدم فولتا لوحين من الزنك والنحاس في محلول من أسيد الكبريت فتؤدي التفاعلات الكيميائية في الخلية لجعل أحد اللوحين سالب الشحنة، ويطلق عليه اسم **مهبط**، بينما يصير الثاني موجب الشحنة ويدعى **مصعد** ممايؤدي لتشكل فرق جهد بينهما. وعندما توصل البطارية بدارة كهربائية يسري تيار كهربائي من اللبوس الموجب للبوس السالب طالما بقي المحلول الكيميائي يتحلل. وتفقد البطارية قوتها تدريجياً عندما تنضب المادة الكيميائية فيها.

أما بطارية السيارة التي يطلق عليها اسم بطارية تخزين (storage battery) فتتألف من عدة خلايا كيميائية، ويمكن إعادة شحنها بواسطة إضافة المحلول الكيميائي بداخلها. وتتألف بطارية سيارة قوتها 12 فولت، كما في الشكل (4-4) مثلاً، من ست خلايا قوة الواحدة 2 فولت مربوطة على التوالي بحيث يوصل القطب الموجب لواحدة بالقطب السالب للتي تليها وهكذا، ويقال في هذه الحالة أن الخلايا مربوطة على التسلسل أو التوالي بحيث تصير القوة الكهربائية الكلية للبطارية مساوية لمجموع قوى البطاريات الفردية المشكلة لها، كما في الشكل (4-6).



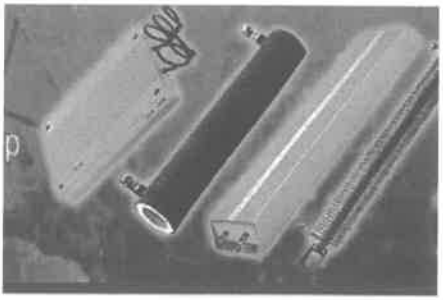
الشكل (4-4): بطارية



الشكل (4-5): جمع بطاريات على التوالي

4-4 المقاومة الكهربائية

لايمكن للشحنات الكهربائية أن تتحرك في ناقل ما دون مواجهة إعاقة ومقاومة لحركتها ناتجة عن طبيعة وتركيب الجسم المعني، تماماً مثلما يواجه سائلاً مقاومة (لزوجة) عند حركته في انبوب ما. فذرات المعادن تسمح، كما ذكرنا، للشحنات بالحركة فيها والانسياب بسهولة، بينما لايسمح الخشب أو الشمع مثلاً بذلك. كما تختلف المعادن فيما بينها بسهولة سماحها لحركة الشحنات بداخلها، وهذا مانسميه **مقاومة كهربائية**. وعموماً فإن مقاومة النواقل أقل بكثير من العوازل وأشباه النواقل.



مقاومات كهربائية مختلفة

وتعتمد المقاومة الكهربائية لناقل على نوعه، إذ تختلف مقاومة المعادن والمواد عن بعضها. كما تتغير المقاومة حسب الشكل الهندسي للجسم فتزداد مع طوله وتتناقص مع مساحة مقطعه، كما تزداد بارتفاع درجة حرارته. ويرمز للمقاومة الكهربائية بـ R ووحدتها **الأوم** (Ω)، نسبة للفيزيائي الألماني جورج أوم الذي درس العلاقة بين التيار والمقاومة وفرق الجهد. وتعطى مقاومة سلك طوله L ومساحة مقطعه A بالعلاقة:

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (2\text{-}4)$$

حيث تدل ρ على المقاومة النوعية للمادة وتعتمد على نوعها طبعاً، كما هو موضح في الجدول 4-1 . وتعطى وحدة المقاومة النوعية بـ $\Omega.m$.

الجدول 4-1: المقاومة النوعية لبعض المواد

metals	ρ (nΩ·m)	nonmetals	ρ (Ω·m)
ألمنيوم	26.5	أوكسيد الألمنيوم (14 °C)	1×10^{14}
نحاس أصفر	64	أوكسيد الألمنيوم (300 °C)	3×10^{11}
كروم	126	أوكسيد الألمنيوم (800 °C)	4×10^{6}
نحاس عادي	17.1	كربون (ألماس)	2.7
ذهب	22.1	كربون (فحم)	650×10^{-9}
حديد	96.1	جرمانيوم	0.46
رصاص	208	بايركس 7740	40,000
زنبق	941	كوارتز	75×10^{16}
بلاتين	105	سيليكون	640
بلوتونيوم	1414	أوكسيد السيليكون (20 °C)	1×10^{13}
فضة	15.9	أوكسيد السيليكون (600 °C)	70,000
فولاذ	180	أوكسيد السيليكون (11300 °C)	0.004
فولاذ منظف	720	ماء (0 °C)	861,900
تنغستين	52.8	ماء (25 °C)	181,800
يورانيوم (0 °C)	280	ماء (100 °C)	12,740

4-5 قانون أوم

ذكرنا في تعريف التيار أننا نحتاج لفرق جهد لتحريك الشحنات ويتناسب التيار الكهربائي الناتج مع فرق الجهد المطبق بحسب العلاقة:

$$I \propto V$$

كما يتناسب عكساً مع مقاومة الناقل المار فيه، أي أن:

$$I \propto \frac{1}{R}$$

ومن ثم نكتب العلاقة بين التيار وفرق الجهد والمقاومة على النحو:

$$I = \frac{V}{R} \qquad (3\text{-}4)$$

تدعى العلاقة (3-8) **قانون أوم** ونستطيع بواسطتها حساب مقدار التيار الكهربائي المار في الدارات الكهربائية. وعادة ماتكتب المعادلة (3-8) بالشكل:

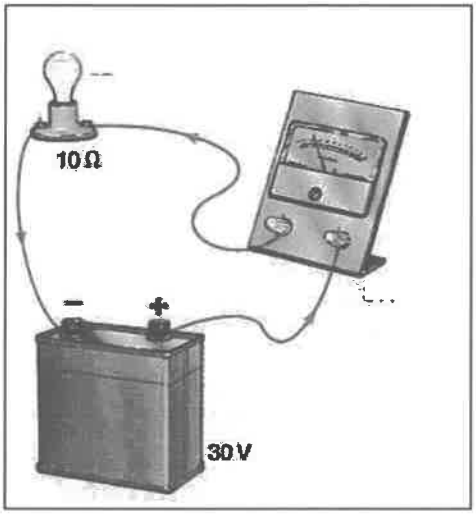
$$V = IR \qquad (4\text{-}4)$$

تسمى المقاومات التي تخضع للعلاقة السابقة **مقاومات أومية** (ohmic resistors)، أي أن التيار المار فيها يتناسب طردياً مع فرق الجهد بين طرفيها. ولو رسمنا العلاقة بين التيار وفرق الجهد لنتج خط مستقيم.

ويتم عادة قياس المقاومة في المختبر بربطها بمصدر فرق جهد يمكن تغييره بواسطة مقاومة متغيرة، ثم يقاس التيار المار فيها من أجل عدة قيم لفرق الجهد. وترسم العلاقة بين التيار وفرق الجهد وتقرب لأفضل خط مستقيم. وبحسب قانون أوم فإن ميل الخط المستقيم الناتج هو قيمة المقاومة المطلوبة.

مثال 4-1:

تشكل دارة كهربائية من مصباح مقاومته Ω 10 وبطارية قوتها V 30 و مقياس تيار، كما في الشكل (4-6). ماقراءة مقياس التيار؟



الشكل (4-6)

نستخدم قانون أوم مباشرة ونكتب:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{30\,\mathrm{V}}{10\,\Omega} = 3\,\mathrm{A}$$

4-6 القدرة الكهربائية المنتجة والمستهلكة

عندما يتحرك تيار كهربائي في دارة مغلقة، فإن الشحنات تتحرك من الجهد المرتفع إلى الجهد المنخفض وبالتالي فإن هناك شغل مبذول عليها. وبحسب ماعرفنا في الوحدة السابعة فإن هذا الشغل يساوي تغير طاقة الوضع للشحنة عندما تنتقل بين نقطتين فرق الجهد بينهما V والذي يعطى بالعلاقة:

$$W = \Delta U = qV \qquad (5\text{-}4)$$

وبما أن القدرة المبذولة تساوي الشغل الناتج مقسوماً على الزمن اللازم لشغله، لذا تصير القدرة الكهربائية المصاحبة لسريان شحنات q متتالية خلال زمن t معطاة بالعلاقة:

$$P=\frac{W}{t}=\frac{qV}{t}=IV \qquad (6\text{-}4)$$

وتعطى وحدة القدرة الكهربائية بـــ J/s=watt .

فإذا سرى تيار I في مقاومة R فإن ***القدرة الكهربائية المستهلكة*** فيها، أي الطاقة الكهربائية المستهلكة بواحدة الزمن، هي:

$$P=IV=I^2R=\frac{V}{R^2} \qquad (7\text{-}4)$$

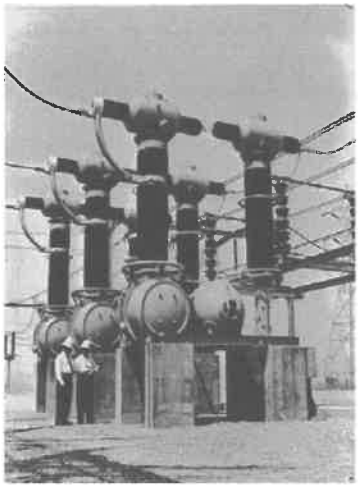
أما ***القدرة الكهربائية المنتجة*** من بطارية قوتها V تصدر تياراً I فيساوي:

$$P=IV \qquad (8\text{-}4)$$

وتعطى الطاقة الكهربائية المنتجة أو المستهلكة خلال زمن ما t بالعلاقة:

$$W=Pt=I^2Rt=IVt \qquad (9\text{-}4)$$

وتتحول الطاقة الكهربائية المستهلكة في مقاومة خلال زمن معين لطاقة حرارية، لذلك تسخن المقاومة وترتفع درجة حرارتها.



محطة توليد طاقة

مثال 4-2

يشغل مصباح كهربائي قدرته 60 W بواسطة فرق جهد 220 V. ماالتيار المار في المصباح وكمية الطاقة المستهلكة في أربع ساعات؟ ما مقاومة المصباح؟

الحل:

بما أن قدرة المصباح 60 W ويعمل بفرق جهد 220 V لذا نستخدم العلاقة (4-8) ونكتب:

$$P = IV \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{60\,\mathrm{W}}{220\,\mathrm{V}} = 0.27\,\mathrm{A}$$

أما كمية الطاقة المستهلكة في أربع ساعات فتعطى بالعلاقة (4-9) ونكتب:

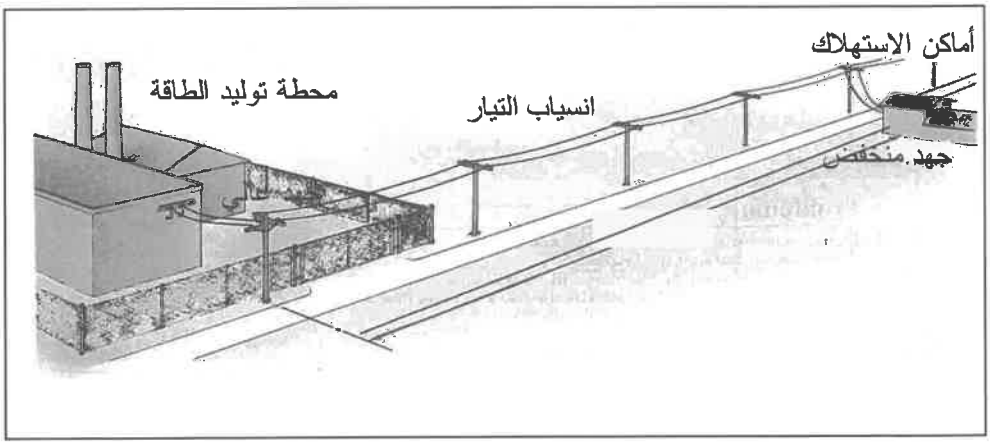
$$W = Pt = (60\,\mathrm{W}) \times (4 \times 3600\,\mathrm{s}) = 216\,\mathrm{kJ}$$

ونجد مقاومة المصباح من قانون أوم:

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow R = \frac{V}{I} = \frac{220\,\mathrm{V}}{0.27\,\mathrm{A}} = 806.7\,\Omega$$

7-4 نقل الطاقة الكهربائية

يتم توليد الطاقة الكهربائية بعدة وسائل كالشلالات المائية والطاقة النووية والبترول وغيرها. وحتى يستفاد من هذه الطاقة يجب نقلها من محطات التوليد البعيدة إلى المدن والقرى وهذه المسافة قد تكون كبيرة جداً في بعض الأحيان، كما في الشكل (4-7). لكن الأسلاك الكهربائية المستخدمة لنقل الطاقة لها مقاومة معينة (ولو أنها صغيرة تصل لحوالي 0.2 W/km) مما يعني أن الطاقة الكهربائية المستهلكة أسلاك النقل الطويلة ستكون كبيرة مالم يتم نقلها بطريقة اقتصادية وعملية.



الشكل (4-7): نقل الطاقة من محطات التوليد لأماكن الاستهلاك

ويتم عادة تقليل الطاقة الكهربائية الضائعة في أسلاك النقل (I^2R) بجعل التيار المار فيها أصغر مايمكن. وبما أن القدرة الناتجة عن المولد ($P=IV$) ثابتة لذا يرفع فرق الجهد عند موقع التوليد أكبر مايمكن بحيث يصل أحياناً لربع مليون فولت مما يؤدي لخفض التيار في أسلاك النقل بشكل كبير. ويستخدم محول مناسب عند مواقع الاستهلاك لخفض الجهد وزيادة التيار.

مثال 4-3

ماالقدرة المستهلكة (الضائعة) في سلك نقل طوله 3.5 كم إذا علمت أن مقاومته 0.2 Ω/km وأن التيار المار فيه يساوي 41 A ؟

الحل:

نحسب المقاومة الكلية للسلك:

$$R = (0.2\Omega/\text{km})(3.5\text{km}) = 0.7\Omega$$

ونجد القدرة الضائعة من العلاقة:

$$P = I^2R = (41\text{A})^2(0.7\Omega) = 1200\,\text{W}$$

وهذه كمية كبيرة من الطاقة الضائعة في كل ثانية مالم يتم خفض التيار بشكل كبير.

8-4 الكيلو وات – ساعة (kW- h)

تقوم شركات توليد وبيع الكهرباء بحساب الطاقة التي يستهلكها منزل أو محل بواسطة حساب عدد ساعات الاستهلاك وضرب ذلك بقدرة كل جهاز كهربائي مستخدم (الطاقة المستهلكة بواحدة الزمن). وحيث أن الطاقة تعطى بالجول حيث:

$$1\text{J}=1\text{W-s}$$

وهذه كمية صغيرة من الطاقة، لذا تحسب شركات الكهرباء كمية الاستهلاك بالكيلو وات – ساعة الذي يساوي:

$$1\text{kW-h}=(1000\,\text{J})\times(3600\text{s})=3.6\times10^6\,\text{J}$$

ويتم بيع الطاقة بالكيلو وات – ساعة.

ويعطي الجدول 4-2 القدرة المستهلكة والتيارات الضرورية في بعض الأجهزة المنزلية.

الجدول 4-2: القدرة المستلكة في بعض الأجهزة الكهربائية المنزلية

الجهاز المستخدم	القدرة الكهربائية (W)	التيار اللازم (A) $I=P/V$, V=240 V
مكيف	1500	6.25
خلاط	180	0.75
سخان قهوة	1625	7.75
غسالة	1200	5
مكواة	1100	4.5
ثلاجة	400	2.1
فرن	6000	25
تلفزيون ملون	100	0.42

4-9 الدارات الكهربائية

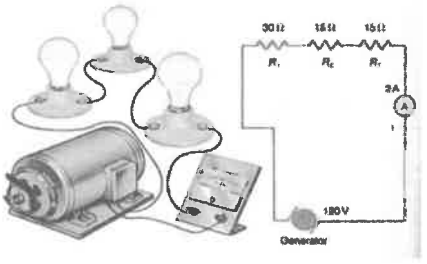
تتألف أي دارة كهربائية بسيطة من مولد لفرق الجهد (كالبطارية التجارية أو مفتاح الكهرباء المنزلي أو دينامو الدراجة الهوائية) متصلة بواسطة أسلاك

كهربائية بجهاز (أو أجهزة)، له مقاومة كهربائية معينة. ويحسب التيار المار في الدارة بواسطة قانون أوم.

ويتم وصل الأجهزة الكهربائية (أي المقاومات) عادة بإحدى وسيلتين: على التسلسل (أو التوالي) (series) أو على التوازي (parallel).

9-4 أ الدارات المتسلسلة

تتألف الدارة المتسلسلة من عدة أجهزة كهربائية (مقاومات) مربوطة ببعضها على التوالي بينما يوصل طرف أولاها وطرف آخر واحدة منها بمولد تيار مستمر بحيث يمر **نفس التيار** في كل جهاز، كما هو موضح في الشكل (4-8).



الشكل (4-8): دارة متسلسلة

ولمعرفة التيار المار في الدارة نلاحظ أن فرق الجهد الكلي يساوي مجموع فروق الجهد بين طرفي كل مقاومة، أي أن:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

ولكن بحسب قانون أوم فإن فرق الجهد بين طرفي مقاومة يعطى بالعلاقة (4-4)، لذا نكتب العلاقة السابقة بالشكل:

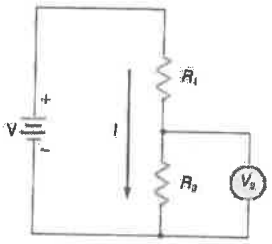
$$V = (IR_1 + IR_2 + IR_3) = IR_T$$

حيث تكون المقاومة الكلية البديلة للمقاومات المربوطة مساوية إلى:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \qquad (10\text{-}4)$$

مثال 4-4

تشكل دارة متسلسلة من مقاومتين R_1=5 Ω و R_2=10 Ω مربوطتان ببطارية قوتها 45 V، كما في الشكل (9-8). ماالتيار المار في الدارة ومافرق الجهد بين طرفي R_2؟



الشكل (9-4)

الحل:

نحسب المقاومة الكلية للدارة من العلاقة (10-4) فنجد:

$$R_T = R_1 + R_2 = 5 + 10 = 15\,\Omega$$

ثم نحسب التيار من العلاقة:

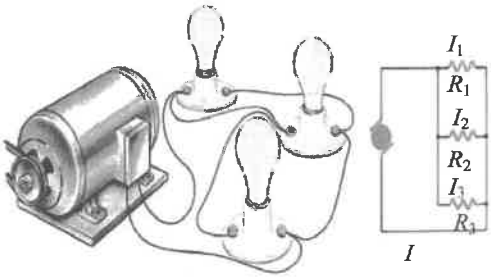
$$I = \frac{V_T}{R_T} = \frac{45\,\text{V}}{15\Omega} = 3\,\text{A}$$

أخيراً نجد فرق الجهد بين طرفي المقاومة R_2 من قانون أوم:

$$V_2 = IR_2 = (3\,\text{A})(10\Omega) = 30\,\text{V}$$

4-9 ب الدارات المتوازية

يتفرع التيار في الدرات المتوازية في عدة فروع، كما في الشكل (4-10)، لكن فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة يبقى نفسه.



الشكل (4-10): دارة متوازية

لذلك يمكن حساب التيار في كل فرع بسهولة من العلاقة:

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

لكن التيار الكلي الناتج عن المولد هو مجموع التيارات الفرعية، أي ان:

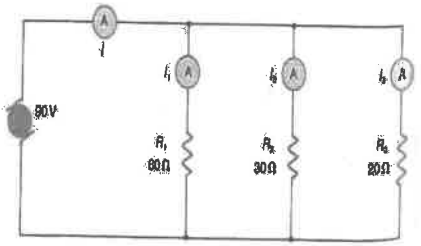
$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = \frac{V}{R_T}$$

أي أن المقاومة الكلية R_T تعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \qquad (11\text{-}4)$$

مثال 4-5

تتألف دارة متوازية من ثلاثة مصابيح مربوطة بمولد فرق جهد، كما في الشكل (4-11). ما التيار الكلي في الدارة وما التيار المار في كل مصباح ؟



الشكل (4-11)

الحل:

نحسب المقاومة الكلية في الدارة:

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{20}+\frac{1}{30}+\frac{1}{60}=\frac{6}{60}\Rightarrow R_T=\frac{60}{6}=10\Omega$$

ونجد التيار الكلي في الدارة بكتابة:

$$I=\frac{V_T}{R_T}=\frac{90\,\mathrm{V}}{10\Omega}=9\,\mathrm{A}$$

كما نجد التيار في كل مقاومة من العلاقة:

$$I_1 = \frac{V_T}{R_1} = \frac{90\,\text{V}}{20\,\Omega} = 4.5\,\text{A}$$

$$I_2 = \frac{V_T}{R_2} = \frac{90\,\text{V}}{30\,\Omega} = 3.0\,\text{A}$$

$$I_3 = \frac{V_T}{R_3} = \frac{90\,\text{V}}{60\,\Omega} = 1.5\,\text{A}$$

سؤال: هل توصل المصابيح في أسلاك الزينة الطويلة على التوالي أم التوازي؟

الإجابة: توصل المصابيح على التوالي حتى يمر فيها نفس التيار وتحوي المصابيح الحديثة مقاومة إضافية تدعى ***موزعة*** (shunt) بحيث أنه إذا احترق المصباح يمر التيار في الموزعة ولاينقطع عن بقية المصابيح التي تبقى مضاءة. في الماضي لم تكن هذه الموزعة متوفرة لذلك كانت المصابيح كلها تنطفئ في حال احتراق أحدها ووجب عندئذ البحث عن المصباح المعطل لاستبداله.

10-4 طرق الحماية والصيانة الكهربائية في الأبنية العامة والمنازل

تعتبر الكهرباء والأجهزة الكهربائية جزءاً أساساً في حياتنا الومية ومصدراً للحرارة والضوء والقدرة الكهربائية الضرورية لتشغيل الأجهزة الكهربائية في البيوت والمصانع. إلا أنه يجب التعامل مع الكهرباء بحذر وحيطة لأن سوء استعمالها يؤدي لعواقب وخيمة قد تكون مميتة أحياناً. وبشكل عام فإن فرق جهد يتجاوز 50 فولت يعتبر خطراً جسيماً على الإنسان، كما أن سريان تيارات أكبر من 50 ميللي أمبير في الجسم يؤدي للموت المباشر بالتكهرب. ومن المهم أن نتذكر أن نجعل جسمنا جزءاً من دارة كهربائية

مغلقة، لأن للجسم مقاومة $R_{جسم}$ وإذا اتصل بمصدر لفرق جهد V يمر فيه تيار $I=V/R_{جسم}$. فعندما يكون الجسم جافاً تكون مقاومته عالية مما يجعل التيار المار فيه صغيراً فتكون الصدمة الكهربائية خفيفة لاتعدو كونها رجفة مزعجة تضرب الجسم على حين غرة. أما لو كان الجسم رطباً، نتيجة التعرق مثلاً، عندئذ تنخفض مقاومته بشكل كبير ليرتفع التيار مسبباً إصابات بليغة وربما تكون مميتة.

ويعطي الجدول 7-3 قيم التيارات التي يمكن أن تؤدي لإصابات في الإنسان.

الجدول 4-3 : تأثير التيار الكهربائي على الإنسان.

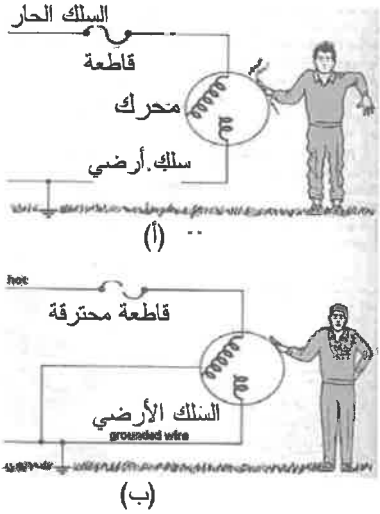
التيار (mA)	التأثير
1	غير ملموس
10-5	صدمة خفيفة
15-10	من الصعب الإفلات
25-15	تجمد العضلات ولايمكن الإفلات
50-25	صعوبة في التنفس
100-50	احتمال توقف التنفس مع رعش في ضربات القلب
>100	الموت

وتحدث الصعقة الكهربائية عند لمس جزء مكشوف من جهاز كهربائي متصل بالكهرباء بحيث ينتقل التيار من الجسم للأرض. وتعتمد شدة الإصابة على عدة عوامل كناقلية الجسم وهي صغيرة عادة إلا أنها تزيد بشكل كبير إذا كان الجسم أو الملابس رطبة، كما ذكرنا أعلاه. كما ترتفع نسبة الإصابة الخطيرة بحسب التيار وفرق الجهد ومدة التماس مع الجهاز. ويؤدي مرور التيار الكهربائي في قلب الإنسان للموت المباشر بالتكهرب، كأن تكون إحدى القدمين ملامسة لأرض مبلولة عندما تلمس اليد (أو أي جزء من

الجسم) جهازاً أو سلكاً كهربائياً. ويكون الخطر أكبر إذا مر التيار عبر الجسم من طرف لآخر كأن تلمس القدم اليمنى مثلاً الأرض واليد اليسرى مصدر الكهرباء مما يؤدي لسريان التيار عبر القلب. ويولد سريان التيار عبر الجسم حرارة تحرق الخلايا وتقتلها. من جهة أخرى تؤدي الحرارة الناتجة عن تماس كهربائي لانصهار الأسلاك ونشوب حريق في موقع الحادثة والأماكن المحيطة بها.

وتستخدم القاطعة (fuse) في الأجهزة الكهربائية للحماية من ارتفاع قيمة التيار بشكل مفاجئ. وتتألف اساساً من سلك صغير لايتحمل حرارة عالية فينصهر عند مرور تيار كبير فيه. وتصنع القواطع بحيث تتحمل تياراً محدداً وتكتب قيمة هذا التيار عليها. فهناك قاطعة 15 A و 20 A وهكذا.

وعلى الرغم من أهمية استخدام القاطعات في الدارات الكهربائية المنزلية إلا أنها غير كافية أحياناً للحماية من الصدمات الكهربائية. فكما هو مبين في الشكل (4-12 أ و ب) يمكن أن يلمس السلك الحار (الموجب) لمولد الغطاء المعدني له مما يسبب صدمة كهربائية لشخص يلمسه، على الرغم من وجود قاطعة كهربائية، لأنه يكمل إغلاق الدارة الكهربائية بجسمه (الشكل 4-21 أ). ولمنع مثل هذه الحوادث يربط غطاء المولد بسلك أرضي (بارد) فلا يمر التيار في هذه الحالة من خلال جسم الشخص لأن السلك الأرضي يجعل الدارة مغلقة بذلك الاتجاه، كما في الشكل (4-12 ب).



الشكل (4-12)

وهناك قواعد عامة تضعها السلطات المختصة للحماية من الحوادث الكهربائية منها:

1- التأكد من أن أجهزة إنذار الحرائق المنزلية موزعة في كل أرجاء المنزل وتعمل بشكل صحيح.

2- الانتباه لأي مشكلة كهربائية وتقصي سببها كانخفاض الإنارة أو احتراق القاطعة بشكل متكرر.

3- مراجعة كهربائي متخصص لمتابعة كافة التوصيلات والأعطال الكهربائية.

