

مقدمة الوحدة

تجلس في مقعد بالباص بعد تشغيل المحرك فتشعر بالمقعد يهتز اهتزازات قد تكون طفيفة أو شديدة (حسب حادثة الباص)، وعند تشغيل بعض الأدوات الكهربائية تنشأ اهتزازات فيها يدلّ عليها الصوت أحياناً، ورؤية بعض أجزاء الآلة تهتز أحياناً أخرى، ومن المعروف أنّ الأصوات تنشأ من اهتزاز الأجسام، وأبرز الأمثلة اهتزاز أوتار الكمان أو العود أو غيرها. ولو تأملنا قليلاً نجد أنّ الاهتزازات في الطبيعة كثيرة، وتكاد ترافق مختلف الأنشطة التي نقوم بها.

سنتعرف أبسط أنواع الاهتزازات وهي الحركة التوافقية.



الحركة التوافقية البسيطة

الأهداف:

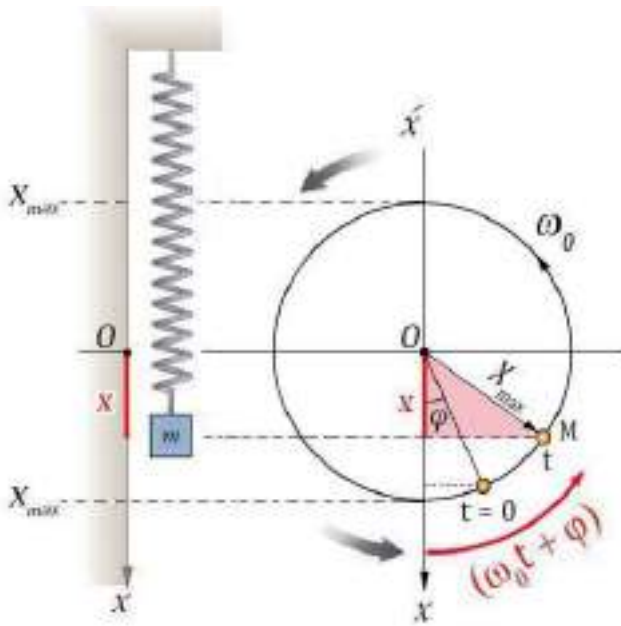
- 1- يربط بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة.
- 2- يتعرّف الحركة التوافقية البسيطة.
- 3- يتعرّف توابع الحركة التوافقية البسيطة.
- 4- يوضح بيانياً توابع الحركة التوافقية البسيطة .
- 5- يستنتج علاقة الطاقة الميكانيكية في الحركة التوافقية البسيطة.
- 6- يتعرّف التطبيقات الحياتية للحركة التوافقية البسيطة.
- 7- يعطي أمثلة من حياته اليومية على الحركة التوافقية البسيطة.

الكلمات المفتاحية

نابض، ثابت صلابة النابض، قانون هوك، اهتزاز، قوة الإرجاع، الإزاحة، السعة، الدور، التواتر، الطاقة الكامنة
الطاقة الحركية، الطاقة الميكانيكية.

العلاقة بين الحركة الدائرية المنتظمة، والحركة التوافقية البسيطة (تمثيل فريزل)

نشاط (4)



في الشكل المجاور تدور نقطة مادية M بحركة دائرية منتظمة سرعتها الزاوية ω_0 وشعاع الموضع (شعاع نصف القطر) \overline{OM} طويلته X_{\max} :

- أسمى الزاوية التي يصنعها \overline{OM} مع المحور $\overline{x'x}$ في اللحظة $t = 0$ ؟
- أسمى الزاوية التي يصنعها \overline{OM} مع المحور $\overline{x'x}$ في اللحظة t ؟
- أحدد إن كانت طول الشعاع \overline{OM} ثابتة أم متغيرة في أثناء الدوران؟
- أحدد إن كان مسقط الشعاع \overline{OM} على المحور $\overline{x'x}$ يتغير في أثناء الدوران؟
- أكتب علاقة $\cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$ بدلالة x ، و X_{\max} .

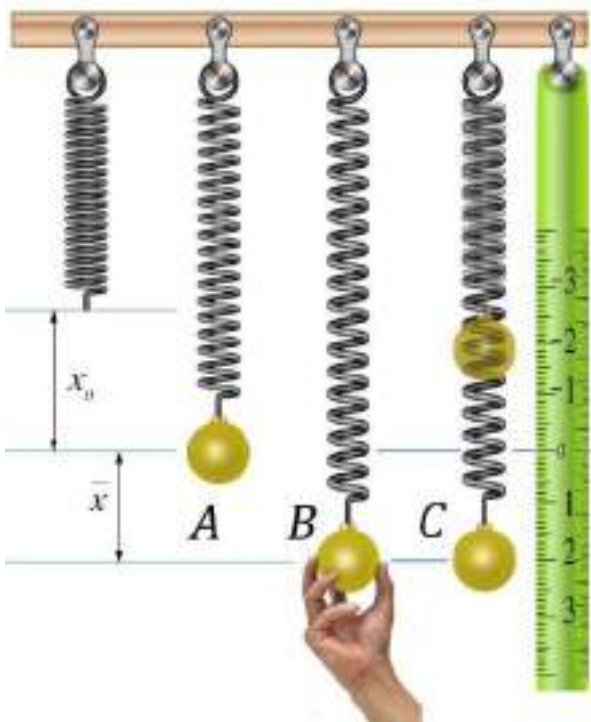
النتائج:

- الطور الابتدائي للحركة $\bar{\varphi}$ هو الزاوية بين الشعاع \overline{OM} والمحور $\overline{x'x}$ في اللحظة $t = 0$.
- طور الحركة $(\omega_0 t + \bar{\varphi})$ هو الزاوية بين الشعاع \overline{OM} والمحور $\overline{x'x}$ في اللحظة t .
- سعة الحركة X_{\max} هي طول الشعاع \overline{OM} الثابتة أثناء الدوران.
- النبض الخاص للحركة ω_0 يقابل السرعة الزاوية الثابتة التي تدور بها النقطة M .
- مطال الحركة \bar{x} هو مسقط الشعاع \overline{OM} على المحور $\overline{x'x}$ وهو متغير بتغير الزمن.
- النسبة: $\frac{\bar{x}}{X_{\max}} = \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$.
- التابع الزمني لحركة المسقط تابع جيبى من الشكل: $\bar{x} = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$ لذلك تسمى الحركة جيبية انسحابية (توافقية بسيطة).

النواس المرن:

نشاط (1):

- 1- أعلق كرة كتلتها m بنابض مرن مهمل الكتلة حلقاته متباعدة، ثابت صلابته k ، ماذا ألاحظ؟
- 2- أحدد القوى المؤثرة في الكرة بعد توازنها؟
- 3- أشد الكرة نحو الأسفل مسافة مناسبة (ضمن حدود مرونة النابض) دون أن أتركها، وأحدد القوى المؤثرة في الكرة عندئذ؟
- 4- أقرن بين قوة توتر النابض في الحالة A، وفي الحالة B؟
- 5- أترك الكرة لتتحرك (الحالة C)، وألاحظ شكل مسار حركتها.



6- ما طبيعة حركة الكرة عند اقترابها من مركز الاهتزاز؟ وعند ابتعادها عنه؟

7- أحدد المواضع التي تنعدم فيها السرعة.

x

1- قوة الارجاع:

(a) حالة السكون:

يستطيل النابض مسافة x_0 بعد تعليق الجسم فيه،

ويتوازن الجسم بتأثير قوتين:

قوة ثقله \vec{W} وقوة توتر النابض \vec{F}_{s_0}

وبما أن الجسم ساكن:

$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

$$\vec{W} + \vec{F}_{s_0} = \vec{0}$$

بالإسقاط على محور شاقولي موجّه نحو الأسفل

$$W - F_{s_0} = 0$$

$$W = F_{s_0}$$

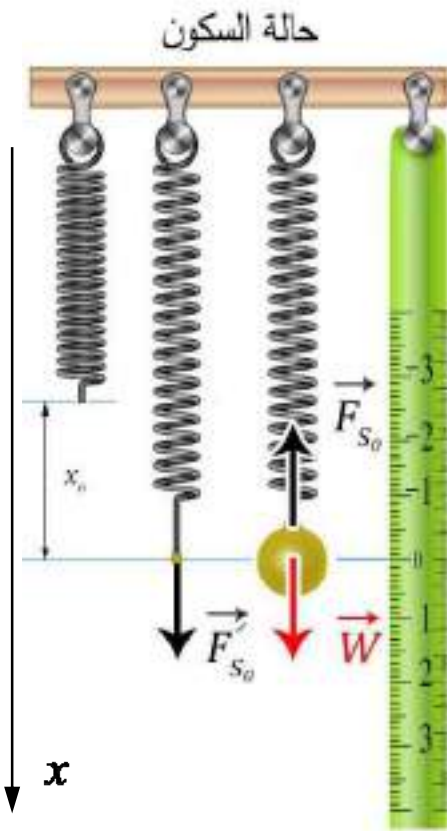
تؤثر على النابض القوة \vec{F}'_{s_0} التي تسبّب له الاستطالة x_0 حيث:

$$F'_{s_0} = F_{s_0} = k x_0$$

بالتعويض نجد:

$$W = k x_0$$

يسمى المقدار x_0 الاستطالة السكونية.



حالة الحركة

(b) حالة الحركة:

القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة

الجسم:

قوة توتر النابض: \vec{F}_s

قوة الثقل: \vec{W}

بتطبيق قانون نيوتن الثاني:

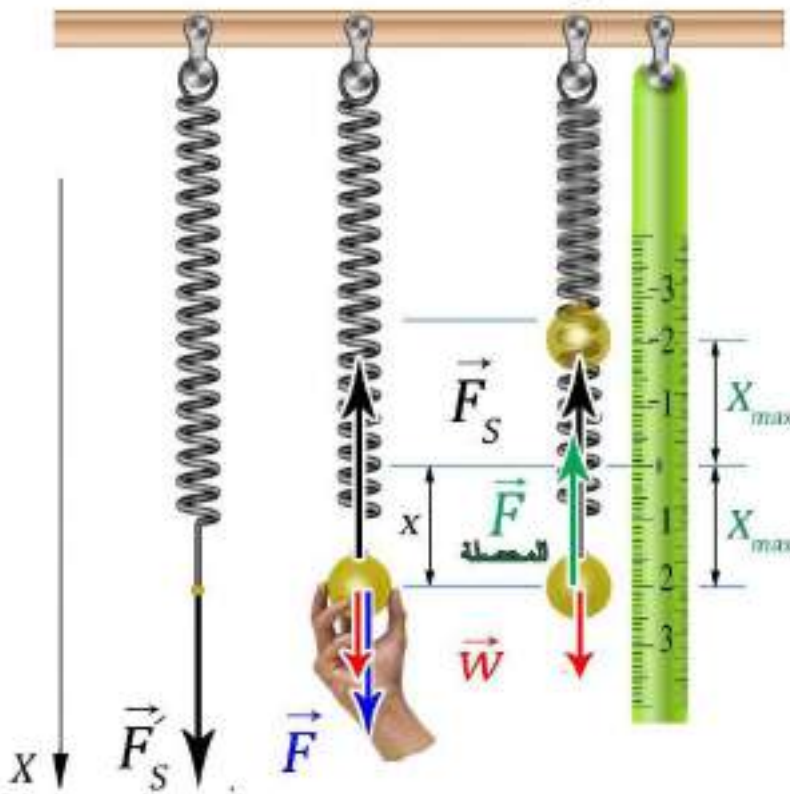
$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

$$\vec{W} + \vec{F}_s = m \vec{a}$$

بالإسقاط على محور شاقولي موجّه نحو

الأسفل:

$$W - F_s = m a$$



تؤثر على النابض القوة \vec{F}_s' التي تسبب له الاستطالة $(\bar{x} + x_0)$ حيث:

$$F_s' = F_s = k (\bar{x} + x_0) \quad \text{بالتعويض نجد:}$$

$$W - k (\bar{x} + x_0) = m \bar{a}$$

$$W - k \bar{x} - k x_0 = m \bar{a}$$

$$W = F_{s_0} = k x_0 \quad \text{لكن}$$

$$-k \bar{x} = m \bar{a} = \bar{F}$$

$$\bar{F} = -k \bar{x}$$

النتيجة:

- إن محصلة القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة الجسم في كل لحظة هي قوة ارجاع لأنها تعيد الجسم إلى مركز الاهتزاز دوماً، وهي تتناسب طردياً مع المطال \bar{x} ، وتعاكسه بالإشارة.

1- استنتاج طبيعة حركة النواس المرن:

يتغير مطال الجسم (زيادة ونقصان) بمرور الزمن حيث يتحرك الجسم بين وضعين متناظرين، فما هي طبيعة هذه الحركة؟

إن محصلة القوى الخارجية التي يخضع لها مركز عطالة الجسم تعطى بالعلاقة:

$$\bar{F} = m \bar{a} = -k \bar{x}$$

$$\bar{a} = -\frac{k}{m} \bar{x}$$

$$(\bar{x})'' = -\frac{k}{m} \bar{x} \quad \dots\dots\dots(1)$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تقبل حلاً جيبياً من الشكل:

$$\bar{x} = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

للتحقق من صحة الحل نشق التابع (2) مرتين بالنسبة للزمن نجد:

$$(\bar{x})'_t = v = -\omega_0 X_{\max} \sin(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

$$(\bar{x})''_t = a = -\omega_0^2 X_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

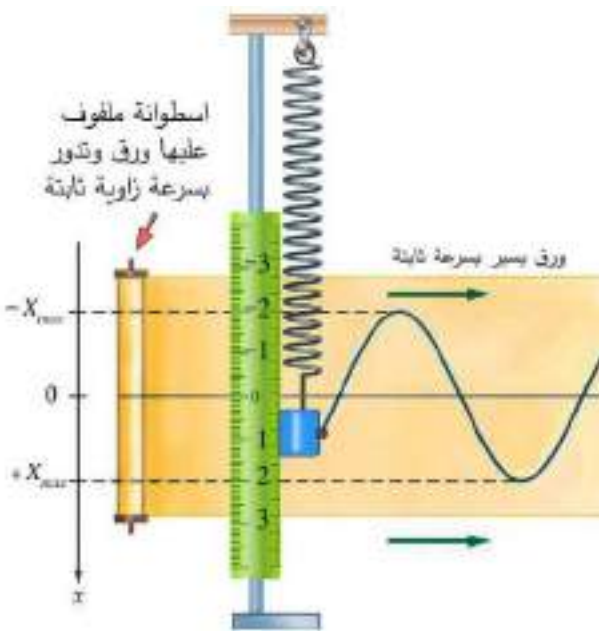
$$(\bar{x})''_t = -\omega_0^2 \bar{x} \quad \dots\dots\dots(3)$$

بالمقارنة بين (1) و (3) نجد أن:

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} > 0$$

وهذا محقق لأن k, m موجبان.



نتيجة:

- إن حركة النواس المرن هي حركة جيبية انسحابية (اهتزازية توافقية بسيطة) التابع الزمني للمطال (الموضع) يعطى بالعلاقة:

$$\bar{x} = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

- \bar{x} المطال أو (موضع الجسم) في اللحظة t ويقدر بوحدة m .
- X_{\max} سعة الحركة وتقدر بوحدة m .
- ω_0 نبض الحركة ويقدر بوحدة rad.s^{-1}
- $(\omega_0 t + \bar{\varphi})$ طور الحركة في اللحظة t .
- $\bar{\varphi}$ الطور الابتدائي في اللحظة $t = 0$ ويقدر بوحدة rad .
- ندعو كل من $\bar{\varphi}$ ، ω_0 ، X_{\max} ثوابت الحركة.

2- استنتاج علاقة الدور الخاص للنواس المرن:

بما أن:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

$$\frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

بالمساواة نجد:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

وهي علاقة الدور الخاص للنواس المرن غير المتخامد.

من العلاقة السابقة أستنتج أن الدور الخاص:

- لا يتعلق بسعة الاهتزاز X_{\max} .
- يتناسب طردياً مع الجذر التربيعي لكتلة الجسم المهتز m .
- يتناسب عكساً مع الجذر التربيعي لثابت صلابة النابض k .

3- توابع حركة النواس المرن:

1- تابع المطال: الشكل العام للتابع الزمني للمطال:

$$\bar{x} = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

ما شكل هذا التابع بفرض أن الجسم كان في مطاله الأعظمي الموجب $x = +X_{\max}$ في اللحظة $t = 0$ ؟

$$t = 0 , \bar{x} = +X_{\max}$$

أعوض في الشكل العام لتابع المطال:

$$X_{\max} = X_{\max} \cos(0 + \bar{\varphi})$$

$$X_{\max} = X_{\max} \cos \bar{\varphi}$$

$$\cos \bar{\varphi} = 1$$

$$\varphi = 0 \text{ rad}$$

فيأخذ التابع شكلاً مختزلاً:

$$x = X_{\max} \cos \omega_0 t$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

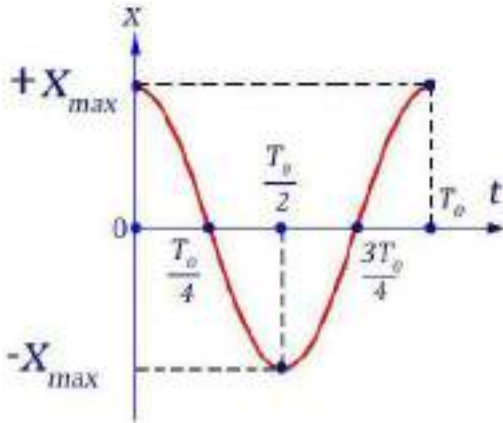
لدينا:

أعوّض في التابع فأجد:

$$\bar{x} = X_{\max} \cos \frac{2\pi}{T_0} t$$

أكمل الجدول الآتي:

t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
x	$+X_{\max}$		$-X_{\max}$		



- ارسم المنحني البياني لتغيّرات المطال بدلالة الزمن خلال دور.

- أجدّ المواضع التي يأخذ فيها المطال:

(a) قيمة عظمى (طويلة).

(b) قيمة معدومة.

- أجدّ مطال الجسم في اللحظة $t = \frac{3T_0}{2}$.

أستنتج:

• المطال أعظمي (طويلة) في الوضعين الطرفين $x = \pm X_{\max}$.

• المطال معدوم في مركز الاهتزاز $x = 0$.

2- تابع السرعة: إنّ تابع السرعة هو المشتق الأول لتابع المطال بالنسبة للزمن.

$$\bar{v} = (\bar{x})'_t$$

$$\bar{v} = -\omega_0 X_{\max} \sin \omega_0 t$$

$$\bar{v} = -\omega_0 X_{\max} \sin \frac{2\pi}{T_0} t$$

- أأكمل الجدول الآتي:

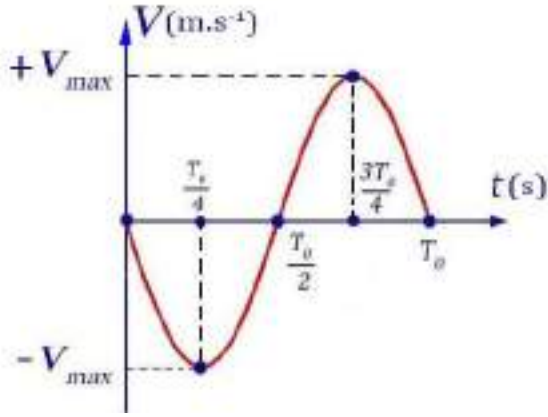
t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
v	0	$-\omega_0 X_{\max}$			

- ارسم المنحني البياني لتغيّرات السرعة بدلالة الزمن خلال دور.

- أجدّ المواضع التي تأخذ فيها السرعة:

(a) قيمة عظمى (طويلة).

(b) قيمة معدومة.



- أحدد قيمة سرعة الجسم، وجهة حركته في اللحظة $t = \frac{5T_0}{4}$.

أستنتج:

- السرعة أعظمية (طويلة) $v_{\max} = |\mp \omega_0 X_{\max}|$ في مركز الاهتزاز.
 - السرعة معدومة $v = 0$ في الوضعين الطرفين.
- 1- تابع التسارع:** إنّ تابع التسارع هو المشتق الأول لتابع السرعة بالنسبة للزمن، وهو المشتق الثاني لتابع المطال بالنسبة للزمن.

$$\bar{a} = (\bar{v})'_t$$

$$\bar{a} = (\bar{x})''_t$$

$$\bar{a} = -\omega_0^2 X_{\max} \cos \omega_0 t$$

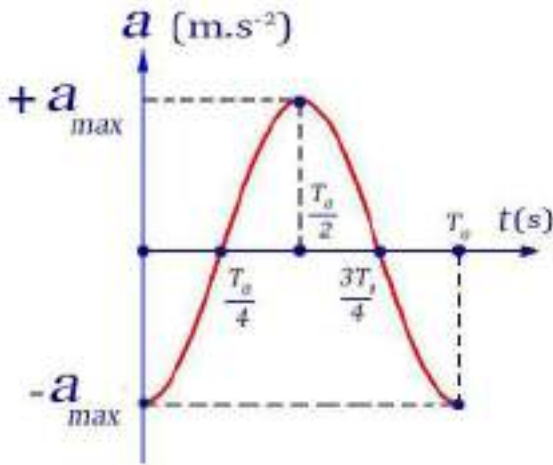
$$\bar{a} = -\omega_0^2 \bar{x}$$

وهو تابع التسارع بدلالة المطال.

$$\bar{a} = -\omega_0^2 X_{\max} \cos \frac{2\pi}{T_0} t$$

- أكمل الجدول الآتي:

t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
a					



- ارسم المنحني البياني لتغيرات التسارع بدلالة الزمن خلال دور.
- أحدد المواضع التي يأخذ فيها التسارع:
- (c) قيمة عظمى (طويلة).
- (d) قيمة معدومة.

- أحدد قيمة تسارع الجسم في اللحظة $t = \frac{5T_0}{2}$.

- أتساءل هل قيمة التسارع ثابتة أم متغيرة خلال حركة الجسم؟

أستنتج:

- التسارع أعظمي (طويلة) $a_{\max} = |\mp \omega_0^2 X_{\max}|$ في الوضعين الطرفين.
- التسارع معدوم $a = 0$ في مركز الاهتزاز.
- التسارع غير ثابت تتغير قيمته بتغير المطال.

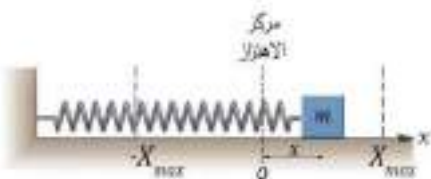
الطاقة في الحركة التوافقية البسيطة:

الطاقة الميكانيكية للنواس المرن هي مجموع الطاقين: الكامنة

$$E_{\text{tot}} = E_p + E_k \dots\dots\dots (1)$$

- الطاقة الكامنة المرونية لل نابض هي $E_p = \frac{1}{2} k x^2$ نعوض

تابع المطال:



$$E_p = \frac{1}{2} k X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

• الطاقة الحركية للجسم هي $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ نعوض تابع السرعة:

$$E_k = \frac{1}{2} m \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

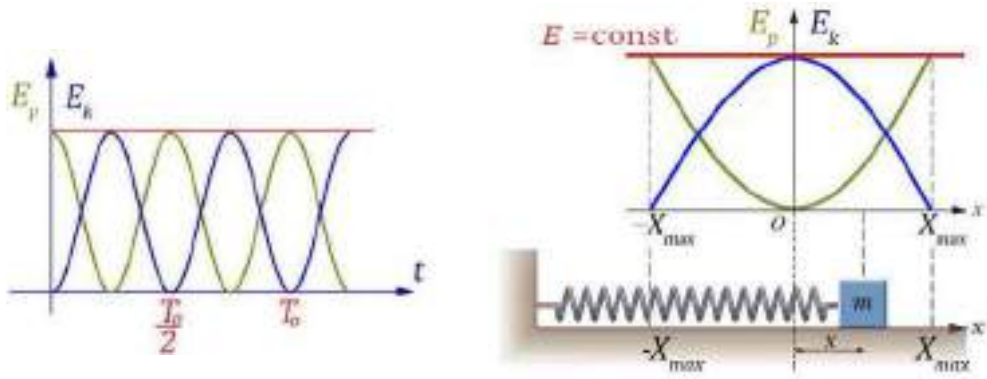
نعوض في (1):

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} k X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \bar{\varphi}) + \frac{1}{2} m \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

لكن $m \omega_0^2 = k$

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} k X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \bar{\varphi}) + \frac{1}{2} k X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2} k X_{\max}^2 = \text{const}$$



نشاط:

أحدّ المواضع التي تكون فيها كل من الطاقتين الحركية والكامنة:

(a) عظمى

(b) معدومة

تطبيق:

نواس مرّن أفقي كما في الشكل أعلاه مؤلف من جسم ونابض مرّن تابعه الزمني $x = 0.1 \cos(\pi t - \pi)$.

المطلوب:

1- حدّد ثوابت الحركة لهذا النواس.

2- احسب دوره T_0 .

الحل: 1- نكتب التابع الزمني للنواس المرّن

$$x = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$x = 0.1 \cos(\pi t - \pi)$$

بالمقارنة نجد: المطال الأعظمي $X_{\max} = 0.1 \text{ m}$

النبض $\omega_0 = \pi \text{ rad.s}^{-1}$

الطور الابتدائي للحركة (عند اللحظة $t = 0$) هو $\varphi = -\pi \text{ rad}$

2- حساب الدور الخاص: من العلاقة $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{\pi} = 2 \text{ s}$

تعلمت:

✓ النواس المرن: جسم صلب معلق بنابض مرن حلقاته متباعدة يهتز بحركة اهتزازية حول مركز الاهتزاز

✓ الاستطالة السكونية: $x_0 = \frac{m g}{k}$

✓ قوة الارجاع: $\overline{F} = -k \overline{x}$ تتناسب طرذاً مع المطال وتعاكسه بالإشارة

✓ طبيعة حركة النواس المرن: هي جيبية انسحابيه من الشكل $\overline{x} = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$

✓ دور النواس المرن: $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

✓ نبض الحركة: $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$ أو $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

✓ الطاقة الحركية: $E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \overline{\varphi})$

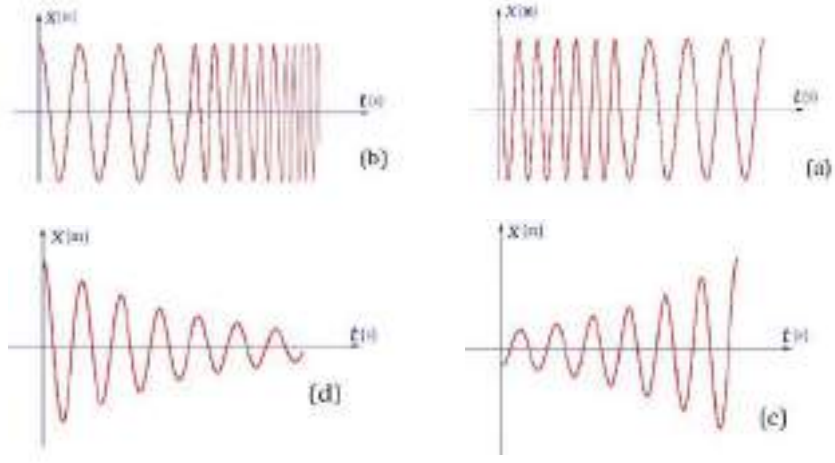
✓ الطاقة الكامنة المرونية: $E_p = \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} k X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \overline{\varphi})$

✓ الطاقة الكلية: $E_{tot} = \frac{1}{2} k X_{\max}^2$

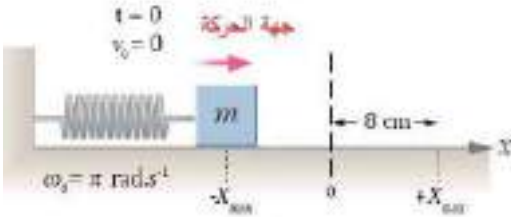
تمريعات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

- 1- نولف نواساً مرناً من نابض حلقاته متباعدة ودلو يحوي ماء يهتز بدور T_0 ، وفي لحظة ما حدث ثقب في الدلو فإن الرسم البياني الذي يعبر عن تغير المطال مع الزمن في هذه الحالة هو:



- 2- تابع المطال الذي يصف حركة الهزازة الجيبية في الشكل المجاور هو:



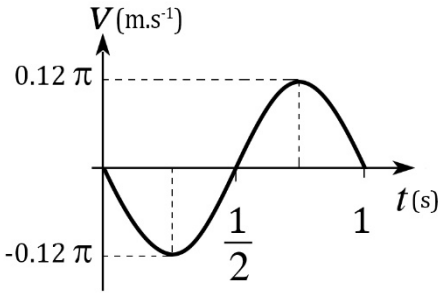
(a) $x = 0.08 \cos(\pi t + \pi)$

(b) $x = 8 \cos(\pi t - \pi)$

(c) $x = 0.008 \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$

(d) $x = 0.8 \cos \pi t$

- 3- الرسم البياني جانبياً يمثل تغيرات السرعة مع الزمن لجسم مرتبط بنابض مرن يتحرك بحركة توافقية بسيطة، فيكون التابع الزمني للسرعة هو:



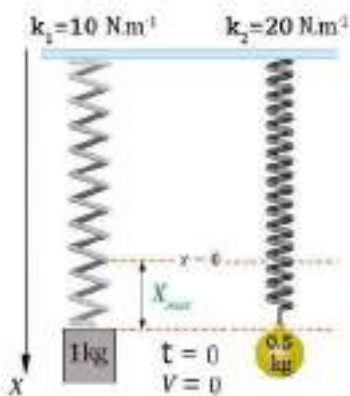
(a) $v = 0.06 \pi \cos \pi t$

(b) $v = -0.06 \pi \cos 2\pi t$

(c) $v = -0.12 \pi \sin 2\pi t$

(d) $v = 0.12 \pi \sin \pi t$

- 4- يمثل الشكل المجاور هزاتان توافقيتان تنطلقان من الموضع نفسه، وفي اللحظة نفسها، فإنهما بعد مضي 3s من بدء حركتهما:



(a) تلتقيان في مركز الاهتزاز.

(b) تلتقيان في الموضع $+X_{\max}$.

(c) لا تلتقيان لأن مطال الأولى $+X_{\max}$ ومطال الثانية $-X_{\max}$.

(d) لا تلتقيان لأن مطال الأولى $-X_{\max}$ ومطال الثانية $+X_{\max}$.

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية

1- أثبت صحة العلاقة: $v = \omega_0 \sqrt{X_{\max}^2 - x^2}$ في الحركة التوافقية البسيطة.

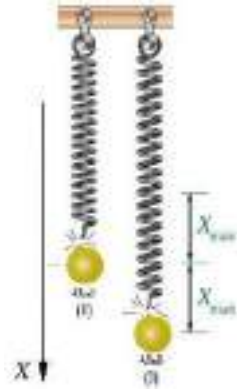
2- نابض مرن مهمل الكتلة حلقاته متباعدة ثابت

صلابته k ، مثبت من أحد طرفيه، ويربط بطرفه الآخر جسم صلب كتلته m يمكنه أن يتحرك على سطح أفقي أملس، كما في الشكل المجاور، نشد الجسم مسافة أفقية مناسبة، ونتركه دون سرعة ابتدائية. **المطلوب:**

(a) ادرس حركة الجسم، واستنتج التابع الزمني للمطال.

(b) استنتج علاقة الطاقة الحركية للجسم بدلالة X_{\max} في كل من الموضعين A و B :

$$x_A = -\frac{X_{\max}}{2} \text{ و } x_B = +\frac{X_{\max}}{\sqrt{2}} \text{، ماذا تستنتج؟}$$



3- جسم معلق بنابض مرن شاقولي حلقاته متباعدة يهتز بدوره الخاص، ما نوع حركة

الجسم؟ ولماذا؟ بعد انفصاله عن النابض في:

(a) مركز الاهتزاز، وهو يتحرك بالاتجاه السالب؟

(b) المطال الأعظمي الموجب؟

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية: (في جميع المسائل $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ ، $\pi^2 = 10$ ، $4\pi = 12.5$)

المسألة الأولى:

تتألف هزازة جيبيية بسيطة من نابض مرن شاقولي مهمل الكتلة حلقاته متباعدة، ثابت صلابته $k = 10 \text{ N.m}^{-1}$ ، مثبت من

أحد طرفيه، ويحمل في طرفه الآخر جسم كتلته m ، ويعطى التابع الزمني لمطال حركتها بالعلاقة $x = 0.1 \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$

. **المطلوب:**

1- أوجد قيم ثوابت الحركة ودورها الخاص.

2- احسب كتلة الجسم m .

3- احسب قيمة السرعة في موضع مطاله $x = 6 \text{ cm}$ ، والجسم يتحرك بالاتجاه الموجب للمحور.

المسألة الثانية:

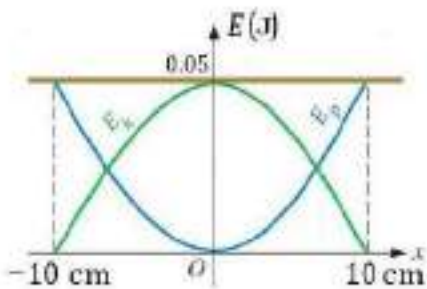
يوضح الرسم البياني المجاور تغيرات الطاقة الكامنة والطاقة الحركية بتغير الموضع لهزازة توافقية بسيطة مؤلفة من نابض مرن حلقاته متباعدة

ثابت صلابته k معلق به جسم كتلته 0.4 kg . **المطلوب:**

1- استنتج قيمة ثابت صلابة النابض k .

2- احسب الدور الخاص للحركة.

3- احسب قيمة السرعة عند المرور في مركز الاهتزاز.



المسألة الثالثة:



نريد قطع أسطوانة معدنية باستخدام منشار كهربائي مخصص لذلك فإذا فرضنا أن حركة المنشار توافقية بسيطة حيث يرسم المنشار أثناء حركته قطعة مستقيمة طولها 16 cm ويستغرق لقطع تلك المسافة زمناً قدره 0.5 sec وقد بدأ حركته في اللحظة $t = 0$ دون سرعة ابتدائية، وهو في مطاله الأعظمي الموجب. المطلوب:

- 1- أوجد التابع الزمني لحركة المنشار انطلاقاً من شكله العام.
- 2- احسب قيمة سرعة المنشار لحظة مروره الأول في مركز الاهتزاز.
- 3- إذا افترضنا أن قطر الأسطوانة المراد قطعها 5 cm ويتم نشر 0.5 mm في كل ثانية من قطرها فما هو الزمن اللازم لقطع تلك الأسطوانة كاملة؟

المسألة الرابعة:

نشكّل هزازة توافقية بسيطة من جسم كتلته $m = 1 \text{ kg}$ معلق بطرف نابض مرّن شاقولي مهمل الكتلة حلقاته متباعدة فينجز 10 هزات خلال 8 s، ويرسم في أثناء حركته قطعة مستقيمة طولها 24 cm. المطلوب:

- 1- استنتج قيمة الاستطالة السكونية لهذا النابض، ثم احسب قيمتها.
- 2- احسب قيمة السرعة العظمى (طويلة).
- 3- احسب قيمة التسارع في مطال $x = 10 \text{ cm}$.
- 4- احسب الطاقة الكامنة المرونية في موضع مطاله $x = -4 \text{ cm}$ ، واحسب الطاقة الحركية عندئذٍ.

المسألة الخامسة:

تهتز كرة معدنية كتلتها m بمرونة نابض شاقولي مهمل الكتلة، حلقاته متباعدة، ثابت صلابته $k = 16 \text{ N.m}^{-1}$ ، بحركة توافقية بسيطة دورها الخاص 1 s، وبسعة اهتزاز $X_{\max} = 0.1 \text{ m}$ ، وبفرض مبدأ الزمن لحظة مرور الكرة بنقطة مطالها $\frac{X_{\max}}{\sqrt{2}}$ وهي تتحرك بالاتجاه السالب. المطلوب:

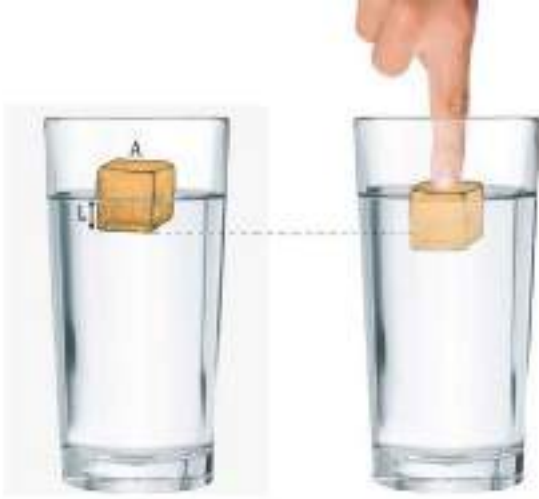
- 1- استنتج التابع الزمني لمطال حركة الكرة انطلاقاً من شكله العام.
- 2- عيّن لحظتي المرور الأول والثالث للكرة في موضع التوازن.
- 3- احسب شدة قوة الارجاع في نقطة مطالها $x = +0.1 \text{ m}$.
- 4- احسب كتلة الكرة.

المسألة السادسة:

نشكّل هزازة توافقية بسيطة مؤلفة من نابض مرّن، شاقولي مهمل الكتلة، حلقاته متباعدة، ثابت صلابته $k = 10 \text{ N.m}^{-1}$ مثبت من إحدى نهايتيه إلى نقطة ثابتة، ويحمل بنهايته الثانية جسم كتلته $m = 0.1 \text{ kg}$ فإذا علمت أن مبدأ الزمن لحظة مرور الجسم في مركز التوازن، وهو يتحرك بالاتجاه السالب بسرعة $v = -3 \text{ m.s}^{-1}$. المطلوب:

- 1- احسب نبض الحركة.
- 2- استنتج التابع الزمني لمطال الحركة.
- 3- احسب شدة قوة الارجاع.

تفكير ناقد:



ليكن لدينا كأس يحوي ماء كتلته الحجمية ρ_{H_2O} ، نضع فيه مكعب خشبي كتلته m_{wood} وكتلته الحجمية ρ_{wood} حيث $\rho_{wood} < \rho_{H_2O}$ ومساحة سطحه A فيطفو وهو بحالة توازن وقد برز جزء منه فوق سطح الماء. نؤثر بقوة شاقولية على المكعب ليغمر كلياً بالماء ثم نتركه فجأة. استنتج طبيعة حركة المكعب الخشبي.

ابحث أكثر:

أولاً:

لديك الجملة الموضحة بالشكل المجاور والمؤلفة من نابضين متماثلين ثابت صلابته كل منهما k :

- 1- وقمنا بإجراء تجربتين على الجملة إحداها على الأرض والأخرى في المحطة الفضائية:
- 2- هل يختلف دور الاهتزاز للجملة ؟ ولماذا ؟



ثانياً:

لنفرض أننا ثقبنا الكرة الأرضية من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي وألقي حجر في ذلك الثقب فهل سيخرج من الطرف الآخر؟ وما طبيعة حركته؟



الاهتزازات الجيبية الدورانية نواس الفتل غير المتخامد

Rotating Harmonic Oscillation Non - Damped Torsion Pendulum

الأهداف التعليمية:

- ✚ يتعرّف نّواس الفتل.
- ✚ يبيّن تأثير عزوم القوى في الحركة الدورانية.
- ✚ يوضح طبيعة حركة نواس الفتل
- ✚ يستنتج علاقة دور نّواس الفتل تجريبياً.
- ✚ يبيّن تحوّل الطاقة في نّواس الفتل.
- ✚ يوضّح بيانياً تحولات الطاقة.
- ✚ يتعرّف التطبيقات الحياتية لنواس الفتل غير المتخامد.
- ✚ يعطي أمثلة من حياته اليومية على نواس الفتل غير المتخامد.



الكلمات المفتاحية:

نواس الفتل، سلك الفتل، ثابت فتل السلك، مزدوجة الفتل، المطال الزاوي، السعة الزاوية

تعتمد بعض الساعات في عملها على حركة نابض لولبي كما في الصورة. حيث تتأرجح كتلة بحركة دورانية بين وضعين زاويين متناظرين. وأقرب مثال على تلك الحركة الدورانية هو تعليق ساق متجانسة من مركزها إلى سلك فتل فولاذي ثابت فتله k ويسمى نواس الفتل.

أجرب وأستنتج:

الأدوات المستخدمة: (حقيبة نواس الفتل المخبرية)
تجربة (1):

- 1- أركب جهاز نواس الفتل المخبري الموضح جانباً
- 2- أحدد القوى الخارجية المؤثرة في الساق المتوازنة في مستوي أفقي
- 3- أدير الساق عن وضع توازنها الأفقي بزاوية θ و أتركها دون سرعة ابتدائية
- 4- أحدد القوى الخارجية المؤثرة في الساق أثناء الحركة
- 5- أحدد محصلة العزم للقوى المؤثر في الساق

استنتج:

إن الساق المعلقة بسلك الفتل تهتز في مستوي أفقي حول سلك الفتل الشاقولي بتأثير عزم مزدوجة الفتل

1- دراسة حركة نواس الفتل:

- القوى الخارجية المؤثرة في الساق:

قوة التوتر \vec{T} ، قوة الثقل \vec{W}

- عندما ندير الساق زاوية θ عن وضع توازنها في مستوي أفقي تنشأ في السلك مزدوجة فتل $\vec{\eta}$ تقاوم عملية الفتل عزمها عزم ارجاع .

- بتطبيق العلاقة الأساسية في التحريك الدوراني (نظرية التسارع الزاوي) حول محور Δ منطبق على سلك الفتل الشاقولي:

$$\sum \bar{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

حيث I_{Δ} عزم عطالة الساق حول محور الدوران Δ (السلك)
 $\bar{\alpha}$ التسارع الزاوي

$$\bar{\Gamma}_{w/\Delta} + \bar{\Gamma}_{T/\Delta} + \bar{\Gamma}_{\eta/\Delta} = I_{\Delta} \bar{\alpha} \dots\dots\dots(1)$$

- إن عزم كلا من قوة الثقل \vec{W} وقوة التوتر \vec{T} معدوم لأنّ حامل كل منهما منطبق محور الدوران Δ .
- عزم مزدوجة الفتل $\bar{\Gamma}_{\eta/\Delta} = -k \bar{\theta}$.

$$0 + 0 - k \bar{\theta} = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

$$-k \bar{\theta} = I_{\Delta} (\bar{\theta})''$$

$$(\theta)'' = -\frac{k}{I_{\Delta}} \bar{\theta} \dots\dots\dots(2)$$

المعادلة (2) هي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تقبل حلاً جيبيّاً من الشكل:

$$\bar{\theta} = \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

وللتأكد من الحل نشق مرتين بالنسبة بالزمن:

$$\omega = (\bar{\theta})'_t = -\omega_0 \theta_{\max} \sin(\omega_0 t + \bar{\varphi}) \quad (\text{تابع السرعة الزاوية})$$

$$\alpha = (\bar{\theta})''_t = -\omega_0^2 \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi}) \quad (\text{تابع التسارع الزاوي})$$

$$(\bar{\theta})''_t = -\omega_0^2 \bar{\theta} \dots\dots\dots(3)$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{I_{\Delta}} \dots\dots\dots(4) \quad \text{بموازنة العلاقتين (2) و (3) نجد:}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{I_{\Delta}}} > 0$$

وهذا ممكن لأن k ، I_{Δ} موجبان أي أنّ حركة نواس الفتل جيبية دورانية تابعها الزمني من الشكل:

$$\bar{\theta} = \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

$\bar{\theta}$: المطال الزاوي في اللحظة t واحدته rad

θ_{\max} : المطال الزاوي الأعظمي (السعة الزاوية). واحدته rad

ω_0 : النبض الخاص الحركة واحدته rad.s^{-1} $\bar{\varphi}$: طور الابتدائي للحركة واحدته rad.

أجرب وأستنتج:

الأدوات المستخدمة: (حقيبة نواس الفتل المخبرية)

تجربة (1)

- أعلّق ساق معدنية متجانسة طولها l ، كتلتها m من منتصفها إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتله k .
- أدير الساق زاوية θ_1 عن وضع توازنها في مستوي أفقي وأتركها لتتهتز دون سرعة ابتدائية.
- أقيس زمن 10 نوسات.
- أحسب زمن نوسه واحدة وليكن $T_{01} = \frac{t}{N}$.
- أعيد التجربة السابقة مع زاوية $\theta_1 > \theta_2$.
- أحسب زمن النوسة الواحدة

أستنتج:

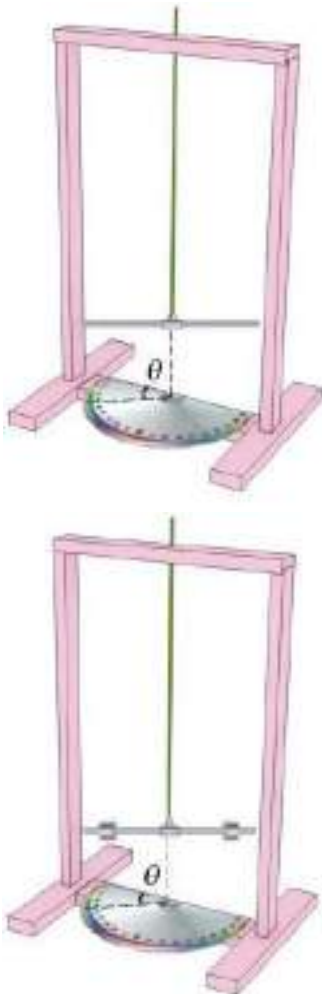
لا تتغير قيمة الدور الخاص لنواس الفتل بتغير السعة الزاوية للحركة.

تجربة (2)

- أثبت على الساق كتلتين نقطيتين متساويتين، وعلى بعدين متساويين من سلك التعليق وأديرها زاوية θ .
- أحسب زمن النوسة الواحدة وليكن T_{02} .
- أقارن T_{01} مع T_{02} .

أستنتج:

يزداد الدور الخاص لنواس الفتل بزيادة عزم عطالة الجملة.



1- تجربة (3):

- أجعل طول سلك الفتل نصف ما كان عليه وأديرها زاوية θ وأحسب زمن النوسة الواحدة T_{03} .
- أقارن T_{01} مع T_{03} .
- أستنتج:

ينقص الدور الخاص لنواس الفتل بنقصان طول سلك الفتل.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{I_{\Delta}}} \quad \text{2- دور نواس الفتل: وجدنا أن}$$

$$\frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{k}{I_{\Delta}}}$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_{\Delta}}{k}}$$

أستنتج من هذه العلاقة أن الدور الخاص لنواس الفتل:

- لا يتعلق بالسعة الزاوية للحركة θ_{\max} .
- يتناسب طردياً مع الجذر التربيعي لعزم عطالة جملة النواس حول محور الدوران (سلك الفتل).
- يتناسب عكساً مع الجذر التربيعي لثابت فتل السلك.

ملاحظة: يعطى ثابت فتل السلك بالعلاقة: $k = k' \frac{(2r)^4}{\ell}$

حيث:

k' ثابت يتعلق بنوع مادة السلك، $2r$ قطر السلك، ℓ طول السلك.

