الأكاديمية العربية الدولية

الأكاديمية العربية الدولية
Arab International Academy

الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

الوحدة الثالثة

الكهرومغناطيسية

كيف تفسر ظاهرة الشفق القطبي؟

الكهرومغناطيسية Electromagnetism

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرومغناطيسية في حل مسائل تتعلق بالمجال المغناطيسي والقوة المغناطيسية على شحنة متحركة في المجال المغناطيسي والحث الكهرومغناطيسي من خلال تحقيق الآتي:

١. حل مسائل في حساب المجال المغناطيسي والقوة المغناطيسية والحث الكهرومغناطيسي.

٢. توضيح بعض التطبيقات الكهرومغناطيسية في الحياة.

٣. تصميم مشروع لبناء نموذج لقطار مغناطيسي.

المجال المغناطيسي Magnetic Field

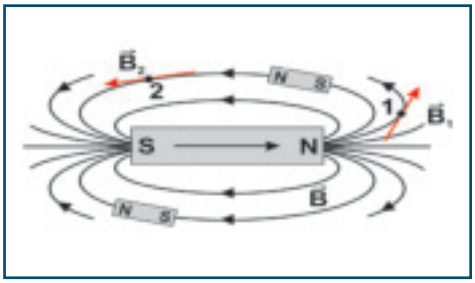
استمرت دراسة المجال المغناطيسي عدة سنوات ،مقتصرة على تأثيرات التجاذب والتنافر بين المغانط الطبيعية، إلى أن حصل اكتشاف العلاقة بين المغانط والكهرباء، على يد العالم أورستد في عام (1820 م)، وذلك حين لاحظ أن مرور التيار الكهربائي في سلك يؤدي إلى انحراف إبرة مغناطيسية موضوعة بالقرب منه. وتبعه علماء كثيرون مثل بيو وسافار وأمبير، أسهموا في تطوير علم المغناطيسية، وبناء القوانين والعلاقات الرياضية التي تحكم العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي، فما المقصود بالمجال المغناطيسي؟ وكيف تحسب شدة المجال المغناطيسي لسلك مستقيم طويل، ولملف دائري عند نقطة في مركزه، ولملف حلزوني عند نقطة على محوره عندما يمر في كل منها تيار كهربائي؟

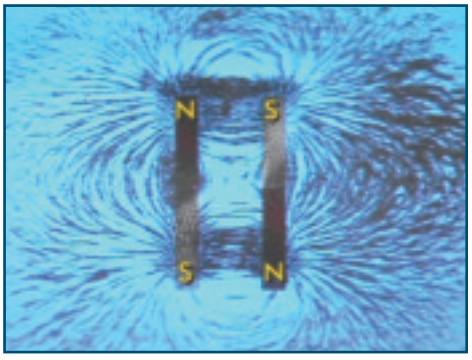
يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرومغناطيسية في حل مسائل تتعلق بالمجال المغناطيسي لسلك مستقيم لانهائي الطول والملف الدائري والملف الحلزوني من خلال تحقيق الآتي:

- توضيح المقصود بالمجال المغناطيسي وخصائصه.
- وصف المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي في: سلك مستقيم طويل، وملف دائري، وملف حلزوني.
- حل مسائل على المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي في: سلك مستقيم طويل، وملف دائري، وملف حلزوني.
- تفسير بعض التطبيقات للمجال المغناطيسي.

1-6 المجال المغناطيسي Magnetic Field

تعرفت سابقاً إلى المغناطيس، وبعض المواد التي يجذبها، والمجال المغناطيسي لمغناطيس مستقيم. ولعلك قمت يوماً بتخطيط المجال المغناطيسي لمغناطيس مستقيم مستخدماً برادة الحديد أو بوصلة، وتعرفت تلك الخطوط الوهمية التي تستخدم لوصف المجال المغناطيسي، وتسمى خطوط المجال المغناطيسي، كما في الشكل (6- 1).





الشكل (6- 1)

أناقش: بالاعتماد على الشكل (6- 1):

- أين تكون قوة جذب المغناطيس أكبر ما يمكن؟
- إذا عُلق المغناطيس تعليقاً حراً، إلى أين يتجه؟
- كيف تستدل على اتجاه خطوط قوى المجال المغناطيسي؟
- أين تكون كثافة خطوط المجال المغناطيسي كبيرة؟ وأين تصغر؟
- هل تتقاطع خطوط المجال المغناطيسي؟
- هل خطوط المجال المغناطيسي مقفلة؟

يُعد المجال المغناطيسي مجال قوى مثل المجال الكهربائي، مقداره في نقطة ما يساوي شدة المجال المغناطيسي في تلك النقطة، واتجاهه باتجاه القوة المؤثرة في القطب الشمالي المفرد (الافتراضي) عند وضعه في تلك النقطة.

وبما أن خط المجال المغناطيسي خط قوة له اتجاه، ويعبر عنه بالمسار الذي يتبعه القطب الشمالي الافتراضي المفرد حرّ الحركة تحت تأثير القوى المغناطيسية المؤثرة فيه عندما يوضع في المجال المغناطيسي.

المجال المغناطيسي: المنطقة المحيطة بالمغناطيس التي تظهر فيها آثار قوته المغناطيسية.

نلاحظ أن معظم خصائص خطوط المجال المغناطيسي تتشابه مع خصائص خطوط المجال الكهربائي، لكن خطوط المجال المغناطيسي مقفلة تخرج من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي خارج المغناطيس، وتكمل دورتها من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي داخل المغناطيس؛ وذلك لعدم وجود قطب مغناطيسي مفرد.

2-6 مصادر المجال المغناطيسي Sources of the Magnetic Field

ينشأ حول المغانط مجال مغناطيسي، ويؤثر في البوصلة عند وضعها في مجاله، فهل يوجد مصادر أخرى للمجال المغناطيسي؟

نشاط (6-1): تجربة أورستد

المواد والأدوات: سلك سميك، وبوصلة، وبطارية (1.5) فولت.

الشكل (6-2)

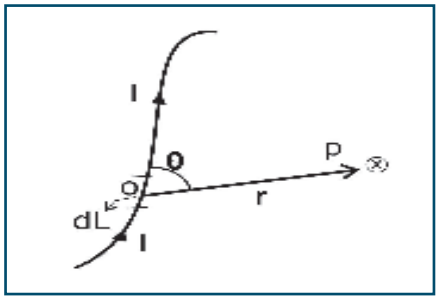
الخطوات:

- ضع البوصلة على سطح طاولة.
- صل طرفي السلك بقطبي البطارية، ثم قرب السلك من البوصلة، بحيث يكون السلك موازياً لاتجاه ابرة البوصلة، كما في الشكل (6-2)،ماذا تلاحظ؟
- اعكس اتجاه التيار في السلك، ثم قرب السلك من البوصلة مرة أخرى، ماذا تلاحظ؟
- كرر الخطوات السابقة بتقريب السلك من الجهة المقابلة، ماذا تلاحظ؟

كان لاكتشاف أورستد الدور البارز في تعرّف أهم مصادر المجال المغناطيسي وهو التيار الكهربائي؛ إذ إن مرور تيار كهربائي في موصل يولد حوله مجالاً مغناطيسياً، وبذلك اكتشفت العلاقة بين المغناطيسية والكهرباء؛ مما أدى إلى ظهور علم الكهرومغناطيسية.

قانون بيو وسافار

بعد اكتشاف أورستد، تم تطوير القوانين والعلاقات الرياضية التي تحكم العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي. وكان بيو وسافار من أبرز العلماء الذين عملوا في هذا المجال، حيث قاما بإجراء تجارب عملية للتوصل إلى علاقة لحساب شدة المجال المغناطيسي الناشئ في نقاط عدة نتيجة مرور تيار كهربائي في أسلاك موصلة مختلفة الأشكال، فوجدا أنه إذا تم تقسيم موصل يسري فيه تيار كهربائي ثابت (I) إلى أقسام صغيرة طول كل منها (ΔL) عند نقطة تبعد عن الموصل مسافة (r) كما في الشكل (6-3)، فإن شدة المجال المغناطيسي (ΔB) الناشئ بوحدة تسلا (T):



الشكل (6-3)

- يتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار في الموصل.
- يتناسب عكسياً مع مربع الإزاحة أو البعد (r)، حيث (r): الإزاحة من العنصر (ΔL) إلى النقطة.
- يتناسب طردياً مع $\sin\theta$، حيث (θ): الزاوية المحصورة بين اتجاه (ΔL) واتجاه (r).
- يعتمد على نوع مادة الوسط الموجود فيه الموصل.
- يكون المتجه (ΔB) عمودياً على كل من (ΔL) و(r).

ومن الممكن التعبير عن شدة المجال (ΔB) الناتج عن الجزء (ΔL) بطريقة رياضية: $\Delta B = \frac{\mu_0 I \Delta L \sin\theta}{4\pi r^2}$

وتتغير نفاذية الوسط (μ) بتغيّر نوعيته، وفي حالة الفراغ تسمى ثابت النفاذية المغناطيسية للفراغ

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ T.m/A$.

أما لحساب شدة المجال المغناطيسي الكلية عند نقطة (P) والناتجة عن جميع أجزاء الموصل، فإن المجال المغناطيسي الكلي في الهواء أو الفراغ يساوي:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum \frac{I \Delta L \sin\theta}{r^2} \qquad (6\text{-}1)$$

ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي المتولّد حول الموصل، نستخدم قاعدة اليد اليمنى .

3-6 المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار كهربائي في سلك طويل مستقيم

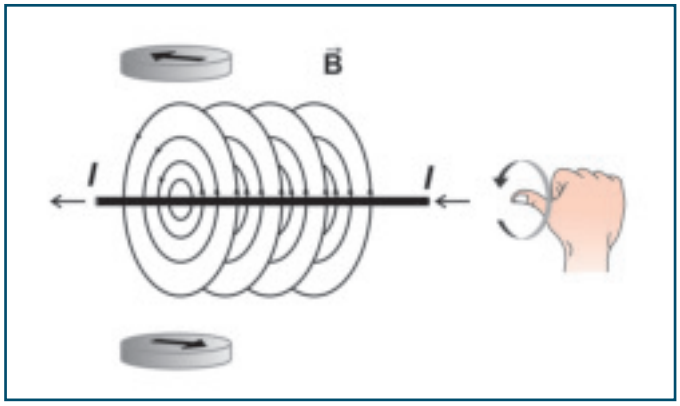
لقد أثبتت التجارب العملية أنه يحيط بالسلك المستقيم الذي يمر فيه تيار كهربائي مجال مغناطيسي، وتكون خطوط المجال حول السلك على شكل دوائر متحدة المركز ومركزها محور السلك ومستواها عمودي على السلك، وأن كل نقطة في السلك يمكن اعتبارها مركزاً لخطوط المجال كما هو مبين في الشكل المجاور (6- 4). ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي المتولد حول موصل يسري فيه تيار كهربائي، نستخدم قاعدة اليد اليمنى كالتالي: تخيل أنك تمسك السلك بيدك اليمنى، بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار، فيكون انحناء الأصابع مشيراً إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي حول السلك، كما هو مبين في الشكل (6- 5).

الشكل (6-4)

دلت التجارب العملية أن شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار في سلك طويل مستقيم يسري فيه تيار كهربائي I عند نقطة تبعد مسافة r عن السلك تتناسب طردياً مع شدة التيار وعكسياً مع بُعد النقطة عن السلك.

أي أن: $B \propto \frac{I}{r}$ وهذه العلاقة صحيحة، كلما كان بُعد النقطة عن السلك صغيراً جداً بالنسبة لطول السلك. وفي هذه الحالة يكون ثابت التناسب ($\frac{\mu_0}{2\pi}$)، أي أن:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad (6\text{-}2)$$



الشكل (6-5)

حيث:

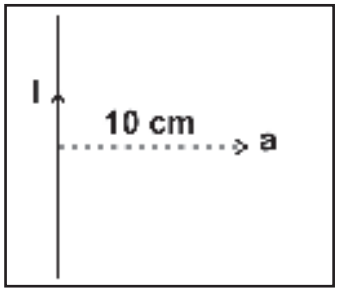
I: شدة التيار الكهربائي المار في السلك وتقاس بوحدة الأمبير.

r: المسافة العمودية بين النقطة المراد إيجاد شدة المجال المغناطيسي فيها والسلك، وتقاس بوحدة المتر.

هذا ويُمكن استخدام هذه العلاقة على سلك مستقيم وطويل، أو في حالة كون بُعد النقطة عن السلك صغيراً جداً بالنسبة لطول السلك.

يرمز للسلك المتعامد مع سطح الورقة إذا كان اتجاه التيار فيه نحو الناظر بالرمز ⊙، ويرمز له بالرمز ⊗ إذا كان اتجاه التيار فيه بعيدا عن الناظر.

مثال (1):

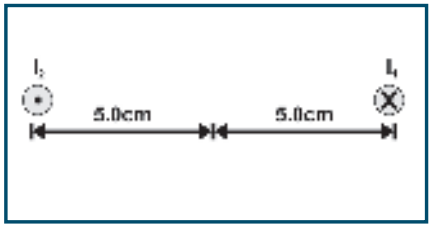


الشكل المجاور يبين سلكاً مستقيماً يسري فيه تيار كهربائي شدته (25 A). أوجد شدة المجال المغناطيسي في النقطة (a) التي تبعد عن السلك (10 cm).

الحل:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

$$B = \frac{4\pi x10^{-7}\ x25}{2\ \pi x0.1} = 5\ x\ 10^{-5}\ T$$ للداخل



سؤال: سلكان مستقيمان طويلان جدا ومتوازيان وضعا عموديين على مستوى الصفحة، وعلى بُعد (10 cm) من بعضهما، فإذا مر بهما تياران $I_1 = 2\ A$ ، $I_2 = 5\ A$، احسب شدة المجال المغناطيسي الناشئ عنهما عند منتصف المسافة بينهما.

4-6 المجال المغناطيسي لملف دائري يسري فيه تيار كهربائي

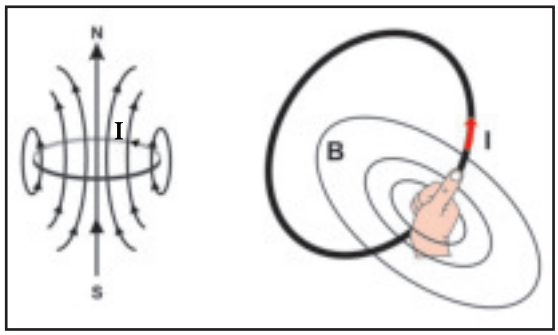
تعرفت في البند السابق المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في سلك مستقيم طويل جداً، فهل تتغير صفات المجال المغناطيسي بتغير شكل الموصل الذي يمر فيه التيار؟ وهل تتغير قيمة المجال المغناطيسي الناشئة عنه عند أية نقطة بالقرب منه؟ للإجابة عن هذه الأسئلة، قم بثني سلك مستقيم، واصنع منه ملفاً دائرياً، ثم قم بتخطيط المجال المغناطيسي له في النشاط الآتي:

نشاط (6-2): تخطيط المجال المغناطيسي لملف دائري

المواد والأدوات: ملف دائري، وبطارية 3 V، وبوصلة، وزيت نباتي، وقطع صغيرة من أسلاك رفيعة جداً (ليف الجلي السلكية، أو برادة حديد ناعمة)، ووعاء بلاستيكي (مرطبان أو كأس بلاستيكي).

الخطوات:

- صل طرفي الملف بقطبي البطارية، وأدخل بوصلة مثبتة على مسطرة بلاستيكية، حرك البوصلة في مواقع عدة داخل الملف وخارجه، ماذا تلاحظ؟
- اعكس قطبي البطارية، ثم كرر الخطوة السابقة، ماذا تستنتج؟
- ضع المرطبان داخل الملف الدائري بشكل أفقي، ثم أضف كمية مناسبة من الزيت النباتي في المرطبان أو الكأس.
- أضف كمية من برادة الحديد، حرك المرطبان، ثم أغلق الدارة. سجل نتائجك.



الشكل (6-6)

كيف تحدد اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي في ملف دائري من السلك عند مركز الملف؟

لعلك لاحظت أن انحناء خطوط المجال المغناطيسي يقل بالاقتراب من مركز الملف، حيث تكون مستقيمة بالقرب من مركز الملف. ماذا تستدل؟ ولتحديد اتجاه المجال المغناطيسي في مركز الملف الدائري نتبع قاعدة اليد اليمنى والإبهام وهي:

(إذا جعلنا إبهام اليد اليمنى يشير لاتجاه التيار في الملف، فإن اتجاه حركة أصابع اليد تشير لاتجاه المجال في المركز)، لاحظ الشكل (6-6).

والآن، كيف نحسب مقدار شدة المجال المغناطيسي في مركز الملف الدائري الشكل (6-7).؟

بما أن المجال المغناطيسي في مركز الملف منتظم، فإنه يمكن استخدام قانون بيو وسافار لإيجاد مقدار شدة المجال المغناطيسي عند نقطة في مركزه، أي أن:

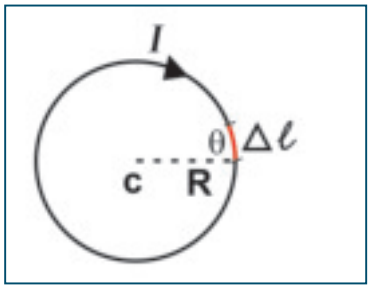
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\sum\frac{I\Delta L\sin\theta}{r^2}$$

بما أن $\theta = 90°$، وعلى فرض أن الملف يحوي (N) لفة، ومتوسط نصف قطره ($R = r$)، فإن طول الملف ($\sum\Delta L$) يساوي عدد لفاته × محيط اللفة الواحدة؛ أي أن:

$$\sum\Delta L = N \times 2\pi R$$

فإن:

$$B = \frac{\mu_0\, IN \times 2\,\pi\, R \sin 90°}{4\,\pi R^2}$$



الشكل (6-7)

$$B = \frac{\mu_0\, IN}{2R} \qquad (6\text{-}3)$$

مثال (2):

ملف دائري عدد لفاته (250) لفة، ونصف قطره 3.14 cm، موضوع في مستوى الصفحة. احسب مقدار واتجاه شدة المجال المغناطيسي في مركزه، إذا كان يسري فيه تيار كهربائي شدته (2 A) مع اتجاه دوران عقارب الساعة.

الحل:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2R}$$

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 250}{2 \times 3.14 \times 10^{-2}} = 1 \times 10^{-2} \text{ T للداخل}$$

مثال (3):

ملفان دائريان متحدان في المركز، وعدد لفات كل منهما (100) لفة، وموضوعان في مستوى الصفحة. الأول نصف قطره 7 cm، والثاني نصف قطره 2 cm. إذا كان مقدار شدة التيار في الملف الأول 5 A باتجاه عقارب الساعة، أوجد مقدار شدة التيار واتجاهه في الملف الثاني اللازمة لإنتاج المجالات المغناطيسية التالية عند المركز المشترك:

A) 9×10^{-3} T للداخل　　B) 2×10^{-3} T للداخل　　C) صفر

الحل:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I N}{2R}$$

$$B_1 = \frac{4\pi \text{ X } 10^{-7} \times 5 \times 100}{2 \times 7 \times 10^{-2}} = 4.5 \times 10^{-3} \text{ T للداخل}$$

A) بما أن B_1 أقل من 9×10^{-3} T، فإن B_2 بنفس اتجاه B_1، أي أن:

$$B_2 = 9 \times 10^{-3} - 4.5 \times 10^{-3} = 4.5 \times 10^{-3} T$$

$$4.5 \times 10^{-3} = 3.14 \times 10^{-3} I_2$$

$$I_2 = 1.43 \text{ A مع عقارب الساعة}$$

B) بما أن B_1 أكبر من 2×10^{-3} T، فإن B_2 بعكس اتجاه B_1. أي أن:

$$2 \times 10^{-3} = 4.5 \times 10^{-3} - B_2$$

$$B_2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$2.5 \times 10^{-3} \text{ T} = 3.14 \times 10^{-3} I_2 \rightarrow I_2 = 0.8 \text{ A عكس عقارب الساعة}$$

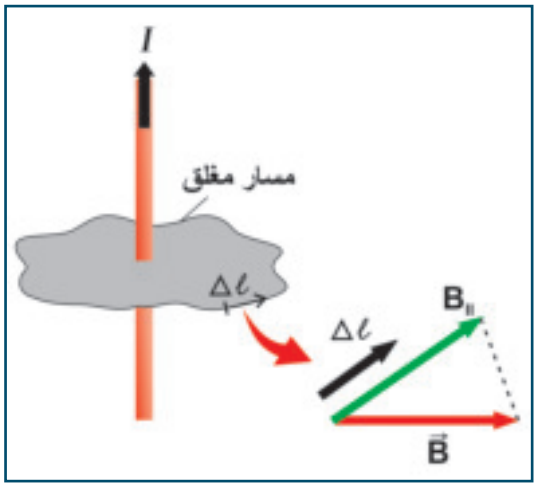
C) بما أن $B = 0$ فإن $B_2 = B_1$ مقداراً ويعاكسه اتجاهاً

$I_2 = 1.43\ A$ عكس عقارب الساعة

$4.5 \times 10^{-3} = 3.14 \times 10^{-3}\ I_2$

5-6 قانون أمبير Ampere's Law

لقد تعرفت إلى العلاقة بين شدة التيار الكهربائي المار في سلك مستقيم طويل، وشدة المجال المغناطيسي حوله. ولكن، هل يمكن إيجاد شدة المجال المغناطيسي عند نقطة حول مجموعة أسلاك تسري فيها تيارات كهربائية مختلفة؟



الشكل (6-8)

لقد وضع العالم أمبير علاقة لحساب شدة المجال المغناطيسي حول سلك أو مجموعة من الأسلاك. حيث افترض وجود مسار مغلق حول سلك يسري فيه تيار كما في الشكل (6-8)، ثم جزأ المسار إلى أجزاء صغيرة (ΔL)، بحيث يمكن اعتبار شدة المجال المغناطيسي ثابتة فوق ذلك الجزء، وبضرب طول كل جزء من هذه الأجزاء في مركّبة شدة المجال في اتجاه ذلك الجزء، فيكون مجموع هذه الكميات مساوياً ثابتاً μ_0 مضروباً في مجموع التيارات التي تخترق المسار المغلق. وتُعرف هذه النتيجة بقانون أمبير، الذي ينص على أنه (لأي مسار مغلق يكون مجموع حاصل الضرب النقطي لشدة المجال المغناطيسي مع طول ذلك الجزء في المسار المغلق يساوي المجموع الجبري للتيارات التي تخترق المسار المغلق، مضروباً في ثابت النفاذية المغناطيسية للفراغ μ_0) ، أي أن:

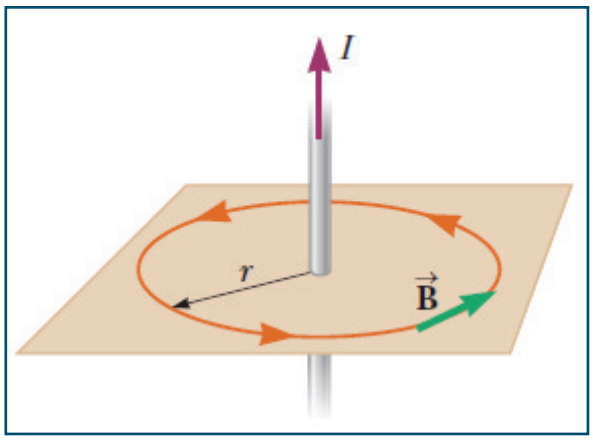
$$\sum \mathbf{B}.\Delta \mathbf{L} = \mu_0 \sum I \qquad (6\text{-}4)$$

حيث:

ΔL: جزء صغير من طول المسار المغلق.

B: شدة المجال المغناطيسي

$\sum I$: المجموع الجبري للتيارات التي تخترق المسار المغلق.

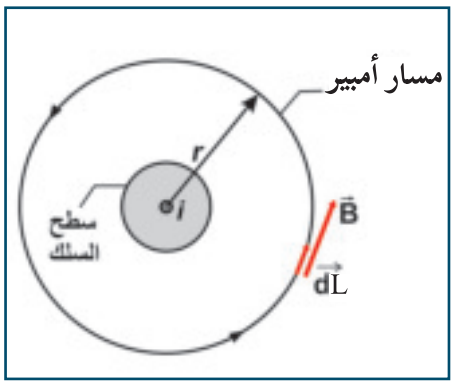


الشكل (6-9)

يستخدم قانون أمبير في حساب المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيارات كهربائية في موصلات ذات تماثل هندسي، بحيث يكون المجال المغناطيسي في كل نقطة من نقاط المسار معلوماً.

ويمكن تطبيق قانون أمبير لحساب شدة المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم لا نهائي عند نقطة تبعد عنه مسافة (r). وبما أن خطوط قوى المجال المغناطيسي حول السلك هي عبارة عن دوائر متحدة في المركز مع محور السلك، فإن اتجاه شدة المجال المغناطيسي باتجاه المماس لخطوط المجال عند أية نقطة حول السلك. كما هو مبين في الشكل (6- 9)

$$\sum B.\Delta L = \mu_0 \sum I$$



الشكل (6-10)

وبما أن B ثابت على طول المسار، واتجاهه باتجاه المماس لخط المجال، كما في الشكل(6- 10) فإن θ بينهما تساوي صفراً:

$$\sum B\,\Delta L\cos\theta = \mu_0 \sum I$$

$$B \times 2\pi r = \mu_0 I$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

مثال (4):

إذا جُمعت خمسة أسلاك طويلة ومعزولة لتكوين « كيبل» رفيع، وكانت شدة التيارات التي تحملها هي (18 A , -9 A , 12 A , -6 A , 20 A) فما مقدار شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد مسافة 10 cm عن مركز الكيبل؟

الحل: _____

بتطبيق قانون أمبير: حيث أن B و ΔL بنفس الإتجاه في مسار دائري نصف قطره r فإن:

$$\sum B.\Delta L = \mu_0 \sum I$$

$$B \times 2\,\pi r = 4\pi \times 10^{-7}\,(20 + -6 + 12 - 9 + 18)$$

$$B \times 2\,\pi \times 10 \times 10^{-2} = 4\pi \times 10^{-7}\,(35)$$

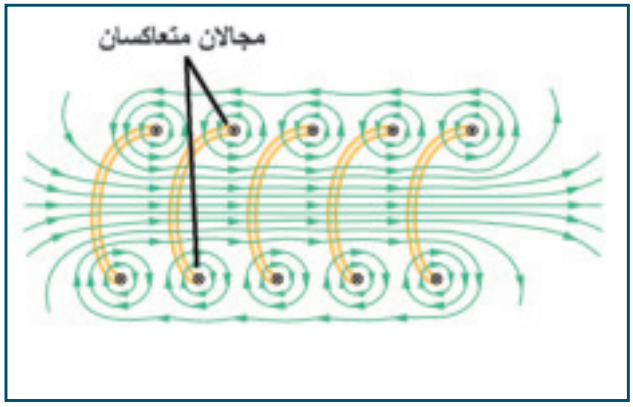
$$B = 7 \times 10^{-5}\ T$$

6-6 المجال المغناطيسي لملف حلزوني يسري فيه تيار كهربائي

Magnetic Field of Solenoid

هل تتغيّر صفات المجال المغناطيسي إذا تغيّر شكل الملف الدائري ليصبح حلزونياً؟

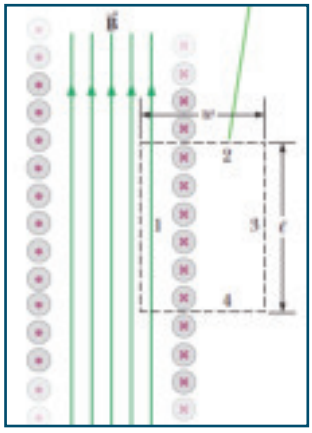
للإجابة عن ذلك كرر نشاط الملف الدائري (6- 2) مستخدماً ملفاً حلزونياً بدلاً من الملف الدائري، ولاحظ نمط خطوط المجال المغناطيسي، انظر الشكل (6-11).



الشكل (6-11)

أناقش:

- وازن بين المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني وخارجه من حيث المقدار والاتجاه.
- على ماذا يدل توازي خطوط المجال داخل الملف الحلزوني؟
- ما شكل خطوط المجال المغناطيسي خارج اللفات؟
- هل يمكن اعتبار المجال المغناطيسي للملف الحلزوني محصلة لمجالات اللفات؟
- ماذا تتوقع أن يحدث للمجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني إذا زاد عدد اللفات؟ فسّر.
- هل تلاحظ تشابه نمطي خطوط المجال المغناطيسي للملف الحلزوني والمغناطيس المستقيم؟



الشكل (6-12)

لعلك توصلت إلى أن خطوط المجال المغناطيسي خارج الملف الحلزوني تكون على شكل دوائر مركزها السلك، وتتجمع داخله على شكل خطوط متوازية على امتداد محوره لتعطي مجالاً منتظماً تقريباً. وإذا قربت اللفات لتصبح متراصة يصبح المجال منتظماً أكثر، ويكون مقدار المجال خارج الملف صغيرا مقارنةً مع قيمته داخله، وعند الأطراف تبدأ الخطوط بالانتشار في المنطقة الواقعة خارج الملف، فيقل مقدار المجال الناتج عنها عند الطرفين.

ولحساب المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني، نستخدم قانون أمبير. نختار مساراً مغلقاً مستطيل الشكل، كما في الشكل (6-12). وبتطبيق قانون أمبير على المسارات الأربعة، نجد أن: $\sum B.\Delta L = \mu_0 \sum I$

$$B\,L = \mu_0 \sum I$$

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L}$$

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L} = \mu_0 nI \qquad (6\text{-}5)$$

حيث n = عدد اللفات في وحدة الأطوال وتساوي: $n = N / L$

ابحث في دور التصوير بالرنين المغناطيسي في المجالات الطبية.

مثال (5):

ملف حلزوني عدد لفاته (2000) لفة، وطوله 60 cm، ويحمل تياراً كهربائياً شدته 3 A. احسب شدة المجال المغناطيسي داخل الملف على امتداد محوره.

الحل: _____

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L}$$

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 3 \times 2000}{0.6} = 4\pi \times 10^{-3}\ T$$

مثال (6):

لُف سلك من النحاس طوله 440 cm على شكل ملف حلزوني قطره 14 cm وطوله 55 cm. احسب شدة المجال المغناطيسي عند نقطة على محوره عندما يمر فيه تيار شدته 1.4 A

الحل: _____

$$L = N\ (2\pi\ r)$$

$$L = N \times 2 \times 3.14 \times 7 = 440$$

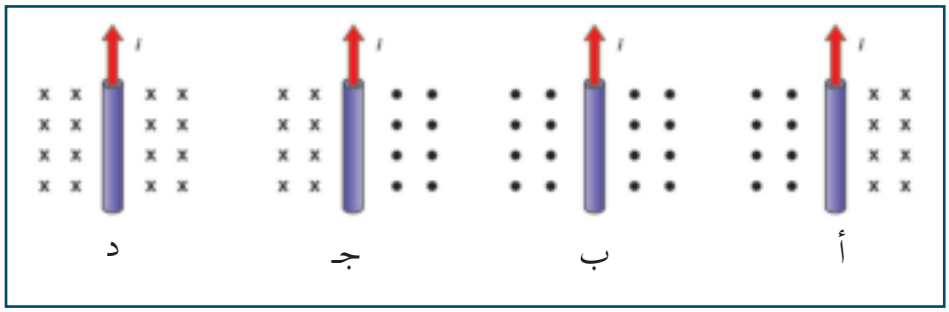
$$N = 10$$

$$B = \frac{\mu_0 I N}{L} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.4 \times 10}{0.55} = 3.2 \times 10^{-5}\ T$$

أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

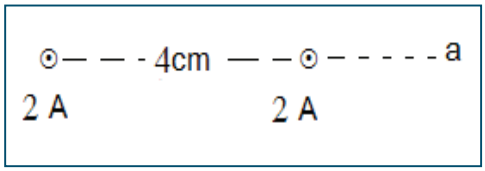
1. أي من الأشكال الآتية يمثل المجال المغناطيسي لسلك مستقيم طويل يسري فيه تيار كهربائي شدته (I)؟



2. إذا كانت شدة المجال المغناطيسي في ملف حلزوني عندما يمر به تيار كهربائي مستمر عند نقطة ما على محوره تساوي (B) تسلا. فإذا أُنقص عدد لفاته إلى الربع دون تغيير طوله، فما مقدار شدة المجال المغناطيسي عند نقطة ما على محوره؟

أ- 4 B ب- 2 B جـ- 0.5 B د- 0.25 B

3. يبين الشكل المجاور سلكين لا نهائيين يسري في كل منهما تيار كهربائي شدته (2 A) نحو الناظر، والمسافة بينهما (4 cm) في الهواء. ما مقدار شدة المجال المغناطيسي في النقطة (a) التي تبعد عن الأول (4 cm) بوحدة تسلا؟



أ- 1×10^{-5} ب- 1.5×10^{-5} جـ- 2×10^{-5} د- 5×10^{-5}

4. أي الأتية تسبب نقصان شدة المجال المغناطيسي داخل ملف حلزوني يمر فيه تيار كهربائي مع ثبوت باقي العوامل؟

أ- زيادة طول الملف ب- زيادة عدد لفات الملف

جـ- إنقاص طول الملف د- زيادة شدة التيار المار في الملف

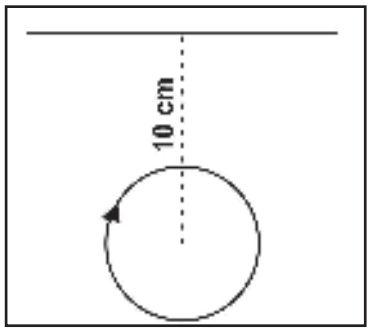
5. سلك معدني طوله (L) متر على شكل حلقة معدنية بلفة واحدة، ومر فيها تيار كهربائي شدته (I) أمبير، فكانت شدة المجال المغناطيسي في مركزها (B). إذا لُف نفس السلك لتكوين ملف دائري عدد لفاته لفتان، ومر فيه نفس شدة التيار الكهربائي، فما شدة المجال المغناطيسي المتولدة في مركزه؟

أ- 2B ب- B جـ- 4B د- 0.5B

6. إن وحدة ثابت النفاذية المغناطيسية μ يساوي

أ- $A.T/m$ ب- $T.m.s/C$ جـ- $T.m.A$ د- $T.C.s/m$

7. في الشكل المجاور وضعت حلقة دائرية في مستوى الصفحة نصف قطرها (π cm) ويسري بها تيار شدته (3 A)، فما مقدار واتجاه شدة التيار في السلك اللانهائي الطول الذي يبعد عن مركز الحلقة (10 cm) حتى ينعدم المجال المغناطيسي في مركز الحلقة؟



أ- 15 أمبيراً نحو الناظر ب- 30 أمبيراً نحو الناظر

جـ- 30 أمبيراً نحو (س سالب) د- 15 أمبيراً (س سالب)

س2: أ- عرف ما يأتي: المجال المغناطيسي، وكثافة خطوط المجال المغناطيسي، وقانون أمبير.