4- عدم استخدام الوصلات الكهربائية المتعددة والأسلاك الخارجية الطويلة إلا في حالات الضرورة القصوى.

5- استخدام مصابيح متوافقة مع فرق الجهد المستخدم لأن المصابيح ذات القدرة العالية تتسبب في تآكل الأسلاك مع الزمن.

ملخص الفصل

التيار الكهربائي: حركة الشحنات الكهربائية من جهد مرتفع لجهد منخفض ووحدته الأمبير (كولوم/ثانية).

مولد فرق جهد (بطارية): مصدر لتحريك الشحنات من الجهد المنخفض للجهد المرتفع وتعطى قوته بالفولت V.

المقاومة الكهربائية: مقدار مقاومة الأجسام لحركة الشحنات فيها ووحدتها الأوم Ω.

قانون أوم: العلاقة التي تربط بين التيار المار في مقاومة وفرق الجهد بين طرفيها ومقاومتها: $I = \frac{V}{R}$

القدرة الكهربائية: معدل الطاقة الكهربائية المنتجة أو المستهلكة بواحدة الزمن ووحدتها الوات W وتعطى بالعلاقة: $P=IV$.

جمع المقاومات: على التوالي $R_T = R_1 + R_2 + R_3$ وعلى التوازي $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.

يجب اتخاذ اجراءات أساس للحماية من الصدمات الكهربائية كاستخدام القاطعة الكهربائية وربط الأجهزة الكهربائية بالأرض

أسئلة

4-1 هل تكون البطاريات الصغيرة في المصباح اليدوي العادي موصولة على التوالي أم التوازي؟

4-2 ما الذي يسبب الصعقة الكهربائية؟ التيار أم فرق الجهد؟

4-3 يقول بعض الناس أن الأجهزة الكهربائية في المنزل (كالمكيف مثلاً) تستهلك الكهرباء. أين يستهلك الجهاز الكهرباء وإلى ماذا تتحول؟

4-4 يقوم بعض الناس باستبدال القاطعة الكهربائية في المنزل بقطعة معدنية صلبة. هل هذا صحيح؟ ما خطورة ذلك؟

4-5 ما أكبر قوة يمكن أن تحصل عليها من ثلاث بطاريات قوة الواحدة 1.5 V ؟

4-6 مقاومة المفتاح الكهربائي في المنزل صغيرة جداً عنما يعمل. ما مقاومته عنما نطفئ الإضاءة؟

4-7 يوصل مصباحان قدرة الأول 75 W والثاني 100 W بفرق جهد واحد. أي من المصباحين سيمر فيه تيار أكبر؟ وأي منهما سيكون فرق الجهد بين طرفيه أكبر؟

4-8 كيف تتغير إجابات المسألة السابقة لو كان المصباحان مربوطين على التوالي بفرق الجهد؟

4-9 يمر تيار 12 A في خلاطة متصلة بمصدر فرق جهد 220 V. ما القدرة الكهربائية المستهلكة فيها؟

4-10 يمر تيار 1.2 A في مصباح كهربائي متصل بفرق جهد 220 V. ما القدرة الكهربائية المستهلكة؟

4-11 توصل بطارية قوتها 30 V بمقاومة 10 Ω. (أ) مالتيار المار في المقاومة؟ (ب) ما القدرة الكهربائية المستهلكة؟ (جـ) ما الطاقة الكهربائية المستهلكة في 24 ساعة؟

12-4 تربط مقاومة 15 Ω ببطارية قوتها 12 V. مالتيار الناتج؟

13-4 توصل بطارية قوتها 12 V بجهاز فيمر فيه تيار 24 mA . ما التيار المار بنفس الجهاز إذا ربط ببطارية قوتها 24 V؟

14-4 تبلغ مقاومة جسم الإنسان (عندما يكون جافاً) حوالي 1×10^5 Ω بينما تنخفض إلى 3×10^3 Ω إذا صار رطباً. (أ) ما فرق الجهد اللازم لمرور تيار 1 mA (بالكاد محسوس) في جسم جاف؟ (ب) ما التيار المار لو كان الجسم رطباً؟ (جـ) ما أقل فرق جهد لازم ليصير التيار المار 5 mA (مؤلم) ؟

15–4 يسحب مصباح تياراً مقداره 66 mA عندما يوصل ببطارية قوتها 6.0 V ، بينما يسحب 75mA عندما يوصل ببطارية قوتها 9.0 V .

16-4 يوضح الجدول التالي نتائج تجربة أجريت لتحديد قيمة مقاومة مجهولة بقياس تغيرات التيار المار فيها مع تغير فرق الجهد بين طرفيها.

التيار(A)	فرق الجهد (V)
0.014	2.0
0.027	4.0
0.40	6.0
0.52	8.0

ارسم العلاقة بين التيار وفرق الجهد وقرب النقاط لأفضل خط مستقيم واستخدم ميله لإيجاد المقاومة المجهولة.

17-4 يستخدم عادة ملف معدني (coil) لتسخين الماء في الأوعية الصغيرة في المكاتب مثلاً. بفرض أن مقاومة الملف 4 Ω ويعمل بفرق جهد 220 V .

(أ) ما التيار المار فيه؟

(ب) مالطاقة الكهربائية التي يستهلكها في خمس دقائق؟

(جـ) كم تكلفة استعمال هذا السخان إذا كان سعر الكيلوات – ساعي 0.005 دينار؟

4-18 توصل ثلاث مقاومات قيمة الواحدة 15 Ω على التوازي مع بطارية قوتها 30 V .

(أ) ما المقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث؟

(ب) ما التيار الكلي في هذه الدارة ؟

(جـ) ما التيار المار في كل مقاومة ؟

4-19 يتألف سلك زينة من 18 مصباح متصل بفرق جهد 220 V وقدرته 64 W .

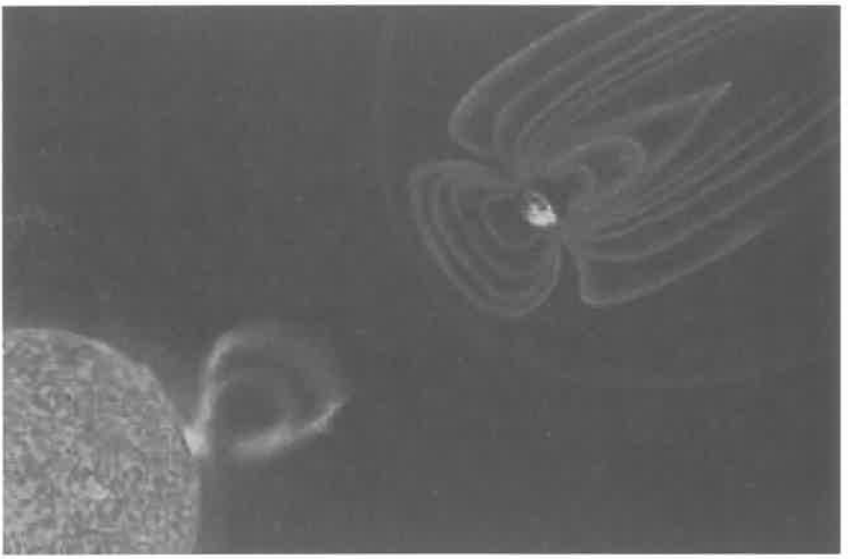
(أ) ما المقاومة الكلية للسلك؟

(ب) ما مقاومة كل مصباح؟

(جـ) ما القدرة الكهربائية المستهلكة في كل مصباح؟

الفصل الخامس

المغناطيسية



محتويات الفصل

مقدمة
المغانطيس والأقطاب المغناطيسية
أنواع المجال المغناطيسي وأشكاله
المجال المغناطيسي
تأثير القوة المغناطيسية على الكهرباء
تأثير القوة المغناطيسية على الأسلاك الكهربائية
الجلفانوميتر ومقياس التيار – الأميتر ومقياس الفولت – الفولتميتر
مصادر المجال المغناطيسي
المجال المغناطيسي لسلك طويل وملف اسطواني
القوة المغناطيسية بين الأسلاك الكهربائية
المواد المغناطيسية: المواد حديدية المغنطة والمواد غير الحديدية
المجال المغناطيسي الأرضي والرياح الشمسية وحزام فان آلن الإشعاعي
الحث أو التحريض الكهرمغناطيسي وإنتاج التيار
قانون فاراداي وقانون لنز
المولد الكهربائي والمحول الكهربائي
ملخص الفصل
أسئلة

1-5 مقدمة: أصل المغناطيسية وطبيعتها

ما أصل المغناطيسية وكيف تظهر في الأجسام؟ لماذا تتمغط القطع الحديدية عند لفها بسلك يمر فيه كهرباء ولايحدث ذلك في اللألمنيوم أو الخشب؟ لاشك إن هناك علاقة بين إمكانية تمغنط المواد وطبيعتها التركيبية الذرية الداخلية. وهذا ما نريد ن نفهمه في دراستنا للمغناطيسية.

ترتبط المغناطيسية بالكهرباء بشكل وثيق، وعلى الرغم من أننا ندرس كل منها بشكل منفصل ونعرف كلاً من القوة الكهربائية والقوة المغناطيسية كل على حدة إلا أن القوة الكهربائية تنتج من وجود شحنات كهربائية سواء كانت ساكنة أم متحركة بينما تنتج القوة المغناطيسية عن حركة الأجسام المشحونة فقط، كما سنرى لاحقاً، ولهذا فهناك ارتباط أساس بين الكهرباء والمغناطيسية. وبما أن كلا القوتين ترتبط بالكهرباء بهذا الشكل لذا يطلق عليهما أحياناً اسم **القوة الكهرمغناطيسية** (electromagnetic force). فالمغناطيسية نتيجة حركة الشحنات الكهربائية وكل الأجسام المغناطيسية، بما في ذلك الكرة الأرضية، لابد وأن تحمل تيارات كهربائية بشكل أو بآخر. وسندرس في هذه الوحدة طبيعة الأجسام المغناطيسية وتأثيرها على الشحنات الكهربائية ومصادر خاصية التمغنط وكيفية الاستفادة منها.

2-5 المغانطيس والأقطاب المغناطيسية

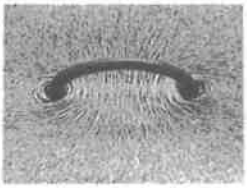
يعتقد الكثير من الناس أن المغناطيسية خاصة طبيعية مثل خاصة الكتلة والشحنة، بمعنى أنها إما أن تكون موجودة بالجسم أو غير موجودة. لكننا سنرى في هذه الفقرة أنها بالحقيقة خاصة متولدة ناتجة عن الكهرباء. وتظهر في حالات معينة فقط لبعض الأجسام.

وقد عرف الإنسان المغانط الطبيعية من ايام اليونان والإغريق القدماء. واشتق اسمها من اللغة الإغريقية عندما لاحظ أن بعض المعادن تستطيع

جذب معادن معينة، كبرادة الحديد، لها. وقد تصور القدماء أن قدرة المغناطيس على جذب برادة الحديد كانت نتيجة قوة خارقة غير طبيعية وبأن للمغناطيس روح قادرة على التأثير على هذه الأجسام. ومع بداية القرن الأول بعد الميلاد استطاع الصينيون الحصول على مغناطيس من الحديد بدلك قطعة حديدية بمغناطيس طبيعي، وأدى ذلك لأول تطبيق عملي للمغناطيسية في التاريخ بصناعة البوصلة مما دل على أن الأرض تملك خواصاً مغناطيسية أساس.

ويبين الشكل (3-1) بعض المغنط الطبيعية المعروفة.

(أ) مغناطيس على شكل قضيب



(ب) مغناطيس على شكل حدوة حصان

الشكل (5-1)

3-5 أنواع المجال المغناطيسي وأشكاله

تتوفر المغانط المصنعة حالياً بكثرة ويسر لأننا نعرف كيف نصنعهم إلا أنه وإلى وقت ليس ببعيد لم يكن الحصول على مغناطيس بهذه السهولة وكانت معظم المغانط المعروفة هي المغانط الطبيعية فقط. فكيف نصنع مغناطيساً؟ وكيف نستطيع المحافظة عليه أو إلغاء مغناطيسيته نهائياً؟

فمن المعروف أنه إذا قربنا برادة حديد ناعمة من قضيب مغناطيسي لوجدنا أن أكبر كمية منها تلتصق بطرفيه مما يدل على أن مغناطيسية هذه الأطراف أكبر من بقية القضيب. تسمى أطراف المغناطيس **بالأقطاب** (poles) ونقول إن للمغناطيس **قطب شمالي** وآخر **جنوبي** لأنه لو علقنا مغناطيساً خفيفاً وتركناه يدور بشكل حر فوق سطح الأرض لوجدنا أن أحد قطبيه يتجه نحو الشمال الجغرافي (فسمي قطب شمالي) بينما يتجه طرفه

الآخر نحو الجنوب الجغرافي (وسمي قطب جنوبي). ومما أثار فضول الناس دوماً أنهم لم يتمكنوا أبداً من فصل القطبين عن بعضهما أي أنه لم يمكن حتى الآن الحصول على قطب شمالي لوحده أو قطب جنوبي لوحده. ولو كسرنا قضيباً مغناطيسياً إلى نصفين لحصلنا على مغناطيسين آخرين لكل واحد منهما قطبان شمالي وجنوبي ومهما كررنا المحاولة لحصلنا على نفس النتيجة.

من جهة أخرى، تبين من التجربة أننا إذا قربنا مغناطيسين من بعضهما فإن الأقطاب المتماثلة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب، تماماً مثل الشحنات الكهربائية. من هنا نصل لقانون الأقطاب (law of poles) الذي ينص على أن: **الأقطاب المتماثلة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب.**

سؤال:

بحسب قانون الأقطاب فإن القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية ينجذب نحو القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض. لماذا يتجه قطب الإبرة هذا إذا نحو الشمال الجغرافي للأرض؟

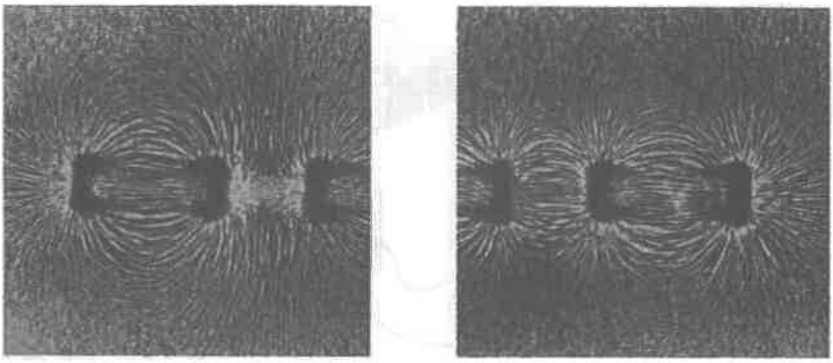
الجواب: لأن القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض يتجه تقريباً نحو القطب الشمالي الجغرافي لها والعكس صحيح.

4-5 المجال المغناطيسي

لو نثرنا برادة حديد قرب مغناطيس على طاولة، كما في الشكل (3-2)، للاحظنا أن البرادة تتوزع وفق خطوط محددة تنطلق من قطبي المغناطيس. تسمى هذه الخطوط **خطوط المجال المغناطيسي**. ونلاحظ أن أكبر كمية من البرادة قد تجمعت قرب القطبين، كما أسلفنا سابقاً، ولهذا نقول إن **شدة المجال** (intensity) هناك أكبر مايمكن. وتمثل خطوط المجال المغناطيسي عند أي نقطة منها المنحى الذي تأخذه إبرة مغناطيسية موضوعة، كما نرى في الشكل (5-2). كما يوضح الشكل (4-3) خطوط المجال المغناطيسي

الناتج بين مغناطيسين موضوعين بحيث يتقابل قطباهما المختلفان (3-3 أ) وقطباهما المتماثلان (3-5 ب).

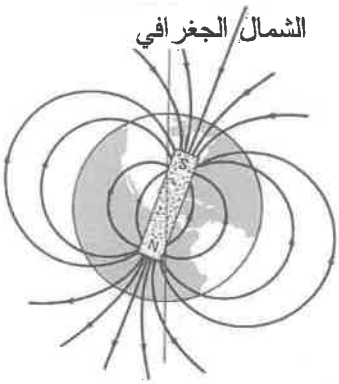
ويرمز لشدة المجال المغناطيسي بالرمز **B** ويطلق على وحدته في النظام الدولي اسم **تسلا** (Tesla) وتعطى الرمز T وهي تساوي 1 N/A.m . وقد تبين أن مجالاً مغناطيسياً شدته 1 T يعتبر كبيراً جداً. لذا فإن شدة مجالات المغانط المتوفرة في المختبرات العادية لاتتجاوز 0.01 T. أما المجال المغناطيسي للأرض فيصل لحوالي 5×10^{-5} T .



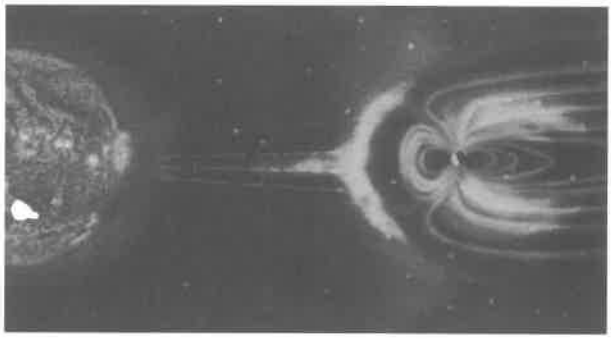
(أ) القطبان المتقابلان مختلفين (ب) القطبان المتقابلان متماثلين

الشكل (3-3): خطوط المجال المغناطيسي بين مغناطيسين

وتشبه خطوط المجال المغناطيسي للكرة الأرضية خطوط المجال لقضيب مغناطيسي على امتداد قطر الأرض، كما هو موضح بالشكل (4-4)، حيث نلاحظ أن القطب الشمالي لهذا المغناطيس يتجه (تقريباً) نحو القطب الجنوبي الجغرافي للأرض بينما يتجه قطبه الجنوبي نحو القطب الشمالي الجغرافي.



الشكل (4-3)



المجال المغناطيسي الأرضي وامتداده

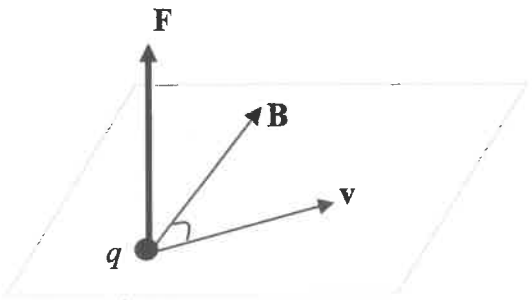
5-5 تاثير القوة المغناطيسية على الكهرباء

هل تتأثر ذرات الهواء العادي بمغناطيسية الأرض؟ كيف يمكن لنا ان نتفحص هذا ونعرف كيف تفيدنا مغناطيسية الأرض التي تحيط بنا من كل جانب؟ هل نستفيد من تأثير المجال المغناطيسي على حركة الإلكترونات في الأجهزة الكهربائية البيتية؟

لقد تبين من التجارب المختلفة أنه إذا تحرك جسم شحنته q في منطقة فيها مجال مغناطيسي شدته B بسرعة v عمودية عليه فإنه يخضع لقوة مغناطيسية تعطى قيمتها بالعلاقة:

$$F=qvB \qquad (1\text{-}5)$$

وتتجه هذه القوة عمودياً على كل من سرعة الجسم واتجاه المجال، أي عمودياً على المستوي الحاوي لهما، كما في الشكل (3-5).
ولاتجاه القوة المغناطيسية بالنسبة لسرعة الجسم أثر كبير على حركته. ذلك أن أي قوة عمودية على سرعة جسم لاتزيد من قيمتها بل تحرفه عن مساره وتجعله يتحرك في مسار دائري، أي أنها قوة مركزية قيمتها mv^2/r.



الشكل (5-5)

ويمكن معرفة نصف قطر المسار الدائري الذي يتحرك عليه جسم مشحون في مجال مغناطيسي بسهولة. فإذا افترضنا أن جسماً كتلته m وشحنته q دخل منطقة فيها مجال مغناطيسي B بسرعة v، عندئذ تكون قيمة القوة المؤثرة عليه هي:

$$F=qvB$$

وبما أن القوة عمودية على السرعة فهي مركزية، أي أن:

$$qvB = m\frac{v^2}{r}$$

ومن ثم نجد نصف قطر المسار الدائري من العلاقة السابقة:

$$r = \frac{mv}{qB} \qquad (2\text{-}5)$$

مثال (5-1)

يدخل بروتون شحنته $e=1.6\times10^{-19}$ C وكتلته $m=1.67\times10^{-27}$ kg بسرعة $v=5\times10^{6}$ m/s عمودية على مجال مغناطيسي شدته 0.1 T . ماقيمة القوة المغناطيسية المؤثرة على البروتون وما نصف قطر المسار الذي سيتحرك عليه؟

الحل:

نستخدم العلاقة (5-1) لحساب قيمة القوة المغناطيسية فنجد:

$$F = qvB$$
$$\Rightarrow F = (1.6\times10^{-19}\,\text{C})(5.0\times10^{6}\,\text{m/s})(0.1\text{T}) = 8.0\times10^{-14}\,\text{N}$$

كما نجد نصف قطر المسار الدائري من العلاقة (5-2):

$$r = \frac{mv}{qB} = \frac{(1.67\times10^{-27}\,\text{kg})(5.0\times10^{6}\,\text{m/s})}{(1.6\times10^{-19}\,\text{C})(0.1\text{T})}$$

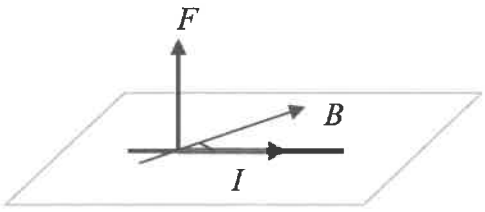
$$\Rightarrow r = 5.2\times10^{-2}\ \text{m}=5.2\ \text{cm}$$

6-5 القوة المغناطيسية على تيار كهربائي

بما أن التيار الكهربائي ينتج عن حركة الأجسام المشحونة فإن أي مجال مغناطيسي B يؤثر بقوة مغناطيسية على سلك عمودي عليه طوله l ويمر فيه تيار I . وتعطى قيمة هذه القوة بالعلاقة:

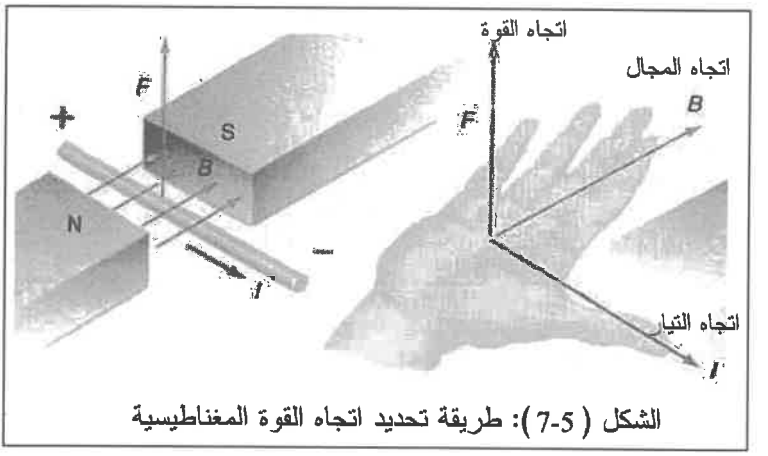
$$F = IlB \qquad (3\text{-}5)$$

وتتجه هذه القوة أيضاً، كما في حالة حركة جسم مشحون تماماً، باتجاه عمودي على التيار والمجال، كما هو مبين بالشكل (5-6).



الشكل (5-6)

ويمكن تحديد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على جسم مشحون أو تيار كهربائي بطريقة بسيطة باستخدام اليد اليمنى. فيوجه الإبهام باتجاه سرعة الجسم أو التيار الكهربائي بينما توجه بقية الأصابع باتجاه المجال، عندئذ يصير الكف مشيراً لاتجاه القوة المغناطيسية، كما هو موضح بالشكل (5-7).



الشكل (5-7): طريقة تحديد اتجاه القوة المغناطيسية

مثال (5-2)

ما القوة المغناطيسية التي يخضع لها سلك طوله 20 cm يمر فيه تيار 5 A عندما يوضع في منطقة فيها مجال مغناطيسي شدته 0.1 T يصنع معه زاوية 90° ؟

الحل:

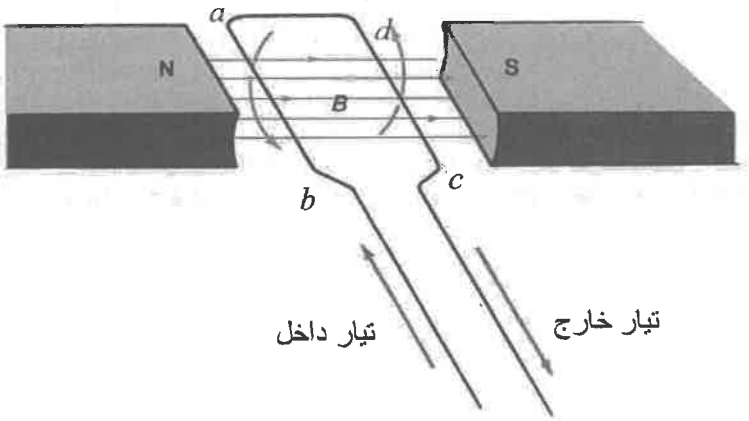
نستفيد من العلاقة (5-3) ونكتب:

$$F = IlB = (5\,\mathrm{A})(0.2\,\mathrm{m})(0.1\mathrm{T})$$
$$\Rightarrow F = 0.1\mathrm{N}$$

5-7 الجلفانوميتر

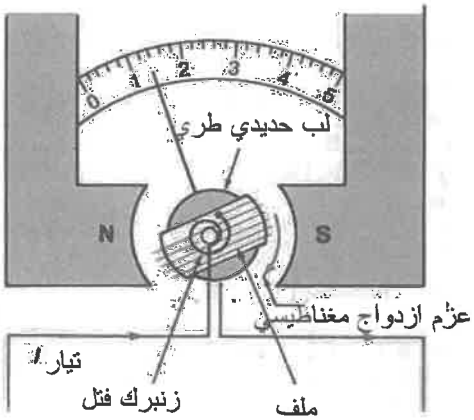
للقوة المغناطيسية المؤثرة على الأسلاك الكهربائية تطبيقات عملية مهمة جداً لصناعة الأجهزة الكهربائية التي نستخدمها في حياتنا اليومية. من أهم هذه الأجهزة **الجلفانوميتر** الذي يتحسس التيارات الكهربائية الضعيفة ويصنع منه مقياس التيار (الأميتر) ومقياس الفولت (الفولتميتر). ويتألف الجلفانوميتر في أبسط أشكاله من ملف على شكل عدة لفات مستطيلة مغلقة باستثناء بدايته ونهايته اللتان توصلان بمصدر للتيار المراد قياسه. ويوضع الملف بين فكي مغناطيس، كما في الشكل (3-8)، بحيث أنه قبل مرور أي تيار فيه يكون ساكناً بوضع أفقي تقريباً. عندما يمر تيار في الملف عندئذ يخضع الضلع

ab لقوة مغناطيسية مساوية ومعاكسه للقوة التي يخضع لها الضلع cd بحيث يصير الملف تحت تأثير عزم ازدواج فيدور مع عقارب الساعة، كما هو موضح. وبما أن عزم الازدواج يتناسب مع القوة التي تزيد بازدياد التيار المار في السلك لذلك فإن دوران الملف يتناسب مع التيار وهذا هو مبدأ عمل الجلفانوميتر.