3- التشابه الشكلي بين النواس المرن ونواس الفتل:

النواس المرن	حركة جيبية انسحابية	المطال \bar{x}	السرعة $\bar{v} = (\bar{x})'_t$	التسارع $\bar{a} = (\bar{x})''_t$	كتلة m	ثابت الصلابة k	قوة الارجاع \bar{F}	$E_p = \frac{1}{2} k x^2$	$E_k = \frac{1}{2} m v^2$	$E = \frac{1}{2} k X_{\max}^2$
نواس الفتل	حركة جيبية دورانية	مطال زواي $\bar{\theta}$	السرعة الزاوية $\bar{\omega} = (\bar{\theta})'_t$	التسارع الزاوي $\bar{\alpha} = (\bar{\theta})''_t$	عزم عطالة I_{Δ}	ثابت الفتل k	عزم الارجاع $\bar{\Gamma}$	$E_p = \frac{1}{2} k \theta^2$	$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$	$E = \frac{1}{2} k \theta_{\max}^2$

تعلمت:

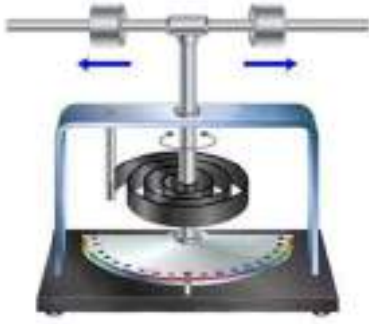
- ✓ النواس الفتل: ساق متجانسة معلقة من مركزها إلى سلك فتل فولاذي ثابت فتله k
- ✓ عزم الارجاع: $\bar{\Gamma} = -k \bar{\theta}$ يتناسب طردياً مع المطال الزاوي ويعاكسه بالإشارة.
- ✓ طبيعة حركة نواس الفتل: هي جيبية دورانية من الشكل $\bar{\theta} = \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_{\Delta}}{k}} \quad \text{✓ دور نواس الفتل:}$$

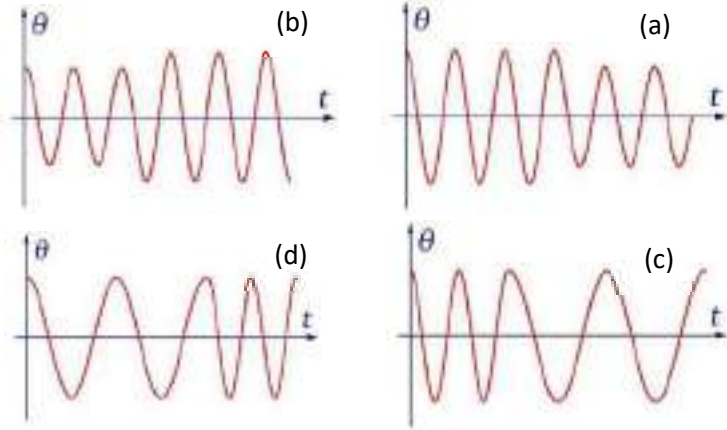
$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \quad \text{أو} \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{I_{\Delta}}} \quad \text{✓ نبض الحركة:}$$

تمريّنات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

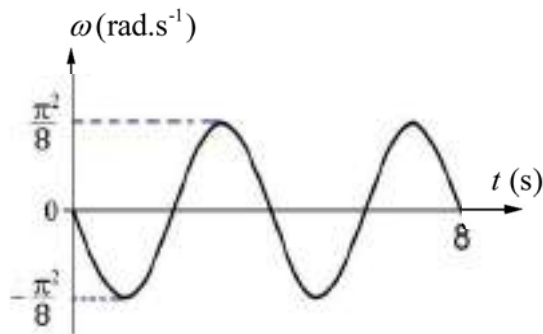


- 1- يهتز نواس فتل بدور خاص T_0 ، في لحظة ما أثناء حركته ابتعدت الكتلتان عن محور الدوران بالمقدار نفسه كما هو موضح بالشكل، فالرسم البياني الذي يعبر عن تغيّر المطال مع الزمن في هذه الحالة هو:



- 2- ميقاتيه تعتمد في عملها على نواس فتل كما في الشكل المجاور، ولتصحيح التأخير الحاصل بالوقت فيها، قدّم الطلاب مقترحاتهم، فإنّ الاقتراح الصحيح هو:
- (a) زيادة طول سلك الفتل بمقدار ضئيل.
 - (b) زيادة كتلة القرص مع المحافظة على قطره.
 - (c) إنقاص طول سلك الفتل بمقدار ضئيل.
 - (d) زيادة قطر القرص مع المحافظة على كتلته.

- 3- يمثّل الرسم البياني المجاور تغيّرات السرعة الزاوية لنواس فتل بتغيّر الزمن، فإنّ تابع السرعة الزاوية الذي يمثّله هذا المنحني هو:



$$\omega = \frac{\pi^2}{8} \sin 3\pi t \quad (a)$$

$$\omega = -\frac{\pi^2}{8} \sin 2\pi t \quad (b)$$

$$\omega = +\frac{\pi^2}{8} \sin \frac{\pi}{2} t \quad (c)$$

$$\omega = -\frac{\pi^2}{8} \sin \frac{\pi}{2} t \quad (d)$$

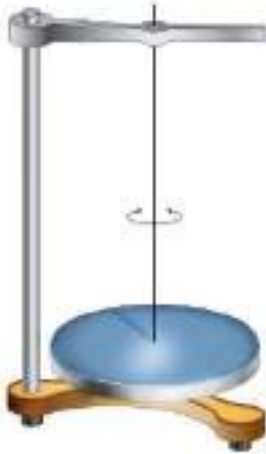
ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

- 1- انطلاقاً من مصونية الطاقة الميكانيكية برهن أنّ حركة نواس الفتل حركة جيبيّة دورانية.
- 2- نعلق ساقين متماثلتين بسلكي فتل متماثلين طول الأول ℓ_1 وطول الثاني ℓ_2 فإذا علمت أنّ $T_{0_1} = 2T_{0_2}$ ، أوجد العلاقة بين طولي السلكين.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

(في جميع المسائل $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ ، $\pi^2 = 10$ ، $4\pi = 12.5$)

المسألة الأولى:

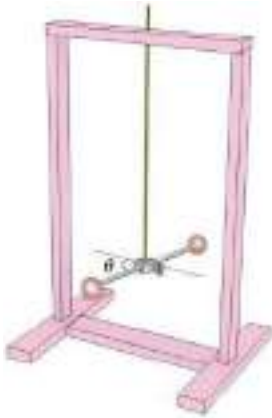


يتألف نواس فتل من قرص متجانس كتلته $m = 2 \text{ kg}$ ، نصف قطره $r = 4 \text{ cm}$ ، معلق من مركزه إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتله $k = 16 \times 10^{-3} \text{ m.N.rad}^{-1}$ ، ندير القرص في مستوٍ أفقي زاوية $\theta = +\frac{\pi}{4} \text{ rad}$ عن وضع توازنه، ونتركه دون سرعة ابتدائية في اللحظة $t = 0$. **المطلوب:**

- 1- احسب الدور الخاص للنواس.
- 2- استنتج التابع الزمني للمطال الزاوي انطلاقاً من شكله العام.
- 3- احسب الطاقة الكامنة في وضع مطاله الزاوي $\theta = \frac{\pi}{8} \text{ rad}$ ، ثم احسب الطاقة الحركية عندئذٍ.

(عزم عطالة قرص حول محور عمودي على مستويه ومارّ من مركزه $I_{\Delta} = \frac{1}{2} m r^2$)

المسألة الثانية:



ساق مهمة الكتلة طولها ℓ ، نثبت في كل من طرفيها كتلة نقطية 125 g ، ونعلق الجملة من منتصفها إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتله $k = 16 \times 10^{-3} \text{ m.N.rad}^{-1}$ لتؤلف الجملة نواس فتل، نزيج الساق عن وضع توازنها في مستوٍ أفقي بزاوية $\theta = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$ ونترك دون سرعة ابتدائية لحظة بدء الزمن، فتهتز بحركة جيبية دورانية، دورها الخاص 2.5 s . **المطلوب:**

- 1- استنتج التابع الزمني للمطال الزاوي انطلاقاً من شكله العام.
- 2- احسب قيمة السرعة الزاوية للساق لحظة مرورها الأول بوضع التوازن.
- 3- احسب طول الساق ℓ .

المسألة الثالثة:



تتألف ميقاتيه من قرص نحاسي كتلته $M_1 = 0.12 \text{ kg}$ ، نصف قطره $R = 0.05 \text{ m}$ مثبت عليه ساق كتلتها $M_2 = 0.012 \text{ kg}$ ، طولها $L = 0.1 \text{ m}$ تحمل في طرفيها كتلتين نعدّهما نقطيتين $m_1 = m_2 = 0.05 \text{ kg}$ ، كتلتين تبعدان عن بعضهما مسافة قدرها $2r = 0.04 \text{ m}$ يمكن تغييرها بواسطة بزال، نعلق جملة القرص وما عليه من مركز عطالتها إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتله $k = 8 \times 10^{-4} \text{ m.N.rad}^{-1}$ كما في الشكل المجاور. **المطلوب:**

- 1- احسب دور الميقاتيه.
- 2- إذا أردنا للدور أن يزداد بمقدار 0.86 s وذلك بزيادة البعد بين الكتلتين m ، كم يجب أن يصبح البعد الجديد بينهما؟

(عزم عطالة القرص حول محور مار من مركز عطالته $I_1 = \frac{1}{2} M_1 R^2$ ، وعزم عطالة الساق حول محور

عمودي على مستويها ومار من مركزها $I_2 = \frac{1}{12} M_2 L^2$ ، $\pi = 3.14$ ، $\pi^2 \approx 10$)

المسألة الرابعة:

ساق أفقية متجانسة طولها $\ell = ab = 40 \text{ cm}$ معلقة بسلك فتل شاقولي يمر من منتصفها. ندير الساق في مستوي أفقي بزاوية $\theta = 60^\circ$ انطلاقاً من وضع توازنها، ونتركها دون سرعة ابتدائية في اللحظة $t = 0$ فتتهتز بحركة جيبيّة دورانية دورها الخاص $T_0 = 1 \text{ s}$ فإذا علمت أن عزم عطالة الساق بالنسبة لسلك الفتل $I_{A/C} = 2 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$

المطلوب:

- 1- استنتج التابع الزمني للمطال الزاوي انطلاقاً من شكله العام.
 - 2- احسب قيمة السرعة الزاوية للساق لحظة مرورها الثاني بوضع التوازن.
 - 3- احسب قيمة التسارع الزاوي للساق عندما تصنع زاوية (-30°) مع وضع توازنها.
- (B) نثبت بالطرفين a, b كتلتين نقطيتين $m_1 = m_2 = 75 \text{ g}$ استنتج قيمة الدور الخاص الجديد للجملة المهتزة، ثم احسب قيمة ثابت فتل السلك.
- (C) نقسم سلك الفتل لقسمين متساويين، ونعلق الساق بعدئذ بنصفي السلك معاً أحدهما من الأعلى والآخر من الأسفل ومن منتصفها، ويثبت طرف هذا السلك من الأسفل بحيث يكون شاقولياً. استنتج قيمة الدور الخاص الجديد للساق (دون وجود كتل نقطية). افترض $\pi^2 = 10$.

تفكير ناقد:

نواس فتل مؤلف من سلك فتل ثابت فتله k وقرص معدني عزم عطالته حول مركز عطالته $I_{A/O} = \frac{1}{2} m r^2$ وقد ثبت على محيطه كأسان متماثلان يحويان نفس الكمية من الماء وقد جهز كل منهما بصمام يتجه نحو مركز القرص:

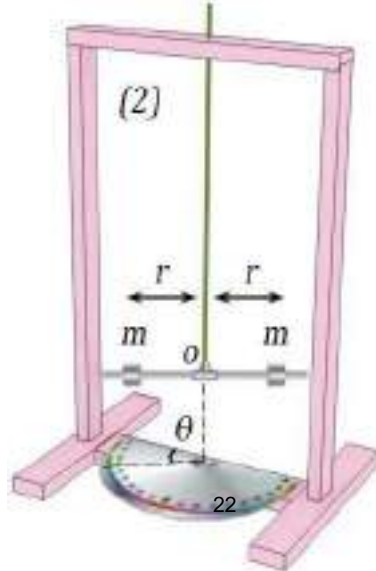
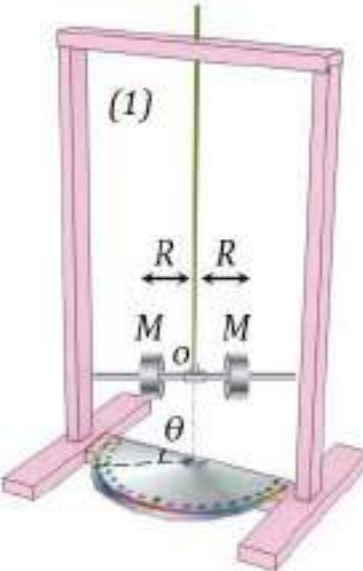
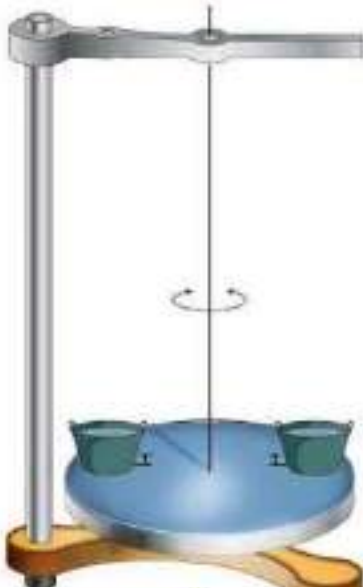
تراح الجملة عن موضع توازنها زاوية $\theta_{\max} = \pi \text{ rad}$ وتترك دون سرعة ابتدائية في اللحظة $t = 0$ ، وفي إحدى النوسات تم فتح الصمامان هل تزداد السرعة الزاوية ام تنقص ولماذا ؟

ابحث أكثر:

يبين الشكلان المجاوران نواصي فتل لهما نفس السلك و كتلة الساق مهملة

حيث $M = 2m$ ، $r = 2R$

أي النواصين دوره أكبر ؟



الاهتزازات غير التوافقية النّوّاس الثّقلي غير المتخامد

الأهداف التعليمية:

- ✓ يتعرّف النّوّاس الثّقلي.
- ✓ يستنتج علاقة دور النّوّاس الثّقلي من أجل السّاعات الزاويّة الصغيرة.
- ✓ يتعرّف النّوّاس البسيط.
- ✓ يستنتج علاقة دور النّوّاس البسيط.
- ✓ يستنتج علاقة سرعة كرة النّوّاس البسيط في وضع ما.
- ✓ يستنتج علاقة توتّر خيط النّوّاس البسيط في وضع ما.
- ✓ يبيّن تحولات الطاقة في النّوّاس البسيط بين الكامنة والحركيّة.
- ✓ يوضّح بيانياً تحولات الطاقة.

الكلمات المفتاحية

النّوّاس الثّقلي المركّب، النّوّاس الثّقلي البسيط



1- النواس الثقلي:



تنتشر لعبة الارجوحة في معظم المتنزهات، هل لاحظت حركتها؟ عند إزاحتها عن موضع توازنها تهتز إلى جانبي وضع توازنها وتتخامد الحركة لتقف بعد فترة، فهي بحاجة لإعطائها دفعة كي تهتز مجدداً. والأمر مشابه لما يحدث في رقائق الساعة الجدارية حيث يتأرجح بين وضعين متناظرين، وهو يحتاج إلى تغذية حركته من خلال تعويض الطاقة المبددة.

ولعلّ الدراسة التجريبية والنظرية للنواس الثقلي غير المتخامد تعطي فكرة عن طبيعة الحركة وتوابعها والفائدة المرجوة منها.

نشاط (1)

الأدوات المستخدمة: حقيفة النواس الثقلي

O

1- أعلّق المسطرة من طرفها العلوي في النقطة O بحامل مثبت على اللوح، عمودي على مستويها الشاقولي، ليكون محور دوران أفقي، وأتركها تتوازن شاقولياً.

• ما القوى المؤثرة بالساق في هذه الحالة؟

• أحدّد عزوم القوى المؤثرة.

2- أزيح المسطرة عن موضع توازنها بزاوية θ_1 وأتركها دون سرعة ابتدائية.

• ما نوع حركة المسطرة؟

• أحدّد عزوم القوى المؤثرة في هذه الحالة.

3- أعلّق المسطرة من ثقب يقع في منتصفها.

4- أزيح المسطرة عن موضع توازنها الشاقولي بزاوية θ_2 وأتركها دون سرعة ابتدائية.

• هل تتحرّك المسطرة؟

• ما نوع توازن المسطرة؟

• ما قيمة عزوم القوى المؤثرة في هذه الحالة؟

أستنتج:

إنّ كل جسم صلب يهتز بتأثير عزم قوة ثقله حول محور دوران عمودي على مستويته، ولا يمرّ من مركز عطالته، يسمى: **بالنواس الثقلي**.

الدراسة التحريكية للنواس الثقلي

نعلق جسماً صلباً كتلته m ، مركز عطالته C إلى محور دوران أفقي Δ مار من النقطة O من الجسم حيث البعد $OC = d$.

نزيح الجسم عن موضع توازنه الشاقولي زاوية θ ونتركه دون سرعة ابتدائية ليهتز في مستو شاقولي.

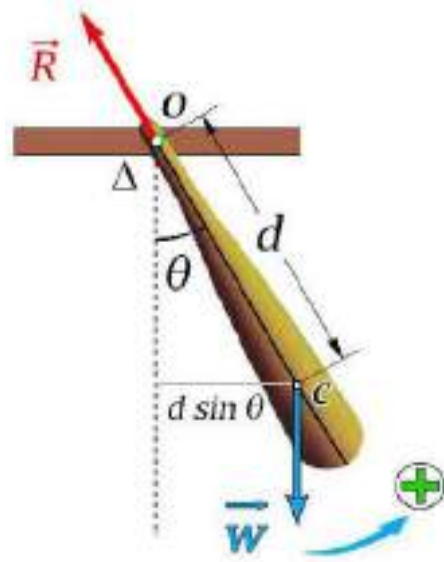
ما القوى المؤثرة في الجسم؟

تؤثر في الجسم قوتان هما:

• قوة ثقله \vec{W} .

• قوة رد فعل محور الدوران على الجسم \vec{R} .

• بتطبيق العلاقة الأساسية في التحريك الدوراني (نظرية التسارع الزاوي):



$$\sum \bar{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

$$\bar{\Gamma}_{w/\Delta} + \bar{\Gamma}_{R/\Delta} = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

وباختيار الجهة الموجبة للدوران عكس جهة دوران عقارب الساعة نجد:

$$\bar{\Gamma}_{R/\Delta} = 0 \quad \text{لأن حامل القوة } \vec{R} \text{ يمر من محور الدوران } \Delta.$$

$$\bar{\Gamma}_{w/\Delta} = -(d \sin \theta) W$$

بالتعويض نجد:

$$-(d \sin \theta) W + 0 = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

$$-m g d \sin \theta = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

$$\bar{\alpha} = (\bar{\theta})'' \quad \text{لكن:}$$

$$(\bar{\theta})'' = -\frac{m g d}{I_{\Delta}} \sin \bar{\theta} \quad \dots\dots\dots(1)$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تحتوي على $\sin \theta$ بدلاً من θ فحلها ليس جيبياً، وبالتالي فإن حركة النواس الثقلي هي حركة اهتزازية غير توافقية.

كيف تصبح حركة النواس الثقلي من أجل السعات الزاوية الصغيرة $\theta \leq 0.24 \text{ rad}$ ؟
في هذه الحالة يكون $\sin \theta \approx \theta$.

نعوض في العلاقة (1) فنجد:

$$(\bar{\theta})'' = -\frac{m g d}{I_{\Delta}} \bar{\theta} \quad \dots\dots\dots(2)$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تقبل حلاً جيبياً من الشكل:

$$\bar{\theta} = \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

باشتقاق تابع المطال الزاوي مرتين بالنسبة للزمن نجد:

$$\bar{\alpha} = (\bar{\theta})'' = -\omega_0^2 \bar{\theta} \quad \dots\dots\dots(3)$$

بالمطابقة بين (2) و (3) نجد:

$$\omega_0^2 = \frac{m g d}{I_{\Delta}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m g d}{I_{\Delta}}} > 0$$

وهذا محقق لأن جميع المقادير موجبة فحركة النواس الثقلي من أجل السعات الزاوية الصغيرة هي حركة جيبية دورانية نبضها الخاص ω_0 .

استنتاج علاقة الدور الخاص للاهتزاز:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m g d}{I_{\Delta}}}$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_{\Delta}}{m g d}}$$

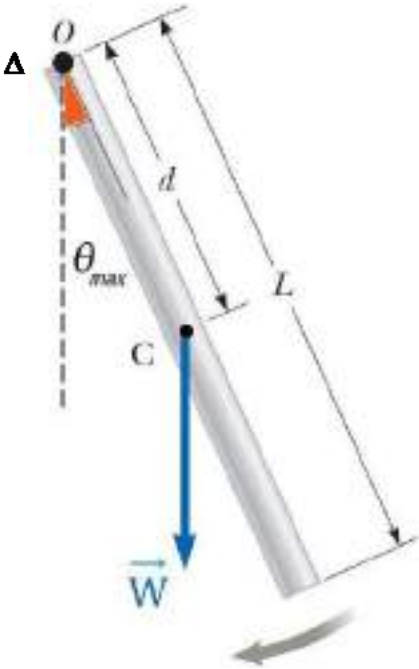
وهي العلاقة العامة للدور الخاص للنواس الثقلي في حالة الاهتزازات صغيرة السعة.

- T_0 دور النواس الثقلي بسعة زاوية صغيرة، واحدته s.
- I_Δ عزم عطالة الجسم الصلب، واحدته kg.m^2
- d بعد محور الدوران عن مركز عطالة الجسم الصلب C واحدته m ويمكن حسابها:
إما بتطبيق علاقة التوازن الدوراني $\sum \bar{\Gamma}_C = 0$ حول محور دوران مار من C .
أو بتطبيق العلاقة:

$$OC = d = \frac{m_1 \bar{r}_1 + m_2 \bar{r}_2 + \dots + m_i \bar{r}_i}{m_1 + m_2 + \dots + m_i} = \frac{\sum m_i \bar{r}_i}{\sum m_i}$$

حيث يمكن اعتبار الجسم مكون من عدة أجزاء نفترضها نقاطاً مادية كتلتها (m_1, m_2, \dots, m_i) وهي تبعد عن محور الدوران الأبعاد (r_1, r_2, \dots, r_i)
 \bar{r} مقدار جبري نعدّه موجباً إذا كان مركز عطالة الكتلة المهتزة تحت محور الدوران، وسالباً إذا كان مركز عطالة الكتلة المهتزة فوق محور الدوران.

تطبيق:



نواس ثقلي مؤلف من ساق متجانسة طولها $L = 0.375 \text{ m}$ وكتلتها M معلقة من طرفها العلوي بمحور أفقي عمودي على مستويها الشاقولي، نزيح الساق عن موضع توازنها الشاقولي زاوية صغيرة $(\theta \leq 14^\circ)$ ونتركها دون سرعة ابتدائية استنتج بالرموز العلاقة المحددة للدور الخاص انطلاقاً من العلاقة العامة للدور الخاص للنواس الثقلي المركّب ثم احسب قيمتها، علماً أنّ عزم عطالة الساق حول محور عمودي على مستويها ومار من مركز عطالتها $(I_{\Delta/C} = \frac{1}{12} M L^2)$

الحل:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_\Delta}{m g d}} \text{ يعطى دور النواس الثقلي بالعلاقة:}$$

- لإيجاد عزم عطالة الساق حول المحور المار من O :
نطبق نظرية هاينغز:

$$I_\Delta = I_{\Delta/C} + M d^2$$

$$d = \frac{L}{2}$$

$$I_\Delta = \frac{1}{12} M L^2 + M \left(\frac{L}{2}\right)^2$$

$$I_\Delta = \frac{1}{3} M L^2$$

نعوض في علاقة الدور:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{3} M L^2}{M g \frac{L}{2}}} = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}} = 2\pi \sqrt{\frac{2 \times 0.375}{3 \times 10}} = 1 \text{ s}$$

2- النواس الثقلي البسيط:

نظرياً: نقطة مادية تهتز بتأثير ثقلها على بُعد ثابت ℓ من محور أفقي ثابت.
عملياً: كرة صغيرة كتلتها m كثافتها النسبية كبيرة معلقة بخيط مهمل الكتلة لا يمتد طوله ℓ كبير بالنسبة لنصف قطر الكرة.

الدراسة التحريكية:

- القوى الخارجية المؤثرة في الكرة:

\vec{T} توتر الخيط.

$\vec{W} = m \vec{g}$ ثقل الكرة.

- بتطبيق العلاقة الأساسية في التحريك الدوراني (نظرية التسارع الزاوي):

$$\sum \bar{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

$$\bar{\Gamma}_{\vec{w}/\Delta} + \bar{\Gamma}_{\vec{T}/\Delta} = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

وباختيار الجهة الموجبة للدوران عكس جهة دوران عقارب الساعة نجد:

$$-m g \ell \sin \theta + 0 = I_{\Delta} \bar{\alpha}$$

$$I_{\Delta} = m \ell^2, \quad \alpha = (\theta)''$$

نعوض في العلاقة السابقة مع الاختصار

$$-m g \ell \sin \theta + 0 = m \ell^2 (\theta)''$$

$$(\theta)'' = -\frac{g}{\ell} \sin \theta$$

وفي حالة الساعات الزاوية الصغيرة $\theta \leq 0.24 \text{ rad}$

$$\sin \theta \approx \theta$$

$$(\bar{\theta})'' = -\frac{g}{\ell} \bar{\theta} \dots \dots \dots (1)$$

معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تقبل حلاً جيبياً من الشكل: $\bar{\theta} = \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$

باشتقاق تابع المطال مرتين بالنسبة للزمن نجد:

$$(\bar{\theta})'' = -\omega_0^2 \bar{\theta} \dots \dots \dots (2)$$

بالمطابقة بين (1) و (2) نجد:

$$\omega_0^2 = \frac{g}{\ell}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}} > 0$$

وهذا محقق لأن g ، ℓ مقداران موجبان، فحركة النواس الثقلي البسيط من أجل الساعات الزاوية الصغيرة هي

حركة جيبيية دورانية نبضها الخاص ω_0 .

استنتاج علاقة الدور الخاص للاهتزاز:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

$$\frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

وهي علاقة الدور الخاص للنواس الثقلي البسيط.

ملاحظة: يمكن الوصول لعلاقة الدور الخاص للنواس البسيط انطلاقاً من العلاقة العامة للدور الخاص للنواس الثقلي المركب في حالة الساعات الزاوية الصغيرة، وذلك بتعويض كلاً من:

$$d = \ell, \quad I_{\Delta} = m \ell^2$$

في علاقة الدور:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m \ell^2}{m g \ell}}$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

نشاط (1)

الأدوات المستخدمة:

كرات مختلفة الكتلة، حامل معدني، منقلة، خيط، ميفاتييه.

• أعلق كرة معدنية بخيط عديم الامتطاط طوله 30 cm.

• أزيح كرة النواس عن الشاقول بزاوية صغيرة 10^0 وأتركها دون سرعة ابتدائية.

• أحسب زمن 10 نوسات وليكن t_1 .

• أحسب زمن النوسة الواحدة من العلاقة $T_{0_1} = \frac{t_1}{10}$.

• أكرّر التجربة السابقة باستبدال الكرة المعدنية بأخرى من الخشب وأقيس زمن 10 نوسات وليكن t_2 .

• أحسب زمن النوسة الواحدة $T_{0_2} = \frac{t_2}{10}$.

• أقرن بين T_{0_1} و T_{0_2} ، ماذا أستنتج؟

• أكرّر التجربة في الشكل (1) من أجل زوايا مختلفة 14^0 ، 30^0 ، 45^0 أحسب زمن النوسة الواحدة. ماذا أستنتج؟

• أكرّر التجربة الأولى باستبدال الخيط بخيط آخر طوله 40 cm.

• أحسب زمن 10 نوسات وليكن t_3 .

• أحسب زمن النوسة الواحدة $T_{0_3} = \frac{t_3}{10}$.

• أقرن بين T_{0_1} و T_{0_3} ، ماذا أستنتج؟

• بيّن كيف يتغير الدور بتغير قيمة تسارع الجاذبية الأرضية مع ثبات طول الخيط (ثبات درجة الحرارة)؟

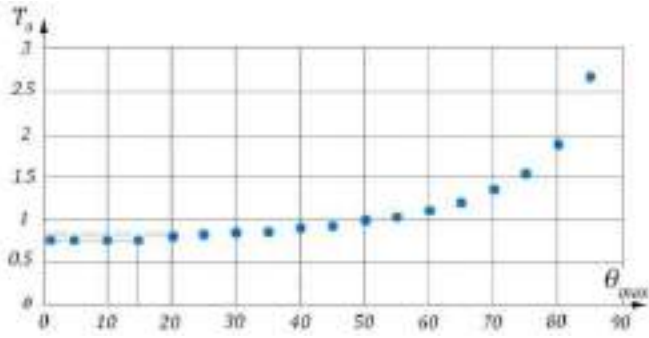
النتائج:

- (1) لا يتعلق دور النواس البسيط بكتلته، ولا بنوع مادة كرتة.
- (2) النوسات صغيرة السعة لها الدور نفسه (متوافقة فيما بينها).
- (3) يتناسب دور النواس البسيط:

- طرداً مع الجذر التربيعي لطول الخيط ℓ .
- عكساً مع الجذر التربيعي لتسارع الجاذبية الأرضية g .

ملاحظة: إنَّ مستوي النوسان ثابت خلال فترة إجراء التجربة.

3- الدراسة التجريبية للنّواس الثقلي:



إنَّ الدراسة السابقة للنّواس الثقلي (المركّب أو البسيط) كانت من أجل السعات الزاوية الصغيرة ($\theta_{\max} \leq 14^\circ$) ولكن كيف نحسب دور النّواس إذا كانت السعة الزاوية كبيرة؟

نشاط:

الرسم البياني المجاور يوضّح عدد من التجارب لقياس قيمة الدور عند سعات زاوية مختلفة:

- في المجال ($\theta_{\max} \leq 14^\circ$) على محور السعات هل قيمة الدور ثابتة؟
- في المجال ($\theta_{\max} > 14^\circ$) هل قيمة الدور ثابتة عند ازدياد السعة الزاوية؟

$$T_0' \approx T_0 \left[1 + \frac{\theta_{\max}^2}{16} \right]$$

يعطى دور النّواس الثقلي في حال السعات الزاوية الكبيرة بالعلاقة:

حيث: T_0 دور النّواس في حالة السعات الزاوية الصغيرة
 θ_{\max} السعة الزاوية مقدرة بالراديان.

4- استنتاج العلاقة المحددة لسرعة كرة النّواس وعلاقة توتر خيط التعليق في نقطة من مسارها:

نزّيح كرة النّواس عن موضع توازنها الشاقولي بزاوية θ_{\max} وندركها دون سرعة ابتدائية:

1- لإيجاد العلاقة المحددة لسرعة الكرة في الوضع (2) القوى الخارجية المؤثرة:

ثقل الكرة \vec{W} ، توتر الخيط \vec{T}

نطبق نظرية الطاقة الحركية بين وضعين:

الأول: حيث يصنع الخيط مع الشاقول الزاوية θ_{\max}

الثاني: حيث يصنع الخيط مع الشاقول الزاوية θ

$$\Delta E_{k(1 \rightarrow 2)} = \sum \vec{W}_F$$

$$E_{k2} - E_{k1} = \vec{W}_W + \vec{W}_T$$

$$\vec{W}_W = m g h$$

$\vec{W}_T = 0$ لأنَّ حامل \vec{T} يعامد الانتقال في كل لحظة

$$\frac{1}{2} m v^2 - 0 = m g h + 0$$

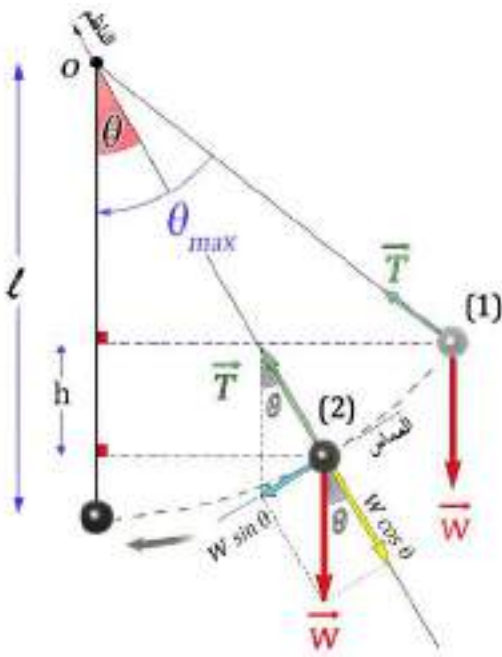
وبملاحظة الشكل نجد:

$$h = \ell \cos \theta - \ell \cos \theta_{\max}$$

$$h = \ell (\cos \theta - \cos \theta_{\max})$$

نعوّض:

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g \ell (\cos \theta - \cos \theta_{\max})$$



$$v^2 = 2 g \ell (\cos \theta - \cos \theta_{\max})$$

$$v = \sqrt{2 g \ell (\cos \theta - \cos \theta_{\max})}$$

حالة خاصة: عند المرور بالشاقول: $\theta = 0$
تصبح العلاقة بالشكل:

$$v = \sqrt{2 g \ell (1 - \cos \theta_{\max})}$$

2- لإيجاد العلاقة المحددة لقوة توتر الخيط في الوضع (2):
نطبق العلاقة الأساسية في التحريك:

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

$$\vec{W} + \vec{T} = m \vec{a}$$

بالإسقاط على محور ينطبق على حامل \vec{T} وبجهته (الناظم):
 $-W \cos \theta + T = m a_c$

$$a_c = \frac{v^2}{\ell}$$

$$T = m \frac{v^2}{\ell} + m g \cos \theta$$

$$T = 2m g (\cos \theta - \cos \theta_{\max}) + m g \cos \theta$$

$$T = m g (3 \cos \theta - 2 \cos \theta_{\max})$$

حالة خاصة: عند المرور بالشاقول: $\theta = 0$

$$T = m g (3 - 2 \cos \theta_{\max})$$

5- الطاقة الميكانيكية للنّواس الثّقلي البسيط:

✓ إنَّ الطاقة الميكانيكية للنّواس الثّقلي البسيط ثابتة بإهمال القوى المبدّدة للطاقة، حيث يهتزُّ بسعة زاوية ثابتة θ_{\max} إلى جانبي موضع توازنه الشاقولي.

✓ إنَّ الطاقة الميكانيكية هي مجموع الطاقتين الكامنة الثقالية، والحركية، بفرض أنَّ مبدأ قياس الطاقة الكامنة الثقالية هو المستوي الأفقيُّ المارُّ من مركز عطالة الكرة عند مرور النّواس في وضع توازنه الشاقولي.

$$E = E_k + E_p$$

إثراء:

برج تايبيه في تايوان... يبلغ ارتفاعه 509 m ومؤلف من 101 طابق يقع على خط صدع زلزالي ويتعرض لرياح عاتية

مما يجعله يتأرجح، فعمد المهندس المسؤول عن

تصميمه إلى بناءه بشكل يشبه نبات الخيزران !!!..

وثبت بداخله بين الطبقة 87 والطبقة 92 كرة عملاقة من الفولاذ مربوطة إلى أسلاك من الفولاذ القوي كأنها نواساً عملاقاً لتعمل على اخماد تأرجحه عند الاهتزازات الناتجة عن الزلازل أو الرياح والأعاصير بفعل ما يسمى القصور الذاتي

(أو العطالة)



النواس الثقلي المركب

كل جسم صلب يهتز بتأثير ثقله في مستوٍ شاقولي حول محور دوران أفقي لا يمرُّ من مركز عطالته، وعمودي على مستويته

حركة النواس الثقلي المركب في حالة السعات الصغيرة جيبية دورانية تابع مطالها الزاوي من الشكل:

$$\bar{\theta} = \bar{\theta}_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

يعطى دور النواس الثقلي المركب في حالة السعات الصغيرة $\theta_{\max} \leq 0.24 \text{ rad}$ بالعلاقة:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_{\Delta}}{m g d}}$$

النواس الثقلي البسيط: نقطة مادية تهتز بتأثير ثقلها على بُعد ثابت ℓ من محور أفقي ثابت

يعطى دور النواس الثقلي البسيط في حالة السعات الصغيرة $\theta_{\max} \leq 0.24 \text{ rad}$ بالعلاقة:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

يعطى دور النواس الثقلي في حال السعات الزاوية الكبيرة $\theta_{\max} > 0.24 \text{ rad}$ بالعلاقة:

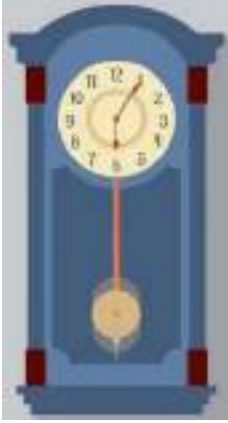
$$T'_0 = T_0 \left[1 + \frac{\theta_{\max}^2}{16} \right]$$

إنَّ الطاقة الميكانيكية للنواس الثقلي هي مجموع الطاقنتين الكامنة الثقالية والحركية

$$E = E_k + E_p$$

تدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:



1- قمتَ بزيارة لبيت جدّك، وطلبت جدّتك منك تصحيح الميقاتية المعلقة على الجدار، وهي مؤلفة من ساق منتهية بقرص قابل للحركة صعوداً أو هبوطاً، فاتصلت بالساعة الناطقة فأشارت إلى السادسة تماماً في حين تشير الميقاتية إلى السادسة وخمس دقائق، ولتصحيح الوقت يجب:

- (a) إيقاف الميقاتية، وخفض القرص بمقدار ضئيل ثم إعادة تشغيلها.
- (b) إيقاف الميقاتية، ورفع القرص بمقدار ضئيل ثم إعادة تشغيلها.
- (c) تصحيح عقرب الدقائق، وإعادته ليشير الوقت إلى السادسة تماماً.
- (d) إيقاف الميقاتية مدة خمس دقائق، ثم إعادة تشغيلها مرة أخرى.

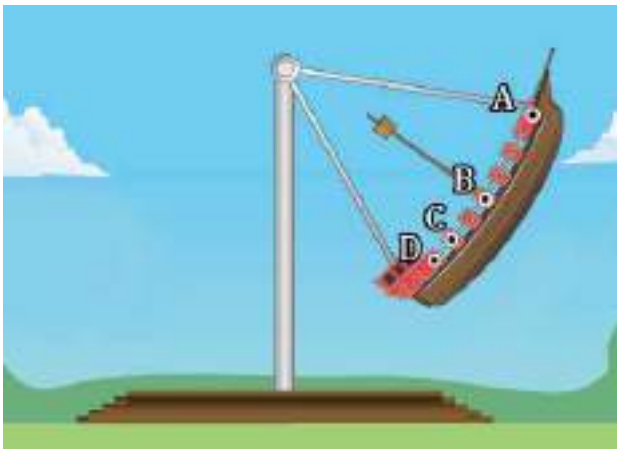


2- ميقاتيتان متماثلتان مضبوطتان عند سطح الأرض بالتوقيت المحلي، نضع الأولى بالطابق الأرضي لناطحة سحاب، بينما نضع الثانية في الطابق الأخير، فإنّه بعد شهر مع ثبات درجة الحرارة:

- (a) تشيران إلى التوقيت نفسه.
- (b) تقدّم الثانية، ويجب تعديلها.
- (c) تؤخر الثانية، ويجب تعديلها.
- (d) تؤخر الأولى، ويجب تعديلها.

3- لديك سلك حديدي وسلك نحاسي وخط لهم الطول نفسه 1m وكرة حديدية صغيرة وأخرى من الخشب لهما الحجم نفسه وطلب منك أن تكون نواساً بسيطاً في منطقة حارة نسبياً بحيث لا يتغيّر دوره بين الليل والنهار فالأختيار الأفضل هو:

- (a) سلك الحديد مع كرة الحديد
- (b) سلك النحاس مع كرة الحديد
- (c) سلك الحديد مع كرة الخشب
- (d) الخط مع كرة الخشب



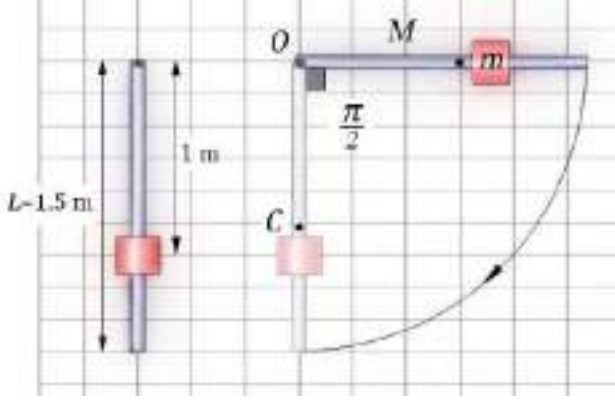
4- أرجوحة كبيرة نعدّها نواساً ثقلياً مرگباً كما هو موضّح بالشكل جانباً تهتز إلى جانبي موضع توازنها بسعة كبيرة ويجلس فيها أربعة أشخاص A , B , C , D فالشخص الذي تكون سرعته الخطية أكبر ما يمكن عند المرور بوضع الشاقول هو:

- (a) الشخص B
- (b) الشخص A
- (c) الشخص D
- (d) الشخص C

(في جميع المسائل $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ ، $\pi^2 = 10$ ، $4\pi = 12.5$)

ثانياً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:



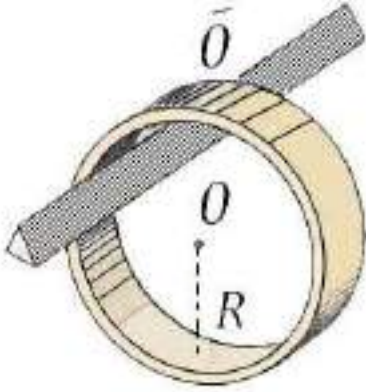
يتألف نواس ثقلي مرگب من ساق شاقولية، متجانسة، كتلتها $M = 0.5 \text{ kg}$ ، طولها 1.5 m ، يمكنها أن تنوس حول محور أفقي مار من طرفها العلوي، ومثبت عليها كتلة نقطية $m' = 0.5 \text{ kg}$ على بُعد 1 m من هذا الطرف، كما في الشكل المجاور. **المطلوب:**

- 1- احسب دور هذا النواس في حالة الساعات الزاوية الصغيرة.
- 2- نزيح جملة النواس عن موضع توازنها الشاقولي بزاوية $\frac{\pi}{2} \text{ rad}$ ،

ونتركها دون سرعة ابتدائية. احسب الطاقة الحركية للنواس لحظة مروره بالشاقول، ثم احسب السرعة الخطية للكتلة النقطية m' عندئذ.

(عزم عطالة ساق حول محور عمودي على مستويها ومار من مركز عطالتها $I_{\Delta/C} = \frac{1}{12} M L^2$)

المسألة الثانية:



نعلق حلقة معدنية نصف قطرها $R = 12.5 \text{ cm}$ ، كتلتها $M = 0.05 \text{ kg}$ ، بمحور أفقي ثابت، كما هو موضّح بالشكل. **المطلوب:**

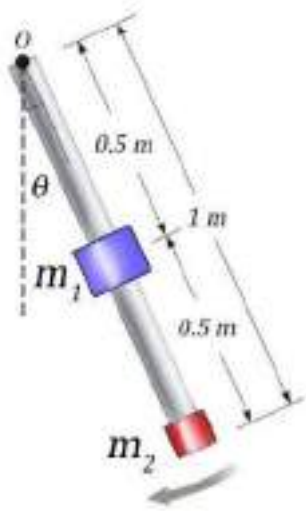
- 1- احسب الدور الخاص لاهتزاز هذا النواس من أجل الساعات الزاوية الصغيرة إذا علمت أن عزم عطالة الحلقة حول محور عمودي على مستويها، ومار من مركز عطالتها $I_{\Delta/C} = MR^2$.
- 2- احسب طول النواس البسيط الموقت.

المسألة الثالثة:

نعلق كرة صغيرة نعدّها نقطة مادية، كتلتها $m = 0.5 \text{ kg}$ بخيط مهمل الكتلة، لا يمتط طوله $\ell = 1.6 \text{ m}$ ، لتؤلف نواساً ثقلياً بسيطاً، ثم نزيح الكرة إلى مستوي أفقي يرتفع $h = 0.8 \text{ m}$ عن المستوي الأفقي المار منها وهي في موضع توازنها الشاقولي، ليصنع خيط النواس مع الشاقول زاوية θ ، ونتركها دون سرعة ابتدائية، **المطلوب:**

- 1- استنتج بالرموز العلاقة المحددة لسرعة الكرة عند مرورها بالشاقول، ثم احسب قيمتها، موضّحاً بالرسم.
- 2- استنتج قيمة الزاوية θ ، ثم احسب قيمتها.
- 3- احسب دور هذا النواس.
- 4- استنتج بالرموز العلاقة المحددة لشدة قوة توتر الخيط عند المرور بالشاقول، ثم احسب قيمتها.

المسألة الرابعة:



ساق شاقولية، مهملة الكتلة، طولها $L = 1 \text{ m}$ ، تثبت في منتصفها كتلة نقطية $m_1 = 0.4 \text{ kg}$ ، وتثبت في طرفها السفلي كتلة نقطية $m_2 = 0.2 \text{ kg}$ ، لتؤلف الجملة نواساً ثقلياً مركباً يمكنه أن ينوس في مستوي شاقولي حول محور أفقي مار من الطرف العلوي للساق. **المطلوب:**

- 1- احسب دور نوساتها صغيرة السعة.
- 2- نزيح الجملة عن موضع توازنها بزاوية $\theta_{\max} > 0.24 \text{ rad}$ ، ونتركها دون سرعة ابتدائية، فتكون السرعة الخطية لمركز عطالة جملة النواس لحظة مرورها بالشاقول $v = \frac{4\pi}{3\sqrt{3}} \text{ m.s}^{-1}$ ، **المطلوب:**

(a) احسب السرعة الخطية للكتلة النقطية m_2 .

(b) استنتج قيمة الزاوية θ_{\max} .

المسألة الخامسة:

يتألف نواس ثقلي من ساق شاقولية، مهملة الكتلة طولها L ، تحمل في كل من طرفيها كتلة نقطية m' ، نعلق الجملة بمحور دوران أفقي يبعد $\frac{L}{4}$ عن طرف الساق العلوي، نزيح الجملة عن وضع توازنها الشاقولي بزاوية $\frac{1}{2\pi} \text{ rad}$ ، ونتركها دون سرعة ابتدائية في اللحظة $t = 0$ ، فتتهتز بدور خاص $T_0 = 2.5 \text{ s}$. **المطلوب:**

- 1- استنتج التابع الزمني للمطال الزاوي لحركة هذا النواس انطلاقاً من شكله العام.
- 2- استنتج بالرموز العلاقة المحددة لطول الساق، ثم احسب قيمته.
- 3- احسب قيمة السرعة الزاوية العظمى للحركة (طويلة).
- 4- لنفرض أنه خلال إحدى النوسات انفصلت الكتلة السفلية عن الساق، استنتج الدور الخاص الجديد للجملة في حالة الساعات الزاوية الصغيرة.

المسألة السادسة:

يتألف نواس بسيط من كرة فولاذية صغيرة كتلتها $m_1 = 0.2 \text{ kg}$ ، معلقة بخيط خفيف، لا يمتد، طوله $\ell = 1 \text{ m}$ ، كما في الشكل، نزيح الكرة عن وضع توازنها الشاقولي بزاوية $\theta_{\max} = 56.6^\circ$ ، ونتركها دون سرعة ابتدائية. **المطلوب:**

- 1- استنتج بالرموز العلاقة المحددة لسرعة الكرة عند مرورها بالشاقول، ثم احسب قيمتها إذا علمت أن $\cos 56.6^\circ = 0.55$.
- 2- بفرض أن كرة النواس عند مرورها بالشاقول بسرعتها السابقة، اصطدمت بكرة أخرى كتلتها $m_2 = 0.8 \text{ kg}$ ، ممغنطة، ساكنة على سطح طاولة أفقية، والتصقت الكرتان لتشكلا جسماً واحداً بعد الصدم. **المطلوب:**

- (a) احسب سرعة جملة الكرتين بعيد الصدم.
- (b) احسب أعلى ارتفاع يصل إليه مركز عطالة الجملة بعد الصدم عن سطح الطاولة الأفقي.

(c) استنتج قيمة الزاوية θ' التي يصنعها الخيط عند أعلى ارتفاع مع الشاقول بدلالة إحدى نسبها المثلثية، (إذا علمت أن $\cos(14^\circ) = 0.970$)

المسألة السابعة:

يتألف نواس ثقلي مركب من قرص متجانس كتلته m نصف قطره $r = \frac{2}{3} m$ يمكن أن يهتز في مستوي شاقولي حول محور أفقي مار من نقطة على محيطه.

1) انطلاقاً من العلاقة العامة لدور النواس الثقلي المركب . استنتج العلاقة المحددة لدوره الخاص في حالة الساعات

الصغيرة ثم احسب قيمة هذا الدور ،

2) احسب طول النواس البسيط المواقف لهذا النواس المركب.

3) نثبت في نقطة من محيط القرص كتلة نقطية m' تساوي كتلة القرص m ونجعله يهتز حول محور أفقي مار من مركز القرص ، احسب دوره في هذه الحالة من أجل الساعات الزاوية الصغيرة .