ب- علل ما يأتي:

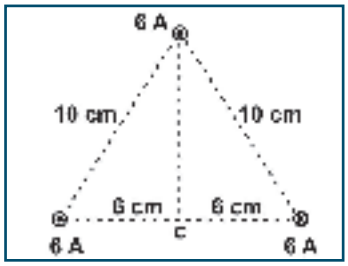
1- خطوط المجال المغناطيسي مقفلة.

2- خطوط المجال المغناطيسي لا تتقاطع.

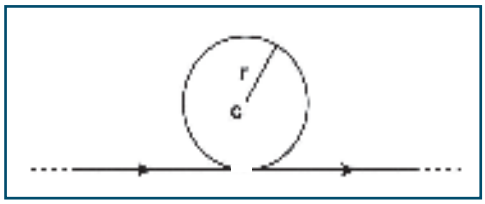
3- تتقارب خطوط المجال المغناطيسي بالقرب من مركز السلك وتتباعد كلما ابتعدنا عنه.

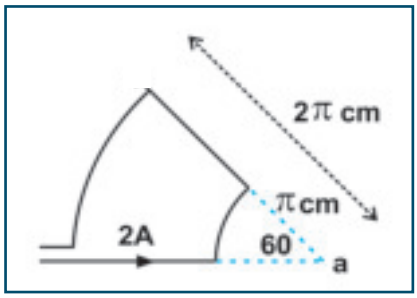
4- شدة المجال المغناطيسي خارج الملف الحلزوني الذي طوله أكبر بكثير من نصف قطره تقترب من الصفر.

س3: احسب مقدار واتجاه شدة المجال المغناطيسي في النقطة (c)

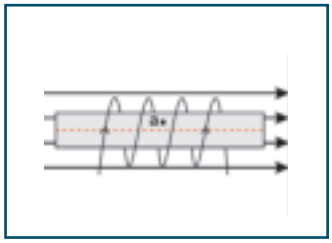


س4: في الشكل المجاور، سلك مستقيم لا نهائي، جُعل جزء منه على شكل عروة دائرية نصف قطرها (5cm)، ومركزها (c)، ويحمل تياراً كهربائياً شدته (10A). أوجد شدة المجال المغناطيسي في مركز العروة (c) مقداراً واتجاهاً.



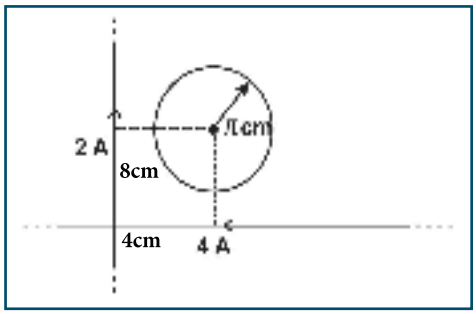


س5: اعتمادا على المعلومات المثبتة على الشكل المجاور. احسب المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة a.



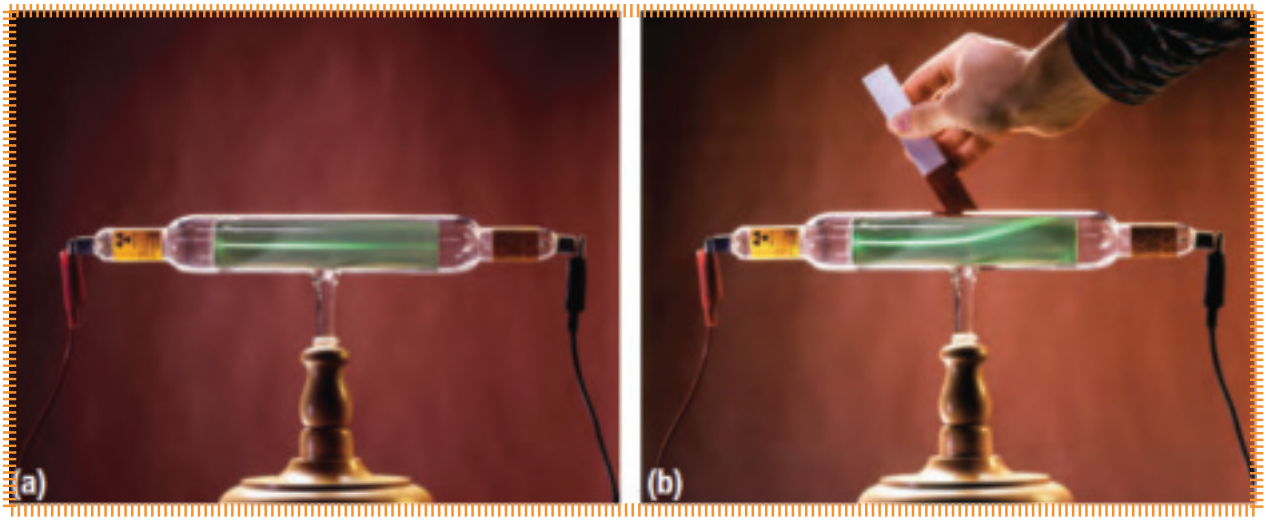
س6: الشكل المجاور يمثل ملفاً حلزونياً عدد لفاته 7 لفات وطوله (3 cm) يمر فيه تيار كهربائي شدته (2 A)، واتجاه التيار فيه مع عقارب الساعة عند النظر إليه من اليمين، غمر في مجال مغناطيسي شدته (3×10^{-4} T) نحو اليمين. احسب محصلة المجال المغناطيسي عند أية نقطة داخل الملف الحلزوني.

س7: سلك موصل طوله (50 πm) شُكّل بحيث يصنع منه ملف دائري نصف قطره (R) وعدد لفات (N)، مُرّر به تيار شدته (5 A) فتولد في مركزه مجال مغناطيسي شدته ($2\pi \times 10^{-3}$ T)، احسب نصف قطر ذلك الملف وعدد لفاته.



س8: يبين الشكل سلكين مستقيمين لا نهائيين، يحمل الأول تيارا كهربائيا شدته (2 A) نحو محور الصادات الموجب، والثاني (4 A) نحو السينات السالب، وضعت حلقة دائرية في مستوى السلكين نصف قطرها (π cm)، ويقع مركزها في النقطة (4 cm , 8 cm)، أوجد مقدار واتجاه شدة التيار المار بالحلقة لتصبح شدة المجال المغناطيسي في مركز الملف (10^{-5} T) باتجاه الناظر.

القوة المغناطيسية Magnetic Force



(a) **تسير الإلكترونات في خط مستقيم في قناة المهبط.**

(b) **عند تقريب مغناطيس من الالكترونات في المهبط فإنها تنحرف عن مسارها.**

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرومغناطيسية في حل مسائل تتعلق بالقوة المغناطيسية على شحنة متحركة في المجال المغناطيسي والقوة المتبادلة بين سلكين يحملان تياراً كهربائياً وتفسير بعض التطبيقات على المغناطيسية من خلال تحقيق الآتي:

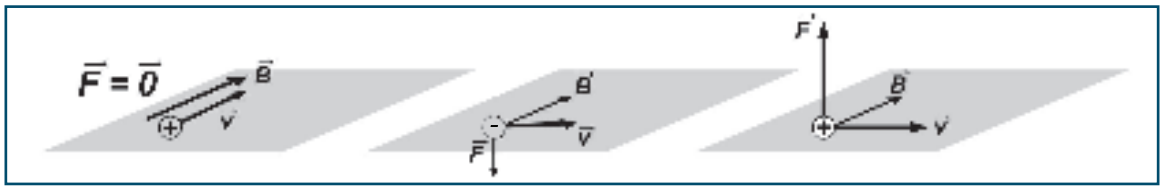
- التعرف إلى القوة المغناطيسية على كل من: شحنة متحركة وموصل يحمل تياراً كهربائياً.
- يحل مسائل على حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم.
- يحسب القوة المتبادلة بين سلكين طويلين يحملان تياراً كهربائياً.
- تفسير مبدأ عمل كل من السيكلترون ومنتقي السرعات.

1-7 القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية متحركة Mag.Force on Moving Charge

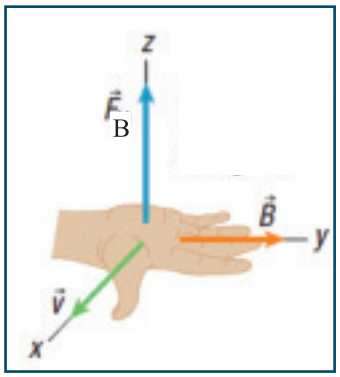
عرفت سابقاً أن المجال الكهربائي يؤثر بقوة كهربائية في الشحنات الساكنة، وكذلك في الشحنات المتحركة بغض النظر عن اتجاه حركتها، وأن اتجاه القوة يكون بموازاة المجال الكهربائي. وقد دلت التجارب العملية على أن المجال المغناطيسي لا يؤثر بقوة مغناطيسية في الجسيمات المشحونة الساكنة، وعندما تتحرك هذه الجسيمات فيه، فإنها تتأثر بقوة من المجال المغناطيسي، وهذه القوة تتناسب طردياً مع كل من مقدار الشحنة q، وشدة المجال المغناطيسيB، ومركبة السرعة باتجاه شدة المجال (v sinθ)، حيث (θ): الزاوية بين السرعة واتجاه المجال المغناطيسي، أي أن القوة المغناطيسية ناتجة عن عملية الضرب الاتجاهي لمتجهي السرعة وشدة المجال المغناطيسي في الشحنة. أي أن:

$$\mathbf{F} = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} \qquad (7\text{-}1)$$

$$F = q\,v\,B\sin\theta$$



الشكل (7-1)



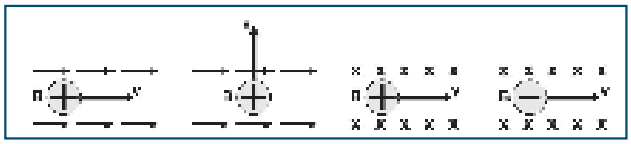
الشكل (7-2)

أما اتجاه القوة فيكون عمودياً دائماً على المستوى الذي يحوي كلاً من (v) و(B) كما في الشكل (7-1). ويحدد باستخدام قاعدة اليد اليمنى المفتوحة للشحنة الموجبة على النحو الآتي: ابسط يدك بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه السرعة وأصابع اليد إلى اتجاه المجال المغناطيسي (B)، فيكون اتجاه القوة المغناطيسية (F) عمودياً على راحة اليد إلى الخارج، انظر الشكل (7-2). وللشحنة السالبة نستخدم اليد اليسرى المفتوحة.

ومن المعادلة (7-1)، تلاحظ أن وحدة قياس شدة المجال المغناطيسي هي: N . s/C.m، وتعرف هذه الوحدة باسم (تسلا)، ويرمز لها بالرمز T.

التسلا: شدة المجال المغناطيسي الذي يؤثر بقوة مقدارها 1N في شحنة مقدارها 1C، تتحرك بسرعة 1 m/s، باتجاه يتعامد مع اتجاه المجال المغناطيسي.

أناقش:

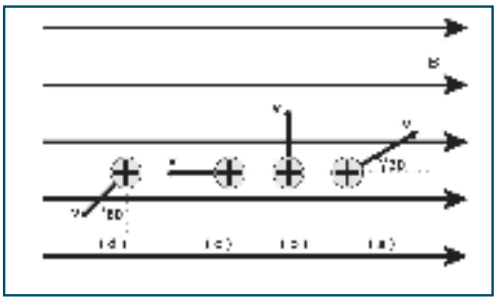


الشكل (7-3)

- حدد اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنات المبينة في الشكل (7- 3).
- هل يؤثر المجال المغناطيسي في بروتون ساكن؟
- هل يؤثر المجال المغناطيسي في نيوترون متحرك؟
- دخل جسيم مشحون مجالاً مغناطيسياً منتظماً ولم يتأثر بقوة مغناطيسية. فسر ذلك؟

مثال (1):

يتحرك جسيم شحنته ($8.4\mu C$) بسرعة مقدارها 100 m/s، في مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.3 T باتجاه محور السينات الموجب. احسب مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة واتجاهها في الحالات (a، b، c، d) المبينة في الشكل (7- 4).



الشكل (7-4)

الحل:

$F = q\ v\ B \sin\theta$

بعيداً عن الناظر

$F_a = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 30 = 1.26 \times 10^{-4} N$

بعيداً عن الناظر

$F_b = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 90 = 2.52 \times 10^{-4} N$

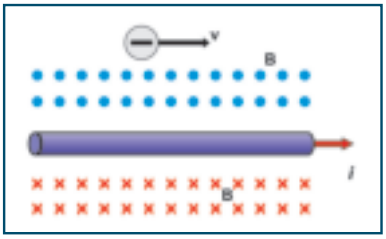
$F_c = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 180 = 0$

نحو الناظر

$F_d = 8.4 \times 10^{-6} \times 100 \times 0.3 \times \sin 150 = 1.26 \times 10^{-4} N$

مثال (2):

يبين الشكل (7-5) سلكاً مستقيماً طويلاً يسري فيه تيار كهربائي شدته (10 A). احسب القوة المؤثرة في إلكترون يتحرك بسرعة (1×10^6 m/s) باتجاه موازٍ للسلك نحو محور السينات الموجب على بعد 1 cm منه.



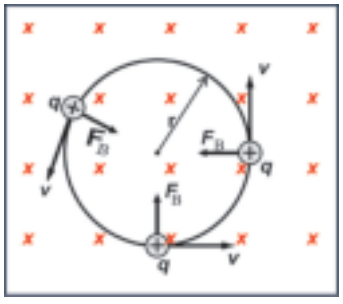
الشكل (7-5)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.01} = 2.0 \times 10^{-4}\ T$$

$$F = qvB\sin\theta = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 \times 2 \times 10^{-4} = 3.2 \times 10^{-17} N\ (y+)$$

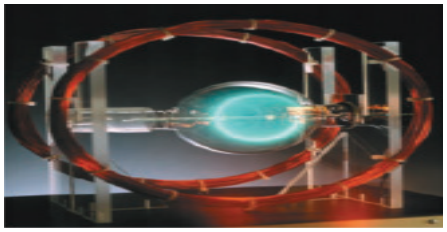
7-2 حركة جسيم مشحون في مجال مغناطيسي منتظم

لقد تعرفت في البند السابق، أن القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة تتحرك في مجال مغناطيسي تكون دائماً عمودية على سرعتها، فهل تكتسب الشحنة تسارعاً بفعل هذه القوة؟ للإجابة عن هذا السؤال، افترض أن مجالاً مغناطيسياً منتظماً عمودياً على الصفحة بعيداً عن الناظر يؤثر في جسيم مشحون كما في الشكل (7-6).



الشكل (7-6)

بما أن القوة المغناطيسية تعامد اتجاه السرعة، فإن الجسيم المشحون يكتسب تسارعاً ثابتاً في المقدار وعمودياً دائماً على السرعة. وهذا يؤدي إلى تغيّر مستمر في اتجاه السرعة دون تغيّر في مقدارها. وبالتالي، يسلك الجسيم المشحون مساراً دائرياً عند دخوله المجال المغناطيسي. وحركة الجسيم المشحون في مسار دائري لا تتم إلا بتأثير قوة مركزية F_B، وهي هنا القوة المغناطيسية. وبتطبيق قانون نيوتن الثاني، فإن:



$$F_c = F_B = m\, a_c$$

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB} \qquad (7\text{-}2)$$

حيث:

(r): نصف قطر المسار الدائري للجسيم المشحون المتحرك داخل المجال.

(m): كتلة الجسيم المشحون.

(B): مقدار شدة المجال المغناطيسي المنتظم.

(q): مقدار شحنة الجسيم.

ولإيجاد الزمن اللازم للجسيم المشحون حتى يتم دورة كاملة، نستخدم العلاقة:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi mv}{qBv}$$

$$T = \frac{2\pi m}{qB} \qquad (7\text{-}3)$$

وأما تردد الجسيم المشحون فهو:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} \qquad (7\text{-}4)$$

وأما التردد الزاوي (ω) للجسيم المشحون في مداره فهو:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi\ qB}{2\pi m}$$

$$\omega = \frac{qB}{m} \qquad (7\text{-}5)$$

أناقش:

- ما الشغل المبذول من القوة المغناطيسية على الجسيم المشحون؟
- هل تتغير طاقته الحركية؟ ولماذا؟
- هل يتغير زخمه الخطي؟ ولماذا؟
- بين ما يحدث للزمن الدوري عند مضاعفة سرعة الجسيم المشحون؟

مثال (3):

جسيم مشحون بشحنة مقدارها (3.2×10^{-19} C)، وكتلته (4×10^{-28} kg)، يدور بسرعة ثابتة مقدارها (10^7m/s) في مسار دائري متعامد مع مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.1T). احسب:

1. القوة المغناطيسية المؤثرة في الجسيم.
2. نصف قطر المسار الدائري للجسيم.
3. تردد حركة الجسيم.
4. الزمن الدوري.

الحل:

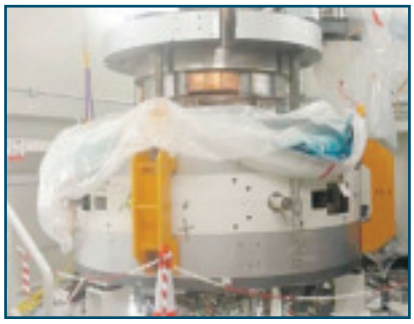
1) $F = qv\,B\sin\theta = 3.2 \times 10^{-19} \times 10^7 \times 0.1 \times \sin 90 = 3.2 \times 10^{-13}$N

2) $r = \frac{m\,v}{qB} = \frac{4 \times 10^{-28} \times 10^7}{3.2 \times 10^{-19} \times 0.1} = 0.125$ m

3) $f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} = \frac{3.2 \times 10^{-19} \times 0.1}{2 \times 3.14 \times 4 \times 10^{-28}} = 1.27 \times 10^7$ Hz

4) $T = \frac{1}{f} = 7.87 \times 10^{-8}$ s

3-7 السيكلترون

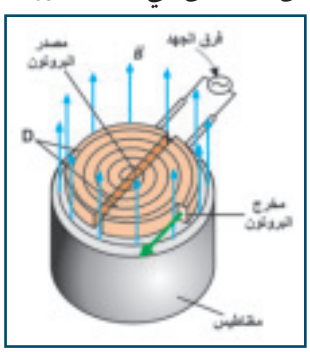


يستخدم السيكلترون لتسريع الجسيمات المشحونة لاستخدامها كقذائف توجه نحو نوى الذرات في تجارب النشاط الإشعاعي الصناعي، ولإنتاج النظائر المشعة لغرض التشخيص والعلاج، إذ يحافظ على حركة هذه الجسيمات في مسارات دائرية، وذلك من خلال حركتها في مجال مغناطيسي منتظم.

ويتكون السيكلترون، كما في الشكل (7- 7) من نصفي قرص نحاسي كبير أجوف على شكل حرف (D)، مفرغين من الهواء لتقليل احتكاك الجسيمات المتسارعة مع جزيئات الهواء، تفصل بينهما فجوة، وموضوعين في مجال مغناطيسي منتظم (بين قطبي مغناطيس قوي)، اتجاهه عمودي على نصفي القرص، ويتصلان بمصدر فرق جهد عالي التردد، ويوضع مصدر الأيونات (الجسيمات المشحونة المراد تسريعها) في مركز الفجوة بين النصفين في السيكلترون.

آلية عمله:

1. يخرج الجسيم المشحون بشحنة موجبة من مصدره في الفجوة بين القرصين، فيتسارع بفعل المجال الكهربائي باتجاه القطب السالب، ويدخل أحد القرصين بسرعة معينة.
2. عند دخول الجسيم للقرص يتأثر بقوة مغناطيسية qvB تحركه في مسار دائري مكملاً نصف دورة.



الشكل (7-7)

3. وبضبط تردد فرق الجهد المتردد بين نصفي القرص النحاسي ليصبح مساوياً لتردد حركة الجسيم المشحون في المجال المغناطيسي ($\frac{qB}{2\pi m}$) (لماذا؟)، تنعكس القطبية مع وصول الجسيم المشحون للفجوة، فينعكس اتجاه المجال الكهربائي، ويتسارع الجسيم المشحون مرة أخرى، فيدخل القرص الآخر بسرعة أكبر، وبالتالي يزداد نصف قطر دوران الجسيم المشحون تدريجياً كل نصف دورة، إلى أن يصبح مساوياً لنصف قطر الوعاء، وعندها يخرج الجسيم المشحون من السيكلترون بسرعة كبيرة تعطى بالمعادلة:

$$v = \frac{qBr}{m}$$

ابحث في استخدامات البروتونات المتسارعة في علاج الأورام السرطانية.

مثال (4):

يستخدم سيكلترون نصف قطره (3 m) في تسريع جسيم يحمل شحنة موجبة مقدارها (1.6×10^{-19} C)، في مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.628 T)، وكان تردد مصدر الجهد المتردد المستخدم في عملية التسريع في السيكلترون هو (4×10^{3} Hz)، أوجد:

A) كتلة الجسيم. B) سرعة الجسيم عند مغادرته السيكلترون.

الحل:

A) $f = \frac{qB}{2\pi m}$

$$4 \times 10^{3} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 0.628}{2 \times 3.14 \times m}$$

$$m = 4 \times 10^{-24} \text{ kg}$$

B) $r = \frac{mv}{qB}$

$$3 = \frac{4 \times 10^{-24} \times v}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.628}$$

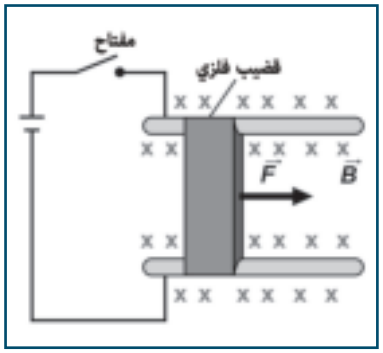
$$v = 7.5 \times 10^{4} \text{ m/s}$$

4-7 القوة المغناطيسية المؤثرة في موصل يسري فيه تيار كهربائي
Magnetic Force on a Current-Carrying Conductor

توصّلت في البند السابق إلى أن قوة مغناطيسية تؤثر في الشحنة إذا تحركت في مجال مغناطيسي. فهل يتأثر سلك فلزي يسري فيه تيار كهربائي بقوة مغناطيسية إذا وضع في مجال مغناطيسي؟

للإجابة عن السؤال، قم بتنفيذ النشاط التالي:

نشاط (7-1): القوة المغناطيسية على موصل يسري فيه تيار كهربائي



المواد والأدوات: مصدر فرق جهد (بطارية)، وموصل، ومغناطيس، ومفتاح.

الخطوات:

- كوّن دارة كهربائية كما في الشكل المجاور.
- أغلق الدارة بوساطة المفتاح، ماذا يحدث للموصل؟
- اعكس أقطاب البطارية، ثم أغلق الدارة مرة أخرى، ماذا يحدث للموصل؟

لعلّك لاحظت تأثر السلك بقوة مغناطيسية، وقد أثبتت التجارب أن هذه القوة تتناسب طردياً مع كل من: شدة التيار الكهربائي، وشدة المجال المغناطيسي، وطول السلك، وجيب الزاوية المحصورة بين اتجاه التيار (طول السلك)، وشدة المجال المغناطيسي. فكيف نتوصل إلى العلاقة رياضياً؟

تعرفت سابقاً أن التيار الكهربائي: شحنات كهربائية متحركة، ولما كان المجال المغناطيسي يؤثر بقوة في أية شحنة متحركة فيه، فإن المجال المغناطيسي سيؤثر في السلك الذي يسري فيه تيار كهربائي، بقوة تساوي محصّلة القوى المؤثرة في هذه الشحنات.

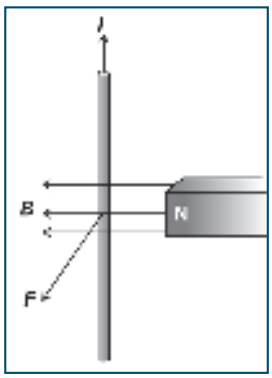
عند وصل طرفي موصل فلزي طوله (L)، ومساحة مقطعه العرضي (A)، والكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة فيه (n_e) بمصدر فرق جهد، فإن الشحنات الحرة فيه تتحرك بسرعة ثابتة v (السرعة الانسياقية)، ولما كانت الشحنات المكونة للتيار من نفس النوع (إلكترونات)، فإن:

القوة المغناطيسية الكلية = عدد الشحنات × القوة المؤثرة في كل شحنة

$$\mathbf{F} = (n_e\, A\mathbf{L})\ (q\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = n_e A q \mathbf{L}\ (v \times B)$$

$$\mathbf{F} = (n_e A q \mathbf{v})\ (\mathbf{L} \times B) = I\ (\mathbf{L} \times B)$$

$$\mathbf{F} = I\ (\mathbf{L} \times \mathbf{B}) \qquad (7\text{-}6)$$
$$F = ILB \sin\theta$$



الشكل (7-8)

ويتحدد اتجاه (L) باتجاه التيار المار في السلك. ويكون اتجاه القوة متعامداً مع اتجاهي شدة المجال المغناطيسي وطول السلك (اتجاه التيار المار فيه)، ويحدد اتجاه القوة باستخدام قاعدة كف اليد اليمنى المفتوحة المبينة في الشكل (7 -8)، وهي:(اجعل أصابع اليد اليمنى المفتوحة تشير إلى اتجاه شدة المجال المغناطيسي (B)، والإبهام يشير إلى اتجاه التيار، فتكون القوة باتجاه عمودي على الكف إلى الخارج).

مثال (5):

سلك مستقيم من النحاس كثافة كتلته الطولية 46.6 g/m موضوع أفقياً في مجال الجاذبية الأرضية، ويسري فيه تيار كهربائي شدته 5 A نحو الشمال. ما اتجاه أقل مجال مغناطيسي يلزم لرفع هذا السلك رأسياً إلى أعلى؟ وما مقداره؟

الحل:

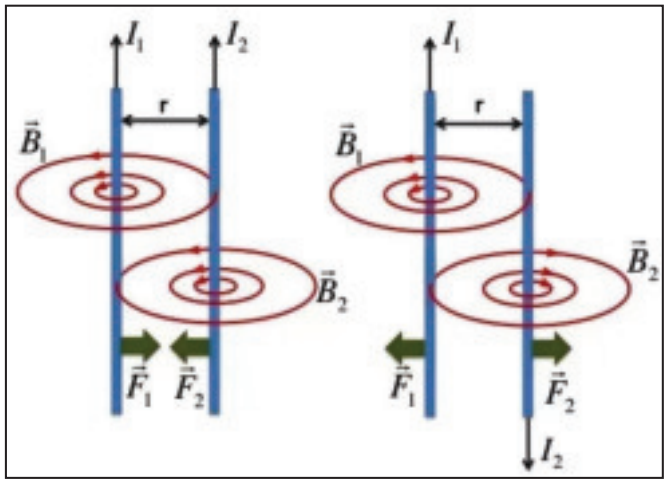
أقل قوة تلزم لتحريك السلك إلى أعلى بسرعه ثابتة، تكون القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك لأعلى، ومساوية في المقدار لوزن السلك، وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى المفتوحة، يكون اتجاه المجال المغناطيسي باتجاه الغرب. ولحساب أقل مقدار لشدة المجال، فإن: القوة المغناطيسية = الوزن

$$F_g = F_B$$
$$mg = ILB \sin 90$$
$$\frac{m}{L} \times 10^{-3} \times 10 = 5 \times B \times 1$$
$$46.6 \times 10^{-3} \times 10 = 5 \times B \times 1$$
$$B = 0.0932\ T$$

7-5 القوة المتبادلة بين سلكين متوازيين طويلين يحمل كل منهما تياراً كهربائياً

يتولد مجال مغناطيسي حول سلك يسري فيه تيار كهربائي، فإذا وضع سلك آخر يحمل تيارا كهربائياً موازياً للأول فإن كلاً منهما يقع في مجال الآخر، فتنشأ قوة مغناطيسية متبادلة بينهما. ولحساب القوة المتبادلة بين سلكين متجاورين طويلين متوازيين يسري في كليهما تيار كهربائي، نحسب أولا شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن أحدهما عند موضع الآخر، ثم نحسب القوة التي يؤثر فيها هذا المجال في السلك الآخر، ففي الشكل (7- 9)، تكون شدة المجال المغناطيسي المتولد عن السلك الأول في موضع الثاني (B_1) هو: $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$

حيث r: البعد العمودي بين السلكين.



الشكل (7-9)

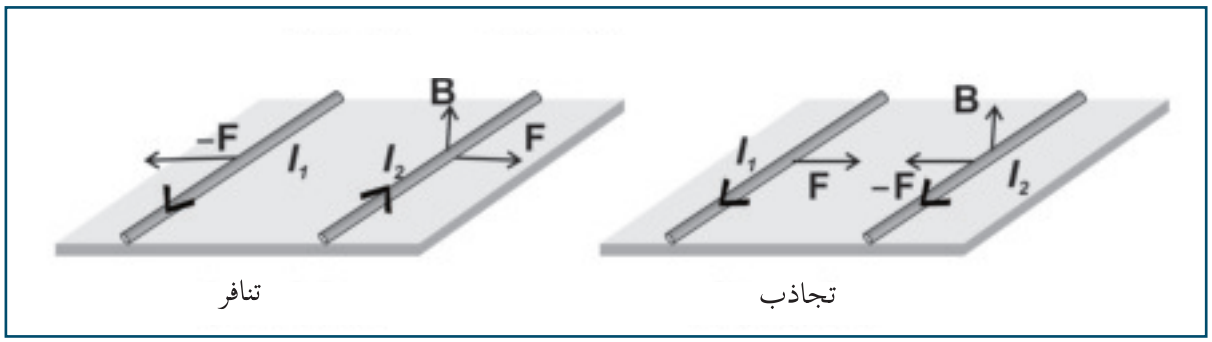
وهذا المجال يؤثر بقوة في السلك الثاني تعطى بالعلاقة:

$$F = I_2 L \times \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} \sin 90 = I_2 L \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$$

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi r} \qquad (7\text{-}7)$$

وبالمثل يمكن إثبات أن السلك الثاني يؤثر في الأول بقوة مساوية لها في المقدار، ومعاكسة لها في الاتجاه الشكل (7- 10). ونظراً لأن السلكين طويلان جداً، فإن القوة المتبادلة بين السلكين لكل وحدة طول ($\frac{F}{L}$)، تعطى بالعلاقة:

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

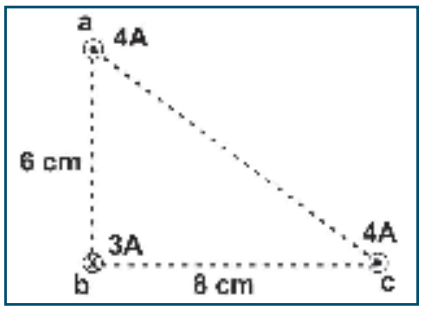


الشكل (7-10)

سؤال: عرف الأمبير من العلاقة السابقة.

مثال (6):

يمثل الشكل (7- 11) ثلاثة أسلاك مستقيمة طويلة جداً يسري في كل منها تيار كهربائي. احسب مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في وحدة الطول من السلك (b).



الشكل (7-11)

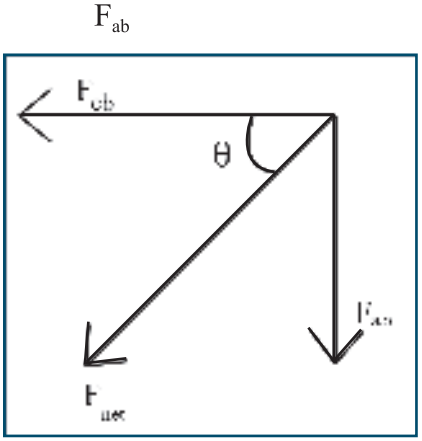
الحل:

$$F_{ab} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 3}{2\pi \times 6 \times 10^{-2}} = 4 \times 10^{-5}\ N/m \quad (-y)$$

$$F_{cb} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 3}{2\pi \times 8 \times 10^{-2}} = 3 \times 10^{-5}\ N/m \quad (-x)$$

$$F_{net} = \sqrt{4^2 + 3^2} \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-5}\ N/m$$

$$\tan\theta = \frac{4}{3}\ ,\ \theta = 53^\circ$$



6-7 قوة لورنتز وحركة الشحنات في المجالين الكهربائي والمغناطيسي

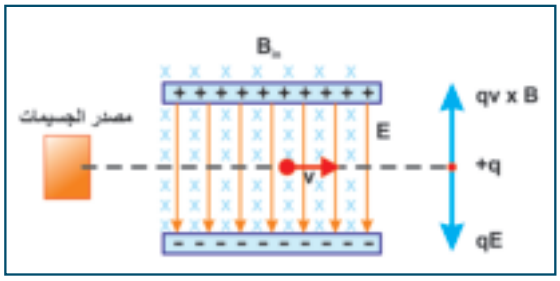
تعتمد كثير من التطبيقات العلمية على التأثير الفيزيائي للمجالين الكهربائي والمغناطيسي على الأجسام المشحونة، حيث إنه عند تعريض جسيم مشحون لكلا المجالين في آن واحد، فإن هذا الجسيم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربائية والمغناطيسية، ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز، أي أن: $\mathbf{F}_{net} = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_B$

$$\mathbf{F}_{net} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \qquad (7\text{-}8)$$

منتقي السرعات:

يتبين من اسم هذا الجهاز أنه مرشح للسرعة، حيث يمكن باستخدامه التحكم في اختيار حزمة من الجسيمات المشحونة ذات سرعة محددة؛ وذلك لأن الجسيمات المنبعثة عند أية درجة حرارة لها توزيع إحصائي على نطاق واسع من السرعات، ولاختيار سرعة محددة نستخدم جهاز منتقي السرعات.