الشكل (5-8): مبدأ الجلفانوميتر

ويوضح الشكل (5-9) تركيب الجلفانوميتر حيث يوضع مؤشر بمركز الملف، الذي يربط بزنبرك فتل، بحيث يدور الملف تحت تأثير القوة المغناطيسية إلى أن يتوازن عزم الازدواج الناتج عنها مع عزم فتل الزنبرك عند زاوية معينة تتناسب مع التيار المار في الجهاز. ويوضع تدريج مقابل المؤشر بحيث يشير للصفر عند عدم مرور أي تيار في الملف ثم تتم معايرته بتمرير تيارات صغيرة معروفة تدريجياً في الملف وتحديد مواضع اتزان المؤشر على التدريج.



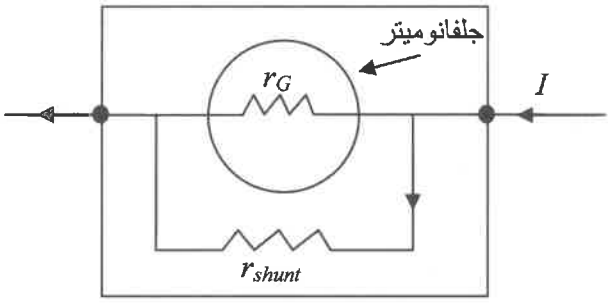
الشكل (5-9): تركيب الجلفانوميتر

لكن حتى يعمل الجلفانوميتر بشكل دقيق يجب أن لايتأثر دوران الملف بوزن السلك ولا بارتباطه بالزنبرك. أي يجب أن تكون كتلة الملف صغيرة ما أمكن مما يعني أن السلك المستخدم يجب أن يكون رفيعاً جداً مما يجعل مقاومته عالية نسبياً، كما يجب أن يرتبط الملف بالزنبرك بدقة وحساسية عالية. لذلك إذا مر في الجهاز تيار كهربائي كبير فإن القدرة الكهربائية المتحولة لحرارة في السلك ستكون كبير، بسبب مقاومته العالية، مما يؤدي لانصهاره، كما يمكن أن يدور المؤشر بسرعة كبيرة فجأة مما يكسر نقطة الارتباط بالزنبرك. وفي كلتا الحالتين فإن ذلك يعني دمار الجهاز. لذلك يستخدم الجلفانوميتر لتحري التيارات الصغيرة جداً من مرتبة الميللي أمبير أو أقل، ولو أردنا استخدامه لقياس تيارات كبيرة فيجب حمايته ليمكن تحويله لمقياس تيار، كما في الفقرة التالية.

5-8 مقياس التيار (أميتر)

يمكن أن نستخدم الجلفانوميتر لقياس تيارات كبيرة في دارة كهربائية إذا استطعنا أن نمنع الجزء الأكبر من التيار من المرور داخل الجهاز. ويتم تحقيق ذلك عادة بوصل مقاومة "موزعة" (shunt) صغيرة (r_{shunt})، بالمقارنة مع مقاومة ملف الجلفانومتر، على التوازي معه، كما هو موضح

بالشكل (5-10)، بحيث يتوزع التيار إلى جزأين يمر الجزء الأكبر منه في الموزعة بينما يمر الجزء الأصغر في ملف الجلفانومتر. ويوضع الجلفانوميتر مع المقاومة الموزعة بعلبة واحدة تدعى مقياس التيار، أو الأميتر، كما يبين الشكل (5-11).

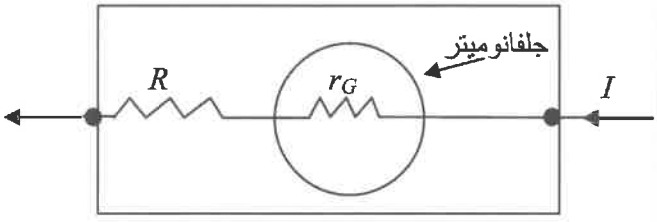


الشكل (5-10): تركيب الأميتر

الشكل (5-11): أميتر

5-9 مقياس الفولت (فولتميتر)

يصنع مقياس فرق الجهد أو **الفولتمتر** من الجلفانوميتر بوصل مقاومته بمقاومة كبير على التوالي بحيث يصير فرق الجهد بين طرفي المجموعة مساوياً للقيمة المراد قياسها. كما هو موضح في الشكل (5-12). ويتم وضع الجلفانومتر مع المقاومة في صندوق واحد يسمى الفولتمتر، كما هو موضح بالشكل (5-13).

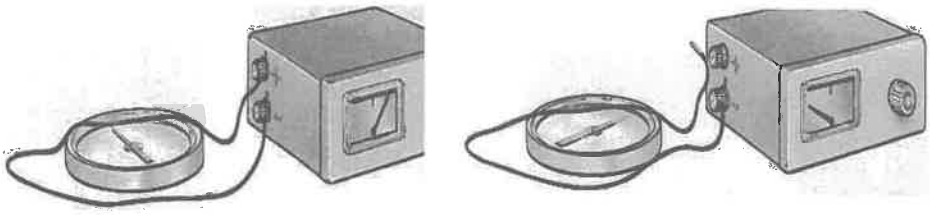


الشكل (5-12): تركيب الفولتمتر

الشكل (5-13): فولتمتر

10-5 العلاقة بين المجال المغناطيسي والتيار الكهربائي

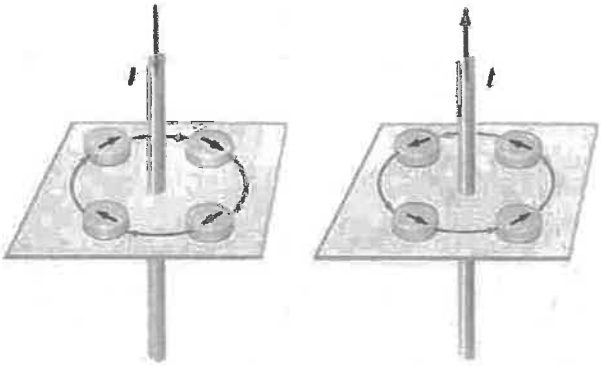
في عام 1820 اكتشف الفيزيائي الدنماركي هانز اورستيد علاقة بين مرور تيار في سلك كهربائي ووجود مجال مغناطيسي حوله. فقد لاحظ أنه إذا وضع بوصلة صغيرة قرب سلك بأنها تنحرف عند مرور تيار كهربائي فيه بينما تعود لوضعها الأصلي عند انقطاع التيار، كما هو موضح بالشكل (5-14).



(أ) لايوجد تيار والبوصلة في وضعها الطبيعي (ب) التيار مار والبوصلة تنحرف

الشكل (5-14): تأثير التيار الكهربائي على بوصلة

ولاحظ أورستيد ايضاً أن قطبي البوصلة لايتجهان نحو أو بعيداً عن السلك بل يأخذان منحى دائرياً، كما في الشكل (5-15)، فاستنتج أن خطوط المجال المغناطيسي الناتج عن السلك تتجه بعكس عقارب الساعة عندما يتحرك التيار فيه للأعلى ومع عقارب الساعة إذا تحرك للأسفل.



(أ) التيار يتحرك للأعلى (ب) التيار يتحرك للأسفل

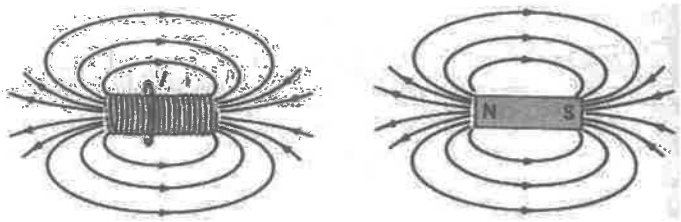
الشكل (5-15): خطوط المجال المغناطيسي حول سلك

ويمكن أن نجد خطوط المجال المغناطيسي لتيار مار في سلك مستقيم بواسطة **قاعدة اليد اليمنى** وذلك بتوجيه إبهام اليد اليمنى باتجاه التيار فيكون اتجاه خطوط المجال المغناطيسي مع حركة بقية أصابع اليد حول التيار، كما هو موضح بالشكل (5-16).

الشكل (5-16): تحديد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي بقاعدة اليد اليمنى

فأصل الخاصية المغناطيسية في الأجسام إذا هي التيارات الكهربائية. ويتم عادة الحصول على مجالات مغناطيسية بعدة طرق من أشهرها **الملفات الاسطوانية** حيث يلف سلك على محيط اسطوانة طويلة فيتولد مجال

مغناطيسي على امتداد محورها وكأنه قضيب مغناطيسي، كما في الشكل (17-5).



الشكل (17-5): المجال المغناطيسي لملف اسطواني

11-5 المجال المغناطيسي لسلك طويل وملف اسطواني

تبين أن المجال المغناطيسي الناتج عن سلك طويل يمر فيه تيار I عند نقطة تبعد عنه مسافة r يعطى بالعلاقة:

$$B = \frac{2\times10^{-7} I}{r} \qquad (4\text{-}5)$$

أما المجال المغناطيسي الناتج عن ملف اسطواني طويل طوله L وعدد لفاته الكلي N ويمر فيه تيار I داخله فيعطى بالعلاقة:

$$B = 4\pi\times10^{-7}\frac{NI}{L} = 4\pi\times10^{-7} nI \qquad (5\text{-}5)$$

حيث وضعنا $n=N/L$ عدد لفات الملف بواحدة الطول.

مثال (5-1)

يتحرك بروتون داخل ملف اسطواني طويل عدد لفاته 1000/m ويمر فيه تيار 5 A. (أ) ماشدة المجال المغناطيسي الناتج داخل الملف ؟ (ب) ما القوة المغناطيسية التي سيخضع لها البروتون إذا تحرك عمودياً على محور الملف بسرعة 3000 m/s ؟

الحل:

(أ) نحسب شدة المجال الناتج من العلاقة (5-5) فنكتب:

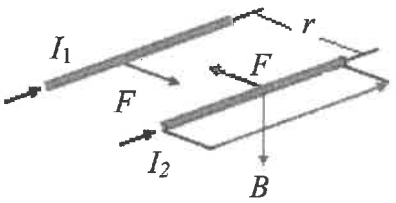
$$B = 4\pi \times 10^{-7} nI = 4\pi \times 10^{-7} (1000/\mathrm{m})(5\,\mathrm{A}) = 6.28\,m\mathrm{T}$$

(ب) لحساب القوة المغناطيسية على البروتون نستخدم العلاقة (5-1):

$$F = qvB = (1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C})(3\times10^{3}\,\mathrm{m/s})(6.28\,m\mathrm{T}) = 3\times10^{-17}\,\mathrm{N}$$

12-5 القوة المغناطيسية بين تيارين متوازيين

من أبسط تطبيقات المجال المغناطيسي الناتج عن تيار في سلك كهربائي هو تأثيره على سلك كهربائي مجاور، كما في الشكل (5-18)، حيث نلاحظ أن كلا السلكين المتوازيين يولد مجالاً مغناطيسياً عند موقع السلك الآخر، لذلك يخضع كل منهما لقوة مغناطيسية.



الشكل (5-18)

ولتحديد قيمة واتجاه القوة المتبادلة بين السكين نكتب قيمة المجال الناتج عن التيار 1 عند موقع التيار 2 من العلاقة (5-5) بالشكل:

$$B = \frac{2\times10^{-7} I_1}{r}$$

ثم نكتب القوة المغناطيسية التي يخضع لها طول l من السلك 2 نتيجة المجال B من العلاقـــة (3-5) فنجد:

$$F = I_2 l B = \frac{I_2 l (2\times 10^{-7} I_1)}{r}$$

أي أن القوة المؤثرة على واحدة الطول من السلك 2 هي:

$$\frac{F}{l} = \frac{2\times 10^{-7} I_1 I_2}{r} \qquad (6\text{-}5)$$

وواضح من العلاقة السابقة أن القوة المؤثرة على واحدة الطول من السلك 1 تعطى بنفس الشكل تماماً. لذلك يؤثر السلكان على بعضهما بقوتين متساويتين ومتعاكستين.

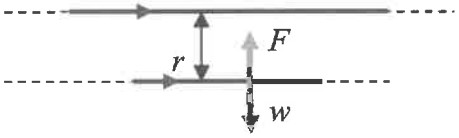
أما تجاه القوة المتبادلة بين السلكين فيعتمد على اتجاه التيارين المارين فيهما، فإن كانا بنفس الاتجاه فتكون القوة تجاذبية، وإن كانا باتجاهين متعاكسين تكون القوة تنافرية (بين ذلك !).

مثال (5-5)

يتزن سلك كهربائي طوله 10 cm وكتلته 5 g ويمر فيه تيار 30 A عندما يوضع أفقياً في الهواء تحت سلك آخر طويل مواز له ويمر فيه تيار 50 A . (أ) بأي اتجاه يجي أن يتحرك التياران حتى يتزن السلك؟ (ب) ما المسافة بين السلكين ؟

الحل:

(أ) يوضح الشكل (5-19) حالة السلك المذكور فحتى يبقى ساكناً يجب ان تكون القوة المغناطيسية بينه وبين السلك العلوي تجاذبية أي يجب أن يتحرك التياران بنفس الاتجاه.



الشكل (5-19)

(ب) لتحديد المسافة بين السلكين نلاحظ أن وزن السلك هو:

$$w = mg = (5\times10^{-3}\,\text{kg})(9.8\,\text{m/s}^2) = 0.049\,\text{N}$$

بينما قوة التجاذب المغناطيسي مع السلك الآخر فنجدها من العلاقة (5-6) ونكتب:

$$\frac{F}{l} = \frac{2\times10^{-7} I_1 I_2}{r} = \frac{2\times10^{-7}(30\,\text{A})(50\,\text{A})}{r} = \frac{3\times10^{-4}}{r}\,\text{N/m}$$

$$\Rightarrow F = (\frac{3\times10^{-4}}{r}\,\text{N/m})(0.1\,\text{m}) = \frac{3\times10^{-5}}{r}\,\text{N}$$

وبمساواة هذه القوة مع الوزن نجد:

$$\frac{3\times10^{-5}}{r} = 0.049 \Rightarrow r = 0.61\,\text{mm}$$

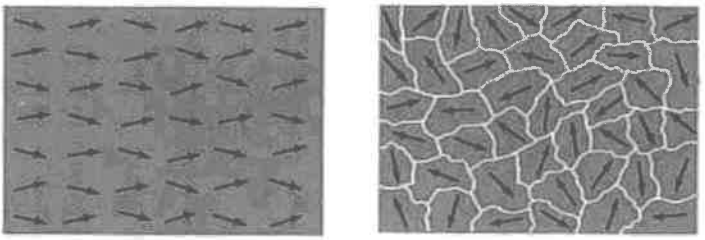
13-5 المواد المغناطيسية

ذكرنا أعلاه أن مغناطيسية المواد تنتج عن تيارات كهربائية، ومن ثم فإن مغناطيسية بعض المعادن تنتج عن **حركة** كل ألكترون حول النواة في مسار

دائري (كتيار في سلك دائري)، بالإضافة لذلك هناك **فتل** (spin) للإلكترون فيها بحيث يبدو كمغناطيس صغير له قطب شمالي وآخر جنوبي (بحسب فتله للأعلى أو للأسفل مثل المجال الناتج عن تيار يمر في سلك مستقيم). لهذا فالمغناطيسية في المواد هي نتيجة هاتين الحركتين للإلكترون. لكن في المواد العادية يكون اتجاه حركة وفتل الإلكترونات المختلفة عشوائي بحيث تكون محصلة المجالات المغناطيسية الكلية للمادة معدومة، ولذا تكون المواد العادية غير مغناطيسية.

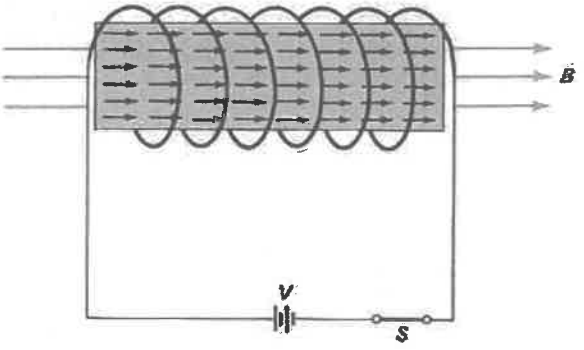
14-5 المواد حديدية المغنطة

هناك مواد تسمى مواداً حديدية المغنطة (نسبة للحديد) لها خواص معينة تجعل لها مغناطيسية دائمة مثل الحديد والنيكل والكوبولت. وتتميز هذه المواد بأن هناك محصلة لبعض المجالات المغناطيسية لإلكتروناتها. ففي الحديد مثلاً هناك أربع إلكترونات في كل ذرة لاتلغي مجالاتها بعضها بعضاً. لذا تبدو كل ذرة من هذه الذرات وكأنها مغناطيس صغير، ونقول إن لها عزماً مغناطيسياً. وتتحد الذرات القريبة من بعضها لتشكل مايسمى **النطاق المغناطيسي**. ولكن قطعة من الحديد العادي لاتكون ممغنطة لأن هذه النطاقات تكون موزعة باتجاهات عشوائية مما يلغي تأثير كل نطاق لوحده، كما في الشكل (5-20 أ). لكن لو وضعت هذه القطعة في مجال مغناطيسي قوي (أي قُرِب منها مغناطيس قوي أو لف حولها سلك بشكل اسطواني ومرر فيه تيار، كما في الشكل (5-21) عندئذ تخضع النطاقات كلها لمجال مغناطيسي قوي جداً وتتجه كلها بشكل منتظم ليصير المجال الكلي محصلة مجالاتها كلها. وتصير القطعة الحديدية مغناطيساً، كما في الشكل (5-20 ب).



(أ) قطعة حديد عادية (ب) قطعة حديد ممغنطة

الشكل (5-20)



الشكل (5-21): ترتيب النطاقات المغناطيسية في قطعة حديدية

الآن: لو أبعدنا المجال الخارجي وانتهى تأثيره على قطعة الحديد فإنها تفقد مغناطيسيتها رويداً رويداً بسبب حركة الذرات العشوائية الناتجة عن الحرارة لتعود النطاقات وتتجه بشكل عشوائي أيضاً.

15-5 كيف نصنع مغناطيساً دائماً

لصناعة مغناطيس دائم ندخل قطعة حديدية أو أي مادة حديدية المغنطة داخل ملف اسطواني وتوضع المنظومة في فرن تسخين. عندما ترتفع درجة حرارة قطعة الحديد يمرر تيار قوي في الملف الاسطواني حولها لينتج عنه مجال مغناطيسي شديد فتتمغنط قطعة الحديد، كما ذكرنا أعلاه. ويستمر تطبيق هذا المجال على القطعة خلال تبريدها لدرجة حرارة الغرفة بحيث

يتم **تقييد** النطاقات في وضعها الذي اتخذته خلال وجود المجال القوي ولاتعود لحالتها العشوائية بعد زوال المجال الخارجي.
من أشهر المغانط الدائمة المصنوعة بهذا الشكل والمتوفرة تجارياً تلك المشكلة من خليط من الألمنيوم والنيكل والكوبولت. كما تنتج المغانط الطبيعية من لب الأرض الحديدي الذي يخضع لحرارة هائلة في باطن الأرض ويصير سائلاً ليخرج إلى سطحها من خلال ثوران البراكين. وعند وصول قطع الصهارة الحديدية للسطح تخضع لمجال المغناطيسية الأرضي بشكل مستمر بما في ذلك خلال تبردها فتترتب نطاقاتها ويصير كل واحد منها مغناطيساً دائماً.

15-5 أ كيف نزيل مغناطيسية مغناطيس دائم

يمكن إزالة منغناطيسية مغناطيس دائم بتسخينه أو بضربه بشدة على سطح صلب فتعود النطاقات المغناطيسية لعشوائيتها ويفقد الجسم مغناطيسيته.

15-5 ب لماذا لايمكن فصل القطب الشمالي عن القطب الجنوبي للمغناطيس

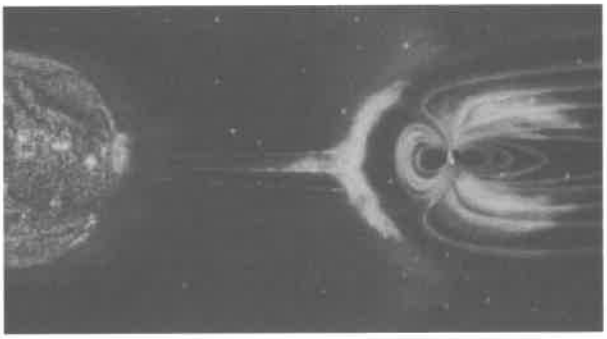
ذكرنا في بداية هذه الوحدة أن الإنسان حاول منذ القدم، ولم يستطع، الحصول على قطب مغناطيسي منفرد، ولو كسرنا مغناطيس إلى قطعتين لحصلنا على مغناطيسين جديدين. سبب ذلك أن أبعاد النطاقات المغناطيسية من أبعاد الذرات وبالتالي مهما قسمنا مغناطيساً يبقى هناك نطاقات منتظمة ينتج عنها مجال مغناطيسي له اتجاه من الشمال للجنوب.

16-5 المجال المغناطيسي الأرضي والرياح الشمسية

ذكرنا في بداية هذه الوحدة أن للأرض مجالاً مغناطيسياً يمكن تحسسه بواسطة بوصلة صغيرة. كما أن مصدر المغناطيسية في أي مادة هي وجود تيارات كهربائية. لذا اقترح الجيولوجيون أنه يوجد في باطن الأرض منطقة

حاوية على سائل حديدي متحرك يولد هذا المجال المغناطيسي. ويمتد تأثير المجال المغناطيسي للأرض لعشرات الآلاف من الكيلومترات فوق سطحها ليحيطها بحزام كروي تقريباً يسمى الكرة المغناطيسية (**الماغنيتوسفير** magnetosphere).

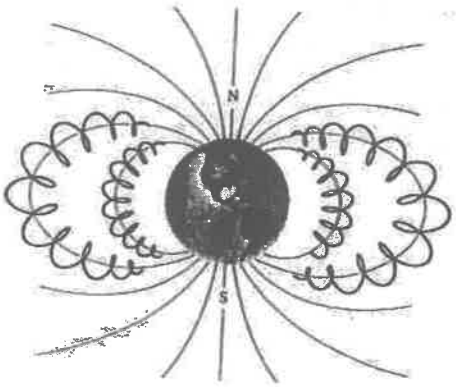
ومن تقدير الله عزوجل أن تحمي الماغنيتوسفير الأرض من مخاطر الرياح الشمسية التي تنطلق منها نتيجة التفاعلات النووية على سطحها والتي تحمل معها الأجسام المشحونة المتحركة بسرعة كبيرة جداً مثل البروتونات والإلكترونات وجسيمات ألفا. وبما أن طاقة هذه الجسيمات كبيرة جداً لذا فإن وصولها للأرض قد يؤدي لهلاك الحرث والنسل. لكن الغلاف المغناطيسي حول الأرض يحول دون ذلك، بفضل الله، إذ يتم حرف معظم الأجسام القادمة في منطقة تسمى **الكم المغناطيسي** فيتغير مسارها بعيداً عن الأرض، تماماً مثلما ينحرف الماء عند مقدمة سفينة تمخر عباب البحر. وفي حال تمكن بعض الأجسام السريعة جداً من اختراق هذا الكم يتم حجز معظمها في منطقة ثانية تتساوى فيها قوة الرياح الشمسية مع قوة المجال المغناطيسي الأرضي تسمى **منطقة الترقب**، تماماً مثلما ينتظر المتحدث على الهاتف عندما يطلب منه الانتظار. ويوضح الشكل (5-22) المجال المغناطيسي للأرض.



الشكل (5-22): المجال المغناطيسي للأرض

17-5 حزام فان آلن الإشعاعي

إن المجال المغناطيسي الأرضي قوي لدرجة تمكنه من التقاط الأجسام المشحونة التي تستطيع الإفلات من منطقة الترقب المغناطيسية. فتبقى هذه الجسيمات محبوسة في حلقتين هائلتين مفلطحتين تسميان حزام فان آلن الإشعاعي اللتين تم اكتشافهما عام 1952 بواسطة أول قمر صناعي يدور حول الأرض.



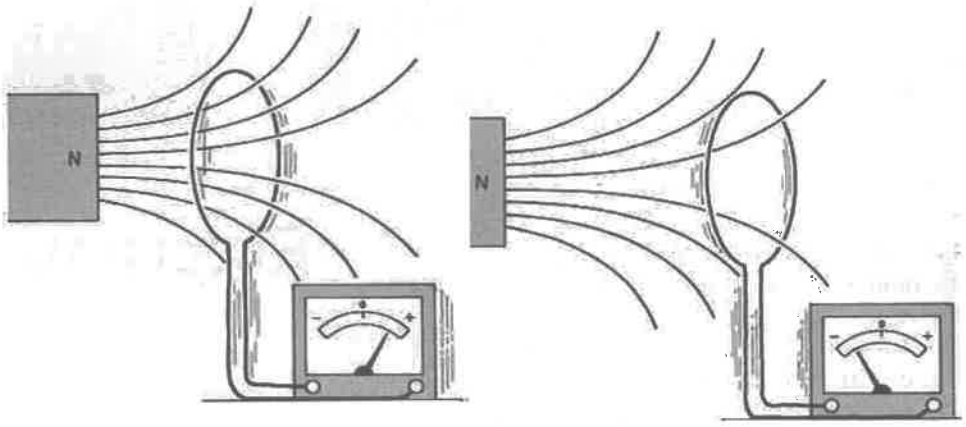
الشكل (5-23): حلقتي فان آلن

وقد سميتا باسم الفيزيائي فان آلن الذي أصر أن يحمل ذلك القمر كاشفاً لتحري أي أجسام مشحونة حول الأرض، إن وجدت، وهذا ماتم بالفعل. وتمتد حلقة فان آلن الداخلية لارتفاعات تتراوح بين 2000-5000 كم فوق سطح الأرض وتحوي بروتونات بشكل رئيس. أما الحلقة الخارجية فتمتد لحوالي 16000 كم بسمك يصل إلى 6000 كم ومعظم الأجسام فيها إلكترونات. ويوضح الشكل (5-23) حلقتي فان آلن المذكورتين.

17-5 الحث الكهرمغناطيسي

بما أن الخاصية المغناطيسية تنتج عن تيارات كهربائية لذا من المنطقي ان نتساءل: هل تنتج التيارات الكهربائية من المغناطيسية؟ لقد حظي هذا السؤال

باهتمام العديد من الفيزيائيين في القرن التاسع عشر واستطاع مايكل فاراداي يصل لإجابة شافية بعد أن أجرى العديد من التجارب في هذا المجال. ويوضح الشكل (5-24) نموذجاً لإحدى هذه التجارب حيث قام فاراداي بتحريك مغناطيس أمام ملف اسطواني موصول بجلفانومتر فلاحظ أن تياراً يظهر في الملف خلال تحريك المغناطيس ويختفي عندما يتوقف عن الحركة.