4) نزيح القرص من جديد عن وضع توازنه الشاقولي بسعة زاوية θ_{\max} ونتركه دون سرعة ابتدائية فتكون السرعة

الخطية للكتلة النقطية m' لحظة المرور بالشاقول $\frac{2\pi}{3} m \cdot s^{-1}$ احسب قيمة السعة الزاوية θ_{\max} إذا علمت أن:

$$\theta_{\max} > 0.24 \text{ rad}$$

$\pi^2 = 10$ ، $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ، عزم عطالة القرص حول محور مار من مركزه وعمودي على مستويه

$$I_{\Delta/c} = \frac{1}{2} m r^2$$

تفكير ناقذ:

من المعلوم أنه في حالة انعدام الوزن ضمن المحطة الفضائية $g \approx 0$:

1- لدينا كرة كتلتها m معلقة بخيط مهمل الكتلة طوله ℓ كما هو

موضح بالشكل جانباً لتشكل نواساً بسيطاً عند سطح الأرض ما

قيمة الدور على متن المحطة الفضائية مع التعليل.

2- كيف يمكن جعله يهتز بحركة جيبيية توافقية بسيطة ؟



ابحث أكثر:

نواس فوكو

صمم الفيزيائي الفرنسي ليون فوكو تجربة لتقديم إثبات علمي

بسيط لحقيقة دوران الأرض حول محورها.

ابحث عبر الشبكة حول ذلك .



ميكانيك الموائع

الأهداف الدراسية:

1. يتعرّف المائع المثالي.
2. يتعرّف خط الانسياب.
3. يتعرّف أنبوب التدفق.
4. يميّز بين الجريان المنتظم والجريان غير المنتظم.
5. يرسم خطوط الانسياب في الجريان المنتظم، وفي الجريان غير المنتظم.
6. يوضّح خاصيات المائع المثالي تجريبياً.
7. يتعرّف معدل التدفق.
8. يستنتج معادلة الاستمرارية.
9. يستنتج معادلة برنولي.
10. يتعرّف تطبيقات ميكانيك الموائع في حياته اليومية.

الكلمات المفتاحية

- المائع المثالي
- خط الانسياب
- الجريان المنتظم
- الجريان غير المنتظم
- معدل التدفق.
- معادلة الاستمرارية.
- معادلة برنولي.
- نظرية تور يشيلي
- قوة الرفع



للموائع دور حيوي في حياتنا ،فنحن ننتفسها **تغيير الرسمه** ونسبح خلالها وتدور في أجسامنا عبر الأوردة والشرابين ، و تطفو السفن على سطحها وتطير فيها الطائرات، وتتحرك في محركات السيارات وأجهزة التكييف ما المقصود بالمائع؟ وما القوانين التي تحكم حركتها؟

المائع نشاط

ألاحظ الشكل جانباً :

- 1- أُميِّز بين قوى الترابط بين الجزيئات في حالات المادة المختلفة؟
- 2- أفسِّر قدرة السوائل على حرية الحركة والجريان.
- 3- أفسِّر قدرة الغازات على إشغال كامل حجم الوعاء الذي يحتويها.

أستنتج:



الحالة السائلة



الحالة الصلبة

- تتميز السوائل والغازات بقوى تماسك ضعيفة نسبياً بين جزيئاتها، فهي لا تحافظ على شكل معين، وتتحرك جزيئاتها بحيث تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه، وهي تستجيب بسهولة للقوى الخارجية التي تحاول تغيير شكلها، لذلك تسمى السوائل والغازات بالموائع.

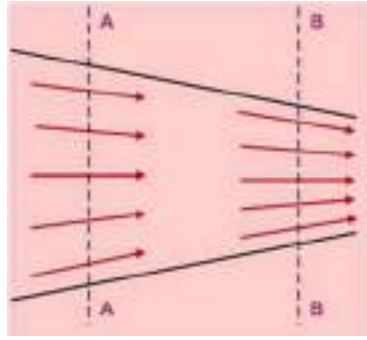
الخصائص الميكانيكية للموائع المتحركة:

تتميز الموائع بقدرتها على الجريان بتأثير قوى خارجية، ولوصف حركتها عند لحظة ما يجب معرفة كثافة المائع، وضغطه، وسرعته، ودرجة حرارته، ولتسهيل دراسة الموائع فإننا ندرس جسيم المائع وهو جزء من المائع أبعاده صغيرة جداً بالنسبة لأبعاد المائع وكبيرة بالنسبة لأبعاد جزيئات المائع.

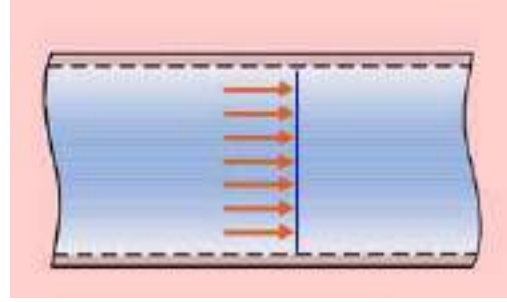
تعريف أساسية

1. الجريان المستقر:

هو الجريان الذي تكون فيه سرعة جسيم المائع ثابتة مع مرور الزمن في النقطة نفسها من خط الانسياب، فإذا تغيرت السرعة من نقطة إلى أخرى بمرور الزمن كان الجريان المستقر غير منتظم، أما إذا كانت السرعة ثابتة في جميع نقاط المائع بمرور الزمن فإن الجريان المستقر يكون منتظماً.



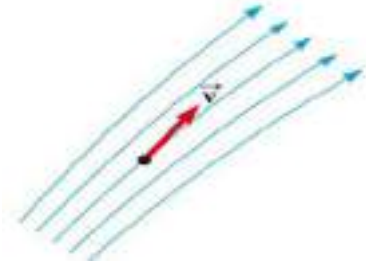
الجريان المستقر غير المنتظم



الجريان المستقر المنتظم

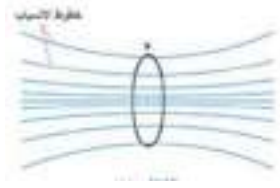
2. خط الجريان

خط وهمي يبين المسار الذي يسلكه جسيم المائع أثناء جريانه ويمس في كل نقطة من نقاطه شعاع السرعة في تلك النقطة.



3. أنبوب التدفق

إذا أخذنا مساحة صغيرة عمودية على اتجاه جريان مائع جريانه



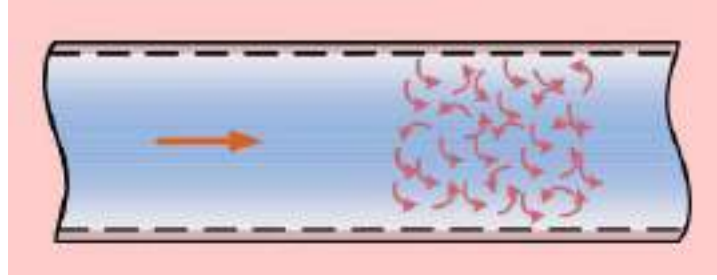
مستقراً، ورسمنا على محيط هذه المساحة خطوط الانسياب فنحصل على أنبوب وهمي يحتوي على المائع يدعى أنبوب التدفق.

4. ميزات المائع المثالي:

إنّ دراسة حركة الموائع الحقيقية تتطلب مهارات رياضية أكثر مما تتطلبه دراسة حركة الأجسام الصلبة لذا نفترض وجود مائع مثالي (لا وجود له عملياً) لتبسيط الاستنتاجات الرياضية لبعض القوانين، ثم نطبق عليها بعض المتغيرات الحقيقة التي تلامس الواقع.

يتمتع المائع المثالي بالميزات الآتية:

1. غير قابل للانضغاط: حجمه ثابت، لا يتغير بثبات درجة حرارته، وضغطه، وبالتالي كثافته الوسطى ثابتة.
2. عديم اللزوجة: قوى الاحتكاك الداخلي بين مكوناته مهملة عندما تتحرك بالنسبة لبعضها البعض، وبالتالي طاقته الميكانيكية ثابتة.
3. جريانه مستقر: أي أنّ حركة جسيماته لها خطوط انسياب محدّدة وسرعة جسيماته عند نقطة معينة تكون ثابتة بمرور الزمن.
4. جريانه غير دوراني: لا تتحرك جسيمات السائل حركة دورانية حول أي نقطة في مجرى الجريان.



الجريان الدوراني لمائع

معادلة الاستمرارية

أجرّب واستنتج

أدوات التجربة: محقن بلاستيكي ذو مكبس قابل للحركة، إبرة معدنية قابلة للتثبيت بطرف المحقن، ماء، كوب زجاجي.
خطوات التجربة



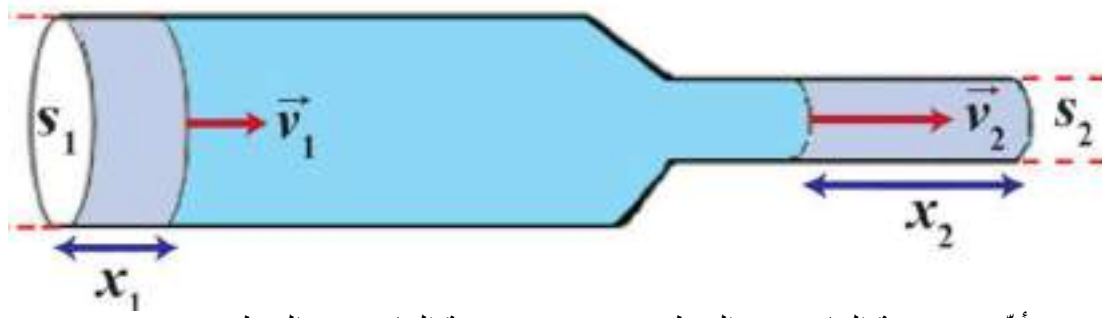
1. أثبت الإبرة المعدنية بالمحقن البلاستيكي.
2. أضع قليلاً من الماء في الكوب الزجاجي.
3. أضع رأس الإبرة في كوب الماء وأسحب المكبس، ماذا ألاحظ؟
4. أسحب الإبرة من كوب الماء، وأدفع المكبس ببطء وأراقب سرعة تدفق الماء من رأس الإبرة، ماذا ألاحظ؟
5. أعيد سحب الماء من الكوب بعد نزع الإبرة المعدنية من مكانها، وأدفع المكبس بالقوة السابقة نفسها، ماذا ألاحظ؟

النتائج

- تزداد سرعة تدفق المائع في أنبوب بنقصان مساحة مقطع الأنبوب.
- **معَدّل التدفق الكتلي** Q لمائع هو كتلة كمية المائع التي تعبر مقطع الأنبوب خلال واحدة الزمن، ونعبر عنه بالعلاقة $Q = \frac{m}{\Delta t}$ ، وتقدر في الجملّة الدولية بوحدة kg.s^{-1}
- **معَدّل التدفق الحجمي** Q' لمائع هو حجم كمية المائع التي تعبر مقطع الأنبوب خلال واحدة الزمن، ونعبر عنه بالعلاقة $Q' = \frac{V}{\Delta t}$ ، وتقدر في الجملّة الدولية بوحدة $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$

الاستنتاج الرياضي لمعادلة الاستمرارية

بافتراض مائع يتحرك داخل أنبوب مساحة مقطعي طرفيه مختلفين s_1 ، s_2 ، وكمية المائع التي تدخل الأنبوب عند المقطع s_1 خلال فترة زمنية معينة تساوي كمية المائع التي تخرج من المقطع s_2 للأنبوب خلال الفترة الزمنية نفسها (المائع لا يتجمع داخل الأنبوب ويملؤه تماماً، وجريانه مستمراً):



بفرض أنّ v_1 سرعة المائع عبر المقطع s_1 ، و v_2 سرعة المائع عبر المقطع s_2 إنّ حجم كمية السائل التي تعبر المقطع s_1 لمسافة x_1 خلال الزمن Δt يكون:

$$V_1 = s_1 x_1$$

$$x_1 = v_1 \Delta t \quad \text{لكن:}$$

$$V_1 = s_1 v_1 \Delta t$$

و حجم كمية السائل التي تعبر المقطع s_2 لمسافة x_2 خلال الزمن Δt يكون:

$$V_2 = s_2 x_2$$

$$x_2 = v_2 \Delta t \quad \text{لكن:}$$

$$V_2 = s_2 v_2 \Delta t$$

وبما أنّ حجم كمية المائع التي عبرت المقطع s_1 تساوي حجم كمية المائع التي عبرت المقطع s_2 خلال الفترة الزمنية نفسها فإنّ:

$$Q'_1 = Q'_2$$

$$\frac{V_1}{\Delta t} = \frac{V_2}{\Delta t}$$

$$\frac{s_1 v_1 \Delta t}{\Delta t} = \frac{s_2 v_2 \Delta t}{\Delta t}$$

$$s_1 v_1 = s_2 v_2$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{s_1}{s_2}$$

إذن:

أي أنّ سرعة تدفق المائع تتناسب عكساً مع مساحة مقطع الأنبوب الذي يتدفق منه المائع. وبشكل عام يمكننا أن نكتب:

$$Q' = s_1 v_1 = s_2 v_2 = \text{const}$$

معادلة برنولي في الجريان المستقر

نشاط

أدوات النشاط

خيوط، أنبوب بلاستيكي مقطعه صغير طوله حوالي 10 cm، ورقتان.

خطوات تنفيذ النشاط



1. أعلق كلّ من الورقتين بخيط شاقولي، وأجعلهما متقابلتان.

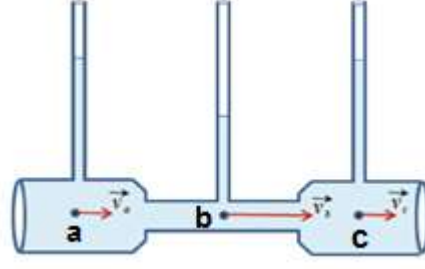
2. أنفخ بينهما بقوة بواسطة الأنبوب، ماذا ألاحظ؟

استنتج

ينقص ضغط المائع كلما ازدادت سرعته.

نشاط

في الشكل المجاور سائل جريانه مستقر عبر أنبوب أفقي ذي مقاطع مختلفة، أتساءل وأجيب



• أفسّر سبب اختلاف ارتفاع سوية السائل في الأنابيب الشاقولية عند النقاط a, b, c .

• عند أيّ النقاط تكون سرعة جسيم السائل أكبر؟

• من أين تأتي الزيادة في الطاقة الحركية لجسيم السائل عند المرور بالنقطة b ؟ وأين تذهب تلك الطاقة عند النقطتين a, c ، علماً أنّ النقاط a, b, c تقع في المستوي الأفقي نفسه؟

• تجيب عن هذه التساؤلات نظرية برنولي التي تربط بين الضغط وسرعة الجريان والارتفاع عند أي نقطة من مجرى سائل مثالي، وتنص على:

إنّ مجموع الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجم، والطاقة الكامنة الثقالية لوحدة

الحجوم تساوي مقدار ثابت عند أي نقطة من نقاط خط الانسياب لمائع جريانه مستقر.

الاستنتاج الرياضي لمعادلة برنولي

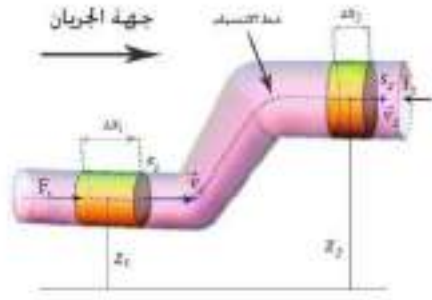
عندما تمرّ كمية صغيرة من السائل بين مقطعين حيث

مساحة المقطع الأول s_1 ، والضغط عنده p_1 ، وسرعة

الجريان فيه v_1 ، والارتفاع عن مستوي مرجعي z_1

ومساحة المقطع الثاني s_2 ، والضغط عنده p_2 ، وسرعة

الجريان فيه v_2 ، والارتفاع عن المستوي المرجعي z_2 .



إنّ العمل الكلي المبذول لتحريك كتلة السائل من

المقطع الأول إلى المقطع الثاني يساوي مجموع عمل

قوة الثقل، وعمل قوة ضغط السائل.

عمل قوة الثقل

$$W_w = -mg(z_2 - z_1)$$

عمل قوة ضغط السائل

يتأثر سطح المقطع s_1 بقوة F_1 لها جهة الجريان، وتنتقل نقطة تأثيرها مسافة قدرها Δx_1 خلال فترة زمنية Δt فتقوم بعمل محرك (موجب)

$$W_1 = F_1 \Delta x_1$$

$$F_1 = P_1 s_1 \quad \text{لكن:}$$

$$W_1 = P_1 s_1 \Delta x_1$$

$$s_1 \Delta x_1 = \Delta V \quad \text{لكن:}$$

$$W_1 = P_1 \Delta V$$

حيث ΔV حجم كمية السائل التي تعبر المقطع s_1 خلال الفترة الزمنية Δt .
يتأثر سطح المقطع s_2 بقوة F_2 معيقة لجريان السائل، لها جهة تعاكس جهة الجريان، وتنتقل نقطة تأثيرها مسافة قدرها Δx_2 خلال الفترة الزمنية Δt فتقوم بعمل مقاوم (سالب).

$$W_2 = -F_2 \Delta x_2$$

$$F_2 = P_2 s_2 \quad \text{لكن:}$$

$$W_2 = P_2 s_2 \Delta x_2$$

$$s_2 \Delta x_2 = \Delta V \quad \text{لكن:}$$

حيث ΔV حجم كمية السائل التي تعبر المقطع s_2 خلال الفترة الزمنية Δt نفسها، وهي تساوي حجم كمية السائل التي تعبر المقطع s_1 خلال الفترة الزمنية Δt ، وذلك لأنّ السائل غير قابل للانضغاط.

$$W_2 = P_2 \Delta V$$

ويصبح العمل الكلي

$$W_T = W_w + W_1 + W_2$$

$$W_T = -mg(z_2 - z_1) + P_1 \Delta V - P_2 \Delta V$$

وبحسب مصونية الطاقة فإنّ:

$$W_T = E_{k_2} - E_{k_1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$-mg(z_2 - z_1) + P_1 \Delta V - P_2 \Delta V = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$m = \rho \Delta V \quad \text{لكن:}$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2$$

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z = \text{const}$$

وهي معادلة برنولي التي تعبر عن نظرية برنولي، هي أحد أشكال حفظ الطاقة.

ومن الجدير بالذكر أنّ المقدار $\rho g z$ يمثل الطاقة الكامنة الثقالية (طاقة الوضع) لوحدة الحجم من السائل، بينما يمثل المقدار $\frac{1}{2} \rho v^2$ يمثل طاقة حركة ذلك الجزء، وبالتالي يجب أن يكون الضغط P مثل طاقة واحدة الحجم أيضاً حتى تتناسق وحدات الكميات الواردة في المعادلة، ويمكن أن نتحقق من ذلك لو كتبنا وحدات الضغط حيث نجد:

$$1\text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

حالة خاصة: إذا كان الأنبوب أفقي

$$z_1 = z_2$$

$$P_1 \frac{m}{\rho} + \frac{1}{2} m v_1^2 = P_2 \frac{m}{\rho} + \frac{1}{2} m v_2^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

تطبيقات على معادلة برنولي

1- سكون الموائع، ومعادلة المانومتر:

يمكن أن نحصل على معادلة المانومتر من معادلة برنولي بفرض أنّ المائع ساكن في الأنبوب أي أنّ:

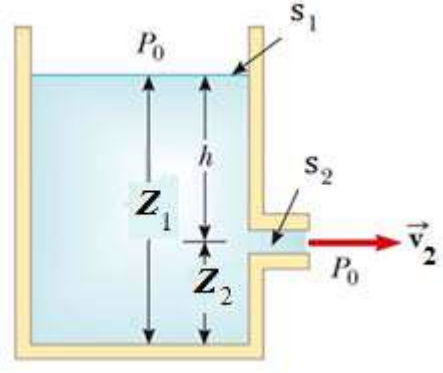
$$v_1 = v_2 = 0$$

نعوّض في العلاقة السابقة فنجد:

$$P_1 - P_2 = \rho g z_2 - \rho g z_1 = \rho g (z_2 - z_1) = \rho g h$$

وهذه معادلة المانومتر (قانون الضغط في الموائع الساكنة).

2- نظرية تورشيللي:



يحتوي خزان على سائل (مائع) كتلته الحجمية ρ ، سطح مقطعه S_1 كبير بالنسبة إلى فتحة جانبية مساحة مقطعها S_2 صغيرة تقع قرب قعره وعلى عمق $z_2 - z_1 = h$ عن السطح الحرّ للسائل. ما السرعة التي يخرج بها السائل من الفتحة الجانبية؟
نطبق معادلة برنولي على جزء صغير من السائل انتقل من سطح الخزان بسرعة $v_1 \approx 0$ ليخرج من الفتحة S_2 إلى الوسط الخارجي بسرعة v_2 :

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2$$

إنّ السطح المفتوح، والفتحة معرضتان للضغط الجوي النظامي، ولذلك $P_1 = P_2 = P_0$

$$\frac{1}{2} v_1^2 + g z_1 = \frac{1}{2} v_2^2 + g z_2$$

وبما أنّ: $v_1 \approx 0$ نجد:

$$g z_1 = \frac{1}{2} v_2^2 + g z_2$$

$$\frac{1}{2} v_2^2 = g z_1 - g z_2$$

$$v_2^2 = 2g (z_1 - z_2)$$

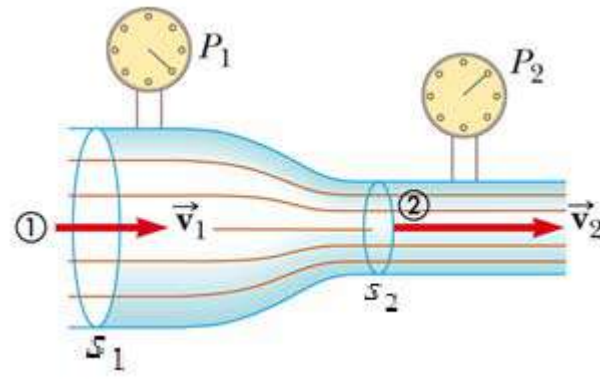
$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

إنّ سرعة خروج السائل تكافئ السرعة التي يسقط بها جسم مائع بشكل حرّ من ارتفاع h . تدعى العلاقة السابقة بنظرية تورشيللي، وتنطبق على أي فتحة في الوعاء، سواء كانت في قعره أو جداره الجانبي.

3- أنبوب فنتوري

يتألف أنبوب فنتوري من أنبوب مساحة مقطعه S_1 يجري فيه سائل بسرعة v_1 في منطقة ضغطها P_1 فيصل لاختناق مساحته S_2 ، ويستخدم أنبوب فنتوري لمعرفة فرق الضغط بين الجذع الرئيس والاختناق.

نطبق معادلة برنولي بين النقطتين 1 و 2 اللتين تقعان في مستوي الأفقي نفسه.



$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

ولكن:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 - 1 \right] v_1^2$$

ويتم قياس فرق الضغط بين نقطتين بواسطة مانومتر فيه سائل كثافته ρ متصل بأنبوب فنتوري ويختلف ارتفاع السائل بين ذراعي المانومتر بحسب الفرق في الضغط وبما أن:

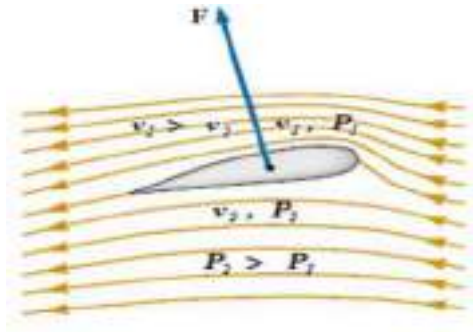
$$S_1 > S_2$$

$$P_1 > P_2$$

يكون

أي أن الضغط في الاختناق أقل من الضغط في الجذع الرئيس للأنبوب.

يستفاد من هذه الخاصية في الطب فقد تتناقص مساحة مقطع الشرايين في منطقة ما نتيجة تراكم الدهون والشحوم مما يعيق جريان الدم في هذه الشرايين ويتناقص ضغط الدم في المقاطع المتضيق عن قيمته الطبيعية اللازمة لمقاومة الضغط الخارجية.



4- جناح الطائرة وقوة الرفع:

هل تساءلت كيف تطير الطائرة؟

عندما تُقَلَع طائرة فإنَّ الهواء يندفع من حول جناحيها من

الأعلى والأسفل بشكل يماثل جريان سائل في أنبوب،

وتتكَثَف خطوط الجريان بحسب ميل الجناح وتصميمه بحيث

تكون سرعة جريان الهواء من الأعلى أكبر مما هي عليه

من الأسفل مما يجعل الضغط من الأسفل أكبر منه في

الأعلى وينشأ فرقاً في الضغط يؤدي إلى لرفع الطائرة للأعلى، تسمى قوة فرق الضغط هذه بقوة

الرفع، وتتناسب مع سرعة الطائرة، ففي الرحلات قصيرة المدى تحلّق الطائرات على ارتفاع

8 km بسرعة 400 km.h^{-1} ، أما في الرحلات بعيدة المدى فترتفع إلى 10 km لتحلّق بسرعة

800 km.h^{-1} .

1- أنبوب بيتوت:

يستخدم أنبوب بيتوت لقياس سرعة جريان سائل في منطقة معينة حيث يقيس المانومتر فرق الضغط بين نقطتين حيث أنّ السرعة عند أحدها معدومة عملياً. من معادلة برنولي نجد:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2$$

$$P_2 - P_1 = \rho' g h \quad \text{لكن:}$$

حيث ρ' كثافة السائل في المانومتر.

من المعادلتين السابقتين نجد:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho'gh}{\rho}}$$

وبما أنّ ρ ، ρ' معروفتان مسبقاً لذا يمكن معايرة الجهاز بحيث تقرأ السرعة من معرفة الارتفاع h مباشرة .

تعلمت

الجريان المستقر المنتظم: هو الجريان الذي تكون فيه سرعة جسيم المائع وضغطه وكثافته ودرجة حرارته مقادير ثابتة مع مرور الزمن في كل نقطة منه.
خط الانسياب: هو خط وهمي يوضح المسار الذي تسلكه كمية من المائع ، عندما تنتقل من نقطة الى أخرى أثناء جريانها.

أنبوب التدفق: أنبوب وهمي يحتوي على المائع
ميزات المائع المثالي:

5. غير قابل للانضغاط: حجمه ثابت لا يتغير بثبات درجة حرارته وضغطه وبالتالي كثافته الوسطى ثابتة.

6. عديم اللزوجة: قوى الاحتكاك الداخلي بين طبقاته مهملة عندما تتحرك طبقة بالنسبة لأخرى، وبالتالي طاقته ثابتة.

7. جريانه منتظم: حركة جزيئاته لها خطوط انسياب محددة وسرعة جزيئاته عند نقطة معينة تكون ثابتة مع مرور الزمن.

8. جريانه غير دوراني: لا توجد لجزيئاته عزوم دورانية حول نقطة.

معادلة الاستمرارية: تزداد سرعة المائع كلما نقصت مساحة مقطع الأنبوب

$$Q' = s_1 v_1 = s_2 v_2 = \text{const}$$

معادلة برنولي: إنّ مجموع الضغط والطاقة الحركية لواحدة الحجم، والطاقة الكامنة الثقالية لواحدة الحجم تساوي مقدار ثابت عند أي نقطة من نقاط خط الانسياب لمائع جريانه مستقر.

أسئلة وتمارين

السؤال الأول:

اختر الإجابة الصحيحة في كلّ مما يأتي:

1- عندما تهب رياح أفقية عند فوهة مدخنة شاقولية فإنّ:

(A) سرعة خروج الدخان من فوهة المدخنة:

(a) تزداد (b) تنقص

(c) تبقى دون تغير (d) تنعدم

(B) ويمكن تفسير النتيجة وفق:

(a) مبدأ باسكال

(c) قاعدة أرخميدس

2- يتصف السائل المثالي بأنّه:

(a) قابل للانضغاط وعديم اللزوجة.

(c) غير قابل للانضغاط وعديم اللزوجة.

(b) مبدأ برنولي

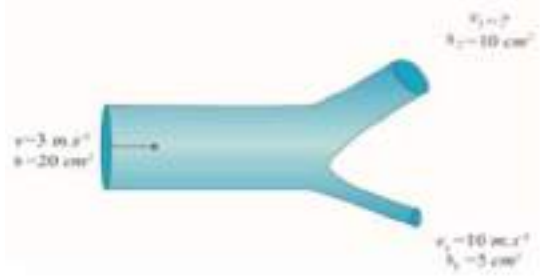
(d) معادلة الاستمرارية

(b) غير قابل للانضغاط ولزوجته غير مهملة.

(d) قابل للانضغاط ولزوجته غير مهملة.

- 2- خرطوم مساحة مقطعه عند فوهة دخول الماء فيه s_1 وسرعة جريان الماء عند تلك الفوهة v_1 ، فتكون سرعة خروج الماء v_2 من نهاية الخرطوم حيث مساحة المقطع $s_2 = \frac{1}{4} s_1$ مساوية:

- (a) v_1 (b) $\frac{1}{4} v_1$ (c) $4 v_1$ (d) $16 v_1$



- 4- بيّن الشكل المجاور دخول سائل مثالي عبر المقطع s_1 بسرعة v_1 ليتفرّع إلى فرعين مساحة مقطع الفرع الأول s_2 ، وسرعة جريان السائل عبره v_2 ، ومساحة مقطع الفرع الثاني s_3 ، فتكون سرعة جريان السائل عبر مقطع الفرع الثاني v_3 مساوية:

- (a) 1.5 m.s^{-1} (b) 6 m.s^{-1} (c) 1 m.s^{-1} (d) 20 m.s^{-1}

السؤال الثاني:

أعط تفسيراً علمياً باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة لكلّ ممّا يأتي:

- 1- اختلاف سرعة جريان الماء عبر مقاطع مختلفة المساحة في مجرى نهر جريانه أفقي.
- 2- اندفاع ستائر النوافذ المفتوحة إلى خارج السيارة عندما تتحرك بسرعة معينة.
- 3- عدم تقاطع خطوط الانسياب لسائل.
- 4- ينقص مقطع عمود الماء المتدفق من الخرطوم عندما توجه فوهته للأسفل بينما يزداد مقطعه عندما توجه فوهته رأسياً للأعلى؟
- 5- يندفع الماء بسرعة كبيرة من خلال ثقب صغير حدث في جدران خرطوم ينقل الماء.
- 6- تستطيع خراطيم سيارات الإطفاء على إيصال الماء لارتفاعات ومسافات كبيرة.
- 7- تكون مساحة فتحات الغاز في موقد الغاز صغيرة ؟
- 8- لجعل الماء المتدفق من فتحة خرطوم يصل لمسافات أبعد نقوم بغلق جزء من فتحة الخرطوم.
- 9 - عندما تهب الأعاصير ينصح بفتح النوافذ في البيوت.

السؤال الثالث

حل المسائل الآتية

المسألة الأولى

لملء خزان حجمه 600L بالماء استخدم خرطوم مساحة مقطعه 5 cm^3 فاستغرقت العملية 300 s. المطلوب:

- 1- احسب معدل التدفق الحجمي Q' .
- 2- احسب سرعة تدفق الماء من فتحة الخرطوم.
- 3- كم تصبح سرعة تدفق الماء من فتحة الخرطوم إلى نقص مقطعها ليصبح ربع ما كان عليه؟

المسألة الثانية

تقوم مضخة برفع الماء من خزان أرضي عبر أنبوب مساحة مقطعه $s_1 = 10 \text{ cm}^2$ إلى خزان يقع على سطح بناء، فإذا علمت أنّ مساحة مقطع الأنبوب الذي يصب في الخزان العلوي $s_2 = 5 \text{ cm}^2$ ، وأن معدل الضخ $Q' = 0.005 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. المطلوب حساب:

- 1- سرعة الماء عند دخوله الأنبوب وعند فتحة خروجه من الأنبوب.
- 2- قيمة ضغط الماء عند دخوله الأنبوب علماً بأنّ الضغط الجوي $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ، والارتفاع بين الفوهتين 20 m.

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} , \quad g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

المسألة الثالثة

ينتهي أنبوب ماء مساحة مقطعه 10 cm^2 إلى رشاش الاستحمام فيه 25 ثقباً متماثلاً مساحة مقطع كل ثقب 0.1 cm^2 ، فإذا علمت أنّ سرعة تدفق الماء عبر الأنبوب $50 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

المطلوب حساب:

- 1- معدل التدفق الحجمي للماء.
- 2- سرعة تدفق الماء من كل ثقب.

المسألة الرابعة

محقن أسطواني الشكل مساحة مقطعه 1.25 cm^2 مركّب عليه إبرة معدنية قطرها $4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$.

المطلوب حساب:

- 1- سرعة تدفق المحلول عبر مقطع المحقن عندما يكون معدل التدفق $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- 2- سرعة تدفق المحلول لحظة خروجه من فوهة الإبرة.

المسألة الخامسة

ثلاثة صنادير ماء يملأ الأول حوضاً خلال ساعة، ويملأ الثاني الحوض نفسه في نصف ساعة، ويملأ الثالث الحوض نفسه في ربع ساعة، احسب الزمن اللازم لملء الحوض عندما تفتح الصنادير الثلاثة معاً.

مسائل عامة

المسألة الأولى

يحتوي نفق أفقي على منطقة مساحة مقطعها العرضي $4 \times 10^2 \text{ m}^2$ ، ومنطقة أخرى مساحة مقطعها العرضي 8 m^2 من طرفه الآخر، تتدفق من خلاله المياه العذبة بسرعة 4 m.s^{-1} في الجهة الضيقة من النفق بفرض أن الضغط في الجهة العريضة يساوي $1.10 \times 10^5 \text{ pa}$. احسب قيمة الضغط في المنطقة الضيقة من النفق؟

المسألة الثانية

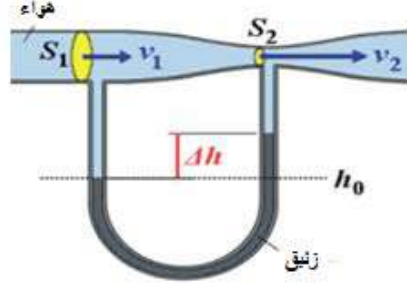
تهب رياح شديدة بسرعة 150 km.h^{-1} فوق منزل ريفي محكم الاغلاق. احسب قيمة فرق الضغط بين داخل البيت وفوقه تماماً، وما القوة التي سيخضع لها سطح المنزل إذا كانت مساحته 50 m^2 ؟ (تُهمل سماكة السطح)، الكتلة الحجمية للهواء $\rho = 1.29 \text{ kg.m}^{-3}$.

المسألة الثالثة

ينتشر الماء في جميع انحاء المنزل داخل نظام تسخين الماء الساخن، فإذا ضخ الماء بسرعة 0.5 m.s^{-1} عبر أنبوب قطره 4 cm في القبو تحت ضغط 3 atm . احسب سرعة تدفق الماء، والضغط في أنبوب قطره 2.6 cm في الطابق الثاني على ارتفاع 5 m على فرض أن الانابيب لا تتفرّع.

مسائل عامة

يحتوي نفق أفقي على منطقة مساحة مقطعها العرضي $4 \times 10^2 \text{ m}^2$ ، ومنطقة أخرى مساحة مقطعها العرضي 8 m^2 من طرفه الآخر، تتدفق من خلاله المياه العذبة بسرعة 4 m.s^{-1} في الجهة الضيقة من النفق بفرض أن الضغط في الجهة العريضة يساوي $1.10 \times 10^5 \text{ pa}$. احسب قيمة الضغط في المنطقة الضيقة من النفق؟



مسألة : تستخدم أنبوبة بيتوت لقياس سرعة الهواء فإذا كان السائل المستخدم في الأنبوبة هو الزئبق وكثافته 13600 kg/m^3 ، وكانت $h = 5 \text{ cm}$ ، فاحسب سرعة الهواء علماً بأن كثافة الهواء هي 1.29 kg/m^3 .

مسألة : يتفرع أنبوب نصف قطره R إلى عدة أنابيب صغيرة نصف قطر كل منها $\frac{R}{3}$ ، فإذا كانت سرعة سائل ما في الأنبوبة الكبيرة هي v ، وسرعة في الأنابيب الصغيرة هي $\frac{v}{2}$ ، فما هو عدد الأنابيب الفرعية؟

مسألة : ينساب سائل في أنبوبة قطرها 40 cm ، ثم تضيق هذه الأنبوبة تدريجياً وترتفع ليصبح قطرها 25 cm ، وذلك عند ارتفاع قدره 6 m ، فإذا كان الضغط عند المقطع السفلي $1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ وكثافة السائل المتدفق 0.8 g/cm^3 ، ومعدل تدفقه $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ، فاحسب مقدار الضغط عند المقطع العلوي.

مسألة : ثقب في خزان ماء كبير على عمق 16 m من سطح الماء، فإذا كان معدل تدفق الماء من الثقب هو $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$ ، فاحسب:

- (1) سرعة اندفاع الماء من الثقب. (2) قطر الثقب.

تفكير ناقد:
أيّهما أكثر تقوساً السطح العلوي أم السطح السفلي لجناح الطائرة؟

ابحث أكثر :
يزداد استهلاك السيارة للوقود عندما تسير بسرعة عالية علما انها تقطع المسافة نفسها بزمان أقل؟

أدخلت تعديلات غسان الحايك

النسبية الخاصة

special relativity

الأهداف التعليمية :

- يذكر فرضيتي أينشتاين .
- يتعرّف تمدّد الزمن كنتيجة لفرضيتي أينشتاين.
- يتعرّف تقلّص الأطوال كنتيجة لفرضيتي أينشتاين.
- يتعرّف تكافؤ الكتلة – طاقة.
- يستنتج توافق الميكانيك النسبي مع الميكانيك الكلاسيكي عند السرعات الصغيرة جداً أمام سرعة الضوء في الخلاء.
- يتعرّف بعض تطبيقات النسبية الخاصة في الحياة اليومية .

الكلمات المفتاحية:

جملة المقارنة

نسبي

سرعة الضوء في الخلاء

تباطؤ الزمن

تقلّص الأطوال

ميكانيك نسبي

طاقة سكونية



الكثير من المقادير الفيزيائية هي مقادير نسبية، أي تختلف قيمتها باختلاف جملة المقارنة، لكن هل ينطبق ذلك على الزمن مثلاً؟ فهل يختلف زمن ظاهرة ما باختلاف جملة المقارنة؟ وماذا عن الطول، والكتلة؟

فرضيتا أينشتاين

أتساءل وأجيب صورة

- يطلق شخص متحرك سهماً بجهة حركته، هل تختلف سرعة السهم بالنسبة للشخص عنها بالنسبة لمراقب آخر يقف ساكناً على الطريق؟
- لو أضاء شخص متحرك مصباحاً بجهة حركته، هل تتوقع أن تكون سرعة الضوء الصادر عن المصباح بالنسبة للشخص هي نفسها تماماً بالنسبة لمراقب ساكن؟

استنتج

- السرعة مفهوم نسبي يختلف باختلاف جملة المقارنة.
- سرعة انتشار الضوء ثابتة في الوسط نفسه مهما اختلفت سرعة المنبع الضوئي، أو سرعة المراقب.

لقد حاول العالمان مايكلسون ومورلي دراسة الفرق بين سرعة شعاع ضوئي يُطلق بجهة دوران الأرض حول الشمس، وسرعة شعاع ضوئي معامد له، في تجربتهما لإثبات وجود الأثير الذي كان يعتقد أنه وسط انتشار الضوء، لكن التجربة فشلت في إثبات ذلك لأن سرعة انتشار الضوء كانت نفسها في جميع الحالات .

إضافة صورة توضيحية لتجربة مايكلسون

إن تجربة مايكلسون- مورلي كانت من أسباب نجاح النظرية النسبية لأينشتاين، الذي نفى وجود الأثير وأكد ثبات سرعة الضوء في وسط محدّد، مهما اختلفت سرعة المنبع الضوئي أو سرعة المراقب.

النتيجة

سرعة انتشار الضوء في الخلاء هي نفسها $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ في جميع جمل المقارنة، وهذه هي الفرضية الأولى لأينشتاين.

أفكر

أُجريت تجربة حساب تسارع الجاذبية الأرضية بواسطة النواس الثقلي البسيط في مخبر المدرسة، ثم كرّرت التجربة السابقة ضمن باص يسير بحركة مستقيمة منتظمة.

- هل ستختلف نتائج التجربتين.
- هل ينطبق ذلك على جميع القوانين الفيزيائية؟

أستنتج

القوانين الفيزيائية تبقى نفسها في جميع جمل المقارنة العطالية، وهي الفرضية الثانية لأينشتاين.

تمدد الزمن

بفرض أنّ قطاراً يسير بسرعة ثابتة v ، مثبت على سقف إحدى عرباته مرآة مستوية ترتفع مسافة d عن منبع ضوئي بيد مراقب يقف ساكناً في العربة ذاتها، يرسل المراقب ومضة ضوئية باتجاه المرآة، ويسجل الزمن t_0 الذي تستغرقه الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع.

باعتبار سرعة الشعاع الضوئي c يكون:

$$c = \frac{2d}{t_0}$$

$$d = \frac{c t_0}{2} \dots\dots\dots (1)$$



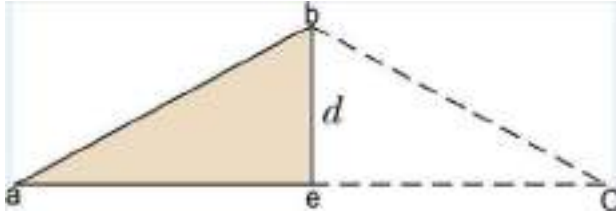
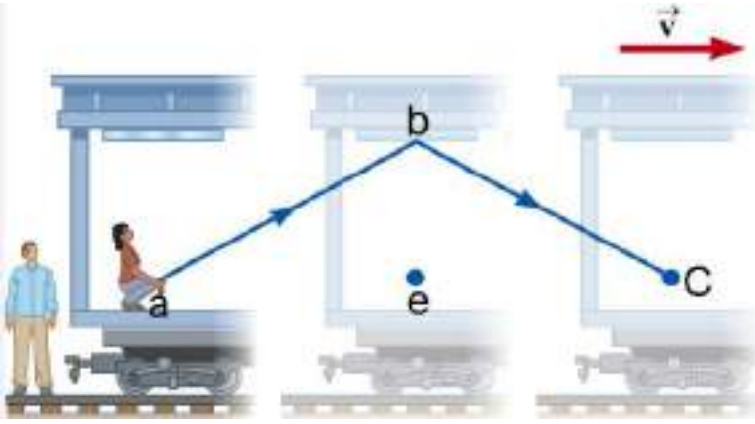
أما بالنسبة لمراقب خارجي يقف ساكناً خارج القطار على استقامة واحدة مع المنبع الضوئي لحظة إصدار الومضة الضوئية فإن الزمن الذي تستغرقه الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع هو t .

فهل $t_0 = t$ ؟

إن المسافة التي تقطعها الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع بالنسبة للمراقب الخارجي هي $(ab + bc)$.

لو طبقنا هنا الميكانيك الكلاسيكي لأضفنا سرعة القطار v إلى سرعة الضوء، إلا أنه وفق النظرية النسبية الخاصة فإن سرعة

الضوء لا تتغير بتغير المراقب. فكيف قطع الضوء مسافة أكبر بالسرعة نفسها؟



$$c = \frac{ab + bc}{t}$$

$$c = \frac{2ab}{t}$$

$$ab = \frac{c t}{2}$$

المنبع انتقل من النقطة a إلى النقطة C :

$$v = \frac{ac}{t}$$

$$v = \frac{2ae}{t}$$

$$ae = \frac{v t}{2} \dots\dots\dots (3)$$

بتطبيق نظرية فيثاغورث في المثلث القائم abe نجد:

$$t = \frac{2d}{\sqrt{c^2 - v^2}} \dots\dots\dots (4)$$

ومن العلاقة (1):

$$t_0 = \frac{2d}{c} \dots\dots\dots (5)$$

بقسمة العلاقة (4) إلى (5) نجد :

$$\frac{t}{t_0} = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

$$\frac{t}{t_0} = \frac{c}{\sqrt{c^2(1 - \frac{v^2}{c^2})}}$$

ندعو النسبة: $\gamma = \frac{t}{t_0}$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{t}{t_0} > 1$$

$$t = \gamma t_0$$

استنتج:

يتمدد (يتباطأ) الزمن عند الحركة.

تطبيق (مفارقة التوأمين):



بفرض أن أخوين توأمين أحدهما رائد فضاء طار
بسرعة قريبة من سرعة الضوء في الفضاء

$$v = \frac{\sqrt{899}}{30} c$$

وبقي رائد الفضاء في رحلته سنة واحدة

وفق مقياسيه يحملها، فما الزمن الذي انتظره أخوه التوأم
على الأرض ليعود رائد الفضاء من رحلته؟

الحل:

الزمن الذي سجلته الميقاتية التي يحملها رائد الفضاء: $t_0 = 1 \text{ year}$

الزمن الذي سجله المراقب الخارجي للرحلة (الأخ التوأم الذي بقي على الأرض): t

$$t = \gamma t_0$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(\frac{\sqrt{899}}{30}c)^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{899}{900}}} = 30$$

$$t = 30 \times 1 = 30 \text{ years}$$

أي أن الأخ التوأم انتظر ثلاثين عاماً حتى انتهت رحلة أخيه التوأم التي استغرقت بالنسبة له عاماً واحداً.

نقلنا الأطوال

تخيل أن مراقبين الأول في محطة إطلاق على الأرض، والثاني هو روبوت في مركبة فضاء انطلقت من محطة الفضاء نحو الشمس بسرعة ثابتة v بالنسبة للمراقب الأول.

تسجل العدادات في المحطة على الأرض الآتي:

المسافة بين الأرض والشمس L_0 ، الزمن الذي استغرقت مركبة الفضاء في رحلتها t :

$$L_0 = v t$$

بينما تسجل عدادات مركبة الفضاء المعطيات الآتية:

المسافة المقطوعة بين الأرض والشمس L ، وزمن الرحلة t_0 فيكون:

$$L = v t_0$$

بقسمة العلاقتين على بعضهما نجد:

$$\frac{L_0}{L} = \frac{t}{t_0}$$

لكن الزمن الذي استغرقت مركبة الفضائية يتمدد بالنسبة للمراقب الأول، أي:

$$t = \gamma t_0$$

$$\frac{L_0}{L} = \frac{\gamma t_0}{t_0}$$

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

أما بالنسبة لطول المركبة الفضائية (وفق منحى سرعتها) فيعدّ L بالنسبة للمراقب الأرضي في المحطة لأن المركبة الفضائية متحركة بالنسبة له، ويعتبر L_0 بالنسبة للمراقب في المركبة الفضائية

فيكون طول المركبة بالنسبة للمراقب الأرضي أقصر مما هو عليه بالنسبة لمراقب في المركبة .

استنتاج:

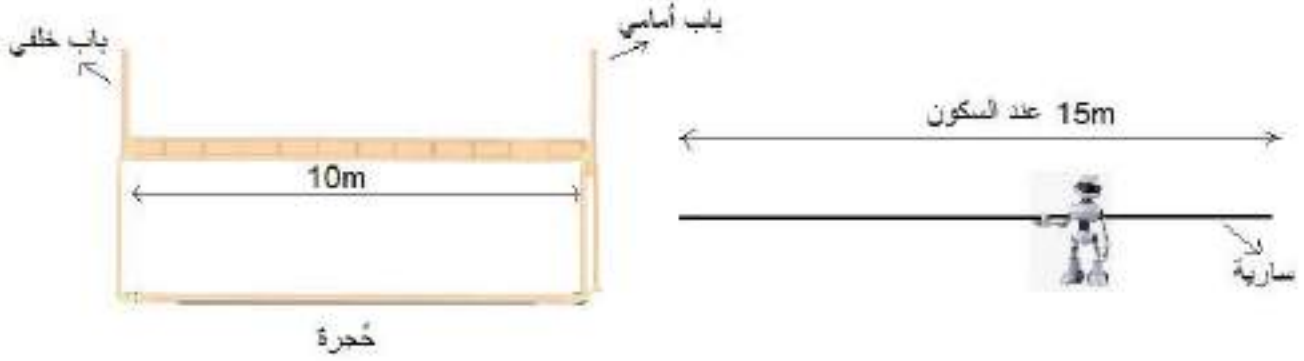
يتقلص (ينكمش) الطول عند الحركة.

تطبيق (مفارقة السارية والحجرة):

بفرض أن روبوت رياضي يحمل سارية أفقية طولها وهي ساكنة $15m$ ، يتحرك بسرعة أفقية $0.75c$ وأمامه حجرة لها بابين أمامي وخلفي البعد بينهما $10m$ ، يمكن التحكم بفتحهما، وإغلاقهما أنياً بالنسبة لمراقب ساكن، هل يمكن أن

تعتبر السارية الحجرية بأمان إذا أغلق المراقب الساكن وفتح البابين آنياً (بالنسبة له) خلال عبور الروبوت مع السارية للحجرة؟
(نعدّ $\sqrt{0.4375} \approx 0.66$)

الحل:



يعتبر المراقب الساكن طول السارية المتحركة L وطولها وهي ساكنة L_0 فيكون:

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0.75c)^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{0.4375}} = \frac{1}{0.66}$$

نعوّض فنجد:

$$L = \frac{15}{\frac{1}{0.66}}$$

$$L = 9.9m < 10m$$

لذلك يمكن أن تعبر السارية بأمان.