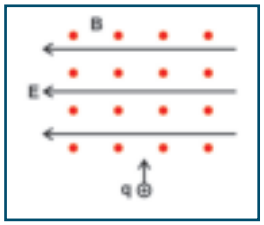
آلية عمله:



الشكل (7- 12)

يتكون جهاز منتقي السرعات من مصدر للجسيمات المشحونة، حيث تنطلق الجسيمات من المصدر بسرعات مختلفة لتمر من الشريحة التي تحدّد حزمة من هذه الجسيمات لتمرّ في منطقة مجال كهربائي متعامد مع مجال مغناطيسي، كما في الشكل (12-7)، تتأثر الجسيمات المشحونة بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي، بحيث يكون اتجاه القوة الكهربائية للأسفل واتجاه القوة المغناطيسية للأعلى. وهذا سيؤدي إلى أن الجسيمات المتحركة بسرعة معينة هي التي ستتحرك في خط مستقيم، لأنه عند تلك السرعة تتساوى القوة الكهربائية مع القوة المغناطيسية، بينما الجسيمات المتحركة بسرعات أخرى ستنحرف عن المسار المستقيم. ولإيجاد هذه السرعة نستخدم قانون لورنتز: $\mathbf{F}_{net} = q\mathbf{E} + q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \longrightarrow v = \frac{E}{B}$

مثال (7):



يبين الشكل المجاور جسيماً مشحوناً بشحنة موجبة مقدارها (2 C) ، يتحرك في منطقة يؤثر فيها مجال كهربائي شدته (0.1 N/C) باتجاه محور السينات السالب، ومجال مغناطيسي شدته (4×10^{-4} T) يتجه نحو الناظر. ما مقدار السرعة التي يتحرك بها الجسيم حتى يبقى محافظاً على اتجاه حركته في خط مستقيم إلى أعلى؟

الحل:

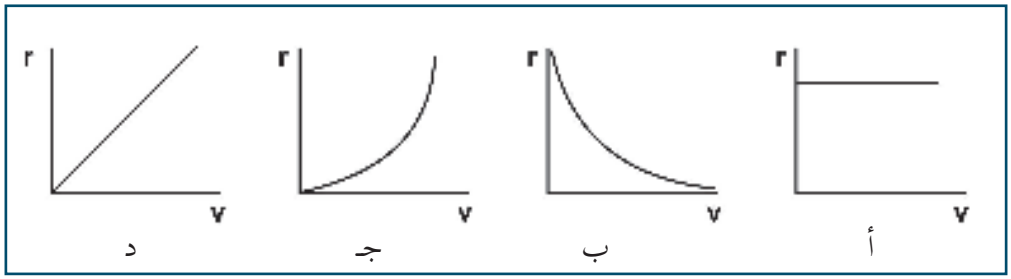
$$v = \frac{E}{B} = \frac{0.1}{4 \times 10^{-4}} = 250 \text{ m/s}$$

سؤال: ما مقدار شدة المجال الكهربائي اللازمة للحصول على جسيمات مشحونة سرعتها (1.5×10^{6} m/s) في جهاز منتقي السرعات، إذا كانت شدة المجال المغناطيسي فيه (2.2×10^{-4} T).

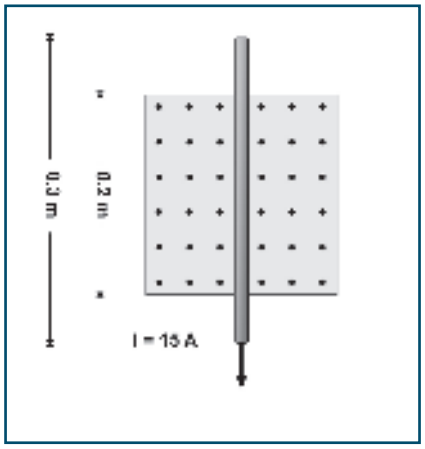
أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تم مسارعة جسيمات مشحونة كتلتها (m) ولها نفس الشحنة في مجال كهربائي منتظم بسرعات مختلفة، ثم أدخلت في مجال مغناطيسي شدته (B) بشكل عمودي على خطوط المجال. أي من الأشكال الآتية يمثل العلاقة بين نصف قطر المسار الدائري (r) للجسيمات المشحونة وسرعتها (v)؟



2. يبين الشكل المجاور، سلكاً فلزياً طوله (30 cm)، موضوعاً في مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) يتجه نحو الناظر، ويسري فيه تيار كهربائي شدته (15 A). ما مقدار واتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك.



أ- 0.75 N باتجاه (- x).

ب- 0.75 N باتجاه (+ x).

ج- 1.1 N باتجاه (- x).

د- 1.1 N باتجاه (+ x).

3. يدخل جسيم مشحون مجالاً مغناطيسياً بشكل عمودي عليه بسرعة مقدارها (v)، ثم يدخل جسيم آخر مماثل له في الكتلة والشحنة المجال المغناطيسي بسرعة (2 v). إذا كان تردد حركة الجسيم الأول (f)، فما تردد حركة الجسيم الثاني؟

أ- f ب- $2f$ جـ- $4f$ د- $0.5f$

4. مجال كهربائي منتظم (E) ومجال مغناطيسي منتظم (B) في نفس الاتجاه. إذا قذف إلكترون في نفس اتجاه خطوط المجالين، فأي الآتية صحيحة؟

أ- الإلكترون يتحرك عكس المجال الكهربائي.

ب- الإلكترون يتحرك بإتجاه المجال الكهربائي.

جـ- يتحرك الإلكترون في مسار دائري.

د- سرعة الإلكترون تقل في المقدار.

5. ما نوع الجسيمات التي يتم الحصول عليها من جهاز منتقي السرعات؟

أ- غير مشحونة لها نفس السرعة　　ب- مشحونة لها نفس السرعة

جـ- غير مشحونة مختلفة في السرعة　　د- مشحونة مختلفة في السرعة

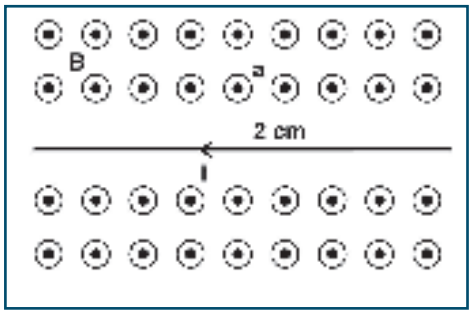
6. إذا كانت القوة المتبادلة بين سلكين لا نهائيين متوازيين يحملان تيارا كهربائيا تساوي 100 N، فكم تصبح القوة المتبادلة بينهما عند مضاعفة البعد بينهما (بوحدة N)؟

أ- 400　　ب- 200　　جـ- 50　　د- 25

س2: أ. وضح المقصود بقولنا: شدة المجال المغناطيسي 0.5T :

ب. فسر ما يأتي:

1. تردد حركة الجسيم المشحون يساوي تردد جهد المصدر في السيكلترون.
2. عند قذف إلكترون داخل ملف حلزوني يحمل تياراً كهربائياً باتجاه موازٍ لمحوره فإنه لا ينحرف.

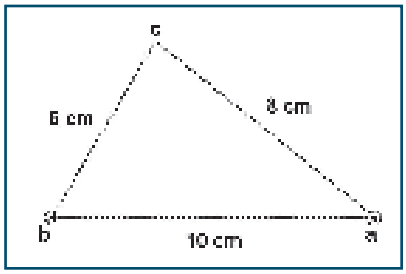


س3: سلك مستقيم طويل جداً يمر فيه تيار كهربائي شدته (4 A) مغمور في مجال مغناطيسي منتظم شدته ($5x10^{-5}$ T) باتجاه الناظر كما في الشكل المجاور. احسب:

أ- القوة المغناطيسية المؤثرة في جزء من السلك طوله (1 m) وحدد اتجاهها.

ب- شدة المجال المغناطيسي الكلي في النقطة (a).

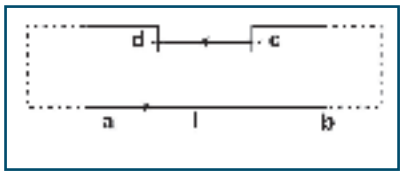
ج- القوة المغناطيسية المؤثرة في إلكترون يتحرك بسرعة (2×10^{5} m/s) لحظة مروره بالنقطة (a) بالاتجاه السيني الموجب.



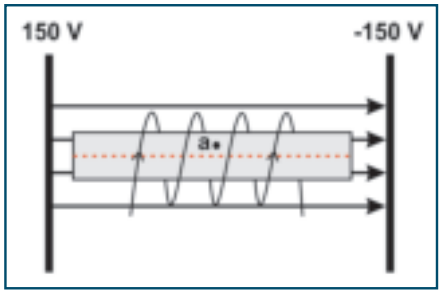
س4: تمثل النقطتان (a، b) في الشكل المجاور مقطعي موصلين مستقيمين طويلين جداً متعامدين مع مستوى الورقة، ويحمل كل منهما تياراً كهربائياً شدته (5 A) باتجاهين متعاكسين. النقطة (c) تقع في مستوى الورقة وتبعد (8 cm) عن النقطة (a)، (6 cm) عن النقطة (b). احسب:

أ- شدة المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة (c).

ب- مقدار القوة التي يؤثر فيها أحد الموصلين على وحدة الأطوال من الآخر.



س5: ab سلك طويل، cd سلك كتلته (6 g) وطوله (1.5 m) مواز للسلك ab ويقع السلكان في مستوى رأسي واحد، فإذا كان السلك cd قابلا للانزلاق للأعلى والأسفل على حاملين رأسيين ومرّ تيار شدته 120 A في الدارة، بيّن على أي ارتفاع فوق ab يتزن السلك cd.



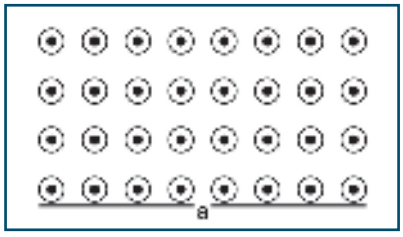
س6: في الشكل المجاور وضع ملف حلزوني طوله 2π cm وعدد لفاته 25 لفة بين لوحين فلزيين متوازيين على بعد 10 cm من بعضهما، عند مرور شحنة -1 ميكروكولوم بالنقطة a بسرعة 2×10^{6} m/s في اتجاه محور الصادات الموجب، كان مقدار قوة لورنتز المؤثرة على الشحنة تساوي 5×10^{-3} N، فما مقدار التيار المار في الملف الحلزوني؟

س7: أدخل جسيمان مشحونان مجالاً مغناطيسياً منتظماً، حيث كتلة الثاني 4 أمثال كتلة الأول، وشحنة الثاني مثلا شحنة الأول، وذلك بتسريعهما بنفس الجهد، فما:

أ- نسبة تردد حركة الجسيم الأول إلى تردد الثاني؟

ب- نصف قطر الأول إلى نصف قطر الثاني؟

س8: يتحرك بروتون كتلته (1.67×10^{-27} kg)، وشحنته (1.6×10^{-19} C) بسرعة مقدارها (7×10^{4} m/s) باتجاه محور السينات الموجب في منطقة مجال كهربائي منتظم شدته (700 V/m) واتجاهه باتجاه محور الصادات الموجب. ما مقدار واتجاه المجال المغناطيسي الذي يجب تسليطه على المجال الكهربائي، بحيث يستمر البروتون في الحركة باتجاه محور السينات الموجب؟



س9: X، Y جسيمان، حيث ($m_x = 2\ m_y$)، قذفا أحدهما تلوَ الآخر بنفس السرعة من النقطة (a) نحو أعلى الصفحة في مجال مغناطيسي منتظم مقتربا من الناظر، كما في الشكل المجاور، يحمل الجسيم (X) شحنة (-2 μC) بينما (Y) يحمل شحنة (1 μC)، إذا علمت أن نصف القطر الذي دار به الجسيم (X) قبل أن يصطدم بالحاجز يساوي (10 cm)، أوجد المسافة الفاصلة بين نقطتي اصطدام كلا الجسيمين بالحاجز.

الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الكهرومغناطيسية في حل مسائل تتعلق بالحث المغناطيسي وبعض التطبيقات العملية عليه من خلال تحقيق الآتي:

- تفسير ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي.
- توضيح بعض حالات تولد القوة الدافعة الكهربائية الحثية (التيار الحثي).
- تفسير بعض التطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي.
- تصميم مولد كهربائي بسيط.

1-8 الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction

إن الشحنات الكهربائية الساكنة على سطوح الموصلات تولد مجالاً كهربائياً، وإذا سمح لهذه الشحنات بالحركة بفعل مؤثر ما فإنها تولد تياراً كهربائياً، التيار الكهربائي المار عبر هذه الموصلات يولد مجالاً مغناطيسياً على هيئة حلقات مقفلة حول هذه الموصلات، وما دامت التيارات الكهربائية تولد مجالات مغناطيسية، فهل من الممكن للمجال المغناطيسي أن يولد تياراً كهربائياً؟

نشاط (8-1): التيار الحثي

المواد والأدوات: حلقة من الحديد، وسلك طويل، وجلفانوميتر، ومفتاح، ومصدر جهد كهربائي ثابت.

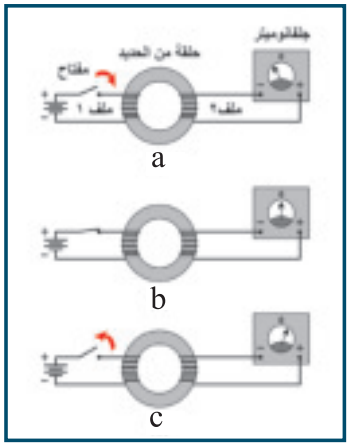
الخطوات:

1- صل الدارة الموضحة في الشكل (8-1/a).

2- أغلق المفتاح وراقب مؤشر الجلفانوميتر. ماذا تلاحظ؟

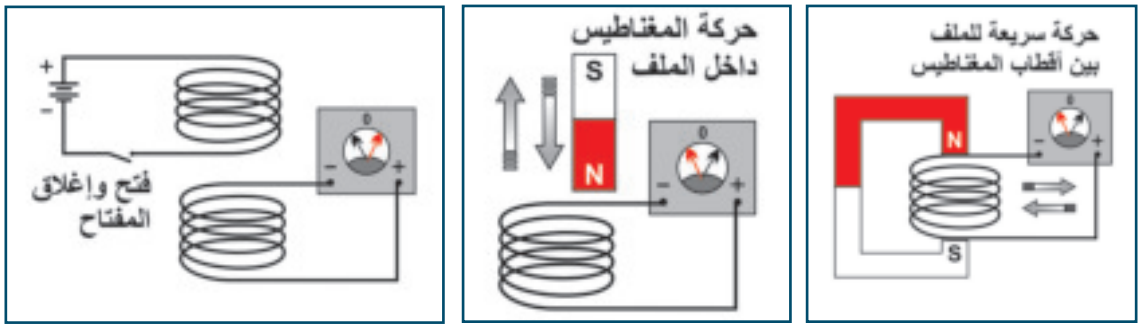
3- اترك المفتاح مغلقاً فترة من الزمن، وراقب مؤشر الجلفانوميتر، كما في الشكل (8-1/b)، ماذا تلاحظ؟

4- افتح المفتاح، وراقب مؤشر الجلفانوميتر، كما في الشكل (8- 1-c)، ماذا تلاحظ؟



الشكل (8- 1)

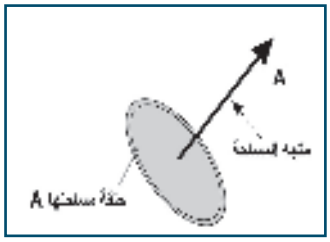
لقد حاول العالم فارادي توليد تيار كهربائي من المجال المغناطيسي، فصمم النشاط المبين في الشكل (8-1)، الذي يحتوي على ملفين: الملف (1) موصول ببطارية ومفتاح كهربائي، والملف (2) موصول بطرفي جلفانوميتر. وتوقع فارادي أن مرور تيارٍ كبيرٍ في الملف (1) يولد مجالاً مغناطيسياً قوياً فيه كافياً لتوليد تيار كهربائي في الملف (2). وكانت النتائج عكس ما توقعه، حيث لم يتولد تيار في الملف (2) عندما وصلت شدة التيار في الملف (1) إلى قيمتها القصوى، ولكنه لاحظ الانحراف الكبير لمؤشر الجلفانوميتر باتجاه ما لحظة إغلاق دارة الملف (1)، وانحراف المؤشر بالاتجاه الآخر عند فتحها. فاستنتج أن تيارا كهربائياً يسري في الجلفانوميتر لحظة غلق الدارة أو فتحها، ومن الملاحظات التي توصل إليها من معرفته لخطوط المجال المغناطيسي، اقتراحه أن التيار يتولد في ملف عندما تتغير شدة المجال المغناطيسي فيه. وهذا يفسر سبب فشل المحاولات السابقة للحصول على تيار كهربائي من المجال المغناطيسي الثابت. وللتحقق من فرضيته قام بتنفيذ الأنشطة المبينة في الشكل (8- 2)

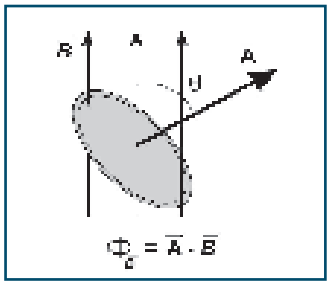


الشكل (8- 2)

ومن النتائج التي توصل إليها أن تياراً كهربائياً يتولد في ملف عندما يتغير المجال المغناطيسي داخله، وبذلك يعمل الملف كمصدر للقوة الدافعة الكهربائية، أطلق عليها اسم القوة الدافعة الكهربائية الحثية، وعلى التيار المار فيها اسم التيار الحثي.

2-8 التدفق المغناطيسي Magnetic Flux





تحقق فارادي كمياً من العوامل التي تؤثر في مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية. ووجد أنه كلما زاد معدل التغير في المجال المغناطيسي بالنسبة للزمن، زادت القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف. وعلى الرغم من أن تغير المجال المغناطيسي يولد تياراً كهربائياً، فإنه في حالات أخرى يكون المجال المغناطيسي ثابتاً، ويتولد فيها تيار حثي، كما هو الحال عند تغير مساحة الملف أو دورانه في المجال المغناطيسي. لقد استدل فارادي من معرفته لخطوط قوى المجال المغناطيسي أن معدل التغير في عدد خطوط قوى المجال المغناطيسي الذي يقطع ملف (أو حلقة) هو الذي يؤدي إلى توليد تيار حثي فيه. ولكن، بماذا يذكرك قطع خطوط المجال المغناطيسي لمساحة ما؟

لقد تعرفت سابقاً، أن قطع خطوط المجال الكهربائي لمساحة ما يسمى التدفق الكهربائي، وبالمثل، يُعرّف قطع خطوط المجال المغناطيسي لمساحة ما: التدفق المغناطيسي، والعلاقة التي تربط بين التدفق المغناطيسي خلال سطح ما، ومساحته، وشدة المجال المغناطيسي، هي:

$$\Phi_B = \mathbf{B}.\mathbf{A} = BA\cos\theta \qquad (8\text{-}1)$$

حيث:

A: متجه المساحة، وهو متجه مقداره يساوي مقدار مساحة السطح، واتجاهه عمودي على السطح للخارج.

B: شدة المجال المغناطيسي.

θ: الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على مستوى الملف (متجه المساحة).

Φ_B: التدفق المغناطيسي، ويقاس بوحدة الويبر $Wb = T.m^2$

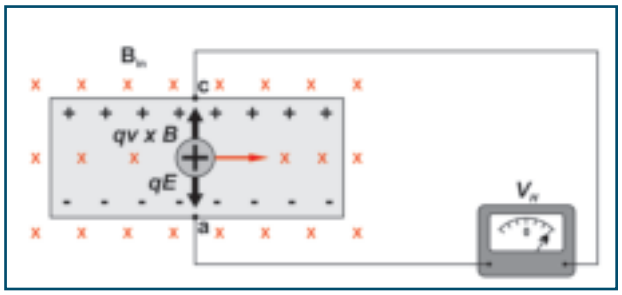
وبناءً على مفهوم التدفق المغناطيسي، يمكن تعميم النتيجة السابقة: يتولد تيار حثي في ملف، إذا حدث تغير في التدفق المغناطيسي خلاله.

سؤال: فسر نتائج التجارب السابقة باستخدام مفهوم التغير في التدفق المغناطيسي.

3-8 القوة الدافعة الكهربائية الحثية وقانون فارادي

Induced Electromotive Force & Faraday's law

توصلت في البند السابق، إلى أنه يتولّد تيار حثّي في دارة مغلقة بسبب تغيّر التدفق المغناطيسي الذي يخترقها، فلماذا نتجت القوة الدافعة الكهربائية الحثية؟ وما العوامل التي يتوقف عليها مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية الناتجة في ملف أو موصل؟



الشكل (8- 3)

للإجابة عن الأسئلة السابقة، دعنا نضع موصلاً (ac) طوله (L) في مجال مغناطيسي منتظم، ونقوم بسحبه نحو اليمين بسرعة ثابتة (v) باتجاه عمودي على خطوط مجال مغناطيسي منتظم (B) يتجه عمودياً على الصفحة للداخل، كما في الشكل (8-3). وبذلك، فإن المجال المغناطيسي سيؤثر بقوة مغناطيسية في الشحنات الموجبة تساوي:

$\mathbf{F_B} = q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ باتجاه الموصل من (a) إلى (c).

مما يؤدي إلى زيادة تركيز الشحنات الموجبة عند النقطة (c) والشحنات السالبة عند النقطة (a). وكنتيجة لعملية فصل الشحنات، يتولد مجال كهربائي داخل الموصل، يكون اتجاهه من (c) إلى (a)، وتستمر الشحنات بالتجمع عند طرفي الموصل؛ حتى تتّزن القوة الكهربائية إلى أسفل ($q\mathbf{E}$) والقوة المغناطيسية إلى الأعلى ($q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B}$) ، عندها تتوقف حركة الشحنات باتجاه طرفي الموصل. وبذلك، فإنه يمكننا التعبير عن حالة الاتزان هذه في الموصل في الاتجاه الصادي بالمعادلة: $F_B = F_E$

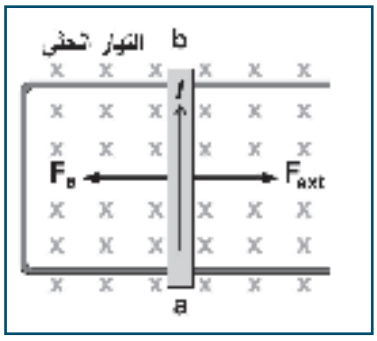
$q\,\mathbf{v} \times \mathbf{B} = q\mathbf{E}$ ومنها نجد:

$$E = v\,B \qquad (8\text{-}2)$$

وبما أنّ فرق الجهد المتولد بين طرفي الموصل يعطى بالعلاقة: $\mathbf{V} = \mathbf{E}\,\mathbf{L}$ ، فإنّه بالتعويض عن قيمة $\mathbf{E}$ في المعادلة (8-2)، فإنّ: $V = v\,B\,L$

وتمثل القوة الدافعة الكهربائية الحثية بين طرفي الموصل، ويرمز لها بالرمز ε

$$\varepsilon = v\,B\,L \qquad (8\text{-}3)$$



الشكل (8- 4)

فإذا تم وصل طرفي الموصل (a b) بسلك خارجي على شكل حرف (U)، بحيث يشكل مجرى يمكن للموصل أن ينزلق عليه، وقمنا بسحب الموصل (a b) بتأثير قوة خارجية، وبسرعة ثابتة نحو اليمين، باتجاه عمودي على خطوط المجال المغناطيسي، حينها يتولد تيار حثي بالاتجاه المبين في الشكل (8- 4). ومع وجود الموصل في المجال المغناطيسي، فإن المجال يؤثر بقوة مغناطيسية في التيار الذي يسري في الموصل (a b) عمودياً على خطوط المجال المغناطيسي يكون اتجاهها نحو اليسار. وبما أنّ الموصل يتحرك بسرعة ثابتة، فإنّ القوة الخارجية (F_{ext}) تساوي القوة المغناطيسية، وتعاكسها في الاتجاه)؛ أي أنّ: $F_{ext} = -F_B = -ILB$

وخلال إزاحة الموصل إزاحة (Δx) تتغير المساحة التي تخترقها خطوط المجال المغناطيسي بمقدار ($L\Delta x$)، ويُحسب الشغل المبذول من المعادلة:

$$W = F_{ext}\ (\Delta x)$$

$$W = -ILB\Delta x$$

حيث: $L\,\Delta x = \Delta A$

$W = -I\Delta\phi$

ويتحول هذا الشغل إلى طاقة كهربائية، وتساوي $(\varepsilon I\Delta t)$ أي أن: $\varepsilon I\Delta t = -I\Delta\phi$ ومنها نجد أن: $\varepsilon = \dfrac{-\Delta\phi}{\Delta t}$

وهذه حالة عامة، تبيّن أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية تتولد عند تغيّر التدفق المغناطيسي، بغض النظر عن شكل الدارة أو الملف، وإذا كان الملف يتكون من (N) لفة، فإن التدفق يتغيّر خلال كل لفة بالنسبة للزمن بالمقدار نفسه، فتكون القوة الدافعة الكهربائية الحثية الكلية تساوي:

$$\varepsilon = -N\ \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \qquad (8\text{-}4)$$

وتعبر العلاقة السابقة عن الصيغة الرياضية لقانون فارادي الذي ينص على أن:

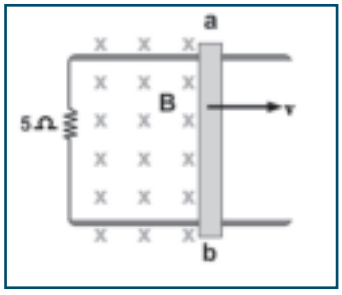
متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في التدفق المغناطيسي الذي يخترق الدارة الكهربائية.

فإذا كانت مقاومة الأسلاك (**R**)، فإن التيار الحثي الذي يسري في الدارة يساوي:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \qquad (8\text{-}5)$$

سؤال: مبتدئا بقانون فارداي كيف يمكن التوصل للعلاقة: $\varepsilon = v\,B\,L$

مثال (1):



موصل a b طوله 40 cm متصل على التوالي مع مقاومة 5 Ω في مجال مغناطيسي 0.3 T إذا تحرك الموصل لليمين بسرعة 3 m/s كما في الشكل، أوجد:

1) القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة.

2) شدة التيار الحثي.

3) القوة الخارجية اللازمة حتى يتحرك الموصل بسرعة ثابتة.

الحل:

1) $\varepsilon = v\,B\,L = 3 \times 0.3 \times 0.4 = 0.36\ V$

2) $I = \dfrac{\varepsilon}{R} = \dfrac{0.36}{5} = 0.072\ A$ عكس عقارب الساعة

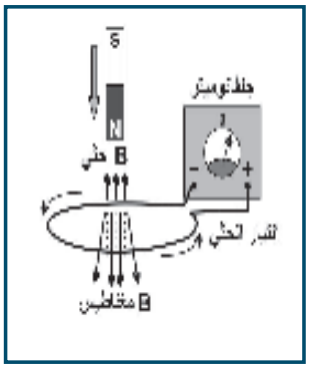
3) $F_{ext} = -F_B = -ILB = 0.072 \times 0.4 \times 0.3 = 0.00864\ N, (+\mathcal{X})$ باتجاه

4-8 قانون لنز

لعلك لاحظت في الأنشطة العملية السابقة أن انحراف مؤشر الجلفانوميتر عند تقريب المسبب في توليد التيار الحثي في الملف يكون معاكساً لانحرافه حال إبعاده، فهل فكرت في السبب؟ وما دلالة وجود الإشارة السالبة في قانون فارادي؟

لقد استخدم لنز مبدأ حفظ الطاقة للتوصل إلى قاعدة لتحديد قطبية القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في ملف أو سلك، وبالتالي اتجاه التيار الحثي المتولد في ملف عندما يتغير فيه التدفق المغناطيسي. وكما هو شأن أي تيار آخر، فإن التيار الحثي ينتج مجالاً مغناطيسياً خاصاً به (B حثي)، فيتولد عنه تدفقٌ مغناطيسيٌ في الملف يقاوم التغير في التدفق الذي أنشأه، ويحدد اتجاه التيار الحثي في الملف باستخدام قاعدة اليد اليمنى.

فعند تقريب قطب شمالي من حلقة فلزية دائرية متصلة بطرفي جلفانوميتر كما في الشكل(8-5)، يزداد التدفق المغناطيسي فيها باتجاه الأسفل، فيتولد في الحلقة قوة دافعة حثية ينشأ عنها تيار حثي اتجاه مجاله المغناطيسي للأعلى (بعكس اتجاه المجال المؤثر). وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه التيار الحثي فيها عكس عقارب الساعة، فيكون طرف الملف القريب من المغناطيس قطباً شمالياً يتنافر مع القطب الشمالي للمغناطيس ليقاوم اقترابه. وبذلك يحاول التيار الحثي المتولد في الملف الحفاظ على بقاء التدفق في الملف ثابتاً.



الشكل (8- 5)

إذن فالقوة الدافعة الكهربائية الحثية تنشأ، بحيث تقاوم التغير في التدفق الذي كان سبباً في توليدها، وتعرف هذه النتيجة بقانون لنز الذي ينص على:

(يكون اتجاه التيار الحثي المتولد في دارة كهربائية أو ملف، بحيث يقاوم المولد له، وهو التغير في التدفق المغناطيسي)

أناقش:

ماذا يحدث في الحالة السابقة إذا تم:

1- إبعاد القطب الشمالي للمغناطيس عن الحلقة؟

2- تقريب القطب الجنوبي للمغناطيس من الحلقة؟

وبذلك يمكن تفسير وجود الإشارة السالبة في قانون فارادي، بأن التيار الحثي المتولد في الموصل أو الملف يقاوم التغير في التدفق المغناطيسي الذي يخترقه.

ولتحديد اتجاه التيار الحثي في ملف باستخدام قانون لنز، اتبع الخطوات الآتية:

1- حدد اتجاه المجال المغناطيسي المؤثر الذي يخترق الملف.

2- حدد التغير في التدفق المغناطيسي في الملف زيادة أو نقصاناً.

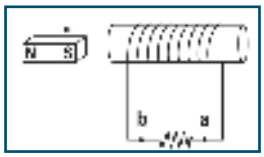
3- حدد اتجاه المجال المغناطيسي الحثي المتولد في الملف الذي يقاوم التغير في التدفق، كما يأتي:

- عندما يزداد التدفق: يكون اتجاه المجال المغناطيسي الحثي بعكس اتجاه المجال المؤثر.
- عندما يقل التدفق: يكون اتجاه المجال المغناطيسي الحثي بنفس اتجاه المجال المؤثر.

4- حدد اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف باستخدام قاعدة اليد اليمنى.

مثال (2):

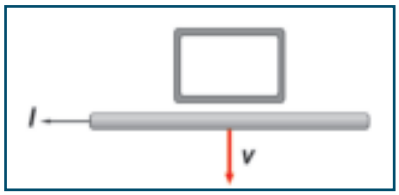
بيّن اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف المبين في الشكل (8-6) عند تقريب المغناطيس منه.



الشكل (8-6)

الحل:

إن تقريب المغناطيس من الملف سيؤدي إلى زيادة التدفق المغناطيسي الذي يخترق الملف، فيتولد في الملف تيار حثي ينتج مجالاً مغناطيسيا، يكون اتجاهه بحيث يعاكس (أو يقاوم) هذه الزيادة (الملف يحاول إبعاد المغناطيس)، وبالتالي سيكون الملف مغناطيساً قطبه الجنوبي قريب من المغناطيس الأصلي، بحيث يحدث تنافر بينه وبين المغناطيس الأصلي، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه التيار الحثي في المقاومة من b إلى a.



الشكل (8- 7)

سؤال: ما اتجاه التيار الحثي في الحلقة الفلزية المبينة في الشكل (8-7) عند:

- تحريك سلك يسري فيه تيار كهربائي بعيداً عنها.
- زيادة تيار السلك.
- تحريك الحلقة يميناً بسرعة ثابتة.

5-8 الحث الذاتي Self - Induction

تعرفت سابقاً أن المواسع يخزن طاقة وضع كهربائية في المجال الكهربائي بين لوحيه اعتماداً على سعته. وبالمثل، فإن الملف يخزن طاقة وضع كهربائية في المجال المغناطيسي داخله، فما العوامل التي تعتمد عليها مقدرة الملف على تخزين الطاقة داخله؟

تختلف الملفات في مقدرتها على تخزين الطاقة داخلها، ويمكن تمييزها من خلال مفهوم المحاثة، حيث تُعرّف محاثة الملف (أو المحث) **بأنها النسبة بين التدفق المغناطيسي في الملف إلى شدة التيار المار فيه**؛ أي أن:

$$L_{in} = \frac{N\phi}{I} \qquad (8\text{-}6)$$

حيث، N: عدد لفات الملف.

وتعرف (L_{in}) بالمحاثة، أو معامل الحث الذاتي للملف؛ لأن التدفق ناتج عن مرور التيار فيه.