(أ) المغناطيس يبتعد عن الملف (ب) المغناطيس يقترب من الملف

الشكل (5-24): ظهور التيار المحرض خلال حركة المغناطيس

وقد لاحظ فاراداي أيضاً أن اتجاه التيار الناتج (أو المحرض) يختلف عندما تتغير جهة حركة المغناطيس. وقد كرر فاراداي هذه التجربة بتثبيت المغناطيس وتحريك الملف وكذلك بتدوير إما المغناطيس أو الملف. فلاحظ في كل الحالات أنه يحصل على تيار خلال الحركة دائماً بينما يتختفي التيار عندما تنتهي الحركة.

وقد فسر فاراداي هذه الظاهرة من خلال مفهوم **تدفق المجال المغناطيسي** عبر لفات الملف والذي يمثل عدد خطوط المجال التي تخترق عمودياً سطح كل لفة منه. فعرّف تدفق المجال المغناطيسي للمغناطيس من خلال كل لفة بالعلاقة:

$$\phi = BA\cos\theta \qquad (4\text{-}5)$$

حيث B شدة المجال المغناطيسي، و A مساحة سطح الملف، و ϕ الزاوية بين اتجاه المجال المغناطيسي والعمود على سطح الملف. وإذا كان هناك عدد من اللفات N في الملف فإن التدفق الكلي يصير مساوياً إلى:

$$\phi_T = NBA\cos\theta \qquad (5\text{-}9)$$

حيث تعطى وحدة التدفق بـــ ويبر Weber والتي تعادل $T.m^2$.

فقد لاحظ فاراداي أنه إذا **تغير** تدفق المجال المغناطيسي من خلال الملف فإن التيار المحرض يظهر، أما إذا بقي التدفق ثابتاً فإن التيار يختفي.

ونلاحظ من العلاقة السابقة أنه يمكن تغيير التدفق بإحدى ثلاث طرق: فإما أن نغير شدة المجال المغناطيسي، كأن نولده من تيار متغير مع الزمن، أو أن نغير مساحة مقطع الملف وهذا غير عملي في أغلب الأحيان، أو أن نغير الزاوية بين اتجاه المجال وسطح الملف بتدوير أحدهما بالنسبة للآخر. وتعتبر الطريقة الأخيرة أسهل الطرق وأكثرها تطبيقاً من الناحية العملية وتستخدم بشكل رئيس لتوليد التيار الكهربائي في محطات التوليد.

20-5 قانون فاراداي

تخيل فاراداي أن سبب ظهور تيار في الملف وكأن بطارية وهمية قد وضعت بين طرفيه، فربط بين قوة هذه البطارية ومعدل تغير التدفق المغناطيسي عبر الملف بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_{induced} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad (6\text{-}5)$$

تسمى هذه العلاقة قانون فاراداي في الحث المغناطيسي. وتسمى قوة البطارية الوهمية الناتجة **القوة الكهربائية المحرضة**.

مثال (5-6)

يقرب مغناطيس مباشرة نحو ملف اسطواني مساحة مقطعه $2\ \text{cm}^2$ وعدد لفاته 500، كما في الشكل (5-24 ب)، فتزيد شدة المجال من 0.1 T إلى 0.3 T خلال 4 ms . ماقيمة القوة الكهربائية المحرضة التي تظهر بين طرفي الملف؟

الحل:

نحسب التدفق الابتدائي من خلال الملف:

$$\phi_1 = NBA\cos\theta = (500)(0.1\text{T})(2\times10^{-4}\text{m}^2)\cos 90° = 0.01\,\text{Weber}$$

ثم نحسب التدفق النهائي:

$$\phi_1 = NBA\cos\theta = (500)(0.3\text{T})(2\times10^{-4}\text{m}^2)\cos 90° = 0.03\,\text{Weber}$$

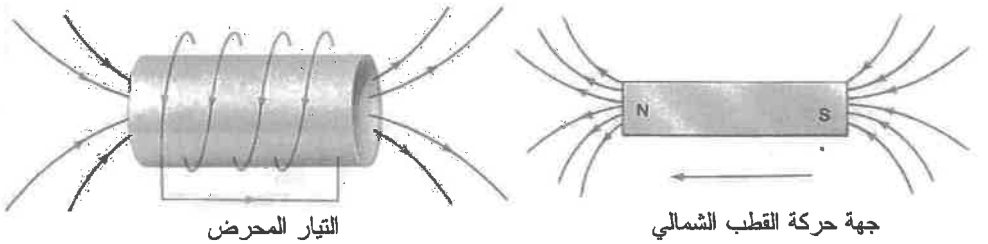
من ثم نكتب من العلاقة (5-6):

$$\varepsilon_{induced} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t} = \frac{(0.03-0.01)\,\text{Weber}}{4\times10^{-3}\,\text{s}} = 5\,\text{V}$$

21-5 اتجاه التيار المحرض وقانون لنز

ذكرنا أعلاه أن جهة انحراف الجلفانوميتر في تجربة فاراداي كانت تتغير بحسب حركة المغناطيس. ويحدد قانون لنز جهة التيار المحرض الناتج بأنها بعكس تغير التدفق. أي أنه إذا كان التدفق المغناطيسي يزيد في الملف يتقريب القطب الشمالي للمغناطيس منه مثلاً فإن التيار يسري في الملف

بحيث يصير طرفه المقابل للمغناطيس وكأنه قطب شمالي، كما في الشكل (5-25)، والعكس بالعكس.



الشكل (5-25): اتجاه حركة التيار المحرض في ملف عند تغير التدفق من خلاله

فلو ابتعد المغناطيس عن الملف في الشكل (5-25) لتغيرت جهة التيار المحرض، أو لو قربنا القطب الجنوبي بدلاً من الشمالي لتغيرت جهة التيار أيضاً (لماذا؟).

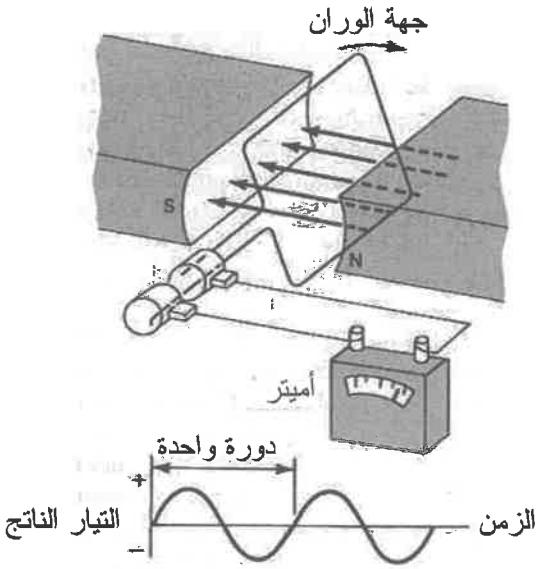
ولهذا فإن قانون فاراداي يكتب بحيث يأخذ جهة التيار المحرض (أي قانون لنز) بالاعتبار ولذا نكتبه بالشكل:

$$\varepsilon_{induced} = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad (7\text{-}5)$$

22-5 المولد الكهربائي

يستفاد من ظاهرة التيار المحرض والقوة المحركة التحريضية الناتجة لتوليد الكهرباء حيث يتم تحويل الطاقة الميكانيكي (كسقوط ماء من شلال) إلى طاقة كهربائية. ففي أبسط أشكاله يتألف المولد من ملف موضوع أمام مغناطيس ثابت ثم يدور الملف بانتظام فيتغير التدفق المغناطيسي من خلاله باستمرار فيسفر ذلك عن ظهور قوة محركة محرضة (أي بطارية)، كما في

الشكل (5-26)، حيث نلاحظ أنه عند دوران الملف دورة كاملة بين فكي المغناطيس يتزايد التدفق ثم يتناقص خلال أول نصف دورة ثم يغير اتجاهه خلال النصف الثاني لها. لذا تكون جهة التيار الناتج متغيرة أيضاً من جهة لأخرى بحيث تتغير قيمته من الصفر لقيمة عظمى ثم يتناقص للصفر ثم يصير سالباً (أي يغير اتجاهه) ليعود للصفر وهكذا دواليك. يطلق على التيار الناتج اسم تيار متردد.



الشكل (5-26): مولد تيار

23-5 المحول الكهربائي

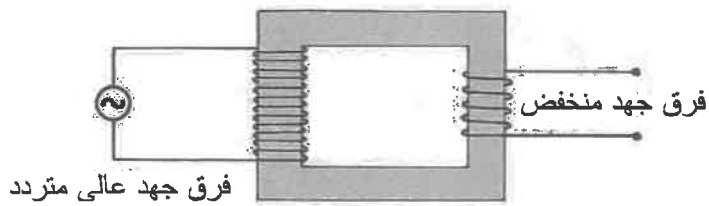
يتركب المحول من ملفين متصلين ببعضهما بواسطة لب حديدي ينقل تغيرات التدفق المغناطيسي من واحد للآخر. ويتصل أحد الملفين بمصدر فرق جهد فيطلق عليه اسم **الملف الأساس** (primary) بينما يوصل الثاني بالجهاز المراد تشغيله بفرق جهد ما لايساوي ماهو متفر من المصدر الأساس. يطلق على هذا الملف اسم **الملف الثانوي**.

وبحسب العلاقتين (5-5) و (5-6) فإن تغير التدفق يتناسب مع عدد لفات الملف بحيث أن حاصل ضرب عدد اللفات بالقوة المحركة بين طرفي الملف هو نفسه لكلا الملفين، أي أن:

$$\frac{\varepsilon_p}{N_p} = \frac{\varepsilon_s}{N_s} \qquad (8\text{-}5)$$

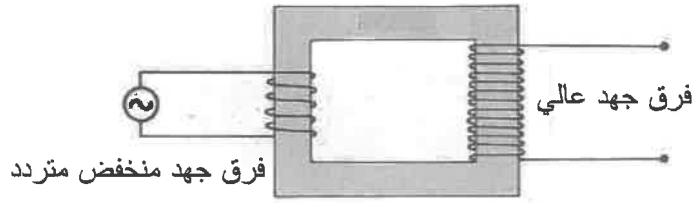
حيث ε_p و ε_s القوة المحركة بين طرفي الملفين الأساس والثانوي، على الترتيب، بينما N_p و N_s عدد لفات الملفين الأساس والثانوي، على الترتيب أيضاً.

ففي المحول الخافض للجهد يكون عدد لفات الملف الأساس أكبر من الثانوي، كما هو موضح في الشكل (5-27). ويربط الملف الأساس بفرق جهد عالي متردد بينما يوصل الملف الثانوي بجهاز يحتاج لفرق جهد منخفض.



الشكل (5-27): محول خافض للجهد

أما في المحول الرافع للجهد فتكون عدد لفات الأساس أقل من الثانوي ويبط الأول بفرق جهد منخفض بينما يوصل الثانوي بجهاز يحتاج لفرق جهد عالي، كما في الشكل (5-28).

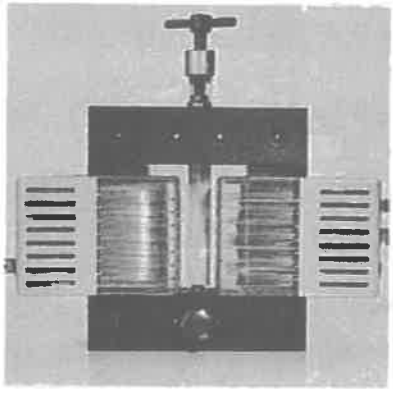


الشكل (5-28): محول رافع للجهد

ويمكن أيضاً أن نجد التيار المار في الملف الثانوي بملاحظة أنه إذا لم يكن هناك ضياع في القدرة (في أسلاك المحول) فإن القدرة الناتجة عن الأساس تساوي تلك الواصلة للثانوي، أي أن:

$$I_p \varepsilon_p = I_s \varepsilon_s \qquad (10\text{-}5)$$

ونستنتج من العلاقة السابقة أن تغير التيار في ملف يعاكس تغير الجهد فيه. ففي المحول الرافع للجهد ينخفض التيار في الثانوي بالنسبة للأساس، بنفس المعدل الذي يرتفع فيه الجهد. فإذا استخدمنا محولاً يحول من 110 V إلى 220 V فإن التيار في الثانوي يكون نصف قيمة التيار في الأساس. فالمحول الرافع للجهد يخفض التيار والعكس صحيح. ويوضح الشكل (5-29) محولاً عملياً في المختبر.



الشكل (5-29): محول

مثال (5-7)

ماعدد لفات الثانوي اللازم لرفع الجهد في محول من 110 V إلى 220 V إذا كان الأساس يحوي 1000 لفة ؟ وما التيار في الثانوي عندما يكون التيار في الأساس 2 A ؟

الحل:

نستخدم العلاقة (5-8) ونكتب:

$$\frac{\varepsilon_p}{N_p}=\frac{\varepsilon_s}{N_s}\Rightarrow\frac{110\,\mathrm{V}}{1000}=\frac{220\,\mathrm{V}}{N_s}\Rightarrow N_s=2000$$

كما نكتب من العلاقة (5-9):

$$I_p\varepsilon_p=I_s\varepsilon_s\Rightarrow I_s=\frac{I_p\varepsilon_p}{\varepsilon_s}=\frac{(2\,\mathrm{A})(110\,\mathrm{V})}{220\,\mathrm{V}}=1\mathrm{A}$$

ملخص الفصل

المغناطيسية: قدرة بعض المعادن على جذب برادة حديد أو معادن إخرى لها.

الأقطاب المغناطيسية: مناطق من المغنطيس تكون شدة المجال المغناطيسي عندها أكبر من بقية المغناطيس. يطلق على هذه الأقطاب اسم القطب الشمالي والقطب الجنوبي.

قانون الأقطاب: الأقطاب المتماثلة تتنافر والأقطاب المختلفة تتجاذب.

المجال المغناطيسي: تأثير المغناطيس على المنطقة المحيطة به على الشحنات المتحركة والتيارات الكهربائية هناك. وحدة المجال المغناطيسي هي التسلا T . يتجه المجال المغناطيسي خارج مغناطيس من القطب الشمالي للقطب الجنوبي. بينما يتجه داخله من القطب الجنوبي للقطب الشمالي.

المجال المغناطيسي الأرضي: تعتبر الأرض كأنها تحوي مغناطيساً كبيراً على امتداد قطرها، يواجه قطبه الشمالي القطب الجنوبي الجغرافي بينما يواجه قطبه الجنوبي القطب الشمالي الجغرافي.

القوة المغناطيسية على الشحنات المتحركة: تخضع أي شحنة q تسير بسرعة v عمودية على مجال مغناطيسي B لقوة مركزية قيمتها qvB.

القوة المغناطيسية على سلك كهربائي: يخضع سلك طوله l يمر فيه تيار I عمودياً على مجال مغناطيسي B لقوة مغناطيسية قيمتها IlB .

اتجاه القوة المغناطيسية: تتجه القوة المغناطيسية على شحنة، متحركة أو سلك يمر فيه تيار، عمودياً على كل من اتجاه الحركة والمجال المغناطيسي.

الجلفانومتر: جهاز يستخدم لتحري التيارات الصغير. يمكن تحويل الجلفانومتر لمقياس تيار (أميتر) ومقياس فرق جهد (فولتمتر).

10- **توليد المجال المغناطيسي:** يتولد المجال المغناطيسي من حركة الشحنات الكهربائية (التيار الكهربائي).

المجال المغناطيسي لسلك طويل $B = \frac{2\times10^{-7} I}{r}$

المجال المغناطيسي لملف اسطواني: $B = 4\pi\times10^{-7} nI$

القوة المغناطيسية على واحدة الطول بين سلكين متوازيين:

$$\frac{F}{l} = \frac{2\times10^{-7} I_1 I_2}{r}$$

النطاقات المغناطيسية: مجموعة ذرات تتحد إلكتروناتها بشكل معين ليصير لمجالاتها المغناطيسية محصلة غير معدومة.

المواد حديدية المغنطة: مواد تكون محصلة نطاقاتها المغناطيسية كبيرة فتجعل المادة مغناطيساً.

التدفق المغناطيسي: مقدار شدة المجال المغناطيسي المار من خلال مساحة ما ويعطى بالعلاقة: $\phi_T = NBA\cos\theta$

قانون فاراداي: قيمة القوة المحرضة في ملف عند تغير التدفق من خلاله

$$\varepsilon_{induced} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

قانون لنز: تكون جهة التيار المحرض بحيث يعاكس السبب الذي أدى إلى حدوثه.

المولد الكهربائي: يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

المحول الكهربائي: يتناسب فرق الجهد بين طرفي الأساس مع عدد لفاته وكذلك بالنسبة للثانوي بحيث يكون: $\frac{\varepsilon_p}{N_p} = \frac{\varepsilon_s}{N_s}$ ، كما تكون القدرة نفسها

أي أن: $I_p\varepsilon_p = I_s\varepsilon_s$

أسئلة

1- هل النقود المعدنية مغناطيسية ؟ ما المعادن التي يجب أن تحتوي عليها لتكون كذلك ؟

2- لماذا تنجذب المسامير الحديدية إلى قطبي مغناطيس سواء الشمالي أو الجنوبي ولاتنجذب لواحد منهما فقط ؟

3- يمر تيار في سلك أفقي مستقيم يمر فيه تيار باتجاه الشمال. في أي اتجاه ستشير إبرة بوصلة موضوعة فوق السلك أوتحته أو على أحد جانبيه ؟

4- يعتقد طالب (لم يدرس الفيزياء بعد) أن المغناطيسية مثل الكهرباء بحيث يمكن "مغنطة" قطعة معدنية بالتأثير وعزل القطب الشمالي عن القطب الجنوبي ثم التخلص من أحدهما. كيف يمكنك نقض هذه الفرضية ؟

5- يؤثر المغناطيس بقوة على جسم مشحون متحرك بقربه. هل يؤدي هذا لزيادة الطاقة الحركية للجسم ؟ اشرح إجابتك.

6- يمر تيار في سلك موضوع على طاولة المختبر. أذكر طريقتين تستطيع بواسطتهما معرفة اتجاه التيار.

7- اذكر ثلاث طرق لزيادة قوة مولد تيار كهربائي.

8- يعطي مولد تياراً قيمته 10 A في حين يحتاج جهاز لتيار 2 A فقط. كيف يمكنك تحقيق ذلك؟

9- تتحرك حزمة من الإلكترونات بسرعة 3.0×10^{6} m/s عمودياً على مجال مغناطيسي شدته 4.0×10^{-2} T . ماقيمة القوة المغناطيسية التي تؤثر على كل إلكترون؟ قارن هذه القوة بتلك المؤثرة على بروتون بدلاً من الإلكترون.

10- يمر تيار 15 A في سلك مستقيم عمودي على مجال مغناطيسي شدته 0.85 T. ماقيمة القوة المغناطيسية المؤثرة على 2 m من السلك؟

11- يتجه مجال مغناطيسي شدته 16 T نحو الشمال بينما يتحرك إلكترون نحو الشرق بسرعة 8×10^6 m/s . ماقيمة واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الإلكترون؟

12- ما القوة المغناطيسية المؤثرة على واحدة الطول بين سلكين متوازيين يمر فيهما تيار واحد قيمته 10 A إذا كانت المسافة بينهما 10 cm وما اتجاه هذه القوة ؟

13- يحتاج حاسوب محمول (portable) لفرق جهد 12 V من مصدر 240 V .

(أ) ماعدد لفات الثانوي في محول عدد لفات الأساس فيه 480 ؟

(ب) ما التيار المار في الأساس إذا مر تيار 125 mA في الحاسوب؟

14- يعمل مجفف شعر بتيار 10 A وفرق جهد 120 V . كم يجب أن تكون نسبة لفات الأساس للثانوي في محول حتى يستخدم المجفف بفرق جهد 240 V ؟ ما التيار المار في المجفف عندئذ؟

15- عدد لفات الملف الأساس في محول رافع للجهد 80 وللثانوي 1200 .

(أ) ماجهد الثانوي إذا جهد الأساس 120 V ؟

(ب) ما التيار في الثانوي إذا كان التيار في الأساس 2.0 A ؟

(جـ) مالقدرة الداخلة والناتجة عن هذا المحول؟

16- توضع عروة (loop) مستطيلة طولها 10 cm وعرضها 5 cm بحيث يكون سطحها عمودياً على مجال مغناطيسي شدته 0.4 T .

(أ) ما التدفق من خلال العروة ؟

(ب) تتقلص العروة لنصف مساحتها خلال 10 ms . ما القوة المحركة المحرضة الناتجة؟

17- عدد اللفات الأساس في محول رافع للجهد 200 لفة والثانوي 3000 لفة. مافرق الجهد بين طرفي الثانوي إذا كان فرق جهد الأساس 90 V ؟ ما التيار في الثانوي إذا كانت قدرة المحول 270 kW ؟

الفصل السادس

الفيزياء الحديثة

محتويات الفصل

مقدمة

انتشار الضوء في الفراغ

نظرية النسبية الخاصة: تمدد الزمن وتقلص الطول ومعضلة التوأمين

نسبية المادة والطاقة

الظواهر المادية للضوء

توزع الألوان الصادرة عن الأجسام الحارة

المفعول الكهرضوئي

ازدواجية الضوء والمادة

تركيب الذرة: نموذج تومسون وتجربة رزرفورد ونموذج بور

النموذج الكمي للذرة والميكانيك الكمي

الليزر

الفيزياء النووية

العناصر والنظائر والقوة النووية

التحلل النووي والنشاط الإشعاعي

أنواع الإشعاعات النووية وعمر النصف

الكشف عن الإشعاعات – عداد جايجر

الطاقة النووية: الإنشطار والاندماج

كيف نحصل على الطاقة النووية؟

استخدمات الطاقة النووية

انتاج الطاقة بواسطة المفاعلات

تصنيع أسلحة الدمار الشامل ونتائج الانفجارات الذرية والنووية

مشاكل الطاقة النووية واليورانيوم المنضب

الأمراض التي يمكن أن تسببها الإشعاعات النووية

الحماية من الإشعاعات النووية

الجسيمات الأولية

ملخص الفصل

أسئلة

1-6 مقدمة

تربط القوانين الفيزيائية عادة بين المتغيرات الطبيعية التي نسميها قوانين. وقد وصلت العلوم المختلفة من كيمياء وعلوم حياة وفيزياء وغيرها لدرجة من التطور بحيث صار بالإمكان فهم أي حركة وتفسير أي ظاهرة طبيعية من كبر الأجسام لصغرها. إلا أن هذا لم يكن مشواراً سهلاً للعلماء. فقد كانت هناك لحظات ضاعت فيها معالم الحقيقة العلمية مع وهم الخيال العلمي. وتعكس الفيزياء الحديثة التطور الذي طرأ على علم الفيزياء في أوائل القرن الماضي، كما تعكس الثورة الفكرية التي انطلقت حينئذ تجاه بعض المصطلحات والمفاهيم التي كانت سائدة عن طبيعة المادة والضوء حتى ذلك الوقت. ففي القرنين الثامن عشر والتاسع عشر تطورت علوم الميكانيك، والكهرباء والمغناطيسية، والتحريك الحراري، والبصريات، أي ما يسمى الفيزياء التقليدية، لدرجة كبيرة بحيث أحس الفيزيائيون بالطمأنينة إلى أنهم وجدوا الإجابات الشافية والحلول التامة لكافة المعضلات العلمية التي صادفتهم آنئذ. لكن في أواخر القرن التاسع عشر بدأت تظهر في الأفق بعض المشاكل التي عجزت النظريات السائدة وقتها عن حلها، بل فشلت في تفسيرها تماماً، كانتشار الضوء في الفراغ، وسبب تحرر الإلكترونات من بعض المعادن عند سقوط أضواء معينة عليها، وغير ذلك من التجارب والمشاهدات العلمية التي كانت تتطور وتظهر بتزايد ووتيرة عالية. كما تطورت في بداية القرن العشرين تقنيات مخبرية جديدة فبرزت الذرة لحيز الوجود وتم الكشف عن كثير من خواصها وتفاعلاتها، وصار لابد من تفسير كيفية تشكلها وتركيبها واستقرارها، والذي لم تستطع النظريات التقليدية تفسيرها بوضوح وقناعة تامة. لهذا كان لابد من **تعديل** بعض

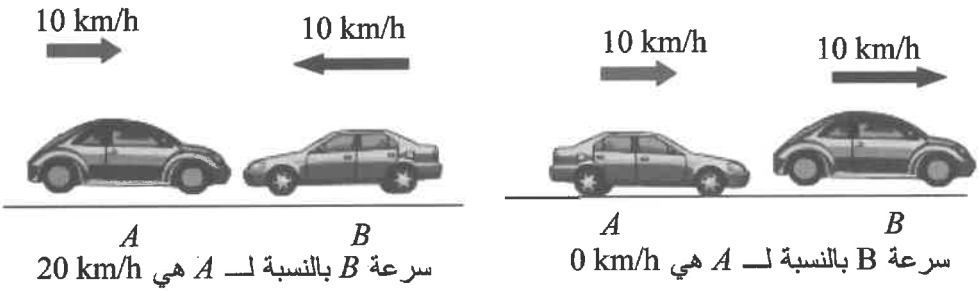
النظريات والمفاهيم وتقديم نظريات جديدة وهذا ما أطلق عليه اسم **الفيزياء الحديثة**.

ولفهم تطور الفيزياء الحديثة وسببها لابد من عرض موجز لأهم المسائل والنتائج المخبرية التي عجزت النظريات الفيزيائية التقليدية عن حلها بواسطة القوانين التي كانت سائدة في ذلك الوقت

2-6 انتشار الضوء في الفراغ

من المعروف لكل من يدرس حركة أي جسم متحرك أن له سرعة معينة. وإذا تحرك شخص مع هذا الجسم فيبدو له أبطأ أو اسرع بحسب جهة حركته. ولكن هذا لم يكن مالمسه الفزيائيون بالنسبة للضوء. إذ لاحظوا أن له خواصاً مختلفة. وكان من أول وأصعب ماواجهه الفيزيائيون في نهايات القرن التاسع عشر وبدايات القرن الماضي هو تفسير كيفية انتشار الضوء في الفضاء. فقد كان معروفاً من تجارب دقيقة أن سرعة الضوء تساوي 3×10^8 m/s تقريباً، كما دلت تجارب عديدة في تداخل وحيود الضوء إلى أنه يتحرك في الفضاء كموجة كهرومغناطيسية. لذا كان الاعتقاد سائداً أن الضوء، مثل أي موجة نعرفها كالصوت والأمواج المائية وغيرها، يحتاج لوسط ينتقل بواسطته من مكان لآخر. إذ لايمكن أن نسمع أحداً بيننا وبينه حاجز مفرغ من الهواء أو من أي وسط مادي ما، كما أنه لايمكن أن تنتشر أمواج الماء بدون ماء، وهكذا. لذلك افترض الفيزيائيون في ذلك الوقت أنه لابد للضوء من وسط ينتشر فيه لينتقل بين الشمس والأرض مثلاً. فافترضوا وجود وسطٍ غير مرئي سموه **الأثير**(ether)، وجرت محاولات الكثيرة لتحريه والكشف عنه. لكن في واحدة من أهم التجارب التي تمت لهذا الغرض، قام الفيزيائيان **مايكلسون ومورلي** بإجراء تجربة غاية في

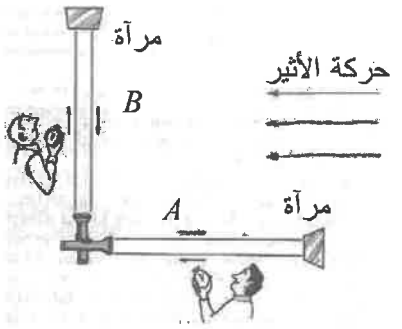
الدقة للتحقق من وجود الأثير أو عدمه، بقياس سرعة الضوء بالنسبة له، إن وجد. ويمكن إدراك هذا الموضوع بسهولة على النحو التالي: لنفترض أنك تركب سيارة تسير بسرعة 10 km/h مثلاً، وهناك سيارة تتحرك أمامك بسرعة 10 km/h. فإذا كانت تتحرك بنفس اتجاهك لاعتقدت أن سرعتها (بالنسبة لك) هي 0 km/h لنها تبدو لك وكأنها لاتتحرك. أما لو كانت تسير نحوك لقررت أنها تقترب منك بسرعة 20 km/h، كما في الشكل (6-1). لذلك تظهر سرعة السيارة بالنسبة لك أقل أو أكثر من سرعتها الحقيقية بسبب حركتك أنت! وبالتالي فإن الزمن اللازم للسيارة التي أمامك لتقطع مسافة ثابتة في الحالة الأولى سيكون أطول من الزمن اللازم لتقطع نفس المسافة فيما لو كانت تتحرك نحوك.