تكافؤ الكتلة - الطاقة

الكتلة ثابتة في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة انتشار الضوء في الخلاء، بينما وفق الميكانيك النسبي فإن الكتلة تزداد بزيادة السرعة، وتعطى بالعلاقة:

$$m = \gamma m_0$$

حيث: m الكتلة عند الحركة ، m_0 الكتلة عند السكون.

أسئال: من أين أتت هذه الزيادة في الكتلة؟

$$\Delta m = m - m_0$$

$$\Delta m = \gamma m_0 - m_0$$

$$\Delta m = m_0 \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} - 1 \right]$$

$$\Delta m = m_0 \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

ووفق دستور التقريب: $(1 + \varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon$ ، باعتبار $\varepsilon \ll 1$ من أجل السرعات الصغيرة يكون:

$$\Delta m = m - m_0 = m_0 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1\right)$$

$$\Delta m = m - m_0 = \frac{1}{2} m_0 \frac{v^2}{c^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta m = \frac{E_k}{c^2}$$

استنتج:

عندما يتحرك الجسم تزداد كتلته بمقدار يساوي طاقته الحركية مقسومة على رقم ثابت c^2 ، أي أنّ الكتلة تكافئ الطاقة.

الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي

نضرب العلاقة (1) بالثابت c^2 فنجد:

$$m c^2 - m_0 c^2 = E_k$$

$$E = E_0 + E_k$$

النتيجة

إنّ الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي هي مجموع الطاقة السكونية والطاقة الحركية.

حيث:

الطاقة السكونية:

$$E_0 = m_0 c^2$$

الطاقة الحركية:

$$E_k = E - E_0$$

الطاقة الكلية : $E = mc^2$

أي أنّ هناك تكافؤ بين الطاقة والكتلة. حيث أنّ الطاقة يمكن أن تتحول إلى كتلة، والكتلة يمكن أن تتحول إلى طاقة

تطبيق:

يتحرك الإلكترون في انبوبة تلافاز بطاقة حركية $27 \times 10^{-16} J$

(1) أحسب النسبة المئوية للزيادة في كتلة الإلكترون نتيجة طاقته الحركية

(2) أحسب طاقته السكونية

علماً أنّ : $c = 3 \times 10^8 m.s^{-1}$ ، $m_e = 9 \times 10^{-31} Kg$

الحل :

(1)

$$E_k = mc^2 - m_0c^2$$

$$E_k = (m - m_0)c^2$$

$$m - m_0 = \frac{E_k}{c^2}$$

$$m - m_0 = \frac{27 \times 10^{-16}}{(3 \times 10^8)^2} = 3 \times 10^{-32} Kg$$

$$\text{النسبة المئوية} = \frac{3 \times 10^{-32}}{9 \times 10^{-31}} \times 100 = 3.33\%$$

(2) طاقة الإلكترون السكونية :

$$E_0 = m_0c^2$$

$$E_0 = 9 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2$$

$$E_0 = 81 \times 10^{-15} J$$

متى أطبق قوانين النسبية؟



إنَّ أسرع وسيلة نقل للإنسان حالياً هي مكوك الفضاء الذي تبلغ سرعته تقريباً 27870 km.h^{-1} ، أقرن هذه السرعة مع سرعة الضوء في الخلاء، هل تعدّ قريبة منها؟ فهل من المفيد تطبيق القوانين النسبية لدراسة حركة مكوك الفضاء؟

استنتج:

مكوك فضاء مع خزان الوقود والصواريخ الدافعة

إنَّ أثر النظرية النسبية الخاصة يهمل من أجل السرعات الصغيرة بالنسبة إلى سرعة انتشار الضوء في الخلاء، وتؤول عندها العلاقات الفيزيائية إلى شكلها الكلاسيكي.

أساءل: انطلاقاً من علاقات الميكانيك النسبي هل يمكن التوصل إلى العلاقات المطبقة في الميكانيك الكلاسيكي؟

من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء في الخلاء أي $v \ll c$ فإنَّ

$$\frac{v^2}{c^2} \ll 1 \text{ وبالتالي:}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\gamma = 1 + \frac{v^2}{2c^2}$$

لنأخذ على سبيل المثال علاقة الطاقة الحركية في الميكانيك النسبي:

$$E_k = E - E_0$$

$$E_k = (\gamma - 1)m_0 c^2$$

$$E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$$

نعوّض عن γ فنجد:

وهي علاقة الطاقة الحركية في الميكانيك الكلاسيكي.

سؤال:

انطلاقاً من الميكانيك النسبي استنتج العلاقة المحددة لكمية الحركة في الميكانيك الكلاسيكي.

النسبية في حياتنا اليومية

تحتاج بعض الدراسات والتطبيقات لاستخدام النظرية النسبية الخاصة مثل:

- الساعات الذرية الدقيقة جداً المستخدمة في مراكز الأبحاث مثلاً



ساعة سيزيوم

مهما كانت سرعة وسائل النقل عند الإنسان صغيرة أمام سرعة الضوء في الخلاء إلا أن ساعات السيزيوم الذرية من الدقة بحيث تلاحظ التغير الزمني عند الحركة.

إضاءة

قارن العالمان هافل، وكييتج بين قياسات أربع ساعات ذرية في رحلة على متن طائرة نفاثة، وقياسات ساعات ذرية على الأرض مع مراعاة جميع الظروف، فتأكد تمدد الزمن، وتم التأكد تجريبياً من الحسابات النظرية للنسبية.



● نظام تحديد المواقع (Global-Position-system) GPS

يعتمد نظام تحديد المواقع على عدة أقمار صناعية ترسل وتستقبل أمواج كهرومغناطيسية، وعند تطبيق قوانين الميكانيك الكلاسيكي فإن الخطأ في تحديد الموقع قد يتجاوز 8km في اليوم الواحد لذلك يعتمد هذا النظام على القوانين النسبية لتكون القياسات دقيقة.

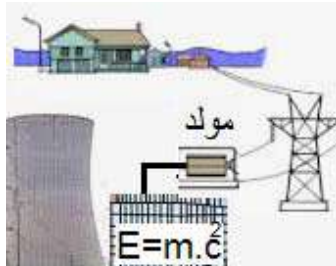
● لون الذهب

يتغير اللون حسب طول موجة الضوء الصادر عن الذرة نتيجة انتقال الإلكترون من مدار إلى مدار أقرب إلى النواة، وبما أن سرعة الإلكترون في ذرة الذهب لا تهمل أمام سرعة انتشار الضوء في الخلاء فإن البعد بين المدارات يتقلص، ويقل فرق الطاقة، ويزداد طول الموجة، وبالتالي يتغير اللون.



دراسة التفاعلات النووية

إن ما تنبأت به النظرية النسبية الخاصة من تكافؤ الكتلة والطاقة هو الذي أوصلنا إلى استخدام الطاقة النووية وتفسير نقص الطاقة في التفاعلات النووية وتفسير إشعاع الشمس والنجوم الأخرى .



● دراسة الجسيمات الصغيرة

تتحرك أغلب الجسيمات الصغيرة بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء في الخلاء، أو تسرع بالسرعات لدراسة خواصها، ولولا النسبية الخاصة ما أمكن تحديد خواصها بدقة.

مسرع جسيمات



● إن بعض أجهزة التلفاز، والحواسيب تعتمد في عملها على أنبوبة الأشعة

المهبطية، حيث تتحرك فيها الإلكترونات بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء

في الخلاء، ولا يمكننا الحصول على صورة دقيقة على شاشة تلك الأجهزة إلا بتطبيق قوانين النسبية عند دراسة حركتها من قبل المهندسين المصممين.

تعلمت :

- ينتشر الصوت في الخلاء بالسرعة نفسها $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ في جميع جمل المقارنة، وهذه هي الفرضية الأولى لأينشتاين.

- القوانين الفيزيائية تبقى نفسها في جميع جمل المقارنة العطالية، وهي الفرضية الثانية لأينشتاين.

- عندما يكون جسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن زمنه يتمدد وفق قياس جملة المقارنة تلك

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad , \quad \gamma > 1 \quad , \quad t = \gamma t_0$$

- عندما يكون جسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن طوله يتقلص وفق قياس جملة المقارنة تلك

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

- عندما يكون جسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن كتلته تزداد وفق قياس جملة المقارنة تلك

$$m = \gamma m_0$$

- إنَّ الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي هي مجموع الطاقة السكونية والطاقة الحركية.
حيث:

$$E = mc^2 \text{ : الطاقة الكلية} \quad , \quad E_k = E - E_0 \text{ : الطاقة الحركية} \quad , \quad E_0 = m_0 c^2 \text{ : الطاقة السكونية}$$

- تؤول العلاقات في الميكانيك النسبي إلى العلاقات في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة جداً أمام سرعة الضوء في الخلاء.

التدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

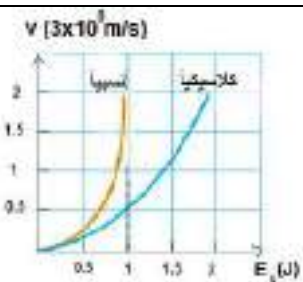
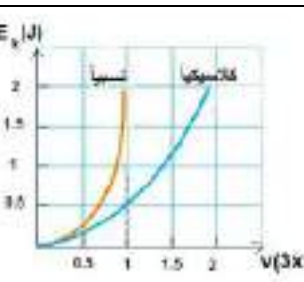
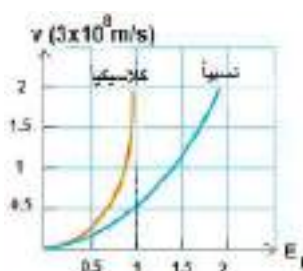
(1) أفترض أن صاروخين يتحركان في الخلاء نحو بعضهما بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء في الخلاء، وفي لحظة ما أضاء الصاروخ الأول مصابيح، إنَّ سرعة ضوء الصاروخ الأول بالنسبة للصاروخ الثاني هي:

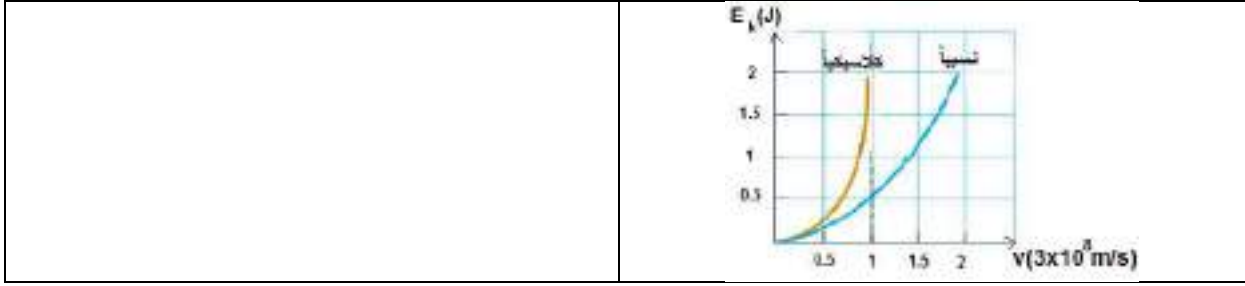
- (a) c
- (b) أكبر من c
- (c) أصغر من c
- (d) معدومة

(2) أفترض أن طاقم سفينة فضاء تطير بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء في الخلاء يشاهدون تسجيلاً لمباراة كرة قدم مدتها ساعة ونصف، ويتابعهم مراقب أرضي بتلسكوب دقيق جداً فيرى مدّة المباراة :

- (a) هي نفسها.
- (b) أكبر
- (c) أصغر
- (d) معدومة

(3) المنحني البياني الذي يمثل العلاقة بين الطاقة الحركية لجسم ما، وسرعته هو: (تعديل غسان)

<p>(b)</p> 	<p>(a)</p> 
<p>(d)</p> 	<p>(c)</p>



ثانياً: أجب عن السؤالين الآتيين

- (1) يحاول العلماء عند دراستهم لخواص الجسيمات تحريكها بسرعات كبيرة جداً باستخدام المسرعات، هل يمكن أن تصل سرعة هذه الجسيمات إلى سرعة انتشار الضوء في الخلاء تماماً؟ لماذا؟
- (2) يقف جسم ساكن عند مستوى مرجعي (سطح الأرض مثلاً)، ما قيمة طاقته الحركية عندئذ؟ وما قيمة طاقته الكامنة الثقالية بالنسبة للمستوي المرجعي؟ هل طاقته الكلية النسبية معدومة؟ ولماذا؟

ثالثاً: حل المسائل الآتية

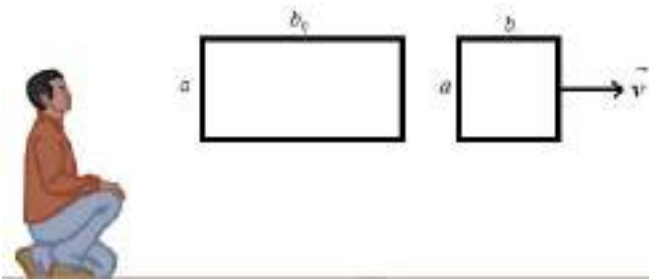
المسألة الأولى

درس العلماء جسيمات الميونات (وهي جسيمات أولية) في المختبر فوجدوا أنّها تتحلّل إلى جسيمات أخف منها خلال زمن $2.2\mu s$. المطلوب:

1. رصدت الميونات بدايةً قرب سطح الأرض، أحسب أقصى ارتفاع عن سطح يمكن أن تكون قد تولدت عنده وفق القوانين الكلاسيكية؟ إذا علمت أن سرعتها $0.995c$.
2. أرسل العلماء بعدئذ مناطيد تحمل كواشف لهذه الميونات فوجدوها على ارتفاعات أعلى بكثير من الارتفاع المحسوب كلاسيكياً، فأخذوا بعين الاعتبار تباطؤ الزمن وفق النظرية النسبية الخاصة، احسب الزمن الذي تستغرقه هذه الميونات في رحلتها وفق القوانين النسبية بالنسبة لمراقب ساكن على سطح الأرض. (باعتبار $0.1 \approx \sqrt{0.009975}$)، ثم احسب أقصى ارتفاع عن سطح الأرض (بالنسبة لمراقب ساكن على الأرض) يمكن أن تكون قد تولدت عنده هذه الميونات.
3. حدّد زمن، ومسافة الرحلة التي يسجلها مراقب فيما لو تحرك مع هذه الميونات.



المسألة الثانية



جسم مستطيل الشكل طوله وهو ساكن b_0 يساوي ضعفي عرضه a ، يتحرك هذا الجسم بحيث يكون طوله موازياً لشعاع سرعته v بالنسبة لمراقب في الجملة الساكنة، فيبدو له مربعاً، احسب قيمة سرعة الجسم v .

المسألة الثالثة

يتحرك إلكترون بسرعة $\frac{2\sqrt{2}}{3}c$ ، المطلوب:

احسب كمية حركة الإلكترون وفق قوانين الميكانيك الكلاسيكي، ثم وفق الميكانيك النسبي، أيهما الأصح برأيك؟

المسألة الرابعة

تبلغ الكتلة السكونية لبروتون $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ، وطاقته الكلية تساوي ثلاثة أضعاف طاقته السكونية. المطلوب حساب كلاً من طاقته السكونية، وطاقته الحركية في الميكانيك النسبي، وكتلته في الميكانيك النسبي.

مسألة :

تخيّل أنّ مركبة فضاء لها شكل مستطيل تقوم برحلة إلى نجم "الشعري" وفق مسار مستقيم، بحيث يكون شعاع سرعة المركبة دوماً موازٍ لطول المركبة، فتسجّل أجهزة المركبة المسافرة القياسات التالية :

طول المركبة : 100 m ، عرض المركبة : 25 m ،

المسافة المقطوعة : 4 سنة ضوئية، زمن الرحلة : $\frac{8}{\sqrt{3}}$ سنة،

وتسجل أجهزة المحطة الأرضية قياساتها لتلك الرحلة باستخدام تيلسكوب دقيق،

احسب كلاً من سرعة المركبة وطولها وعرضها أثناء الرحلة، والمسافة التي قطعتها وزمن الرحلة وفق قياسات المحطة الأرضية.

(سرعة الضوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

مسألة :

إذا علمت أنّ الكتلة السكونية للبروتون $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ، وفي أحد التجارب كانت طاقته الكلية تساوي ثلاثة أضعاف طاقته السكونية. فالمطلوب:

(1) احسب الطاقة السكونية للبروتون مقاسة بالالكترون فواط.

(2) احسب سرعة البروتون في هذه التجربة.

(3) احسب الطاقة الحركية لهذا البروتون.

(4) احسب كمية الحركة له.

(5) باعتبار كمية الحركة P و الطاقة السكونية E_0 و الطاقة الكلية E اسنتج أنّ: $E^2 = P^2 c^2 + E_0^2$ ، ثم تأكد من ذلك حسابياً بالنسبة للبروتون المدروس في هذه التجربة.

(سرعة الضوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$)

أبحث أكثر:

تُطبّق النسبية الخاصة (المقيدة) في حالة انعدام التسارع، أبحث في النسبية العامة وما قدمته من تفسير للجاذبية الكتلية.

تفكير ناقد:

في الميكانيك الكلاسيكي إذا تضاعفت كمية حركة جسيم ما فإنّ طاقته الحركية تزداد أربعة أضعاف، فهل يتحقق ذلك في الميكانيك النسبي؟ وضّح ذلك.

الكهرباء والمغناطيسية

القطار المغناطيسي (Magnetically levitating train) هو قطار يعمل بقوة الرفع المغناطيسية، أي أنه يعتمد في عمله بشكل أساسي على المغناطيس، ويتميّز هذا القطار بأنه لا يحتوي على محركات ميكانيكية ولا



يستطيع السير على القضبان الحديدية، لذلك فهو يطفو في الهواء وذلك بالاعتماد على الوسادة المغناطيسية التي تعمل على تشكيل مجالات كهرومغناطيسية قوية، وأكثر ما يميز هذا النوع من القطارات أن سرعته مرتفعة جداً، ومن المعروف بأنه عند تقريب مغناطيسين من بعضهما البعض، فإننا نلاحظ حدوث التجاذب بين الأقطاب المختلفة، حيث يعمل كل مغناطيس على توليد مجال مغناطيسي

يؤثر به على المغناطيس الآخر، وبالتالي نستطيع تعليق الأشياء، وبناء على ذلك تم تطوير وتصنيع هذا النوع من القطارات، ويتم تصميم القطار المغناطيسي وفقاً لإحدى التقنيتين، إما نظام التعليق الكهروديناميكي أو نظام التعليق الكهرومغناطيسي.

المغناطيسية

الأهداف:

- 1- يتعرّف عناصر شعاع الحقل المغناطيسي في نقطة من الحقل.
 - 2- يحدّد مفهوم الحقل المغناطيسي المنتظم.
 - 3- يتعرّف تجريبياً الحقل المغناطيسي عبر الحديد.
 - 4- يستنتج علاقة عامل الإنفاذ المغناطيسي.
 - 5- يتعرّف المغناطيسية الأرضية.
 - 6- يحدّد عناصر شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي.
 - 7- يحدّد عناصر شعاع الحقل المغناطيسي المتولّد عن التّيار الكهربائي.
 - 8- يفسّر مغناطيسية المواد.
 - 9- يتعرّف مفهوم تدفق الحقل المغناطيسي.
- كلمات مفتاحية:** مغناطيس نصوي، حقل مغناطيسي، شدة الحقل المغناطيسي، نواة حديد، عامل الأنفاذ



المغناطيسي، الحقل
المغناطيسي الأرضي، الأثر
المغناطيسي للتّيار
الكهربائي، شعاع السطح،
تدفق مغناطيسي.

إنّ لعلم المغناطيس أهمية متنامية في حياتنا اليومية حيث أنّ سماعة الهاتف تعمل على المغناطيس والمولدات الكهربائية والمحركات الكهربائية البسيطة وأشرطة التسجيل ومشغلات الأقراص الصلبة داخل أجهزة الحاسوب جميعها تعتمد على الأثر المغناطيسي للتّيار الكهربائي، كما يستعمل المغناطيس الكهربائي لرفع الكتل الحديدية الكبيرة.

فما المغناطيس؟ وما المواد المغناطيسيّة والمواد غير المغناطيسيّة؟ وما الحقل المغناطيسي؟ وما علاقته بالتّيار الكهربائي؟

مفهوم الحقل المغناطيسي

أجرب واستنتج:

أدوات التجربة

حقيبة المغناطيسية.

خطوات تنفيذ التجربة



1. أضع علبة الإبر المغناطيسية بعيداً عن تأثير أي

مغناطيس، وألاحظ كيف تستقر كل إبرة منها.

2. أرسم منحى استقرار كل منها.

3. أضع المغناطيس المستقيم فوق علبة الإبر

المغناطيسية، وألاحظ استقرار كل إبرة.

4. أرسم منحى الاستقرار الجديد للإبر المغناطيسية، ما

الشكل الذي أحصل عليه.

5. أغير موضع المغناطيس فوق علبة الإبر بحيث يأخذ اتجاهات

مختلفة، ماذا ألاحظ؟ ماذا أستنتج؟

6. أبعد المغناطيس تدريجياً عن علبة الإبر المغناطيسية، وأفسر عودة

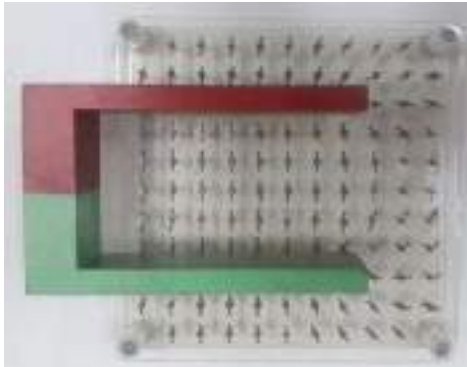
الإبر إلى منحاهما قبل وضع المغناطيس.

7. أكرّر التجربة باستخدام مغناطيس نصوي، وأقارن النتائج، ماذا

أستنتج؟

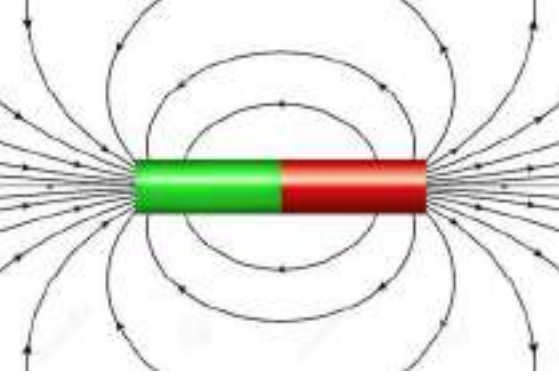
النتائج

- نقول عن منطقة أنه يسودها حقل مغناطيسي إذا وضعت فيها إبرة مغناطيسية حرة الحركة فإنّها تخضع لأفعال مغناطيسية.
- تأخذ الإبرة المغناطيسية منحى واتجاه معينين بتأثير الحقل المغناطيسي.



• تشكّل الخطوط التي ترسمها الإبر المغناطيسية ما يسمى بخطوط الحقل المغناطيسي.

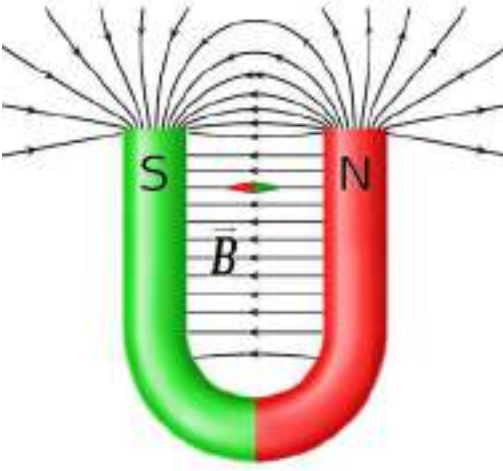
• خط الحقل المغناطيسيّ هو خط وهمي يمسّ في كل نقطة من نقاطه شعاع الحقل المغناطيسيّ في تلك النقطة.



• تتجه خطوط الحقل المغناطيسيّ خارج المغناطيس من قطبه الشمالي إلى قطبه الجنوبي وتكمّل دورتها داخل المغناطيس من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي.

• تأخذ خطوط الحقل المغناطيسي بين فرعي المغناطيس النضوي شكل خطوط مستقيمة متوازية، ولها الجهة نفسها، ثم تأخذ بالانحناء خارج قطبي المغناطيس.

• يكون الحقل المغناطيسي منتظماً إذا كانت أشعة الحقل متوازية، ولها الشدّة نفسها، والجهة ذاتها (متسايرة فيما بينها).



كيف يمكن تحديّد عناصر شعاع الحقل المغناطيسي \vec{B} في نقطة من الحقل؟

يمكن تحديد عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ لمغناطيس بواسطة إبرة

مغناطيسية موضوعة في النقطة المراد تعيين شعاع الحقل المغناطيسيّ \vec{B} فيها بعد استقرارها:

الحامل: المستقيم الواصل بين قطبي الإبرة المغناطيسيّة.

الجهة: من القطب الجنوبي للإبرة إلى قطبها الشمالي.

الشدّة: تزداد بازدياد سرعة اهتزاز الإبرة المغناطيسيّة في تلك النقطة، وتقدر في الجملة الدولية بوحدة التسلا T.

الحقل المغناطيسي عبر الحديد

تحتاج بعض الأجهزة الكهربائية كمكبر الصوت مثلاً إلى حقول مغناطيسية شديدة، كيف يتم تأمينها؟

أجرب وأستنتج

أدوات التجربة

مغناطيس نصوي - برادة حديد - نواة حديدية - لوح زجاجي.

خطوات تنفيذ التجربة

(1) أضع المغناطيس النصوي على طاولة أفقية.

(2) أضع اللوح الزجاجي فوق المغناطيس.

(3) أنثر برادة الحديد بلطف فوق اللوح الزجاجي، وأنقر على اللوح الزجاجي نقرات خفيفة، ماذا ألاحظ؟ أعلل ذلك.

(4) أكرّر التجربة بعد أن أضع بين قطبي المغناطيس نواة حديدية، ماذا ألاحظ؟

النتائج

- تتقارب برادة الحديد عند طرفي النواة الحديدية، أي تتكاثف خطوط الحقل المغناطيسي ضمن النواة الحديدية.
- تتمغنط نواة الحديد، ويتولد عنها حقلاً مغناطيسياً \vec{B}' إضافياً يضاف إلى الحقل المغناطيسي الأصلي \vec{B} فيشكل حقلاً مغناطيسياً كلياً \vec{B}_t .
- يستفاد من وضع النواة الحديدية بين قطبي المغناطيس النصوي في زيادة شدة الحقل المغناطيسي.

عامل الإنفاذ المغناطيسي

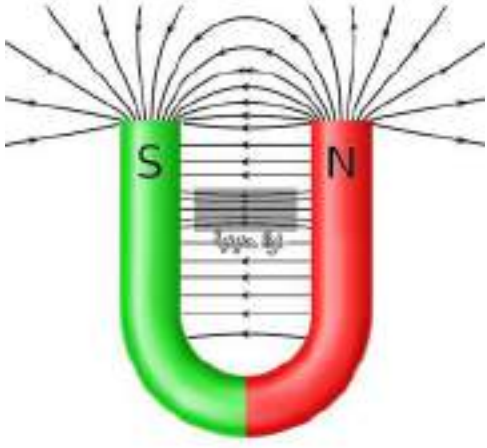
نسمي النسبة بين قيمة الحقل الكلي \vec{B}_t بوجود النواة الحديدية بين قطبي المغناطيس إلى قيمة الحقل المغناطيسي الأصلي \vec{B} بعامل الإنفاذ المغناطيسي μ ، أي:

$$\mu = \frac{B_t}{B}$$

يتعلق عامل الإنفاذ المغناطيسي بعاملين، هما:

(1) طبيعة المادة من حيث قابليتها للمغنطة.

(2) شدة الحقل المغناطيسي \vec{B} المتمغنط



μ : عامل الإنفاذ المغناطيسي لا واحدة قياس له.

B_i : شدة الحقل المغناطيسي الكلي، وتقدر شدته في الجملة الدولية بوحدة التسلا (T).

B : شدة الحقل المغناطيسي الأصلي الممغنط، وتقدر شدته في الجملة الدولية بوحدة التسلا (T).

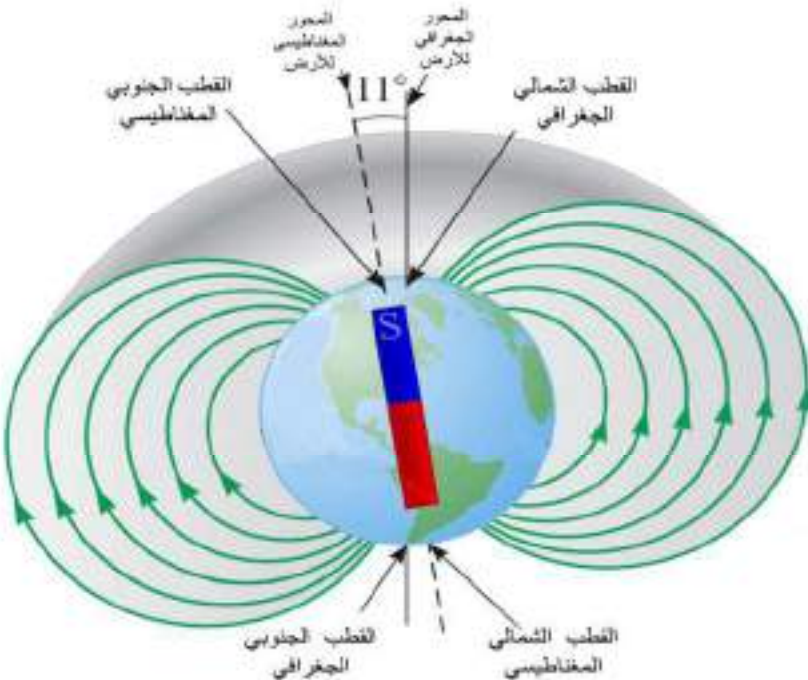
الحقل المغناطيسي الأرضي

أسئلة

كيف يحدّد الطيار موقع طائرته، ومسار حركتها للوصول إلى الجهة المنشودة، وكذلك البحار في عرض المحيط؟ وكيف نفسّر توجّه إبرة مغناطيسية في نقطة ما من سطح الأرض إلى الشمال الجغرافي؟ إن منشأ المغناطيسية الأرضية معقد وغير معروف بدقة حتى الآن. اعتقد العلماء بداية أن المواد المغناطيسية في الأرض مسؤولة عن مغناطيسية الأرض، إلا أن درجات الحرارة العالية جداً في جوف الأرض تجعل من الصعب الحفاظ على مغناطيسية دائمة للمواد الحديدية في باطن الأرض. ويعزو العلماء مغناطيسية الأرض إلى الشحنات المتحركة في سوائل جوف الأرض (أيونات موجبة، وإلكترونات سالبة) التي تولّد بحركتها تيارات كهربائية داخل الأرض ينشأ عنها حقول مغناطيسية.

عناصر شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في نقطة:

تسلك الأرض سلوك مغناطيس مستقيم كبير، منتصفه في مركزها، يميل محوره حوالي (11°) عن محور دوران الأرض المنطبق على (الشمال - الجنوب) الجغرافي، قطباه المغناطيسيان لا يتطابقان مع قطبيها الجغرافيين أي أن القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض يقع بالقرب من القطب الشمالي الجغرافي، والقطب المغناطيسي الشمالي للأرض يقع قرب القطب الجنوبي الجغرافي للأرض، والمسافة بين القطبين تقريباً 1920 km.



عند وضع إبرة مغناطيسية محور دورانها أفقي عند أحد القطبين الجغرافيين فإنها تستقر بوضع شاقولي أي تصنع زاوية قياسها تقريباً 90° مع خط الأفق، وعند نقل الإبرة إلى خط الاستواء فإنها تنطبق على الأفق، أي قياس زاوية الأبرة مع الأفق يساوي الصفر.

تسمى الزاوية بين مستوي الإبرة وخط الأفق **زاوية الميل** i .

وعند وضع إبرة مغناطيسية محور دورانها شاقولي بعيدة عن أي تأثير مغناطيسي يمكنها الدوران بحرية في مستوي أفقي فإنها تستقر موازية لخط أفقي يسمى **خط الزوال المغناطيسي**.

تسمى الزاوية المحصورة بين خط الزوال المغناطيسي والمحور الجغرافي للأرض **زاوية الانحراف المغناطيسي**.

ويتغير مقدارها بين $(0^\circ - 180^\circ)$.

أجرب وأستنتج

أدوات التجربة

إبرة مغناطيسية صغيرة محور دورانها أفقي.

• أضع الإبرة داخل الغرفة بعيدة عن أي تأثير مغناطيسي، وألاحظ منحنى استقرارها، كيف أعلّل ذلك؟

• أزيح الإبرة عن منحنى استقرارها، هل تعود إلى منحائها السابق قبل إزاحتها؟ أعلّل ذلك؟

النتائج

• يعبّر شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي، وجهته بواسطة زاويتي الميل

والانحراف.

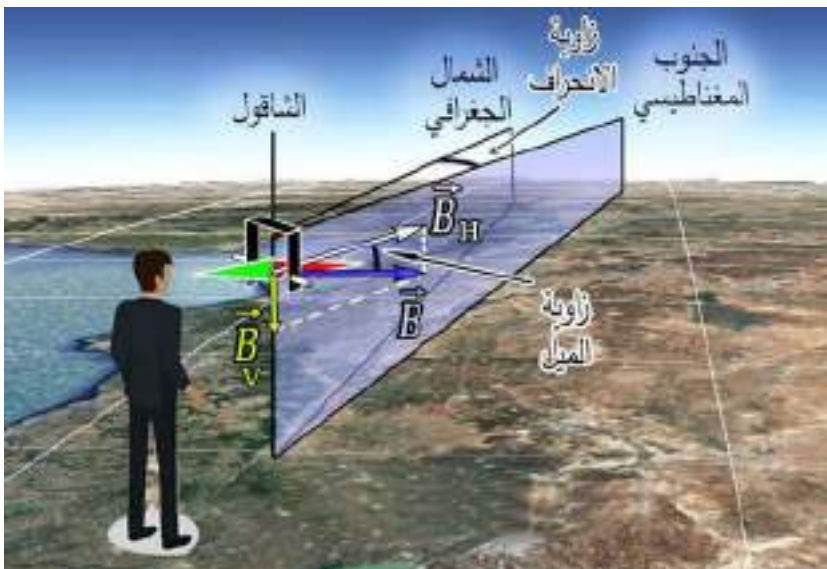
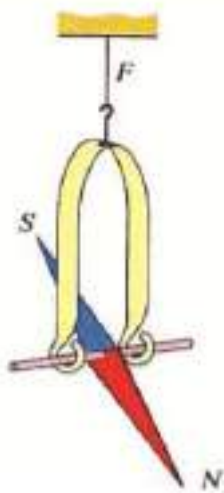
• يمكن تحليل شعاع الحقل المغناطيسي

إلى مركبتين:

مركبة أفقية \vec{B}_H شدتها: $B_H = B \cos i$

مركبة شاقولية \vec{B}_V شدتها:

$$B_V = B \sin i$$



- تتغير شدة الحقل المغناطيسي الأرضي من منطقة إلى أخرى على سطح الأرض حسب موقعها الجغرافي، ويقع شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في مستوى الزوال المغناطيسي.

ملاحظة:

تأخذ الإبرة المغناطيسية لبطانة حاملها شاقولي منحني المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي \vec{B}_H في مستوى الزوال المغناطيسي، بينما تأخذ الإبرة حرة الحركة محور دورانها أفقي الحقل المغناطيسي الكلي \vec{B} .

إثراء:

عند وضع إبرة مغناطيسية عند خط الاستواء نلاحظ أنها تستقر أفقياً عند خط الاستواء، وعند التدرج باتجاه الشمال أو الجنوب تميل بزوايا تسمى زاوية الميل حتى تبلغ الزاوية 90° عند القطبين واستناداً إلى هذه الزاوية قسمت دوائر العرض حيث هي من $0^\circ \leftarrow 90^\circ$ ومن $0^\circ \leftarrow -90^\circ$ وإشارة الزائد والناقص تشير إلى جهة الحركة العمودية للإبرة المغناطيسية (نحو الشمال موجب وإلى الجنوب سالب).

إثراء:

الطيور المهاجرة تبصر الحقل المغناطيسي للأرض.

يبدو أن الطيور المهاجرة يمكنها أن تدرك الحقل المغناطيسي للأرض الذي تستخدمه كبوصلة لإرشادها حول العالم وقال باحثون ألمان أنّ خلايا عصبية متخصصة في العين حساسة للاتجاه المغناطيسي اتضح للمرة الأولى أنها متصلة عبر ممر معين بالمخ بمنطقة في مقدمة دماغ الطيور مسؤولة عن الرؤية.

الحقول المغناطيسية للتيارات الكهربائية

نشاط

يبين الجدول الآتي النتائج التجريبية لقياس شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن مرور تيار كهربائي متواصل في سلك مستقيم في نقطة تقع على بُعد معين من السلك:

I (A)	1	2	3	4	5
B (T)	4×10^{-4}	8×10^{-4}	12×10^{-4}	16×10^{-4}	20×10^{-4}

(1) أرسم الخط البياني لتغيرات B بدلالة I .

(2) أحسب ميل الخط البياني، ماذا تستنتج؟

(3) أحسب قيمة B من أجل تيار شدته 8 A .

النتائج

- إنَّ شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار كهربائي تتناسب طردياً مع شدة التيار المار في الدارة.
- الخط البياني لتغيرات شدة الحقل المغناطيسي بدلالة شدة التيار

هو مستقيم يمر من المبدأ، ميله:

$$k = \frac{B}{I}$$

$$B = k I$$

حيث k : ثابت يمثل ميل المستقيم.

- بينت الدراسات أنَّ قيمة k تتعلق بعاملين:

الأول: الطبيعة الهندسية للدائرة: شكل الدارة، ووضع النقطة المعتبرة بالنسبة للدائرة، أي k' .

- الثاني: عامل الإنفاذ المغناطيسي μ_0 ، وقيمته في الخلاء في جملة الوحدات الدولية $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m.A}^{-1}$.
- بناءً على ما سبق يمكن أن نكتب علاقة شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار كهربائي بالشكل:

$$B = 4\pi \times 10^{-7} k' I$$

B : شدة الحقل المغناطيسي (T).

I : شدة التيار (A).

k' : ثابت يتعلق بالطبيعة الهندسية للدائرة.

الحقل المغناطيسي لتيار مستقيم طويل

نشاط

في إحدى التجارب مرَّ تياراً كهربائياً متواصلاً شدته 20 A في سلك

مستقيم وطويل، وقيست شدة الحقل المغناطيسي بواسطة مقياس تسلا في

عدة نقاط تقع على أبعاد مختلفة من محور السلك، وكانت النتائج وفق الجدول الآتي:

$B \text{ (T)}$	2×10^{-4}	1×10^{-4}	0.8×10^{-4}	0.4×10^{-4}
-----------------	--------------------	--------------------	----------------------	----------------------

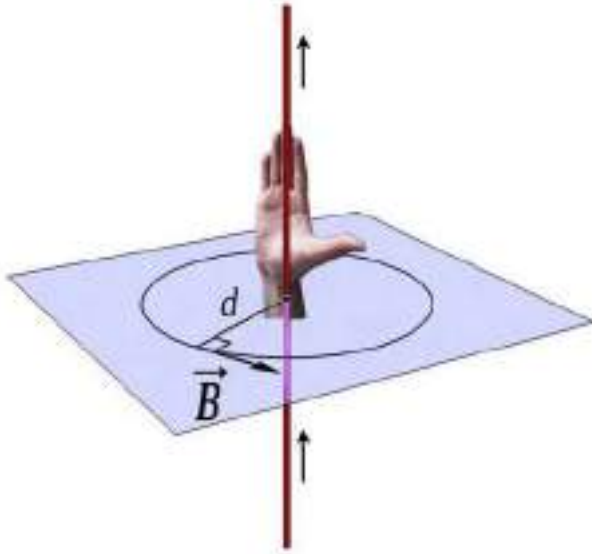
d (cm)	2	4	5	10
$k' = \frac{1}{2\pi d}$	.....	.....	.....	.....
$\frac{B}{k' I}$	.....	.....	.....	.....

1. أحسب قيمة الجداء $B d$ ، ماذا أستنتج؟

2. أكمل الفراغات في الجدول السابق، ماذا أستنتج؟

النتائج

عناصر شعاع الحقل المغناطيسي في نقطة n تبعد مسافة d عن محور السلك:



• **الحامل:** عمودي على المستوي المعين بالسلك والنقطة المعبرة.

• **الجهة:** تحدّد عملياً بواسطة إبرة مغناطيسية صغيرة

نضعها في النقطة المعبرة، وتكون جهة شعاع الحقل \vec{B}

من جهة محور الإبرة \vec{SN} بعد أن تستقر.

أمّا نظرياً فإنّها تحدّد بقاعدة اليد اليمنى:

• ساعدها يوازي السلك.

• يدخل التيار من الساعد ويخرج من نهايات الأصابع.

• نوجّه باطن الكف نحو النقطة المدروسة.

• يشير إبهام اليد اليمنى إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسي.

• **الشدة:** إنّ شدة الحقل المغناطيسي لتيار مستقيم طويل تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه I ،

وعكساً مع بُعد النقطة المعبرة عن محور السلك d ، ويعطى بالعلاقة:

$$B = 4\pi \times 10^{-7} k' I$$

$$\text{لكن: } k' = \frac{1}{2\pi d}$$

نعوض:

$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$$

I : شدة التيار الكهربائي (A).

B : شدة الحقل المغناطيسي (T) (تسلا)

d : بُعد النقطة المعتبرة عن محور السلك (m).

تطبيق (1):

نمرّر تياراً كهربائياً متواصلاً شدته 10 A في سلك طويل ومستقيم موضوع بشكل أفقي في مستوي الزوال المغناطيسي الأرضي المار بشاقول إبرة مغناطيسية صغيرة يمكنها أن تدور حول محور شاقولي موضوعة تحت السلك على بُعد 50 cm من محوره. المطلوب حساب:

- 1) شدة الحقل المغناطيسي الناتج عن إمرار التيار عند مركز الإبرة المغناطيسية.
- 2) قيمة زاوية انحراف الإبرة المغناطيسية باعتبار أنّ قيمة المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي $2 \times 10^{-5} \text{ T}$.

الحل:

$$d = 50 \times 10^{-2} \text{ m} = 0.5 \text{ m}, \quad I = 10 \text{ A}, \quad B_H = 2 \times 10^{-5} \text{ T}$$

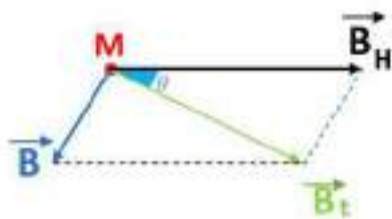
$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d} \quad (1)$$

$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{10}{5 \times 10^{-1}}$$

$$B = 4 \times 10^{-6} \text{ T}$$

2) قبل إمرار التيار تستقر الإبرة وفق منحى المركبة الأفقية

للحقل المغناطيسي الأرضي \vec{B}_H .



- بعد إمرار التيار يتولّد حقل مغناطيسي \vec{B} يؤلف مع \vec{B}_H حقلًا محصلاً \vec{B}_T ، تدور الإبرة المغناطيسية بزاوية θ ، وتستقر وفق منحاه.

$$\tan \theta = \frac{B}{B_H}$$

$$\tan \theta = \frac{4 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-5}}$$

$$\tan \theta = 0.2$$

لكن θ صغيرة

$$\tan \theta \approx \theta$$

$$\theta \approx 0.2 \text{ rad}$$

الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل في ملف دائري

نشاط



في إحدى التجارب مرّر تياراً كهربائياً متواصلًا شدته 10 A في ملف دائري نصف قطره 10 cm، وقيست شدة الحقل المغناطيسي بواسطة مقياس تسلا في مركز الملف، وكوّرت التجربة السابقة من أجل ملفات متماثلة في نصف قطرها الوسطي ومختلفة في عدد لفاتها، وكانت النتائج وفق الجدول الآتي:

$B(T)$	$2\pi \times 10^{-3}$	$4\pi \times 10^{-3}$	$6\pi \times 10^{-3}$
N (لفة)	100	200	300
$k' = \frac{N}{2r}$	.....	.....	.....
$\frac{B}{k' I}$	.....	.....	.....

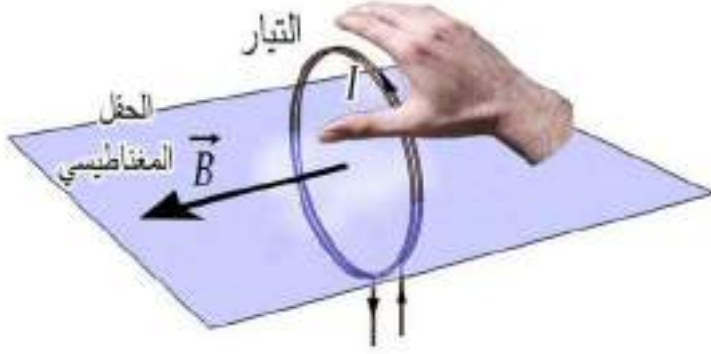
1. أحدّد علاقة شدة الحقل المغناطيسي بعدد لفات الملف.

3. أكمل الفراغات في الجدول السابق، ماذا أستنتج؟

النتائج

- عناصر شعاع الحقل المغناطيسيّ لتيار

دائري:



- الحامل: العمود على مستوي الملف.

- الجهة: عملياً من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية نضعها عند مركز الملف الدائري بعد استقرارها.

نظرياً حسب قاعدة اليد اليمنى:

نضعها فوق الملف حيث يدخل التيار من الساعد ويخرج من أطراف الأصابع، ويتجه باطن الكف نحو مركز الملف، فيشير الإبهام إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسيّ.

- الشدة: وجد تجريبياً أنّ شدة الحقل المغناطيسيّ لتيار دائري تتناسب:

- طرذاً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه I .

- طرذاً مع عدد لفات الملف N .

- عكساً مع نصف قطر الملف الوسطي r .

$$B = 4\pi \times 10^{-7} k' I$$

$$\text{لكن: } k' = \frac{N}{2r}$$

نعوض:

$$B = 2\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{r}$$

تطبيق



نمرّر تياراً كهربائياً شدته 6 A في سلك مستقيم طويل ومعزول، ثم نلف جزءاً منه على شكل حلقة دائرية بلفة واحدة نصف قطرها

3 cm، كما في الشكل. احسب شدة الحقل المغناطيسي المحصل في مركز الحلقة، ثم حدّد بقية عناصره.

الحل

$$I = 6 \text{ A} , r = 3 \times 10^{-2} \text{ m} , N = 1$$

نعتبر السلك جزئيين:

الأول حلقة والثاني مستقيم، فينشأ في مركز الحلقة الدائرية حقلان يمكن تحديد جهة كلّ منهما حسب قاعدة اليد اليمنى.

(1) الحقل المغناطيسي المتولد عن التيار المار في الحلقة الدائرية

$$B_1 = 2\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{r}$$

$$B_1 = 2\pi \times 10^{-7} \frac{1 \times 6}{3 \times 10^{-2}}$$

$$B_1 = 12.5 \times 10^{-5} \text{ T}$$

(2) الحقل المغناطيسي المتولد عن التيار المار في السلك المستقيم

$$B_2 = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$$

$$B_2 = 2 \times 10^{-7} \frac{6}{3 \times 10^{-2}}$$

$$B_2 = 4 \times 10^{-5} \text{ T}$$

الحقلان على حامل واحد، وبالجهة نفسها، فتكون شدة الحقل المحصل:

$$B = B_1 + B_2$$

$$B = 12.5 \times 10^{-5} + 4 \times 10^{-5}$$

$$B = 16.5 \times 10^{-5} \text{ T}$$

الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل يمر في ملف حلزوني (وشيجة)

عناصر شعاع الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار حلزوني

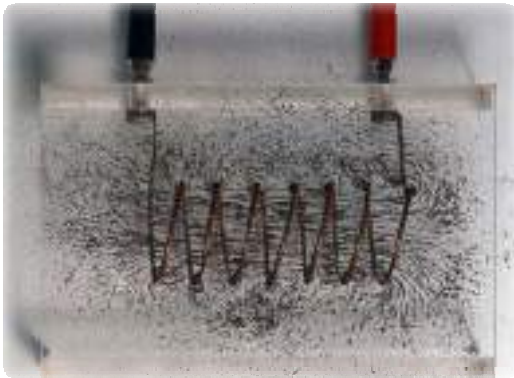
• الحامل: محور الوشيجة.