ووحدتها (هنري= ويبر/ أمبير) H =Wb/A ومن أجزائها الملي هنري والميكروهنري. ويُرمز لها في الدارات الكهربائية بالرمز ⌇⌇⌇⌇ ولحساب معامل الحث الذاتي لملف حلزوني:

$$L_{in} = \frac{N\phi}{I} = N\frac{BA}{I} = N\frac{(\mu_\circ I\, n)A}{I}$$

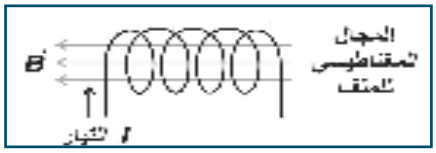
$$L_{in} = \frac{\mu_\circ N^2 A}{L} \qquad (8\text{-}7)$$

أناقش:

أ- بين ما يحدث لمقدار معامل الحث الذاتي لملف حلزوني إذا:

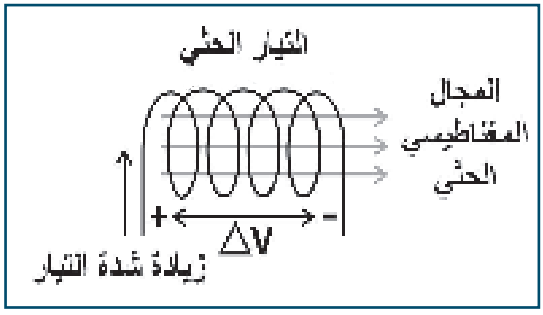
- ضوعف عدد اللفات مع بقاء طوله ثابتاً.
- أدخل في الملف مادة فرو مغناطيسية، دايا مغناطيسية.
- ضوعف طول الملف إلى مثلي طوله الأصلي مع بقاء عدد اللفات ثابته.
- ضوعفت شدة التيار المار فيه.

ب – فسر: المحاثة كمية فيزيائية موجبة دائما.



الشكل (8-8-a)

يبين الشكل (8-8-a) المجال المغناطيسي الثابت المتولد في ملف حلزوني عندما يمر فيه تيار كهربائي ثابت في المقدار. وعند زيادة شدة التيار في دارة الملف الحلزوني، يزداد التدفق المغناطيسي خلاله باتجاه اليسار نتيجة لزيادة شدة المجال المغناطيسي في الملف، وحسب قانون لنز يتولد في الملف قوة دافعة حثية، وينشأ عنها تيار حثي مجاله المغناطيسي بعكس اتجاه المجال الأصلي (باتجاه اليمين)، ليقاوم الزيادة في التدفق المغناطيسي. وعليه، يكون اتجاه القوة الدافعة الحثية واتجاه التيار الحثي بعكس اتجاه التيار الأصلي في الملف، وهذا يعني أن التيار يزداد تدريجياً مع الزمن حتى يصل إلى قيمته العظمى.



الشكل (8-8-b)

أما عندما تقل شدة التيار الكهربائي في دارة الملف الحلزوني، فيقل التدفق المغناطيسي فيه، فيتولد في الملف الحلزوني قوة دافعة كهربائية حثية ينشأ عنها تيار حثي مجاله المغناطيسي بنفس اتجاه المجال الأصلي ليقاوم النقصان في التدفق. وعليه، يكون اتجاه القوة الدافعة الكهربائية الحثية واتجاه التيار الحثي بنفس اتجاه التيار الأصلي في الملف، وهذا يعني أن التيار يقل تدريجياً مع الزمن؛ حتى يصل إلى قيمته الصغرى، كما في الشكل (8-8-b). وتُعرف هذه الظاهرة بالحث الذاتي.

إذا تغير التيار بمقدار (ΔI) خلال زمن (Δt)، فإن التدفق (ϕ) يتغير بمقدار $(\Delta\phi)$، لذا فمن المعادلة (8-6) نجد أن:

$$L_{in}\Delta I = N\,\Delta\phi$$

وبقسمة الطرفين على (Δt)، فإن:

$$L_{in}\frac{\Delta I}{\Delta t} = N\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -\varepsilon$$

$$\varepsilon = -L_{in}\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (8\text{-}8)$$

ويمكن تعريف معامل الحث الذاتي لمحث بأنه: النسبة بين القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في المحث، والمعدل الزمني لتغير التيار فيه.

ويُعرف الهنري بأنه: معامل الحث الذاتي لمحث تتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية مقدارها فولت واحد عندما يتغير فيه التيار بمعدل أمبير واحد في الثانية.

مثال (3):

ملف حلزوني مكون من 300 لفة وطوله 0.25 m ومساحة مقطعه $4\ cm^2$ ، احسب:

1) محاثة الملف.

2) القوة الدافعة الحثية في الملف عندما يتناقص التيار المار في الملف بمعدل 50 A/s .

الحل:

$$n = \frac{N}{L} = \frac{300}{0.25} = 1200\ turn/m$$

$$L_{in} = \mu . n^2\ L\ A$$

$$L_{in} = 4\pi \times 10^{-7} \times 1200^2 \times 0.25 \times 4 \times 10^{-4} = 1.81 \times 10^{-4}\ H$$

$$\varepsilon = -L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} = -1.81 \times 10^{-4} \times -50 = 9.05 \times 10^{-3}\ V$$

سؤال: إذا كانت القوة الدافعة الحثية المتولدة في ملف 0.05V عندما يتزايد تياره بمعدل 0.06 A/s، احسب:

1- محاثة الملف

2- إذا كان الملف حلزونيا ومكوناً من 300 لفة، أوجد التدفق المغناطيسي عبر كل لفة عندما تكون شدة التيار 0.8 A

سؤال: ملف حلزوني طوله 20 cm، ونصف قطره 7 cm، وعدد لفاته 200 لفة يحمل تيار كهربائي 0.01 A إذا علمت أن النفاذية المغناطيسية للفراغ $4\pi \times 10^{-7}\ Wb/A.m$، احسب:

1- التدفق المغناطيسي خلال مقطع الملف.

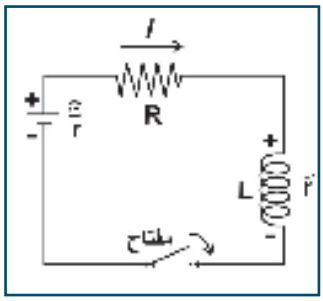
2- محاثة الملف.

3- القوة الدافعة الحثية المتولدة إذا تلاشى التيار خلال ثانيتين.

6-8 دارة كهربائية تحتوي على مقاومة ومحث R L Circuit

يعتبر المحث الذي ينمو فيه التيار مع الزمن، مصدراً لقوة دافعة كهربائية حثية، يكون اتجاهها بحيث تقاوم التيار. أي أن المحث يعمل كمصدر لقوة دافعة كهربائية حثية عكسية، وكنتيجة للقوة العكسية هذه، لا يصل التيار في دارة المحث إلى القيمة النهائية لحظة إغلاق الدارة. ولكنه ينمو بمعدل يعتمد على معامل الحث الذاتي للمحث ومقدار مقاومة الدارة.

يبين الشكل (8-9) دارة كهربائية تحتوي على محث معامل حثه الذاتي L ومقاومته ŕ ومقاومة خارجية (R) وبطارية قوتها الدافعة (ε) ومقاومتها الداخلية (r) ومفتاح. وعند إغلاق الدارة الكهربائية يبدأ التيار بالنمو؛ مما يولد قوة دافعة كهربائية حثية عكسية في المحث تعمل على مقاومة نمو التيار. وبتطبيق القانون الثاني لكيرتشوف في هذه الدارة، فإن:



الشكل (8-9)

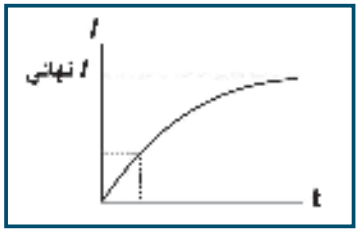
$$\sum \Delta V = 0$$

$$\varepsilon - L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} - I(R + r + \acute{r}) = 0$$

$$L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} = \varepsilon - \sum IR$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\varepsilon}{L_{in}} - \frac{\sum IR}{L_{in}} \qquad (8\text{-}9)$$

حيث $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ تمثل المعدل الزمني لنمو التيار في الدارة.

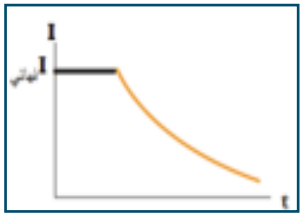


الشكل (8-10)

أناقش:

- ما المعدل الزمني لنمو التيار لحظة إغلاق الدارة؟
- ما القيمة النهائية لشدة التيار الكهربائي المار في الدارة؟
- ما القوة الدافعة الكهربائية الحثية لحظة إغلاق الدارة؟

وبرسم العلاقة البيانية بين شدة التيار والزمن تكون كما في الشكل (8-10)، ويلاحظ منه أن التيار يبدأ نموه من الصفر، ويزداد بسرعة أول الأمر، ثم يأخذ بالنمو ببطء شديد، حتى يصل لقيمته النهائية. كما أن ميل المماس عند أية نقطة على هذا المنحنى يمثل معدل التغير في مقدار التيار ($\frac{\Delta I}{\Delta t}$) عند تلك النقطة.



الشكل (8-11)

أما عند فتح الدارة، فتتولد في المحث قوة دافعة حثية ذاتية تيارها بنفس اتجاه التيار الأصلي ليقاوم النقصان في التيار. وبذلك فإن التيار الأصلي لا يتلاشى فجأة، وإنما يتم ذلك بالتدريج، كما هو مبين في الشكل (8-11)، ومن المعادلة (8- 8) نلاحظ أن:

$$\varepsilon = L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} + I\,(R + r + \acute{r}\,)$$

وبضرب طرفي المعادلة في (I) نحصل على:

$$I\varepsilon = I\,L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} + I^2\,(R + r + \acute{r}\,)$$

$$I\varepsilon = I\,L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t} + I^2 \sum R$$

حيث ($I\varepsilon$) القدرة الكهربائية التي تزود بها البطارية أجزاء الدارة، و($I^2 \sum R$) القدرة المستنفدة في المقاومات الكهربائية في الدارة، وأما ($I L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t}$ فيمثل القدرة المختزنة في المحث). أي أن:

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = I L_{in} \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

وبإجراء عملية التكامل للطرفين، فإن الطاقة المختزنة في المحث:

$$E = \frac{1}{2} L_{in} I^2 \qquad (8\text{-}10)$$

ولإيجاد الطاقة العظمى المختزنة في ملف حلزوني عندما يمر فيه تيار كهربائي شدته (I)، فإن:

$$E = \frac{1}{2} L_{in} I^2_{\text{نهائي}}$$

ومن المعادلة (7-8) والمعادلة (5-6) ينتج أن: $E = \frac{B^2 AL}{2\mu_\circ}$

حيث: AL = حجم الملف.

مثال (4):

ملف حلزوني محاثته 53 mH ومقاومته 0.35 Ω وصل ببطارية قوتها الدافعة 12 V احسب الطاقة المختزنة فيه عندما تصل قيمة التيار قيمتها العظمى.

الحل:

$$I_{\text{نهائي}} = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{12}{0.35} = 34.3 \text{ A}$$

$$E = \frac{1}{2} L_{in} I^2_{\text{نهائي}} = \frac{1}{2} \times 53 \times 10^{-3} \times 34.3^2 = 31.16 \text{ J}$$

سؤال: ملف حلزوني طوله 50 cm ونصف قطر مقطعه 4 cm إذا كان بداخله مادة نفاذيتها المغناطيسية مثلا النفاذية المغناطيسية للفراغ، وعدد اللفات في وحدة الأطوال منه 12 turn/cm احسب:

1- محاثة الملف.

2- الطاقة المختزنة في المحث عندما يكون التيار (3 A)

7-8 المولد الكهربائي:

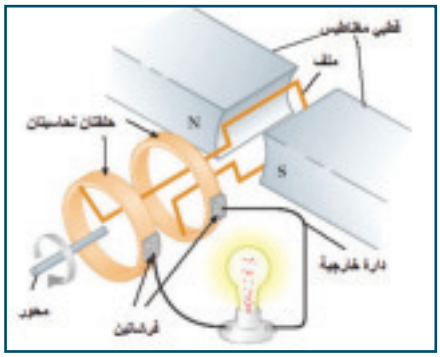
أناقش:

1) ما مصدر إضاءة مصباح دراجتك الهوائية؟

2) ما مصدر الطاقة الكهربائية التي تدير المصانع والأجهزة الكهربائية؟ هل تكفيها الطاقة الكيميائية الموجودة في البطاريات؟

كيف يتولد الجهد المتردد؟

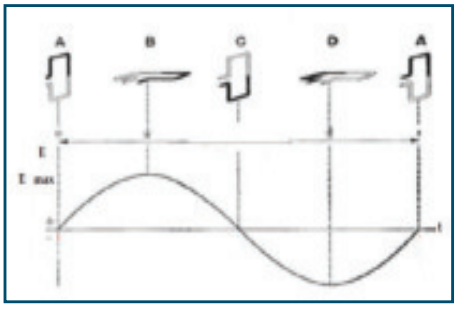
يعدّ المولد الكهربائي من أهم النتائج العملية لقانون فارادي في الحث الكهرومغناطيسي. ويعمل المولد على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية بوجود المجال المغناطيسي، ويبين الشكل (8-12) الأجزاء الرئيسة لمولد التيار المتردد:



الشكل (8-12)

- ملف فلزي يحتوي على عدد من اللفات، ومستطيل معلق بشكل عمودي بين قطبي المغناطيس، قابل للدوران حول محور مثبت في مركزه.
- حلقتان فلزيتان تتصلان بطرفي الملف، وتدوران معه.
- فرشاتان ثابتتان من الجرافيت أو المعدن تعملان على توصيل ملف المولد بالدارة الخارجية.

آلية عمل المولد الكهربائي:



الشكل (8-13)

عندما يبدأ ملف المولد الدوران يبدأ التدفق المغناطيسي $\Phi = B\ A\ \cos\theta$ الذي يعبر الملف بالتغير تبعا لتغير الزاوية المحصورة بين اتجاه خطوط المجال والعمود على مستوى الملف كما في الشكل (8-13). وهذا التغير في التدفق المغناطيسي يحدث في كل لحظة أثناء دوران الملف، فيعمل على توليد قوة دافعة كهربائية حثية لحظية تساوي:

$$\Phi = B\ A\ \cos\theta$$

$$\varepsilon_{ave} = -N\ \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = -N\ \frac{\partial BA\cos\theta}{\partial t} = N\ BA\sin\theta\ \frac{\partial\theta}{\partial t}$$

$$\varepsilon = N\ B\ A\omega\ \sin\theta \qquad (8\text{-}15)$$

حيث إن السرعة الزاوية $\omega = \frac{\partial\theta}{\partial t}$

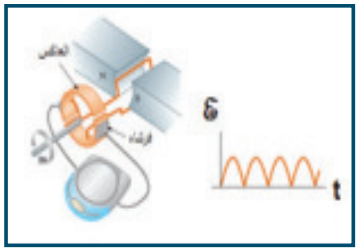
أناقش:

ما القوة الدافعة الكهربائية الحثية العظمى المتولدة في الملف؟
ما الزاوية بين المجال ومستوى الملف عندما تصل القوة الدافعة الكهربائية الحثية إلى قيمتها العظمى؟
ما الزاوية بين المجال ومستوى الملف عندما تصبح القوة الدافعة الكهربائية الحثية صفراً؟
ما الزاوية بين المجال ومستوى الملف عندما تصل القوة الدافعة الكهربائية الحثية إلى نصف قيمتها العظمى؟

وإذا كان طرفا الملف موصولين على التوالي مع عنصر أو جهاز أو مقاومة (R)، فإن التيار الكهربائي المتولد في الدارة يساوي:

$$I = \frac{\varepsilon}{\sum R} \qquad (8\text{-}16)$$

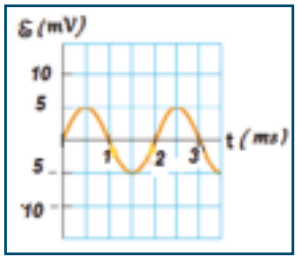
ويلاحظ من المعادلة (15- 8) أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف هي اقتران جيبي.
ومما سبق نلاحظ أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية (التيار الحثي) المتولدة في الملف تكون متغيرة في القيمة والاتجاه، إذ يتغير الاتجاه كل نصف دورة للملف، ويطلق على هذا التيار اسم التيار المتناوب أو المتردد.



الشكل (8-14)

ولتقويم التيار الكهربائي (توحيد اتجاه التيار في الدارة الخارجية) تستبدل الحلقتان النحاسيتان بنصفي حلقة معزولين، وتسمى العاكس، ويعملان على تغيير اتجاه التيار كل نصف دورة كما في الشكل (8-14). وللحصول على تيار كهربائي شدته ثابتة في المقدار تقريباً، يعدل المولد، بحيث يضم عدة ملفات تحصر بينها زوايا ثابتة صغيرة تدور جميعها.

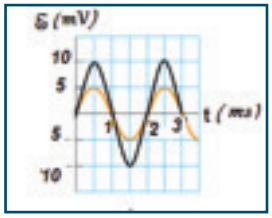
مثال (5):



الشكل (8-15)

يبين الشكل (8-15) القوة الدافعة الحثية المتولدة في ملف عدد لفاته (N) يدور بسرعة زاوية (ω) حول محور دوران ثابت عمودي على اتجاه المجال. ارسم العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف والزمن، وذلك عندما:
1) يتضاعف عدد اللفات.
2) تتضاعف السرعة الزاوية (ω).
3) تتضاعف السرعة الزاوية، ويقل عدد اللفات إلى النصف.

الحل:



الشكل (A)

1) عند مضاعفة عدد اللفات يتضاعف الاتساع، ولا يؤثر في الزمن الدوري كما في الشكل (A).

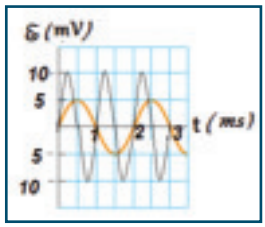
$$\varepsilon = N\,BA\omega \sin\theta$$
$$\varepsilon = (2N)\,BA\omega \sin\omega t$$
$$\varepsilon = 2N\,BA\omega \sin \omega t = 2\varepsilon_{max} \sin \omega t$$

2) عند مضاعفة السرعة الزاوية يتضاعف الاتساع، ويقل الزمن الدوري إلى النصف كما في الشكل (B).

$2\omega = 2\pi\ (2f)$ أي أن الزمن الدوري يقل إلى النصف.

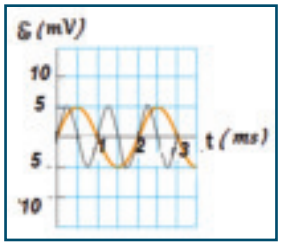
$\varepsilon = N\ BA2\omega \sin \omega t$

$\varepsilon = 2\varepsilon_{max} \sin 2\omega t$



الشكل (B)

3) عند مضاعفة السرعة الزاوية وتقليل عدد اللفات إلى النصف، فإن الاتساع لا يتغير، بينما يقل الزمن الدوري إلى النصف، كما في الشكل (C).



الشكل (C)

$$\varepsilon = \frac{1}{2} N\ BA2\omega \sin 2\omega t$$

أي أن الزمن الدوري يقل إلى النصف (يتضاعف التردد).

$$\varepsilon = N\ BA\omega \sin 2\omega t$$

سؤال: مولد كهربائي ملفه على هيئة مستطيل، أبعاده cm (50، 40)، وعدد لفاته 100 لفة، يدور حول محور متعامد مع مجال مغناطيسي شدته 0.2 T، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية العظمى المتولدة فيه 200 V، احسب:

1 - السرعة الزاوية للملف.

2 - القوة الدافعة الكهربائية الحثية عندما تكون الزاوية المحصورة بين مستوى الملف والمجال المغناطيسي 60°.

أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات الآتية:

1. أي الآتية لا تعدّ وحدة لقياس معامل الحث؟

أ- $\Omega.s$. ب- A/J ج- J/A^2 د- Tm^2/A

2. أي الآتية يعدّ تطبيقاً على الحث؟

أ- الجلفانوميتر ب- الفولتميتر ج- المحرك الكهربائي د- المولد الكهربائي

3. ملف عدد لفاته 50 لفة، ومقدار التدفق المغناطيسي خلاله 5 mWb، عندما يمر به تيار شدته 2 A، فما محاثة هذا الملف؟

أ- 125 m H ب- 125 H ج- 20 mH د- 20 H

4. ما القدرة الداخلة عبر محث في دارة محث ومقاومة على التوالي، وذلك بعد فترة كافية من إغلاق الدارة؟

أ- صفر ب- أكبر ما يمكن ج- نصف قيمتها العظمى د- ربع قيمتها العظمى

5. عند زيادة معامل الحث الذاتي في دارة محث ومقاومة على التوالي، فأي الآتية صحيحة؟

أ- القيمة النهائية للتيار تقل. ب- القيمة النهائية للتيار تزداد.

ج- معدل نمو التيار يقل. د- معدل نمو التيار يزداد.

6. ما التغير الذي يحدث لكل من القوة الدافعة الكهربائية الحثية والزمن الدوري على الترتيب، عند زيادة سرعة دوران المولد؟

أ- تزداد، يقل ب- تقل، يقل ج- تقل، يزيد د- تزداد، يزداد

س2: وضح المقصود بكل من:

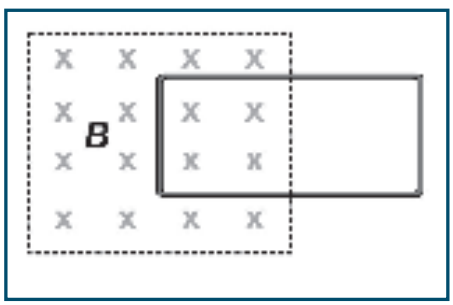
الحث الكهرومغناطيسي، وقاعدة لنز، والهنري.

س3: علل: لا يصل التيار قيمته النهائية لحظة إغلاق دارة محث مقاومة.

س4: في الشكل المجاور حدد اتجاه التيار الحثي في الحلقة:

1- لحظة سحبها لليمين بسرعة ثابته.

2- لحظة ازدياد شدة المجال المغناطيسي.



س5: ملف مستطيل أبعاده 40 cm، 20 cm مكون من 180 لفة، يدور بمعدل 50 rev/s حول محور مواز لطوله في مجال مغناطيسي شدته 0.05 T، إذا بدأ الملف الدوران من موضع كان فيه مستواه عموديا على خطوط المجال أوجد:

أ- السرعة الزاوية للملف.

ب- القوة الدافعة الكهربائية العظمى المتولدة في الملف.

ج- متوسط القوة الدافعة الحثية خلال دوران الملف ربع دورة من الوضع الابتدائي.

س6: ملف معامل الحث الذاتي له 0.1 H، وصل ببطارية قوتها الدافعة 60 V، فإذا كانت مقاومة الدارة 20 Ω، أوجد ما يأتي:

١. القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة لحظة إغلاق الدارة.

٢. معدل نمو التيار لحظة إغلاق الدارة.

٣. القيمة العظمى للتيار في الدارة.

٤. معدل نمو التيار عندما تصبح قيمة التيار ثُلث قيمته العظمى.

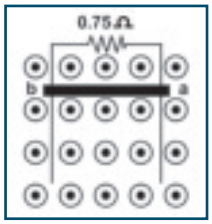
س7: مجال مغناطيسي شدته 0.2 T عمودي على مستوى ملف مكون من 500 لفة مساحة اللفة الواحدة $100\ cm^2$، احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة:

1- عند إخراج الملف من المجال المغناطيسي خلال 0.1s

2- عندما ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي خلال 0.2s

س8: ملف حلزوني به (600) لفة، ومساحة مقطعه ($4 \times 10^{-4}\ m^2$) قلبه من الحديد حيث μ للحديد تساوي $22\pi \times 10^{-4}\ T.m/A$، ومعامل حثه الذاتي (0.50 H)، ويمر به تيار شدته (0.50 A)، أوجد:

- طول الملف.
- متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف إذا انعدم التيار المار فيه خلال (0.25 s).



س9: موصل كتلته 0.15 kg وطوله 1 m ينزلق تحت تأثير وزنه للأسفل بسرعة ثابتة 2 m/s في مستوى رأسي على سكة موصلة في مجال مغناطيسي منتظم عمودي على الصفحة للخارج، فما شدة المجال المغناطيسي، ومقدار واتجاه التيار الحثي؟

أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

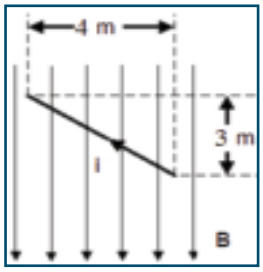
1. إذا تحرك جسيم مشحون عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم فإن جميع ما يلي صحيحاً ما عدا ؟

أ- يتأثر بقوة مغناطيسية. ب- تتغير مقدار سرعة الجسيم.

ج- يتغير زخمه الخطي. د- يتحرك بمسار دائري.

2. أي من الآتية يمثل وحدة شدة المجال المغناطيسي؟

أ- $C.m/s$ ب) $C.s/m$ ج- $kg/C.s$ د- $N/m.s$



3. يبين الشكل المجاور سلكاً يسري فيه تيار كهربائي شدته (10 A) موضوع في مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.01 T). ما مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في السلك بوحدة نيوتن؟

أ- (0.3) ب- (0.4)

ج- (0.5) د- (1)

4. يتحرك أيون يحمل شحنة موجبة مقدارها (3.2×10^{-19} C) في منطقة مجالين متعامدين: كهربائي وشدته (5×10^4 V/m)، ومغناطيسي شدته (0.8 T). إذا كان تسارع هذا الايون يساوي صفراً، فما مقدار سرعته بوحدة (m/s) ؟

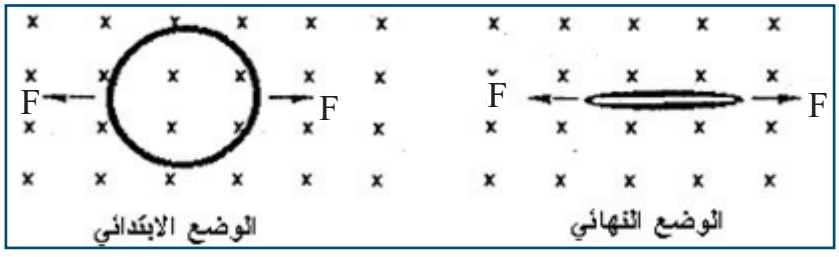
أ- صفر ب- 1.6×10^4 ج- 4×10^4 د- 6.3×10^4

5. تقاس القوة الدافعة الكهربائية الحثية بوحدة:

أ- $T.m^2/s$ ب- $V.m/s$ ج- T/s د- V/s

6. يبين الشكل المجاور حلقة معدنية مرنة نصف قطرها (15 cm)، ومقاومتها (4 Ω)، موضوعة في مستوى عمودي على خطوط مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) مبتعد عن الناظر. إذا شدت الحلقة من منتصفيها بقوتين متساويتين ومتعاكستين حتى تلاشت مساحتها خلال زمن قدرة (0.3 s)، فما مقدار متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة فيها بوحدة الفولت؟

أ- 0.12 ب- 0.018 ج- 1.8 د- 0.059



7. سلك مستقيم موضوع في مجال مغناطيسي منتظم، حيث طوله عمودي على المجال كي يتولد قوة دافعة حثية في السلك يجب تحريكه في اتجاه:

أ- يوازي كلا من طوله واتجاه المجال المغناطيسي.

ب- يوازي طوله وعمودي على المجال المغناطيسي.

ج- عمودي على كل من طوله واتجاه المجال المغناطيسي.

د- عمودي على السلك وموازٍ للمجال.

8. أي من الآتية لا تعتمد عليه محاثة الملف الحلزوني؟

أ- طوله ب- عدد اللفات ج- شدة التيار د- مساحة مقطعه

9. إحدى الكميات الآتية تكون قيمتها العظمى لحظة إغلاق دارة حث ذاتي:

أ- القوة الدافعة الحثية الذاتية ب- التيار الكهربائي

ج- الطاقة المغناطيسية المختزنة في المحث د- التدفق المغناطيسي

10. ما وحدة قياس التدفق المغناطيسي

أ- Wb/m^2 ب- $T.m^2$ ج- $T.m$ د- T/m

11. ملف حلزوني يمر فيه تيار كهربائي، تم تقسيمه إلى جزأين بنسبة طولية 1:2، ما شدة المجال B_1: B_2 على محوريهما؟

أ) 1 :2 ب) 2 :1 ج)1:1 د)1: 4

12. الأثر الذي يحدثه المجال المغناطيسي على الجسيمات المشحونة داخل المسارع النووي:

أ- تسريعها ب- إكسابها طاقة حركية ج- توجيهها د- إبطاؤها

13. التردد الزاوي ω لجسيم مشحون يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم يعطى بالعلاقة:

أ) $\frac{v}{R}$ ب) $\frac{qm}{R}$ ج) $\frac{R}{v}$ د) $\frac{mv}{q}$

س2: أ- ما مبدأ عمل: المولد الكهربائي؟

ب- قارن بين:

- وظيفة المجال الكهربائي في كل من: السيكلترون، ومنتقي السرعات.
- وظيفة المجال المغناطيسي في كل من: السيكلترون، ومنتقي السرعات.

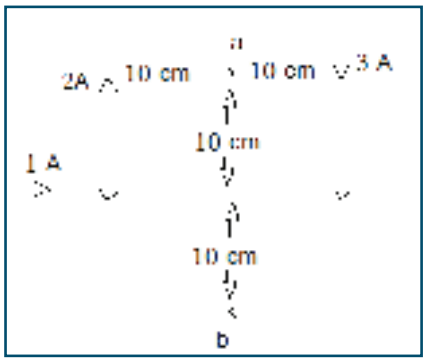
س3: أ- علل ما يأتي:

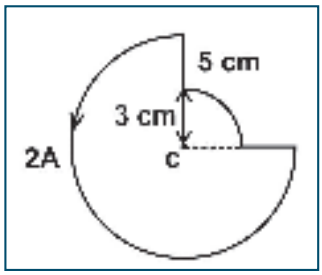
1- لا تنحرف الجسيمات المشحونة عند دخولها منتقي السرعات بسرعة $v = \frac{E}{B}$

2- لا يستخدم قانون أمبير لاشتقاق المجال المغناطيسي في مركز ملف دائري.

ب- عرف كلا من: التسلا، وخط المجال المغناطيسي، والويبر، والأمبير.

س4: احسب مقدار واتجاه شدة المجال المغناطيسي في النقطتين (a)، (b).





س5: يمثل الشكل المجاور سلكاً يسري فيه تيار كهربائي شدته (2 A) في الاتجاه المبين. ما شدة المجال المغناطيسي عند النقطة (c) المبينة في الشكل؟

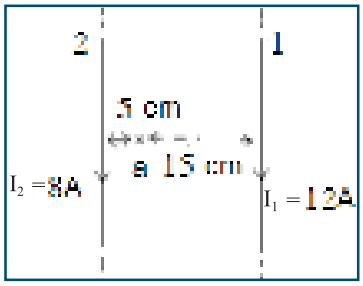
س6: يتسارع بروتون من السكون خلال فرق جهد مقداره (1000 V)، ثم يدخل مجالاً مغناطيسياً شدته 0.04 T بشكل عمودي على خطوط المجال المغناطيسي. إذا علمت أن كتلة البروتون $(1.67 \times 10^{-27}\,kg)$، وشحنته $1.6 \times 10^{-19}\,C$ أوجد:

أ- نصف قطر مسار البروتون.
ب- الزمن الدوري له.
ج- تردد حركة البروتون.
د- التردد الزاوي لحركة البروتون.

س7: قذف جسيم مشحون عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم، فاتخذ مساراً دائرياً. أجب عما يأتي:

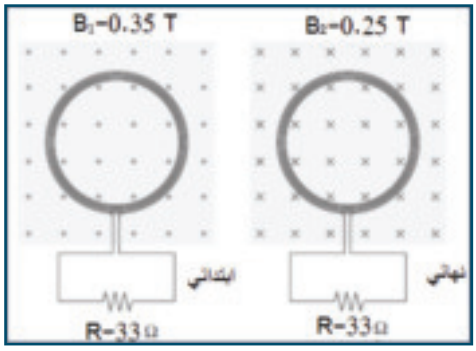
1) فسر اتخاذ الجسيم مساراً دائرياً.
2) هل يبذل المجال المغناطيسي شغلاً على الجسيم المشحون؟ فسر إجابتك.
3) ماذا يحدث لنصف قطر المسار الدائري في الحالتين الآتيتين:

أ- إذا أصبحت سرعة الجسيم المشحون مثلي ما كانت عليه.
ب- إذا أصبحت شدة المجال المغناطيسي مثلي ما كانت عليه.

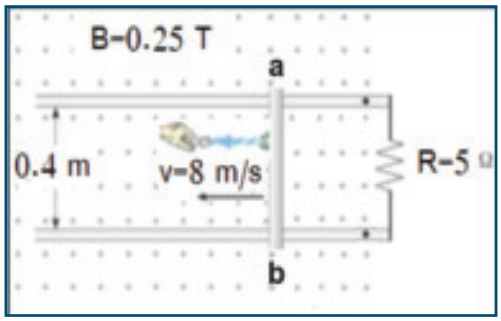


س8: يبين الشكل، سلكين لا نهائيين طويلين جدا المسافة بينهما (20 cm)، جد:

أ. القوة المتبادلة بينهما لوحدة الأطوال.
ب. شدة المجال المغناطيسي الكلي عند النقطة (a) التي تبعد (15 cm) عن السلك الأول، (5 cm) عن السلك الثاني.
ج. بعد النقطة التي تنعدم فيها شدة المجال المغناطيسي عن أحد السلكين.