الشكل (6-1): السرعة النسبية

لذا افترض مايكلسون ومورلي أنه لو كان هناك أثير فإن الأرض ستكون متحركة بالنسبة له في اتجاه معين، لذلك لو قاسا سرعة الضوء وهو يتحرك باتجاهين متعاكسين فإنهما سيجدان فرقاً بين السرعتين. فركبا مرآتين بينهما زاوية 90° وقاسا الزمن اللازم للضوء ليقطع مسافة واحدة لكل مرآة، كما في الشكل (6-2). فلو كان هناك أثير لكان زمن الرحلة الكلية للضوءبالنسبة للمراقب A مختلفاً عن زمن المراقب الآخر B، لأن أحد الشعاعين سيتحرك مع أو بعكس الأثير بينما يكون الثاني عمودياً عليه ولايتأثر به بتاتاً.

وعلى الرغم من أن مايكلسون ومورلي أجريا التجربة خلال فترة طويلة وبأوقات مختلفة، كما قاما بتدوير الجهاز لأخذ أي حركة محتملة للأثير بالنسبة للأرض بعين الاعتبار، إلا أنهما لم يجدا أي فرق في الزمن المقاس فاستنتجا أن سرعة الضوء ثابتة من جهة، وأنه لايوجد أثير يحمله من مكان لآخر من جهة أخرى. وكانت نتيجة هذه التجربة وتجارب أخرى مشابهة لها أن الأمواج الكهرومغناطيسية لاتحتاج لوسط مادي لتنتشر من مكان لآخر. لكن بقي السؤال قائماً لماذا يتحرك الضوء بهذه السرعة الثابتة ؟



الشكل (6-2)

6-3 نظرية النسبية الخاصة

استطاع العالم الشهير البرت آينشتين أن يصحح مفاهيم أساس بالنسبة لحركة الأجسام عندما تكون سرعها عالية. فقد وضع نظريتين مشهورتين سمع بهما القاصي والداني. وسنتعرض هنا لما يسمى النظرية النسبية الخاصة لشيوعها وسهولة فهمها نسبياً بما يسمى النظرية النسبية العامة.

وقد جاءت **النظرية النسبية الخاصة** التي وضعها ألبرت آينشتين عام 1905 للإجابة على السؤال الساس بالنسبة لحركة شعاع ضوئي بسرعة معينة، وفيها فرضيتان أساسيتان هما:

1. ينتشر الضوء بسرعة ثابتة بالنسبة لأي مراقب في وسط ساكن أو متحرك بغض النظر عن حركة مصدر الضوء أو المراقب. أي لو كانت هناك سيارة سرعتها 100 كم/ساعة وتطلق مصابيحها الأمامية ضوءاً وقمنا بقياس سرعة الضوء ونحن نقف على الرصيف أو داخل السيارة لوجدنا نفس النتيجة وهي 3×10^8 m/s! بينما لو انطلق جسم من السيارة سرعته 100 كم/ساعة بالنسبة لها لوجدنا أن سرعة هذا الصاروخ بالنسبة لمراقب ساكن على الأرض هي 200 كم/ساعة لأنها تساوي سرعة السيارة بالإضافة لسرعة الجسم بالنسبة لها.

من أهم نتائج هذه الفرضية أنه **لايمكن لأي جسم مادي أن يتحرك بسرعة الضوء** وإلا لكان بإمكان راكب في صاروخ متحرك بهذه السرعة أن يطلق ضوءاً ويسير معه بنفس السرعة أي يبدو له ساكناً ومع ذلك يستطيع أن يقيس سرعته بنفس الوقت وهذا غير منطقي.

2. لاتتغير قوانين الفيزياء بالنسبة لأي مراقب موجود في وسط ساكن أو يتحرك بسرعة ثابتة. بمعنى أن قوانين الفيزياء، مثل قوانين الجاذبية بين الكتل أو بين الشحنات وغيرها، تبقى صحيحة حتى لو قمنا بإجراء تجارب للتحقق منها في مختبر متحرك بسرعة ثابتة أو مختبر ثابت. أي أنه لو قام شخصان، أحدهما ساكن والآخر متحرك بسرعة ثابتة، بقياس قوة التجاذب بين كتلتين لتوصلا لنفس النتيجة. لذلك لايمكن تحري حركة وسط من نتائج تجربة تتم فيه إذا كان يسير بسرعة ثابتة.

ومن الجدير بالانتباه إلى أن كلمتي ساكن أو متحرك هما نسبيتان بمعنى أنه في الوقت الذي أقرر فيه وأنا أراقب قطاراً مثلاً أن القطار متحرك وأنا ساكن، يعتقد راكب في القطار بأنه ساكن فيما أتحرك أنا بالنسبة له.

ومن أغرب نتائج نظرية النسبية الخاصة أن عملية قياس فترة زمنية أو طول جسم في وسطين أحدهما ساكن والآخر متحرك لاتعطي نفس النتيجة، ولو أننا لانحس بهذا في حياتنا اليومية بسبب السرعات البطيئة التي نتحرك بها. لكن لو استطعنا الانتقال بمركبة فضائية سريعة جداً بحيث تقارب سرعتها سرعة الضوء فإننا نصل لهذه الاستنتاجات المدهشة غير المتوقعة في أطار الفيزياء التقليدية.

4-6 تمدد الزمن

من أغرب مافسرته النظرية النسبية الخاصة مفهوم قياس فترة زمنية لحادثة معينة (كزمن مباراة بكرة القدم مثلاً) بالنسبة لشخصين أحدهما ساكن والآخر متحرك. فلو افترضنا أنك تشاهد مباراة مدتها ساعة وأنت في منزلك وتستخدم ساعتك اليدوية لتوقيتها، بينما يشاهد نفس المباراة صديق لك يركب في طائرة تسير بسرعة عالية v ويستخدم هو الآخر ساعة يدوية مماثلة لساعتك لتوقيت نفس المباراة. هل تستغرق نفس الوقت بالنسبة لكما؟ لقد تبين من نظرية النسبية الخاصة أن المراقب الذي يقيس فترة المباراة وهو يركب طائرة يجد نتيجة غريبة وهي أن مدتها أطول مما تقرره أنت وكأن ساعته تقصر رويداً رويداً فيسير الزمن عنده ببطء بالمقارنة معك. فإذ حددت أنت هذه الفترة بزمن T_0 فإن صاحبك المسافر يجد أن البرنامج استغرق زمناً T أطول يعطى بالعلاقة:

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (1\text{-}6)$$

تسمى هذه النتيجة **تمدد الزمن**.

5-6 تقلص الطول

وبنفس الشكل كما وجدنا في حالة الزمن فإن النظرية النسبية تكشف لنا عن ظاهرة أخرى تتعلق بالمسافات. فلو أنك قمت بقياس طول قطعة ارض تريد شراءها وحاول صديق لك يركب سيارة مسرعة قياس نفس الطول لوجد نتيجة غريبة أيضاً وهي أن الطول الذي يقيسه أقصر مما تجده أنت.
فإذا كان طولها بالنسبة لك وأنت على الأرض هو L_0 فإن صديقك يجد طولاً آخر L يعطى بالعلاقة:

$$L = L_0\sqrt{1 - v^2/c^2} \qquad (2\text{-}6)$$

تسمى هذه النتيجة **تقلص الطول.**

لاشك أن التحقق من هاتين الفرضيتين عملياً صعب جداً في الحالات العادية، لأننا نحتاج لجسم يتحرك بسرع كبيرة جداً وتقارب سرعة الضوء. أما لو كان المتحرك يسير بسرع صغيرة بالنسبة لسرعة الضوء فإن الزمن والمسافة لايتغيران بشكل محسوس على الإطلاق. ولذلك استخدم الفيزيائيون جسيمات نووية تسمى ميونات يحمل كل منها شحنة تساوي شحنة الإلكترون لكن كتلته أكبر بـــ 200 مرة. وتتشكل هذه الجسيمات في الغلاف الجوي عند اصطدام الأشعة الكونية القادمة من الشمس والنجوم بذرات الهواء، وتتحرك بسرع تصل لحوالي 0.998 من سرعة الضوء. لكن الميون غير مستقر بمعنى أنه لايبقى في الوجود طويلاً لذا يتحلل ويتحول لجسيمات أخرى تلقائياً. وقد تبين أن عمر الميون في المختبر هو $2\mu s$، وهذا يعني أنه يقطع خلال هذه الفترة وبهذه السرعة مسافة 600 متر تقريباً فقط، لكن الميونات تتشكل على ارتفاع عشرة كيلومتر فوق سطح الأرض تقريباً لذا

يفترض أن لايصل أي منها للأرض ومع ذلك تم تحريها في المختبرات. وقد تم تفسير ذلك بأن الميونات تحتاج لـ $2\mu s$ لتحلل فيما لوكانت ساكنة، لكن زمن تحللها وهي تسير بهذه السرعة يصير أطول وفق العلاقة (6-1) ليصل إلى:

$$T = \frac{2\times10^{-6}\,\mathrm{s}}{\sqrt{1-(0.998c/c)^2}} \approx 30\,\mu\mathrm{s}$$

فتتحرك خلال هذا الزمن مسافة:

$$d = vt = (0.998c)(2\mu\mathrm{s}) = 8900\,\mathrm{m}$$

أي أنها يمكن أن تصل للأرض قبل تحللها، وهذا ماهو مشاهد فعلياً !
كما يمكن أن نصل لنفس النتيجة من وجهة نظر الميون الذي تظهر له المسافة التي سيقطعها عندما يتشكل على ارتفاع 8000 متر مثلاً مساوية إلى:

$$L = 8000\sqrt{1-(0.998c/c)^2} = 530\,\mathrm{m}$$

وهذه مسافة قصيرة ويمكن أن يقطها خلال فترة حياته القصيرة $2\mu s$!

6-6 معضلة التوأمين

من مفارقات نظرية النسبية الخاصة مايسمى معضلة التوأمين. فلو افترضنا أن التوأمين سهى ونهى، الأولى على الأرض والثانية انطلقت في مركبة فضائية من الأرض تسير بسرعة 0.995 من سرعة الضوء عام 2005 في رحلة لنجم بعيد ثم عادت أدراجها ثانية بنفس السرعة. فإذا استغرقت الرحلة

وفق توقيت نهى 30 سنوات، عندئذ يكون زمن الرحلة وفق توقيت سهى على الأرض:

$$T = \frac{30\,\mathrm{y}}{\sqrt{1-(0.995c/c)^2}} = 212.7\,\mathrm{y}$$

مما يعني أن نهى كبرت 30 سنة فقط بينما مر على سهى 213 سنة، لذلك عندما تعود نهى للأرض تجد أحفاد أحفاد أحفاد أخفاد أختها باستقبالها ! من الواضح طبعاً أن هذا الكلام غير منطقي وقد تبين فيما بعد أن سبب هذه المعضلة هو تجاهل تسارع مركبة نهى في الذهاب والإياب، مما يعني أن نظرية النسبية الخاصة لاتتحقق في هذه الحالة لأن الحركة لاتتم بسرعة ثابتة. وقد تم حل المشكلة بواسطة نظرية نسبية أخرى لآينشتين أكثر تقدماً (وتعقيداً) تسمى النسبية العامة لكننا لن نتطرق لها في هذا الكتاب.

7-6 نسبية المادة والسرعة والطاقة

لم تقتصر نظرية النسبية الخاصة على تعديل فهمنا للزمن والطول بل تعدت ذلك لكل متغيرات حركة وتحريك الأجسام. إذ تبين أن كتلة أي جسم متحرك لاتبقى ثابتة بل تتغير مع سرعته وفق العلاقة:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \qquad (3\text{-}6)$$

حيث m_0 كتلة الجسم بالنسبة لمراقب ساكن و m كتلته كما يحددها شخص متحرك بسرعة ثابتة v. ونستنتج من هذه العلاقة أنه كلما زادت سرعة الجسم كلما زادت كتلته أيضاً.

من جهة أخرى، وضع آينشتين علاقة تكافؤ بين **الكتلة والطاقة** تربط بين كتلة جسم وطاقته الكلية على النحو:

$$E = mc^2 \qquad (4\text{-}6)$$

فلو كان الجسم ساكناً تماماً أي أن كتلته m_0 عندئذ تكون طاقته:

$$E_0 = m_0c^2 \qquad (5\text{-}6)$$

تسمى **طاقة الكتلة الساكنة**.

وقد تم التحقق من صحة ارتباط الكتلة بالطاقة في التفاعلات النووية ودراسة تحلل النواة، حيث تبين أن مجموع كتل مكونات النواة أكبر من كتلة النواة نفسها ممايعني أن جزءاً من كتلهم يتحول لطاقة ضرورية لربطهم داخلها.

مثال (6-1)

يسرع بروتون في مفاعل نووي لتصير سرعته 0.3 من سرعة الضوء.

(أ) ماطاقة الكتلة الساكنة للبروتون؟ (ب) ماطاقته عند هذه السرعة ؟

الحل

(أ) نحسب طاقة الكتلة الساكنة للبروتون فنكتب:

$$E_0 = m_0c^2 = (1.67\times10^{-27}\,\text{kg})(3\times10^8\,\text{m/s})^2 = 1.50\times10^{-10}\,\text{J}$$
$$\Rightarrow E_0 = 938.28\times10^6\,\text{eV} \approx 938.28\,\text{MeV}$$

حيث استخدمنا وحدة الإلكترون – فولت التي عرفناها في الفصل الثاني بالعلاقة:

$$1\ \text{eV} = 1.6\times10^{-19}\ \text{J}$$

ويستفاد من النتيجة السابقة لكتابة كتلة البروتون (وغيره من الأجسام الذرية والنووية) بوحدة طاقة مقسومة على مربع سرعة الضوء، حيث نلاحظ أن كتلة البروتون الساكنة مثلاً هي:

$$m_p \approx 938\,\text{MeV}/c^2$$

(ب) أما طاقة البروتون عند سرعة $0.3c$ فنجدها من العلاقتين (6-3) و (6-4)، أي:

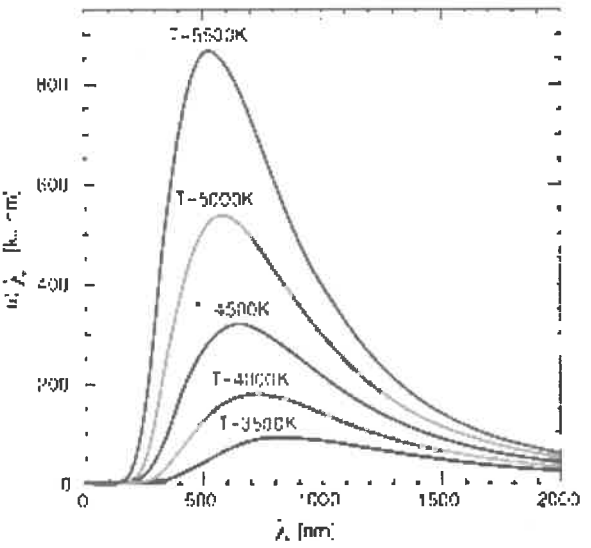
$$E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = \frac{938\,\text{MeV}}{\sqrt{1-(0.3)^2}} = 983\,\text{MeV}$$

6-8 الظواهر المادية للضوء

6-8 أ توزع الألوان الصادرة عن الأجسام الحارة

من المشكلات التي واجهت الفيزيائيين أيضاً إشعاع الألوان من الأجسام الحارة. فلو أنك رأيت ضوءاً صادراً عن مصباح متوهج بعد مروره من خلال موشور زجاجي لشاهدت كل ألوان قوس قزح من الأحمر للبنفسجي، كما يصدر عنه أيضاً أشعة تحت حمراء لاتراها. وتصدر الألوان من الأجسام الحارة بسبب اهتزاز الجسيمات المشحونة في ذراتها فتتوهج

وتضئ. ولو أننا زدنا شدة التيار المار في المصباح تدريجياً عندئذ تزداد درجة حرارته فنلاحظ أن اللون الصادر يتغير من الأحمر الغامق إلى البرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق، وعندما ترتفع حرارته كثيراً يصير الضوء أبيض تماماً. فكلما زادت درجة الحرارة كلما زادت شدة الألوان الصفراء فالخضراء، الخ ليزداد "بياض" الجسم أكثر فأكثر. ويتحدد اللون الذي نراه على طول موجة الأشعة الصادرة منه وحساسية العين لها، ويوضح الشكل (3-6) الطيف الناتج عن أجسام لها درجات حرارة مختلفة وكيفية تغير شدة الألوان الصادرة مع طول موجتها حيث يظهر بوضوح أن اللون ذو الشدة الكبرى يعتمد على درجة حرارة الجسم (مقدرة بالكلفن).



الشكل (3-6)

وقد فشلت النظريات التقليدية في الكهرومغناطيسية في تفسير سبب تغير شدة الألوان الصادرة عن جسم بهذا الشكل. ذلك لذا افترض ماكس بلانك عام 1900 أن طاقة اهتزازات الذرة في الأجسام الحارة التي تشع تتحدد بالعلاقة:

$$E = nhf \qquad (6\text{-}6)$$

حيث n عدد صحيح 0,1,2,3, الخ، و h ثابت أطلق عليه اسم ثابت بلانك، و f تردد الأشعة الصادرة عن الجسم. فيمكن لطاقة الذرة أن تكون hf أو $2hf$ أو $3hf$ الخ، لكن لايمكنها أن تكون $hf/2$ مثلاً أو $3hf/2$ وغير ذلك من أنصاف القيم الفردية لـــ hf. ونقول في هذه الحالة إن طاقة الذرة **مكممة** تأتي على شكل حزم محددة الحجم دوماً.

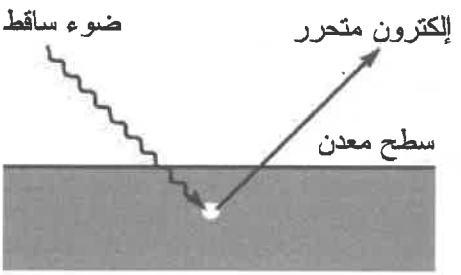
والأهم من ذلك أن الأجسام الحارة لاتشع إلا عندما تتغير طاقة ذراتها، أي عندما تتغير من $2hf$ إلى hf مثلاً، أو من $4hf$ إلى $2hf$ وهكذا. وفي كل حالة تخسر الذرة عدداً صحيحاً من الكمية hf تظهر على شكل إشعاع مرئي أو غير مرئي. كما وجد بلانك أن الثابت h صغير جداً ويساوي 6.63×10^{-34} J/Hz بمعنى أن الطاقة الصادرة من ذرات الأجسام العادية صغيرة جداً بحيث لايمكن تحسسها أو رؤيتها بسهولة.

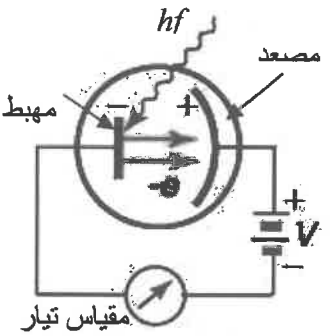
لقد كانت فرضية بلانك في تكميم الطاقة غريبة ومزعجة بنفس الوقت للفيزيائيين في ذلك الوقت لدرجة أنه لم يمنح جائزة نوبل إلا بعد 18 سنة من تقديمه لهذه النظرية وذلك بعد ثبوت صحتها !

6-8 ب المفعول الكهرضوئي

أثارت ظاهرة تجريبية أخرى فضول الفيزيائيين عندما لاحظوا أنه عندما يسقط ضوء فوق بنفسجي على شريحة من الزنك مشحونة سلبياً فإنها تفقد شحنتها، أما عندما يسقط عليها ضوء عادي فإنها تبقى مشحونة، بينما لاتفقد شريحة مماثلة مشحونة إيجابياً أي شحنة في أي حالة. وتبين من تجارب عديدة أن الشريحة المشحونة سلبياً تفقد شحنتها بإصدار إلكترونات منها. وقد أطلق على هذه الظاهرة اسم **المفعول الكهرضوئي**.

ويمكن التحقق تجريبياً من هذا المفعول بتجربة بسيطة، كما هو موضح بالشكل (6-5) حيث يسقط ضوء على شريحة معدنية تسمى المهبط موصولة بالقطب السالب لبطارية فتحرر منها إلكترونات تتجه نحو شريحة مقابلة تسمى المصعد موصولة بالقطب الموجب للبطارية، ثم يقاس التيار الناتج، أي عدد الإلكترونات المتحررة المتحركة من المهبط للمصعد. وقد تبين من التجربة أنه لاتصدر إلكترونات من مادة المهبط إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أكبر من قيمة معينة أطلق عليها **التردد الحرج** يعتمد على نوع مادة المهبط. فمثلاً وجد أن كل الألوان تحرر إلكترونات من معدن السيزيوم باستثناء الأحمر، بينما لاتتحرر إلكترونات من الزنك إلا إذا سقط عليه ضوء فوق بنفسجي.





الشكل (6-4)

وقد عجزت النظريات التقليدية عن تفسير ظاهرة المفعول الكهرضوئي إلى أن نشر آينشتين عام 1905 نظرية جديدة تنص على أن الضوء عبارة عن حزم من الطاقة يسمى كل واحد منها **فوتون** تعتمد طاقته على تردده وفق العلاقة:

$$E = hf \qquad (7\text{-}6)$$

حيث h ثابت بلانك. وبحسب مانعرف عن انتشار الأمواج فإن تردد موجة الضوء يرتبط بطولها λ وسرعتها c وفق العلاقة:

$$f\lambda = c$$

لذلك تصير العلاقة (7-10):

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240(\text{eV} - \text{nm})}{\lambda(\text{nm})} \qquad (8\text{-}6)$$

حيث عوضنا قيم الثابتين h و c ونضع طاقة الفوتون بوحدة eV .
لقد فسرت هذه النظرية وجود تردد حدي لتحرير الإلكترونات من المعادن إذ يجب أن يكون للفوتون الساقط طاقة صغرى hf_0 ليستطيع الإلكترون أن يخرج من المهبط، وإذا كان تردد الفوتون أقل من f_0 فلا يتحرر أي إلكترون منه. أما إن كان تردده f أكبر من f_0 فإن الإلكترون يمتصه كلياً ويستهلك جزءاً من طاقته ليهرب من المعدن ويحتفظ بالباقي كطاقة حركية، أي أن:

$$KE = hf - hf_0 \qquad (9\text{-}6)$$

حيث KE الطاقة الحركية العظمى التي يمكن أن يكتسبها الإلكترون المتحرر، كما يطلق على hf_0 اسم دالة الشغل للمعدن ويرمز لها بـ ϕ.
بهذه النظرية ونظرية بلانك تم تفسير إشعاع الأجسام الحارة والمفعول الكهرضوئي بسهولة تامة. فطاقة الذرة مكممة وتصدر منها أشعة (أي فوتونات) عندما تنقص طاقتها بما يعادل طاقة الفوتون المنبعث!

مثال (6-2)

مادالة الشغل للصوديوم إذا كان تردده الحدي 5.6×10^{14} Hz؟ (ب) ما الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة من الصوديوم إذا سقط عليه ضوء تردده 8.6×10^{14} Hz؟

الحل:

(أ) نحسب دالة الشغل بكتابة:

$$\phi = hf_0 = (6.63\times10^{-34}\,\text{J/Hz})(5.6\times10^{14}\,\text{Hz}) = 3.71\times10^{-19}\,\text{J} = 2.31\text{eV}$$

(ب) لحساب الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المتحررة نحسب طاقة الفوتون الساقط:

$$E = hf = (6.63\times10^{-34}\,\text{J/Hz})(8.6\times10^{14}\,\text{Hz}) = 5.70\times10^{-19}\,\text{J}$$
$$= (5.70\times10^{-19}\,\text{J})\left(\frac{1}{1.6\times10^{-19}\,\text{J/eV}}\right) = 3.56\text{eV}$$

ومن ثم نجد طاقة الإلكترون من (6-8):

$$KE = 3.56 - 2.31 = 1.25\text{eV}$$

6-9 ازدواجية طبيعة الموجات والمادة

نتيجة الظواهر السابقة والتجارب العديدة صارت ماهية الضوء مثار جدل بين الفيزيائيين في أوائل القرن العشرين. فكل تجارب الانكسار وتداخل وحيود الضوء تقول إنه أمواج كهرومغناطيسية، وتأتي الأدلة الجديدة لتقول

إنه يتصرف كجسم مادي يمكن اصطدامه وامتصاصه ويحمل طاقة. لحل هذا التناقض الظاهري اقترح فيزيائي فرنسي في مقتبل العمر لم يتجاوز سنه حينئذ السادسة والعشرون واسمه **لويس دي بروغلي** أن كل جسم، بما في ذلك الضوء، يحمل صفات مادية وموجية بنفس الوقت، بمعنى أنه يتصرف كموجة في حالات معينة وكجسم مادي في حالات أخرى. وربط دي بروغلي بين الزخم الخطي للجسم وطول الموجة المرافقة له بالعلاقة:

$$p = mv = \frac{h}{\lambda} \qquad (10\text{-}6)$$

حيث h ثابت بلانك.

بهذه المعادلة صار كل شئ في الكون وكل الأجسام فيه من النجوم للإنسان لي شئ آخر، عبارة عن جسم مادي وموجة كهرومغناطيسية في آن واحد، لكننا تظهر خواص واحدة منهما فقط في أي لحظة ما من الزمن حسب حالة الجسم من سرعة وطاقة.