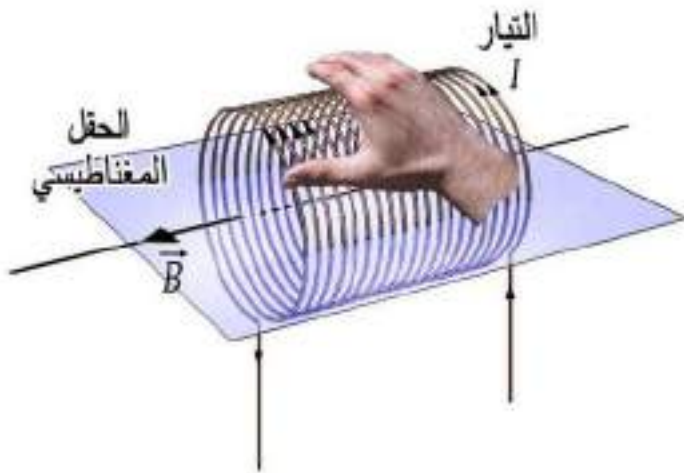
• الجهة: عملياً من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة

مغناطيسية نضعها عند مركز الوشيجة بعد استقرارها.

نظرياً تحدّد بقاعدة اليد اليمنى نضعها فوق الوشيجة بحيث

توازي أصابعها إحدى الحلقات ونتصور أنّ التيار يدخل من





الساعد ويخرج من رؤوس الأصابع فيشير الإبهام المتعامد مع الأصابع إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسي.

- الشدة: وجد تجريبياً أنّ شدة الحقل المغناطيسي لتيار حلزوني داخل الوشيعه تتناسب طردياً مع:
 - شدة التيار الكهربائي المتواصل المار فيها I
 - النسبة $n_1 = \frac{N}{l}$ أي عدد اللفات في واحدة الأطوال، وتعطى الشدة بالعلاقة:

$$B = \mu_0 k' I$$

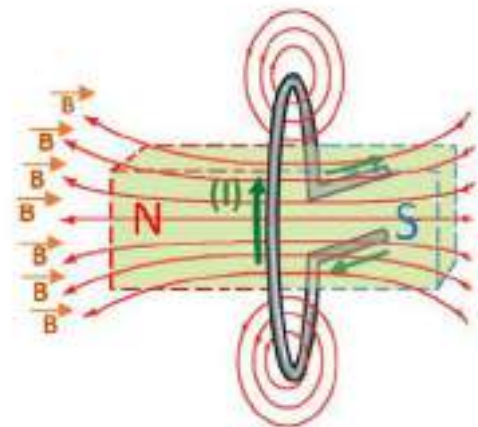
$$k' = \frac{N}{l}$$

نعوض:

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N}{l} I$$

نتيجة

إنّ الملفات والوشائع الكهربائية تكافئ مغناط حيث يطلق اسم الوجه الشمالي على وجه الملف الذي تكون فيه جهة دوران التيار بعكس جهة دوران عقارب الساعة، أمّا الوجه الآخر للملف فهو الوجه الجنوبي.



التدفق المغناطيسي

يعبر التدفق المغناطيسي Φ عن عدد خطوط الحقل المغناطيسي التي تجتاز سطح دائرة كهربائية مستوية مغلقة.

شعاع السطح \vec{s}

- نرسم الناظم \vec{n} على مستوي الدائرة، وهو العمود على مستوي سطح الدائرة الذي يدخل من وجهها الجنوبي، ويخرج من وجهها الشمالي.
- نعرف شعاع السطح \vec{s} بالعلاقة:

$$\vec{s} = s \vec{n}$$

استنتج:

1. عناصر شعاع السطح:

الحامل: الناظم

الجهة: بجهة الناظم دوماً.

الشدة: s مساحة سطح الدائرة، واحدة قياسها m^2 .

تعريف التدفق المغناطيسي

نعرف التدفق المغناطيسي Φ الذي يجتاز دائرة كهربائية مستوية في الخلاء بالعلاقة:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{s}$$

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

ومن أجل دائرة تحوي N لفة تصبح العلاقة:

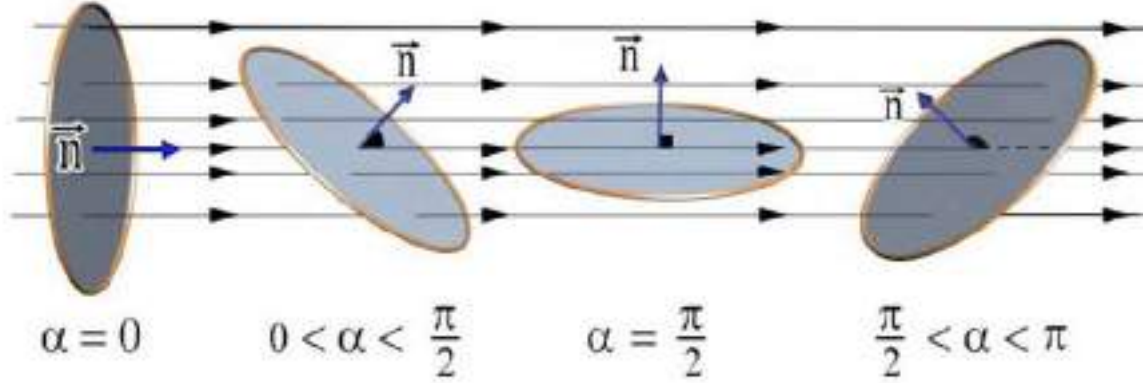
$$\Phi = NBS \cos \alpha$$

Φ : التدفق المغناطيسي، يقدر بوحدة Weber

B : شدة الحقل المغناطيسي الذي يجتاز الدائرة، يقدر بوحدة التسلا (T)



α : هي الزاوية الكائنة بين شعاع



الحقل

المغناطيسي \vec{B} والناظم على السطح \vec{n} $\alpha = (\vec{B}, \vec{n})$.

تعلييل المغناطيسية

نشاط:

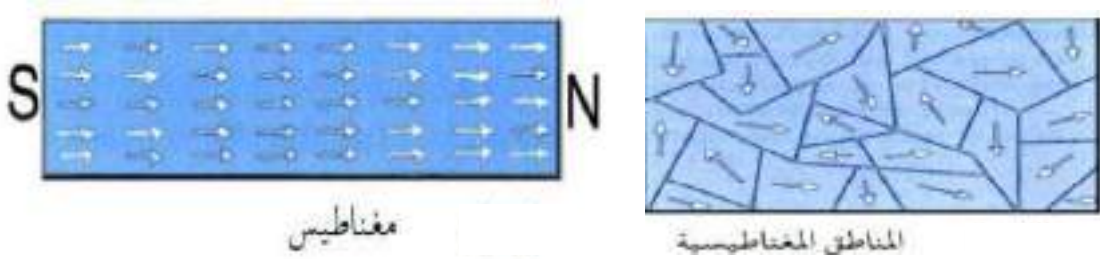
إذا علمت أن ذرة الحديد ${}_{26}Fe$. المطلوب:

1. اكتب التوزيع الإلكتروني في ذرة الحديد.
2. ارسم التمثيل الإلكتروني في المدار الثانوي $3d$ بطريقة السهم والمربعات.
3. ما عدد الإلكترونات الفردية (العازبة) فيه؟
4. هل هي ساكنة؟ وهل تدور بجهة واحدة أم بجهتين متعاكستين؟
5. هل يدور الإلكترون حول نفسه؟ وماذا يكافئ هذا الدوران؟

النتائج

- يشبه دوران الإلكترونات حول النواة مرور تيار كهربائي في حلقة مغلقة فيولّد حقلاً مغناطيسياً، حيث تتغير جهة هذا الحقل بتغير جهة دوران الإلكترون فإذا دار إلكترونان حول النواة في الذرة بسرعتين زاويتين متساويتين طويلة وباتجاهين متعاكسين وينصف قطر مدار واحد تولّد عن أحدهما خاصّة مغناطيسية تلغي الخاصّة المغناطيسية المتولّدة عن الآخر، أما إذا انفرد أحد إلكترونات الذرة بدورانه حول النواة اكسبها صفة مغناطيسية جاعلاً من الذرة مغناطيساً صغيراً ثنائي القطب.

- إنّ دوران الإلكترون حول محوره يعتبر تياراً متناهِ في الصغر يولد حقلاً مغناطيسياً كما لو كان مغناطيساً صغيراً، فإذا دار إلكترونان حول محوريهما باتجاهين متعاكسين يلغي أحدهما الخصائص المغناطيسية للآخر أما إذا انفرد الإلكترون بدورانه حول نفسه اكسب الذرة صفة مغناطيسية.
- إنّ حركة بعض الشحنات داخل النواة تولّد خاصيّة مغناطيسية صغيرة جداً مقارنةً بالخاصة المتولّدة عن الدورانين السابقين للإلكترونات.
- لقد أظهرت الدراسة للمواد الحديدية العادية أنّها تتكوّن من ثنائيات أقطاب مغناطيسية متوازية بشكل عشوائي في غياب المجال المغناطيسيّ الخارجي بحيث تكون محصلة هذه الخواص المغناطيسية معدومة، ولكن إذا وجدت قطعة الحديد في مجال مغناطيسيّ خارجي تتوجّه ثنائيات الأقطاب المغناطيسية داخل القطعة باتجاه المجال المغناطيسيّ الخارجي أي تكون أقطابها الشمالية المغناطيسية باتجاه المجال المغناطيسيّ الخارجي، وتصبح محصلتها غير معدومة وبالتالي تصبح قطعة الحديد ممغنطة.



تعلمت:

1. مفهوم الحقل المغناطيسي: نقول عن منطقة من الفراغ أنه يسودها حقل مغناطيسي إذا وضعت في نقطة منها إبرة مغناطيسية توجهت باتجاه ومنحى معينين.
2. يكون الحقل المغناطيسي منتظم إذا كانت خطوط الحقل مستقيمات متسايرة وفي الجهة نفسها.
3. خط الحقل المغناطيسي هو خط وهمي يمر في كل نقطة من نقاطه شعاع الحقل المغناطيسي في تلك النقطة.
4. إن عامل الإنفاذ المغناطيسي هو النسبة بين قيمة الحقل المغناطيسي الكلي \vec{B}' بوجود قطعة الحديد بين قطبي المغناطيس إلى قيمة الحقل المغناطيسي الأصلي \vec{B} .
5. شدة الحقل المغناطيسي لتيار مستقيم طويل تعطى بالعلاقة:
$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$$
6. شدة الحقل المغناطيسي لتيار دائري تعطى بالعلاقة:
$$B = 2 \pi \times 10^{-7} \frac{NI}{r}$$
7. شدة الحقل المغناطيسي لتيار حلزوني تعطى بالعلاقة:
$$B = 4 \pi \times 10^{-7} \frac{NI}{l}$$
8. التدفق المغناطيسي: هو الجداء السلمي لشعاع الحقل المغناطيسي في شعاع السطح.
$$\overline{\Phi} = \overline{B} \cdot \overline{S}$$

$$\overline{\Phi} = B S \cos \alpha$$
حيث α : هي الزاوية بين شعاع الحقل المغناطيسي وشعاع الناطم على السطح.

أسئلة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

- 1- نمرّر تياراً كهربائياً متواصلاً في ملف دائري فيتولد عند مركزه حقل مغناطيسي شدته B ، نضاعف عدد لفاته ونجعل نصف قطر الملف الوسطي نصف ما كان عليه فتصبح شدة الحقل المغناطيسي عند مركزه:

$$B \quad (a) \quad 2B \quad (b) \quad 4B \quad (c) \quad 0.5B \quad (d)$$

- 2- إن التدفق المغناطيسي الذي يجتاز دائرة مستوية في الخلاء يكون مساوياً لنصف قيمته العظمى عندما:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ rad} \quad -a \quad \alpha = \pi \text{ rad} \quad -b \quad \alpha = \frac{2\pi}{3} \text{ rad} \quad -c \quad \alpha = \frac{\pi}{3} \text{ rad} \quad -d$$

- 3- إن شدة شعاع الحقل المغناطيسي في مركز وشيعة يتناسب طرماً مع:

$$-a \quad \text{مقاومة سلك الوشيعة} \quad -b \quad \text{طول الوشيعة} \quad -c \quad \text{التوتر الكهربائي المطبق بين طرفي الوشيعة}$$

$$-d \quad \text{مساحة سطح مقطع الوشيعة}$$

- 4- نمرر تياراً كهربائياً متواصلاً في سلك مستقيم فيتولد حقل مغناطيسي شدته B عن نقطة تبعد d عن محور السلك، وفي نقطة ثانية تبعد $2d$ عن محور السلك وبعد أن نجعل شدة التيار ربع ما كانت عليه تصبح شدة الحقل المغناطيسي:

$$\frac{1}{8}B \quad -d \quad 8B \quad -c \quad 4B \quad -b \quad 2B \quad -a$$

- 5- نمرر تياراً كهربائياً متواصلاً في وشيعة عدد طبقاتها طبقة واحدة فيتولد عن مركزها حقل مغناطيسي شدته B ، نقسم الوشيعة إلى قسمين متساويين فتصبح شدة الحقل المغناطيسي عند مركز الوشيعة:

$$\frac{B}{4} \quad -d \quad \frac{B}{2} \quad -c \quad 2B \quad -b \quad B \quad -a$$

ثانياً: أعط تفسيراً علمياً لكل مما يلي:

- 1- تتقارب خطوط الحقل المغناطيسي عند قطبي المغناطيس.

2- لا يمكن لخطوط الحقل المغناطيسي أن تتقاطع.

2- لا تولد الأجسام المشحونة الساكنة أي حقل مغناطيسي.

ثالثاً: ضع كلمة صح أمام العبارة الصحيحة وكلمة خطأ أمام العبارة الخاطئة ثم صحّحها لكل مما يأتي:

1- لكل مغناطيس قطبان مغناطيسيان مختلفين في شدتهما.

2- خطوط الحقل المغناطيسي لا ترى بالعين المجردة.

3- تزداد شدة الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل في سلك مستقيم كلما ابتعدنا عن السلك.

4- تنقص شدة الحقل المغناطيسي في مركز وشيعة عدد طبقاتها طبقة واحدة إلى نصف شدته في حالة أنقص عدد لفاتها إلى النصف.

رابعاً: أجب عن كل مما يأتي:

أضع إبره مغناطيسية محورها شاقولي على طاولة أفقية لتستقر، كيف يجب وضع سلك مستقيم بشكل أفقي فوق البوصلة بحيث لا تتحرف الأبرة عند أمرار تيار كهربائي في السلك.

خامساً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى: نضع في مستوي الزوال المغناطيسي الأرضي سلكين طويلين متوازيين بحيث يبعد منتصفاهما

(c_1, c_2) عن بعضهما مسافة $d = 40 \text{ cm}$ ، ونضع إبرة بوصلة صغيرة في النقطة c منتصف المسافة (c_1, c_2) .

نمرر في السلك الأول تياراً كهربائياً شدته $I_1 = 3 \text{ A}$ ، وفي السلك الثاني تياراً كهربائياً شدته $I_2 = 1 \text{ A}$ ، وبجهة واحدة. والمطلوب حساب:

1- شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن التيارين في النقطة c موضحاً ذلك بالرسم.

2- الزاوية التي تتحرفها إبرة البوصلة عن منحائها الأصلي بفرض أن قيمة المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي

$$B_H = 2 \times 10^{-5} \text{ T} \text{ الأرضي.}$$

3- حدد النقطة الواقعة بين السلكين والتي تنعدم فيها شدة محصلة الحقلين.

4- هل يمكن أن تنعدم شدة محصلة الحقلين في نقطة واقعة خارج السلكين، وضح أجابتك.

المسألة الثانية:

- A - ملف دائري في مكبر صوت، عدد لفاته 400 لفة، ونصف قطره 2 cm، نطبق بين طرفيه فرقاً في الكمون $U = 10 \text{ V}$ ، فإذا علمت أن مقاومته 20Ω ، احسب شدة الحقل المغناطيسي المتولد عند مركز الملف.
- B - نقطع التيار السابق عن الملف، احسب التغير الحاصل في قيمة التدفق المغناطيسي الذي يجتاز الملف ذاته.

المسألة الثالثة: نضع سلكين شاقوليين متوازيين بحيث يبعد منتصفاهما M_1, M_2 أحدهما عن الآخر 4cm،

- نمرر في السلك الأول تياراً كهربائياً شدته I_1 ونمرر في السلك الثاني تياراً كهربائياً شدته I_2 وباتجاهين متعاكسين، فتكون شدة الحقل المغناطيسي شدة الحقل المغناطيسي المحصل لحقلي التيارين $4 \times 10^{-7} \text{ T}$ عند النقطة M منتصف المسافة بين M_1, M_2 ، وعندما يكون التياران بجهة واحدة تكون شدة الحقل المغناطيسي المحصل عند M هي $2 \times 10^{-7} \text{ T}$ فإذا كان $I_1 > I_2$ احسب كلاً من I_1, I_2 .

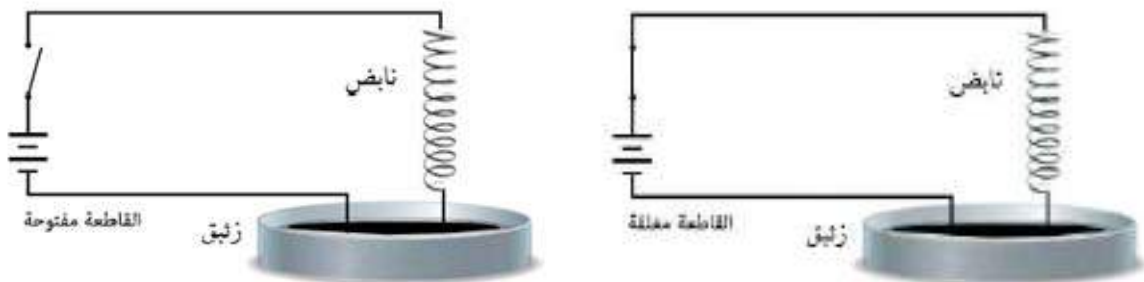
- المسألة الرابعة: نضع ملفين دائريين لهما المركز ذاته في مستوي شاقولي واحد، عدد لفات كل منهما 200 لفة، نصف قطر الأول 10 cm، والثاني نصف قطره 4 cm، نمرر في الملف الأول تياراً كهربائياً شدته 8 A بعكس جهة دوران عقارب الساعة؟، المطلوب: حدد جهة وشدة التيار الواجب أمراره في الملف الثاني لتكون شدة الحقل المغناطيسي عند المركز المشترك للملفين:

1. $5 \times 10^{-2} \text{ T}$ أمام مستوي الرسم.
2. $3 \times 10^{-2} \text{ T}$ خلف مستوي الرسم،
3. معدوم.

- المسألة الخامسة: ملف دائري نصف قطره الوسطي 5 cm يوّلد عند مركزه حقلاً مغناطيسياً، قيمته تساوي قيمة الحقل المغناطيسي الذي تولّده وشيعة عند مركزها عندما يمرّ بهما التيار نفسه فإذا علمت أن عدد لفات الوشيعة 100 لفة وطولها 20 cm، احسب عدد لفات الملف الدائري.

تفكير ناقد:

نابض معدني مرن مهمل الكتلة حلقاته متباعدة، يعلق من إحدى طرفيه ويترك ليتدلى شاقولياً، نمرّر فيه تياراً كهربائياً شدّته كبيرة نسبياً، أنتقارب حلقات النابض، أم تتباعد عن بعضها البعض؟ معللاً أجبائك.



أبحث أكثر

تم تخزين المعلومات وأوامر البرمجة من أجهزة الحاسوب رقمياً في صورة وحدات صغيرة Bits وكل وحدة حددت برقم صفر أو واحد.

أبحث في طريقة تخزين هذه الوحدات على سطح قرص التخزين Cd أو DVD

فعل الحقل المغناطيسي في التيار الكهربائي

الأهداف:

- يتعرّف القوة المؤثرة على شحنة كهربائية متحركة في منطقة يسودها حقل مغناطيسي.
- يحدّد عناصر القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية متحركة.
- يشرح بتجربة تأثير الحقل المغناطيسي في التيار الكهربائي.
- يستنتج العبارة الشعاعية للقوة الكهرومغناطيسية.
- يحدّد عناصر القوة الكهرومغناطيسية.
- يستنتج علاقة عمل القوة الكهرومغناطيسية.
- يتعرّف تطبيقات القوة الكهرومغناطيسية في حياته اليومية.
- يتعرّف جهاز منتقي السرعات.

كلمات مفتاحية:

قوة لورنز – نظرية مكسويل – مقياس غلفاني – دولاب بارلو .



يعدّ الرنين المغناطيسي من أحدث تقنيات التصوير الطبي، وتستخدم فيه حقول مغناطيسية في تصوير الأنسجة الداخلية للجسم بصورة مفصلة.

القوة المغناطيسية

أجرب وأستنتج

الأدوات اللازمة: دائرة أنبوب توليد الأشعة المهبطية – مغناطيس مستقيم.

خطوات تنفيذ التجربة

1. أصل دائرة أنبوب توليد الأشعة المهبطية.
2. أغلق الدارة لتتولد حزمة إلكترونية في أنبوب الأشعة المهبطية، وألاحظ شكل مسار الحزمة الإلكترونية.
3. أقرب القطب الشمالي لمغناطيس من الحزمة، وأراقب مسار الحزمة الإلكترونية، ماذا ألاحظ؟
4. أقرب القطب الجنوبي للمغناطيس، ماذا ألاحظ؟

النتائج

❖ يؤثر الحقل المغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة ضمن المنطقة التي يسودها الحقل بقوة مغناطيسية، حيث تتغير هذه القوة من مسار حركة هذه الجسيمات.

❖ تتغير جهة انحراف مسار الجسيمات المشحونة بتغير جهة الحقل المغناطيسي المؤثر.

العوامل المؤثرة في شدة القوة المغناطيسية

أثبتت التجارب أنّ هذه القوة تتناسب طردياً مع:

1. مقدار الشحنة المتحركة q .
 2. شدة الحقل المغناطيسي المؤثر B .
 3. سرعة الشحنة v .
 4. $\sin \theta$ حيث θ هي الزاوية بين شعاع سرعة الشحنة، وشعاع الحقل المغناطيسي \vec{v}, \vec{B} .
- بناءً على ما تقدّم يمكن أن نكتب:

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

وتكون العبارة الشعاعية للقوة المغناطيسية:

$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

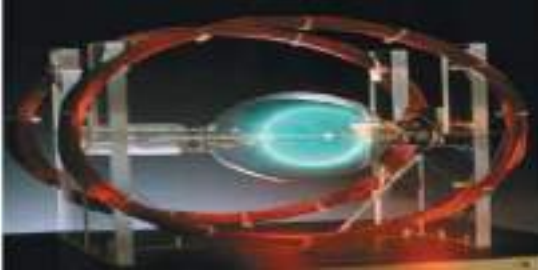
❖ عناصر شعاع القوة المغناطيسية

1. نقطة التأثير: الشحنة المتحركة.
2. الحامل: عمودي على المستوي المحدّد بشعاع السرعة وشعاع الحقل المغناطيسي.
3. الجهة: تحدّد بقاعدة اليد اليمنى وفق الآتي:
 - نجعل الساعد يوازي شعاع سرعة الشحنة المتحركة.
 - الأصابع بعكس جهة شعاع السرعة للشحنات السالبة، وبجهة شعاع السرعة للشحنات الموجبة.
 - يخرج شعاع الحقل المغناطيسي من راحة الكف.
 - يشير الإبهام إلى جهة القوة المغناطيسية.

$$F = q v B \sin \theta \quad \text{الشدة:}$$

دراسة حركة جسيم مشحون (إلكترون) في حقل مغناطيسي منتظم.

تجربة ملفي هلمهولتز



1. أركب الدارة المبينة بالشكل المجاور.
2. أولد حزمة من الإلكترونات وألاحظ مسار الحزمة.
3. أغلق دارة الملفين، ماذا ألاحظ؟
4. أغير من شدة التيار المار في الملفين، وألاحظ مسار الحزمة، ماذا ألاحظ؟

النتائج

- جهاز يولد حقل مغناطيسي منتظم بين ملفين دائريين متوازيين يمر فيهما التيار ذاته.
- يؤثر الحقل المغناطيسي المنتظم في الحزمة الإلكترونية بقوة مغناطيسية، تكون دائما عمودية على شعاع سرعتها أي أنها تكتسب تسارع ثابت يعامد شعاع السرعة وبالتالي تكون حركتها دائرية منتظمة (لأنها خضعت لتسارع جاذب مركزي) أي يحدث تغير في حامل وجهة شعاع السرعة وليس في مقداره.

استنتاج علاقة نصف قطر المسار الدائري لأحد الإلكترونات المتحركة ضمن المنطقة التي يسودها الحقل المغناطيسي المنتظم حيث: $\vec{v} \perp \vec{B}$

يخضع الإلكترون لتأثير القوة المغناطيسية فقط بإهمال قوة ثقله:

$$\Sigma \vec{F} = m_e \vec{a}$$

$$\vec{F} = m_e \vec{a}$$

$$e \vec{v} \wedge \vec{B} = m_e \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{e}{m_e} \vec{v} \wedge \vec{B}$$

وبحسب خواص الجداء الشعاعي فإن $\vec{a} \perp \vec{v}$ ، وبالتالي الحركة دائرية منتظمة

$$F = F_c$$

$$e v B = m_e a_c$$

$$e v B = m_e \frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{m_e v}{e B}$$

حيث m_e كتلة الإلكترون، v سرعة الإلكترون، e القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون.

B شدة شعاع الحقل المغناطيسي.

ويكون دور حركة الإلكترون

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

$$T = \frac{2\pi m_e}{e B}$$

القوة الكهرومغناطيسية:

تجربة:



1. أرّكب دائرة تجربة السلك الموضّحة بالشكل
2. أغلق الدارة وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول، وجهة الانحراف.
3. أعكس جهة التيار، وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول، وجهة الانحراف.
4. أعكس جهة الحقل المغناطيسي، وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول، وجهة الانحراف.
5. أزيد شدّة التيار، وألاحظ زاوية الانحراف.
6. أزيد شدّة الحقل المغناطيسي، وألاحظ زاوية الانحراف.

النتائج

- يؤثر الحقل المغناطيسي في السلك الناقل بقوة ثابتة تسمى القوة الكهرومغناطيسية.
- تتعلّق جهة القوة الكهرومغناطيسية بجهة التيار، وجهة شعاع الحقل المغناطيسي المؤثر.
- تزداد شدّة القوة الكهرومغناطيسية بزيادة كلّ من: شدّة التيار المار بالسلك، وشدّة الحقل المغناطيسي المؤثر، وطول الجزء من الناقل المستقيم الخاضع للحقل المغناطيسي، وتتعلّق بـ $\sin \theta$ حيث θ الزاوية الكائنة بين الناقل المستقيم، وشعاع الحقل المغناطيسي المؤثر.

استنتاج عبارة القوة الكهرومغناطيسية

إنّ الحقل المغناطيسي يؤثر في السلك الذي يمرّ فيه تيار كهربائي بقوة كهرومغناطيسية تساوي محصلة القوى المغناطيسية المؤثرة في الشحنات المتحركة داخل السلك (الإلكترونات).

بفرض أنّ طول السلك L ، ومساحة مقطعه s ، والكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة فيه n

يكون عدد الإلكترونات الحرة: $N = n s L$

وعند تطبيق فرق كمون بين طرفي السلك فإنّ الإلكترونات الحرة تتحرك بسرعة ثابتة \vec{v} ، وتخضع هذه الإلكترونات إلى تأثير القوة المغناطيسية، فتكون القوة الكهرومغناطيسية مساوية جداء عدد الإلكترونات في القوة المغناطيسية، أي:

$$F = n s L e v B \sin \theta$$

لكن: $N = n s L$ ، $v = \frac{L}{\Delta t}$

$$F = \frac{N e}{\Delta t} (L B \sin \theta)$$

ولدينا: $q = N e$

$$F = \frac{q}{\Delta t} (L B \sin \theta)$$

ولكن: $I = \frac{q}{\Delta t}$

وبالتالي:

$$F = I L B \sin \theta$$

حيث θ هي الزاوية المحصورة بين $\vec{I}L$ و \vec{B}

ويسمى الشعاع $\vec{I}L$ بشعاع التيار، الذي حامله السلك، وجهته بجهة التيار.

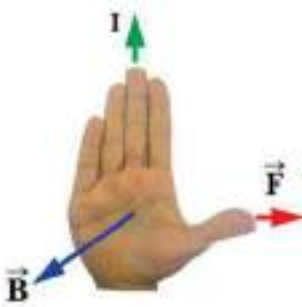
وهي العلاقة المعبرة عن شدة القوة الكهرومغناطيسية.

وتكتب العبارة الشعاعية للقوة الكهرومغناطيسية بالشكل

$$\vec{F} = I \vec{L} \wedge \vec{B}$$

عناصر شعاع القوة الكهرومغناطيسية

- نقطة التأثير: منتصف الجزء من الناقل المستقيم الخاضع للحقل المغناطيسي المنتظم.
- الحامل: عمودي على المستوي المحدد بالناقل المستقيم وشعاع الحقل المغناطيسي
- الجهة: تحقق الأشعة \vec{F} , \vec{B} , $\vec{I}L$ ثلاثية مباشرة وفق قاعدة اليد اليمنى: نجعل اليد اليمنى منبسطة على الناقل بحيث يدخل التيار من الساعد



ويخرج من رؤوس الأصابع، ويخرج شعاع الحقل المغناطيسي \vec{B}

من راحة الكف، فيشير الإبهام إلى جهة القوة الكهرومغناطيسية \vec{F} .

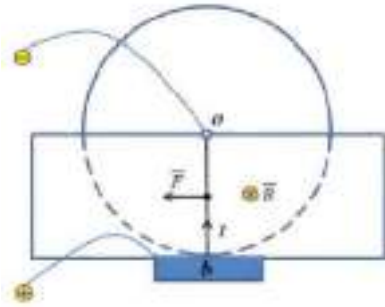
- الشدة: تعطى بالعلاقة: $F = I L B \sin \theta$

تجربة دولا ب بارلو:



- 1- أركب دارة دولا ب بارلو المبينة بالشكل المجاور، حيث يخضع نصف الدولا ب السفلي لحقل مغناطيسي منتظم.
- 2- أغلق الدارة، وألاحظ جهة دوران الدولا ب.
- 3- أعكس جهة التيار، وألاحظ جهة دوران الدولا ب.
- 4- أعكس جهة الحقل المغناطيسي، وألاحظ جهة الدوران.
- 5- أزيد شدة التيار، وألاحظ سرعة دوران الدولا ب.
- 6- أزيد شدة الحقل المغناطيسي، وألاحظ سرعة دوران الدولا ب.
- 7- أحدد عناصر القوة التي سببت دوران الدولا ب.

أستنتج:



- عند إغلاق دارة الدولا ب فإنه يدور بتأثير عزم القوة الكهربية.
- عندما تتعكس جهة التيار أو جهة الحقل المغناطيسي فإن جهة الدوران تتعكس أيضاً.
- عناصر القوة الكهربية التي يخضع لها الدولا ب $\vec{F} = I \vec{r} \wedge \vec{B}$: نقطة التأثير: منتصف نصف القطر الشاقولي السفلي الخاضع للحقل المغناطيسي المنتظم.
- الحامل: عمودي على المستوي المحدد بنصف القطر الشاقولي السفلي وشعاع الحقل المغناطيسي المنتظم.
- الجهة: تحقق الأشعة $\vec{F}, \vec{B}, I \vec{r}$ ثلاثية مباشرة وفق قاعدة اليد اليمنى:
- نجعل اليد اليمنى منبسطة على نصف القطر الشاقولي السفلي.
- يدخل التيار من الساعد، ويخرج من رؤوس الأصابع.
- يخرج شعاع الحقل المغناطيسي \vec{B} من راحة الكف.
- يشير الإبهام إلى جهة القوة الكهربية \vec{F} .
- الشدة: تعطى بالعلاقة: $F = I r B$

حيث:

$$\theta = (I \vec{r}, \vec{B}) = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

$$\sin \theta = 1$$

عمل القوة الكهربية (نظرية مكسويل)

تجربة السكتين الكهربية



- 1- أركب الدارة المبينة بالشكل.
- 2- أغلق الدارة، وألاحظ ماذا يحدث للساق.
- 3- أفسر سبب تخرج الساق.

4- أحمّد نوع العمل الذي تنجزه القوة الكهروضيية.

استنتج:

تنتقل الساق الأفقية موازية لنفسها مسافة Δx فتمسح سطحاً $\Delta s = L \Delta x$ حيث تنتقل نقطة تأثير القوة الكهروضيية على حاملها وبجهتها مسافة Δx فتتنجز عملاً محركاً (موجباً) $W > 0$.

$$W = F \Delta x$$

$$W = IBL \Delta x$$

$$W = IB \Delta s$$

لكن $\Delta \Phi = B \Delta s > 0$ يمثل تزايد التدفق المغناطيسي نعوض فنجد

$$W = I \Delta \Phi > 0$$

نصّ نظرية مكسويل:

عندما تنتقل دائرة كهربائية أو جزء من دائرة كهربائية في منطقة يسودها حقل مغناطيسي، فإنّ عمل القوة الكهروضيية المسببة لذلك الانتقال يساوي جداء شدة التيار المارّ في الدائرة في تزايد التدفق المغناطيسي الذي يجتازها.

تأثير الحقل المغناطيسي على إطار مستطيل يمر فيه تيار كهربائي.

أدوات التجربة: دائرة الإطار المستطيل



- 1- أركّب الدائرة المبيّنة بالشكل المجاور حيث خطوط الحقل المغناطيسي توازي مستوي الإطار.
- 2- أمرّر تيار متواصل شدته مناسبة في الإطار، ماذا ألاحظ؟
- 3- أستبدل بسلك التعليق سلك قابل للفنل ثابت فنله k ، ماذا ألاحظ؟

النتيجة

عند إمرار التيار الكهربائي في الإطار المعلق بسلك عديم الفنل يدور ويستقر عندما تصبح خطوط الحقل المغناطيسي عمودية على مستوي الإطار (تدقّ أعظمي).

أفسّر سبب دوران الإطار:

يؤثر الحقل المغناطيسي المنتظم في الإطار بمزدوجة كهروضيية تنشأ عن القوتين الكهروضييتين المؤثرتين في الضلعين الشاقوليتين وتعمل على تدوير الإطار حول محور دورانه من وضعه الأصلي حيث التدفق المغناطيسي معدوم إلى وضع توازنه المستقر حيث يكون التدفق المغناطيسي الذي يجتازه أعظمي.

وبهذا نصل لما يسمى **قاعدة التدفق الأعظمي** والتي تنصّ على أنّ: إذا أثر حقل مغناطيسي في دائرة كهربائية مغلقة حرة الحركة انتقلت بحيث يزداد التدفق المغناطيسي الذي يجتازها من وجهها الجنوبي وتستقر في وضع يكون التدفق المغناطيسي أعظمي.

استنتاج عزم المزدوجة الكهربية المؤثرة في إطار طول ضلعه الأفقي d ، والشاقولي L

$$\Gamma_{\Delta} = d' F$$

d' ذراع المزدوجة الكهربية

$$d' = d \sin \alpha$$

α الزاوية الكائنة بين شعاع الحقل المغناطيسي \vec{B} والناظم \vec{n} على سطح الإطار.

شدة القوة الكهربية من أجل N لفة معزولة ومتماثلة

$$F = N I L B \sin \frac{\pi}{2}$$

نعوض فنجد

$$\Gamma_{\Delta} = N I L B d \sin \alpha$$

لكن $s = L d$ مساحة سطح الإطار.

$$\Gamma_{\Delta} = N I S B \sin \alpha$$

وهي عبارة عزم المزدوجة الكهربية

ملاحظة: يسمى الجداء $N I s$ بالعزم المغناطيسي M .

$$\vec{M} = N I \vec{s}$$

وبذلك يمكننا أن نكتب علاقة عزم المزدوجة الكهربية شعاعياً بالشكل

$$\vec{\Gamma}_{\Delta} = \vec{M} \wedge \vec{B}$$

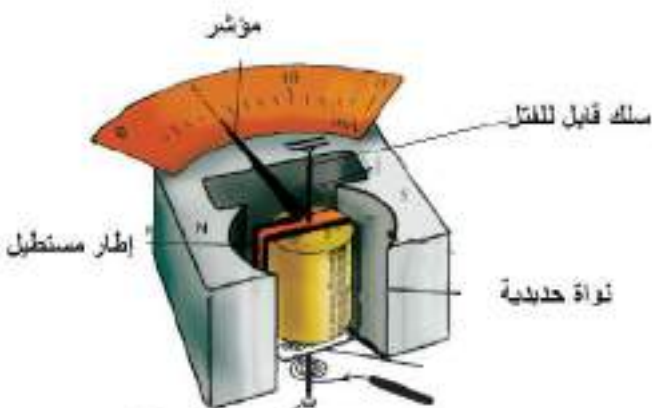
\vec{M} شعاع العزم المغناطيسي ناظمي على مستوي الإطار، وجهته بجهة إبهام يد اليمنى تلف أصابعها بجهة التيار (أي يخرج من الوجه الشمالي للدائرة).

المقياس الغلفاني ذو الإطار المتحرك

هو جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربائية صغيرة الشدة، وقياسها.

- مم يتكون المقياس الغلفاني؟

يتألف من ملف على شكل إطار مستطيل يتألف من N لفة معزولة، يتصل أحد طرفيه بسلك قابل للفتل، أما الطرف الآخر من سلك الملف فيتصل بسلك آخر شاقولي لئلا عديم الفتل، ويمكن للإطار أن يدور حول محوره الشاقولي المار بمركزه بين قطبي مغناطيس نصوي محيطاً بنواة أسطوانية من الحديد اللين، بحيث يكون مستوي الإطار يوازي



الخطوط الأفقية للحقل المغناطيسي للمغناطيس قبل إمرار التيار.

مبدأ عمله

عندما يمرّ تيار كهربائي في الإطار فإنّه يدور بزاوية صغيرة θ' فيشير مؤشر المقياس إلى قراءة معينة عندما يتوازن الإطار دالاً على قيمة شدة التيار المار.

استنتاج العلاقة بين زاوية دوران الإطار θ' والتيار المار فيه I

عند إمرار التيار الكهربائي المراد قياس شدته I في إطار المقياس فإنّ الحقل المغناطيسي المنتظم يؤثر في الإطار بمزدوجة كهربائية تسبب دوران الإطار حول محور دورانه، فينشأ في سلك الفتل مزدوجة فتل تمنع استمرار الدوران، ويتوازن الإطار بعد أن يدور بزاوية صغيرة θ' عندما يتحقق شرط التوازن الدوراني :

$$\sum \bar{\Gamma}_{\Delta} = 0$$

$$\bar{\Gamma}_{\Delta} + \bar{\Gamma}_{\eta/\Delta} = 0$$

$$N I S B \sin \alpha - k \theta' = 0$$

$$\alpha + \theta' = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

$$\sin \alpha = \cos \theta'$$

$$N I S B \cos \theta' - k \theta' = 0$$

وباعتبار θ' زاوية صغيرة فإنّ: $\cos \theta' \approx 1$ ، وبالتالي تصبح العلاقة كما يلي:

$$N I S B - k \theta' = 0$$

$$\theta' = \frac{N s B}{k} I$$

$$\theta' = G I$$

حيث G ثابت المقياس الغلفاني، يعبر عن حساسية المقياس الغلفاني حيث تزداد حساسية المقياس الغلفاني كلما زادت G ويتم ذلك عملياً باستبدال سلك الفتل بسلك أرفع منه من المادة نفسها (لتصغير ثابت الفتل k).

جهاز المقياس متعدد الأغراض (آفو متر)

يستخدم هذا الجهاز لاستخدامات عدّة مثل قياس:

- 1- التوتر المستمر DC
- 2- التوتر المتناوب AC
- 3- شدة التيار المستمر والمتناوب.
- 4- المقاومات.

ويعدّ من أكثر الأجهزة استخداماً في ورشات الصيانة للأجهزة الكهربائية، وله نوعان:

- 1- المقاييس التمثيلية: وهي تبين القيمة المراد قياسها عن طريق إبرة مؤشر (شكل 1)، حيث يجب وصل أطراف المقياس بشكل صحيح فالطرف الأحمر (+) والطرف الأسود (-).
- 2- المقاييس الرقمية: وهي تبين القيمة المراد قياسها عن طريق شاشة تظهر القيمة على شكل أرقام محدّدة (شكل 2). لذلك هي أدق من المقاييس التمثيلية، حيث لا يشكّل وضع طرفي المقياس بشكل صحيح أهمية حيث يظهر الرقم بإشارة سالبة إذا تمّ عكس طرفي المقياس.

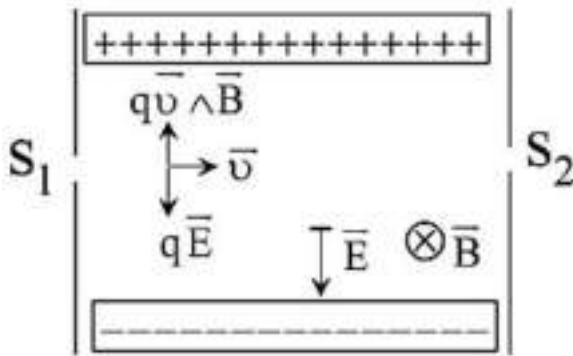


منتقي السرعات (مرشّح السرعة):

هو جهاز يستخدم للتحكم في اختيار حزمة من الجسيمات المشحونة ذات سرع متماثلة، وذلك اعتماداً على التأثير الفيزيائي للحقل الكهربائي والمغناطيسي على الجسيمات المشحونة حيث يخضع كلّ جسيم لتأثير محصلة قوتين هما القوة الكهربائية الناتجة عن تأثيره بالحقل الكهربائي، والقوة المغناطيسية الناتجة عن تأثيره بالحقل المغناطيسي، والتي تسمى قوة لورنز.

آلية عمله:

تنطلق الجسيمات المشحونة من المصدر بسرعات مختلفة لتمر من شق S_1 في منطقة حقل كهربائي متعامد مع حقل مغناطيسي، كما في الشكل المجاور.



تتأثر الجسيمات المشحونة بالحقلين الكهربائي والمغناطيسي بحيث تكون القوة الكهربائية للأسفل واتجاه القوة المغناطيسية للأعلى وهذا يؤدي إلى أنّ الجسيمات سوف تنحرف عن المسار المستقيم لكن بعض الجسيمات التي لها سرعة معينة ستكون شدة القوة الكهربائية F تساوي شدة القوة المغناطيسية F' فتبقى هذه الجسيمات على مسار مستقيم يسمح لها ذلك الخروج من الشق S_2 .

وعندها يكون: $F = F'$

$$qE = qvB$$

$$v = \frac{E}{B}$$

تعلمت:

- ❖ إن الجسيمات المشحونة المتحركة في حقل مغناطيسي تخضع لقوة مغناطيسية (قوة لورنز)، تغير من مسار حركة هذه الجسيمات أي تحدث تغيراً في حامل شعاع سرعتها.
- ❖ عناصر شعاع القوة المغناطيسية (قوة لورنز):

- 1- نقطة التأثير: الشحنة المتحركة.
- 2- الحامل: عمودي على المستوي المحدد بشعاع السرعة وشعاع الحقل المغناطيسي.
- 3- الجهة: بالنسبة للشحنات الموجبة نستخدم قاعدة اليد اليمنى المفتوحة حيث نجعل الإبهام بجهة شعاع السرعة وأصابع اليد بجهة شعاع الحقل فيخرج شعاع القوة من راحة اليد وبالنسبة للشحنات السالبة نستخدم قاعدة اليد اليسرى المفتوحة.

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

- ❖ عندما تخضع الحزمة الإلكترونية لحقل المغناطيسي المنتظم متولد بين ملفين دائريين متوازيين وماراً بهما نفس التيار، فإنها تتأثر بقوة مغناطيسية (قوة لورنز) تكون دائماً عمودية على شعاع سرعتها أي أنها تكتسب تسارع ثابت يعامد شعاع السرعة وبالتالي تكون حركتها دائرية منتظمة (لأنها خضعت لتسارع جاذب مركزي) أي يحدث تغير في جهة السرعة و ليس في مقدارها.
- ❖ عناصر شعاع القوة الكهرومغناطيسية (قوة لابلاس):

- 1- نقطة التأثير: منتصف الجزء من الناقل المستقيم الخاضع للحقل المغناطيسي المنتظم.

- 2- الحامل: عمودي على المستوي المحدد بالناقل المستقيم وشعاع الحقل المغناطيسي.

- 3- الجهة: وفق قاعدة اليد اليمنى المفتوحة :

نجعل أصابع اليد اليمنى المفتوحة بجهة \vec{B} و الإبهام بجهة \vec{I} فنخرج القوة الكهرومغناطيسية \vec{F} من راحة اليد.

$$F = I L B \sin \theta$$

❖ نصّ نظرية مكسويل:

- عندما تنتقل دارة كهربائية – أو جزء من دارة كهربائية – في منطقة يسودها حقل مغناطيسي، فإن عمل القوة الكهرومغناطيسية المسببة لذلك الانتقال يساوي جداء شدة التيار المار في الدارة في تزايد التدفق
- ❖ عزم المزدوجة الكهرومغناطيسية المؤثر في ملف يعطى بالعلاقة: $\Gamma = I S B \sin \alpha$ و إذا احتوى الملف

$$\Gamma = N I S B \sin \alpha$$

- ❖ المقياس الغلفاني ذو الإطار المتحرك: هو جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربائية صغيرة جداً وقياس شداتها وتحديد اتجاهها.

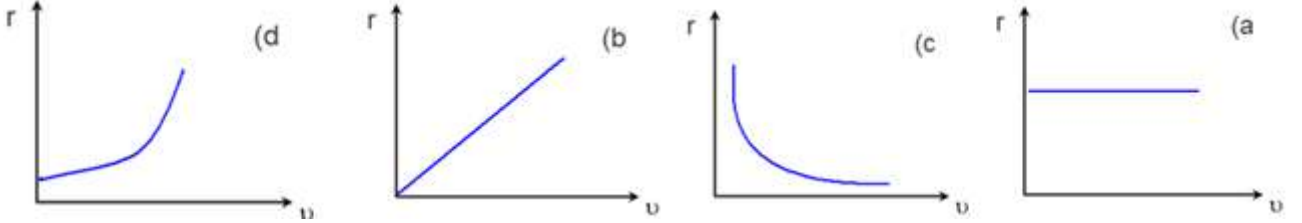
❖ منتقي السرعات (مرشح السرعة):

هو جهاز يستخدم للتحكم في اختيار حزمة من الجسيمات المشحونة ذات سرع متماثلة.

أختبر نفسي:

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة في كلّ ممّا يأتي:

- 1- جسيمات مشحونة لها الكتلة نفسها والشحنة نفسها، أُدخلت في حقل مغناطيسي منتظم بسرعة تعامد خطوط الحقل. فإن الشكل الذي يمثّل العلاقة بين نصف قطر المسار الدائري r وسرعة الجسيمات المشحونة v



2- إن واحدة قياس النسبة $\frac{E}{B}$ هي:

- (a) $m.s^{-1}$ (b) $m.s^{-2}$ (c) m (d) s

- 3- عندما يدخل الإلكترون في حقل مغناطيسي منتظم بسرعة \vec{v} تعامد خطوط الحقل المغناطيسي (بإهمال ثقل الإلكترون) فإن حركة الإلكترون داخل الحقل هي:

- (a) دائرية متغيرة بانتظام (b) دائرية منتظمة (c) مستقيمة منتظمة (d) مستقيمة متغيرة بانتظام

- 4- عندما يدخل جسم مشحون في حقل مغناطيسي منتظم فإن شعاع سرعته \vec{v} :

- (a) يتغير حامله وشدّته (b) يتغير حامله فقط (c) تتغير شدّته فقط (d) تبقى شدّته ثابتة

- 5- الجسيمات التي يتم الحصول عليها من جهاز منتقي السرعات:

- (a) غير مشحونة لها السرعة نفسها. (b) مشحونة لها السرعة نفسها.

- (c) غير مشحونة لها سرعات مختلفة. (d) مشحونة لها سرعات مختلفة.