س9: يبين الشكل المجاور، ملفاً دائرياً قطره (12 cm) وعدد لفاته (200) لفة، موصول بطرفي مقاومة مقدارها (33 Ω)، وموضوع في مستوى عمودي على مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.35 T) يتجه نحو الناظر. إذا انعكس اتجاه المجال المغناطيسي، وتغيرت شدته إلى (0.25 T) خلال زمن (0.5 s)، فما مقدار شدة التيار الحثي المار في المقاومة R؟

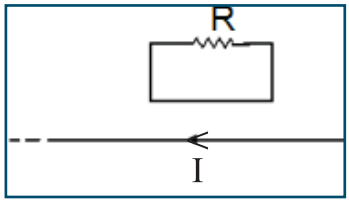


س10: في الشكل المجاور، تسحب قوة خارجية موصلاً a b طوله (0.4 m) بسرعة ثابتة مقدارها (8 m/s) باتجاه محور السينات السالب، عمودياً على خطوط مجال مغناطيسي منتظم شدته (0.25 T) يتجه نحو الناظر. أجب عما يأتي:

أ- ما مقدار القوة الدافعة الحثية المتولدة فيه؟

ب- ما اتجاه التيار الحثي المتولد فيه؟

ج- ما مقدار قوة السحب اللازمة لتحريك الموصل بسرعة ثابتة؟



س11: بين اتجاه التيار الحثي المار في المقاومة (R) المبينة في الشكل المجاور عندما:

أ- ينعدم التيار فجأةً في السلك.

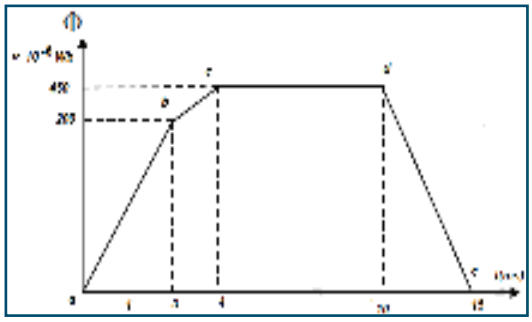
ب- يزداد التيار تدريجياً في السلك.

ج- عندما تبتعد الحلقة عن السلك لأعلى بسرعة ثابتة.

س12: ملف حلزوني معامل حثه الذاتي (0.25 H). ما مقدار معامل حثه الذاتي إذا:

أ- ضغط الملف ليقل طوله إلى ثلث ما كان عليه مع ثبات عدد اللفات.

ب- أنقص عدد لفاته إلى الربع دون تغيير طوله.



س13: يتغير التدفق المغناطيسي خلال ملف مكون من 1000 لفة حسب المنحنى في الشكل المجاور، أوجد:

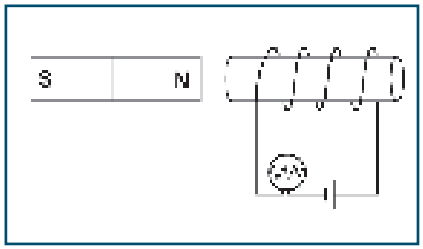
أ. القوة الدافعة الحثية المتوسطة في كل مرحلة من مراحل تغير التدفق.

ب. مثل بيانيا العلاقة ين القوة الدافعة الحثية والزمن.

س14: ملف حلزوني طوله 10 cm مكون من 800 لفة مساحة مقطعه $20\ cm^2$ يحمل تيار 3 A إذا تلاشى تياره خلال 0.4 s، احسب:

أ- محاثة الملف.

ب- متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة.



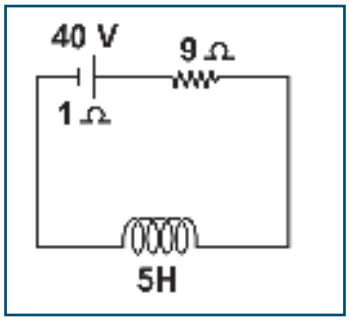
س15: ملف حلزوني، يتصل مع مصباح كهربائي وبطارية، وبالقرب منه مغناطيس قوي. ما التغيرات التي تطرأ على درجة سطوع المصباح في كل من الحالات الآتية:

أ- إذا قُرِّبَ المغناطيس نحو الملف.

ب- إذا تحرك الملف والمغناطيس يميناً بنفس السرعة.

س16: ملف عدد لفاته 100 لفة وأكبر تدفق مغناطيسي يخترقه 0.01 Wb، بدأ الدوران في مجال مغناطيسي منتظم من وضع كان فيه المجال المغناطيسي عمودياً على مستوى الملف، إلى وضع أصبح فيه موازياً لمستوى الملف خلال وضعين متتاليين، فكان متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف 200 V، فما القوة الدافعة الكهربائية الحثية العظمى؟

س17: بالاعتماد على البيانات على الشكل، وعندما تكون القوة الدافعة الحثية في الدارة مساوية 25% من قيمتها العظمى، احسب عند تلك اللحظة:



أ- معدل نمو التيار

ب- الطاقة المختزنة في المحث

ج- فرق الجهد بين طرفي المحث

د- القدرة المختزنة في المحث

س18: مولد كهربائي عدد لفات ملفه 50 لفة، ومتوسط مساحة اللفة الواحدة $0.04\ m^2$ يدور حول محور متعامد مع مجال مغناطيسي منتظم، حيث زمن الدورة الواحدة 0.1s فتولد به قوة دافعة حثية عظمى $30\ \pi$ V،

أولاً- احسب:

أ. المجال المغناطيسي المؤثر.

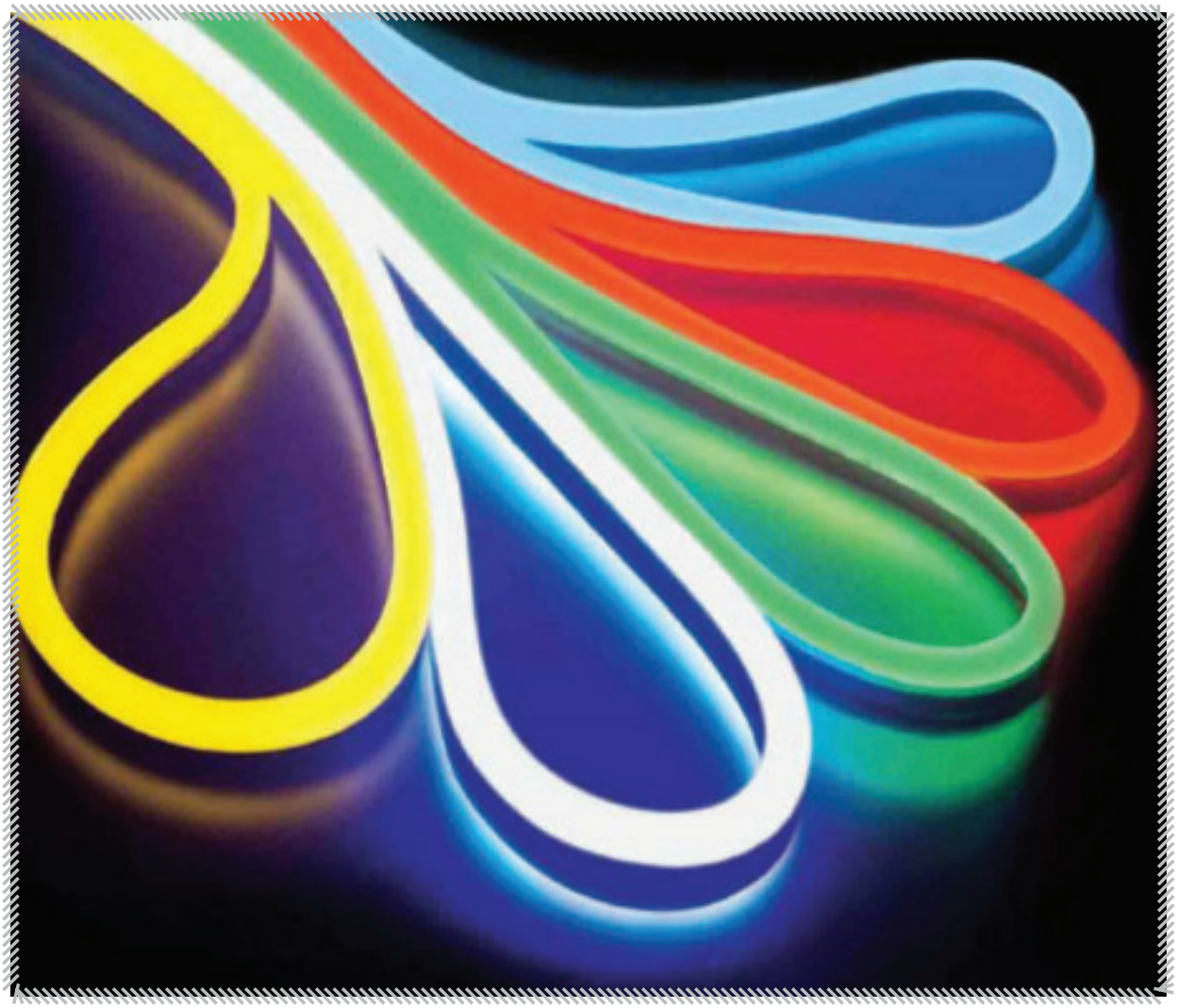
ب. القوة الدافعة المتولدة في الملف بعد 0.0125 s من بدء الحركة حيث كان مستواه معامد للمجال.

ثانياً- ارسم خطاً بيانياً يوضح تغيرات القوة الدافعة المتولدة في الملف مع الزمن خلال دورة واحدة للملف.

س19: اقرأ كل عبارة من الآتية ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
١	أستطيع تعريف المفاهيم الجديدة التي تعلمتها في هذه الوحدة.			
٢	أستطيع حل المسائل بسهولة في هذه الوحدة.			
٣	أستطيع تفسير الظواهر والتطبيقات في هذه الوحدة.			

الوحدة الرابعة: الفيزياء الحديثة Modern Physics



نشاهد توهج لوحات الإعلانات بألوان مختلفة على أبواب المحلات التجارية وعلى الطرقات، فما السبب في ذلك؟

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الفيزياء الحديثة في حل مسائل تتعلق بنظرية الكم وبنية النواة والإشعاع النووي من خلال تحقيق الآتي:

- تفسير بعض الظواهر الفيزيائية التي عجزت الفيزياء الكلاسيكية عن تفسيرها.
- تفسير النماذج الذرية وتركيب الذرة.
- دراسة ظاهرة النشاط الإشعاعي وأنواع الإشعاعات.
- تقدير جهود العلماء في اكتشاف القوانين الفيزيائية التي تفسر بعض الظواهر.

نظرية الكم Quantum Theory

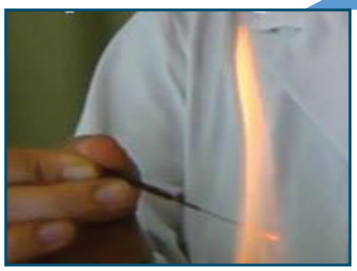
إن الفيزياء الكلاسيكية التي درست حركة الأجسام، ووضعت النظريات والقوانين التي سمحت لها بتفسير كثير من الظواهر الطبيعية من حركة الأجسام المنتظمة والمتسارعة إلى حركة الكواكب وغيرها؛ من الظواهر التي كانت معروفة في ذلك الوقت، ومع بداية القرن العشرين ظهر عجز الفيزياء الكلاسيكية عن تفسير بعض الظواهر مثل: إشعاع الجسم الأسود، والظاهرة الكهروضوئية، وانبعاث خطوط الطيف وغيرها؛ مما دفع العلماء إلى التفكير بطرق جديدة في تفسير هذه الظواهر، التي أسهمت في بناء الفيزياء الحديثة التي تعالج العالم المجهري. فمن هم العلماء الذين وضعوا هذه النظريات؟ وما أهم النظريات في الفيزياء الحديثة؟ وما الأساس الذي تم الاعتماد عليه في هذه النظريات؟

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الفيزياء الحديثة ونظرية الكم في حل مسائل متعلقة في ظاهرة إشعاع الجسم الأسود وظاهرة التأثير الكهروضوئي وبعض التطبيقات العملية عليه من خلال تحقيق الآتي:

- التعرف إلى نظرية الكم.
- تفسير الظاهرة الكهروضوئية.
- دراسة تطور النماذج الذرية.
- تفسير الأطياف الذرية بدلالة نموذج بور لذرة الهيدروجين.
- توضيح المقصود بمبدأ اللايقين.
- حل مسائل متنوعة على القوانين والعلاقات الرياضية.

1-9 إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation

نشاط (1-9): ألوان التوهج



المواد والأدوات: موقد، وإبرة فلزية رفيعة، وملقط خشبي.

الخطوات: قم بتسخين الإبرة على اللهب، ولاحظ التدرج في ألوان التوهج الصادر عنها مع الاستمرار بعملية التسخين.

- وضح تسلسل ألوان التوهج الصادرة عن الإبرة.
- ما سبب اختلاف لون التوهج؟

أناقش:

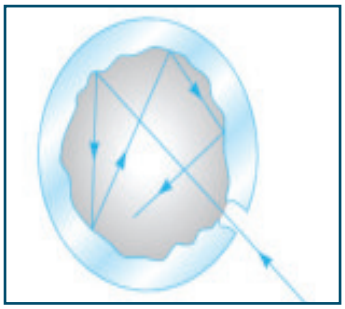
- ما المقصود بالطبيعة المزدوجة للضوء؟
- رتب ألوان الطيف المرئي تنازلياً من حيث طول الموجة؟
- لماذا يظهر الجسم أسود؟

الشكل (1-9)

نشاهد اختلاف التوهج في كثير من التطبيقات الحياتية مثل ماكينة اللحام، كما في الشكل (1-9).

من المعروف أن الجسم الساخن يصدر حرارة، وينبعث منه أشعة كهرومغناطيسية تسمى الإشعاع الحراري، وأن شدة الإشعاع الحراري للجسم الساخن تعتمد على درجة حرارته وعلى نوع مادته، كما أن الجسم الساخن يتخذ لوناً معيناً وفقاً لدرجة حرارته، مثل الضوء المنبعث من مصابيح التنجستن.

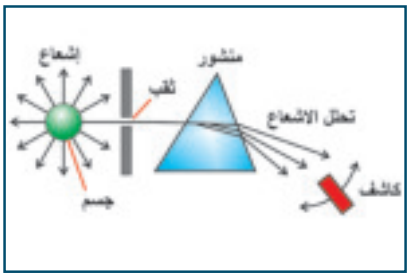
ولتسهيل دراسته قام العالم كيرتشوف بافتراض وجود جسم أسود مثالي يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه عندما يكون بارداً، ويشع الضوء عندما يسخن على شكل طيف متصل من الأطوال الموجية أو الترددات المختلفة، ويمكن تمثيل الجسم الأسود المثالي بصندوق مجوف له ثقب صغير، فإذا سقط شعاع إلى داخل الصندوق من خلال الثقب، فإن الشعاع ينعكس عدة انعكاسات داخلية على جدران الصندوق الداخلي؛ حتى يتم امتصاصه بالكامل كما في الشكل (2-9).



الشكل (2-9)

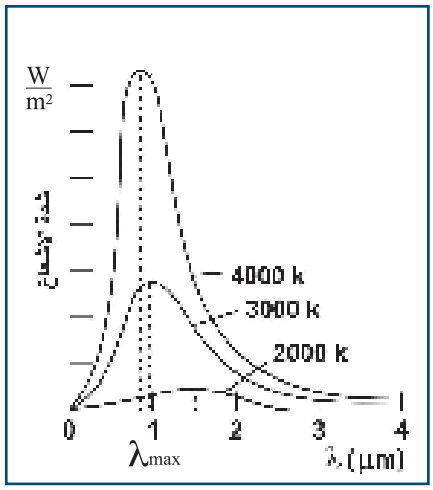
لا شك أن ظاهرة إشعاع الجسم الأسود نلاحظها في حياتنا اليومية، فعند تسخين جسم ما مثل الحديد نلاحظ أن الجسم عندما ترتفع حرارته يبدأ في إشعاع لون قريب من اللون الأحمر، عندها تكون درجة حرارة الجسم تقارب 700 درجة سلسيوس، ثم بزيادة الحرارة يتحول إلى اللون البرتقالي، وهكذا حتى يصل إلى اللون الأبيض، الذي يدل على أن الجسم وصل إلى درجة حرارة 1200 درجة سلسيوس، كما في فتيلة المصباح الكهربائي التي تعطي الضوء الأبيض.

إن طبيعة الإشعاع الصادر عن الجسم الأسود المثالي يعتمد فقط على درجة حرارة الجسم، وليس على المادة المصنوع منها جدران التجويف.
لدراسة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود عند درجة حرارة معينة نستخدم كاشفاً يقيس علاقة شدة الإشعاع بالطول الموجي، كما في الشكل (9-3)،



الشكل (9-3)

ومن ثم نرسم النتائج بيانياً فنحصل على المنحنى الموضح بالشكل (9-4)، الذي يوضح كيفية تغير شدة إشعاع الجسم الأسود مع درجة الحرارة والطول الموجي، وذلك عند ثلاث درجات حرارة مختلفة.
ومن نتائج التجارب العملية وجد أن الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود له طيف متصل، واعتماداً على الرسم البياني يلاحظ ما يأتي:
1- أن هناك توزيعاً معيناً لشدة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود كاقتران في الطول الموجي، حيث تؤول شدة الإشعاع إلى الصفر في منطقة الأمواج القصيرة والأمواج الطويلة.
2- ينزاح طول موجة الإشعاع القصوى نحو اليسار باتجاه الطول الموجي الأقصر، وذلك بارتفاع درجة الحرارة.



الشكل (9-4)

وقد توصل العالم فين إلى قانون سمي باسمه (قانون فين للإزاحة) الذي ينص على: (يتناسب الطول الموجي لشدة الإشعاع القصوى عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة) أي بازدياد درجة الحرارة تنزاح القمة نحو الأطوال الموجية القصيرة، وتفسر هذه العلاقة اختلاف لون الوهج الذي ينبعث من الجسم باختلاف درجة حرارته.

$$\lambda_{max}\, T = 2.898\times10^{-3}\ m.K^{\circ} \qquad (9\text{-}1)$$

حيث : λ_{max}: الطول الموجي الذي تكون عنده شدة الإشعاع أكبر ما يمكن، وتقاس بالمتر.
T: درجة الحرارة المطلقة بوحدة كلفن

سؤال: أي الإشعاعات الشمسية تسبب حرقاً أكثر لجلد الإنسان؟ (الأشعة تحت الحمراء، أم الضوء المرئي، أم الأشعة فوق البنفسجية). ولماذا؟

3- تزداد القيمة القصوى للإشعاع المنبعث بزيادة درجة الحرارة.
وقد تم توضيح هذا التأثير بوساطة **قانون ستيفان- بولتزمان**

$$I = \sigma\, eT^{4} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث I: شدة الإشعاع هي الطاقة الكلية المشعة من المتر المربع الواحد من سطح الجسم في الثانية الواحدة.

$$I = \frac{\text{معدل طاقة الإشعاع}}{\text{المساحة}}$$

$$I = \frac{p}{A} \qquad (9\text{-}3)$$

وتقاس شدة الإشعاع بوحدة W/m^2

σ: ثابت ستيفان بولتزمان ويساوي $5.670 \times 10^{-8}\ W/m^2\ K^4$

e: ثابت إشعاعية السطح حيث قيمة e تتغير بين الصفر والواحد الصحيح اعتماداً على خواص سطح الجسم، وتكون للسطوح الخشنة أكبر منها للسطوح الملساء، وقيمة e للجسم الأسود المثالي =1.

مثال (1):

جسم أسود مثالي درجة حرارة سطحه 27°C، فما:

1) طول موجة الإشعاع القصوى؟

2) شدة إشعاع الجسم الأسود؟

3) معدل الطاقة المنبعثة من $2m^2$؟

الحل:

1) $\lambda_{max}\, T = 2.898 \times 10^{-3}$

$\lambda_{max}\,(27 + 273) = 2.898 \times 10^{-3}$

$\lambda_{max} = 9.66 \times 10^{-6} m$

2) $I = \sigma\, eT^4$

$I = 5.670 \times 10^{-8}\,(1)\,300^4$

$I = 459.27\ W/m^2$

3) $I = \frac{p}{A}$

$459.27 = \frac{p}{2}$

معدل طاقة الإشعاع $= 918.54\ W$

a-1-9 الفيزياء الكلاسيكية وإشعاع الجسم الأسود
Classical Physics and Blackbody Radiation

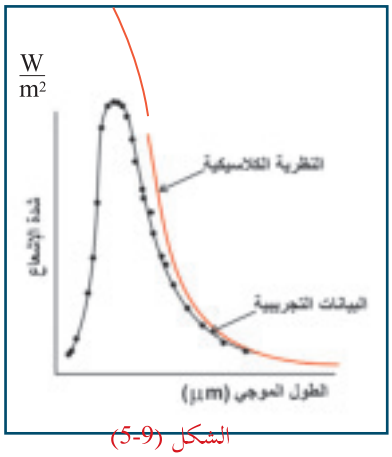
كيف فسرت الفيزياء الكلاسيكية ظاهرة إشعاع الجسم الأسود؟ وهل نجحت في ذلك؟

لقد حاول العلماء تفسير النتائج التجريبية التي نتجت عن دراسة إشعاع الجسم الأسود باستخدام النظرية الموجية الكلاسيكية التي طورها العالم ماكسويل، التي تَعدّ أن الضوء عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية، وأثبتت نجاحها في كثير من الظواهر، وقد قام العالمان رايلي وجينز استناداً إلى نظرية ماكسويل بوضع نظرية لتفسير ظاهرة إشعاع الجسم الأسود، وافترضا أن الجسم الأسود مكون من عدد كبير من المتذبذبات المشحونة (الجزيئات المهتزة) التي تتحرك حركة توافقية بسيطة مطلقة أشعة كهرومغناطيسية أثناء حركتها،

وأن طاقة المتذبذبات المشحونة، التي هي سبب انبعاث الإشعاع من المادة، مسموح لها أن تأخذ أية قيمة، وبذلك يكون الإشعاع المنبعث أو الممتص سيلا مستمرا ومتصلا، وأن التوزيع الطيفي لإشعاع الجسم الأسود يكون على الصورة:

$$I = \text{constant}\ \frac{T}{\lambda^4}$$

سؤال: ما وحدة الثابت في قانون رايلي وجينز؟



الشكل (9-5)

حيث تربط العلاقة بين شدة الإشعاع والطول الموجي، وتنص على أن: شدة الإشعاع المنبعث لكل وحدة طول موجي تتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة، وعكسياً مع القوة الرابعة للطول الموجي.

من خلال الشكل (9-5) يمكن المقارنة بين النتائج العملية لإشعاع الجسم الأسود والنتائج النظرية، فعند الأطوال الموجية الطويلة يكون قانون رايلي وجينز على اتفاق مع النتائج العملية، ولكن عند الأطوال الموجية القصيرة يتضح عدم الاتفاق، فعندما تقترب λ (الطول الموجي) من الصفر فإن شدة الإشعاع ستقترب من اللانهاية، وهذا يناقض النتائج العملية التي تبين أنه عندما تقترب λ (الطول الموجي) من الصفر، فإن شدة الإشعاع تقترب من الصفر أيضا، هذا التناقض بين النتائج النظرية والعملية سمي كارثة الأشعة فوق البنفسجية؛ لأنها تقع في منطقة الأمواج القصيرة.

b-1-9 نظرية الكم Quantum Theory

سؤال: كيف فسر بلانك كارثة الأشعة فوق البنفسجية؟

في عام 1900 م تمكن بلانك من تفسير منحنى إشعاع الجسم الأسود، فقد افترض بلانك أن إشعاع الجسم الأسود ناتج عن متذبذبات كهربائية، وتجويف الجسم الأسود يتكون من عدد كبير من المتذبذبات التي تتذبذب بترددات مختلفة، وهذه المتذبذبات تمتلك قيماً محددة من الطاقة، تعتمد على التردد، وطاقتها تحسب من العلاقة:

$$E = n\ h\ f \qquad (9\text{-}4)$$

حيث E: طاقة الكمة، وتقاس بالجول (J)، وغالبا ما تستخدم وحدة الإلكترون فولت (eV) لحساب طاقة الكمة حيث $1\ eV = 1.6 \times 10^{-19}\ J$

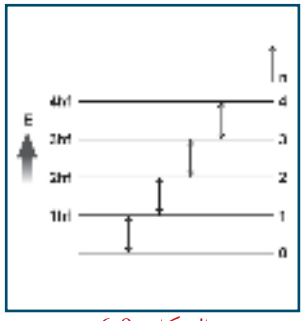
n: عدد صحيح موجب يعرف بالعدد الكمي (number Quantum) n = 1,2,3,.....

h: مقدار ثابت، ويعرف بثابت بلانك، وتم التوصل إلى قيمته من خلال التجارب العملية، ويساوي $6.626 \times 10^{-34}\ J.s$

f: تردد الجسم المهتز، ويقاس بوحدة الهيرتز (Hz)

كما افترض أن المتذبذبات تبعث أو تمتص الطاقة فقط، عندما تنتقل من مستوى طاقة مكماة إلى أخرى، ومقدار الطاقة يساوي مقداراً محدداً، وهو الفرق بين طاقة المستويين، فإذا كان الانتقال من أحد المستويات إلى مستوى أدنى (من المستوى n = 3 إلى المستوى n = 2) فإن كمية الطاقة المنبعثة تعطى بالعلاقة:

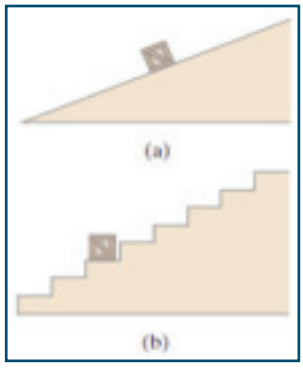
$$\Delta E = h f \qquad (9\text{-}5)$$



الشكل (9-6)

ويبين الشكل (9-6) مستويات الطاقة المكماة والانتقالات المسموحة المقترحة بوساطة بلانك .

ولتوضيح هذه الفرضيات، لنفرض أن جسماً موضوعاً على سطح مائل، فإن طاقة وضع هذا الجسم تأخذ أية قيمة بناءً على ارتفاعها عن سطح الأرض. بينما الجسم الموضوع على سطح درج، فإن طاقة وضعه تأخذ قيماً محددة (متقطعة) كما في الشكل (9-7).



الشكل (9-7)

استطاع بلانك بناء على تكمية الطاقة تخطي كارثة الأشعة فوق البنفسجية، وقد تطابقت افتراضاته مع النتائج التجريبية لإشعاع الجسم الأسود، حيث ينبعث الإشعاع من الجسم الساخن نتيجة تذبذبات ذراته، على شكل كمات محددة من الطاقة، يعتمد مقدارها على تردد تذبذبات الذرة. وعند درجة الحرارة الواحدة لا تهتز الذرات جميعها بالتردد نفسه، وعليه فلا توجد ذرات كثيرة تتذبذب بترددات عالية أو ترددات منخفضة، وهذا ما يفسر نقصان الطاقة في منطقة الأطوال الموجية القصيرة والطويلة، أما الجزيئات ذات الترددات المتوسطة فتكون كثيرة؛ وهذا ما يفسر ارتفاع شدة الطاقة عند هذه الترددات.

2-9 تكميم الضوء Light Quantization

كان فرض بلانك قائما على أساس تكمية الطاقة للمتذبذبات، وهي أن الذرات تمتص الطاقة (الإشعاع) على شكل حزم، ولم يذكر أن الإشعاع بحد ذاته يوجد على شكل حزم، إنما تمتصه الذرات فقط على شكل حزم، وبعد خمس سنوات من نظرية بلانك أي في عام 1905م استطاع آينشتاين تطبيق مفهوم الطاقة المكماة على أمواج الضوء الكهرومغناطيسية أيضاً، حيث أثبت:

أن الطاقة الضوئية تمتص أو تشع بوحدات منفصلة تسمى كمات نتيجة انتقال الإلكترون من مدار إلى مدار آخر، وتسمى هذه الكمات **بالفوتونات**، ولكل فوتون تردده الخاص، وتحسب طاقته من المعادلة:

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda} \qquad (9\text{-}6)$$

حيث E: طاقة الفوتون

λ: الطول الموجي

c: سرعة الضوء في الفراغ وتساوي (3×10^8 m/s)

وهذا يعني أن الإشعاعات الصادرة من الجسم الأسود ليست إشعاعات مستمرة، وإنما هي عبارة عن مجموعة من الفوتونات، ولكل فوتون طاقة تعتمد على التردد.

وقد استخدم آينشتاين فكرته هذه في تفسير ظاهرة أخرى حيرت الفيزيائيين، وهي ظاهرة التأثير الكهروضوئي التي سنناقشها فيما بعد.

مثال (2):

احسب الطاقة بوحدة الجول والإلكترون فولت لفوتون الضوء الأحمر وطوله الموجي 635 nm

الحل:

$$E = hf = h\frac{c}{\lambda}$$

$$E = 6.626 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^{8}}{6.35 \times 10^{-7}} = 3.13 \times 10^{-19}\ J$$

$$E = \frac{3.13 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.96\ eV$$

مثال (3):

في طيف الإشعاع الشمسي فوتون طاقته (2.7 eV)، ما تردد الفوتون؟

الحل:

$$E = hf$$

$$2.7 \times 1.6 \times 10^{-19} = 6.626 \times 10^{-34}\ x$$

$$= 6.6 \times 10^{14}\ Hz$$

3-9 ظاهرة التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect

نشاط (9-2): الظاهرة الكهروضوئية

المواد والأدوات: كشاف كهربائي، وساق أبونايت، وقطعة من الصوف، وقطعة مستطيلة الشكل من الخارصين، ومصباح ضوئي، ومصباح فوق بنفسجي.

الخطوات:

1- صل قطعة الخارصين بقرص الكشاف.

2- اشحن ساق الأبونايت عن طريق دلكه بقطعة الصوف، (ما نوع الشحنة المتولدة عليه؟)

3- قرّب الساق من قطعة الخارصين، ولاحظ انفراج ورقتي الكشاف، ما نوع الشحنة على الخارصين؟

4- المس قرص الكشاف لتنطبق ورقتاه، ثم سلط المصباح الضوئي على قطعة الخارصين، ماذا تلاحظ؟

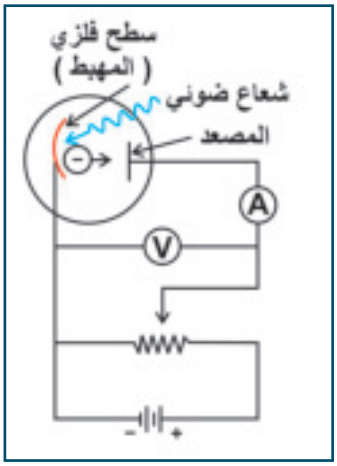
5- سلط أشعة المصباح فوق البنفسجية على قطعة الخارصين، ولاحظ انفراج ورقتي الكشاف.

ماذا حدث عندما تم تسليط الأشعة على لوح الخارصين؟ ماذا تستنتج؟ ماذا تسمى هذه الظاهرة؟

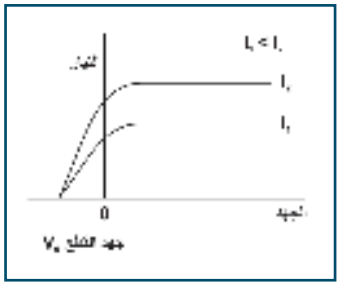
لاحظ العالم هيرتز أثناء إجرائه بعض التجارب للتحقق من نظرية ماكسويل للأمواج الكهرومغناطيسية أنه عند تسليط ضوء فوق بنفسجي على سطح قرص كشاف كهربائي لفلز معين تغير انفراج ورقتي الكشاف، وفسر ذلك بانبعاث إلكترونات من سطح الفلز.

أطلق على هذه الظاهرة ظاهرة التأثير الكهروضوئي: «ظاهرة انبعاث الإلكترونات من أسطح الفلزات عند تعرضها لموجات كهرومغناطيسية بتردد مناسب»، وسميت الإلكترونات المتحررة بالإلكترونات الضوئية.

سؤال: كيف يمكن دراسة هذه الظاهرة عملياً؟ وكيف يمكن تفسيرها؟



الشكل (9-8)


الشكل (9-9)

عمليا تستخدم الدارة الكهربائية الموضحة بالشكل (9-8) لدراسة ظاهرة التأثير الكهروضوئي، التي تحتوي على خلية كهروضوئية، تتكون من أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء، يحتوي على صفيحة فلزية متصلة بالقطب السالب للبطارية، وتسمى المهبط (الباعث)، وساق فلزي آخر يتصل بالقطب الموجب للبطارية، ويسمى المصعد (الجامع)، فعند وضع الجهاز في غرفة مظلمة يقرأ الأميتر صفراً؛ ليدل على عدم وجود تيار في الدارة، وعند سقوط ضوء طاقته كافية لتحرير الإلكترونات من المهبط، فإنها ستنبعث منه متجهة إلى المصعد نتيجة وجود فرق في الجهد الكهربائي بين المصعد والمهبط؛ مما يؤدي إلى مرور تيار كهروضوئي؛ فينحرف مؤشر الأميتر. ويبين الشكل (9-9) العلاقة بين شدة التيار المار وفرق الجهد الموجب عند ثبوت شدة الضوء الساقط، حيث يزداد التيار ليصل إلى قيمة عظمى يثبت عندها، ويسمى تيار الإشباع (I_1). أما إذا تم عكس الجهد الكهربائي للمصعد عن طريق عكس قطبي البطارية وزيادة الجهد السالب، فإنه ينشأ مجال كهربائي يعاكس حركة الإلكترونات المنبعثة، وبزيادة فرق الجهد تدريجيا، فإن شدة التيار الكهرو ضوئي تتناقص تدريجيا؛ لأن الإلكترونات المنبعثة تتعرض إلى قوة معاكسة لاتجاه حركتها، وبذلك تقل سرعتها، فلا تصل إلى القطب الموجب إلا الإلكترونات التي تمتلك طاقة حركية كافية تمكنها من التغلب على قوة المجال، وعندما يصبح أسرع الإلكترونات غير قادر للوصول للمصعد فإن التيار ينعدم عند قيمة معينة تعرف بجهد الإيقاف أو القطع (V_0)، وهو أقل جهد يلزم لإيقاف أسرع الإلكترونات من الوصول للمصعد. وعند زيادة شدة الضوء الساقط نحصل على المنحنى الثاني، وتكون شدة التيار (I_2)، ويلاحظ أن جهد القطع لا يعتمد على شدة الضوء.