فلو أعتبرنا سيارة كتلتها 1000 kg تسير بسرعة 100 km/h وحسبنا "طول موجتها" لوجدنا:

$$p = mv = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}\,\mathrm{J/s}}{(1000\,\mathrm{kg})(150\times1000/3600\,\mathrm{m/s})}$$

أي أن:

$$\lambda = 1.6\times10^{-38}\,\mathrm{m}$$

وهذا طول موجي قصير جداً لدرجة لايمكن تحريه ولارؤيته ولا الكشف عنه بأي طريقة لذلك تظهر السيارة الجانب المادي فقط، كما هو متوقع. أما لو اعتبرنا حالة إلكترون سرعته $0.1c$ مثلاً وحسبنا طول موجته لوجدنا:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63\times10^{-34}\ \text{J/s}}{(9.1\times10^{-31}\ \text{kg})(0.1\times3\times10^{8}\ \text{m/s})} = 2.42\times10^{-11}\ \text{m}$$

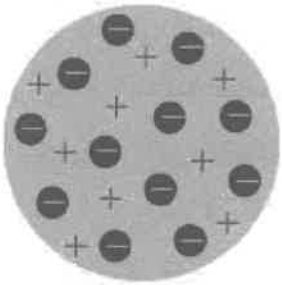
وهذا طول موجي لايقع ضمن مجال الطيف المرئي لكن يمكن تحسسه بكواشف معينة.

10-6 تركيب الذرة

بعد أن صار مفهوماً كيف تصدر الذرة أشعة ذات ألوان مختلفة وربط ذلك بطاقتها وطاقة الفوتون الصادر عنها كان من الضروري فهم شكل الذرة وكيف تتوزع الشحنات بداخلها. فمن جهة أولى فهي تحوي إلكترونات صغيرة سالبة الشحنة تستطيع مغادرة الذرة عند شحن جسم، كما درسنا سابقاً، وكما هو واضح من المفعول الكهرضوئي. ومن جهة ثانية فإن الذرة متعادلة كهربائياً لذا لابد أنها تحوي شحنة موجبة تساوي شحنة الإلكترونات. فأين وكيف تتوزع هذه الشحنة الموجبة؟

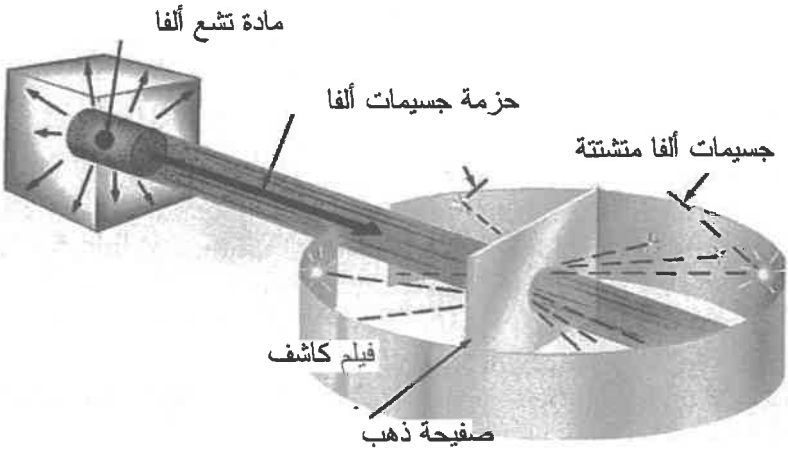
10-6 أ نموذج تومسون وتجربة رزرفورد

للإجابة على هذا السؤال اقترح عالم ذري أمريكي اسمه ج. ج. **تومسون** نموذجاً مبسطاً للذرة كأنها بطيخة لبها الأحمر مشحون إيجابياً وبذورها هي الإلكترونات، كما هو موضح في الشكل (6-5).



الشكل (6-5)

لكن العالم الفيزيائي أرنست **رزرفورد** أجرى تجربة للتحقق من هذا النموذج فسلط حزمة من جسيمات موجبة الشحنة وأثقل من الإلكترون بثمانية آلاف مرة تقريباً وتبين انها تشكل نواة ذرة الهيليوم وتسمى جسيمات ألفا لكنا كانت معروفة أنها تصدر عن مواد معينة مشعة، على شريحة رقيقة من الذهب محاطة بفيلم كاشف يتحسس سقوط ألفا عليه، كما في الشكل (6-6)، فلاحظ رزرفورد أن بعض جسيمات ألفا تنحرف عن مسارها بزوايا كبيرة نسبياً بل إن بعضها يرتد للخلف عند اصطدامها بصفيحة الذهب، مما يعني أنها واجهت جسماً أكبر منها بكثير.

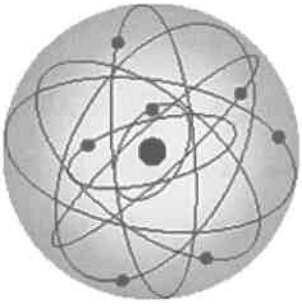


الشكل (6-6): تجربة رزرفورد

لذلك افترض رزرفورد أن شحنة الذرة الموجبة تشغل منطقة صغيرة جداً عند مركزها بينما تدور الإلكترونات حولها في مسارات شبه دائرية مثلما تدور الكواكب حول الشمس، كما في الشكل (6-7).

لقد كان نموذج الذرة النووية هذا ملائماً تماماً لولا وجود مشكلة أساسية في الكهرباء. لأنه بحسب نظريات الكهرومغناطيسية فإن الأجسام المشحونة المتسارعة تشع طاقة باستمرار، وبما أن للإلكترونات الدائرة حول النواة تسارع مركزي، كما نعلم، فيجب أن تشع مما يؤدي لأن تفقد طاقتها تدريجياً

إلى أن تقع على النواة، أي أن الذرة ستنهار وتختفي! لذا كان لابد من تعديل هذا النموذج لفهم كيفية استقرار الذرة.



الشكل (6-7)

6-11 نموذج بور

لحل الإشكالية التي ظهرت في نموذج رزرفورد اقترح نايلز بور نموذجاً معدلاً بحيث تدور الإلكترونات حول النواة الثقيلة في مسارات دائرية مستقرة لكنه وضع فرضيتين جريئتين هما:

1- لاتكون نظريات الكهرومغناطيسية التقليدية محققة داخل الذرة.

2- لايشع الإلكترون طاقة خلال دورانه حول النواة طالما بقي في نفس المدار بحيث يكون زخمه الزاوي 1 ثابت فيه ويساوي عدد صحيح من الثابت h، أي أن:

$$1 = mvr = n\mathrm{h} \qquad (11\text{-}6)$$

حيث $\mathrm{h} = h/2\pi$ و n عدد صحيح يأخذ القيم n=1, 2, 3, ...

ولكن إذا كان الإلكترون لايشع طاقة خلال دورانه فمتى تشع الذرة ويصدر عنها ضوء؟ لتفسير ذلك اقترح بور أن الإلكترون لايصدر طاقة إلا إذا انتقل

من مدار لآخر حول النواة. وبحسب نظرية آينشتين فإن طاقة الضوء الصادر لها قيم محددة ومكممة لذلك لابد أن الإلكترون يعطي أو يمتص طاقة على شكل حزم مكممة أيضاً. أي أن طاقة الإلكترون تأخذ قيماً مكممة فقط.

ويجب أن ننتبه إلى أن ظاهرة التكميم في الفيزياء الحديثة تعتبر تحولاً جذرياً عما نعرفه في حياتنا اليومية فلو كانت طاقة بندول بسيط مثلاً مكممة لكانت سعة اهتزازاته لاتأخذ إلا قيماً محددة 10 أو 20 أو 30 سم مثلاً ولايجوز أن تكون 15.2 سم مثلاً، وهذا صعب التخيل في تجاربنا المخبرية وتطبيقاتنا العملية العادية ذلك أنك لو تخيلت أنك تزيح بندولاً بسيطاً مسافة ما وتتركه فلايهتز بل يعود مباشرة لوضع اتزانه! فماذا تعتقد عندئذ؟ هناك يد خفية اوقفته عن حركته، اليس كذلك؟

أما الإلكترون في الذرة فيسمح له أن يأخذ طاقة محددة، وهو في مدار معين حول النواة، تسمى **سوية طاقة**، ويستطيع أن ينتقل إلى مدار أبعد أو أقرب من النواة إذا امتص أو أصدر طاقة تعادل الفرق في طاقته بين المدارين.

ولتحديد طاقة الإلكترون في مداره حول النواة، سنعتبر حالة بسيطة هي ذرة الهيدروجين المؤلفة من إلكترون واحد يدور حول البروتون.

فنلاحظ أن الإلكترون يخضع لقوة كهربائية جاذبة من البروتون قيمتها:

$$F = \frac{ke^2}{r^2}$$

وبما أنها مركزية لذلك نكتب:

$$\frac{ke^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$$

كما أن طاقة الإلكترون الكلية تساوي:

$$E = \tfrac{1}{2}mv^2 - \frac{ke^2}{r}$$

لذلك إذا استفدنا من العلاقة (6-11) والمعادلتين السابقتين نستطيع أن نجد طاقة الإلكترون في مدار معين على النحو:

$$E = -(\frac{2\pi^2 k^2 me^4}{h^2})\frac{1}{n^2}$$

وبتعويض قيم الثوابت الواردة في العلاقة السابقة نجد:

$$E_n = -13.6(\frac{1}{n^2}) \text{ eV} \qquad (12\text{-}6)$$

كما نجد أن نصف قطر المدار يعطى بالعلاقة:

$$r_n = (\frac{h^2}{4\pi^2 kme^2})n^2$$

أو

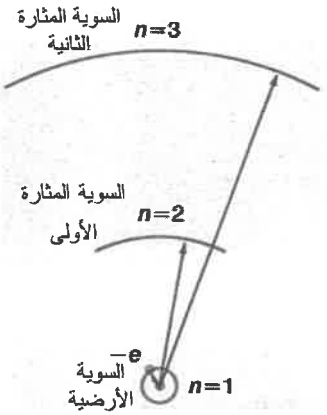
$$r_n = 0.053n^2 \text{ nm} \qquad (13\text{-}6)$$

حيث n عدد كمي يأخذ القيم ...1,2,3,.

وتدل n في العلاقتين السابقتين على رقم المدار الذي يتحرك عليه الإلكترون. فيدور الإلكترون في ذرة الهيدروجين العادية في المدار الأول n=1 التي تسمى **السوية الأرضية** وتكون طاقته فيها أقل مايمكن. أما إذا استطاع امتصاص طاقة تنقله للمدار الثاني n=2 فنقول إن **الذرة مثارة**

ويصير الإلكترون في السوية **المثارة الأولى**، وهكذا دواليك، كما هو موضح بالشكل (6-8).

وبالعكس، إذا انتقل من سوية مثارة لأخرى أقل إثارة منها فإن الإلكترون يفقد طاقة تصدر على شكل ضوء مرئي أو غير مرئي بحسب تردد الضوء الناتج. وإذا تمكن إلكترون من أخذ طاقة كافية ليغادر الذرة نهائياً عندئذ نقول إنها أصبحت **مؤينة** تماماً، وتسمى الذرة المتبقية **أيون موجب**.



الشكل (6-8)

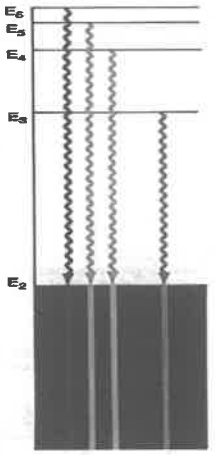
وهذه النتائج في غاية السهولة والأهمية أيضاً لأنها تكمم طاقة ونصف قطر الإلكترون حول النواة بحيث يدور في مسارات تعطى أنصاف أقطارها وفق العلاقة (6-13) وتكون طاقته في أي منها معطاة بالعلاقة (6-12).

كما نلاحظ أن طاقة الإلكترون **سالبة** أي أنه مقيد داخل الذرة بحيث لايستطيع مغادرتها بسبب جذب البروتون له. وكلما ابتعد إلى مدارات أبعد صارت طاقته أقل سلبية أي صار قيده أضعف. ويتحرر الإلكترون عندما تصير طاقته الكلية أكبر من الصفر. لذلك يمكن تحريره من مدار معين بإعطائه طاقة حركية تعادل طاقة ربطه هناك. ففي المدار الأول يحتاج

الإلكترون إلى 13.6 eV ليتحرر، بينما يحتاج في المدار الثاني إلى 3.4 eV وهكذا.

ومن أروع ماحصل أن هذه النظرية البسيطة فسرت بشكل مدهش خطوط الطيف الصادر عن العناصر المشعة، كاللون الأصفر الذي يصدر من الصوديوم (ملح الطعام) والألوان البراقة التي تصدر عن الزئبق والهيدروجين وغيرها. حيث يمكن حساب طاقة الفوتون الصادر من الفرق في طاقة الإلكترون بين مدار وآخر.

ويوضح الشكل (6-9) انتقالات الإلكترون من مدار لآخر في الهيدروجين والألوان الصادرة في كل حالة.



الشكل (6-9)

مثال (6-3)

ما نصف قطر مدار الإلكترون في السوية $n=4$ في ذرة الهيدروجين؟ وماطاقة الفوتون الصادر وطول موجته عندما ينتقل الإلكترون من المدار 4 إلى المدار 1 ؟

الحل:

(أ) نحسب نصف قطر مدار الإلكترون من العلاقة (6-13) مباشرة ونكتب:

$$r_4 = 0.53(4)^2 = 8.48\text{nm}$$

كما نحسب طاقة الإلكترون في المدار 4 فنكتب:

$$E_4 = -\frac{13.6}{16} = -0.85\text{eV}$$

و طاقته في المدار 1:

$$E_1 = -\frac{13.6}{1} = -13.6\text{eV}$$

لذلك تكون طاقة الفوتون الصادر هي:

$$E_{phton} = E_4 - E_1 = 12.75\text{eV}$$

وبحسب العلاقة (6-8) نجد:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = 0.66\text{eV} \Rightarrow \lambda = \frac{1240\text{eV.nm}}{12.75\text{eV}} = 97.3\text{nm}$$

12-6 النموذج الكمي للذرة والميكانيك الكمي

على الرغم من نجاح نموذج بور في تفسير ذرة الهيدروجين إلا أن فرضياته الأساس التي بني عليها ظلت بحاجة لتعليل علمي مقنع بالإضافة لفشلها في تفسير أطياف الذرات متعددة الإلكترونات. وقد استفاد الفيزيائي أروين شرودنغر في أوائل القرن الماضي من فرضية دي بروغلى في ازدواجية حالة الضوء والمادة للأجسام لوضع نظرية كمية للذرة مبنية على الأمواج، وقام ورنر هايزنبرغ وولفغانغ وماكس بورن، وغيرهم، بتطوير نظرية شرودنغر لوضع وصف كامل للذرة وحركة الإلكترونات فيها،

فصارت تعطي صورة متكاملة لها، ليست ببساطة نموذج بور تماماً لكنها لاتختلف عنها كثيراً. فصار مدار الإلكترون حول النواة يشبه غيمة يسبح فيها، لايلتزم بموضع معين تماماً لكنه يبقى بداخلها في كل الأوقات، بحيث يستحيل تحديد موضعه وسرعته بنفس الوقت بدقة تامة. لذا لم نعد نتكلم عن **وجود** جسم في موضع ما بل **احتمال** وجوده هناك، وتبين من الحسابات أن أكثر المواضع احتمالاً للإلكترون حول البروتون في ذرة الهيدروجين يتوافق مع نصف قطر ذرة بور تماماً.

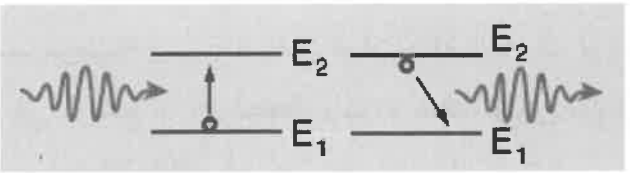
وعلى الرغم من التعقيد الرياضي لنظرية شرودنغر إلا أنها ناجحة بشكل كبير في تفسير وتنبؤ معظم تفاصيل الذرة والنواة. كما تستطيع النظرية أن تعطي وصفاً ملائماً للجزيئات والمواد الصلبة أيضاً، ولعمليات امتصاص وإصدار الضوء من المادة مما أدى لاكتشاف مصدر جديد للضوء، كما سنرى.

13-6 الليزر

من الواضح أن الضوء يصدر عندما ينتقل إلكترون من مدار لآخر في الذرة كما وجدنا من نموذج بور (ونظرية شرودنغر أيضاً) . فالذرة تصدر ضوءاً عندما تكون مثارة، وهذا يحصل بالتسخين مثلاً أو إذا اصطدم جسم خارجي بإلكتروناتها اصطداماً غير مرن. ويصدر الضوء من ذرات مصباح متوهج بكل الأطوال الموجية الممكنة (أي كل الألوان) وفي كل الاتجاهات ويطلق عليه اسم **طيف مستمر**، أما الضوء الصادر عن ذرات غاز فيحوي بضعة ألوان فقط ويسمى **طيف متقطع** وينتشر في كل الاتجاهات أيضاً.

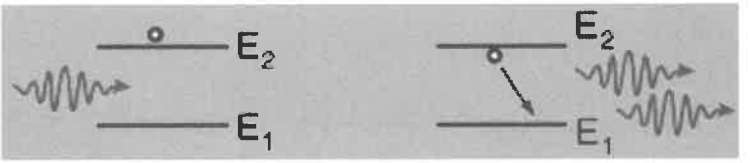
لكن هناك وسيلة أخرى لإثارة الذرة وهي أن يصطدم بها فوتون له طاقة مناسبة تماماً فتمتصه وتنتقل لسوية أعلى لكنها لاتبقى كذلك طويلاً بل تعود بعد فترة زمنية قصيرة لاتتجاوز عشرات النانو ثانية لحالتها الأولى مطلقة

فوتوناً له نفس طاقة الفوتون الذي امتصته. تسمى هذه العملية **الإصدار التلقائي**، كما في الشكل (5-10).



الشكل (6-10)

في عام 1917 اعتبر آينشتين حالة ذرة مثارة بالطريقة المذكورة أعلاه عندما يصطدم بها فوتون له طاقة تساوي طاقة الفوتون الذي امتصته، فبرهن أنها ستصدر فوتوناً آخر متزامن مع الفوتون القادم تماماً من حيث الطاقة والاتجاه، كما في الشكل (5-11)، بحيث لايتأثر الأخير بتاتاً. تسمى هذه العملية **الإصدار المحرض**.



الشكل (6-11)

ويمكن للفوتونين الناتجين إثارة ذرات أخرى وتحريضها لإصدار المزيد من الفوتونات المتزامنة معهما، لتستمر العملية بهذا الشكل وينتج شلال هائل من الفوتونات ذات الطاقة الواحدة والمتحركة سوياً بانسجام وتزامن تام. لكن للوصول لهذه النتيجة يجب أن يتحقق شرطان أولهما أن يكون هناك عدد كاف من الذرات المثارة أصلاً، والثاني أن يمكن تجميع الفوتونات لتصطدم بهذه الذرات وتحرضها على الإصدار. وقد أطلق على الجهاز الذي يحقق كلا الشرطين اسم الليزر وهو اختصار لجملة بالإنجليزية تعني **تضخيم**

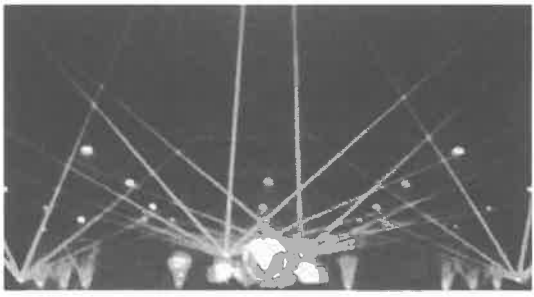
الضوء بالإصدار المحرض (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

ويتم في الليزر "ضخ" أو إثارة الذرات بإحدى طريقتين:

1- إما بتسليط ومضة من ضوء شديد تردده أعلى من تردد الليزر فتثار الذرات وعندما تطلق واحدة منها فوتوناً لتعود لحالتها الأولى يبدأ شلال الفوتونات المحرضة، كما ذكرنا أعلاه، ويكون ضوء الليزر الناتج ومضة سريعة بشدة عالية.

2- أو يمكن استخدام عملية تفريغ كهربائي مستمر (كأنبوب النيون في لوحات المحلات)، بحيث تثار الذرات باستمرار من الإلكترونات الناتجة عن التفريغ، لذا يكون ضوء الليزر الناتج مستمراً وليس ومضة فقط. ويستخدم هذا النوع بكثرة في المختبرات التدريسية حيث يملأ انبوب زجاجي بغازي الهيليوم والنيون فيثير تيار التفريغ الكهربائي ذرات الهيليوم لتصطدم ذراته المثارة بذرات غاز النيون وترفعها لسويات مثارة، وعندما تطلق إحدى ذرات النيون فوتوناً لتستقر تبدأ العملية الليزرية.

ويتم تجميع الفوتونات الناتجة وتركيزها بوضع الأنبوب الزجاجي الحاوي على الغازين بين مرآتين متقابلتين ومتوازيتين بحيث تعكس إحداهما كل الضوء الساقط عليها بينما تسمح الأخرى لـ 1% بالنفاذ عبرها للخارج للحصول على ضوء الليزر في حين يقوم الضوء المنعكس بين المرآتين بمتابعة العملية الليزرية.



الشكل (6-12): ضوء الليزر

14-6 فيزياء النواة

أدى اكتشاف رزرفورد للنواة لدفع عجلة التطور في الفيزياء النووية بشكل كبير، ولم يكتف رزرفورد ومن معه باكتشاف النواة بل استطاعوا تحديد العديد من خواصها الأساس مثل:

1- لاتتجاوز أبعاد النواة مسافة 10^{-15} من المتر، بينما أبعاد الذرة لاتتجاوز بضع عشرات من 10^{-10} m فهناك فراغ شاسع بين النواة وأقرب إلكترون منها.

2- تحوي النواة شحنات موجبة تساوي شحنة الإلكترونات السالبة، وقد اطلق رزرفورد اسم **البروتون** على نواة ذرة الهيدروجين التي تحوي جسيماً واحداً موجباً فقط، شحنتهe 1 وكتلته u 1 تقريباً حيث تسمى u **وحدة الكتلة الذرية**.

3- عدد الإلكترونات يساوي نصف عدد الأجسام الموجودة في النواة تقريباً، ويرمز لهذا العدد بـــ Z، ويساوي عدد البروتونات أيضاً، ويدعى **العدد الذري**. فمثلاً تحوي ذرة الكربون 6 إلكترونات و 6 بروتونات، ويحوي الحديد 26 إلكترون و26 بروتون، وهكذا.

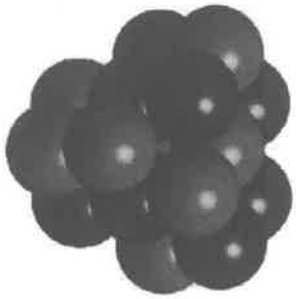
4- تساوي كتلة الذرة تقريباً ضعف كتلة البروتونات، أي أن كتلة ذرة الكربون مثلاً لاتساوي كتلة 6 بروتونات فقط بل كتلة 12 بروتون تقريباً. لتفسير هذا الاختلاف افترض رزرفورد وجود جسيم آخر داخل النواة له نفس الكتلة تقريباً لكنه غير مشحون وسماه **نيوترون** (أي معتدل كهربائياً)، وقد تم التأكد من وجود هذا الجسيم وسمي نيوترون

بواسطة العالم تشادويك عام ١٩٣٢. ويرمز لعدد النيوترونات في النواة بـــ N.

5- يطلق على مجموع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة اسم **العدد الكتلي** ويرمز له بـــ A ، أي أن:

$$A = Z + N \qquad (14\text{-}6)$$

ويرمز لنواة ذرة ما X بالشكل ${}^{A}_{Z}X_{N}$ حيث A العدد الكتلي، و Z العدد الذري، و N عدد النيوترونات. ويطلق على البروتونات والنيوترونات اسم موحد هو النيوكلونات (nucleons).



شكل توضيحي للنواة

15-6 العناصر والنظائر

يتميز كل عنصر في الطبيعة بعدد البروتونات الموجودة في نواته، فتحوي نواة الهيدروجين بروتوناً واحداً فقط ونرمز لها بـــ ${}^{1}_{1}H_{0}$، ونواة الهيليوم 2 بروتون و2 نيوترون ورمزها ${}^{4}_{2}He_{2}$، وتحوي نواة الأوكسجين 8 بروتون و 8 نيوترون ورمزها ${}^{16}_{8}O_{8}$، وهكذا.

وتتميز العناصر المختلفة عن بعضها بتفاعلاتها وخواصها الكيميائية، فإذا تغير عدد البروتونات في نواة يتغير العنصر كله، أي تتغير خواصه الكيميائية. ويوجد في الطبيعة 92 عنصر كما تم تخليق عناصر أخرى

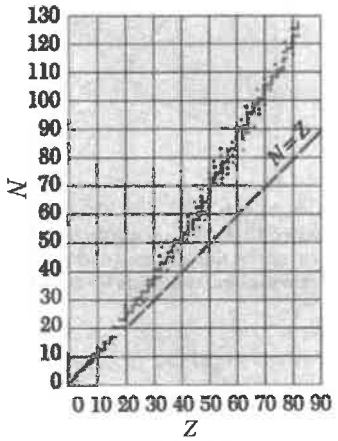
مخبرياً حتى وصل العدد الكلي حتى الآن إلى 115 عنصر. ويطلق على نوى العنصر الذي يحوي أعداداً متفاوتة من النيوترونات اسم **نظائر** العنصر. فالهيدروجين بدون نيوترونات يكتب ${}_1^1H$ أو H^1 فقط، أما إذا كان يحوي نيوتروناً واحداً فيكتب ${}_1^2H_1$ أو H^2 يسمى ديتيريوم ويرمز له بـــ D(ويدخل في تصنيع الماء الثقيل D_2O). أما إذا حوى الهيدروجين نيوترونين فيكتب ${}_1^3H_2$ أو H^3 ويسمى التريتيوم وهو غاز سام خطير جداً. ولاتختلف الخواص الكيميائية من نظير لآخر لنفس العنصر لكن تختلف خواصه وتفاعلاته النووية. وقد اكتشف حتى الآن حوالي 1400 نظير، بعضها متوفر في الطبيعة ومستقر وبعضها يتم تحضيره في المفاعلات والمسرعات النووية وهو مشع قد يعيش ملايين السنوات أو أجزاء من الثانية.

16-6 القوة النووية

ذكرنا أعلاه أن حجم النواة صغير جداً بالمقارنة مع الذرة ومع ذلك فهي تحوي البروتونات الموجبة "المكدسة" بداخلها والتي تتنافر بقوة كولوم الكهربائية. فلماذا لاتهرب هذه البروتونات وتترك النواة؟ لاشك أن هناك قوة جاذبة تبقيها في مكانها. وقد قارنا في في الوحدة السابعة بين قوة كولوم وقوة التجاذب الكتلي بين بروتونين فوجدنا أن الأخيرة أصغر بـــ 10^{40} من القوة الكهربائية، أي أنها مهملة تماماً في هذه الحالة، ولا يعقل أن تستطيع إبقاء البروتونات في موضعهم داخل النواة. لذلك نستنتج أنه لابد من وجود قوة جاذبة أخرى بين النيوكلونات تحافظ على استقرارهم وتثبتهم داخل النواة. وقد أطلق على هذه القوة اسم **القوة النووية** أو **التفاعل القوي** (strong interaction). وقد تبين من تجارب مختلفة أن لهذه القوة عدة خواص أساس من أهمها أنها:

1- قوة تجاذبية بين أي نوكليونين.
2- قصيرة المدى بحيث لاتؤثر على البروتونات أو النيوترونات خارج النواة.
3- لاتؤثر على الإلكترونات داخل أو خارج النواة.
4- هي نفسها بين بين بروتونين أو بين نيوترونين أو بين بروتون ونيوترون، أي أنها مستقلة عن شحنة الأجسام المؤثرة على بعضها.