- 6- عندما تتدحرج الساق في تجربة السكتين الكهربائية تحت تأثير القوة الكهربائية فإن التدفق المغناطيسي:

- (a) يبقى ثابتاً (b) يزداد (c) يتناقص (d) ينعدم

ثانياً أجب عن الأسئلة الآتية:

- 1- ادرس التأثير المتبادل بين سلكين نحاسيين شاقوليين طويلين يمرّ بهما تياران متواصلاّن لهما الجهة

نفسها، واستنتج عبارة القوة الكهربائية المؤثرة في أحد السلكين نتيجة وجود السلك الآخر.

- 3- استنتج عبارة شدة الحقل المغناطيسي المؤثر في شحنة كهربائية تتحرك في حقل مغناطيسي منتظم

بسرعة \vec{v} تعامد شعاع الحقل المغناطيسي ثم عرف التسلا.

- 4- بيّن كيف يتم قياس شدة التيار في المقياس الغلفاني ثم استنتج العلاقة بين شدة التيار I وزاوية دوران

الإطار θ' ، وكيف تتم زيادة حساسية المقياس الغلفاني عملياً من أجل التيار نفسه.

حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

في تجربة السكتين الكهربائية تستند ساق نحاسية كتلتها $16g$ إلى سكتين أفقيتين حيث يؤثر على $4cm$ من الجزء المتوسط منها حقل مغناطيسي منتظم شاقولي شدّته $10^{-1} T$ ويمر بها تيار شدّته $40 A$ ، المطلوب:

- 1- حدّد بالكتابة والرسم عناصر شعاع القوة الكهربائية، ثم احسب شدّتها.

- 2- احسب قيمة العمل الذي تنجزه القوة الكهربائية عندما تنتقل الساق مسافة $15 cm$.

3- احسب قيمة الزاوية التي يجب إمالة السكتين بها عن الأفق حتى تتوازن الساق والدارة مغلقة (بإهمال قوى الاحتكاك)

المسألة الثانية:

نعلّق سلك نحاسي ثخين طوله 60cm وكتلته 50g من طرفه العلوي شاقولياً، ونغمس طرفه السفلي في حوض يحتوي الزئبق. نمرّر تيار كهربائي متواصل شدّته 10A حيث يؤثر حقل مغناطيسي منتظم أفقي شدّته $B = 3 \times 10^{-2} \text{ T}$ على قطعة منه طولها 4cm يبعد منتصفها عن نقطة التعليق 50cm . استنتج العلاقة المحددة لزاوية انحراف السلك عن الشاقول بدلالة أحد نسبها المثلثية ثم احسبها.

المسألة الثالثة:

إطار مستطيل الشكل يحتوي 100 لفة من سلك نحاسي معزول مساحته $4\pi \text{ cm}^2$

A- يعلّق الإطار بسلك عديم الفتل شاقولي ويخضعه لحقل مغناطيسي منتظم أفقي شدّته $B = 4 \times 10^{-2} \text{ T}$ خطوطه توازي مستوي الإطار الشاقولي، نمرر في الإطار تيار شدّته $\frac{1}{10\pi} \text{ A}$ المطلوب حساب:

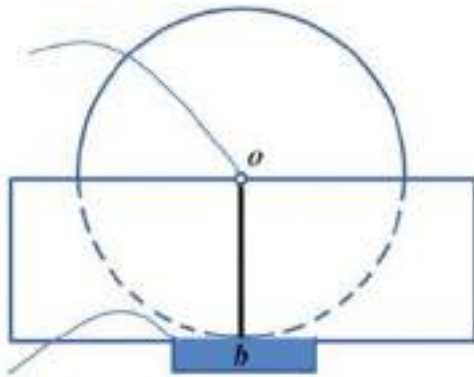
- 1- عزم المزدوجة الكهربائية التي يخضع لها الإطار لحظة إمرار التيار.
- 2- عمل المزدوجة الكهربائية عندما يدور الإطار من وضعه السابق إلى وضع التوازن المستقر.
- B- نقطع التيار ونستبدل سلك التعليق بسلك فتل شاقولي ثابت فتله K بحيث يكون مستوي الإطار يوازي خطوط الحقل المغناطيسي السابق ونمرر تيار شدّته 2mA فيدور الإطار زاوية 30° ثم يتوازن المطلوب:

- 1- احسب التدفق المغناطيسي في الإطار عندما يتوازن .
 - 2- استنتج العلاقة المحددة لثابت فتل سلك التعليق انطلاقاً من شرط التوازن الدوراني، ثم احسب قيمته.
- (يهمل تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)

المسألة الخامسة:

دولاب بارلو قطره 20 cm يمرّر فيه كهربائي متواصل I ويخضع نصف القرص السفلي لحقل مغناطيسي أفقي منتظم شدّته $B = 10^{-2} \text{ T}$ فيتأثر الدولاب بقوة كهربائية شدّتها $F = 4 \times 10^{-1} \text{ N}$. المطلوب:

- 1- بيّن بالرسم جهة كلاً من $(\vec{F}, \vec{B}, I\vec{L})$.
- 2- احسب شدّة التيار المار في الدولاب.
- 3- احسب عزم القوة الكهربائية المؤثرة في الدولاب.
- 4- احسب قيمة الكتلة الواجب تعليقها على طرف نصف القطر الأفقي للدولاب لمنع الدوران.

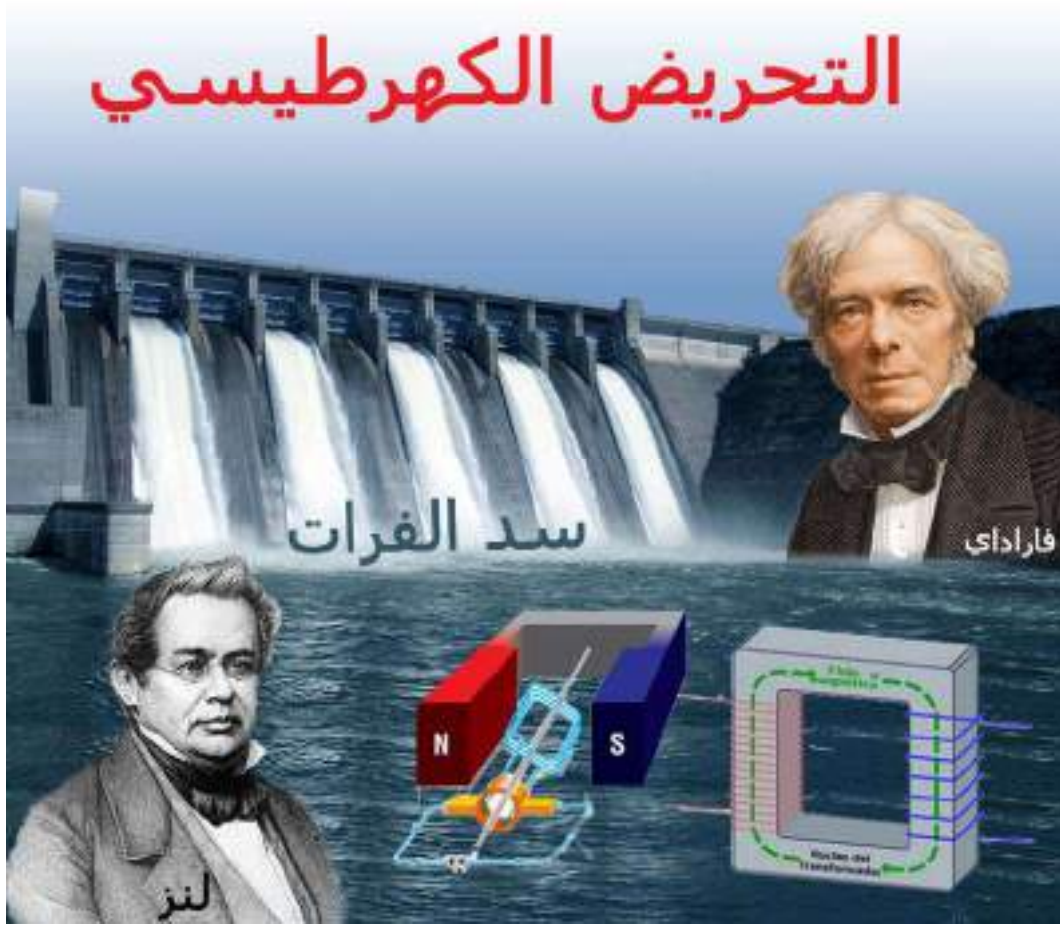


تفكير ناقد:

جسم مشحون يتحرك في منطقة يسودها حقل مغناطيسي منتظم يعامد حقل كهربائي منتظم بسرعة \vec{v} تعامد كل منهما بيّن متى يصبح مساره مستقيماً، ومتى يكون دائرياً.

أبحث أكثر:

ابحث في استخدام البروتونات المتسارعة في علاج الأمراض السرطانية.



الأهداف التعليمية:

- (1) يفسّر تجريبياً توليد التيار المتحرّض.
- (2) يذكر قانوني التحريض الكهرومغناطيسي.
- (3) يفسّر علاقات التحريض الكهرومغناطيسي.
- (4) يتعرّف تطبيقات التحريض الكهرومغناطيسي في حياته اليومية.
- (5) يوضّح التحريض الذاتي.
- (6) يستنتج علاقة ذاتية وشيعة.
- (7) يستنتج عبارة الطاقة الكهرومغناطيسية المخزنة في الوشيعة.
- (8) يثمن تطبيقات التحريض الكهرومغناطيسي.

كلمات مفتاحية: تحريض كهربي، تيار كهربائي متحرض، حقل مغناطيسي متحرض، قوة محرك كهربائية متحرضه، مولّد، تيار متناوب جيبي، محرك، تيارات فوكو، تحريض ذاتي، ذاتية الوشاعة، طاقة كهربية.

في ظل الطلب المتزايد على الطاقة وخاصة الطاقة الكهربائية تزداد الحاجة للبحث عن مصادر جديدة لها، وقد تم استثمار المصادر الطبيعية كالمياه والرياح للحصول على الطاقة وخاصة النظيفة منها، فبنيت السدود ووضعت على فتحاتها عنفات لتحويل الطاقة الميكانيكية للماء إلى طاقة كهربائية، فما هو مبدأ عمل هذه العنفات؟ وما هو مبدأ توليد التيار الكهربائي والحصول على الطاقة الكهربائية.

قانون فارداي:

أجرب وأستنتج

تجربة 1:

أدوات التجربة: حقيبة المغناطيسية.

خطوات التجربة:

(1) أركب الدارة الموضحة بالشكل.

(2) أقرّب أحد قطبي المغناطيس من أحد وجهي الوشاعة وفق محورها، وأراقب مؤشر مقياس الميكرو أمبير، ماذا ألاحظ؟

(3) أثبت المغناطيس عند أحد الوجهين، وأراقب مؤشر المقياس، ماذا ألاحظ؟

(4) أبعد المغناطيس عن وجه الوشاعة، وأراقب مؤشر المقياس، ماذا ألاحظ؟





(5) أكرّر التجربة السابقة بتقريب وإبعاد المغناطيس خلال زمن أقل (زيادة سرعة تقريب وإبعاد المغناطيس)، ما الذي يحدث لمؤشر المقياس؟

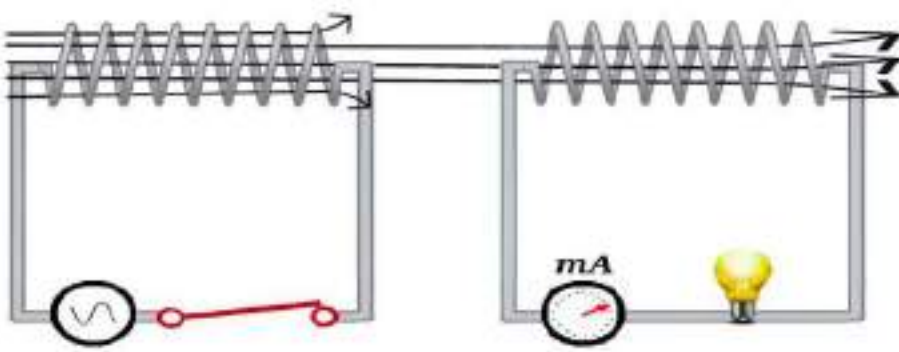
تجربة 2: أدوات التجربة

وشيعتان - مولّد تيار متناوب جيبي - مولّد تيار متواصل - مصباح كهربائي - أسلاك توصيل - مقياس ميلي أمبير.

خطوات التجربة:

(1) أصل طرفي الوشيعة الأولى بمأخذ لمولّد تيار كهربائي متناوب جيبي.

(2) أضع الوشيعة الثانية ليكون محورها منطبقاً على محور الوشيعة الأولى، وأصل طرفيها بواسطة أسلاك التوصيل إلى المصباح الكهربائي ومقياس ميكرو أمبير.



(3) أغلق دائرة الوشيعة الأولى، وأراقب المصباح الكهربائي، ومقياس ميلي أمبير في الدارة الثانية، ماذا ألاحظ؟

(4) أكرّر التجربة السابقة بعد استبدال مولد التيار المتواصل بمولّد التيار المتناوب، ماذا ألاحظ؟

النتيجة

تولّد تيار كهربائي في الدارة الثانية الحاوية على مصباح ومقياس ميلي أمبير على رغم من عدم وجود مولّد فيها، لذا نقول أنّ التيار المتولّد في الدارة الثانية ناتج عن التحريض الكهروضويسي، ويدعى بالتيار الكهربائي المتحرّض.

• كيف أفسّر هذه الظاهرة:

- (1) إنّ تقريب المغناطيس أو إبعاده يؤدي إلى تغيير التدفق المغناطيسي (بالزيادة أو بالنقصان) وبالتالي تنشأ قوة محرّكة كهربائية متحرّضة تسبّب مرور التيار الكهربائي المتحرّض.
- (2) إنّ إضاءة المصباح الموصل بين طرفي الوشيعية الثانية وانحراف مؤشر مقياس الميكرو أمبير فيها يدلّ على نشوء تيار متحرّض بالرغم من عدم تحريك أي من الوشيعتين، ويعلل ذلك أنّ الوشيعية الأولى تولّد حقلاً مغناطيسياً متناوباً جيّياً فيتغيّر التدفق المغناطيسي الذي يجتاز الوشيعية الثانية، وتتولّد قوة محرّكة كهربائية متحرّضة تسبّب مرور التيار الكهربائي المتحرّض.

قانون فارداي

يتولّد تيار متحرّض في دائرة مغلقة إذا تغيّر التدفق المغناطيسي الذي يجتازها ويدوم هذا التيار بدوام تغيير التدفق لينعدم عند ثبات التدفق المغناطيسي المحرّض.

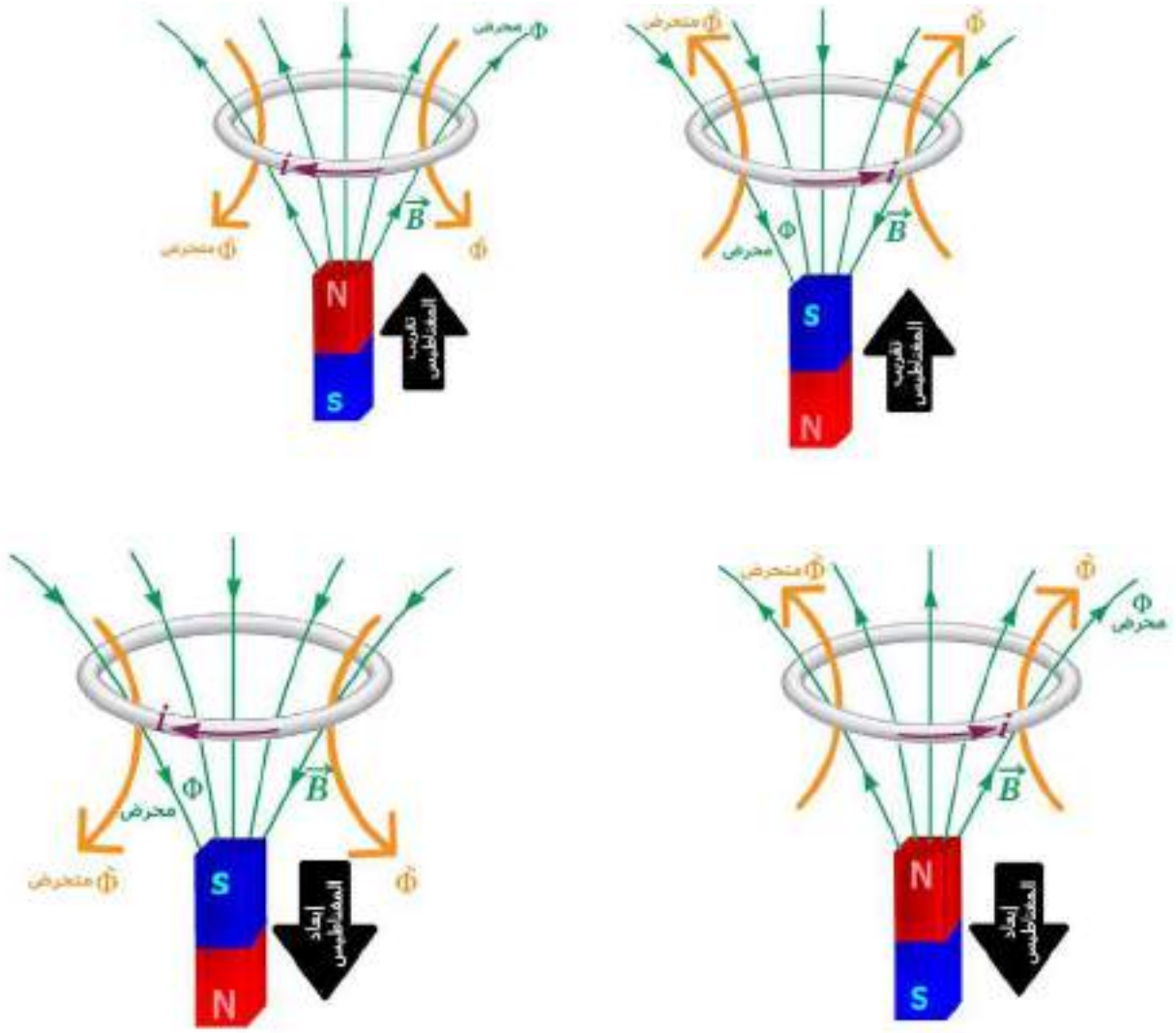
قانون لنز

أجرب وأستنتج

أدوات التجربة: وشيعة - أسلاك توصيل - مقياس ميلي أمبير صفّره في الوسط - مأخذ تيار كهربائي متواصل - إبرة مغناطيسية حاملها شاقولي.

خطوات التجربة:

- 1- أصل بين طرفي المولّد على التسلسل وشيعة، مقياس الميكرو أمبير، قاطعة.
- 2- أغلق الدارة، وأحدّد الوجه الشمالي والوجه الجنوبي للوشيعة، وأراقب جهة انحراف مؤشر المقياس.
- 3- أرفع مأخذ التيار المتواصل، وأعيد إغلاق الدارة من جديد.
- 4- أقرب من الوشيعة وفق محورها قطب شمالي لمغناطيس مستقيم، وأراقب جهة انحراف مؤشر المقياس الغلفاني، وأحدّد الوجه الشمالي والوجه الجنوبي للوشيعة عندئذٍ، ماذا ألاحظ؟
- 5- أبعد القطب الشمالي للمغناطيس عن وجه الوشيعة، ماذا يطرأ على جهة انحراف مؤشر المقياس؟ وأحدّد الوجه الشمالي والوجه الجنوبي للوشيعة عندئذٍ، ماذا ألاحظ؟



النتائج:

- إنَّ تقريب القطب الشمالي من أحد وجهي الوشيعه يولّد فيها تياراً كهربائياً متحرّضاً فيولّد بدوره حقلاً مغناطيسياً متحرّضاً يخرج من الوجه الشمالي للوشيعه، أيّ أنّ جهته بعكس جهة الحقل الناجم عن المغناطيس المحرّض الذي قربناه من وجه الوشيعه، وكذلك الأمر بالنسبة إلى تقريب القطب الجنوبي.
- إنَّ إبعاد القطب الشمالي للمغناطيس المحرّض عن أحد وجهي الوشيعه يؤدي إلى تولّد تيار متحرّض في الوشيعه يولّد بدوره حقلاً مغناطيسياً متحرّضاً تتفق جهته مع جهة الحقل الناجم عن المغناطيس المحرّض، وكذلك الأمر بالنسبة إلى إبعاد القطب الجنوبي.

- إنَّ التيار المتحرّض يظهر أفعالاً تعاكس سبب حدوثه فالوشيجة تسعى لإنقاص التدفق المغناطيسي الذي يجتازها في حال تزايد التدفق المغناطيسي المحرض الناجم عن تقريب المغناطيس، وتسعى لزيادة التدفق المغناطيسي الذي يجتازها في حالة إنقاص التدفق المغناطيسي المحرض الناجم عن إبعاد المغناطيس.

قانون لنز:

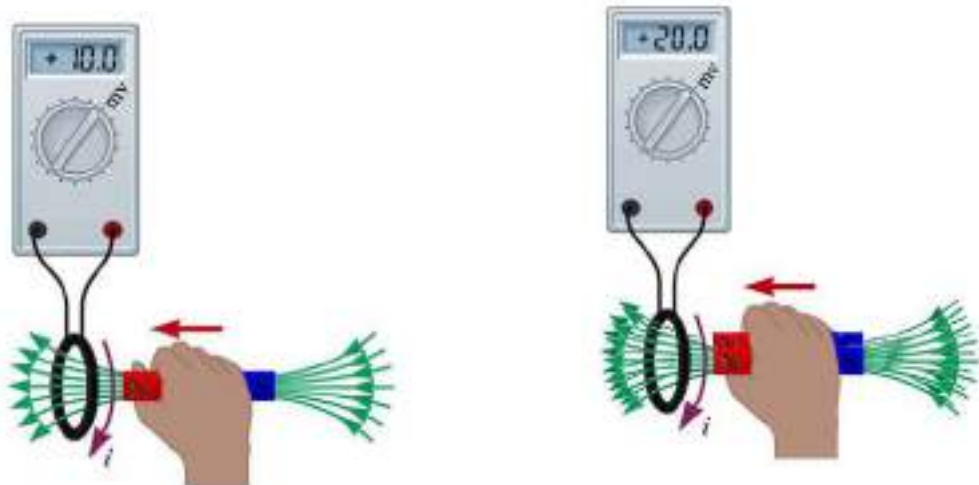
إنَّ جهة التيار المتحرّض في دارة مغلقة تكون بحيث ينتج أفعالاً تعاكس السبب الذي أدى إلى حدوثه.

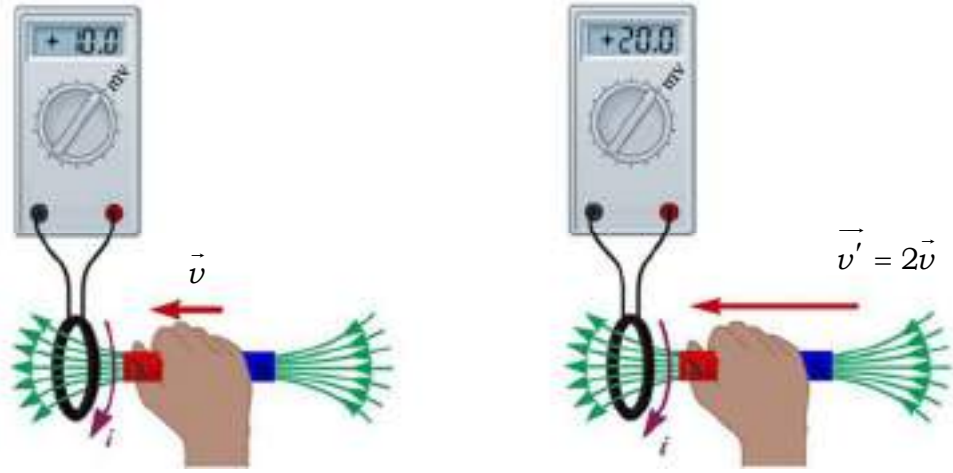
القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة:

إنَّ مرور تيار كهربائي في أي دارة مغلقة يكافئ وضع مولّد فيها يمتاز بقوة محرّكة كهربائية متحرّضة \mathcal{E} .
فماهي العوامل التي تتوقف عليها القوّة المحركة الكهربائية المتحرّضة؟

نشاط (1)

- 1- أستبدل بمقياس الميكرو أمبير في التجربة (1) مقياس ميلي فولت.
 - 2- أقرّب المغناطيس وفق محور الوشيجة، وأسجّل القيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية المتحرّضة المتولّدة \mathcal{E}_1 التي نقرأها على مقياس ميلي فولت.
 - 3- أعيد التجربة حيث ألصق بالمغناطيس مغناطيساً آخر مماثلاً له بشكل تنطبق فيه الأقطاب المتماثلة على بعضها، وأقرّب جملة المغناطيسين من محور الوشيجة خلال الزمن نفسه تقريباً، وأسجّل القيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية المتحرّضة بقراءتها على مقياس ميلي فولت ولتكن \mathcal{E}_2 .
 - 4- أعيد التجربة السابقة بمغناطيس واحد، وأقرّبه من الوشيجة وفق محورها بزمن أقل بحيث يصبح نصف ما كان عليه تقريباً، وأسجّل القيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية المتحرّضة \mathcal{E}_3 .
- ماذا ألاحظ؟ وماذا أستنتج؟





النتائج

تناسب القوة المحركة الكهربائية المتحرضة ε :

1. طرداً مع تغيّر التدفق المغناطيسي المحرض $d\Phi$.
2. عكساً مع زمن تغيّر التدفق المغناطيسي المحرض dt .

بناءً على ما سبق يمكننا أن نعبر رياضياً عن قانون فارداي بالعلاقة الآتية:

$$\overline{\varepsilon} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

حيث تدل الإشارة السالبة على قانون لنز.

التعليل الإلكتروني لنشوء التيار المتحرض والقوة المحركة الكهربائية المتحرضة

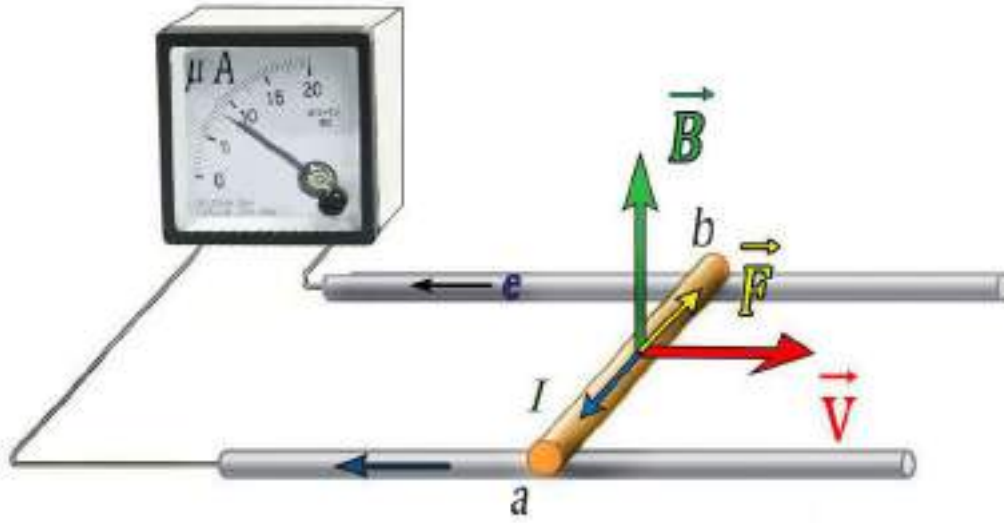
تجربة السكتين التحريضية:

أدوات التجربة:

مغناطيس نصوي - سكتين معدنيتين أفقيتين متوازيتين - ساق ناقلة - مقياس ميكرو أمبير.

خطوات التجربة:

1. أستبدل بالمولّد في تجربة السكتين الكهرطيسية مقياس الميكرو أمبير، كما في الدارة الموضحة بالشكل المجاور.



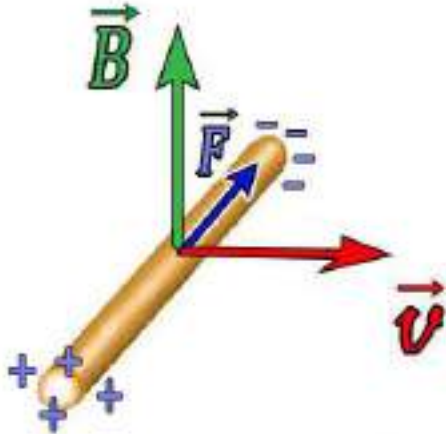
2. أدرج الساق الناقلة على السكتين، وأراقب انحراف مؤشر مقياس الميكرو أمبير، ماذا ألاحظ؟ أفسر ذلك.

النتائج

- ينحرف مؤشر مقياس الميكرو أمبير دليل مرور تيار كهربائي متحرّض.
- عند تحريك الساق بسرعة ثابتة، عمودياً على خطوط الحقل المغناطيسي فإنّ الإلكترونات الحرة في الساق ستتحرك بهذه السرعة وسطياً، ومع خضوعها لتأثير الحقل المغناطيسي المنتظم فإنّها تخضع لتأثير القوة المغناطيسية:

$$\vec{F} = e \vec{v} \wedge \vec{B}$$

وبتأثير هذه القوة تتحرك الإلكترونات الحرة في الساق وتتولّد قوة محرّكة كهربائية تحريضية تسبّب مرور تيار كهربائي متحرّض عبر الدارة المغلقة جهته الاصطلاحية بعكس جهة حركة الإلكترونات الحرة، أيّ بعكس جهة القوة المغناطيسية.



• عند فتح الدارة:

- عند تحريك الساق بسرعة \vec{v} على سكتين معزولتين في منطقة يسودها حقل مغناطيسي تنشأ القوة المغناطيسية وبتأثير هذه القوة تنتقل الإلكترونات الحرة من أحد طرفي الساق الذي يكتسب شحنة موجبة وتتراكم في الطرف

الآخر الذي يكتسب شحنة سالبة فينشأ بين طرفي الساق فرقاً في الكمون يمثل القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة:

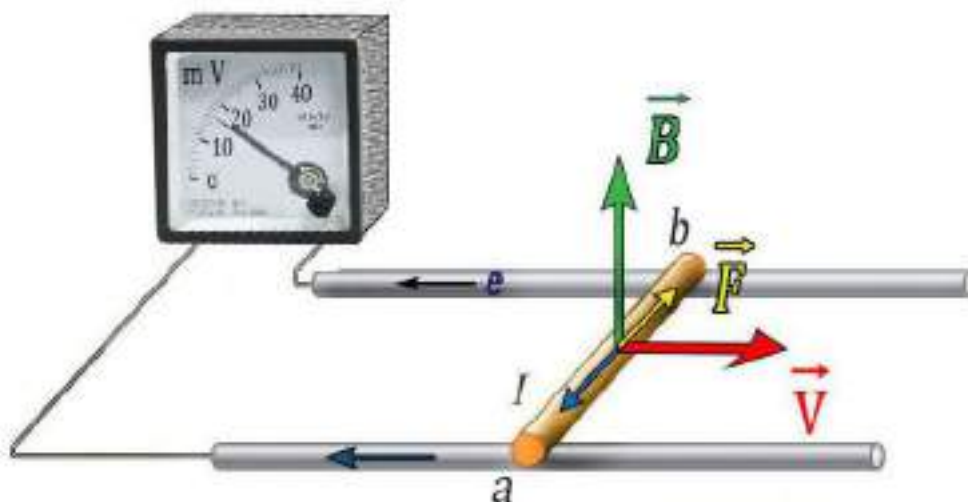
$$\mathcal{E} = U_{ab}$$

تطبيقات التحريض الكهرومغناطيسي

أولاً: مبدأ المولد

تجربة: أعيد تجربة السكتين التحريضية حيث الدارة مغلقة:
أحرك الساق بسرعة ثابتة \vec{v} تقريباً عمودية على شعاع الحقل المغناطيسي وألاحظ انحراف مؤشر مقياس ميلي فولت.

- ماهي الطاقة التي قُدمت للساق.
- هل ازداد أم تناقص السطح الذي تمسحه الساق أثناء حركتها على السكتين.



لندرس نظرياً تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية:

عند تحريك الساق بسرعة ثابتة \vec{v} عمودية على شعاع الحقل المغناطيسي المنتظم \vec{B} خلال فاصل زمني Δt تنتقل الساق مسافة:

$$\Delta x = v \Delta t$$

يتغير السطح بمقدار:

$$\Delta s = L \Delta x$$

$$\Delta s = L v \Delta t$$

يتغير التدفق بمقدار:

$$\Delta \Phi = B \Delta s = B L v \Delta t$$

فتتولد قوة محرّكة كهربائية متحرّضه قيمتها المطلقة:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$$

$$\varepsilon = \frac{B L v \Delta t}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = B L v$$

وبما أنّ الدارة مغلقة يمرّ تيار كهربائي متحرّض شدّته:

$$i = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$i = \frac{B L v}{R}$$

فتكون الاستطاعة الكهربائية الناتجة:

$$P = \varepsilon i$$

$$P = (B L v) \times \left(\frac{B L v}{R} \right)$$

$$p = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$$

ولكن عند تحريك الساق بسرعة \vec{v} تنشأ قوة كهروطيسيةً جهتها بعكس جهة حركة الساق المسببة لنشوء التيار المتحرّض ولاستمرار تولّد التيار يجب التغلّب على هذه القوّة الكهروطيسية بصرف استطاعة ميكانيكية P' .

$$P' = F v$$

$$F = i L B \sin \frac{\pi}{2} \quad \text{لدينا:}$$

$$F = i L B$$

لكن:

$$i = \frac{B L v}{R}$$

نعوض:

$$F = \frac{B L v}{R} (L B)$$

$$F = \frac{B^2 L^2 v}{R}$$

$$P' = F v = \frac{B^2 L^2 v}{R} v$$

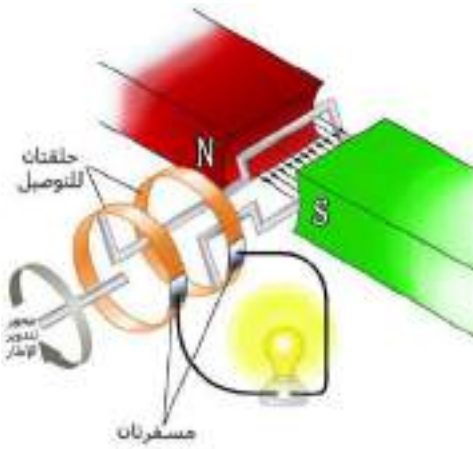
$$P' = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$$

وبموازنة العلاقتين نجد أنَّ:

$$P' = P$$

وبهذا تكون قد تحولت الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية وهو المبدأ الذي يعتمد عليه الكثير من المولدات الكهربائية.

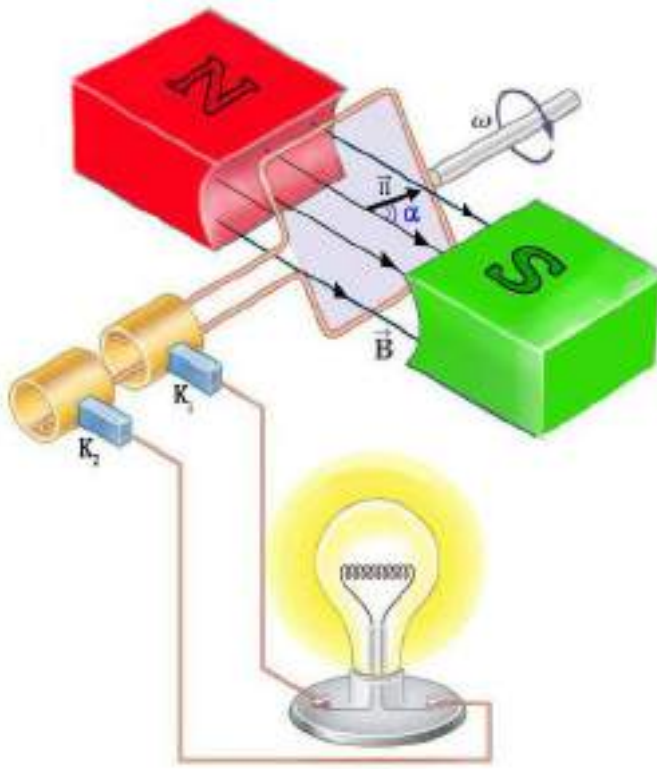
ثانياً: مولد التيار المتناوب الجيبي (AC أحادي الطور)



وصفه: يتكوّن من إطار مؤلف من N لفة متماثلة مساحة كلّ منها s أسلاكه ناقلّة ومعزولة ملفوفة بالاتجاه ذاته، يدور حول محور في منطقة يسودها حقل مغناطيسي منتظم \vec{B} ، ويتصل طرفا الملف بحلقتين R_1, R_2 بحيث يمر محور الدوران بمركز هاتين الحلقتين، وتدور الحلقتان بدوران الملف ويمسّ كل حلقة مسفرة معدنية (ناقلّة) (K_1, K_2) ، وتصل هاتان المسفرتان الملف بالدائرة الخارجية كما في الشكل المجاور.

نشاط

عندما يدور الملف:



- ماذا يحدث للزاوية بين الناظم على مستوي الملف وشعاع الحقل المغناطيسي \vec{B} .
- هل يتغير التدفق المغناطيسي عندئذ؟
- إذا كانت السرعة الزاوية التي يدور بها الإطار ثابتة، اكتب العلاقة التي تربط بين α والزمن.

لنستنتج العلاقة المحددة للقوة المحركة الكهربائية المتحرضة:

- بفرض أنه في لحظة ما أثناء الدوران كان الناظم على مستوي الإطار

يصنع مع الحقل المغناطيسي \vec{B} زاوية قدرها α فيكون التدفق المغناطيسي Φ الذي يجتاز سطح الإطار:

$$\bar{\Phi} = N B s \cos \alpha$$

- إذا كانت السرعة الزاوية لدوران الإطار ω ثابتة فإن الزاوية α التي يدورها الملف في زمن قدره t :

$$\bar{\alpha} = \bar{\omega} t$$

نعوض فنجد:

$$\bar{\Phi} = N B s \cos \omega t$$

وتكون القوة المحركة الكهربائية المتحرضه ε :

$$\bar{\varepsilon} = -\frac{d\bar{\Phi}}{dt}$$

$$\bar{\varepsilon} = N s B \omega \sin \omega t$$

تكون ε عظمى عندما:

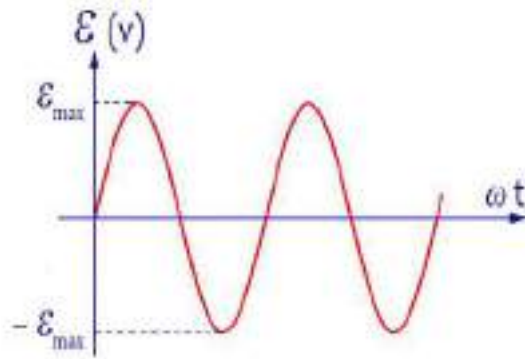
$$\sin \omega t = 1$$

نعوض:

$$\varepsilon_{\max} = N s B \omega$$

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

وبذلك نحصل على التيار المتناوب الجيبي نظراً لأنّ القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة ε متناوبة جيبيه. عند رسم تغيرات ε بدلالة ωt نحصل على المنحني البياني الآتي:



ثالثاً: مبدأ المحرك

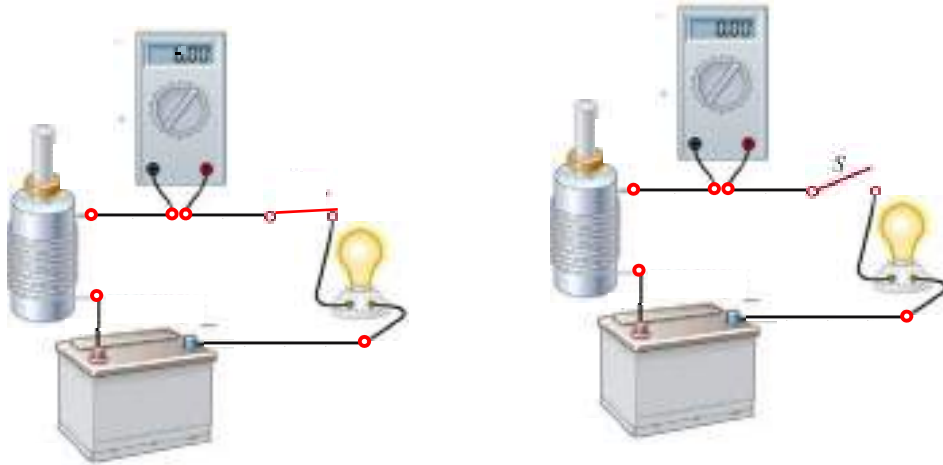
تجربة

أدوات التجربة

مولّد - مصباح كهربائي - مقياس أمبير - محرك كهربائي صغير - أسلاك توصيل - قاطعة.

خطوات التجربة:

- (1) أصل الدارة الموضّحة بالشكل على التسلسل.
- (2) أغلق الدارة وأمنع المحرك من الدوران بمسك محوره باليد، ماذا ألاحظ؟
- (3) أسمح للمحرك بالدوران، ماذا ألاحظ؟ وماذا أستنتج؟



نتائج:

- عند إغلاق القاطعة ومنع المحرك من الدوران يتوهج المصباح ويدل المقياس على مرور تيار كهربائي له شدة معينة.
- عند السماح للمحرك بالدوران تبدأ سرعته بالازدياد فيقل توهج المصباح وتتنقص دلالة المقياس مما يدل على مرور تيار كهربائي شدته أصغر.
- تتولد في المحرك قوة محركة كهربائية تحريضية عكسية مضادة للقوة المحركة الكهربائية المطبقة بين قطبي المولد وتتزايد بازدياد سرعة دوران المحرك.
- يوجد في المحرك وشيعة يمر فيها تيار كهربائي تدور بتأثير حقل مغناطيسي وبسبب هذا الدوران يتغير التدفق المغناطيسي من خلال الوشيعة مما يسبب تولد قوة محركة تحريضية عكسية تتوقف على سرعة دوران المحرك.

لندرس نظرياً تحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية في المحرك.

عند مرور التيار الكهربائي في الساق الخاضعة لتأثير الحقل المغناطيسي المنتظم \vec{B} فإنّها تتأثر بقوة كهروطيسية شدتها:

$$F = I L B$$

تعمل القوة الكهروطيسية على تحريك الساق بسرعة ثابتة \vec{v} ، وتكون الاستطاعة الميكانيكية الناتجة:

$$P' = F v$$

$$P' = I L B v$$

لكن عند انتقال الساق مسافة Δx فإنّ التدفق المغناطيسي يتغيّر بمقدار:

$$\Delta \Phi = B L v \Delta t$$

فتتولد في الساق قوة محركة كهربائية متحرضه عكسية تعاكس مرور تيار المولد فيها حسب قانون لنز تعطى قيمتها المطلقة بالعلاقة:

$$\varepsilon' = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = B L v$$

ولاستمرار مرور تيار المولد يجب تقديم استطاعة كهربائية:

$$P = \varepsilon' I$$

$$p = B L v I$$

بالموازنة نجد:

$$P' = P$$

وبهذا الشكل تتحوّل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.

رابعاً: تيار فوكو

نشاط: صفيحتان معدنيتان من النحاس أحدهما مقطعة بشكل شرائح معزولة عن بعضها البعض مثل أسنان المشط والأخرى كاملة غير مقطعة، يثبت كل من الصفيحتين بطرف ساق خفيفة من النحاس ثم تثبت كل من الساقين في الأعلى لتتوازن الصفيحتان في مستوي شاقولي بين قطبي مغناطيس نصوي.



خطوات النشاط:

- 1) ازيح الصفيحتين بسعة زاوية ذاتها إلى أحد جانبي موضع استقرارهما الشاقولي.
- 2) اترك الصفيحتين في أن واحد لتهتز كل منهما بحرية بين قطبي المغناطيس النصوي. ماذا ألاحظ؟ اتهتز الصفيحتان بالسعة نفسها؟ أم تختلفان بسعة اهتزازهما؟ كيف أفسر ذلك؟

ألاحظ:

تتوقف الصفيحة الكاملة فجأة عن الاهتزاز في أثناء مرورها بين قطبي المغناطيس النصوي بينما تستمر الصفيحة المقطعة باهتزازها ذهاباً وإياباً إلى جانبي موضع توازنها الشاقولي بين قطبي المغناطيس النصوي ولكن بتباطؤ.

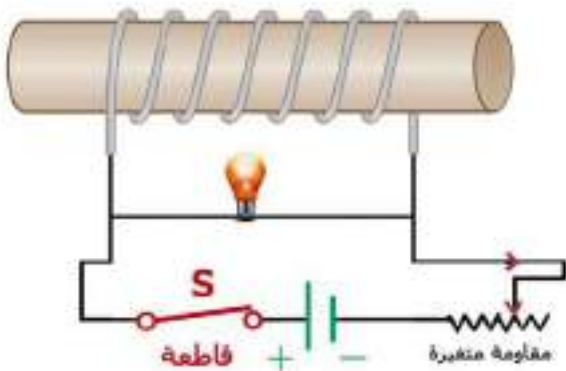
أفسر ذلك: عند اقتراب الصفيحة الكاملة من منطقة الحقل المغناطيسي بين قطبي المغناطيس النصوي يحدث تزايداً في التدفق المغناطيسي الذي يخترقها، وفي أثناء خروجها يحدث تناقص في التدفق المغناطيسي الذي يجتازها فتتولد

في الحالتين تيارات تحريضية تنتج أفعالاً تعاكس السبب الذي أدى إلى حدوثها (اهتزاز الصفيحة) وتكون جهتها بحيث تعاكس جهة حركة الصفيحة فتتوقف وتنتشر فيها كمية من الحرارة بفعل جول كأثر حراري لتلك التيارات.

- أما التيارات التحريضية المتولدة في الصفيحة المقطعة تكون صغيرة جداً فيكون تأثيرها في اهتزاز الصفيحة ضعيف جداً.
- نسمي تلك التيارات التحريضية المتولدة في الكتل المعدنية التي تخضع لتدفق مغناطيسي متغير بتيارات فوكو.
- لتيارات فوكو أثر ضار في الأجهزة الكهربائية لذلك نستبدل الكتل المعدنية المصمتة المعرضة لمثل هذه التيارات بكتل معدنية معزولة بعضها عن البعض تنقطع فيها تلك التيارات مما يخفف من أثرها، وهذا ما يحصل في قوى المحركات والمولدات والمحولات الكهربائية حيث تكون صفائح هذه القوى معزولة وتوضع لتوازي سطوحها خطوط الحقل المغناطيسي.
- تستثمر تيارات فوكو في مكابح القطارات الحديثة إما لإيقافها أو لإبطاء حركتها وتسمى بالكوابح الكهروضغطية كما تستثمر تيارات فوكو في أجهزة الكشف عن المعادن المستعملة في نقاط التفتيش الأمنية وخاصة في المطارات، وكذلك الطباخ الإلكتروني المستخدم في المنازل.

التحريض الذاتي

أجرب وأستنتج



أدوات التجربة: وشيعة - مصباح - ابيال كهربائية - مقاومة متغيرة مع زلقه (معدلة) - قاطعة - أسلاك توصيل.

خطوات التجربة:

- (1) أركب الدارة الموضحة بالشكل المجاور.
- (2) أغلق القاطعة، وأحرّك الزالقة حتى تصبح إضاءة المصباح خافتة.
- (3) أفتح القاطعة، ماذا ألاحظ؟
- (4) أغلق القاطعة من جديد؟ ماذا ألاحظ؟

النتائج:

- عند فتح القاطعة يتوهج المصباح بشدة قبل أن ينطفئ مما يدل على حصول المصباح على الطاقة من مصدر آخر غير المولد لأن دارته مفتوحة ولا يوجد في الدارة إلا الوشيعية، ويحدث هذا نتيجة التحريض الذاتي في الوشيعية حيث أن فتح القاطعة يؤدي إلى تناقص شدة التيار المار في الوشيعية فيتناقص تدفق الحقل المغناطيسي المتولد في الوشيعية خلال الوشيعية ذاتها، الأمر الذي يولد قوة محرّكة كهربائية متحرضه في الوشيعية أكبر من القوة المحركة الكهربائية للمولد لأن زمن تناقص الشدة متناهي الصغر، حيث تكون قيمة $\frac{di}{dt}$ أعلى ما يمكن لحظة فتح القاطعة.
- عند غلق القاطعة من جديد يتوهج المصباح ثم يعود إلى ضوئه الخافت، حيث تتزايد شدة التيار وبالتالي يتزايد تدفق الحقل المغناطيسي المتولد عن الوشيعية عبر الوشيعية ذاتها، فيتولد فيها قوة محرّكة كهربائية متحرضه تسبّب مرور تيار متحرض فيها يمانع تيار المولد فيمرّ هذا التيار في المصباح مسبباً توهجه قبل أن تخبو إضاءته بسبب تناقص قيمة $\frac{di}{dt}$ ، وازدياد مرور التيار تدريجياً في الوشيعية حتى ثبات الشدة فتتعدم القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في الوشيعية.
- إنّ الوشيعية قامت بدور محرض ومتحرض في آن واحد فدعوا الدارة بالدارة المتحرضة الذاتية ودعوا الحادثة تحريض ذاتي.