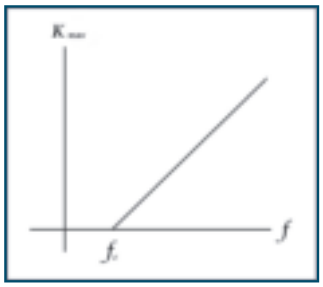
وللتعرف إلى تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئية من وجهة نظر النظرية الموجية للضوء (الكلاسيكية) ونظرية الفوتون (الكمية)، فإن النظرية الموجية تتنبأ (تفترض) ما يأتي:

1. عند زيادة شدة الضوء، تزداد الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة؛ وذلك لأن زيادة شدة الضوء تعني زيادة اتساع المجال الكهربائي الذي يسبب انبعاث الإلكترونات بسرعات أعلى.
2. تردد الضوء لا يؤثر في الطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة.
3. إذا كانت شدة الضوء ضعيفة جدا، فإن الإلكترون يستغرق وقتاً طويلاً لامتصاص كمية الطاقة اللازمة لانبعاثه.

أما بحسب نظرية الفوتون:

1. إذا كان تردد الضوء الساقط f أقل من تردد ما يسمى تردد العتبة f_0، فلا تتحرر إلكترونات من سطح الفلز مهما كانت شدة الضوء؛ وذلك لأن زيادة شدة الضوء تعني زيادة عدد الفوتونات دون تغير في طاقة أي منها.
2. عند تسليط ضوء تردده أكبر من f_0، تتحرر إلكترونات مهما كانت شدة الضوء، وعند زيادة تردد الضوء الساقط

(باستبداله بضوء آخر) تزداد الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة، والشكل (10-9) يوضح العلاقة بين الطاقة الحركية القصوى للإلكترونات المنبعثة والتردد.



الشكل (9-10)

3. إن نظرية الفوتون لا تتوقع تأخيراً في تحرر الإلكترون من سطح الفلز، لأن كل فوتون يحرر إلكتروناً واحداً فقط، خلال فترة زمنية قصيرة جداً لا تتجاوز (10^{-9} s).

وفقا لنظرية آينشتاين، يتم تحرير الإلكترون من الفلز عن طريق الاصطدام بفوتون واحد خلال فترة زمنية صغيرة جدا، وبما أن الإلكترونات تستقر في الفلز بفعل قوى الجذب، فإنه يلزم حد أدنى من الطاقة لتحرير (أو انبعاث) الإلكترون من خلال السطح تسمى اقتران الشغل (ϕ)، وإذا كان تردد الضوء الساقط (f) منخفضاً وطاقته ($h f$) أقل من اقتران الشغل ($\phi = h f_0$) فلا تتحرر الإلكترونات. وأما إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من اقتران الشغل تنبعث الإلكترونات من سطح الفلز، وتكون الطاقة محفوظة في هذه العملية. أي أن:

طاقة الفوتون = اقتران الشغل + الطاقة الحركية القصوى

$$h f = \phi + K_{max} \qquad (9\text{-}7)$$

سؤال: ماذا يحدث عند سقوط ضوء تردده يساوي تردد العتبة للفلز؟

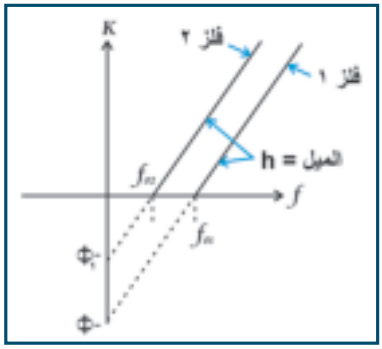
عند سقوط الأشعة على سطح الفلز تخترق هذا السطح إلى عمق بضع ذرات، أي أن الظاهرة الكهروضوئية تحدث عند طبقات من الذرات على أعماق مختلفة من سطح الفلز، والإلكترونات المتحررة من جميع الطبقات تمتلك طاقة حركية واحدة لحظة تحررها، ولكن الإلكترونات التي تتحرر من طبقة داخلية تتصادم مع ذرات تقع قبلها وتعترض طريقها، فتفقد جزءا من طاقتها، وبذلك تقل طاقتها الحركية، بعكس الإلكترونات المتحررة من السطح، التي تكون طاقة حركتها قيمة قصوى. أي أن العلاقة الرياضية المعبرة عن طاقة الحركة:

$$K_{max} = \frac{1}{2} mv^2 = q_e V_0 \qquad (9\text{-}8)$$

حيث q_e: شحنة الإلكترون، V_0: جهد الإيقاف (القطع)

ويبين الجدول المجاور بعض القيم لاقتران الشغل لعدة عناصر.

الفلز	اقتران الشغل ϕ (eV)
Na	2.28
Al	4.08
Cu	4.70
Zn	4.51
Ag	4.73
Pt	6.35
Pb	4.14
Fe	4.50



أناقش:

اعتماداً على الشكل المجاور:

1- ماذا يمثل المقطع السيني؟

2- ماذا يمثل المقطع الصادي؟

3- لماذا يكون المنحنيان متوازيين؟

مثال (4):

سقط ضوء تردده (1×10^{15} Hz) على سطح صوديوم، فانطلقت إلكترونات ضوئية ذات طاقة حركة قصوى تساوي 1.78 eV، احسب تردد العتبة للصوديوم.

الحل:

$$h f = \phi + K_{max}$$
$$6.626 \times 10^{-34} \times 1 \times 10^{15} = \phi + 1.78 \times 1.6 \times 10^{-19}$$
$$\phi = 3.778 \times 10^{-19} J$$
$$\phi = h f_0$$
$$3.778 \times 10^{-19} = 6.626 \times 10^{-34} \times f_0$$
$$f_0 = 5.7 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

سؤال: أي الفلزين الآتيين يظهر التأثير الكهروضوئي عندما يسقط عليه ضوء تردده 7×10^{14} Hz الليثيوم ($\phi = 2.3$ eV) أم الفضة ($\phi = 4.7$ eV)؟ ولماذا؟

التطبيقات العملية على الظاهرة الكهروضوئية

هناك كثير من الأجهزة العملية التي تعتمد في تصنيعها على الظاهرة الكهروضوئية، وتُعدّ الوصلة الثنائية أحد مكونات هذه الأجهزة التي تتأثر بالظاهرة الكهروضوئية حيث إن امتصاص الفوتونات يؤدي إلى انبعاث الإلكترونات، وبالتالي تتغير قدرة الوصلة الثنائية على التوصيل، ومن هذه الأجهزة جهاز الإنذار والبوابات الإلكترونية، والمقياس الضوئي المستخدم في الكاميرا، الذي يعمل على قياس مستوى الضوء، وبالتالي التحكم في اتساع فتحة الكاميرا.

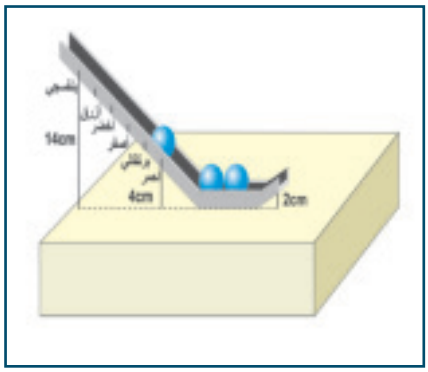
وكذلك يمكن الربط بين الظاهرة الكهروضوئية وما يحدث في عملية البناء الضوئي، فكيف يتم ذلك؟
يسقط الضوء على النبات، حيث تحتاج صبغة الكلوروفيل إلى تسعة فوتونات من ضوء الشمس لتحويل جزيء واحد من ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات نافعة وغاز أكسجين.

أفكر

هل عدد الفوتونات في 1 J من الضوء الأحمر أكبر من عدد الفوتونات في (1 J) من الضوء الأزرق أم يساويه، أم أصغر منه؟ وضح ذلك.

ما السبب في تحرر إلكترونات من سطح فلز عند سقوط ضوء معين عليها دون آخر، لتجيب عن ذلك إليك النشاط التالي:

نشاط (9-3): محاكاة تحرر الإلكترونات اعتمادا على تردد الضوء.



المواد والأدوات: مسار مقوس كما هو موضح بالشكل، وكرات فلزية أو زجاجية، وورق لاصق بالألوان (أحمر، وبرتقالي، وأصفر، وأخضر، وأزرق، بنفسجي)

الخطوات:

- ضع المسار المقوس على سطح طاولة كما هو موضح بالشكل المجاور.
- قم بتقسيم المسار مبتدئا من قاعدة المسار وعلى ارتفاع
- 4 cm وضع إشارة باللاصق الأحمر، ثم ضع إشارة باللاصق البنفسجي في أعلى المسار وعلى ارتفاع 14 cm من القاعدة.
- قم بوضع إشارات ملونة بين اللونين الأحمر والبنفسجي، ويفصل بينها 2 cm كما بالشكل.
- ضع الكرتين الفلزيتين على الجزء السفلي من المسار، حيث تمثل هذه الكرات إلكترونات المدار الأخير للذرة.
- امسك بكرة أخرى عند الموضع المشار إليه باللون الأحمر على المسار، حيث تمثل هذه الكرة فوتون الضوء الأحمر، الذي يمتلك أقل طاقة مقارنة بالألوان الأخرى.
- اترك الكرة تسقط، ولاحظ ماذا يحدث للكرتين في أسفل المسار، ثم كرر ذلك لكل لون مشار إليه على المسار.
  - * عند أي لون استطاعت الكرة المنزلقة إخراج الكرات أسفل المسار؟
  - * هل هناك ارتفاع معين استطاعت عنده الكرة المنزلقة من إخراج الكرتين معا من المسار؟
  - * فسر ما لاحظته في ضوء نظرية الفوتون لآينشتاين.

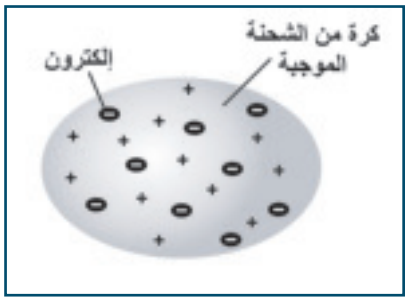
4-9 النماذج الذرية Atomic Models

أناقش:

1- ما المقصود بالذرة؟

2- ما مكونات الذرة؟

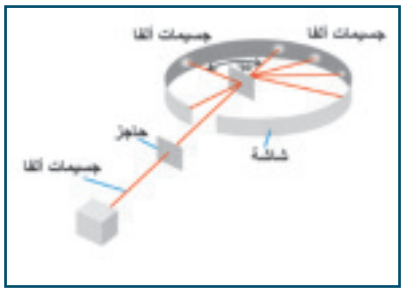
3- ما شحنة نواة الذرة؟



الشكل (9-11)

لقد مر وصف تركيب الذرة بنماذج متنوعة عبر فترات مختلفة، فقد وضع العالم تومسون التصور الأول للنموذج الذري عام 1898م، حيث وصف الذرة بأنها كرة مصمتة موجبة الشحنة، تتوزع داخلها الشحنات السالبة بشكل عشوائي، كما في الشكل (9-11).

ولكن هذا النموذج فشل في تفسير تصرف أشعة ألفا وتشتتها في تجربة رذرفورد. ففي عام 1911 حصل رذرفورد وزملاؤه على نتائج تجارب تتناقض مع تصور تومسون للذرة، حيث قام بتجربته الشهيرة التي قذف فيها صفيحة رقيقة من الذهب بجسيمات ألفا الموجبة الشحنة (نواة ذرة الهيليوم) $_2^4He$ وحصل على النتائج الآتية:



- بعض جسيمات ألفا انحرفت عن مسارها وكأنها تنافرت مع جسم ثقيل مشابه لها في الشحنة، وكانت هذه الانحرافات غير متوقعة كلياً حسب نموذج تومسون، لماذا؟
- معظم جسيمات ألفا لم تنحرف، مما يدل على أنها تسير في فراغ.
- عدد قليل من جسيمات ألفا ارتدت إلى الخلف، مما يدل على اصطدامها مباشرة بجسيمات موجبة الشحنة.

في ضوء ذلك وضع رذرفورد نموذجه الذري الذي افترض فيه أن معظم حجم الذرة فراغ وتتمركز كتلتها في حيز صغير جداً يسمى النواة وتحمل شحنة موجبة، وتحيط بها الإلكترونات السالبة في مدارات حول النواة. ومع ذلك واجه نموذج رذرفورد لعدة انتقادات منها:

1- أن الإلكترونات أثناء دورانها حول النواة سوف تتسارع، وبالتالي تشع طاقة وفق النظرية الكهرومغناطيسية؛ مما يؤدي إلى فقدانها للطاقة، وسقوطها في النواة، فينهار النموذج الذري لرذرفورد.

2- كما أنه بإشعاع الذرات للطاقة فإنه سوف ينبعث ضوء مستمر، ولكن التجارب العملية بينت فيما بعد أن ذرات العناصر عند إشعاعها للطاقة تطلق خطوط الطيف الخطي.

ولأن نموذج رذرفورد لم يكن كافيا لفهم السلوك الذري وأطياف الذرات؛ فقد قام العالم بور بوضع نموذج جديد استطاع بواسطته تفسير أطياف الذرات.

a-4-9 نموذج بور لذرة الهيدروجين Bohr Model of Hydrogen Atom

تضمن نموذج بور مزيجاً من مبادئ الفيزياء الكلاسيكية، ونظرية الكم لبلانك، ونظرية الفوتونات لآينشتاين، ونموذج رذرفورد للذرة، وقام النموذج على عدة فروض منها:

1- أن الإلكترون يدور حول النواة في مدارات دائرية تحت تأثير قوة الجذب الكهربائية بين البروتون الموجب والإلكترون السالب.

$$m \frac{v^2}{r_n} = k \frac{q^2}{r^2_n} \qquad (9\text{-}9)$$

2- تتواجد الإلكترونات في مستويات محددة من الطاقة ذات أنصاف أقطار ثابتة، ولا تشع أية كمية من الطاقة ما دامت في نفس المستوى.

3- يحدث إشعاع للطاقة عندما ينتقل الإلكترون من مستواه إلى مستوى آخر أقل طاقة، ويكون مقدار الطاقة المنبعثة مساوياً لفرق طاقة الإلكترون في المستويين، ويكون هذا الإشعاع على هيئة كمات (فوتونات) تحسب طاقتها من العلاقة:

$$\Delta E = E_f - E_i = hf \qquad (9\text{-}10)$$

4- الزخم الزاوي للإلكترونات كمية مكماة تساوي مضاعفات صحيحة للمقدار $\frac{h}{2\pi}$

$$L = mvr_n = \frac{nh}{2\pi} \qquad (9\text{-}11)$$

حيث h:ثابت بلانك، L: كمية التحرك الزاوية، r_n: نصف قطر مدار الإلكترون

b-4-9 تطبيقات نموذج بور على ذرة الهيدروجين

1- حساب نصف قطر مدار الإلكترون حول النواة

بتربيع الفرض الرابع لبور: $mvr_n = \frac{nh}{2\pi}$

$$m^2v^2r_n^2 = \frac{n^2h^2}{4\pi^2}$$

وتعويض السرعة من الفرض الأول لبور في المعادلة السابقة $v^2 = k\frac{q^2}{rm}$

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 kq^2 m}$$

وبتعويض الثوابت ينتج $r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 kq^2 m} = 0.529 \times 10^{-10}m$

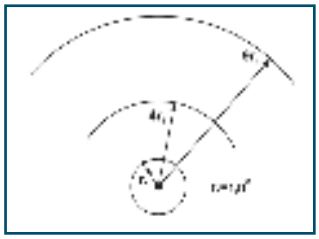
$$r_n = n^2 r_1 \qquad (9\text{-}12)$$

n: رقم المدار المتواجد فيه الإلكترون

r_n: نصف قطر المدار (n) للإلكترون

r_1: نصف قطر بور (نصف قطر المدار الأول) ويساوي 0.529×10^{-10} m

تنبأت نظرية بور بقيمة نصف قطر ذرة الهيدروجين استناداً إلى القياسات العملية، وكانت هذه النتيجة نجاحاً لنظرية بور، حيث توضح هذه المعادلة أن أنصاف أقطار المدارات المسموحة تمتلك قيماً محددة، أي أنها مكماة. ويوضح الشكل (9-12) مدارات بور الثلاثة الأولى.



الشكل (9-12)

2- حساب الطاقة الكلية للإلكترون في مداره

إن كل إلكترون يتحرك في مداره يمتلك طاقة محددة تساوي مجموع طاقتي الوضع والحركة، حيث:

$$E_n = K + U$$

$$E_n = \frac{1}{2} m_e v^2 + -\frac{kq^2}{r_n}$$

بتعويض السرعة من الفرض الأول لبور

$$m_e \frac{v^2}{r_n} = k\frac{q^2}{r_n}$$

$$E_n = \frac{1}{2} m_e v^2 + -\frac{kq^2}{r_n}$$

$$E_n = \frac{-1}{2}\frac{kq^2}{r_n}$$

وبتعويض الثوابت q، k، $r = n^2 r_1$ والقسمة على شحنة الإلكترون q للتحويل من جول إلى إلكترون فولت ينتج

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \qquad (9\text{-}13)$$

حيث طاقة الإلكترون في المستوى الأول (E_1) تساوي (-13.6 eV) وهذه المعادلة تبين أن مدارات الطاقة مكماة أيضاً.

لاحظ أن $K = |E_n|$ ، $U = 2E_n$

3- حساب الطول الموجي للأطياف المنبعثة من ذرة الهيدروجين

لحساب الطول الموجي للفوتون المنبعث عندما ينتقل إلكترون من مدار لآخر، وبأخذ القيمة الموجبة للفرق في الطاقة بين المدارين:

$$\Delta E = E_i - E_f = hf$$

$$\Delta E = E_i - E_f = h\frac{c}{}$$

$$\Delta E = \frac{E_1}{n_i^2} - \frac{E_1}{n_f^2} = h\frac{c}{\lambda}$$

$$E_1\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) = h\frac{c}{\lambda}$$

بالضرب في q_e للتحويل من إلكترون فولت إلى جول

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_1 q}{hc}\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) = R\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2}\right) \qquad (9\text{-}14)$$

حيث n_i: رقم مستوى الطاقة الأدنى، n_f: رقم مستوى الطاقة الأعلى

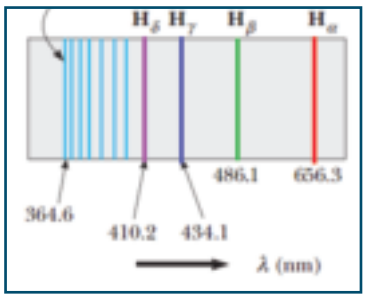
ويسمى الثابت (R) بثابت ريدبيرج ويساوي $1.097\times 10^7\ m^{-1}$

وتسمى هذه المعادلة بمعادلة بور النظرية، ويسمى المقدار $\frac{1}{\lambda}$ الرقم الموجي.

سؤال: ما وحدة قياس الرقم الموجي؟

c-4-9 طيف ذرة الهيدروجين Hydrogen Spectrum

تُعدّ ذرة الهيدروجين أبسط الذرات، حيث تحتوي على إلكترون واحد في مدارها، كما أنه يوجد لها أبسط طيف ذري، ففي عام 1885 توصل العالم بالمر إلى صيغة رياضية لحساب الأطوال الموجية لخطوط الطيف المرئي لذرة الهيدروجين، حيث لاحظ أربعة خطوط مضيئة تفصل بينها مسافات، ويقل التباعد بينها بانتظام، وهي ناتجة عن انتقال إلكترونات من مستويات عليا إلى المستوى (n = 2) وتظهر بالألوان: أحمر H_α، وأخضر H_β، وأزرق H_γ، وبنفسجي H_δ.



الشكل (9-13)

ويبين الشكل (9-13) الخطوط الطيفية الأربعة في الطيف المرئي لذرة الهيدروجين، وتقع هذه السلسلة في منطقة الطيف المرئي ويلاحظ أن الخطوط بالقرب من الطول الموجي 364,6 nm تصبح متقاربة من بعضها حيث يمكن اعتبار $n = \infty$ ويمكن تطبيق معادلة بالمر

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (9\text{-}15)$$

n = 3 , 4 , 5 , ...

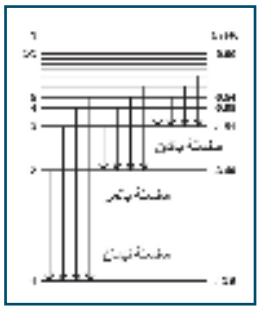
وفي وقت لاحق أظهرت التجارب على ذرة الهيدروجين أن هناك سلاسل أخرى لخطوط طيف ذرة الهيدروجين، تقع

في منطقة الأشعة فوق البنفسجية ومنطقة الأشعة تحت الحمراء، ومن أشهر هذه السلاسل:

سلسلة ليمان: وهي ناتجة عن انتقال الإلكترونات من مستويات عليا إلى المستوى n=1 وتقع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية، والصيغة الرياضية لحساب الأطوال الموجية المصاحبة للفوتونات المنطلقة هي

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (9\text{-}16)$$

$n = 2, 3, 4, \ldots\ldots\ldots$



الشكل (9- 14)

سلسلة باشن: وهي ناتجة عن انتقال الإلكترونات من مستويات عليا إلى المستوى n=3 وتقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء، والصيغة الرياضية لحساب الأطوال الموجية المصاحبة للفوتونات المنطلقة هي:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (9\text{-}17)$$

$n = 4, 5, 6, \ldots\ldots\ldots$

والشكل (9- 14) يوضح سلاسل الطيف لذرة الهيدروجين

مثال (5):

انتقل إلكترون في ذرة هيدروجين من مستوى الطاقة الرابع إلى مستوى الطاقة الثاني، ما تردد الفوتون المنبعث؟ وأي الخطوط في الطيف الانبعاثي يطابق هذه الحالة؟

الحل: لحساب طاقة الفوتون

$$\Delta E = E_2 - E_4 = \frac{13.6}{4} - \frac{13.6}{16}$$

$$= (3.40) - (0.850) = 2.55 \text{ eV}$$

$$= 2.55 \text{ eV} \times (1.6 \times 10^{-19}) = 6.63 \times 10^{-34} \times f$$

$$f = 6.15 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

وهو يتوافق مع الخط الثالث في سلسلة الطيف الخطي المرئي ويظهر بلون أخضر.

5-9 الطبيعة الموجية للأجسام

سبق أن عرفنا أن للضوء طبيعة مزدوجة، ففي بعض الظواهر مثل الحيود يسلك سلوك الأمواج، وفي ظواهر أخرى مثل ظاهرة التأثير الكهروضوئي فإنه يسلك سلوك الجسيمات، كما أنه لا يمكن أن يجمع بين النموذجين في نفس الظاهرة.

فهل يمكن للجسيمات المادية أن يكون لها طبيعة مزدوجة وتسلك سلوك الأمواج إضافة إلى اعتبارها جسيمات؟

الإجابة على هذا السؤال منحت العالم دي برولي درجة الدكتوراة في الفيزياء، ونال بعدها جائزة نوبل.

ففي عام 1923م اقترح العالم الفرنسي لويس دي برولي أن الأجسام المادية والجسيمات الذرية مثل الإلكترونات تمتلك كلاً من الخاصيتين: الموجية والجسيمية، وكانت هذه الفكرة مجردة دون أي تأكيد علمي في البداية.

افترض دي برولي أن الجسيمات المادية مثل الإلكترونات تمتلك خصائص موجية تصاحب حركتها، حيث يتناسب الطول الموجي لها عكسياً مع الزخم. ويمكن حساب الطول الموجي من العلاقة:

$$\lambda = \frac{h}{P} \qquad (9\text{-}18)$$

حيث λ: طول موجة دي برولي المصاحبة للجسيمات.

p: الزخم = mv ويقاس بوحدة kg.m/s

مثال (6):

احسب طول موجة دي برولي لكرة كتلتها 0.2 kg وتتحرك بسرعة 15 m/s

الحل:

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.2 \times 15} = 2.2 \times 10^{-34} \text{ m}$$

مثال (7):

احسب الطول الموجي المصاحب لإلكترون تم تسريعه تحت فرق جهد 100 V

الحل:

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = q_e V$$

$$\frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} v^2 = 1.6 \times 10^{-19} \times 100$$

$$v = 5.9 \times 10^{6} \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 5.9 \times 10^{6}} = 1.23 \times 10^{-10} \text{ m}$$

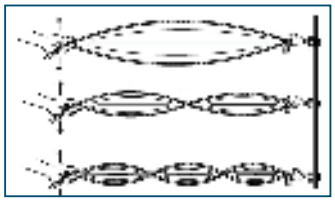
سؤال: إذا اكتسب كل من الإلكترون والبروتون تسارعاً من السكون عند نفس فرق الجهد، أيهما يملك طولاً موجياً أكبر، ولماذا؟

وفي الواقع فإن الطول الموجي للأجسام المادية يكون صغيراً جدا، بحيث لا يمكن قياسها أو ملاحظتها، وبالتالي فإن سلوكها الموجي مثل التداخل والحيود لا يمكن ملاحظته؛ لأن كتلتها كبيرة جداً؛ مما جعل الخصائص الموجية للأجسام الكبيرة مهملة، ولكن يمكن دراسة الخصائص الموجية للجسيمات الذرية مثل الإلكترونات، إذ إن كتلتها الصغيرة جدا تكسبها طولا موجياً كبيراً.

وقد كان صعباً على العلماء تبني نظرية دي برولي إذ اعتبروها مجرد فرضية نظرية غير قابلة للتطبيق العملي، إلى أن قام العالمان دافيسون (1881 -1958) وجيرمر (1896-1971) بإجراء تجربة حاسمة لإثبات صحة فرضية دي برولي، توصلا من خلالها إلى أن حزمة من الإلكترونات يمكنها أن تحدث ظاهرة حيود على بلورة من النيكل، وقاما بحساب الطول الموجي للإلكترونات، وفي العام نفسه قام العالم تومسون بتجربة اكتشف من خلالها السلوك الموجي للإلكترونات من خلال مرور الإلكترونات خلال رقائق من الذهب الرقيقة، وبذلك أثبتت الطبيعة الموجية للمادة بطرق متعددة.

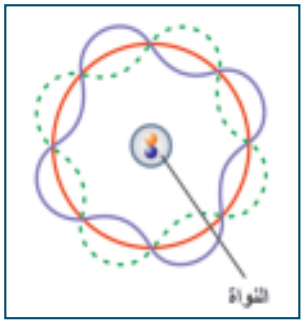
من التطبيقات- العملية والتكنولوجية على الطبيعة الموجية للإلكترونات هو جهاز المجهر الإلكتروني، الذي يعتبر تطويراً للمجهر الضوئي الذي يستخدم الضوء؛ وذلك نظرا لأن الطول الموجي للإلكترون أصغر بكثير من الطول الموجي للضوء العادي، فتكون الصورة فيه أكثر دقة وأكبر حجما منها في المجهر الضوئي.

6-9 موجات الإلكترون



سؤال: يوضح الشكل المقابل نوع الأمواج المتولدة في حبل مشدود.
ماذا تسمى الأمواج الموضحة في الشكل المقابل؟ ممّ تتكون هذه الأمواج؟

عجز بور عن تفسير سبب شغل الإلكترونات مستويات محددة في الذرة وسبب استقرارها في هذه المدارات، ولكن ما توصل إليه دي برولي من الطبيعة الموجية للإلكترون جعلنا نفكر بالإلكترون بطريقة مختلفة؛ مما أدى إلى وضع نموذج الموجات المادية في الذرة، ووفقا لنظرية دي برولي للموجات المادية يعتبر الإلكترون موجة وليس جسيماً، ويدور حول النواة مشكلاً حركة موجة موقوفة وفق ما تصور العالم شرودنجر، وحتى يكون مستقراً يجب أن يكون طول المدار الذي يتحرك به الإلكترون مساوياً عدداً صحيحاً من طول موجة دي برولي للإلكترون في هذا المدار، أي أن:



طول محيط المدار = عدد صحيح × الطول الموجي المصاحب للإلكترون

$$n\,\lambda_n = 2\pi r_n \qquad (9\text{-}19)$$

حيث: r_n: نصف قطر المدار، n عدد صحيح، ويساوي رقم المدار، وتشير إلى عدد الموجات الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون.

وقد تم التوصل إلى أن موجات الإلكترونات لا تتحرك حول النواة فقط، وانما تتحرك نحو الداخل والخارج، تقترب من النواة وتبتعد عنها في الأبعاد الثلاثة .

من هذه المعادلة نستنتج أن أنصاف أقطار المدارات التي تتواجد فيها الإلكترونات هي التي تتفق مع الطبيعة الموجية لها، وبما أن طول محيط المدارات محدد، فهذا يعني أن أنصاف أقطار هذه المدارات وكذلك طاقة المستويات أيضا محددة، وقد سبق أن ذكر بور في نموذجه شرط تواجد الإلكترونات في مدارات محددة من خلال فرض بور $(mvr = \frac{nh}{2\pi})$،

سؤال: أثبت رياضياً أنه لا تعارض بين الشرطين.

9-7 مبدأ اللا يقين

إذا كانت الفيزياء الكلاسيكية تتميز بعدم وجود حدود للدقة في قياسات التجارب، إذ يمكننا إجراء قياسات أكثر دقة باستخدام أدوات أكثر ضبطاً، وبالتالي الحصول على نتائج أكثر دقة من السابقة، فهل هذا ينطبق على الفيزياء الحديثة (نظرية الكم)، وتحديد كل من موقع الجسيم المرتبط بالخاصية الجسيمية، وكذلك سرعته، التي تقيس الخاصية الموجية؟

إن مبدأ اللا يقين هو السمة الأساسية لفيزياء الكم. إن مبدأ اللا يقين ليس نتيجة مشكلة في النظام أثناء القياس أو عدم دقة الأدوات المستخدمة، بل هو ناتج عن الطبيعة المزدوجة للجسيمات.

فحسب العالم هيزنبرغ « من المستحيل قياس موقع الجسم وزخمه في اللحظة نفسها وبدقة عالية، فكلما كانت دقة القياس لزخمه عالية، قلت الدقة في تحديد الموقع، والعكس صحيح.

ويعبر عنه رياضيا «حاصل ضرب اللا يقين في الموقع (Δx) والزخم (ΔP) يكون دائما أكبر من قيمة صغرى تساوي $\frac{nh}{2\pi}$

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{2\pi} \qquad (9\text{-}20)$$

مثال (8):

تم قياس سرعة انطلاق إلكترون فكانت $5 \times 10^3\ m/s$،حيث اللايقين في سرعة الإلكترون 0.003%، احسب أقل لا يقين في موضع هذا الإلكترون.

الحل:

$$P = mv = 9.11 \times 10^{-31} \times 5 \times 10^3 = 4.56 \times 10^{-27}\ kg.m/s$$

$$\Delta p = p \times 0.00003$$

$$\Delta p = 4.56 \times 10^{-27} \times 0.00003 = 1.37 \times 10^{-31}\ kg.m/s$$

$$\Delta p \Delta x = \frac{h}{2\pi}$$

$$1.37 \times 10^{-31}\ \Delta x = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{2\pi}$$

$$\Delta x = 0.77\ mm$$

أسئلة الفصل:

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

1. جسم أسود مثالي درجة حرارته (T)، إذا أصبحت درجة حرارته مثلي قيمتها فإن شدة إشعاعه:

أ- تبقى ثابتة　　ب- تصبح ضعفي ما هي عليه

ج- تصبح أربعة أضعاف ما هي عليه　　د- تتضاعف (16 مرة) مما هي عليه

2. فشل النموذج النظري لـ (رايلي وجينز) المستند إلى الفيزياء الكلاسيكية في تفسير شدة إشعاع الجسم الأسود في منطقة:

أ- الأطوال الموجية الطويلة　　ب- الأطوال الموجية القصيرة

ج- الضوء المرئي　　د- الأمواج تحت الحمراء

3. سقط فوتون طول موجته (λ) على سطح فلز فكان تيار الإشباع (20 μA) وجهد القطع (2 V)، فإذا تضاعفت شدة الضوء الساقط يصبح:

أ- طول موجة الفوتون الساقط (2λ) وجهد القطع (4V)

ب- طول موجة الفوتون الساقط (λ) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (20 μA)

ج- طول موجة الفوتون الساقط (λ) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (40 μA)

د- طول موجة الفوتون الساقط ($\lambda/2$) وجهد القطع (2V)، وتيار الإشباع (40 μA)

4. مقدار الزخم الزاوي لإلكترون ذرة الهيدروجين في المدار الأول هو:

أ- $\frac{h}{2\pi}$　　ب) $\frac{2h}{\pi}$　　ج) $\frac{h}{2\pi r_1}$　　د- $\frac{h}{r_1}$

5. فشلت الفيزياء الكلاسيكية في تفسير الظاهرة الكهروضوئية لأنها تُعدّ أن طاقة الموجة الضوئية تعتمد على:

أ- طولها　　ب- ترددها　　ج- إتساعها　　د- زمنها الدوري

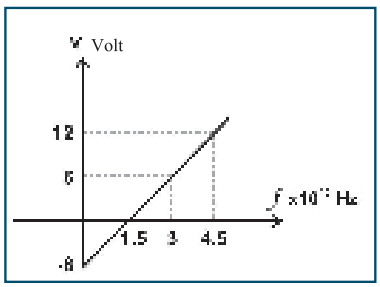
6. وفقاً لنظرية الكم، فإن طاقة الموجة الضوئية تزداد بزيادة:

أ- زمنها الدوري　　ب- طولها الموجي　　ج- إتساعها　　د- ترددها

س2: ما المقصود بكل من:

- الجسم الأسود المثالي　- مبدأ اللا يقين　- نص قانون فين للإزاحة

س3: في الشكل الآتي العلاقة البيانية بين تردد الضوء الساقط وجهد القطع في خلية كهروضوئية، اعتماداً على الشكل، أجب عما يأتي:



أ- ما ثابت بلانك؟

ب- ما اقتران الشغل للفلز؟

ج- ما تردد العتبة للفلز؟

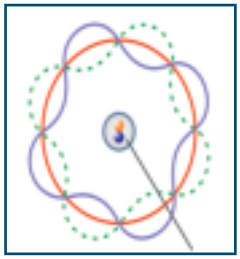
د- إذا قمنا بزيادة شدة الضوء الساقط على مهبط الخلية. ماذا يتغير في الرسم البياني؟

س4: سقط شعاع ضوئي طول موجته (3×10^{-7} m) على فلز مهبط خلية كهروضوئية فانبعثت إلكترونات طاقتها الحركية (2 eV)، احسب:

أ- اقتران الشغل للفلز.