وتكمن أهمية هذه القوة هو أنها تعمل بين النيوكلونات لتحافظ على استقرار وبقاء النواة ضد القوة الكهربائية. ولهذا كلما كبرت النواة كلما صار عدد النيوترونات أكبر من البروتونات حتى تستطيع القوة النووية التغلب على التنافر الكهربائي المتزايد. لذلك لو رصدنا النظائر المستقرة المعروفة حتى الآن لوجدنا الشكل (5-13)، حيث نلاحظ أن النوى المستقـرة حتى الكالسيوم $^{40}_{20}Ca_{20}$ تقريبـاً قد تحوي عدداً متساوياً من البروتونات والنيوترونات، لكن بعد ذلك يتغير هذا الوضع باتجاه النيوترونات التي تزيد عدداً للمحافظة على استقرار النواة، وكأنها تعمل كصمغ لاصق لها.
نستنتج مماتقدم أنه إذا استطاعت القوى النووية المحافظة على النواة وإبقائها متماسكة فإن الأخيرة تكون مستقرة وتبقى موجودة مع مرور الوقت، أما غذا اختلت النسبة بين عدد البروتونات وعدد النيوترونات أو زاد عدد البروتونات عن 82 فإن النواة تصير غير مستقرة وتتحلل بشكل أو بآخر لتتحول لنظير أو عنصر آخر أكثر استقراراً منها. تسمى هذه العملية التحلل النووي وينتج عنها مايطلق عليه اسم **النشاط الإشعاعي** (radioactivity)، كما سنرى لاحقاً.



الشكل (6-13)

17-6 الإشعاع النووي

يوجد في الطبيعة مايربو على 250 نواة مستقرة، لكن عدد النظائر المعروفة حتى الآن يزيد عن 1400 نظير، بمعنى أن معظم النظائر غير مستقر ولايتواجد في الطبيعة لوقت طويل. وهناك أسباب كثيرة تدفع نواة ما لتتحلل أهمها أنها تحاول الوصول لحالة مستقرة. فمثلاً يمكن لنواة أن تحوي أكثر مما تحتاج إليه من البروتونات فيتحول إحداها لنيوترون داخل النواة، أو بالعكس تحوي نيوترونات كثيرة فيتحول أحدها لبروتون. أو قد تكون طاقة النواة أكثر مما تحتاج إليه، أي أنها مثارة، فتطلق فوتونات عالية الطاقة "لتهدأ" وهكذا. تسمى كل هذه العمليات **تحلل نووي** ونقول إنها **نشطة إشعاعياً**. ويطلق اسم **إشعاع نووي** على كل شئ تصدره النواة سواء كان فوتوناً أو بروتوناً أو نيوتروناً أو إلكتروناً أو أي جسم آخر.

18-6 أنواع الإشعاعات النووية

تتحلل المواد طبيعياً بثلاثة طرق رئيسة هي:

1 – **تحلل ألفا** (α–decay) : تطلق فيه النواة جسيم ألفا (α) وهو عبارة عن نواة ذرة الهيليوم وتحوي بروتونين ونيوترونين، أي أن $\alpha \equiv {}^{4}_{2}\mathrm{He}_{2}$.
وفي هذا التحلل تخسر النواة بروتونين ونيوترونين لتنتج نواة جديدة وفق التفاعل:

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X}_{N} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\mathrm{X}_{N-2} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}_{2} \qquad (15\text{-}6) $$

ونلاحظ في هذا التحلل أن مجموع عدد النيوكلونات A وعدد البروتونات Z وعدد النيوترونات N يجب أن لايتغير بين طرفي معادلة التحلل.

2– **تحلل بيتا** (β-decay): وتطلق فيه النواة جسيماً مساوياً للإلكترون في الكتلة لكن إما بشحنة موجبة ويدعى **بوزيترون** (positron) ويرمز له بـــ β^{+}، أو بشحنة سالبة ويدعى **نيجاترون** (negatron) ويرمز له بـــ β^{-} (في الحقيقة β^{-} هو نفس الإلكترون ولكن سمي نيجاترون للتناظر مع كلمة بوزيترون). كما تبين أن جسيماً آخر يظهر نتيجة التحلل لاكتلة له لكنه يحمل بعض الطاقة يسمى **نيوترينو** (neutrino) ويرمز له بـــ ν.
وفي هذا التحلل يتحول بروتون إلى نيوترون داخل النواة، أو بالعكس، وفق العلاقة:

$$ {}^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z\pm1}\mathrm{X}'_{N\mathrm{ml}} + \beta_{\mathrm{m}} + \nu \qquad (16\text{-}6) $$

وقد سبب تحلل بيتا حيرة العلماء لأنهم لم يعرفوا لماذا "يقرر" بروتون أو نيوترون أن يتحول للآخر لكن **فيرمي** وضع نظرية أساسية افترض فيها وجود قوة نووية جديدة أطلق عليها اسم **القوة الضعيفة** مسؤولة عن هذه

العملية. وبالتالي صار هناك أربع قوى أساس في الطبيعة هي قوة الجاذبية وقوة كولوم والقوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة.

3- **تحلل جاما:** وفيه تكون النواة حاملة لطاقة تزيد عن حالتها العادية (ويقال إنها مثارة) فتطلق فوتوناً يحمل هذه الطاقة الفائضة العالية جداً بالمقارنة مع فوتونات الضوء المرئي، لذا لايكون مرئياً ويسمى أشعة جاما.

19-6 التحلل وعمر النصف

تختلف النوى غير المستقرة عن بعضها بالزمن الذي تستغرقه لتتحلل، فبعضها يأخذ زمناً طويلاً لتتحول نوياته من حالة لأخرى، مثل اليورانيوم $^{238}_{92}U_{146}$ الذي يستغرق مئات آلاف السنوات ليتحلل، وبعضها الآخر لايحتاج إلا لبضع ثوان ليختفي من الوجود، مثل البولونيوم $^{213}_{84}Po_{129}$. لذلك نعرف زمن **عمر النصف** لأي مادة مشعة بأنه الزمن اللازم لتتحول نصف نواها من حالة لأخرى. بمعنى أنه لو كان لدينا عينة من مادة مشعة تحوي في لحظة ما N نواة فإن عمر النصف لها هو الزمن اللازم حتى لايبقى فيها سوى $N/2$ نواة مشعة.

وقد تبين أن عدد النوى المشعة يتغير مع الزمن بشكل أسي وفق العلاقة:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (17\text{-}6)$$

حيث يسمى λ **ثابت تحلل المادة** ويعتمد على العنصر.

ويرتبط ثابت التحلل بنصف عمر المادة الذي يرمز له عادة بـ $t_{1/2}$ بعلاقة بسيطة نجدها من المعادلة (6-14) بملاحظة أنه بعد زمن يساوي نصف العمر فإن عدد الذرات المشعة ينخفض للنصف، أي عندما $t=t_{1/2}$ يكون $N=N_0/2$، بتعويض هذه القيم في (6-17) نجد:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow \lambda t_{1/2} = \ln 2$$

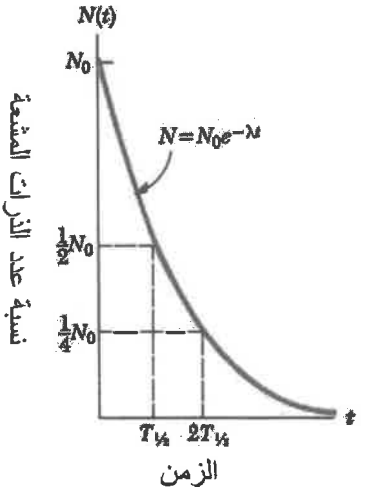
ومنه:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \qquad (18\text{-}6)$$

فعمر النصف لمادة يتناسب عكساً مع ثابت تحللها الإشعاعي. ولو رسمنا تغير عدد ذرات مادة مشعة مع الزمن لوجدنا الشكل (6-14) حيث نلاحظ كيف يتناقص عدد الذرات تدريجياً بحيث ينخفض لنصف قيمته بعد كل عمر نصف.

بالطبع لايمكن عملياً أن نحصي عدد ذرات مادة متحللة بل يتم قياس عدد الإشعاعات الصادرة عنها (بكل أنواعها) في الثانية وهذا مايسمى **النشاط الإشعاعي** أو اختصاراً **الإشعاعية** (activity) ويرمز لها بـــ ϕ. وترتبط إشعاعية مادة بعدد ذراتها بعلاقة بسيطة هي:

$$\phi = \lambda N \qquad (19\text{-}6)$$



الشكل (6-14)

حيث نلاحظ أن وحدة الإشعاعية ϕ هي تحلل/ثانية، وقد أطلق عليها في نظام الوحدات الدولي اسم **بيكريل** ويرمز لها بـــ Bq أي أن 1 Bq=1 تحلل/ثانية. وقد أعطيت هذا الأسم نسبة **لهنري بيكريل** الذي كان من رواد الفيزيائيين الذين عملوا في مجال الإشعاعات واكتشفوا خواصه وأسراره في بداية القرن الماضي.

ويستفاد من (6-18) و (6-19) لكتابة الإشعاعية بالعلاقة:

$$\phi = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \phi_0 e^{-\lambda t} \qquad (20\text{-}6)$$

حيث تدل ϕ_0 على إشعاعية المادة عند بدء عملية الإحصاء بينما ϕ إشعاعيتها بعد زمن t.

وكثيراً ماتعطي إشعاعية الأجسام بوحدة أخرى قديمة منسوبة للزوجين **ماري وبيير كيوري** M. & P. Curie اللذين كانا أول من اكتشف النشاط الإشعاعي لليورانيوم في القرن العشرين، ويرمز لهذه الوحدة بـــ Ci وتساوي 3.7×10^{10} Bq ، أي أن:

$$1\ \text{Ci} = 3.7\times10^{10}\ \text{Bq}$$

مثال (6-4)

يتحلل عنصر الكوبلت ^{60}Co بعمر نصف يساوي 5.3 سنة. بعد كم سنة ستخسر عينة من هذا العنصر ثلاثة أرباع الذرات المشعة فيها؟

الحل:

نحسب أولاً ثابت تحلل الكوبلت فنكتب من العلاقة (6-15):

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{5.3\,\mathrm{y}} = 0.131/\mathrm{y}$$

ثم نستخدم المعادلة (17-6) حيث نلاحظ أنه بعد أن تفقد العينة ثلاثة أرباع ذراتها لايبقى فيها إلا الربع أي أن $N=N_0/4$ فنكتب:

$$N = \frac{N_0}{4} = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda t} \Rightarrow \mathrm{e}^{-(0.131/\mathrm{y})t} = 0.25$$

ومنه:

$$(0.131/\mathrm{y})t = 1.386 \Rightarrow t = \frac{1.386}{0.131}\mathrm{y} = 10.58\,\mathrm{y}$$

فستستغرق العينة أكثر من عشر سنوات ونصف لتخسر ثلاثة أرباع ذراتها المشعة.

20-6 الكشف عن الإشعاعات

يمكن الكشف عن المواد المشعة بواسطة أجهزة مختلفة تستطيع تحري سقوط الإشعاعات عليها عندما تفقد طاقتها بالاصطدام، مثل فيلم التصوير الفوتوغرافي الذي نستخدمه في آلات التصوير العادية حيث يفقد الضوء الساقط طاقته فيحترق الفيلم تاركاً أثراً للتحميض.

ومن أشهر أجهزة الكشف عن الإشعاعات **كاشف جايجر** الذي يستخدم بكثرة في المختبرات التدريسية، كما هو مبين في الشكل (15-6). ويحوي الكاشف اسطوانة فيها غاز أرغون يتأين عند دخول إشعاع فيه فيعطي إشارة كهربائية يسجلها مقياس خاص على شكل نبضة أو صوت أو رقم.

الشكل (6-15)

21-6 الطاقة النووية

لعل الإنطباع المؤثر الذي يسيطر على مخيلة أي شخص عندما يسمع كلمة طاقة نووية هو ذلك الإنفجار الذي هز العالم عندما ألقت أميركا قنبلة ذرية على كل من مدينة هيروشيما ومدينة ناغازاكي اليابانيتين عام 1945 فأبادت مايزيد عن مائة ألفاً من البشر في لحظات، أو الذعر الذي أصاب العالم عام 1986 عندما أنصهر لب مفاعل تشيرنوبل في الإتحاد السوفييتي سابقاً فأدى لتلوث إشعاعي كبير في المنطقة المحيطة به ومصرع الكثير من الناس بشكل مباشر وغير مباشر. لذا صارت الطاقة النووية مرتبطة لاشعورياً بمفهوم التدمير والتلوث والأمراض الخطيرة وغيرها. إلا أن هناك جانب آخر للموضوع إذ أن للطاقة النووية استخدامات مفيدة في مجالات عديدة صناعية وطبية وعلمية. وسنتعرض في مايلي طرق الحصول على الطاقة النووية وكيف يمكن الاستفادة منها ومشاكلها الحالية ومستقبلها. كما سنعطي لمحة موجزة عن الإشعاعات النووية وأهم مصادرها وخطرها وسبل الحماية منها.

مفاعل نووي لانتاج الطاقة

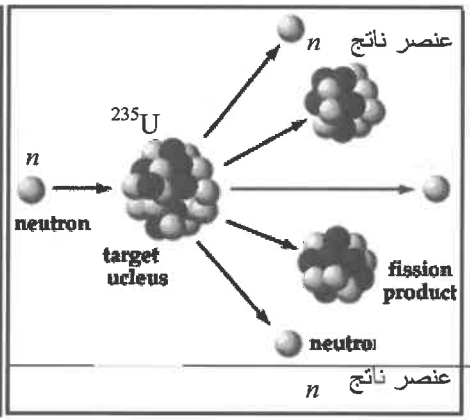
22-6 كيف نحصل على الطاقة النووية؟

يمكن الحصول على الطاقة النووية بوسيلتين أساسيتين هما الانشطار والاندماج النووين.

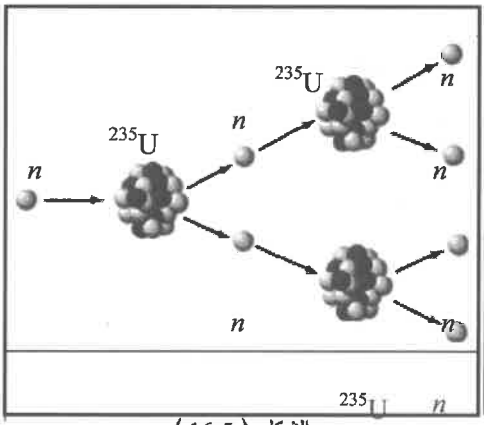
22-6 أ الإنشطار (Fission):

تم اكتشاف الطاقة النووية الكامنة في بعض المواد عندما لاحظ العلماء أن قذف نظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ بنيوترونات يؤدي لتشكيل النظير $^{236}_{92}U$ الذي ينشطر تلقائياً إلى عنصرين صغيرين نسبياً ومطلقاً بنفس الوقت نيوترونين أو ثلاثة والتي تقوم بدورها بالالتحام بذرات أخرى من $^{235}_{92}U$ لتكرر العملية ثانية وثالثة في **تفاعل متسلسل**، كما هو موضح بالشكلين (6-15) و (6-16).

وتتحرر في كل انشطار طاقة تعادل 200 MeV (حوالي 3×10^{-11} جول) تكسب منها النواتان الناتجتان ٨٠% تقريباً، بينما تأخذ الباقي النيوترونات وأشعة γ.



الشكل (5-15)



الشكل (5-16)

ويعطي انشطار نوى غرام واحد من ^{236}U حوالي 5×10^{10} جول، أي مايعادل سقوط مائة ألف كيلوغرام من الماء من ارتفاع 400 كم، أو احتراق حوالي 4000 كغ من الفحم!

وتنشطر نواة $^{236}_{92}U$ بعدة طرق مثل:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2(^{1}_{0}n) + \gamma$$

و

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{132}_{50}Sn + {}^{101}_{42}Mo + 3(^{1}_{0}n) + \gamma$$

حيث نلاحظ في كل حالة تحرر نيوترونين أو ثلاثة بالإضافة لانطلاق إشعاعات جاما عالية الطاقة. وتخسر النوى الناتجة عن الانشطار طاقتها بتصادمات متتالية داخل مادة المفاعل فتتحول هذه الطاقة إلى حرارة عالية يُستفاد منها بعدة طرق، منها السلمي لإنتاج الطاقة، ومنها غير السلمي لإنتاج أسلحة الدمار الشامل.

22-6 ب الإندماج (Fusion):

تتميز النوى الخفيفة بأنها أقل استقراراً من النوى متوسطة الكتلة، لذلك إذا استطعنا دمج نواتين خفيفتين مع بعضهما فإن طاقة كبيرة نسبياً تتحرر. وبالطبع فإن هذه العملية لا تتم إلا بعد التغلب على قوى التنافر الكهربائي بين بروتونات النواتين.

وينتج عن اندماج نواة الهيدروجين الثقيل (الديتيريوم ^2H) والهيدروجين الأثقل (التريتيوم ^3H)، مثلاً، تشكل جسيم ألفا (نواة الهيليوم ^4He) بالإضافة لنيوترون وإطلاق طاقة، كما في المعادلة:

$$ {}_1^2H_1 + {}_1^3H_2 \rightarrow {}_2^4He_2 + {}_0^1n_1 $$

ومع أن النيوترون يأخذ معظم هذه الطاقة إلا أن الهيليوم يأخذ جزءاً منها ويتحرك ليخسرها بشكل حراري إلى الوسط الموجود فيه. وعلى الرغم من أن الطاقة الناتجة عن اندماج واحد صغيرة نسبياً إلا أنه يمكن الحصول على عدد هائل منها من كمية قليلة من الماء! ولذا يعتبر الاندماج النووي مصدراً مهماً للطاقة!

ويفضل الاندماج على الانشطار كمصدر للطاقة لأسباب عديدة منها:

1- توفر مصدر الطاقة بشكل لاينضب وهو الماء الرخيص جداً بالمقارنة مع اليورانيوم.

2- طاقة نظيفة لايصدر عنها تلوث إشعاعي من مخلفاتها.

ويمكن دمج نواتين مع بعضهما بوسائل مختلفة منها:

1- التسريع

حيث تندفع نوى متماثلة نحو بعضها وتندمج معاً مولدة طاقة عالية، إلا أن عدد النوى التي يمكن تسريعها صغير جداً بالمقارنة مع العدد اللازم لانتاج

طاقة مفيدة عملياً إذ لا يتجاوز التيار الناتج واحد مايكروأمبير وهذا لا يعطي أكثر من 2 وات فقط.

2- الاندماج الحراري

ويتم هذا بتسخين النوى المراد دمجها إلى أن تصير طاقتها الحرارية كافية للتغلب على التنافر الكهربائي بين البروتونات وتندمج النوى مع بعضها.

23-6 استخدامات الطاقة النووية

تستخدم الطاقة النووية في مجالين أساسين هما انتاج الطاقة الكهربائية وأسحلة الدمار الشامل.

23-6 أ انتاج الطاقة بواسطة المفاعلات:

يمكن الحصول على الطاقة الكهربائية من الطاقة النووية الناتجة عن الانشطارات والاندماجات النووية في مفاعلات خاصة منها:

أ - المفاعل الانشطاري

يستخدم اليورانيوم الطبيعي الحاوي على 0.72% من ^{235}U كمادة انشطار في المفاعل، كما يستخدم النظير ^{233}U والبلوتونيوم ^{239}Pu. ويتم التحكم بمعدل الانشطارات في المفاعل النووي بوساطة أعمدة تحكم ومواد مهدئة (Control Rods and Moderators) مصنوعة من مادة ذات كتلة مقاربة لكتلة النيوترونات حتى تخسر الأخيرة معظم طاقتها عند اصطدامها بها. وتستخلص الطاقة من المفاعل بعدة طرق كإدخال ماء بارد فيسخن ويتبخر في المفاعل ومن ثم يتم سحب البخار إلى أجهزة توليد الكهرباء وغيرها.

ب - المفاعل الاندماجي

من الواضح أن الحصول على الطاقة من الاندماج أرخص بكثير من الانشطار لتوفر المادة الضرورية لذلك (ماء!)، ولكن المشكلة المستعصية في

هذه العملية هي أن درجة حرارة البخار الناتج تصل إلى حوالي 10^{11} كلفن، كما يحصل في الشمس أو الأسحلة النووية، وينتج عنها تأين ذرات الهيدروجين (أو التريتيوم) المستعمل في الاندماج فتتشكل أيونات موجبة (النوى) وإلكترونات سالبة معها، عند درجة حرارة عالية جداً. ويختلط هذا المزيج على شكل سحابة حارة جداً تسمى البلازما، ونظراً لارتفاع درجة الحرارة فإنها كافية لصهر أي معدن يحوى مادة التفاعل. ولذلك تكمن مشكلة الاندماج الحراري في حصر البلازما (containment) في مكان معين وأخذ الطاقة الإندماجية الناتجة عنها.

ولا يزال البحث جارياً للوصول إلى التقانة الضرورية لتحقيق حصر البلازما ومن ثم فإن الحصول على الطاقة من الاندماج للتطبيقات السلمية لم يزل غير محقق حتى الآن.

23-6 ب تصنيع أسلحة الدمار الشامل:

أ- الأسلحة الانشطارية

يعتمد مبدأ تصنيع قنبلة ذرية على بدء تفاعل انشطاري متسلسل غير مسيطر عليه ويحتاج هذا إلى كتلة تساوي 10 كغ تقريبا من مادة الإنشطار ينشطر منها عمليا حوالي 1 كغ فقط مصدراً طاقة تعادل 10^{14} جول أي ما يعادل انفجار 20,000 طناً من مادة الـ TNT شديدة الإنفجار!

ويمكن أن نحصل على الكتلة الحرجة اللازمة لجعل الانشطار غير مسيطر عليه بوسيلتين، يتم في الأولى تحضير مادة الانشطار على شكل كرة ينقصها جزء صغير يجعلها حرجة عند التحامه بها. وقد استخدمت أميركا هذا النوع في القنبلة التي ألقيت على مدينة هيروشيما اليابانية في الحرب العالمية الثانية، حيث دُفع هذا الجزء بسرعة بواسطة متفجرات عادية بعد إلقاء القنبلة فصارت الانشطارات غير مسيطر عليها فوق الهدف تماما! وفي النوع

الثاني يتم الوصول للكتلة الحرجة عن طريق وضعها وسط متفجرات عادية يتم تفجيرها بنفس اللحظة فتنتج موجة صاعقة تضغط مادة الانشطار لتصير حرجة، وقد استخدمت الولايات المتحدة أيضاً هذا النوع لتدمير مدينة ناغازاكي اليابانية في الحرب العالمية الثانية أيضاً.

ب – الأسلحة الاندماجية

يعتمد مبدأ تصنيع قنبلة هيدروجينية على بدء تفاعل اندماجي وهذا يحتاج لحرارة عالية ولذلك تستخدم قنبلة ذرية (صغيرة) كزناد للقنبلة النووية بحيث تتولد حرارة كافية لدمج الوقود الاندماجي. ويتم تحضير الانفجار الانشطاري بداية بوساطة تفجير مواد كيماوية في القنبلة بحيث ينضغط ^{238}U حول ^{235}U و ^{239}Pu مؤديا لتشكيلهما لكتلة حرجة تعطي انفجاراً انشطارياً، وتؤدي الطاقة الناتجة عن هذه "القنبلة الذرية الصغيرة" لإذابة غلاف المادة الاندماجية وبدء الاندماج النووي.

الشكل (6-17): قنبلة نووية

وبالإضافة للطاقة الناتجة عن الاندماج فإن النيوترونات المنطلقة تؤدي لانشطار غلاف القنبلة المصنوع من اليورانيوم مما يؤدي لزيادة التدمير الناتج وإصدار الإشعاعات القاتلة معه. وقد سمى هذا النوع من القنابل

بالقنابل "القذرة" لأنها تضيف للطاقة الاندماجية مخلفات الانشطار النووي المشع. ويمكن صناعة قنابل "نظيفة" بالتخلص من غلاف اليورانيوم الذي يؤدي للإنفجار فقط دون إبقاء فضلات مشعة في الجو.

وتصل الطاقة الناتجة عن قنبلة نووية "عادية" إلى ما يعادل انفجار مليون طن من مادة شديدة الانفجار TNT (بالمقارنة مع عشرين ألف طن للقنبلة الذرية).

24-5 نتائج الانفجارات الذرية والنووية

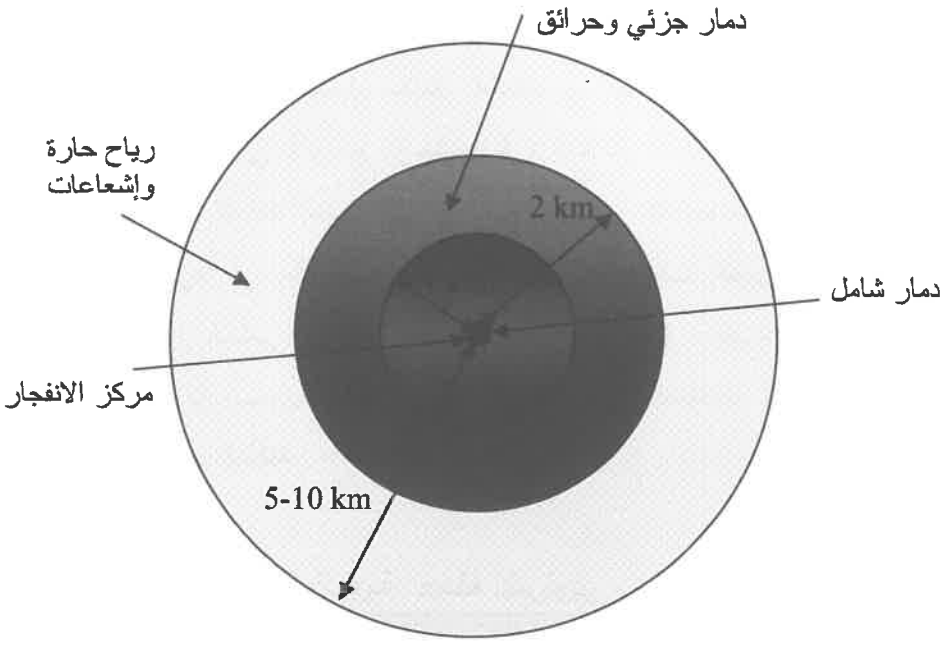
يمكن تحديد تأثير انفجار قنبلة انشطارية على المنطقة المحيطة بها على النحو التالي (انظر الشكل (6-18):

1- في المنطقة المحيطة بالانفجار مباشرة (دائرة يتراوح نصف قطرها بين 1 و1.5 كم حسب قدرة القنبلة) تتولد كرة نارية شديدة الحرارة ترافقها أمواج ضغط عالية جداً وخلفها ضغط معدوم تقريباً. فينتج عن ذلك احتراق المواد القابلة للإحتراق وتدمير المباني كافة بما فيها غير الخشبية ومقتل كل المخلوقات الحية.

2- في منطقة يصل نصف قطرها إلى حوالي 2-3 كم، تدمر البيوت الخشبية وتطير المخلفات الناتجة عن الانفجار بسرعة 170 km/h تقريباً ويصاب الناس والحيوانات بحروق شديدة من الدرجة الثالثة، وتشتعل المواد القابلة للإشتعال، وينتج عن النيران المشتعلة رياح حارة على مستوى الأرض تتراوح سرعتها بين 80 إلى 150 km/h، مما يزيد من شدة النار وانتشارها.