ذاتية الوشيعية

تعطى شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن مرور تيار في الوشيعية بالعلاقة:

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N i}{\ell}$$

ويكون تدفق هذا الحقل من خلال الوشيعية ذاتها:

$$\overline{\Phi} = N s B$$

$$\overline{\Phi} = N s (4\pi \times 10^{-7} \frac{N i}{\ell})$$

$$\overline{\Phi} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{\ell} i$$

نلاحظ أنَّ أمثال شدة التيار مقدار ثابت يميّز الوشّعة، يدعى ذاتية الوشّعة L ، واحدة قياسها في الجملة الدولية هي الهنري H ، وهو ذاتية دارة مغلقة يجتازها تدفق مغناطيسي قدره ويبر واحد عندما يمر فيها تيار قدره أمبير واحد.

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{\ell}$$

نعوّض فنجد:

$$\Phi = L i$$

فتصبح علاقة القوّّة المحركة الكهربائية المتحرّضة الذاتية بدلالة شدة التيار المتغيّر الذي يجتازها:

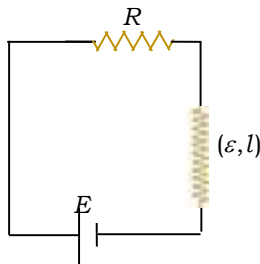
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\varepsilon = -L \frac{di}{dt}$$

الطاقة الكهرطيسية المختزنة في وشّعة

في التجربة السابقة نلاحظ أنَّ المصباح أضاء بالرغم من فصل المولّد وهذا يدل كما ذكرنا على أنَّ الوشّعة قدّمت طاقة إلى المصباح، أيَّ أنَّ الوشّعة تختزن طاقة عند غلق القاطعة، وعند فصل المولّد (فتح القاطعة) فإنّها تعيد الطاقة المختزنة إلى المصباح.

لنستنتج عبارة الطاقة الكهرطيسية E_L المختزنة في وشّعة.



نربط وشّعة ذاتيتها L ، على التسلسل مع مقاومة أومية R ، ومولّد قوته المحركة الكهربائية E كما في الدارة الموضحة بالشكل:

حسب قانون كيرشوف الثاني:

$$\sum E = R i$$

$$E + \varepsilon = R i$$

$$E - L \frac{di}{dt} = R i$$

$$E = R i + L \frac{di}{dt}$$

نضرب طرفي العلاقة بـ $i dt$ فنجد:

$$E i dt = R i^2 dt + L i di$$

إنَّ المقدار $E i dt$ يمثِّل الطاقة التي يقدمها المولّد خلال الزمن dt وهذه الطاقة تنقسم إلى قسمين:

القسم الأول: $R i^2 dt$ يمثِّل الطاقة الضائعة حرارياً بفعل جول في المقاومة خلال الزمن dt .

القسم الثاني: $L i di$: يمثِّل الطاقة الكهربية المخزنة في الوشيعَة خلال الزمن dt .

وتخزن الوشيعَة طاقة كهربية E_L في لحظة t عندما تزداد شدة التيار المارة في الدارة من الصفر إلى قيمتها النهائية I :

$$E_L = \int_0^I L i di$$

$$E_L = \frac{1}{2} L I^2$$

وهي العلاقة المحددة للطاقة الكهربية المخزنة في الوشيعَة، ويمكن أن تكتب بالشكل:

$$\Phi = L I$$

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

$$E_L = \frac{1}{2} \Phi I$$

تطبيق: وشيعة طولها 20 cm ، وطول سلكها 40 m ، بطبقة واحدة، مقاومتها الأومية مهملة. المطلوب:

- (1) احسب ذاتية الوشيعَة.
- (2) إذا كان نصف قطر اللفة الواحدة 4 cm فاحسب عدد لفات الوشيعَة.
- (3) نمّرر في الوشيعَة تياراً كهربائياً تزداد شدّته بانتظام من الصفر إلى 10 A خلال 0.5 s ، احسب القوّة المحركة الكهربية المتولّدة داخل الوشيعَة محدّداً جهة التيار المتحرّض.
- (4) احسب الطاقة الكهربية المخزنة في الوشيعَة.

الحل:

$$\ell' = 40 \text{ m} \quad \ell = 20 \times 10^{-2} = 0.2 \text{ m}$$

(1) حساب ذاتية الوشيجة:

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{\ell}$$

$$N = \frac{\ell'}{2\pi r} \text{ لكن: عدد اللفات يعطى بالعلاقة:}$$

$$s = \pi r^2 \text{ وسطح الوشيجة يعطى بالعلاقة:}$$

نعوض:

$$L = 10^{-7} \frac{\ell'^2}{\ell} = 10^{-7} \times \frac{1600}{0,2}$$

$$L = 8 \times 10^{-4} \text{ H}$$

(2) حساب عدد لفات الوشيجة:

$$N = \frac{\ell'}{2\pi r} = \frac{40}{2\pi \times 4 \times 10^{-2}} = \frac{4000}{25} = 160 \text{ لفة}$$

(3) حساب القوة المحركة الكهربائية المتحرضة المتولدة داخل الوشيجة:

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\Delta\Phi = N (\Delta B) S \cos \alpha$$

$$\alpha = 0$$

$$\Delta B = B_2 - B_1 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N I}{\ell} - 0$$

$$\Delta B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{160 \times 10}{0,2} = 32\pi \times 10^{-5} = 10^{-3} \text{ T}$$

$$s = \pi r^2 = 4\pi \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Delta\Phi = 160 \times 10^{-3} \times 4\pi \times 10^{-4} \times 1$$

$$\Delta\Phi = 2 \times 10^{-4} \text{ weber}$$

$$\mathcal{E} = -\frac{2 \times 10^{-4}}{0,5} = -4 \times 10^{-4} \text{ V} < 0$$

\vec{B} محرض ، \vec{B}' متحرض على حامل واحد وبجهتين متعاكستين.

$$E_L = \frac{1}{2} L I^2 \quad (4)$$

$$E_L = \frac{1}{2} \times 8 \times 10^{-4} \times 100$$

$$E_L = 4 \times 10^{-2} \text{ J}$$

بعض التطبيقات العملية لظاهرة التحريض الكهريسي:



1- بطاقة الائتمان:

عند تحريك بطاقة الائتمان (بطاقة خزن المعلومات) الممغنطة أمام ملف يتولّد تيار كهربي متحرّض شدّته صغيرة جداً ثم يتضخّم ويتحوّل إلى نبضات تحتوي المعلومات.

2- الطباخ الإلكتروني:



تستثمر حادثة التحريض الكهريسي في عمل الطباخات الإلكترونية إذ يوضع تحت السطح العلوي للطباخ ملف يمرّ فيه تيار متناوب جيبي فيولّد هذا التيار حقلاً مغناطيسياً متناوباً ينتشر نحو الخارج وبمرور التيار المتناوب خلال قاعدة الإناء المصنوع من المعدن تتولّد تيارات فوكو في قاعدة الإناء المعدني فتسخن قاعدته، ويغلي الماء داخل الإناء، ومن الملاحظ أنّه إذا لمسنا السطح العلوي للطباخ لا نشعر بسخونة السطح.

تعلمت

1- قانون فارداي: يتولد تيار متحرّض في دارة مغلقة إذا تغيّر التدفق المغناطيسي الذي يجتازها ويدوم هذا التيار

بدوام تغيّر التدفق لينعدم عند ثبات التدفق المغناطيسي المحرّض.

2- قانون لنز: إنّ جهة التيار المتحرّض في دارة مغلقة تكون بحيث ينتج أفعالاً تعاكس السبب الذي أدى إلى حدوثه.

3- تتناسب القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة ε :

a- طردياً مع تغيّر التدفق المغناطيسي المحرّض $d\Phi$.

b- عكساً مع زمن تغيّر التدفق المغناطيسي المحرّض dt .

نعبّر رياضياً عن قانون فارداي بالعلاقة الآتية: $\bar{\varepsilon} = \frac{d\Phi}{dt}$

حي يتضمّن قانون فارداي قانون لنز: $\bar{\varepsilon} = -\frac{d\Phi}{dt}$

4- في تجربة السكتين التحريضية يتولد التيار الكهربائي المتحرّض نتيجة حركة الإلكترونات الحرة بتأثير القوة

المغناطيسية عبر الدارة المغلقة مما يسبب مرور تيار كهربائي متحرّض جهته الاصطلاحية بعكس جهة

حركة الإلكترونات الحرة، أي بعكس جهة القوة المغناطيسية، وهذا ما يتفق مع قانون لنز.

إذا كانت الدارة مفتوحة: تنتقل الإلكترونات الحرة بتأثير القوة المغناطيسية من أحد طرفي الساق الذي

يكتسب شحنة موجبة وتتراكم في الطرف الآخر الذي يكتسب شحنة سالبة فينشأ بين طرفي الساق فرقاً في

الكومن يمثل القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة: $\varepsilon = U_{ab}$.

5- مبدأ المولد: يدرس تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، وتكون الاستطاعة الميكانيكية

مساوية للاستطاعة الكهربائية.

6- مبدأ المحرك: يدرس تحول طاقة كهربائية إلى الطاقة الميكانيكية.

7- مولد التيار التناوب الجيبي: يعتمد على دوران دارة كهربائية مغلقة ضمن حقل مغناطيسي.

8- نسمي تلك التيارات التحريضية المتولّدة في الكتل المعدنية التي تخضع لتدفق مغناطيسي متغير

بتيارات فوكو.

9- حيث: $\varepsilon = -L \frac{di}{dt}$ -9 تعطى القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة الذاتية بالعلاقة:

L : ذاتية الوشاعة وحدة قياسها (هنري) وتعطى بالعلاقة: $L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{\ell}$

10- الطاقة الكهرطيسية المختزنة في الوشاعة: $E_L = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \Phi I$

اختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يلي:

(1) وشيعة طولها $\ell = 10 \text{ cm}$ وطول سلكها $\ell' = 10 \text{ m}$ إن قيمة ذاتيتها:

- a) 10^{-4} H b) 10^{-5} H c) 10^{-3} H d) 10^{-7} H

(2) في تجربة السكتين التحريضية حيث الدارة مغلقة تكون القيمة المطلقة لشدة التيار المتحرض:

- a) BLv b) $\frac{BLv}{R}$ c) 0 d) $-\frac{BLv}{R}$

ثانياً: اعط تفسيراً علمياً لكل مما يلي:

1. لا يغلي الماء في اناء زجاجي يوضع على سطح طباخ الكتروني.

• اقترح طريقة لجعل الماء يغلي في الاناء الزجاجي.

2. في تجربة السكتين التحريضية تكون جهة القوة الكهرطيسية معاكسة لجهة حركة الساق.

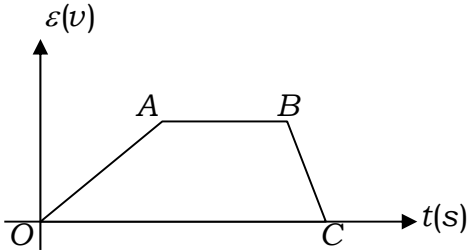
ثالثاً: ماذا تتوقع حدوثه في كل من الحالات الآتية معللاً اجابتك:

(1) في تجربة السكتين التحريضية حيث الدارة مغلقة نزيد سرعة تدحرج الساق على السكتين.

(2) تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من أحد وجهي وشيعة يتصل طرفاها ببعضها البعض.

(3) تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من أحد وجهي حلقة نحاسية دارتها مفتوحة.

رابعاً: أجب عن الأسئلة الآتية:



A- ملفان متقابلان الأول موصل إلى بيل كهربائي والثاني إلى

مصباح، هل يضيء المصباح إذا كان الملفان ساكنين؟ في حال

النفى ماذا نفعل ليضيء المصباح؟ ولماذا؟

B- في تجربة الساق المتحركة ضمن الحقل المغناطيسي المنتظم في دارة مفتوحة تتراكم الشحنات الموجبة في

طرف والشحنات السالبة في الطرف الآخر ويستمر ذلك التراكم إلى أن يصل إلى قيمة حدية يتوقف عندها.

فسر ذلك.

C- يبين الخط البياني المرسوم جانباً تغيرات تيار المولد المار في الوشيعة في حادثة التحريض الذاتي.

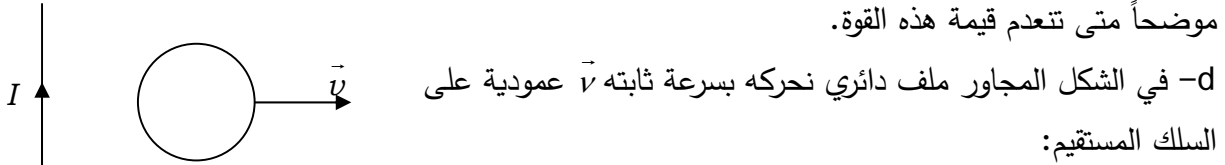
(1) ماذا تمثل كل من المراحل (BC, AB, OA) .

(2) أيهما أكبر القوة المحركة الكهربائية المتحرضة عند إغلاق الدارة أم عند فتحها.

(3) في أي المراحل تزداد الطاقة الكهروضوئية المختزنة في الوشعة واي المراحل تكون ثابتة، وفي أي المراحل تتناقص الطاقة الكهروضوئية المختزنة في ذاتية الوشعة.

c- وشعة يمر فيها تيار كهربائي متغير شدته i :

- (1) اكتب عبارة شدة الحقل المغناطيسي المتولد داخلها نتيجة مرور التيار.
- (2) اكتب عبارة التدفق المغناطيسي للحقل المغناطيسي.
- (3) استنتج العلاقة المحددة للقيمة الجبرية للقوة المحركة الكهربائية المتحيزة الآتية الذاتية المتحيزة فيها موضعاً متى تنعدم قيمة هذه القوة.



d- في الشكل المجاور ملف دائري نحركه بسرعة ثابتة \vec{v} عمودية على السلك المستقيم:

- المطلوب: 1- حدد على الرسم جهة الحقل المغناطيسي المتولد عن امرار التيار الكهربائي في السلك المستقيم عند مركز الملف الدائري.
- 2- جهة الحقل المغناطيسي المتحيز المتولد في الملف، وجهة التيار الكهربائي المتحيز.
- 3- صف ما يحدث إذا أوقفنا الملف عن الحركة، معللاً إجابتك؟

خامساً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

ملف دائري يتألف من 100 لفة متماثلة نصف قطره الوسطي 4cm نصل طرفيه بمقياس ميلي أمبير موصول على التسلسل مع مقاومة أومية قيمتها 20Ω ، نقرب من أحد وجهي الملف القطب الشمالي لمغناطيس مستقيم فتزداد شدة الحقل المغناطيسي الذي يخترق لفات الملف الدائري بانتظام من الصفر إلى 0.08 T خلال 2s المطلوب:

- (1) احسب قيمة القوة المحركة الكهربائية المتحيزة المتولدة في الملف الدائري محدداً جهة التيار الكهربائي المتحيز.
- (2) حدد جهة الوجه المقابل للقطب الشمالي.
- (3) احسب شدة التيار المارة في الملف.
- (4) احسب الاستطاعة الكهربائية المتولدة عن الملف الدائري ثم الاستطاعة الحرارية المصروفة في المقاومة الأومية ماذا تستنتج.

المسألة الثانية:

- (1) لدينا وشيعة طولها 30 cm قطرها 4 cm تحوي 1200 لفة نمرّر فيها تياراً شدته 4 A . احسب شدة الحقل المغناطيسي في مركز الوشيعة.
- (2) نلفُ حول القسم المتوسط من الوشيعة ملفاً يحوي 100 لفة معزولة ، ونصل طرفيه بمقياس غلفاني بحيث تكون المقاومة الكلية للدائرة الجديدة 16Ω . ما دلالة المقياس عند قطع التيار عن الوشيعة خلال 0.5 s تتناقص فيها الشدة بانتظام؟

المسألة الثالثة:

- في تجربة السكتين الكهرطيسية يبلغ طول الساق النحاسية المستندة عمودياً عليهما 30 cm وكتلتها 60 g ، المطلوب:
- (1) احسب شدة الحقل المغناطيسي المنتظم المؤثر عمودياً في السكتين لتكون شدة القوة الكهرطيسية مساوية مثلي ثقل الساق وذلك عند إمرار تيار كهربائي ، شدته 20 A .
 - (2) احسب عمل القوة الكهرطيسية المؤثرة في الساق إذا تدرجت بسرعة ثابتة قدرها 0.4 m.s^{-1} لمدة ثانيتين .
 - (3) نرفع المولّد من الدارة السابقة، ونستبدله بمقياس غلفاني ، ونخرج الساق بسرعة وسطية ثابتة 5 m.s^{-1} ضمن الحقل السابق. استنتج عبارة القوة المحركة الكهربائية المتحرّضة، ثم احسب قيمتها، واحسب شدة التيار المتحرّض بافتراض أنّ المقاومة الكلية للدائرة ثابتة وتساوي 5Ω ، ثم ارسم شكلاً توضيحياً يبين جهة كل من (\vec{v}, \vec{B}) ، وجهة التيار المتحرّض.
 - (4) احسب الاستطاعة الكهربائية الناتجة، ثم احسب شدة القوة الكهرطيسية المؤثرة في الساق أثناء تدرجها. $(g = 10\text{ m.s}^{-2})$

المسألة الرابعة: سكتان نحاسيتان متوازيتان تميل كل منهما على الأفق بزاوية 45° تستند إليهما ساق نحاسية طولها $\ell = 40\text{ cm}$ تخضع بكاملها لتأثير حقل مغناطيسي منتظم شاقولي شدته 0.8 T ، نغلق الدارة ثم نترك لتتزلق دون احتكاك بسرعة ثابتة قيمتها 2 m.s^{-1} ، المطلوب:

- (1) بيّن أنه تنشأ قوة كهرطيسية تعيق حركة الساق.
- (2) استنتج العلاقة المحددة للمقاومة الكلية للدائرة ثم احسب قيمتها إذا كانت شدة التيار المتحرّض المتولد فيها $\sqrt{2}\text{ A}$.
- (3) استنتج العلاقة المحددة لكتلة الساق ثم احسب قيمتها.

المسألة الخامسة: إطار مربع الشكل طول ضلعه 4 cm مؤلف من 100 لفة متماثلة من سلك نحاسي معزول ، ندير الإطار حول محور شاقولي مار من مركزه ومن ضلعين أفقيين متقابلين بحركة دائرية منتظمة تقابل $\frac{10}{\pi}$ Hz ضمن حقل مغناطيسي منتظم أفقي شدته 5×10^{-2} T خطوطه ناظميه على سطح الإطار قبل الدوران حيث الدارة مغلقة ومقاومتها $R = 4 \Omega$

- (1) اكتب التابع الزمني للقوة المحركة الكهربائية المتحرضة الآنية الناشئة في الإطار .
- (2) عين اللحظين الأولى والثانية التي تكون فيها قيمة القوة المحركة الكهربائية المتحرضة الآنية الناشئة معدومة.
- (3) اكتب التابع لشدة التيار الكهربائي المتحرض اللحظي المار في الإطار . (نهمل تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)

تفكير ناقد:

تعطى القوة المحركة الكهربائية المتحرضة الذاتية بالعلاقة:

$$\varepsilon = -L \frac{di}{dt}$$

ناقش علاقة ε في كل من الحالتين الآتيتين موضعاً جهة التيار المتحرض:

- A. عندما تزداد شدة التيار المحرض المار في الوشيلة.
- B. عندما تتناقص شدة التيار المحرض المار في الوشيلة.

ابحث أكثر:

- تستثمر تيارات فوكو في تطبيقات حياتية كثيرة ومتنوعة، ابحث في طريقة استخدام تيارات فوكو في مكابح بعض القطارات الحديثة وفي أجهزة المستخدمة للكشف عن المعادن في نقاط التفتيش الأمنية وخصوصاً المطارات.
- تستثمر بعض الطائرات التيارات الكهربائية المتحرضة في دارتها الكهربائية على إبقاء محركها في حالة عمل حتى لو حدث عطل في أي نظام كهربائي فيها، كيف يتم ذلك؟

الدارات المهتزة والتيارات عالية التواتر

الأهداف:

- يتعرّف الدارة المهتزة.
- يقوم بتجارب على الدارات المهتزة.
- يستنتج علاقات التفريغ المهتز.
- يتعرّف التيارات عالية التواتر: توليدها وخواصها وتطبيقاتها.

الكلمات المفتاحية

الدارة المهتزة، التفريغ المهتز، دور التفريغ، التيارات العالية التواتر، التيارات

المنخفضة التواتر



هل تساءلت يوماً لماذا لا تتأثر أجسامنا بأموّاج الإذاعة والتلفزيون؟

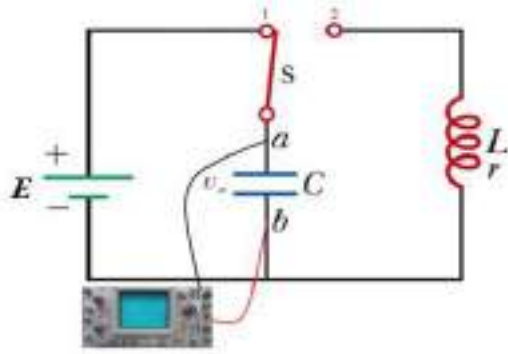
كيف يصل هذا الإرسال إلى الأماكن البعيدة؟

دائرة الاهتزاز الكهربائي

نشاط

• نَشكّل دائرة من مولّد قوته المحركة الكهربائية E ، ومكثفة سعته C ، ووشية ذاتيتها L ، ومقاومتها r صغيرة،

وقاطعة دَوّارة S ، كما في الشكل، ونصل لبوسي المكثفة براسم اهتزاز مهيّطي.



1- أفسّر ماذا يحدث للمكثفة عندما نصل القاطعة الدوّارة إلى الوضع (1)؟

2- أفسّر ماذا يحدث للمكثفة عندما نصل القاطعة الدوّارة إلى الوضع (2)؟

3- نصل مع الوشية وعلى التسلسل مقاومة متغيّرة، ونزيد تدريجياً قيمة المقاومة، ماذا يظهر على الشاشة؟ ولماذا؟

4- هل يمكن أن يظهر على الراسم منحنى جيبي، اقترح طريقة لتحقيق ذلك؟

النتائج:

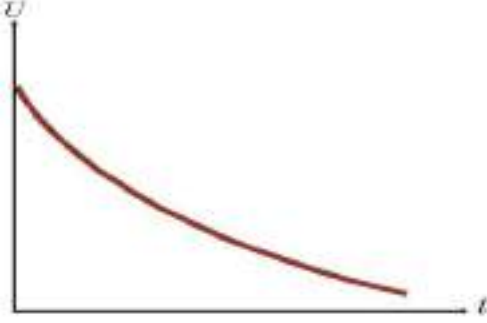
• تُشحن المكثفة عندما تلامس القاطعة الدوّارة الوضع (1) فتخترن طاقة كهربائية (تظهر بقعة ضوئية على شاشة الراسم).

• تتفرّغ شحنة المكثفة عبر الوشية، عندما تلامس القاطعة الوضع (2).

• يظهر على شاشة راسم الاهتزاز المنحني البياني للتوتر بين طرفي المكثفة بدلالة الزمن أثناء تفريغ شحنتها على شكل تفريغ دوري متناوب متخامد تتناقص فيه سعة الاهتزاز حتى تبلغ الصفر، لذا نقول إن الاهتزازات الحاصلة هي اهتزازات حرّة متخامدة لأنها لا تتلقى طاقة من المولّد.



- نسمي الدارة المؤلفة من مكثفة، ووشية ذات المقاومة الصغيرة بالدارة المهتزة الحرة المتخامدة والاهتزاز هنا للإلكترونات الحرة في الدارة والذي ينتج عن تغيّرات دورية في التوتر والتيار، ويكون زمن الاهتزاز T_0 ثابت وبما أنّ سعة الاهتزاز متناقصة لذلك نسمي هذا الزمن بشبه الدور.



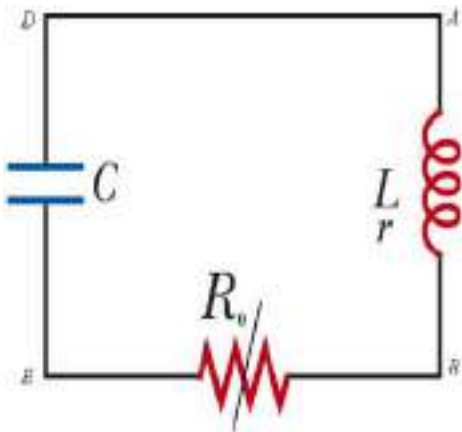
- عندما نصل مع الوشية في دارة الاهتزاز الكهربائي على التسلسل مقاومة متغيرة، نجد أنّه كلما زدنا قيمة المقاومة يصبح تخامد الاهتزاز أشد وإذا بلغت المقاومة قيمة كبيرة يظهر على شاشة الراسم المنحني البياني الموضّح في الشكل جانباً، حيث التفريغ لا دوري باتجاه واحد
- عندما يتم اضافة ثنائي قطب AM يحوي مولد ومقاومات ، حيث يعوّض في كل لحظة الطاقة المبدّدة، ويتصرف كمقاومة سالبة قابلة للضبط باستعمال راسم الاهتزاز فنحصل على اهتزازات مثالية غير متخامدة.

إحداً: في الدارة C, L, R :

1. المقاومة كبيرة بشكل كافٍ يكون التفريغ لا دوري باتجاه واحد.
2. المقاومة صغيرة يكون التفريغ دوري متخامد باتجاهين شبه الدور T_0 .
3. إذا أهملنا المقاومات أو عوّضنا عن الطاقات الضائعة يصبح التفريغ جيئاً سعة الاهتزاز فيه ثابتة ودوره الخاص T_0 وهذه حالة مثالية.

الدراسة التحليلية للدارة C, L, R

المعادلة التفاضلية للدارة:



نشكّل دارة كهربائية تحتوي على التسلسل وشية (L, r) ، ومكثفة مشحونة سعتها C ، ومقاومة R_0 كما في الشكل، اكتب عبارة التوتر بين طرفي كل جزء في الدارة، ثم استنتج المعادلة التي تصف اهتزاز الشحنة فيها؟

نختار اتجاهاً موجباً للتيار الكهربائي فيكون:

$$u_{AB} + u_{BE} + u_{ED} + u_{DA} = 0$$

ولكن: $u_{DA} = 0$ لإهمال مقاومة أسلاك التوصيل.

التوتر بين طرفي المكثفة: $u_{ED} = \frac{q}{C}$

التوتر بين طرفي المقاومة: $u_{BE} = R_0 i$

التوتر بين طرفي الوشعة: $u_{AB} = L (i)_t' + r i$

نعوض:

$$L (i)_t' + r i + R_0 i + \frac{q}{C} = 0$$

باعتبار:

$$R = R_0 + r , i = (q)_t'$$

نجد:

$$L (q)_t'' + R (q)_t' + \frac{1}{C} q = 0$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تصف اهتزاز الشحنة الكهربائية في دارة كهربائية تحتوي على C, L, R .

الاهتزازات الحرة في الدارة الكهربائية (L, C):

يمكن إيجاد المعادلة التفاضلية في دارة مهتزة (L, C) بتعويض $R = 0$ نجد:

$$L (q)_t'' + \frac{1}{C} q = 0$$

$$(q)_t'' = - \frac{1}{LC} q$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية بالنسبة لـ q تقبل حلاً جيبياً من الشكل:

$$q = q_{\max} \cos (\omega_0 t + \varphi)$$

حيث: q_{\max} : الشحنة العظمى للمكثفة.

ω_0 : النبض الخاص.

φ : الطور الابتدائي في اللحظة $t = 0$.

$(\omega_0 t + \varphi)$: طور الحركة في اللحظة t .

عبارة الدور الخاص للاهتزازات الحرة غير المتخامدة:

نشق تابع الشحنة مرتين بالنسبة للزمن نجد:

$$(q)_t' = -\omega_0 q_{\max} \sin (\omega_0 t + \varphi)$$

$$(q)_t'' = -\omega_0^2 q_{\max} \cos (\omega_0 t + \varphi)$$

$$(q)_t'' = -\omega_0^2 q$$

$$(q)_t'' = -\frac{1}{LC} q \quad \text{بالموازنة مع المعادلة:}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{نجد:}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad \text{ولكن:}$$

نعوض فنجد:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$$

وهي عبارة الدور الخاص للاهتزازات الكهربائية الحرة غير متخادمة وتسمى علاقة طومسون.

حيث:

T_0 دور الاهتزازات الكهربائية ويقدر بالثانية s في الجملة الدولية.

L ذاتية الوشيجة وتقدر بوحدة الهنري H في الجملة الدولية.

C سعة المكثفة وحدتها في الجملة الدولية الفاراد F.

عبارة شدة التيار الكهربائي في الدارة المهتزة:

تتألف دارة اهتزاز كهربائي من مكثفة مشحونة، ووشيجة مهملة المقاومة، نغلق الدارة. المطلوب:

- اكتب تابع الشحنة بشكله العام، وكيف يصبح تابع الشحنة، وتابع شدة التيار المار في الدارة باعتبار مبدأ الزمن لحظة إغلاق الدارة.

- ارسم المنحنيات البيانية لكل من الشحنة والشدة بدلالة الزمن، ماذا استنتج؟
يعطى تابع الشحنة بالعلاقة:

$$\bar{q} = q_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

بما أن مبدأ الزمن لحظة إغلاق الدارة فإن $\bar{\varphi} = 0$ وبالتالي:

$$\bar{q} = q_{\max} \cos \omega_0 t$$

وهو تابع الشحنة بشكله المختزل.

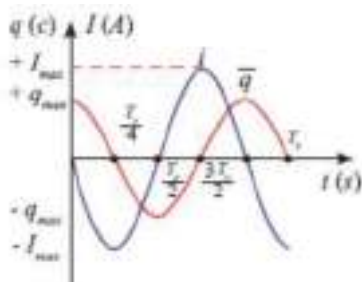
إن تابع الشدة هو مشتق تابع الشحنة بالنسبة للزمن، أي:

$$\bar{i} = (\bar{q})'_t$$

$$\bar{i} = -\omega_0 q_{\max} \sin \omega_0 t$$

$$\bar{i} = \omega_0 q_{\max} \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$$

$$\bar{i} = I_{\max} \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$$



وهو تابع شدة التيار.

بمقارنة تابع الشدة مع تابع الشحنة نلاحظ أنه على ترابع متقدم بالطور على تابع الشحنة.

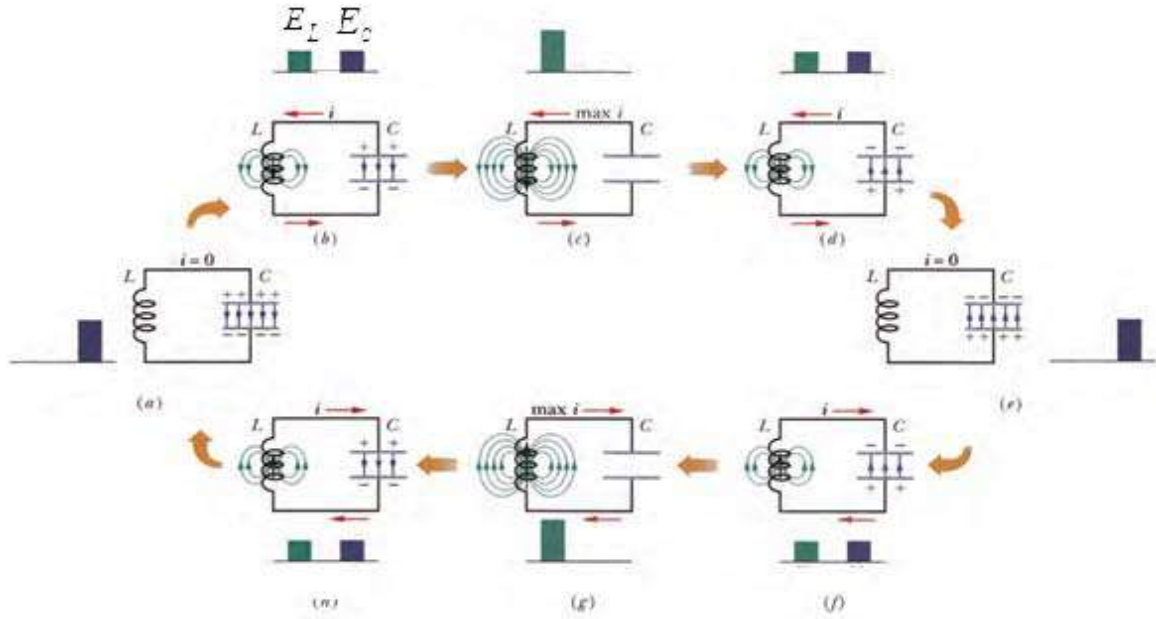
انظر إلى الرسم البياني للتابعين (الشحنة والشدة بدلالة الزمن) واستنتج:

- عندما تكون شحنة المكثفة عظمى تنعدم شدة التيار في الوشيلة.
- عندما تكون الشدة عظمى في الوشيلة تنعدم شحنة المكثفة.
- تابع الشدة على ترابع بالطور مع تابع الشحنة.

الطاقة في الدارة الكهربائية المهتزة

تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيلة

كيف يتم تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيلة في الدارة المهتزة؟



تبدأ المكثفة بتفريغ شحنتها في الوشيلة فيزداد تيار الوشيلة ببطء حتى يصل إلى قيمة عظمى نهاية ربع الدور الأول من التفريغ عندما تفقد المكثفة كامل شحنتها فتخزن الوشيلة طاقة كهربية

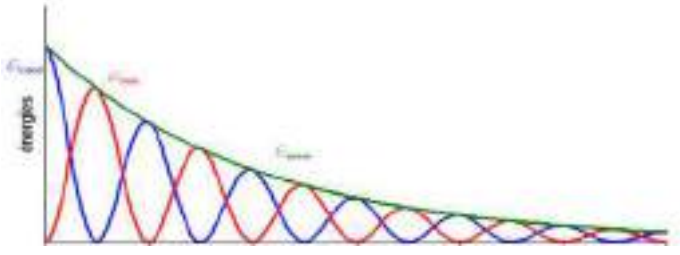
$$E_L = \frac{1}{2} L I_{\max}^2 \text{ عظمى}$$

ثم يقوم تيار الوشيلة بشحن المكثفة حتى يصبح تيارها معدوم وتصبح شحنة المكثفة عظمى

فتخزن المكثفة طاقة كهربية عظمى $E_C = \frac{1}{2} \frac{q_{\max}^2}{C}$ ، وهذا يتحقق في نهاية نصف الدور

الأول.

- أما في نصف الدور الثاني: تتكرر عمليتا الشحن والتفريغ في الاتجاه المعاكس نظراً لتغير شحنة اللبوسين، وهكذا يتم تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيلة.



• عندما تكون مقاومة الوشيعة صغيرة فإنّ الطاقة تتبدّد تدريجياً على شكل طاقة حرارية بفعل جول مما يؤدي إلى تخامد الاهتزاز.

• عند وجود مقاومة كبيرة في الدارة فإنّ الطاقة التي تعطيها المكثفة إلى الوشيعة والمقاومة تتحوّل إلى حرارة بفعل جول في المقاومة، ونسمي عندئذٍ التفريغ لا دوري حيث تتبدد طاقة المكثفة بالكامل دفعة واحدة أثناء تفريغ شحنتها الأولى عبر الوشيعة ومقاومة الدارة.

الطاقة الكلية في الدارة المهتزة (C ، L):

الطاقة الكلية في دارة مهتزة هي مجموع طاقة المكثفة وطاقة الوشيعة.

$$E_C = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} \quad \text{الطاقة الكهربائية المخزنة في المكثفة.}$$

$$E_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad \text{الطاقة الكهربائية المخزنة في الوشيعة.}$$

الطاقة الكلية في الدارة المهتزة تساوي مجموع هاتين الطائفتين أي: $E = E_C + E_L$

$$E = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} Li^2 \quad \text{نعوض}$$

$$\bar{q} = q_{\max} \cos(\omega_0 t) \quad \text{ولكن}$$

$$\bar{i} = -\omega_0 q_{\max} \sin(\omega_0 t)$$

$$E = \frac{1}{2} \frac{q_{\max}^2}{C} \sin^2(\omega_0 t) + \frac{1}{2} L \omega_0^2 q_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t) \quad \text{نعوض نجد:}$$

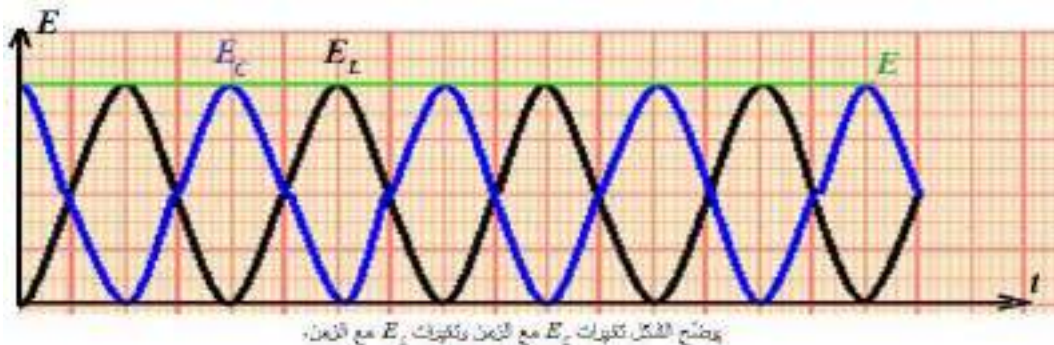
$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{ولكن:}$$

بالتعويض والاختصار نجد:

$$E = \frac{1}{2} \frac{q_{\max}^2}{C}$$

وبالطريقة نفسها نصل إلى العلاقة:

$$E = \frac{1}{2} LI_{\max}^2$$



إنّ الطاقة الكلية لدارة تحتوي مكثفة وذاتية صرف (ليس لها مقاومة) ثابتة تساوي طاقة المكثفة المشحونة العظمى وكذلك تساوي طاقة الوشيعية العظمى، أي أنّه في دارة مهتزة (L, C) في أثناء التفريغ تتحوّل الطاقة بشكل دوري من طاقة كهربائية في المكثفة إلى طاقة كهروطيسية في الوشيعية وبالعكس، ولكن المجموع $E = E_C + E_L$ يبقى ثابتاً.

نتيجة:

الطاقة الكلية لدارة المهتزة (L, C) مقدار ثابت في كل لحظة وتمثّل بخط مستقيم يوازي محور الزمن.

مسألة محلولة:

نشحن مكثفة سعتها $C = 1 \mu F$ تحت توتر كهربائي $U_{ab} = 100 \text{ V}$ ثم نصلها في اللحظة

$t = 0$ بين طرفي وشيعة ذاتيتها $L = 10^{-3} \text{ H}$ ومقاومتها مهملة. المطلوب حساب:

- 1- الشحنة الكهربائية q_{\max} للمكثفة والطاقة الكهربائية المخزنة فيها عند اللحظة $t = 0$.
- 2- تواتر الاهتزازات الكهربائية المارة فيها.
- 3- شدة التيار الأعظمي I_{\max} المار في الدارة.

الحل:

1. حساب الشحنة الكهربائية العظمى:

$$q_{\max} = C U_{\max}$$

$$q_{\max} = 1 \times 10^{-6} \times 100$$

$$q_{\max} = 1 \times 10^{-4} \text{ C}$$

2. حساب الطاقة الكهربائية المخزنة:

$$E = \frac{1}{2} C U_{\max}^2$$

$$E = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-6} \times (100)^2$$

$$E = 5 \times 10^{-3} \text{ J}$$

3. حساب f_0 :

$$T_0 = 2 \pi \sqrt{LC}$$

$$T_0 = 2 \pi \sqrt{10^{-3} \times 1 \times 10^{-6}}$$

$$T_0 \approx 2 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2 \times 10^{-4}} = 5000 \text{ Hz}$$

4. حساب شدة التيار الأعظمي:

من التابع الزمني للشدة اللحظية:

$$\bar{i} = \omega_0 q_{\max} \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$I_{\max} = \omega_0 q_{\max}$$

$$I_{\max} = 2\pi f_0 q_{\max}$$

$$I_{\max} = 2\pi \times 5000 \times 10^{-4}$$

$$I_{\max} = \pi \text{ A}$$

التيارات عالية التواتر:

تتألف دائرة اهتزاز كهربائي عالية التواتر من مكثفة سعتها صغيرة من رتبة 10^{-8} F موصولة مع وشيعة مهملة المقاومة ذاتيتها صغيرة من رتبة 10^{-4} H :
احسب دور التفريغ وتواتره، ماذا نسمي التيار الموافق لهذا التواتر؟

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC} = 2\pi \sqrt{10^{-8} \times 10^{-4}}$$

$$T_0 = 2\pi \times 10^{-6} \text{ s}$$

$$f_0 = \frac{1}{T_0}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \times 10^{-6}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \times 10^6 \text{ H}$$

نحصل على تيار عالي التواتر.

خصائص التيارات عالية التواتر:

1- تبدي الوشيعة ممانعة كبيرة للتيارات عالية التواتر:

عند إمرار تيار عالي التواتر في دائرة وشيعة، فإنّ الوشيعة تبدي ممانعة كبيرة لهذا التيار. تُعطى العلاقة التي تمثل ممانعة الوشيعة بالشكل:

$$Z_L = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$$

فإذا كانت r مهملة تؤول الممانعة إلى رديّة الوشيعة:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

إنّ الممانعة تتناسبُ طردياً مع تواتر التيار، وفي حالة التيارات عالية التواتر فإنّ ممانعة الوشيعة تكون كبيرة جداً.

النتيجة

تبدي الوشيعة ممانعة كبيرة جداً للتيارات عالية التواتر فيمرّ فيها تيار شدته المنتجة ضعيفة جداً.

2- تُبدي المكثفة ممانعة صغيرة للتيارات عالية التواتر:

تُعطى العلاقة التي تمثل ممانعة المكثفة (الاتساعية) بالشكل:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

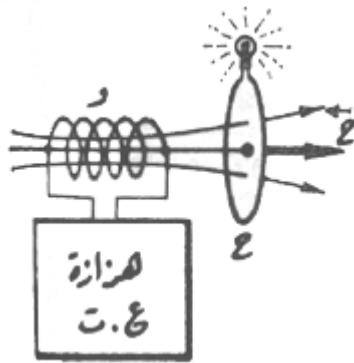
إنّ الممانعة تتناسب عكساً مع تواتر التيار فهي صغيرة جداً في التيارات عالية التواتر لذلك تُبدي المكثفة سهولة لمرور هذه التيارات.

النتيجة

تبدي المكثفة ممانعة صغيرة جداً للتيارات عالية التواتر فيمرّ فيها تيار شدته المنتجة كبيرة.

3- الآثار التحريضية للتيارات عالية التواتر:

(A) تولد قوة محركية تحريضية في دارة مجاورة:



اضع حلقة ناقلة تحوي مصباحاً صغيراً بالقرب من وشيعة دارة مهتزة مغلقة حسب الشكل المجاور بحيث يكون سطحها موازياً لحلقات الوشيعة، ماذا ا شاهد، افسر ذلك؟ لاحظ توهج المصباح.

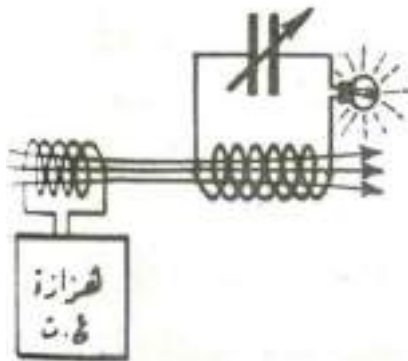
نعل ذلك: بأن تياراً عالي التواتر قد سبب في الحلقة تغيراً في التدفق يولد قوة محركية تحريضية تعمل على إضاءة المصباح.

ولحماية الأجهزة الكهربائية الأخرى وجسم الإنسان من تأثير التيارات

الكهربائية عالية تواتر يتم عن طريق تحجيب الدارات الكهربائية عالية التواتر باستخدام قفص فراادي.

يزداد الأثر التحريضي لهذه التيارات بزيادة تواترها.

(B) التجاوب مع الدارات المهتزة المجاورة (الاقتزان):



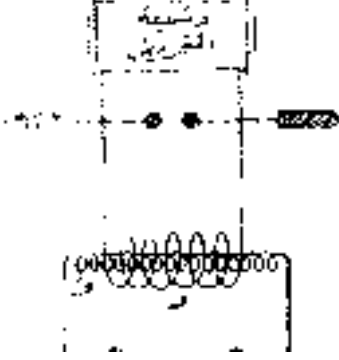
نؤلف دارة مهتزة مغذاه دورها T_0 ونضع بجوارها دارة مهتزة مغلقة أخرى تحوي مكثفة متغيرة السعة مصباحاً صغيراً بحيث يكون محور وشيعتها منطبقاً على محور وشيعة الدارة المهتزة حسب الشكل نغير من سعة المكثفة حتى يضيء المصباح إضاءة عظمى

كيف افسر ذلك ، اقترح طريقة توافق مرور اكبر شدة للتيار؟

بسبب حدوث تجاوب كهربائي حاد بين الدارتين ونقول أنّ الدارتين مقرونتان بالوشيعة.

إنّ إضاءة المصباح تتغيّر إذا تغيّر الوضع النسبي للدائرتين وتكون إضاءة المصباح أشدّ ما يمكن إذا أحاطت إحدى الوشيعتين بالأخرى حيث يمرّ تيار بشدّة منتجة أكبر ما يمكن.

(C) محولة تسلا (الحصول على تيار عالي التواتر والتوتر):



اركّب دائرة مهتزة كما في الشكل تتألف من وشيعة عدد لفاتها قليل ذاتيتها L تحيط بوشيعة أخرى عدد لفاتها كبير لهما المحور نفسه، هل تعمل الوشيعتان عمل محولة ما نوعها؟

تعمل الوشيعتان عمل محولة رافعة للتوتر لا تغيّر تواتر التيار الذي يجتاها، وبذلك نحصل على فرق كمون كبير جداً تواتره كبير أيضاً بين طرفي الوشيعة.

يسمى الجهاز محولة تسلا وهو منبع لتيار عالي التواتر والتوتر.

من آثاره أنه يولّد بين طرفي الوشيعة (A, B) حقلاً كهربائياً شديداً يسبب خفقان شرارات كهربائية بينهما أو يضيء مصباح نيون لا يلامسهما يوضع بجوار إحداها.

(D) الظاهرة الجلدية:

نأخذ صفيحة رقيقة من النيكل، نممر فيها تياراً متواصلاً مناسباً ماذا لاحظ ؟

يتوهج سطحها بشكل متساوي وبأكملها تقريباً أما أطرافها فتظهر أقل توهجاً.

نمرر تياراً متناوباً عالي التواتر مثلاً (10^7) هرتز وذا شدّة ملائمة، ماذا لاحظ ؟ أن توهج أطرافها أكبر بكثير من سطحها.

التفسير:

إن للتيارات عالية التواتر أثراً تحريضياً ذاتياً على الأسلاك التي تجتاها إذ أن الحقل المغناطيسي المتغير الناشئ عنها في مادة السلك يولد قوى محرّكة تحريضية ذاتية تعاكس التيار عالي التواتر فلا تتحرك إلا الإلكترونات السطحية وبالتالي يصغر السطح المفيد من مقطع السلك فتزداد مقاومته وتسمى هذه الظاهرة بالظاهرة الجلدية.

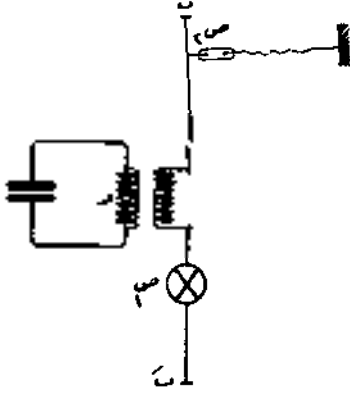
إنّ الظاهرة الجلدية لا تحدث للتيارات المنخفضة التواتر إلا إذا كانت مقاطع الأسلاك كبيرة.