ب- فرق جهد القطع في الخلية.

ج- تردد العتبة للفلز.



س5: الشكل المجاور يمثل الموجات المصاحبة لإلكترون ذرة الهيدروجين في مستوى ما، احسب:

أ- كميّة التحرك الخطيّة لذلك الإلكترون.

ب- نصف قطر المدار الذي يتواجد فيه الإلكترون.

ج- طول الموجة المصاحبة.

د- إذا انتقل الإلكترون إلى مستوى الاستقرار احسب طاقة الفوتون المنبعث مبيناً نوع الطيف الذي يتنمي إليه الإشعاع.

س6: إلكترون ذرة الهيدروجين يتواجد في مستوى الطاقة الثاني (n =2)، جد ما يأتي:

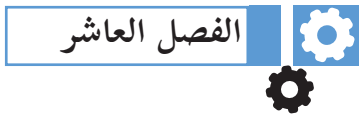
أ- طول الموجة المرافقة للإلكترون في مستواه.

ب- اللا يقين في تحديد كمية تحركه إذا كان الخطأ في تحديد موقعه يساوي طول موجة الفوتون المنبعث عند انتقال ذلك الإلكترون إلى مستوى الاستقرار.

س7:استخدمت الطاقة الناتجة من عودة الإلكترون من المدار الثالث في ذرة الهيدروجين إلى وضع الاستقرار في تشغيل خلية كهروضوئية فانبعثت الإلكترونات. فإذا كان جهد الإيقاف 1.2 فولت، احسب:

1- طول الموجة المصاحبة لأسرع الإلكترونات المتحررة.

2- أكبر طول موجة يحرر الإلكترونات من سطح الخلية الكهروضوئية.



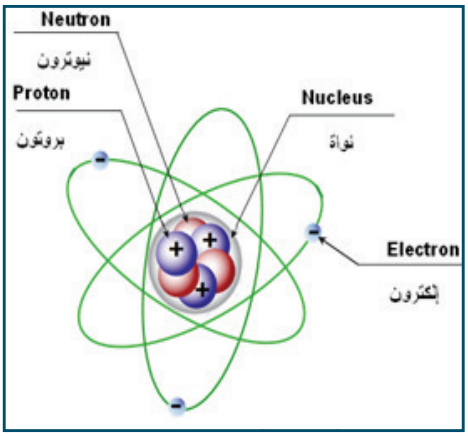
بنية النواة والإشعاع النووي

بعد أن اكتشف العالم النيوزلندي رذرفورد الذرة عام 1910، وبينت التجارب أن الذرة تتكون من نواة موجبة تتركز فيها كتلة الذرة، وتدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة في مستويات طاقة محددة، وجه العلماء أنظارهم لدراسة نواة الذرة، فاكتشف العالم رذرفورد البروتون عام 1919 م، ثم تبعه جيمس شادويك باكتشاف النيوترون عام 1932م، وفي هذا الفصل ستتعرف إلى نواة الذرة وخصائصها من حيث الشكل والحجم والكتلة والمكونات وطاقة ربطها.

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذا الفصل والتفاعل مع أنشطته أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم متعلقة ببنية النواة والإشعاع النووي من خلال تحقيق الآتي:

- حساب طاقة الربط النووية لنواة عنصر أو لنيكليون.
- تفسير استقرار بعض أنوية العناصر.
- المقارنة بين أشعة ألفا وبيتا وغاما من حيث خصائصها.
- حساب عمر النصف لبعض العناصر.

1-10 مكونات النواة



الشكل (10 -1)

أناقش:

- ما الذرة الأبسط تركيباً بين العناصر؟
- يرمز للعنصر بالرمز ${}^{A}_{Z}X$، فماذا تمثل كل من Z، A، X؟
- اكتب رمز عنصر الصوديوم إذا علمت أن عدد البروتونات 11 وعدد النيوترونات 12.
- ضع تعريفاً لكل من العدد الذري، والعدد الكتلي.

مر معك أن ذرات العناصر تتكون من نواة وإلكترونات تدور حولها كما في الشكل (10 -1)، ويطلق على كل مكون من مكونات النواة سواء أكان بروتوناً أم نيوتروناً اسم نيوكليون.

نشاط (10-1): مكونات النواة

تأمل العناصر الآتية، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

${}^{235}_{92}U$	${}^{16}_{8}O$	${}^{56}_{26}Fe$	${}^{35}_{17}CI$	${}^{2}_{1}H$	${}^{1}_{1}H$

1- أي منها لا يوجد فيه نيوترونات؟

2- كم نيوكليون في كل من: ذرة الكلور، وذرة الأكسجين؟

3- احسب عدد النيوترونات في كل من ذرة الحديد ${}^{56}_{26}Fe$ وذرة اليورانيوم ${}^{235}_{92}U$ ؟

نظراً لصغر كتلة الذرات فإنه يصعب تقديرها بوحدة الغرام أو الكيلوغرام؛ لذلك اتفق العلماء على استخدام وحدة أخرى مناسبة لتقدير كتل الذرات والجسيمات الصغيرة تعرف باسم (وحدة الكتل الذرية) Atomic Mass Unit (u)، وقد اتُخذت كتلة ذرة الكربون ${}^{12}_{6}C$ أساساً تنسب إليه كتل ذرات العناصر الأخرى (لماذا؟) واعتبرت أنها تساوي 12 وحدة كتلة ذرية أي أن (u) = $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون .

كتلة ذرة الكربون الواحدة بالغرام = $\frac{12}{6.022 \times 10^{23}}$ = 1.993×10^{-23}

كتلة (u) = $\frac{1}{12} \times 1.993 \times 10^{-23}$ = 1.66×10^{-24} gm = 1.66×10^{-27} kg

ويمكن التعبير عن الكتلة بما يكافئها من الطاقة حسب معادلة آينشتاين

$$E = m c^2 \qquad (10\text{-}1)$$

طاقة وحدة الكتل الذرية = $1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^{8})^2$ = 1.494×10^{-10} J

طاقة وحدة الكتل الذرية = $\frac{1.494 \times 10^{-10}}{1.6038 \times 10^{-19} \times 10^{6}}$

= 931.5 مليون إلكترون فولت (MeV)

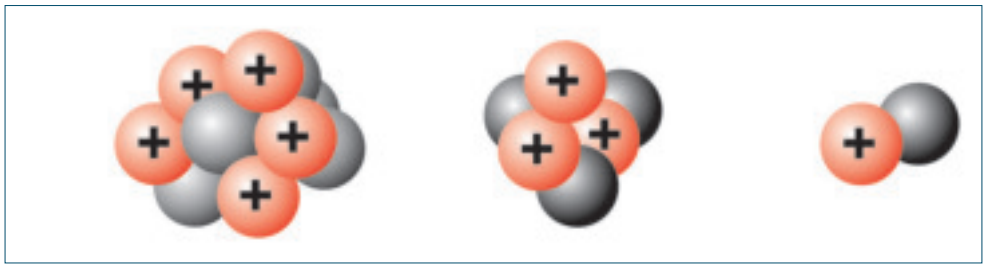
ويبين الجدول الآتي نوع الشحنة والكتل السكونية لمكونات الذرة بالكيلو غرام وبوحدة الكتل الذرية

الجسيم	الشحنة	الكتلة (Kg)	الكتلة (u)
النيوترون	متعادل	1.6749×10^{-27}	1.008665
البروتون	موجبة	1.6726×10^{-27}	1.007276
الإلكترون	سالب	0.00091×10^{-27}	0.0005486

سؤال: 1. احسب النسبة بين كتلة كل من النيوترون والإلكترون، والنسبة بين كتلة البروتون والإلكترون.
2. احسب كتلة كل من الجسيمات السابقة بالجدول بوحدة مليون إلكترون فولت/ c^2

2-10 خواص النواة: (الكتلة، الحجم، الكثافة)

تُحدد كتل أنوية العناصر بمطياف الكتلة، ويمكن تقدير كتلة النواة من العلاقة $M = m_0 A$ حيث m_0 تمثل متوسط كتلة النيوكليون باعتبار كتلة البروتون مساوية لكتلة النيوترون، وA هي العدد الكتلي، مع أن التجارب العملية أثبتت ان كتلة النواة أقل قليلاً من كتلة مكوناتها، وسنتعرف إلى ذلك لاحقاً.



الشكل (10 – 2)

بتأمل الشكل (10 - 2) نلاحظ أنه لا يوجد جدار يحيط بمكونات النواة، ويمكن اعتبارها مجموعة من النيوكليونات الكروية المشدودة بعضها إلى بعض بإحكام في حيز صغير، وأن الشكل العام للنواة يمكن اعتباره كرة منتظمة تقريباً نصف قطرها r، نفرض أن حجم النواة V وأن حجم النيوكليون V_0

$$V = V_0 A$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = A\frac{4}{3}\pi r_0^3$$

$$r = a_0 A^{1/3} \qquad (10\text{-}2)$$

حيث a_0: ثابت (نصف قطر نواة الهيدروجين) ويساوي (1.2×10^{-15}m)

أناقش:

1. ما العلاقة بين نصف قطر النواة والعدد الكتلي.
2. ما العلاقة بين حجم النواة والعدد الكتلي.
3. عنصران الأول عدده الكتلي 64 والثاني 16 فما نسبة:
   - نصف قطر نواة الأول إلى نصف قطر نواة الثاني.
   - حجم نواة الأول إلى حجم نواة الثاني.

مثال (1):

احسب نصف قطر نواة الحديد ($^{56}_{26}Fe$) وحجمها.

الحل:

$$r = a_0 A^{1/3} = 1.2 \times 10^{-15} (56)^{1/3} = 4.6 \times 10^{-15} \text{ m}$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3.14 \times (4.6 \times 10^{-15})^3 = 4.1 \times 10^{-43} \text{ m}^3$$

سؤال: احسب النسبة بين حجم ذرة الهيدروجين إلى حجم نواتها إذا علمت أن ذرة الهيدروجين العادي تتكون من بروتون واحد في نواتها يدور حوله إلكترون في المدار الأول، علماً بأن $r_1 = 0.529 \times 10^{-10}$ m وأن نصف قطر نواة الهيدروجين 1.2 فيرمي.

ولحساب كثافة النواة فإن:

$$\text{كثافة النواة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = \frac{A \times m_0}{A \times V_0} = \frac{m_0}{V_0}$$

حيث m_0 كتلة النيوكليون وV_0 حجم النيوكليون

ومن هنا نستنتج أن كثافة أية نواة لا تعتمد على العدد الكتلي A، بل هي مقدار ثابت لكل الأنوية، وهي تساوي كثافة النيوكليون.

مثال (2):

احسب مقدار كثافة النواة إذا علمت أن متوسط كتلة النيوكليون 1.6606×10^{-27} kg ونصف قطره يساوي 1.2 فيرمي، ثم قارن هذه الكثافة بمتوسط كثافة الأرض 5500 kg / m^3

الحل:

$$\text{كثافة النواة} = \frac{m_0 A}{V_0 A} = \frac{m_0}{V_0} = \frac{1.6606 \times 10^{-27}}{\frac{4}{3} \times 3.14 \times (1.2 \times 10^{-15})^3} = 2.3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

وبقسمة كثافة النواة على كثافة الأرض نجد أن $\frac{2.3 \times 10^{17}}{5500} = 4.2 \times 10^{13}$

ومما سبق يتضح أن كثافة النواة تعادل متوسط كثافة الأرض 4.2×10^{13} مرة

3-10 القوة النووية وطاقة الربط النووية (Nuclear Force and Binding Energy)

تحتوي النواة على عدد من النيكليونات (البروتونات والنيوترونات) المتماسكة بعضها مع بعض، بالرغم من عدم وجود جدار للنواة، وبالرغم من وجود قوة تنافر كهربائية بين الشحنات الموجبة، التي أكبر بكثير من قوى التجاذب المادي (الكتلي)، إذن لا بد من وجود قوة تتغلب على قوة التنافر الكهربائي، وتعمل على تماسك النواة، فما هذه القوة؟ وما خصائصها؟

يطلق على هذه القوة اسم القوة النووية ومن خصائصها:

1. قوة تجاذب تنشأ بين أي نيوكليونين داخل النواة، وبالتالي فهي لا تعتمد على شحنة النيوكليون.
2. القوة النووية أكبر من قوة التنافر الكهربائي بـ 140 مرة.
3. قصيرة المدى، مدى تأثيرها بين (1 – 10 فيرمي)، فهي تعمل داخل النواة، وتتلاشى خارجها، وعندها تظهر القوة الكهربائية التي تحافظ على ارتباط الإلكترونات بالنواة.

أناقش:

1. ما أنواع القوى في النواة؟
2. قارن بين القوة النووية وقوة كولوم وقوة التجاذب الكتلي من حيث: المدى الذي تعمل فيه، ومقدار القوة، ونوع الجسيمات المتأثرة فيها.

وجد من خلال التجارب أن كتلة نواة الذرة أقل من كتلة جميع مكوناتها منفردة وأن الفرق في الكتلة (Δm) يكافئ طاقة مسؤولة عن ترابط مكونات النواة تسمى طاقة الربط النووية (E_{bin}) ولفصل مكونات النواة فإنه يجب أن نعطي النواة طاقة مساوية لها. ولكل نواة:

عدد البروتونات (Z) × كتلة البروتون (m_p) + عدد النيوترونات (N) × كتلة النيوترون (m_n) > كتلة النواة (M_p).

وبالرموز $M_p < (m_n \, xN + m_p \times Z)$

$$\Delta m = (Z \times m_p + N \times m_n) - M_p \qquad (10\text{-}3)$$

$$E_{bin} = \Delta \, m \, c^2 \qquad (10\text{-}4)$$

حيث إن (Δm) الفرق في الكتلة وهو مقياس لمقدار طاقة الربط النووية التي تبقي النواة متماسكة ومستقرة.

ويمكن حساب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون، أو بمعنى آخر معدل الطاقة اللازمة؛ حتى يفلت نيوكليون واحد من النواة:

$$E_n = \frac{E_{bin}}{A} \qquad (10\text{-}5)$$

مثال (3):

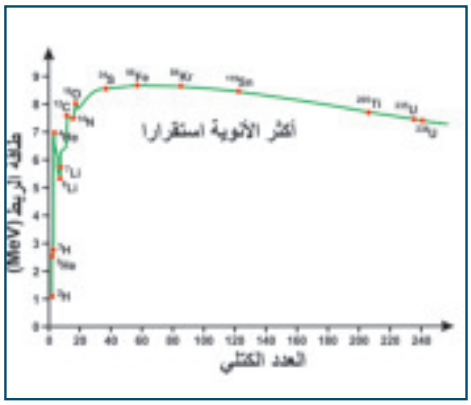
احسب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون في نواة ذرة الأكسجين $^{16}_{8}O$ بوحدة إلكترون فولت علماً بأن كتلة نواة ذرة الأكسجين تساوي 15.9949 u ؟

$$\Delta m = (Z \times m_p + N \times m_n) - M_p$$

$$= (8 \times 1.007276 + 8 \times 1.008665) - 15.9949 = 0.132628 \text{ u}$$

$$E_{bin} = 0.1322628\text{u} \times 931.5 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = 123.54 \text{ MeV}$$

$$E_n = \frac{E_{bin}}{A} = \frac{123.54}{16} = 7.72 \text{ MeV/لكل نيوكليون}$$



الشكل (10-3)

سؤال: احسب طاقة الربط النووية (E_{bin}) وطاقة الربط النووية لكل نيوكيلون (E_n) بوحدة الإلكترون فولت لنواة البيريليوم ($^{9}_{4}Be$) إذا علمت أن كتلة هذه النواة (9.01219 u).

يبين الشكل (10-3) العلاقة بين (طاقة الربط لكل نيوكليون) و(العدد الكتلي A)، ويلاحظ من الشكل:

_ تصل (E_n) إلى قيمتها العظمى 8.8 MeV تقريباً عند العدد الكتلي A = 62، كما في ($^{62}_{28}Ni$) ومجموعة نظائر الحديد.

_ النوى الثقيلة (عددها الكتلي كبير) ليست مستقرة وتتناقص (E_n) لها ببطء بزيادة العدد الكتلي، ولديها قابلية إلى الانشطار بتوافر الظروف المناسبة، وينتج عن الانشطار نواتان متوسطتان، لهما طاقة ربط لكل نيوكليون أعلى من طاقة ربط لكل نيوكليون في النواة الأصلية.

_ النوى الخفيفة (عددها الكتلي قليل) ليست مستقرة وتزداد (E_n) لها بسرعة بزيادة العدد الكتلي، ولديها قابلية إلى الاندماج بتوافر الظروف المناسبة، وينتج نواة ذات طاقة ربط أعلى من النوى الأصلية، كما يحدث في باطن النجوم مثل الشمس.

_ جميع الأنوية تميل بطبيعتها إلى التواجد في المنطقة الأكثر استقرارا في قمة المنحنى الموضح في الشكل، وفيها النوى متوسطة العدد الكتلي، ويلزم طاقة كبيرة لتفكيكها.

سؤال: بين ما يحدث لنواة: $^{235}_{92}U$ ، $^{2}_{1}H$ للوصول إلى حالة الإستقرار.

النظائر:

نشاط (10-2)

تأمل مجموعات العناصر الآتية (النظائر)، ثم أجب عن الأسئلة التي تليها:

اليورانيوم U: $^{234}_{92}U$, $^{235}_{92}U$, $^{238}_{92}U$

الأكسجين O: $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$, $^{18}_{8}O$

الكربون C: $^{12}_{6}C$، $^{13}_{6}C$ ، $^{14}_{6}C$

الهيدروجين H: $^{3}_{1}H$ ، $^{2}_{1}H$، $^{1}_{1}H$

أناقش:

1. المجموعة الواحدة من نظائر العناصر تتفق في أعداد، وتختلف في أعداد أخرى، وضح ذلك.
2. هل تختلف هذه العناصر في خصائصها الكيميائية؟ ولماذا؟
3. ما نوع الجسيمات التي تختلف عناصر كل مجموعة في عددها؟
4. ضع تعريفاً مناسباً لمفهوم النظائر.

يعدّ العالم الفيزيائي الفرنسي هنري بيكريل أول من اكتشف ظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي عام 1896 بمحض الصدفة، أثناء تجاربه على أحد أملاح اليورانيوم، ثم اكتشف الزوجان كوري عنصري البولونيوم والراديوم المشعين، ومع اكتشاف ظاهرة الانشطار النووي لنواة اليورانيوم 235 عام 1938م، وانبعاث كمية هائلة من الطاقة وجهت الأنظار إلى الاستفادة من هذه الطاقة في الأغراض السلمية والعلمية.

ينقسم النشاط الإشعاعي إلى طبيعي (تلقائي) وصناعي (محفز).

النشاط الإشعاعي الطبيعي (التلقائي) (Radioactivity)

هناك بعض العناصر الموجودة في الطبيعة ليست مستقرة، وإنما تنحل (تضمحل) ببطء انحلالاً تلقائياً، وذلك بالتخلص من جزء من نواتها، أو بالتخلص من طاقة إثارتها كمحاولة منها للوصول إلى بناء أو تركيب نيوكليوني أكثر استقراراً. وتسمى هذه الظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي أو التلقائي: « ظاهرة انبعاث إشعاعات من أنوية العناصر غير المستقرة للوصول إلى حالة الاستقرار دون أي تأثير خارجي».

خصائص الأشعة المنبعثة

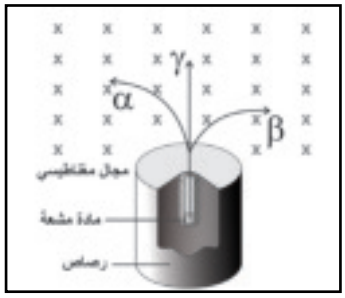
مع اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي التلقائي عمد العلماء إلى التعرف إلى طبيعة الجسيمات المنبعثة، التي صنفها رذرفورد إلى ثلاثة أنواع: ألفا (α)، وبيتا (β)، وغاما (γ)، وإليك بعض التجارب التي قام بها العلماء للتعرف إلى طبيعتها وخصائصها:

تجربة 1

تأثر الإشعاعات بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي

تم تعريض الأشعة المنبعثة لمجال كهربائي، فانجذبت ألفا نحو الصفيحة السالبة، وبيتا نحو الصفيحة الموجبة، في حين غاما لم تنحرف، كما أن نصف قطر مسار ألفا أكبر من نصف قطر بيتا، كما هو موضح في الشكل (4-10)

الشكل (4-10)



الشكل (5-10)

أناقش:

- ما شحنة كل من: ألفا، وبيتا، وغاما؟
- فسر: نصف قطر مسار ألفا أكبر من نصف قطر مسار بيتا.
- الشكل (5-10) يبين سلوك الإشعاعات الثلاث عند تعريضها لمجال مغناطيسي، معتمدا على بيانات الشكل، اشرح كيف تتأثر الجسيمات بالمجال المغناطيسي؟

تجربة 2

قدرة الإشعاعات على تأيين المواد واختراقها

الشكل (10-6)

- تم تعريض الأشعة المنبعثة من عينة مشعة لعدد من المواد كما هو مبين في الشكل (10-6)، وتبين أن ألفا أوقفتها ورقة شفافة سمكها 0.5 mm وبيتا أوقفتها ورقة من الألمنيوم سمكها 5 mm، في حين أن أشعة غاما نفذت من جدار إسمنتي سمكه 100 mm.

ومن خلال هذه التجارب وغيرها تم التوصل إلى الخصائص الآتية:

- **ألفا (α):** هي في طبيعتها نواة الهيليوم (^4_2He)، وتحمل شحنة موجبة تساوي ضعفي شحنة البروتون، وقدرتها على تأيين المواد عالية؛ لذلك فإن قدرتها على اختراق المواد قليلة، وتنحرف عند تعرضها لمجال مغناطيسي أو كهربائي، وتبلغ سرعتها 0.1 من سرعة الضوء.
- **جسيمات بيتا (β):** وهي إلكترونات سالبة الشحنة أو بوزيترونات موجبة الشحنة تنبعث من داخل النواة، أي أن مقدار شحنتها يساوي 1.6×10^{-19} C، وقدرتها على تأيين المواد متوسطة؛ لذلك فإن قدرتها على اختراق المواد متوسطة، وتنحرف عند تعرضها لمجال مغناطيسي أو كهربائي، وتبلغ سرعتها 0.9 من سرعة الضوء.
- **غاما (γ):** عبارة عن موجات كهرومغناطيسية (فوتونات عالية الطاقة) ليس لها كتلة سكونية ولا شحنة، قدرتها على التأيين صغيرة؛ لذا قدرتها على اختراق المواد عالية، وتقل كثافتها إلى النصف عند مرورها خلال (100 mm) رصاص، ولا تتأثر بالمجالين المغناطيسي والكهربائي، وسرعتها تساوي سرعة الضوء.

سؤال: قارن بين أشعة ألفا، وبيتا، وغاما في جدول من حيث الشحنة والنفاذية والمقدرة على تأيين المواد.

وقد أظهرت التجارب أن مبادئ حفظ الكميات الفيزيائية تنطبق على النشاط الإشعاعي الطبيعي والصناعي وهي: (الطاقة-الكتلة)، والزخم الخطي، والزخم الزاوي، وعدد الشحنات الموجبة (العدد الذري Z)، والعدد الكتلي A.

اضمحلال ألفا (α):

جسيم ألفا في طبيعته نواة هيليوم ^4_2He ، فعندما تنبعث ألفا من النواة الأم، يقل العدد الكتلي بمقدار (4)، ويقل العدد الذري بمقدار (2) في النواة البنت (الناتجة)، الصيغة العامة لاضمحلال النواة التي تبعث جسيم α تُكتب على الشكل:

$$^A_ZX \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$$

يطلق على النواة ^A_ZX النواة الأم، والنواة $^{A-4}_{Z-2}Y$ النواة البنت.

ويحدث تحلل ألفا؛ لأن القوة النووية غير قادرة على جذب نيوكليونات الأنوية الكبيرة معاً. حيث إن القوة النووية قوة قصيرة المدى، فهي لا تعمل إلا بين النيوكليونات المتجاورة. ولكن مدى القوة الكهربائية كبير، فكلما كان عدد البروتونات في النواة كبيراً، كانت قوى التنافر كبيرة، ولهذا تكون القوة النووية غير كافية لربط النيوكليونات داخل النواة.

أناقش:

عندما تبعث النواة الأم جسيم ألفا، ماذا يحدث لـ:

- عددها الكتلي.
- عدد بروتوناتها.
- عدد نيوتروناتها.

طاقة الاضمحلال للتفاعل (Q)

تعرفت سابقاً إلى العلاقة بين الكتلة والطاقة من خلال معادلة آينشتاين الشهيرة $E = \Delta m\ c^2$ حيث: Δm كتلة المادة المتحولة، c^2: مربع سرعة الضوء ($c^2 = 931.5\ MeV/u$) واعتماداً على حفظ (الكتلة – الطاقة) فإنه عند اضمحلال النواه الأم: $M_p c^2 = (M_d c^2 + m_\alpha c^2 + Q)$

$$Q = (M_p - M_d - m_\alpha)\ c^2 = \Delta m\ c^2 = \Delta m\ (u) \times 931.5\ \frac{MeV}{u} \qquad (10\text{-}6)$$

حيث: M_p: كتلة النواة الأم.

M_d: كتلة النواة البنت.

m_α: كتلة جسيم ألفا.

Q: طاقة الاضمحلال.

إذا كانت Q موجبة يكون التفاعل طارداً للطاقة ويحدث تلقائياً، وإذا كانت Q سالبة فإن التفاعل ماص للطاقة، ولا يمكن أن يحدث تلقائياً.

مثال (4):

احسب مقدار Q بوحدة إلكترون فولت للاضمحلال: $^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$

علماً بأن الكتل الذرية التي تحتاجها مبينة في الجدول أدناه، هل يمكن أن يحدث هذا الاضمحلال تلقائياً؟

الذرة	الكتلة (u)
$^{238}_{92}U$	238.050779
$^{234}_{90}Th$	234.04363
$^{4}_{2}He$	4.00151

الحل:

$$Q = (M_p - M_d - m_\alpha)\ c^2$$
$$Q = (238.05079 - 234.04363 - 4.00151)\ c^2$$
$$Q = (0.00565) \times 931.5 = 5.263\ MeV$$

بما أن Q موجبة فإنها تكون طاقة متحررة، ويمكن لهذا الاضمحلال أن يحدث تلقائياً.

(لاحظ هنا أننا استخدمنا قيم كتل الذرات بدلاً من كتل الأنوية، وهذا لا يؤثر على حساب Q، حيث إن مجموع كتل الإلكترونات يلغى عندما نحسب الفرق بين كتلة المادة الأصلية ومجموع كتل المواد الناتجة).

الذرة	الكتلة (u)
$^{210}_{84}Po$	209.98286
$^{206}_{82}P_b$	205.97446
$^{4}_{2}He$	4.00151

سؤال: احسب مقدار Q بوحدة المليون إلكترون فولت للاضمحلال:

$$^{210}_{84}Po \longrightarrow {}^{206}_{82}P_b + {}^{4}_{2}He$$

علماً بأن الكتل الذرية التي تحتاجها مبينة في الجدول المقابل،

هل Q طاقة منبعثة أم ممتصة؟ هل يمكن أن يحدث هذا الاضمحلال تلقائياً؟

سؤال: هل يمكن أن ينبعث أربعة نيوكلونات (2n ،2p) في الاضمحلال السابق بدلاً من انبعاث ألفا، فسر ذلك من خلال حساب طاقة التفاعل.

الطاقة الحركية للنواة البنت وجسيم α

افترض أن نواة أم اضمحلت إلى نواة بنت وجسيم α ومن خلال تطبيق قانون حفظ الزخم وقانون حفظ الطاقة ينتج أن:

$$K_\alpha = Q\left(\frac{M_d}{M_d + m_\alpha}\right) \qquad (10\text{-}7)$$

$$K_d = Q\left(\frac{m_\alpha}{M_d + m_\alpha}\right) \qquad (10\text{-}8)$$

K_α: الطاقة الحركية لجسيم ألفا

K_d: الطاقة الحركية للنواة البنت

أناقش:

1- الطاقة الحركية لجسيم α أكبر من الطاقة الحركية للنواة البنت.

2- اتجاه سرعة جسيم ألفا يعاكس اتجاه سرعة النواة البنت.

3- اعتماداً على المعادلات السابقة، هل تختلف طاقة جسيم α من تفاعل إلى تفاعل أخر، وضح ذلك.

مثال (5):

احسب مقدار طاقة الحركة بوحدة المليون إلكترون فولت التي يحملها كل من جسيم ألفا والنواة البنت الناتجة من الاضمحلال كما في المثال (4) السابق.

الحل:

$$K_\alpha = Q\left(\frac{M_d}{M_d + m_\alpha}\right)$$

$$K_\alpha = 4.26\left(\frac{234.04363}{234.04363 + 4.00151}\right) = 4.19\ MeV$$

$$K_d = Q\left(\frac{m_\alpha}{M_d + m_\alpha}\right)$$

ويمكن حساب طاقة البنت من خلال:

$$K_d = Q - K_\alpha$$

$$K_d = 4.26 - 4.19 = 0.07\ MeV$$

الذرة	الكتلة (u)
$^{230}_{90}Th$	230.0331
$^{226}_{88}R_a$	226.02541
$^{4}_{2}He$	4.00151

سؤال: احسب مقدار طاقة الحركة بوحدة المليون إلكترون فولت التي يحملها كل من جسيم ألفا والنواة البنت الناتجة من الاضمحلال التالي $^{230}_{90}Th \longrightarrow {}^{226}_{88}R_a + {}^{4}_{2}He$ علما بأن الكتل الذرية التي تحتاج إليها مبينة في الجدول المجاور.

اضمحلال جسيمات بيتا β

جسيمات β إما أن تكون إلكترونات سالبة، وذلك عندما يكون عدد النيوترونات أكبر بكثير من عدد البروتونات، أو بوزيترونات موجبة الشحنة، وذلك عندما يكون عدد البروتونات أكبر بكثير من عدد النيوترونات، وفي الاضمحلالات التي تنتج جسيم بيتا ينتج معه جسيم يسمى النيوترونيو أو ضديد نيوترينو ، لضمان حفظ الزخم، ويمكن تمثيل اضمحلالات جسيمات بيتا إلى جسيمات السالبة، وجسيمات الموجبة، كما هو مبين في الجدول التالي:

اضمحلال جسيمات β الموجبة	اضمحلال جسيمات β السالبة
$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^{+} + \nu_e$	$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^{-} + \overline{\nu}_e$
وهنا يتحول البروتون إلى نيوترون	ومن أشهر الاضمحلالات اضمحلال النيوترون إلى بروتون
$^{1}_{1}P \longrightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{1}e^{+} + \nu_e$	$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e^{-} + \overline{\nu}_e$

أناقش:

ماذا يحدث لكل من العدد الكتلي والعدد الذري في الاضمحلال الذي ينتج:

أ - جسيم β السالب؟

ب -جسيم β الموجب؟

أفكر

يمكن أن يحدث اضمحلال النيوترون داخل النواة وخارجها ، أما تحول البروتون إلى نيوترون فلا يحدث إلا داخل النواة، لماذا؟

سؤال: احسب طاقة التفاعل في اضمحلال الكربون إلى نيتروجين في المعادلة $^{14}_{6}C \longrightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e + \nu_e$

علماً بأن كتلة الكربون 14.003241u، والنيتروجين 14.003074u، وجسيم بيتا 0.000549u

اضمحلال غاما :

إن جسيمات غاما في طبيعتها فوتونات عالية الطاقة لا شحنة لها ولا كتلة. وتبعث النواة جسيم غاما عندما تكون في حالة تهيج، وتكون النواة في حالة تهيج نتيجة لتصادمها بجسيمات عالية الطاقة، وتكون النواة البنت في حالة تهيج عند اضمحلال جسيم ألفا أو بيتا، وصيغتها العامة $^{A}_{Z}Y^{*} \longrightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma$

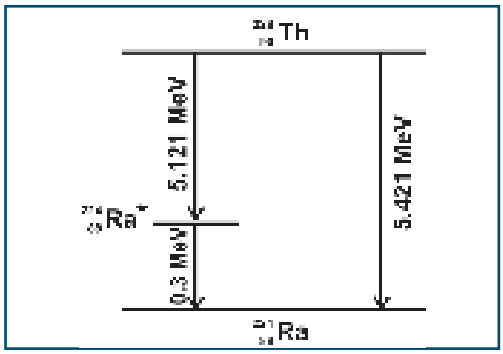
أناقش: في الإضمحلال الذي يصاحبه إنبعاث أشعة غاما :

- هل يتغير العدد الكتلي A أو العدد الذري Z للنواة؟
- هل تتغير الصفات الفيزيائية أو الكيميائية للنواة؟
- ما الحالة التي تكون عليها النواة حتى ينبعث جسيم غاما؟
- ما الحالات التي تتهيج فيها النواة؟
- ما الحالة التي تصل إليها النواة بعد أن تشع جسيم غاما؟

في بعض الحالات التي تضمحل فيها نواة معينة لتنتج جسيم ألفا، يكون جسيم ألفا مصحوباً بجسيم غاما (فوتون ذو طاقة عالية)، ويمكن تمثيل هذا الاضمحلال بصورة عامة على مرحلتين كما يأتي:

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y^{*} + {}^{4}_{2}He $$

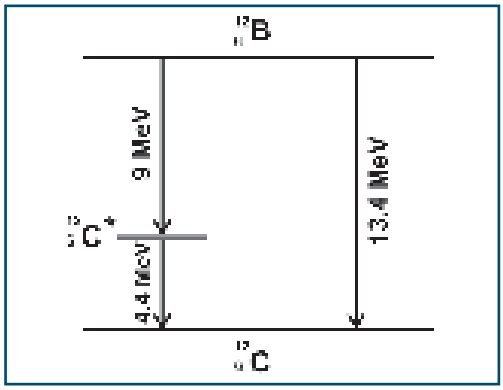
$$ {}^{A-4}_{Z-2}Y^{*} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + \gamma $$



الشكل (10-7)

سؤال: اعتماداً على بيانات الشكل (10-7)، وضح كيفية اضمحلال الثوريوم $^{228}_{90}Th$ إلى راديوم $^{224}_{88}R_a$ بطريقتين مع كتابة معادلات التفاعل.