3- تتبخر المواد المشعة الناتجة عن الانشطار وتسقط على الأرض ملوثة إياها، ويرتفع بعضها إلى طبقات الجو العليا منتقلاً مع الرياح إلى مناطق بعيدة. وقد يبقى في الجو لمدة عام كامل تتحلل خلاله المواد المشعة قصيرة العمر، وتبقى المواد طويلة العمر مثل السيزيوم والسترنسيوم اللذان يطلقان أشعة جاما وبيتا لمئات (بل آلاف) السنوات. ويمكن أن يتعرض سكان المناطق الواقعة على طريق حركة المواد المشعة وعلى بعد مئات الكيلومترات منها إلى إشعاعات قاتلة تؤدي للموت المباشر أو لأمراض مزمنة ووراثية كالسرطان واللوكيميا وغيرها!

4- بالنسبة للأسلحة الاندماجية فإن تأثيرها التدميري يبلغ حوالي عشرة أضعاف القنبلة الانشطارية بالنسبة لأنصاف أقطار دوائر التدمير المذكورة أعلاه، أما بالنسبة للإشعاعت فيصل تأثيرها إلى ألف ضعف تقريباً!!



الشكل (6-18): مدى تدمير قنبلة انشطارية

25-6 مشاكل الطاقة النووية

على الرغم من إمكانية تسخير الطاقة النووية للاستخدامات السلمية، إلا أن لها مشاكل أساس تعيق استخدامها على نطاق واسع حتى الآن. من هذه المشاكل:

25-6 أ الفضلات المشعة

ينتج عن انشطار النوى الثقيلة ، كما ذكرنا أعلاه، مواد جديدة غير مستقرة تطلق إشعاعات γ و β و α. وتستطيع بعض هذه الاشاعات بطاقتها العالية اختراق معظم المواد وإخلال تركيبها، كما تنتشر في الجو والتربة والماء ملوثة كل شيء. ونظراً لوصول عمر هذه البقايا المشعة لآلاف السنوات أحياناً، فإن مشكلة التخلص من النفايات النووية تعتبر إحدى المشاكل الأساس التي تحتاج لحل بعيد المدى.

25-6 ب الحوادث في المفاعلات

من المهم جداً عند تشغيل مفاعل انشطاري المحافظة على معدل انتاج الطاقة الحرارية حتى لاترتفع درجة حرارة المفاعل بشكل فوضوي مما قد يؤدي لانصهار المادة (مهما كان نوعها) وانتشار الإشعاعات في الفضاء ملوثة كل شيء في طريقها. وتتخذ عادة الاحتياطات الضرورية لتبريد المفاعل بشكل مستمر، إلا أن احتمال وقوع حوادث خطيرة كما حصل لمفاعل تشيرنوبل يجعل العديد من الدول مترددة في استخدام هذا النوع من المفاعلات لتوليد الطاقة.

25-6 ج حوادث الطاقة النووية: حادثة تشرنوبل

في أحد أسوأ حوادث المفاعلات النووية في التاريخ وقعت مأساة حقيقية يوم 1986/4/26 في مفاعل تشيرنوبل، في الاتحاد السوفيتي سابقاً وجمهورية أوكرانيا حالياً، وذلك عندما قام الفنيون هناك خلال تمرين لاختبار نظام التبريد في المفاعل بسحب عدد كبير من أعمدة التحكم من لب المفاعل لتعويض الطاقة الضائعة نتيجة تراكم مادة ممتصة للنيوترونات (^{125}Xe) في الانشطارات المتتالية، مما أدى لارتفاع معدل الطاقة المتولدة من حوالي 1% من قيمتها المسموح بها إلى 100 ضعف خلال أربع ثواني فقط! فتشكل نتيجة لذلك بخار حار كثيف جداً متمدد نتج عنه انفجار في أنابيب التبريد في لب المفاعل فدمر غطاءه الاسمنتي المسلح فوقه، وأدى إلى اشتعال المهدئات المصنوعة من مادة فحمية لعدة أيام بدرجات حرارة وصلت إلى 5000 درجة مئوية! فتسربت إلى الجو مواد مشعة غاية في الخطورة بلغت إشعاعيتها حوالي 10^{18} كيوري (Ci) مع العلم أن الحد الأعلى المسموح به عالمياً لا يتجاز 0.5 Ci فقط. وقد لقى عدد كبير من الأشخاص حتفهم مباشرة في منطقة الانفجار إما من الحرارة

أو الإشعاع القاتل. كما تعرض عشرات ومئات الآلاف من السكان في منطقة كييف والمناطق القريبة منها إلى إشعاعات عالية جداً تسبب أمراضاً سرطانية قاتلة في سنوات معدودة، إن لم يكن أقل من ذلك. كما تسرب الإشعاع إلى الحقول الزراعية في أوروبا الشرقية ومصادر المياه فيها بكميات متفاوتة. وقد دلت الاختبارات هناك إلى أن بعض المنتوجات الزراعية والحيوانية كالحليب ومشتقاته قد تلوثت بإشعاعات تفوق الحد الأعلى المسموح بها عالمياً بكثير. أما سكان الدول الإسكندنافية كالسويد والدانيمارك فقد تعرضوا لإشعاعات تعادل ما يحصل عليه الإنسان عند تعرضه لإشعاع صورتين من صور أشعة الصدر دفعة واحدة. كما وصلت بعض الإشعاعات لسواحل البحر الأبيض المتوسط .

25-6 د التكلفة والتقانة:

يتطلب بناء المفاعلات الانشطارية الكثير من الموارد المادية والبشرية إذ تبلغ كلفة بناء وتشغيل المفاعل الواحد ما يزيد عن 500 مليون دولار، كما يحتاج تشغيله وإدارته ومتابعة عملياته خبراء مختصون في الفيزياء والهندسة النووية والإنشاء والإشعاع وغيرها، أي يجب أن يتوفر الكادر العملي المؤهل لذلك. وهذا يتطلب التخطيط طويل الأمد والإمداد بالموارد الضرورية له.

26-6 اليورانيوم

نظراً لأهمية اليورانيوم (حالياً على الأقل) في انتاج الطاقة النووية سواء للسلام أو لقتل الأنام، فإننا نخصص له هذه الفقرة لإعطاء بعض خواصه واستخداماته.

يوجد عنصر اليورانيوم في الطبيعة على شكل خامة تحوي عدة نظائر أهمها ^{238}U ونسبته 99.3% و ^{235}U ونسبيته 0.7% تقريباً (كما يحوي ^{234}U أيضاً ولكن بنسبة ضئيلة جداً). وهذه النظائر مشعة بعمر نصف كبير جداً. فالعمر النصفي لـ ^{238}U هو 7.1×10^{8} سنة و 4.5×10^{9} سنة لـ ^{235}U. ولكل منهما سلسلة إشعاعية طويلة تنتهي بنظيري الرصاص المستقر ^{207}Pb للأول و ^{206}Pb للثاني. كما ينشطر كلا من نظيري اليورانيوم المذكورين ولكن بطرق مختلفة. فيحتاج ^{235}U لنيوترون ذو طاقة عالية (أكثر من مليون إلكترون فولت) لينشطر، بينما ينشطر ^{238}U بأية نيوترونات مهما كانت طاقتها (كالنيوترونات الحرارية ذات الطاقة القريبة من الصفر).

ومن أمثلة التحولات التي تحدث لـ ^{238}U عند اصطدام نيوترون حراري به التحول الآتي:

$$^{238}U+n \rightarrow {}^{239}U \xrightarrow[23.5m]{\beta^-} {}^{239}Np \xrightarrow[2.36d]{\beta^-} {}^{239}Pu$$

والبولونيوم ^{239}Pu هو نظير مشع لجسيمات ألفا بعمر نصف 24100 سنة. أي أن ^{239}Pu يتحول للبلوتونيوم الهام جداً في الصناعات النووية الحربية حيث أن قدرته الانشطارية (بنيوترونات حرارية) تفوق ^{235}U، بالإضافة إلى أنه ينتج في المتوسط حوالي 2.9 نيوترون لكل انشطار مقابل 2.4 نيوترون من ^{235}U. هنا كمنت أهمية استخدام اليورانيوم الطبيعي في المفاعلات المعدة للاستخدام العسكري كمصنع للبلوتونيوم (الذي يستخدم معه الماء الثقيل كمهدئ لقدرته على الامتصاص السريع لطاقة النيوترونات لتصل لاقل من 1 مليون إلكترون فولت لتأمين حدوث تفاعل نووي وتجنب الانشطارات النووية غير المرغوب بها داخل المفاعل).

26-6 أ اليورانيوم المخصب

يتم حالياً الضغط على الدول المنتجة للطاقة النووية للاستخدامات السلمية بواسطة المفاعلات لاستخدام اليورانيوم المخصب U^{235}. ويتم تخصيب هذا النظير، أي زيادة تركيزه بطرق عملية معقدة ليصل إلى 15% بدلاً من 0.7% (كما يستخدم الماء الخفيف أو المغلي كمهدئ في هذه المفاعلات).

26-6 ب اليورانيوم المسمد

نظراً لأهمية نظير البلوتونيوم Pu^{239} في الصناعات النووية وقدرته العالية للإنشطار وانتاج النيوترونات الثانوية بغزارة فإنه يتم تعريض اليورانيوم U^{238} لنيوترونات قليلة الطاقة (بواسطة مولدات نيوترونات أو تفاعلات نووية) وذلك كعملية زرع متوزع للبلوتونيوم داخل كتلة اليورانيوم الطبيعي مما يجعلها مناسبة للاستخدام العسكري بكفاءة عالية، لأن U^{235} لايفي بهذا الغرض في الكثير من الأحيان.

26-6 ج اليورانيوم المنضب

يحوي اليورانيوم المتبقي بعد عملية تخصيب U^{235} على نسبة عالية من U^{238} ويطلق عليه اسم **اليورانيوم المنضب** (أي نضب منه U^{235}) . وU^{238} قليل الإشعاعية بالمقارنة مع U^{235} (لذا يستخدم أحياناً كحاجز وقائي في نقل النظائر المشعة السلمية من مكان الانتاج لمكان الاستعمال) لكنه شديد الصلابة وهنا تكمن خطورته إذ يستخدم في تغليف القذائف المستخدمة في الحروب التقليدية، كقذائف الدبابات والمدفعية والرشاشات الثقيلة والصواريخ فينتج حرارة عالية عند ارتطامه بالهدف تمكن القذيفة من اختراق الدروع

المصفحة للدبابات وغيرها بسهولة، كما أنه يشع بشكل كبير لفترة طويلة ولايمكن التخلص منه بسهولة.

27-6 مخاطر اليورانيوم المنضب

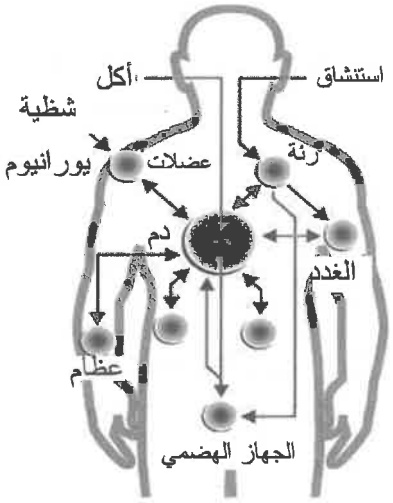
1- يصدر اليورانيوم المنضب كل الإشعاعات النووية.

2- يستهلك الناس اليورانيوم المنضب ويستنشقونه يومياً من الهواء والماء والتربة.

3- عندما تنفجر قذيفة مغلفة باليورانيوم المنضب يحترق المعدن ويتفاعل مع الأوكسجين مشكلاً غازاً ينتشر في الهواء.

4- ينتقل الغبار المشع مع الرياح وحركة السيارات على الطرق الترابية والرملية لمسافات تصل إلى حوالي 40 كم.

5- لاتتحلل ذرات الغاز المنتشر بل تبقى صلبة معلقة في الهواء فيستنشقها الناس أو تدخل للجسم عن طرق الفم فتنتشر في أعضاء الجسم المختلفة، كما هو موضح بالشكل (6-19).



الشكل (6-19)

28-5 الأمراض التي يمكن أن تسببها الإشعاعات النووية

تسبب الإشعاعات النووية المختلفة أمراضا خطيرة للإنسان إن تعرض لجرعة كبيرة منها في زمن قصير نسبياً، كما حصل لسكان مدينتي هيروشيما وناغازاكي اليابانيتين اللتين تعرضتا لهجوم ذري أمريكي خلال الحرب العالمية الثانية.

وتنقسم الأخطار الناتجة عن الإشعاعات النووية إلى أخطار شخصية (تظهر على الشخص المتعرض للإشعاع) وأخطار جينية (تظهر على الأجيال المتتالية). وتعتمد عواقب الإشعاعات النووية على عدة عوامل كفترة التعرض ونوع الإشعاعات وعددها وطاقتها ومكان التعرض في الجسم وغيرها.

ومن الأخطار الشخصية الآنية:

1- الدوار والإعياء والهزال.

2- اختلال عدد الكريات الدموية.

3- الالتهابات الجلدية الشديدة.

4- أمراض الغدة الدرقية.

5- الأمراض المعدية.

6- التهابات الأعصاب والجهاز العصبي.

ومن الأخطار المتأخرة:

1- السرطانات.

2- اللوكيميا.

3- الشيخوخة المبكرة.

4- العقم المؤقت أو الدائم.

29-6 الحماية من الإشعاعات النووية

يمكن للإنسان أن يحمي نفسه من الإشعاعات النووية بعدة وسائل منها:

1- لاتنتشر معظم الإشعاعات النووية لمسافات كبيرة في الهواء. لذا إذا تبين وجود مصدر مشع (نتيجة انفجار أو تلوث أو غير ذلك) فيجب الابتعاد عنه أكبر مسافة ممكنة.

2- يتم امتصاص الإشعاعات النووية وفق نوعها وطاقتها كما هو موضح بالشكل (6-20).

3- يمتص الهواء معظم جسيمات ألفا، كما يمتصها القماش والطبقة السميكة من الجلد وغيره.

4- يتم امتصاص جسيمات بيتا في الهواء بسرعة كبيرة وكذلك في الملابس وغيرها.

5- يمتص الرصاص أشعة جاما ولذا يستخدم في مختبرات التصوير الشعاعي. وكلما كانت شدة الإشعاع أكبر كلما كان هناك ضرورة لسمك رصاصي أكبر. كما يستخدم الأسمنت المسلح للحماية من الإشعاعات النووية في الملاجئ المصممة خصيصاً لهذا الغرض.

30-6 الأجسام الأولية

لقد كان هم الإنسان منذ الأزل، ولايزال، معرفة تركيب المادة ومكوناتها الأساس، فبدأ بالذرة فسبر أغوارها ليصل إلى النواة، ومع تقدم تقانة تسريع الأجسام صار بالإمكان إطلاق جسيمات نووية سريعة جداً تدخل النواة نفسها

و"تكسر" مركباتها من بروتونات ونيوترونات للوصول إلى الجسيمات "دون الذرية". وقد عرف العلماء حتى الآن مايزيد على 200 جسيم أطلق عليهم اسم **أجسام أولية** بمعنى أنهم يشكلون البنية الأساس للمادة في الطبيعة. ومن المعتقد أن معظم هذه الأجسام لاتتواجد خارج النواة بل تتشكل عندما تضطرب الأخيرة وتتم فيها تفاعلات نووية. والاعتقاد السائد حالياً أن هذه الجسيمات هي المسؤولة عن القوى الأربع الأساس في الطبيعة أي قوة الجاذبية بين الكتل، وقوة كولوم الكهربائية بين الشحنات، والقوة النووية القوية بين النيوكلونات، والقوة النووية الضعيفة المسببة لتحلل بيتا.

وقد قام العلماء بتصنيف الجسيمات الأولية كلها إلى عائلتين أساسيتين هما **الكواركات** (Quarks) وتشمل البروتونات والنيوترونات، و**الليبتونات** (Leptons) وتشمل الإلكترون والنيوترينو. فالبروتون مثلاً يتألف من ثلاثة كواركات شحنة اثنين منها 2/3+ من شحنة الإلكترون بينما شحنة الثالث 1/3– منها، وتلتحم هذه الكواركات ببعضها بواسطة جسيمات تدعى **جلووانات** فينتج عنها البروتون.

وبالإضافة للكواركات والليبتونات هناك جسيمات تعمل كوسيط للقوى المختلفة. فالفوتون هو وسيط القوة الكهربائية، والجلووانات تحمل القوة النووية القوية، كما تقوم ثلاثة جسيمات تسمى **البوزونات الضعيفة** بحمل القوة النووية الضعيفة المسببة لتحلل بيتا. أما حامل قوة الجاذبية فيسمى **جرافيتون** ولو أنه لم يتم اكتشافه بعد.

وبالطبع لم تتوقف القصة عند هذا الحد فأعطي لكل كوارك خواص مختلفة من لون وطعم وأسفل وأعلى ورأس وقعر، وغير ذلك من الأسماء التي وجد العلماء ضرورة لها لإكمال الصورة اللازمة لوصف كل مافي الكون. ومن المحتمل أنهم لن يصلوا للنهاية الأبدية وصدق الله العظيم إذ يقول: "**ما أشهدتهم خلق السموت والأرض، ولا خلق أنفسهم، وما كنت متخذ المضلين عضدا**" !

ملخص الفصل

الأثير: وسط وهمي اعتقد الفيزيائيون بضرورة وجوده لانتشار الضوء.

تجربة مايكلسون ومورلي: تجربة تمت لتحري وجود الأثير باستخدام مفهوم السرعة النسبية. لم يظهر أي أثر للأثير.

نظرية النسبية الخاصة: نظرية آينشتين التي تعني بحركة الأوساط بسرع ثابتة بالنسبة لبعضها.

مبادئ نظرية النسبية الخاصة: قوانين الفيزياء صالحة في كل الأوساط التي تتحرك بسرع ثابتة بالنسبة لبعضها. ينتشر الضوء بسرعة ثابتة في الفراغ بالنسبة لكل المراقبين الذين يتحركون بسرع ثابتة بالنسبة لبعضهم.

تمدد الزمن: يبدو الزمن أبطأ بالنسبة لمراقب متحرك بالنسبة لآخر ثابت وفق العلاقة: $T = T_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

تقلص الطول: يتقلط طول جسك من وجهة نظر مراقب متحرك بالنسبة لآخر ثابت وفق العلاقة: $L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

نسبية الكتلة: تتغير كتل الأجسام مع سرعها وفق العلاقة:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

علاقة الكتلة والطاقة: تتحول كتلة جسم لطاقة وفق العلاقة: $E = mc^2$.

فرضية بلانك في تكميم الطاقة: افترض بلانك أن الذرة تكسب وتخسر طاقة بشكل مكمم على النحو: $E = nhf$.

التأثير الكهرضوئي: يظهر تيار كهربائي عند سقوط ضوء، له تردد f أكبر من التردد الحرج f_0 ، على سطح بعض المعادن، وتكسب الإلكترونات طاقة حركية عظمى معطاة بالعلاقة: $KE = hf - hf_0$.

الفوتون: حزمة ضوء تحمل طاقة تساوي: $E = hf$.

ازدواجية الحالة للضوء: كل جسم يحمل خواص مادية وموجية.

علاقة دي بروغلي: يرتبط طول موجة جسم بزخمه الخطي بالعلاقة: $p = mv = h/\lambda$.

نموذج تومسون: تتألف الذرة من كرة ممتلئة بلب موجب الشحنة والإلكترونات كالبذور فيها.

تجربة رزرفورد: تبين أن شحنة الذرة الموجبة متوضعة في مركزها.

نموذج بور: تدور الإلكترونات حول النواة في مسارات دائرية ولاتشع خلال دروانها بحيث يكون زخمها الزاوي ثابت ويساوي: $1 = mvr = n\mathrm{h}$ وطاقته في المدا ر $E = -(\frac{2\pi^2 k^2 me^4}{h^2})\frac{1}{n^2}$: ونصف قطر المدار $r_n = (\frac{h^2}{4\pi^2 kme^2})n^2$.

الليزر: تطلق ذرة مثارة عند مرور فوتون طاقته تساوي طاقة إثارته فوتوناً متزامناً معه وله نفس الطاقة أيضاً.

النواة الذرية: تحوي كل ذرة نواة فيها بروتونات ونيوترونات (نوكليونات).

العدد الذري: عدد البروتونات في النواة.

العدد الكتلي: مجوع عدد البروتونات والنيوترونات في النواة.

النظائر: عناصر لها نفس عدد البروتونات وتختلف بالنيوترونات.

القوة النووية القوية: القوة التي تبقي النوكليونات متماسكة في النواة.

الإشعاعية: تحلل النواة بإصدار جسيمات أو فوتونات.

جسيم الفا: نواة ذرة الهيليوم وتتألف من بروتونين ونيوترونين.

جسيم بيتا: نفس الإلكترون بشحنة موجبة أو سالبة.

القوة النووية الضعيفة: هي القوة المسؤولة عن تحلل بيتا وتحول بروتون لنيوترون أو بالعكس.

أشعة جاما: فوتونات طاقتها أكبر من الضوء المرئي بكثير.

عمر النصف: الزمن اللازم لمادة مشعة لتفقد نصف ذراتها.

الجسيمات الأولية: هي اللبنات الأساس في بناء الكون التي تتشكل منها العناصر.

الانشطار النووي: تنشطر ذرة ثقيلة إلى عنصرين اصغر وتطلق طاقة.

التفاعل المتسلسل: يؤدي انشطار ذرة لانشطار ذرات أخرى.

الاندماج: تلتحم ذرتا عنصر خفيف لتشكيل عنصر اثقل وتصدر طاقة خلال ذلك.

تنتج الطاقة النووية في المفاعلات الانشطارية والاندماجية.

هناك مخاطر أساس في انتاج واستخدام الطاقة النووية.

يجب الحماية والوقاية من مصادر الإشعاعات النووية.

أسئلة

ملاحظة يمكن وضع: $hc = 1240\,\text{eV.nm}$

و $m_e c^2 = 511\times10^3\,\text{eV}$

1-6 هل يمكن رؤية أشعة جاما مثل الأشعة الضوئية؟ ما الفارق الأساس بينها؟ كيف تحمي نفسك منها؟

2-6 هل الطاقة النووية نظيفة أم لا؟ قارنها بمصادر الطاقة التقليدية.

3-6 عندما ننظر إلى السماء في ليلة صيفية جميلة يقول البعض إننا نظر إلى التاريخ. فسر مامعنى هذه العبارة.

4-6 تتحرك مسطرة مترية بسرعة ثابتة بالنسبة لمراقب فيلاحظ أن طولها نصف متر. ماسرعتها؟ مانسبة كتلة هذه المسطرة بالنسبة إلى كتلتها بالنسبة لمراقب ساكن معها؟

5-6 يتحرك إلكترون بين نقطتين فرق الجهد بينهما ٢٥٠ فولت. ما السرعة التي يكسبها؟

6-6 ماطول موجة الإلكترون المذكور في المسألة السابقة؟

7-6 تنتشر أسعة سينية طول موجتها 0.005 nm في الفراغ. مازخمها الخطي؟

8-6 يبلغ التردد الحدي للصوديوم 4.4×10^{14} Hz. ما الشغل اللازم لتحرير إلكترون من سطحه؟

9-6 ماطول موجة دي بروغلي لديتيرون كتلته 3.3×10^{-27} kg وسرعته 2.5×10^4 m/s؟

10-6 تبلغ دالة الشغل للحديد 4.7 eV . (أ) ما التردد الحدي لهذا المعدن؟ (ب) ما الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات الصادرة عنه إذا سقط عليه ضوء طول موجته 150 nm؟

11-6 يبلغ طول موجة إلكترون 0.18 nm . (أ) ما سرعته؟ (ب) مافرق الجهد اللازم لتسريعه لهذه الحالة إذا بدأ من السكون؟ (جـ) كم يصير فرق الجهد لو كان هناك بروتون بدلاً من إلكترون؟

12-6 تنتقل ذرة زئبق من مستوى طاقة 8.2 eV إلى مستوى 6.67 eV. ما طاقة الفوتون الصادر؟ وما طول موجته؟

13-6 يصطدم فوتون طول موجته 332 nm بذرة هيدروجين في السوية المثارة الأولى. (أ) برهن أن الذرة ستصير مؤينة. (ب) إذا صارت الذرة مؤينة ما الطاقة الحركية التي سيكسبها الإلكترون المحرر؟

14-6 أكمل معادلات التحلل التالية:

$$^{30}_{15}\mathrm{P} \rightarrow ? + \beta_{+} + ?$$

$$^{205}_{82}\mathrm{Pb} \rightarrow ? + \beta_{+} + ?$$

15-6 تسلط حزمة من الهيدروجين الثقيل $^{2}_{1}\mathrm{H}$ على نظير الزئبق $^{200}_{80}\mathrm{Hg}$. ما العنصر الناتج إذا امتص الزئبق الهيدروجين الثقيل وأطلق جسيم ألفا ؟

16-6 ما العنصر الباقي بعد تحلل بيتا الموجب لعنصر $^{18}_{9}\mathrm{F}$ ؟ اكتب معادلة التحلل.

17-6 إذا كان نصف عمر $^{18}_{9}\mathrm{F}$ هو 110 min فكم يبقى من محلول يحوي 10 g منه بعد 5 ساعات؟

18-6 أكمل معادلات الاندماج التالية:

$$^{2}_{1}\mathrm{H} + ^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow ? + n$$

$$^{3}_{1}\mathrm{H} + ^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow ? + n$$

19-6 تتحلل مادة مشعة فتفقد نصف ذراتها في 30.2 سنة. ماثابت تحللها؟ مانسبة ما يبقى منها بعد 120 سنة؟

20-6 أكمل معادلات التحلل التالية:

$$^{64}_{29}Cu \rightarrow {}^{64}_{30}Zn + K$$

$$^{190}_{78}Pt \rightarrow {}^{186}_{76}Os + K$$

$$^{123}_{52}Te^{*} \rightarrow {}^{123}_{52}Te + K$$

$$^{3}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + K$$

21-6 يسجل عداد جايجر 1600 إشعاع بالدقيقة صادر عن عينة مشعة. وبعد 12 ساعة يسجل 200 إشعاع بالدقيقة. مانصف عمر هذه العينة؟

22-6 يستخدم نظير الكربون $^{14}_{6}C$ لمعرفة عمر المستحاثات والعظام المتحجرة عندما يتحلل إلى الكربون الطبيعي $^{12}_{6}C$ (الفحم) بنصف عمر 5730 سنة. فإذا علمت أن قطعة عظم وجدت حديثاً تحوي 300 ذرة كربون $^{14}_{6}C$ و 4×10^{8} ذرة من $^{12}_{6}C$. كم عمر هذه القطعة؟

23-6 أكمل التفاعلات النووية التالية:

$$^{45}_{21}Sc + {}^{4}_{2}He \rightarrow K + {}^{1}_{1}H$$

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{28}_{13}Al + K$$

$$K + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{35}_{17}Cl + {}^{1}_{1}H$$

24-6 اكتب معادلة انشطار اليورانيو $^{235}_{92}U$ لكل من ريبيديوم $^{94}_{37}Rb$ والسيزيوم $^{139}_{55}Cs$.