وكما كان الحال في الاضمحلالات المنتجة لجسيم ألفا، فإنه في بعض الاضمحلالات المنتجة لجسيمات بيتا يكون جسيم بيتا مصحوباً بجسيم غاما. وفي هذه الحالة تترك النواة البنت في حالة تهيج وحتى تنتقل إلى حالة الاستقرار فلا بد أن تبعث فوتوناً.



الشكل (10-8)

سؤال: تضمحل نواة البورون $^{12}_{5}B$ بفقد جسيم بيتا السالب، وتتحول إلى نواة الكربون $^{12}_{6}C$ بطريقتين، اشرح الطريقتين مع كتابة معادلات التفاعل معتمداً على بيانات الشكل (10-8)؟

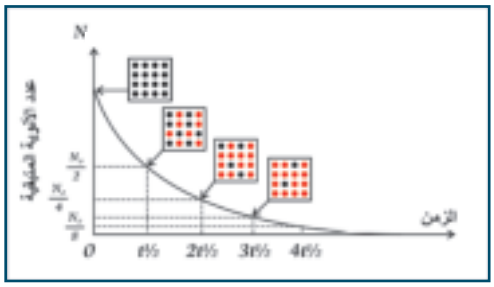
10-5 فترة عمر النصف

عادة ما يقاس النشاط الإشعاعي لعنصر بالمعدل الذي تنحل به نوى ذراته. وتوضح القياسات العملية أن معدل اضمحلال عنصر ما يتغير تغيرا أسيا مع الزمن. فلو فرضنا أن لدينا عنصرا مشعا عدد ذراته (N_0) عند بداية رصد الاضمحلال (t=0)، وبعد فترة زمنية قدرها (t) كان عدد الأنوية المتبقية (N) ويمكن حساب العدد من العلاقة:

$$ N = N_0 e^{-\lambda t} \qquad (10\text{-}9) $$

حيث N_0: عدد الأنوية الأصلي، وe العدد النيبيري، وهو ثابت رياضي = 2.71828، و(λ) ثابت الاضمحلال، ويختلف من عنصر لآخر، و(t) زمن الاضمحلال.

ويمكن تمثيل العلاقة الرياضية السابقة بالمنحنى البياني الممثل في الشكل (10-9)



الشكل (10-9)

أناقش:

اعتماداً على الرسم البياني

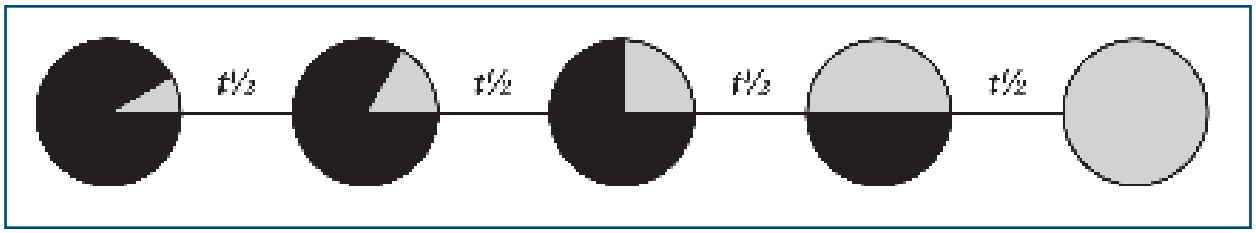
- كم عدد الأنوية المتبقية بعد مرور الفترة الزمنية $t_{1/2}$، $2\ t_{1/2}$، $3\ t_{1/2}$؟
- هل من الممكن أن تنفد الأنوية المشعة؟

لعلك توصلت أن فترة عمر النصف لعنصر ما: «الزمن اللازم لاضمحلال نصف عدد أنوية العنصر المشع، أو الزمن اللازم ليتناقص فيه النشاط الإشعاعي للعنصر إلى نصف قيمته الأصلية».

سؤال: ما معنى أن فترة عمر النصف لعنصر الراديوم $(^{226}_{88}R_a)$ حوالي 1620 سنة؟

نشاط (10-3) تمثيل عمر النصف

في الشكل التالي اللون الرمادي يمثل عدد الأنوية المتبقية من العنصر، واللون الأحمر يمثل عدد الأنوية المضمحلة، تأمل الشكل (10-10) ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (10-10)

1. ما عدد الأنوية المتبقية بعد مرور $t_{1/2}$, $2\ t_{1/2}$, $3\ t_{1/2}$ ؟
2. اكتب معادلة تعمم على عدد n من الفترات؟
3. اكتب علاقة تحسب منها عدد مرات التحول بمعلومية الزمن المار.

نلاحظ من النشاط السابق أنه بعد مرور زمن $t_{1/2}$ فإن $N = \frac{1}{2} N_0$

وبعد مرور زمن ضعفي $2t_{1/2}$ فإن $N_2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} N_0 = (\frac{1}{2})^2 N_0$

وبعد مرور زمن يساوي ثلاثة أمثال $3\ T_{1/2}$ فإن $N_3 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} N_0 = (\frac{1}{2})^3 N_0$

ويمكن تعميم ذلك $N = (\frac{1}{2})^n N_0$

حيث n تمثل عدد مرات التحول (عدد فترات نصف العمر)، N: عدد الأنوية المتبقية بعد n من التحولات، ويحسب عدد مرات التحول من العلاقة

$$n = \frac{t}{t_{1/2}} \qquad (10\text{-}10)$$

العنصر	فترة عمر النصف
$^{238}_{92}U$	4.47×10^9 سنة
$^{235}_{92}U$	1.2×10^8 سنة
$^{237}_{93}Np$	2.14×10^6 سنة
$^{14}_{6}C$	5.7×10^3 سنة
$^{226}_{88}Ra$	1620 سنة
$^{3}_{1}H$	12.3 سنة
$^{210}_{84}Po$	140 يوما
$^{32}_{15}P$	14.28 يوما
$^{64}_{29}Cu$	12.7 ساعة
$^{210}_{82}Pb$	26.8 دقيقة
$^{30}_{16}S$	3.1 دقيقة
$^{108}_{47}Ag$	2.42 دقيقة
$^{16}_{7}N$	7.2 دقيقة
$^{92}_{36}Kr$	1.84 ثانية

ولحساب العلاقة بين عمر النصف وثابت الاضمحلال $N = N_0 e^{-\lambda t}$

عدد الأنوية المتبقية بعد فترة عمر النصف $N = \frac{1}{2} N_0$ ومن المعادلة (10- 9)

بأخذ اللوغاريتم الطبيعي لطرفي المعادلة ينتج أن:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \qquad (10\text{-}11)$$

من العلاقة السابقة يتبين أن عمر النصف يتناسب عكسياً مع ثابت الاضمحلال، والجدول المجاور يبين عمر النصف لبعض العناصر المشعة، وعمر النصف ثابت للعنصر الواحد ويتوقف على نوع العنصر، علماً بأن بعض العناصر غير موجودة في الطبيعة ويتم إنتاجها في المختبر.

أناقش:

- فترة عمر النصف لليورانيوم كبيرة جداً بينما للكربيتون لا تتجاوز الثانيتين.
- قارن بين ثابت اضمحلال اليورانيوم وثابت اضمحلال النحاس.

ويستفاد من حساب عمر النصف في تقدير عمر الأرض بأخذ عينة من صخور القشرة الأرضية، وتعيين نسبة اليورانيوم والرصاص في العينة، ومن معرفة عمر النصف لليورانيوم تمكن العلماء من تقدير عمر الأرض. ويسمى هذا العمر: «العمر الإشعاعي للأرض» وقد وجد أن عمر الأرض حوالي 4×10^9 سنة.

كما يستفاد منه في معرفة عمر الكائن الحي، فعند وفاة الكائن الحي تبدأ نسبة ($^{14}_{6}C$) المشع في جسمه تتناقص، وبمعرفة نسبة الكربون المشع في عينة معينة، وبالرجوع إلى منحنى التحلل الإشعاعي للكربون المشع (فترة عمر النصف له 5700 سنة)، يمكن معرفة الزمن الذي انقضى على الوفاة.

مثال (8):

إذا كان عمر النصف لليود ^{125}I هو 60 يوماً فاحسب:

1) ثابت الاضمحلال.

2) النسبة المئوية لعدد النوى المتبقية منه بعد 300 يوماً.

الحل:

1) $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$\ln 2 = \lambda t_{1/2}$

$0.693 = \lambda \times 60$

$\lambda = 0.01155$ يوم$^{-1}$

2) $n = \frac{t}{t_{1/2}} = \frac{300}{60} = 5$

$N = (\frac{1}{2})^n N_0$

$N = (\frac{1}{2})^5 N_0$

$\frac{N}{N_0} = (\frac{1}{32}) = 3.125\%$

سؤال: طلب مستشفى 20 mg من نظير اليود المشع (^{131}I) المستخدم في علاج تضخم الغدة الدرقية، وقام المستشفى بتخزينه لمدة 48 يوماً. فكم كتلة (^{131}I) التي ستبقى بعد هذه المدة، علماً بأن عمر النصف له 8 أيام؟

مثال (9):

وضع 12gm من مادة مشعة في مكان ما، وبعد 50 يوما وجد أن المقدار المتبقي من هذه المادة المشعة هو 0.75gm. احسب ثابت الاضمحلال لهذه المادة.

الحل:

$$0.75 = 12\ (\frac{1}{2})^n$$

$$(\frac{1}{2})^n = (\frac{0.75}{12}) = \frac{1}{16} = (\frac{1}{2})^4$$

$$n = 4$$

$$4 = \frac{50}{t_{1/2}} \longrightarrow t_{1/2} = 12.5 \text{ يوم}$$

$$In2 = \lambda\ t_{1/2}$$

$$0.693 = \lambda \times 12.5 \times 24 \times 60 \times 60$$

$$\lambda = 6.41 \times 10^{-7}\ s^{-1}$$

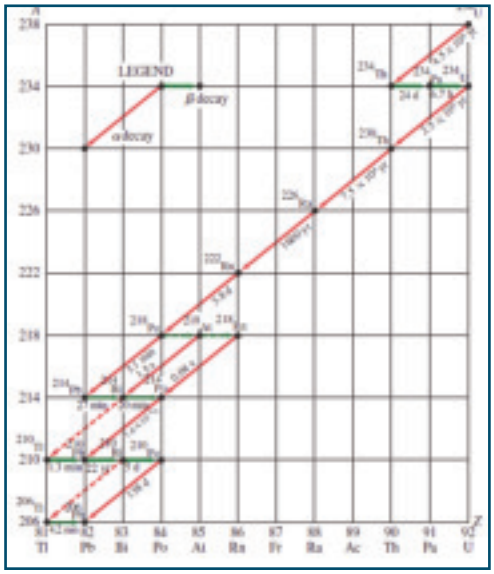
سلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي:

تعرف سلسلة التحلل الإشعاعي: بأنها «مجموعة التحولات التي تحدث لنواة العنصر المشع؛ حتى تتحول في النهاية إلى نواة عنصر مستقر».

وهناك ثلاث سلاسل من الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي، وهي:

- سلسلة اليورانيوم 238 التي تبدأ بنظير اليورانيوم $^{228}_{92}U$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{206}_{82}Pb$
- سلسلة اليورانيوم 235 أو (الأكتينيوم) التي تبدأ بنظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{207}_{82}Pb$
- سلسلة الثوريوم 232 التي تبدأ بنظير الثوريوم $^{232}_{90}Th$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{208}_{82}Pb$

وهناك سلاسل إشعاعية أخرى تسمى السلاسل المحفزة، حيث تبدأ السلسلة بعنصر مشع لا يتواجد في الطبيعة، وإنما يتم إنتاجه في المختبر، ومن أشهر هذه السلاسل سلسلة النبتونيوم التي تبدأ بعنصر $^{237}_{93}Np$ وتنتهي بعنصر البزموث $^{209}_{83}Bi$



الشكل (10-11)

ولتتعرف هذه السلاسل تأمل الشكل (10-11)، ثم ناقش الأسئلة الآتية:

1- أي من السلاسل الثلاث السابقة تمثل السلسلة في الشكل؟

2- أي عنصر في السلسلة يكون عمر النصف له أكبر؟

3- هل يضمحل جسيم α وجسيم بيتا في آن واحد؟
4- اكتب معادلة لاضمحلال جسيم α
5- اكتب معادلة لاضمحلال جسيم بيتا β
6- اكتب ثلاث نظائر لكل من: البولونيوم، والرصاص.
7- ما عدد اضمحلالات α و في السلسلة معبراً عن ذلك بمعادلة؟
8- احسب عدد جسيمات ألفا وبيتا في السلسلة التي تبدأ باليورانيوم $^{235}_{92}U$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{207}_{82}Pb$

الانشطار النووي (Nuclear Fission)

في الفصل السابق علمت أن الأنوية الثقيلة ($Z>82$) التي تقع على يمين منحنى طاقة الربط النووي تميل إلى أن تستقر، وذلك بأن تنقسم إلى نواتين خفيفتين تقعان في المنطقة الأكثر استقراراً على المنحنى، وتسمى هذه العملية بالانشطار النووي.
ويعرف الانشطار النووي على أنه انقسام لأنوية ذرات العناصر الثقيلة إلى نواتين أو أكثر أخف منها، وتنبعث كمية هائلة من الطاقة نتيجة لهذا الانشطار.
ويمكن الحصول عليه بقذف النواة الثقيلة بجسيمات خفيفة وبطيئة، تستقر فيها فترة قصيرة جداً تسبب تهيجها، ثم تنشطر النواة المتهيجة إلى نواتين أخف، وينتج عن ذلك عدد من النيوترونات.
والمثال الشائع لهذا الانشطار انشطار اليورانيوم 235، الذي يمكن تمثيله بالمعادلة العامة الآتية:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow {}^{236}_{92}U^{*} \longrightarrow X + Y + \text{neutrons} + \text{energy}$$

الاندماج النووي:

علمت أن بعض الأنوية الثقيلة مثل $^{235}_{92}U$ تنشطر إلى نواتين متوسطتين إذا قذفت بنيوترون بطيء، وعلمت أن مثل هذا التفاعل يسمى «الانشطار النووي»، وعكس هذا التفاعل، أي «دمج نواتين خفيفتين معاً لتكوين نواة أثقل يسمى الاندماج النووي» وهذا ما يحدث للأنوية الموجودة على يسار منحنى طاقة الربط النووية ($Z<20$)، وبالمثل ينبعث في الاندماج النووي طاقة هائلة مصدرها الفرق في الكتلة بين الأنوية المندمجة والناتجة، ومن أمثلة الاندماج النووي التفاعلين التاليين لأنوية الهيدروجين لإنتاج أنوية الهيليوم:

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 24\ MeV$$

$$^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 17.6\ MeV$$

ونظراً لقوى التنافر الكهروستاتيكية بين الأنوية الخفيفة المطلوب دمجها معاً، فإنه يكون من الصعب جداً البدء في إحداث اندماج نووي، ولهذا السبب فإنه من أجل إحداث اندماج نووي لا بد من زيادة الضغط الواقع على الأنوية الخفيفة زيادة كبيرة ورفع درجة حرارتها.
وبسبب صعوبة توفير كل هذه الظروف، وبخاصة درجة الحرارة المرتفعة، كان من الصعب تحقيق الاندماجات النووية في المختبرات العلمية، إلا أن الاندماجات النووية تحدث بشكل طبيعي داخل الشمس ومعظم النجوم الأخرى، حيث تبلغ درجة الحرارة ملايين الدرجات.

أسئلة الفصل:

ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أي من الآتية يمثل العدد الكتلي في النواة؟

أ- عدد البروتونات ب- عدد النيوكليونات. ج- عدد الإلكترونات د- عدد النيوترونات

2. أي مما يأتي لا يتأثر بالمجالين الكهربائي و المغناطيسي؟

أ- جاما ب- ألفا ج- بيتا د- بوزيترون

3. بم تمتاز القوة النووية التي تربط النيوكليونات في النواة؟

أ- طويلة المدى وكبيرة المقدار ب- طويلة المدى وصغيرة المقدار

ج) قصيرة المدى وصغيرة المقدار د- قصيرة المدى وكبيرة المقدار

4. عنصر عدد بروتوناته 13 وعدد نيوتروناته 14، ما نصف قطر نواته بوحدة فيرمي؟

أ- 1.2 ب- 2.8 ج- 2.9 د- 3.6

5. العنصر X يتحلل إلى العنصر Y بعد مرور فترة عمر النصف المساوية 3 أيام، فإن نسبة (Y:X) في عينة من العنصر X النقي بعد مرور 6 أيام تساوي:

أ- 1 :1 ب- 1: 2 ج- 1: 3 د- 1: 4

6. تبدأ إحدى سلاسل الاضمحلال الإشعاعي الطبيعي بنظير $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ وتنتهي بنظير الرصاص $^{208}_{82}\mathrm{Pb}$ وينتج عن هذا الاضمحلال عدد من جسيمات (α) ألفا، وعدد من جسيمات (β) بيتا السالبة، ما عدد جسيمات ألفا وبيتا الناتجة من هذا الاضمحلال (α، β)؟

أ- (4، 4) ب- (4، 6) ج- (6، 4) د- (6، 6)

7. إذا كان عمر النصف لنظير الصوديوم $^{24}_{11}\mathrm{Na}$ هو 15 ساعة، ما الزمن الذي يمضي لانحلال $\frac{7}{8}$ كمية معينة منه بالساعة؟

أ- 15 ب- 30 ج- 45 د- 60

8. في التفاعل النووي $^{4}_{2}He + {}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{A+3}_{Z+2}Y + W$ ما الجسيم W؟

أ- إلكترون ب- بوزيترون ج- بروتون د- نيوترون

9. إذا كانت الصيغة العامة لانشطار اليورانيوم $^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{236}_{92}\mathrm{U}* \rightarrow \mathrm{X} + \mathrm{Y} + 2{}^{1}_{0}\mathrm{n} + \mathrm{energy}$

أي من الأزواج الآتية يمكن أن تكون X ، Y

أ- $^{141}_{54}Xe$ و $^{93}_{38}Sr$ ب- $^{139}_{55}Cs$ و $^{96}_{37}Rb$ ج- $^{156}_{60}Nd$ و $^{79}_{32}Ge$ د- $^{121}_{49}In$ و $^{113}_{44}Ru$

10. إذا كانت طاقة الربط النووية للنوى ($^{2}_{1}\mathrm{H}$، $^{4}_{2}\mathrm{He}$، $^{56}_{26}\mathrm{Fe}$، $^{235}_{92}\mathrm{U}$)، تساوي (2.22)، (28.3)، (492)، (1786) مليون إلكترون فولت على الترتيب، فإن النواة الأكثر استقرارا هي:

أ- Fe ب- H ج- U د- He

س2: عرف المفاهيم الآتية: النظائر، وطاقة الربط النووية، والنشاط الإشعاعي، والاندماج النووي.

س3: ما أنواع القوى الموجودة في النواة؟ وما خصائص القوة النووية؟

س4: علل ما يأتي:

أ – انبعاث الإلكترونات السالبة من النواة مع أنها ليست من مكوناتها.

ب- انبعاث جسيم بيتا يغير العدد الذري لنواة العنصر المشعة.

ج- تنحرف جسيمات ألفا وبيتا في حين لا تنحرف أشعة غاما بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي.

س5: أكمل المعادلات الآتية:

$${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow \cdots\cdots\cdots \rightarrow {}^{139}_{55}Cs + {}^{95}_{37}Rb + \cdots\cdots\cdots + \cdots$$

$${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + \cdots\cdots\cdots + \cdots\cdots$$

$${}^{27}_{13}Al + \cdots\cdots\cdots \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

$${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{4}_{2}He + \cdots\cdots\cdots$$

$${}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{A}_{z+1}Y + \cdots\cdots\cdots + \cdots\cdots\cdots$$

س6: إذا علمت أن عمر النصف لعنصر مشع يساوي 8.04 يوماً، وكان لدينا 48×10^{19} ذرة من هذا العنصر. احسب عدد الذرات التي:

أ – تتبقى دون انحلال بعد مرور 24.12 يوماً.

ب – تضمحل بعد مرور 32.16 يوماً.

س7: إذا كانت طاقة الربط النووية لكل نيوكليون لنواة ذرة الكالسيوم ${}^{40}_{20}Ca$ تساوي 8.552 MeV/A، احسب كتلة النواة معتمدا على بيانات الجدول المجاور .

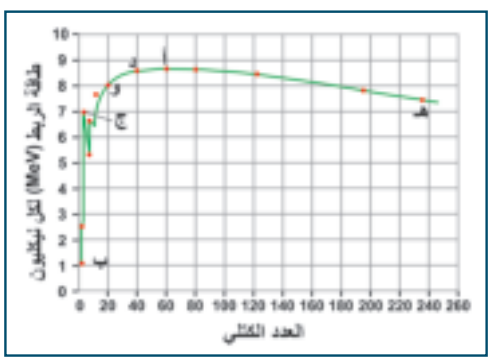
الجسيم	الشحنة	الكتلة (Kg)	الكتلة (u)
النيوترون	متعادل	1.6749×10^{-27}	1.008665
البروتون	موجبة	1.626×10^{-27}	1.007276
الإلكترون	سالب	0.00091×10^{-27}	0.0005486

س8: احسب النسبة بين كل من نصفي قطر وحجمي نواتي الهيليوم ${}^{4}_{2}He$ والكالسيوم ${}^{40}_{20}Ca$.

س9: احسب مقدار طاقة الحركة بوحدة المليون إلكترون فولت التي يحملها كل من جسيم ألفا والنواة البنت الناتجة من الاضمحلال التالي: ${}^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$ علماً بأن الكتل الذرية التي تحتاجها مبينة في الجدول المقابل.

الذرة	الكتلة (u)
${}^{210}_{84}Po$	209.98286
${}^{206}_{82}P_b$	205.97446
${}^{4}_{2}He$	4.00151

س10: المنحنى البياني في الشكل المجاور يمثل العلاقة بين العدد الكتلي (A) ومعدل طاقة الربط النووية لعدد من العناصر تأمل الشكل، ثم أجب عن الأسئلة الآتية:



1 – ما العنصر الأكثر استقرارا؟ وما العنصر الأقل استقرارا؟

2- ما طاقة الربط النووية لنيوكليون العنصر ج؟

3 – ما العدد الكتلي للعنصر الذي طاقة الربط النووية لكل نيوكليون 8 مليون إلكترون فولت؟

4 – احسب طاقة الربط النووية للعنصر د بوحدة الجول.

5 – أي العناصر أكثر قابلية للانشطار؟ وأيها أكثر قابلية للاندماج؟

أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة

1. يتفق نموذج (رايلي وجينز) النظري المستند إلى الفيزياء الكلاسيكية مع الواقع التجريبي لطيف إشعاع الجسم الأسود للأطوال الموجية:

أ- الطويلة ب- المتوسطة ج- القصيرة د- القصيرة جداً

2. إذا علمت أن شدّة الإشعاع القصوى المنبعثة من جسم أسود درجة حرارته (5800 K°) تكون عند الطول الموجي (500 nm)، إذا أصبحت درجة حرارة هذا الجسم (4000 K°)، فإن الطول الموجي (λmax) الذي يحدث عند شدّة الإشعاع القصوى سيكون:

أ- $500\ nm > \lambda max$ ب- $500\ nm < \lambda max$

ج- $500\ nm = \lambda max$ د- لاعلاقة بين درجة الحرارة و λmax

3. ترتيب القوى الأساسية داخل النواة من حيث مقدارها كما يأتي:

أ- قوة كولوم > قوة الجذب الكتلي > القوة النووية

ب- القوة النووية > قوة كولوم > قوة الجذب الكتلي

ج- القوة النووية > قوة الجذب الكتلي > قوة كولوم

د- قوة الجذب الكتلي > قوة كولوم > القوة النووية

4. في سلسلة بالمر إذا انتقل الإلكترون من مدار طاقة (0.544 eV -) فإن لون الخط الناتج من ذلك الطيف هو

أ- أزرق ب- أحمر ج- بنفسجي د- أخضر

5. نواة عنصر مشع يرمز لها بالرمز $^{234}_{90}X$ انحلّت مطلقة جسيم بيتا السالب، فتكون النواة الناتجة هي:

أ- $^{234}_{91}X$ ب- $^{234}_{89}X$ ج- $^{234}_{89}Y$ د- $^{234}_{91}Y$

6. جسيمان لهما نفس طاقة الحركة، فكان طول الموجة المرافقة للأول (λ_1) يساوي ثلاثة أضعاف طول الموجة المرافقة للثاني (λ_2)، فيكون:

أ- $3m_2 = m_1$ ب- $\frac{1}{3} m_2 = m_1$ ج- $9m_2 = m_1$ د- $\frac{1}{9} m_2 = m_1$

7. إن النسبة بين نصف قطر نواة عنصر ($^{27}_{13}Al$) ونصف قطر نواة العنصر ($^{8}_{4}Be$) هي:

أ- $(\frac{3}{2})^{\frac{1}{3}}$ ب- $\frac{2}{3}$ ج- $\frac{3}{2}$ د- $\frac{27}{8}$

8. تبدأ سلسلة اضمحلال الثوريوم بنواة $^{232}_{90}Th$ ما العدد الذري والعدد الكتلي للنواة الناتجة بعد انبعاث 3 جسيمات ألفا وجسيمي بيتا؟

أ- $^{218}_{84}Rn$ ب- $^{218}_{86}Rn$ ج- $^{220}_{84}Rn$ د- $^{220}_{86}Rn$

9. كتلة نواة العنصر:

أ- أكبر من مجموع كتل مكوناتها من النيوكليونات الحرة

ب- أصغر من مجموع كتل مكوناتها من النيوكليونات الحرة

ج- تساوي مجموع كتل مكوناتها من النيوكليونات الحرة

د- تساوي مجموع أعداد النيوكليونات المكونة لها

10. إذا كان العدد الكتلي للعنصر (X) = 8 أمثال العدد الكتلي للعنصر (Y) فإن النسبة بين كثافة النواة (X) إلى كثافة النواة (Y) هي:

أ- 1 :8 ب- 8 :1 ج- 2 :1 د-1:1

11. إن انبعاث البوزيترون في المعادلة النووية الآتية، ناتج عن تحلل: $^{14}_{7}N \rightarrow {}^{14}_{6}C + \beta + \upsilon$

أ- بروتون داخل نواة N ب- بروتون داخل نواة C

ج- نيوترون داخل نواة N د- نيوترون داخل نواة C

12. إذا كان عمر النصف لعنصرين مشعين (A)، (B) يساوي (20), (40) دقيقة على الترتيب. إذا احتوت عينتان منهما على نفس العدد من الذرات، فإنه بعد مرور (80) دقيقة على بداية تحلل العينتين تكون النسبة بين عدد النوى المتبقية من العينة (A) إلى تلك المتبقية من (B) B:A تساوي:

أ- (16 :1) ب- (4: 1) ج- (1: 4) د- (1:1)

13. عند ثبوت شدة الضوء الساقط في تجربة التأثير الكهروضوئي وزيادة الجهد الموجب للمصعد فإن شدة التيار الإلكتروني:

أ- تستمر في الزيادة بزيادة الجهد الموجب للمصعد ب- تزداد تدريجيا ثم تثبت عند تيار الإشباع

ج- تقل تدريجيا إلى أن تصل للصفر د- تبقى ثابتة لا تزداد إلا بزيادة شدة الضوء الساقط

14. اذا علمت أن نصف قطر نواة ذرة الهيدروجين تساوي (1.2×10^{-15} m) فإن العدد الكتلي لنواة نصف قطرها (3.6×10^{-15} m) هو:

أ- 3 ب-9 ج- 27 د- 81

15. يسقط ضوء على سطح فلزي اقتران الشغل له (3 eV) فتنطلق إلكترونات طاقتها العظمى (2 eV) إذا زاد تردد الضوء الساقط للضعف فإن الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات بوحدة (eV) تصبح:

أ- 2 ب-4 ج- 5 د- 7

16. نصف قطر النواة يتناسب طرديا مع:

أ- العدد الكتلي ب- الجذر التكعيبي للعدد الكتلي

ج- مربع العدد الكتلي د- القوة الرابعة للعدد الكتلي

س2: ما المقصود بكل من:

التفاعل الانشطاري، وعمر النصف، وشدة الإشعاع، وقانون ستيفان- بولتزمان

س3:قارن بين كل ممّا يأتي:

1) سلسلة ليمان وسلسلة باشن من حيث طبيعة الأشعة المنبعثة في كل منهما.

2) القوة النووية وقوة كولوم داخل النواة من حيث نوع الجسيمات التي تتأثر بها.

3) التفسير الكلاسيكي والكمي للظاهرة الكهرو ضوئية.

س4: علل ما يأتي:

أ - يفقد جسيم ألفا طاقته بسرعة عندما يتحرك في وسط مادي.

ب- قدرة أشعة غاما على النفاذ أكبر من قدرة بيتا وألفا.

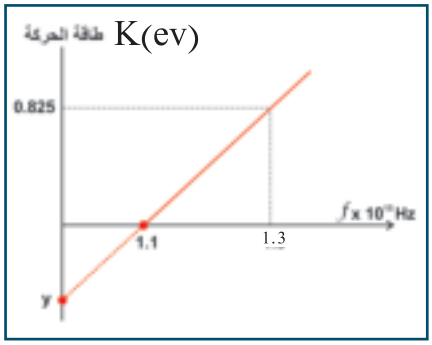
ج- انبعاث أشعة غاما لا يؤثر على العدد الذري والكتلي لنواة العنصر الباعثة له.

س5: من خلال دراستك لإشعاع الجسم الأسود، أجب عن الأسئلة الآتية:

أ. اكتب نص قانون فين للإزاحة.

ب. اكتب الصيغة الرياضية لقانون رايلي وجينز موضحا دلالة الرموز.

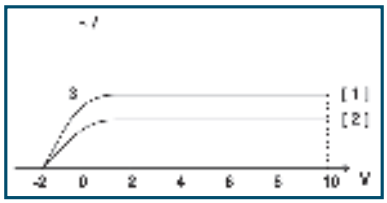
جـ. سلك تنجستون مساحة سطحه المشعّ ($8\ mm^2$) وكانت درجة حرارته ($2100^\circ K$)، باعتبار أن السلك جسم أسود مثالي، احسب الطاقة التي يشعّها السلك خلال (10 دقائق).



س6: الرسم البياني المجاور يوضّح العلاقة بين الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترونات المتحررة بوحدة (eV)، وتردد الضوء الساقط على مهبط خلية كهروضوئية، أجب عما يأتي:

أ. احسب: ثابت بلانك، اقتران الشغل لمادة مهبط الخلية.

ب. إذا سقط ضوء طول موجته (1000 Å) على مهبط هذه الخلية، وضّح فيما إذا كان يمر تيار كهروضوئي في هذه الخلية.



س7: يمثل الشكل المجاور العلاقة بين الجهد الكهربائي والتيار المار في الخلية الكهروضوئية الممثل في المنحنى [1]. مستعيناً بالقيم المثبتة على الشكل، أوجد:

أ) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز (بالجول) .

ب) تردد الفوتون الساقط على باعث الخلية، إذا علمت أن اقتران الشغل الكهروضوئي للفلز (3.2×10^{-19} J) .

ج) إذا استبدل الضوء الساقط بآخر فحصلنا على المنحنى [2] في الشكل، قارن بين المنحنيين من حيث تردد الضوء الساقط وشدته.

س8: انتقل إلكترون ذرة الهيدروجين المثارة من المستوى الرابع إلى مستوى جديد باعثاً ضوءاً مرئياً، ثم أسقط الفوتون المنبعث على مهبط خلية كهروضوئية اقتران الشغل لمادته (1.68×10^{-19} J)، احسب جهد القطع عندئذ.

س9: إلكترون كتلته (9.11×10^{-31} kg) يتحرك في مدار ما في ذرة الهيدروجين، فإذا كان الزخم الزاوي له يساوي (4.2×10^{-34} J.s)، وأن نصف قطر المدار الأول لذرة الهيدروجين (0.529 Å)، احسب:

أ- نصف قطر المدار الذي يتحرك فيه الإلكترون.

ب- طول الموجة المصاحبة للإلكترون في هذا المستوى.

س10: احسب مقدار الطاقة التي يجب أن تزود بها نواة ${}^{2}_{1}H$ لفصل مكوناتها علماً بأن $m_p = 1.0073u$ ، $m_n = 1.0087u$ ، $M_H = 2.0135u$

س11: احسب طاقة الربط لنواة الحديد (${}^{56}_{26}Fe$)، ثم احسب طاقة الربط النووية لكل نيوكليون، علما أن كتلة نواة الحديد تساوي (55.9206 u)

قائمة المراجع والمصادر

1. رأفت كامل واصف (2005). أساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة، الطبعة الثالثة. دار النشر للجامعات، القاهرة.
2. فريدريك بوش، دافيد جيرد، أساسيات الفيزياء، الدار الدولية للاستثمارات الثقافية، مصر.
1. David Halliday and Resnick (2014). Fundamentals of Physics ,10th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
2. Glenco, (2005). Physics Principles and Problems, 5th ed., McGraw Hill, USA.
3. Serway, Jewett, (2014). Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics, 10th ed., Thomson-Brooks, California.
4. Dan Bruni, Greg Dick, Jacob Speijer, Charles Stewart (2012), Physics 12, Nelson Education Ltd., Canada.