4- التأثير الفيزيولوجي للتيارات عالية التواتر:

إنّ عضلات الإنسان لا تتأثر إلا بتغيرات الشدة ولا تستجيب لهذه التغيرات إلا بتأخر زمني قصير من رتبة $10^{-3} s$ ، $10^{-4} s$ فالأعصاب الحسية والحركية لا تتأثر بالاهتزازات الكهربائية إذا تجاوز تواترها 30000 هرتز مهما يكن توترها.

5- انتشار التيارات عالية التواتر عبر النواقل:

(A) حالة دائرة مفتوحة:



نولد اهتزازاً كهربائياً عالي التواتر بواسطة دائرة مهتزة حسب الشكل فيتولد تيارٌ عالي التواتر في ناقل مستقيم معزول في نهايته فإن الاهتزاز الإلكتروني فيه ينتشر لينعكس حين يبلغ إحدى النهايتين بسبب أن الإلكترونات الحرة لا تستطيع الخروج إلى العازل وترتد الموجة المنعكسة مع تغير في الجهة وتتداخل مع الموجة الواردة وتكون جملة أمواج مستقرة إذا كان طول الناقل ملائماً.

استنتج: يمكن للتيارات عالية التواتر أن تنتشر في الدارات ولو كانت مفتوحة

تعلمت

- نسمي الدارة المؤلفة من مكثفة، ووشية ذات المقاومة الصغيرة بالدارة المهتزة الحرة المتخامدة والاهتزاز هنا للإلكترونات الحرة في الدارة والذي ينتج عن تغيّرات دورية في التوتر والتيار، ويكون زمن الاهتزاز T_0 ثابت وبما أنّ سعة الاهتزاز متناقصة لذلك نسمي هذا الزمن بشبه الدور.

في الدارة R , L , C :

4. المقاومة كبيرة بشكل كافٍ يكون التفريغ لا دوري باتجاه واحد.
5. المقاومة صغيرة يكون التفريغ دوري متخامد باتجاهين شبه الدور T_0 .
6. إذا أهملنا المقاومات أو عوّضنا عن الطاقات الضائعة يصبح التفريغ جيبيّاً سعة الاهتزاز فيه ثابتة ودوره الخاص T_0 وهذه حالة مثالية.
- عبارة الدور الخاص للاهتزازات الكهربائية الحرة غير متخامدة وتسمى علاقة طومسون

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$$

الطاقة الكلية في الدارة المهتزة (L , C):

$$E = \frac{1}{2} \frac{q_{\max}^2}{C}$$

$$E = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$$

- تبدي الوشية ممانعة كبيرة جداً للتيارات عالية التواتر فيمُرُّ فيها تيار شدته المنتجة ضعيفة جداً.
- تبدي المكثفة ممانعة صغيرة جداً للتيارات عالية التواتر فيمُرُّ فيها تيار شدته المنتجة كبيرة

أختبر نفسي

السؤال الأول:

اختر الإجابة الصحيحة:

1 تتألف دائرة مهتزة من مكثفة سعتها C ووشية ذاتيتها L دورها الخاص T_0 استبدلنا المكثفة C

بمكثفة أخرى سعتها $C' = 2C$ يصبح دورها الخاص T_0' فتكون العلاقة بين الدورين:

$$T_0' = \sqrt{2} T_0 \quad (A) \quad T_0 = \sqrt{2} T_0' \quad (B)$$

$$T_0' = 2T_0 \quad (D) \quad T_0 = 2T_0' \quad (C)$$

2 تتألف دائرة مهتزة من مكثفة سعتها C وذاتية L وتواترها الخاص f_0 نستبدل الذاتية بذاتية

أخرى بحيث $L' = 2L$ والمكثفة بمكثفة أخرى سعتها $C' = \frac{C}{2}$ فيصبح تواترها الخاص

$$f_0' = f_0 \quad (A) \quad f_0' = 2f_0 \quad (B)$$

$$f_0' = \frac{1}{2}f_0 \quad (C) \quad f_0' = \frac{1}{4}f_0 \quad (D)$$

السؤال الثالث:

اعط تفسيراً علمياً مع كتابة العلاقات المناسبة عند اللزوم:

- يتم نقل التيارات عالية التواتر بواسطة كابلات خاصة ذات مقاطع كبيرة للأسلاك
- تبدي المكثفة ممانعة كبيرة للتيارات منخفضة التواتر
- تبدي الوشية ممانعة كبيرة للتيارات عالية التواتر
- تستخدم دائرة تحوي على التفرع مكثفة ووشية لفصل التيارات عالية التواتر عن منخفضة

التواتر

السؤال الثاني:

أجب عن الأسئلة الآتية:

- 1- تتألف دائرة من مقاومة أومية ومكثفة فهل يمكن اعتبارها دائرة مهتزة؟ ولماذا؟
- 2- متى يكون توزيع المكثفة في وشية لا دورياً؟ ولماذا؟
- 3- استنتج أن طاقة دائرة (L, C) مقدار ثابت في كل لحظة مع رسم الخطوط البيانية.
- 4- كيف يتم تبادل الطاقة بين المكثفة والوشية في دائرة مهتزة خلال دور واحد؟
- 5- لماذا تنقص الطاقة الكلية في دائرة مهتزة تحوي (مقاومة ذاتية، مكثفة) في أثناء التفريغ؟
- 6- اكتب التابع الزمني للشحنة اللحظية معتبراً مبدأ الزمن عندما تكون $\phi = 0$ ثم استنتج عبارة الشدة اللحظية ووازن بينهما من حيث الطور.

السؤال الثالث: حل المسائل الآتية:

مسألة (1):

تتألف دائرة مهتزة من:

- 1- مكثفة إذا طبق بين لبوسيهما فرق كمون $50V$ شحن كل من لبوسيهما $0.5 \mu C$.
 - 2- وشيعة طولها 10 cm وطول سلكها 16 m بطبقة واحدة مقاومتها مهملة.
- (a) احسب تواتر الاهتزازات الكهربائية المار فيها.
- (b) احسب شدة التيار الأعظمي المار في الدارة.

مسألة (2):

نريد أن نحقق دائرة مهتزة مفتوحة طول موجة الاهتزاز الذي تشعه 200 m فنؤلفها من ذاتية قيمتها $0,1 \mu H$ ومن مكثفة متغيرة السعة.

احسب سعة المكثفة اللازمة لذلك علماً أن سرعة انتشار الاهتزاز

$$3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$C = 0,113 \mu F$$

مسألة (3):

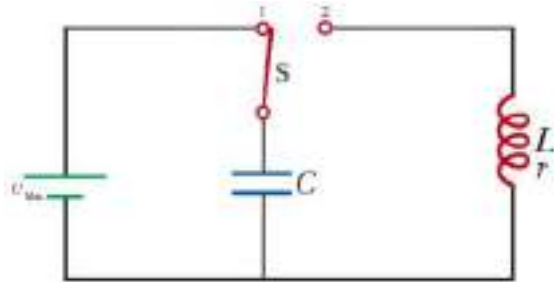
نكوّن دائرة كما في الشكل والمؤلفة من:

(A) مكثفة سعتها $C = 2 \times 10^{-5} \text{ F}$.

(B) وشيعة مقاومتها $r = \Omega$ وذاتيتها $L = \text{H}$.

(C) مولد يعطي توتراً ثابتاً قيمته $U_{\max} = 6 \text{ V}$.

(D) قاطعة.



(A) نغلق القاطعة في الوضع (1) لنشحن المكثفة.

احسب الشحنة المخزنة في المكثفة عند نهاية الشحن.

(B) نغلق القاطعة في الوضع (2).

1- فسر ما يحدث في الدارة.

مسألة (4):

مكثفة سعتها $C = 33 \mu F$ تشحن بواسطة مولد تيار متواصل فرق الكمون بين طرفيه

$$U_{\max} = 10 \text{ V} \text{ ومقاومته مهملة.}$$

(1) احسب شحنة المكثفة والطاقة المخزنة فيها.

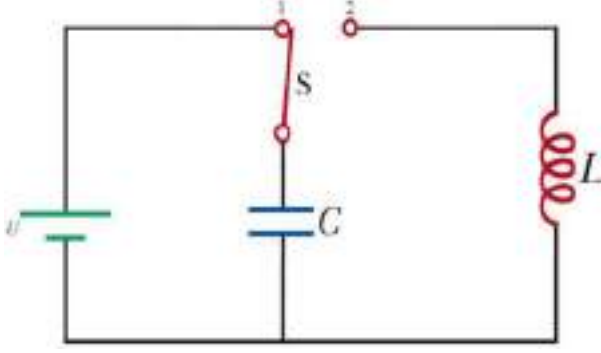
(2) بعد شحن المكثفة توصل بوشيعة ذاتيتها $L = 12 \text{ mH}$ ، مقاومتها الأومية مهملة. المطلوب:

(a) فسر ما يحدث.

(b) حساب تواتر الاهتزازات الكهربائية.

(c) اكتب التابع الزمني لكل من الشحنة وشدة التيار بدءاً من الشكل العام معتبراً مبدأ الزمن لحظة وصل المكثفة المشحونة بالوشية.

مسألة (5):



1 نركب الدارة الموضحة بالشكل حيث

$$u = 10^3 V \quad C = 10^{-12} F \quad L = 10^{-3} H$$

نصل القاطعة إلى الوضع (1) احسب القيمة العظمى لشحنة المكثفة.

2- نحول القاطعة إلى الوضع (2) احسب تواتر التيار المهتز المار من الوشية ونبضه واكتب التابع الزمني للشدة اللحظية.

تفكير ناقد

لا تحدث الظاهرة الجلية للتيارات منخفضة التواتر الا اذا كانت مقاطع الاسلاك كبيرة

أبحث أكثر

في دارة مهتزة نحصل على الحالة المثالية عملياً بإضافة ثنائي قطب يعوض في كل لحظة الطاقة المبددة. أبحث في مكونات ثنائي القطب اللازم وموضحاً مفهوم الحالة الحرجة.

التيار المتناوب الجيبي

Sinusoidal Alternating Current

الأهداف:

- يعرّف التيار المتناوب.
- يفسّر التيار المتناوب إلكترونياً.
- يشرح مبدأ توليد التيار المتناوب.
- يصف بتجربة بسيطة آثار التيار المتناوب.
- يعرّف الاستطاعة في التيار المتناوب.
- يستنتج عامل الاستطاعة في التيار المتناوب.
- يشرح قوانين أوم.
- يطبق إنشاء فريزل.
- يصمّم دارات كهربائية.
- يتعرّف الرنين الكهربائي.

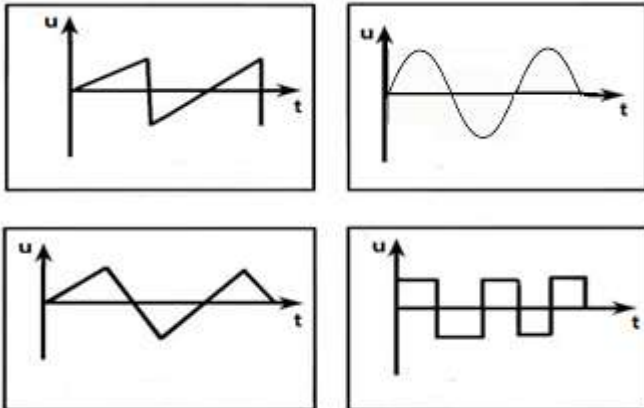


توجد طريقتان لتغذية الأجهزة بالطاقة الكهربائية تعتمد إحداها على أجهزة الشحن والبطاريات (تيار متواصل DC)، والأخرى شبكة تيار المدينة (تيار متناوب AC) التي تغذي المنازل والمعامل، وغيرها. نستخدم التيار المتناوب في كثير من جوانب حياتنا، حيث يستخدم في إضاءة المنازل، وتشغيل الأجهزة الحديثة، والمصانع، وغير ذلك، فما هو التيار المتناوب؟ وما أنواعه؟

الكلمات المفتاحية:

التوتر اللحظي، التوتر الأعظمي، التوتر المنتج، الشدة اللحظية، الشدة العظمى، الشدة المنتجة، الاستطاعة المتوسطة، الطنين الكهربائي.

الاحظ واستنتج:



تمثّل الأشكال البيانية المرسومة جانباً تغيّرات توتر التيار مع الزمن:

- هل تتغيّر قيمة توتر التيار ثابت، أم تبقى ثابتة؟
- هل تتغيّر جهة التيار، أم تبقى ثابتة؟
- ما شكل تغيّر التوتر في كل منها؟

النتائج

- التيار المتناوب هو التيار الذي تتغير شدته وجهته مع الزمن.
- للتيار المتناوب أنواع عدة منها التيار المتناوب الجيبي، والتيار المتناوب المنشاري، والتيار المتناوب المثلثي، والتيار المتناوب الرباعي.

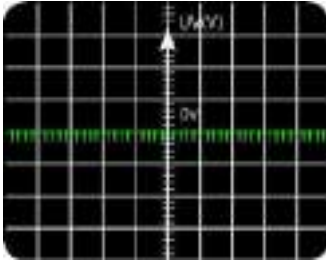
مقارنة بين التيار المستمر والتيار المتناوب الجيبي بواسطة راسم الاهتزاز الإلكتروني

أجرب وأستنتج

أدوات التجربة

وحدة تغذية، جهاز راسم الاهتزاز المهبطي (oscilloscope)، وشيعة، مغناطيس مستقيم.

• تجربة (1)



1. أصل راسم الاهتزاز إلى منبع كهربائي، وألاحظ الإشارة على الشاشة، وأضبطها على الخط الأفقي المنصف للشاشة لاختيار مبدأ لقياس التوترات.
2. أضبط حساسية المدخل (1) في الوضع $2V / diV$ (سلم التوترات $2V$ لكل تدريج على الشاشة).
3. أضبط قاعدة الزمن في الوضع $1ms / diV$ (سلم الأزمن $1ms$ لكل تدريج).
4. أضبط وحدة التغذية على وضعية DC ، وعلى القيمة $6V$ ، وأصلها في المدخل (1) لراسم الاهتزاز، وألاحظ شكل الإشارة على الشاشة، وأقرأ قيمة التوتر.
5. أصل مقياس فولط بين طرفي وحدة التغذية، وأقرأ قيمة التوتر.
6. أقارن بين قيمتي التوتر المقروءتين، ماذا ألاحظ؟

• تجربة (2)

1. أضبط وحدة التغذية على وضعية AC ، وعلى القيمة $6V$ ، وأصلها في المدخل (1) لراسم الاهتزاز، وألاحظ شكل الإشارة على الشاشة، وأقرأ قيمة التوتر.
2. أصل مقياس فولط بين طرفي وحدة التغذية، وأقرأ قيمة التوتر.
3. أقارن بين قيمتي التوتر المقروءتين، ماذا ألاحظ؟

• تجربة (3)

1. أشغل راسم الاهتزاز وأضبط الإشارة على الخط الأفقي المنصف للشاشة.
2. أختار إشارة التيار المتناوب AC في مولد الإشارة.
3. أضبط زر التواتر عند $100Hz$ مثلاً، ثم أصله براسم الاهتزاز المهبطي.
4. أغير قيمة التوتر حتى أحصل على أكبر سعة ممكنة على الشاشة، وأسجل قيمة V .

5. أضبط زر الزمن لأحصل على إشارة تتكرر عدة مرات، وأسجل قيمة الزمن.

6. أحدد القيمتين الحديتين للتوتر، هل لهما القيمة نفسها، ماذا أسمى هذه القيمة؟

7. أحدد قيمة دور التيار، وأحسب التواتر والنبض؟



النتائج

- التيار المستمر تيار ثابت الشدة والجهة مع الزمن.
- التيار المتناوب الجيبي تيار تتغير فيه الشدة، والتوتر جيبياً مع الزمن.

تابع الشدة اللحظية، وتابع التوتر اللحظي

مرّ معنا أنّ القوة المحركة الكهربائية المتحيزة المتناوبة الجيبيّة تعطي بالعلاقة:

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon_{\max} \sin \omega t \dots\dots\dots (1)$$

التوتر المتناوب الجيبي يساوي تقريباً القوة المحركة الكهربائية في كل لحظة، لذا سنستخدم التوتر بدلاً من القوة المحركة الكهربائية. ويمكن أن نكتب

❖ تابع الشدة اللحظية:

$$\bar{i} = I_{\max} \cos(\omega t + \overline{\varphi_1}) \dots\dots\dots (2)$$

تمثّل $\overline{\varphi_1}$ طور الابتدائي لشدة التيار.

❖ تابع التوتر اللحظي:

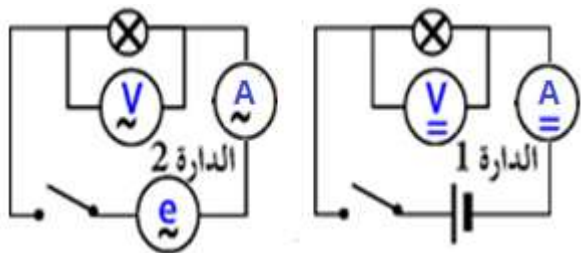
$$\bar{u} = U_{\max} \cos(\omega t + \overline{\varphi_2}) \dots\dots\dots (3)$$

تمثّل $\overline{\varphi_2}$ طور الابتدائي للتوتر.

❖ $\overline{\varphi} = \overline{\varphi_2} - \overline{\varphi_1}$ تمثّل فرق الطور بين الشدة والتوتر، ويتغير بتغير مكونات الدارة.

القيم المنتجة (الفعالة)

أجرب وأستنتج



1. أحقق الدارتين الكهربائيتين الممثلتين في الشكل، حيث الدارتين متماثلتين، الدارة الأولى مغذاة بمولد تيار مستمر، والثانية بمولد تيار متناوب جيبي.

2. أغير قيمة توتر المولد المتناوب حتى ألاحظ تماثلاً في توهج المصابيح. حيث يشير مقياس الأمبير للقيمة ذاتها

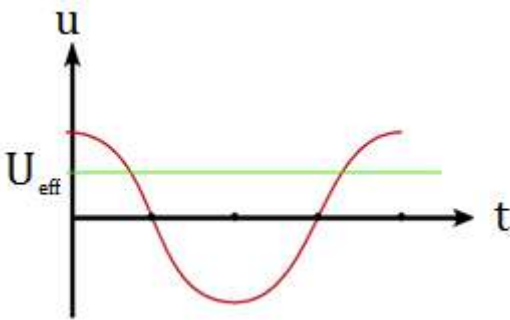
3. أقرن قيمة التوتر التي يعطيها مقياس الفولط في كلا الدارتين، ماذا ألاحظ؟
4. أصل طرفي مصباح الدارة (2) في مدخل راسم الاهتزاز المهبطي، وأضبط الجهاز للحصول على إشارة واضحة على الشاشة.
5. أعيّن القيمة العظمى لإشارة التوتر U_{max} ، وأقرنها مع القيمة المقروءة على مقياس الفولط . وأحسب النسبة بينهما.

النتائج

- تسمى قيمة شدة التيار المتناوب الجيبي التي يقيسها مقياس الأمبير الحراري في دائرة التيار المتناوب بالشدة المنتجة أو الفعّالة ويرمز لها I_{eff} .
- الشدة المنتجة للتيار المتناوب الجيبي: هي شدة تيار متوصل يعطي الطاقة الحرارية نفسها التي يعطيها التيار المتناوب الجيبي عند مرورهما في الناقل الأومي نفسه خلال الزمن نفسه

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

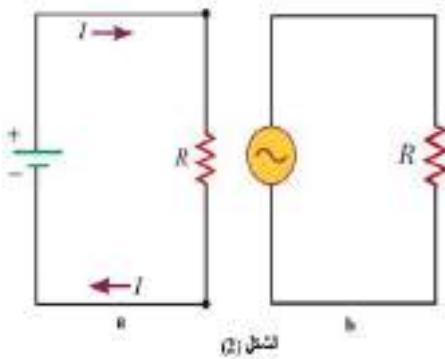
- تسمى قيمة التوتر المتناوب الجيبي التي يقيسها مقياس الفولط في دائرة التيار المتناوب بالتوتر المنتج، أو الفعّال ويرمز لها U_{eff} .
- التوتر المنتج للتيار المتناوب الجيبي يكافئ التوتر المستمر الذي يقدم الطاقة نفسها التي يقدمها التوتر المتناوب الجيبي في الناقل الأومي نفسه خلال الزمن نفسه والتي تصرف بشكل حراري.
- يرتبط التوتر الاعظمي لتيار متناوب جيبي بالتوتر المنتج (الفعّال) بالعلاقة:



$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

التفسير الإلكتروني للتيار الكهربائي وإمكانية تطبيق قوانين أوم على دارات التيار المتناوب

يمثل الشكلين (2.a)، (2.b) رسماً تخطيطياً لدائرتي تيار متواصل وآخر متناوب.



ينشأ التيار المتواصل من حركة الإلكترونات الحرة بحيث تكون الحركة الإجمالية وفق اتجاه واحد، من الكمون المنخفض إلى الكمون المرتفع بسبب وجود حقل كهربائي ناتج عن التوتر المطبق.

ينشأ التيار المتناوب من الحركة الاهتزازية للإلكترونات الحرة حول مواضع وسطية بسعة صغيرة من مرتبة الميكرو متر، ويكون تواتر هذه الحركة مساوٍ لتواتر التيار، وتنتج الحركة الاهتزازية للإلكترونات عن الحقل الكهربائي المتغير

بالقيمة والاتجاه والذي ينتشر بسرعة الضوء بجوار الناقل، وينتج هذا التغير في الحقل الكهربائي، من تغير قيمة وإشارة التوتر (فرق الكمون) بين قطبي المنبع الكهربائي.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

حيث: c سرعة انتشار الضوء في الخلاء، f : تواتر (تردد) التيار.

فمن أجل تيار المدينة الذي تواتره في معظم دول العالم هو $f = 50 \text{ Hz}$ ، نجد أن

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6 \times 10^6 \text{ m}$$

الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، فإذا أخذنا دائرة أبعادها من رتبة عدة أمتار نجد أن الإلكترونات تتحرك بالاتجاه نفسه في كامل الدائرة في لحظة ما ويجتاز مقطع السلك العدد نفسه من الإلكترونات في كل نقاط الدائرة وهذا ما يسمح بتطبيق قوانين أوم في التيار المتواصل على دائرة التيار المتناوب في كل لحظة عندما يتحقق الشرطان الآتيان:

1- الدائرة قصيرة بالنسبة لطول الموجة.

2- تواتر التيار المتناوب الجيبي صغير.

تهتز الإلكترونات في الدائرة بالنابض الذي يفرضه المولد، والذي يختلف عن النبض الخاص، لذلك تسمى الاهتزازات الكهربائية الحاصلة بالاهتزازات القسرية، ويشكل المولد فيها جملة محرصة وبقية الدائرة جملة مجاوبة.

مصطلحات التيار المتناوب

التيار المتناوب	القيمة
u	التوتر اللحظي
U_{eff}	التوتر المنتج
U_{max}	التوتر الأعظمي
i	الشدة اللحظية
I_{eff}	الشدة المنتجة
I_{max}	الشدة الأعظمية

الاستطاعات في التيار المتناوب الجيبي

وجدنا أن للتيار المتناوب شدات، وتوترات لحظية، وأعظمية، ومنتجة، فما هي أنواع الاستطاعة في التيار المتناوب ؟

1. الاستطاعة اللحظية:

تعرف الاستطاعة اللحظية P للتيار المتناوب الجيبي بأنها جداء التوتر اللحظي u ، في الشدة اللحظية للتيار i ويعطى بالعلاقة:

$$P = u i$$

- هل تكون الاستطاعة اللحظية ثابتة أم متغيرة ؟ ولماذا؟

- تتغير هذه الاستطاعة من لحظة إلى أخرى تبعاً لتغيرات كل من i و u مع الزمن.

2. الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في دارة

تعرف الاستطاعة المتوسطة بأنها الاستطاعة الثابتة التي تقدم في الزمن t الطاقة الكهربائية E نفسها التي يقدمها التيار المتناوب الجيبي للدارة، وهي معدل الطاقة الكهربائية المقدمة نتيجة مرور التيار المتناوب خلال الزمن t وتعطى بالعلاقة:

$$P_{avg} = I_{eff} U_{eff} \cos \varphi$$

حيث: φ هو فرق الطور بين الشدة اللحظية والتوتر اللحظي للتيار.

3. الاستطاعة الظاهرية (المؤثرة)، وعامل الاستطاعة

اصطلح على تسمية جداء التوتر المنتج U_{eff} في الشدة المنتجة I_{eff} للتيار المتناوب الجيبي بالاستطاعة الظاهرية (المؤثرة) P_A ، وهي تمثل أكبر قيمة للاستطاعة المتوسطة. عندما:

$$\overline{\varphi} = 0 \Rightarrow \cos \overline{\varphi} = 1 \Rightarrow$$

$$P_A = I_{eff} U_{eff}$$

استنتج العلاقة بين الاستطاعة المتوسطة، والاستطاعة الظاهرية؟

نسعى المعامل $\cos \overline{\varphi}$ بعامل الاستطاعة وهو النسبة بين الاستطاعة المتوسطة P_{avg} والاستطاعة الظاهرية P_A .

$$\text{عامل الاستطاعة} = \frac{P_{avg}}{P_A} = \frac{I_{eff} U_{eff} \cos \varphi}{I_{eff} U_{eff}} = \cos \varphi$$

تذكر

أنّ الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في جملة ثنائي قطب موصولين على التسلسل أو على التفرع تساوي مجموع الاستطاعتين المستهلكتين في ثنائي القطب أي:

$$P_{avg} = P_{avg 1} + P_{avg 2}$$

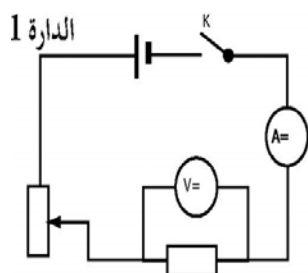
قانون أوم

تطبيقات قانون أوم في دارة تيار متناوب :

اجرب واستنتج:

أدوات التجربة :

منبع تغذية كهربائية ، ناقل أومي مقاومته R ، معدلة، وشيعة ذاتيتها R ومقاومتها r ، مكثفة سعتها C ، مقياس فولط ، مقياس امبير حراري ، أسلاك توصيل، قاطعة، راسم اهتزاز مهبطي.



خطوات تنفيذ التجربة :

• تجربة (1)

- اصل الدارة 1 كما في الشكل المجاور حيث X ناقل أومي مقاومته R
- أغلق القاطعة وأغَيّر قيمة التوتر المطبق، وأسجّل قيمة شدة التيار الموافق لكل توتر في جدول وفق الآتي:

I			
U			
$\frac{U}{I}$			

أستنتج:

نسبة التوتر المطبق بين طرفي ناقل أومي إلى شدة التيار المتواصل المار فيه تساوي مقدار ثابت،

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

- أكرر التجربة باستخدام مأخذ التيار المتناوب وأسجّل النتائج في جدول وفق الآتي :

I_{eff}			
U_{eff}			
$\frac{U_{eff}}{I_{eff}}$			

أستنتج:

نسبة التوتر المنتج المطبق بين طرفي ناقل أومي إلى الشدة المنتج للتيار المتناوب المار فيه تساوي

$$\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = R \text{ ، مقدار ثابت،}$$

نتيجة: يسلك الناقل الأومي السلوك نفسه في التيارين المتواصل والمتناوب.

تجربة(2):

استبدل بالمقاومة في الدارة السابقة وشيعة وأكرّر التجربة السابقة باستخدام توتر متواصل ثم توتر متناوب واسجل النتائج في جدول مماثل ماذا لاحظ، ماذا استنتج؟

نتيجة : تقوم الوشيعة بدور مقاومة اومية في التيار المتواصل وتقوم بدور مقاومة ذاتية في التيار المتناوب .

تجربة(3):

استبدل بالوشيعة في الدارة السابقة مكثفة وأكرّر التجربة وأنظّم جدول مماثل ماذا ألاحظ ،ماذا استنتج؟

نتيجة : لا تسمح المكثفة بمرور التيار المتواصل في حين أنها تمرر التيار المتناوب .

المكثفة ومرور التيار المتناوب

_ لا تسمح المكثفة بمرور التيار المتواصل بسبب وجود العازل بين لبوسيهـا.

_ تسمح المكثفة بمرور التيار المتناوب لأنه :

عند وصل لبوسي مكثفة بمأخذ تيار متناوب فإن مجموعة الالكترونات الحرة التي يسبب مأخذ التيار المتناوب اهتزازها تشحن لبوسي المكثفة خلال ربع دور بشحنتين متساويتين ومن نوعين مختلفين دون أن تخرق عازلها ثم تتفرغان في ربع الدور الثاني، وفي النوبة الثانية (الربعين الثالث والرابع) تتكرر عمليتا الشحن والتفريغ مع تغير شحنة كل من اللبوسين.

_ تبدي المكثفة ممانعة للتيار المتناوب بسبب الحقل الكهربائي الناتج عن شحنتها.

استنتاج قوانين أوم :

1- مقاومة أومية في دارة تيار متناوب جيبى :

نطبق توتر لحظي \bar{u} على مقاومة أومية صرفة R في دارة تيار متناوب جيبى مغلقة فيمر تيار تابع شدته اللحظية : $\bar{i} = I_{\max} \cos \omega t$

تابع التوتر اللحظي بين طرفي المقاومة :

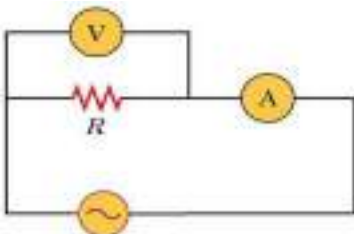
$$\bar{u} = R \bar{i}$$

نعوّض فنجد:

$$\bar{u} = R I_{\max} \cos \omega t$$

لكن: $X_R = R$ تدعى بممانعة المقاومة

باعتبار $U_{\max} = R I_{\max}$



$$U_{\max} = X_R I_{\max} \dots (1) \quad \text{نجد:}$$

إذاً يكون تابع التوتر بين طرفي المقاومة الصرف:

$$\bar{u} = U_{\max} \cos \omega t$$

بالمقارنة بين تابعي الشدة والتوتر نجد أن $\varphi = 0$

أي أن المقاومة تجعل التوتر المطبق بين طرفيها على توافق بالطور مع الشدة.

للحصول على القيم المنتجة نقسم طرفي العلاقة (1) على $\sqrt{2}$:

$$\frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = X_R \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow$$

$$U_{\text{eff}} = X_R I_{\text{eff}}$$



يسمى هذا التمثيل بتمثيل فريزل

تعطى الاستطاعة المتوسطة المستهلكة بالعلاقة:

$$P_{\text{avg}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \varphi$$

لكن في حالة المقاومة الصرف: $\varphi = 0$

$$\cos \varphi = 1$$

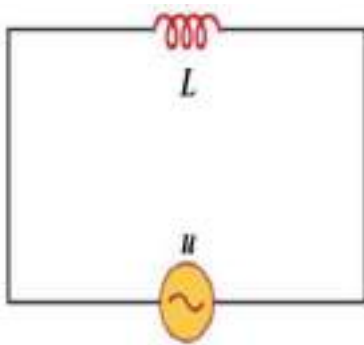
$$P_{\text{avg}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$$

لكن: $U_{\text{eff}} = R I_{\text{eff}}$ نعوض فنجد:

$$P_{\text{avg}} = R I_{\text{eff}}^2$$

وهذا يدل على أن الطاقة تصرف في المقاومة حرارياً بفعل جول.

2- وشيعة مهمة المقاومة (ذاتية صرف) في دائرة تيار متناوب جيبى :



نطبق توتر لحظي \bar{u} على وشيعة ذاتيتها L ومقاومتها الأومية مهمة في دائرة تيار متناوب جيبى مغلقة فيمر تيار تابع شدته اللحظية

$$\bar{i} = I_{\max} \cos \omega t$$

تابع التوتر اللحظي بين طرفي الوشيعة

$$\bar{u} = L \frac{d \bar{i}}{d t}$$

$$\frac{d \bar{i}}{d t} = -I_{\max} \omega \sin \omega t \quad \text{لكن:}$$

$$\frac{d \bar{i}}{d t} = I_{\max} \omega \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{أي:}$$

نعوّض في العلاقة نجد:

$$\bar{u} = L \omega I_{\max} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

نسمي المقدار $X_L = L \omega$ بممانعة الوشيعة مهملة المقاومة وتسمى ردية الوشيعة.

تصبح العلاقة بالشكل:

$$\bar{u}_L = X_L I_{\max} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$U_{\max_L} = X_L I_{\max} \quad \dots\dots\dots(2) \quad \text{لكن:}$$

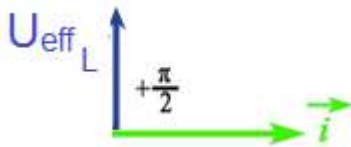
يصبح تابع التوتر بين طرفي الوشيعة:

$$\bar{u}_L = U_{\max_L} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

بالمقارنة بين تابعي الشدة والتوتر نجد أنّ الوشيعة مهملة المقاومة تجعل التوتر اللحظي يتقدم

بالطور على الشدة اللحظية بمقدار $\frac{\pi}{2} \text{ rad}$ (ترابع متقدم)

للحصول على القيم المنتجة نقسّم طرفي العلاقة (2) على $\sqrt{2}$:



$$\frac{U_{\max_L}}{\sqrt{2}} = X_L \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow$$

$$U_{\text{eff}_L} = X_L I_{\text{eff}}$$

تعطى الاستطاعة المتوسطة المستهلكة:

$$P_{\text{avg}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \varphi$$

لكن في حالة الوشيعية مهملة المقاومة تكون $\bar{\varphi} = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$

$$\cos \varphi_L = 0$$

$$P_{avg_L} = 0$$

أي أنّ الاستطاعة المتوسطة في الوشيعية مهملة المقاومة معدومة، فالوشيعية مهملة المقاومة تختزن طاقة كهريطيسية خلال ربع دور لتعيدها كهربائياً إلى الدارة الخارجية خلال ربع الدور الذي يليه، أي أنّ الوشيعية لا تستهلك طاقة.

ملاحظة:

إذا كان للوشيعية مقاومة أومية r فإنّ ممانعتها تعطي بالعلاقة:

$$Z_L = \sqrt{r^2 + X_L^2}$$

ويكون عامل استطاعة الوشيعية في هذه الحالة:

$$\cos \bar{\varphi}_L = \frac{r}{Z_L}$$

وتابع التوتر اللحظي يصبح:

$$\bar{u}_L = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi_L)$$

وبالتالي فإنّ الوشيعية التي مقاومتها الأومية r تجعل التوتر يتقدم بمقدار φ_L على الشدة.

3- مكثفة في دارة تيار متناوب جيبي:

نطبق توتر لحظي \bar{u} على مكثفة غير مشحونة C فيمر تيار تابع شدّته اللحظية

$$\bar{i} = I_{\max} \cos \omega t$$

التوتر اللحظي بين لبوسي المكثفة يُعطى بالعلاقة:

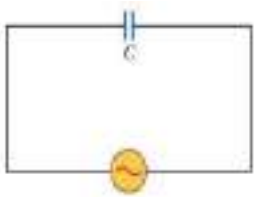
$$\bar{u} = \frac{q}{C}$$

باعتبار أنّ C سعة المكثفة ثابتة، \bar{q} شحنتها المتغيرة مع الزمن. فإنّه خلال فاصل زمني dt تتغير شحنة المكثفة بمقدار dq ، ولدينا:

$$dq = i dt$$

ولحساب شحنة المكثفة في اللحظة t نكامل فنجد:

$$q = \int i dt = \int I_{\max} \cos(\omega t) dt$$



$$q = \frac{1}{\omega} I_{\max} \sin \omega t$$

$$u = \frac{1}{\omega C} I_{\max} \sin \omega t \quad \text{نعوّض نجد:}$$

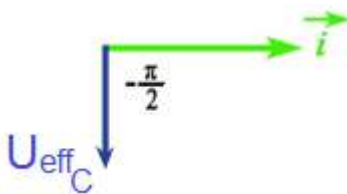
$$u = \frac{1}{\omega C} I_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

ندعو المقدار $X_c = \frac{1}{\omega C}$ بممانعة المكثفة (الممانعة السعوية للمكثفة وتسمى اتساعية المكثفة) وتقدر بوحدة الأوم في الجملة الدولية.

$$u = X_c I_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$U_{\max} = X_c I_{\max} \dots (3)$$

إذاً:



$$\overline{u_c} = U_{\max_c} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

بمقارنة تابع التوتر مع تابع الشدة نجد أنّ التوتر يتأخر عن التيار بمقدار $\frac{\pi}{2} \text{ rad}$ (تراجع متأخر).

للحصول على القيم المنتجة (الفعّالة) نقسم طرفي العلاقة على $\sqrt{2}$ نجد:

$$\frac{U_{\max_c}}{\sqrt{2}} = X_c \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$U_{\text{eff}_c} = X_c I_{\text{eff}}$$

وهذا هو قانون أوم في دائرة المكثفة.

تعطى الاستطاعة المصروفة بالعلاقة:

$$P_{\text{avg}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \varphi$$

$$\overline{\varphi_c} = -\frac{\pi}{2} \text{ rad} \quad \text{ولكن من أجل المكثفة:}$$

$$\cos \varphi_C = 0$$

$$P_{avg_C} = 0$$

الاستطاعة المتوسطة في المكثفة معدومة، فالمكثفة لا تستهلك أية طاقة لأنها تختزن الطاقة كهربائياً خلال ربع دور وتعيدها نفسها كهربائياً في ربع الدور الذي يليه.

الحالة العامة: دائرة تيار متناوب تحوي على التسلسل مقاومة وذاتية صرف ومكثفة

نؤلف دائرة تحوي على التسلسل الأجهزة الآتية: مقاومة كلية R ، وشيعة ذاتيتها L مقاومتها الأومية مهمة، ومكثفة سعتها C ، ويمرّ في هذه الدائرة تيار متناوب جيبي تابع شدّته اللحظية تعطى بالعلاقة

$$\bar{i} = I_{\max} \cos \omega t$$

عندما نطبق بين طرفي الدائرة توتراً متناوباً جيبياً تابعه اللحظي: $\bar{u} = U_{\max} \cos (\omega t + \bar{\varphi})$ إنّ توابع التوترات اللحظية الجزئية مختلفة في الطور، لذلك تجمع جبرياً، أي:

$$\bar{u} = \bar{u}_R + \bar{u}_L + \bar{u}_C$$

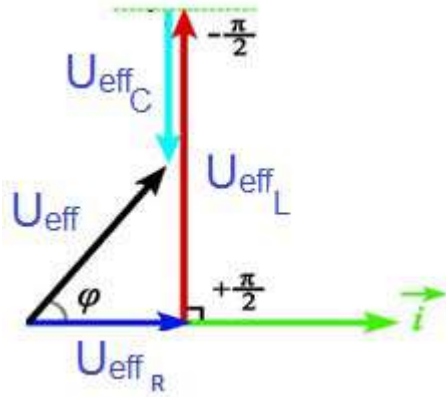
بينما التوترات المنتجة تجمع هندسياً:

$$\vec{U}_{eff} = \vec{U}_{eff_R} + \vec{U}_{eff_L} + \vec{U}_{eff_C}$$

$$\bar{\varphi}_C = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}, \bar{\varphi}_L = +\frac{\pi}{2} \text{ rad}, \bar{\varphi}_R = 0 \text{ rad} \quad \text{ونعلم أن:}$$

باستخدام إنشاء فريغل يمكننا حساب $\bar{\varphi}$ ، U_{eff} .

من الرسم بحسب فيثاغورث نجد:



$$U_{eff}^2 = U_{eff_R}^2 + (U_{eff_L} - U_{eff_C})^2$$

$$U_{eff}^2 = R^2 I_{eff}^2 + (X_L - X_C)^2 I_{eff}^2$$

$$U_{eff} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} I_{eff}$$

$$U_{eff} = Z I_{eff}$$

وهو قانون أوم في الحالة العامة.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{ومنه تكون ممانعة الدارة}$$

ولحساب $\bar{\varphi}$ من الشكل نجد:

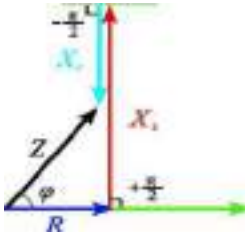
$$\cos \varphi = \frac{U_{effR}}{U_{eff}}$$

$$\cos \varphi = \frac{R I_{eff}}{Z I_{eff}}$$

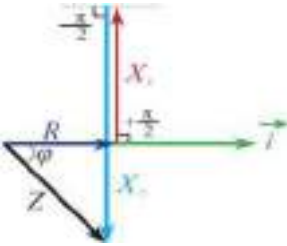
$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

يمكننا أن نمثل الممانعات بتمثيل فريزل كما في الشكل .

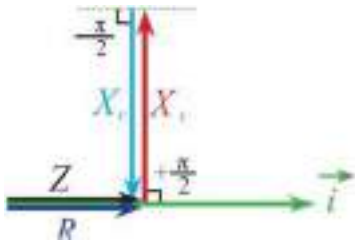
مناقشة:



- 1- عندما تكون ردية الوشيعة X_L أكبر من اتساعيه المكثفة X_C يكون التوتر متقدّم بالطور عن الشدّة وتكون الدارة ذات ممانعة ذاتية (حثية).



- 2- عندما تكون ردية الوشيعة X_L أصغر من اتساعيه المكثفة X_C يكون التوتر متأخر بالطور عن الشدّة، وتكون الدارة ذات ممانعة سعوية



- 3- عندما تكون ردية الوشيعة X_L تساوي اتساعيه المكثفة X_C يكون التوتر متفق بالطور مع الشدّة، وتسمى هذه الحالة الطنين الكهربائي أو التجاوب الكهربائي.

ظاهرة الطنين:

في إحدى التجارب على ظاهرة الطنين في دارة مؤلفة من مولد تواتر منخفض، يعطي توتراً متناوباً جيبياً قيمته المنتجة (الفعالة) U_{eff} ، تواتره f قابلان للتغيير، نصل بين طرفيه على التسلسل وشيعة ذاتيتها $L = 1.95 \text{ H}$ ، ومقاومتها الأومية r ، مع مكثفة سعتها $C = 0.5 \mu\text{F}$ ، ومقاومة متغيرة r' ، وقد سجّلت النتائج من أجل قيمتين للمقاومة الكلية ($R = r + r'$) في الدارة:

$R_1 = 40 \Omega$ ، $R_2 = 100 \Omega$ في الجدول الآتي:

f (Hz)	100	120	130	140	150	155	160	165	170	180
I_{eff_1} (mA)	2	3.12	4.37	6.25	11.25	16.6	25	23	16	9.37

I_{eff_2} (mA)	2	3.75	4.37	6.25	10	12.5	25	14.5	12.5	8.25
------------------	---	------	------	------	----	------	----	------	------	------

المطلوب:

1. أرسم المنحنيين البيانيين لتغيرات الشدة المنتجة بدلالة تغيرات التواتر بالنسبة للمقاومتين.
2. أدد قيمة التواتر f الذي تكون من أجله الشدة المنتجة I_{eff} بأكبر قيمة لها في كل من المنحنيين البيانيين.
3. أحسب الممانعة الكلية للدائرة من أجل التواتر (160Hz)، ماذا ألاحظ؟

النتائج

- تحدث حالة التجاوب الكهربائي (الطنين الكهربائي) في دائرة تحوي على التسلسل مقاومة R ، وشيعة ذاتيتها L ، ومكثفة سعتها C إذا كان النبض الخاص لاهتزاز الإلكترونات الحرّة ω_0 يساوي النبض القسري ω الذي يفرضه المولد، ويسمى نبض الطنين ω_r .
- يتحقق في حالة الطنين:
 - (1) ردية الوشيعة تساوي اتساعية المكثفة $X_L = X_C$.
 - (2) ممانعة الدائرة أصغر ما يمكن $Z = R$.
 - (3) شدة التيار المنتجة أكبر ما يمكن $I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R}$.
 - (4) التوتر المطبق على توافق بالطور مع الشدة ($\varphi = 0 \text{ rad}$) بالتالي عامل استطاعة الدائرة يساوي الواحد.
 - (5) الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الدائرة أكبر ما يمكن.
 - (6) التوتر المنتج بين طرفي المنبع يساوي التوتر المنتج بين طرفي المقاومة $U_{eff} = U_{eff_R}$ لأنّ التوتر المنتج بين طرفي الوشيعة يساوي بالقيمة التوتر المنتج بين طرفي المكثفة $U_{eff_L} = U_{eff_C}$ ويعاكسه بالجهة، وقد تكون قيمة كلّ منهما كبيرة جداً بالنسبة لتوتر المنبع، وتستخدم هذه الخاصية في دارات الراديو للحصول على توترات كبيرة بين أطراف الوشائع والمكثفات باستخدام منابع ذات توترات محدودة القيمة.

استنتاج دور وتواتر الرنين:

في حالة الطنين الكهربائي:

$$X_L = X_C$$

$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$$

$$\omega_r^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\frac{2\pi}{T_r} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

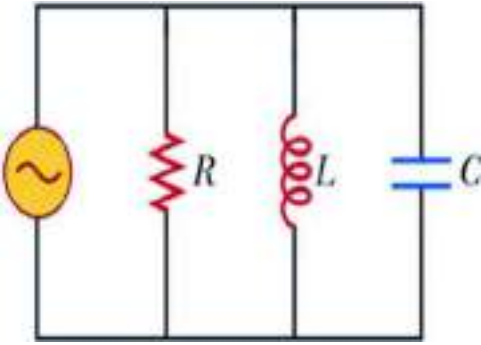
$$T_r = 2\pi\sqrt{LC}$$

وهي العلاقة المحددة لدور التيار في حالة الطنين.

تستخدم خاصية الطنين في عملية التوليف في أجهزة الاستقبال.

التيارات الفرعية

1- الشدة المنتجة الكلية، والشدات المنتجة الفرعية:



نطبق توتراً متناوباً جيبياً يعطى بالتابع: $\bar{u} = U_{\max} \cos \omega t$ بين طرفي دائرة تحوي على التفرع مقاومة R ، وشيعة مهملة المقاومة ذاتيتها L ، ومكثفة سعتها C ، فيمر في الدارة تيار متناوب جيبى، المطلوب: أكتب تابع الشدة اللحظية في الدارة، وأستنتج العلاقات اللازمة لحساب I_{eff} ، باستخدام إنشاء فرينل.

إنّ تابع الشدة اللحظية للتيار في الدارة الكلية: $\bar{i} = I_{\max} \cos(\omega t + \bar{\varphi})$

الشدات اللحظية تجمع جبرياً: $\bar{i} = \bar{i}_1 + \bar{i}_2 + \bar{i}_3$

• في فرع المقاومة الشدة على توافق بالطور مع التوتر

المطبق: $\bar{\varphi}_R = 0 \text{ rad}$

• في فرع الوشيعة مهملة المقاومة الشدة على ترابع متأخر

بالطور عن التوتر المطبق: $\bar{\varphi}_L = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$

• في فرع المكثفة الشدة على ترابع متقدم بالطور على التوتر

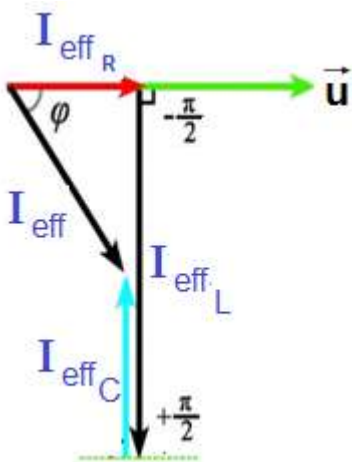
المطبق، أي: $\bar{\varphi}_C = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$

الشدة المنتجة تجمع هندسياً: $\vec{I}_{\text{eff}} = \vec{I}_{\text{eff}_R} + \vec{I}_{\text{eff}_L} + \vec{I}_{\text{eff}_C}$

بإنشاء فرينل بافتراض $I_{\text{eff}_L} > I_{\text{eff}_C}$ نجد:

$$I_{\text{eff}}^2 = I_{\text{eff}_R}^2 + (I_{\text{eff}_L} - I_{\text{eff}_C})^2$$

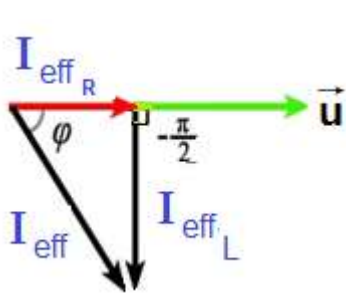
لحساب $\bar{\varphi}$ من إنشاء فرينل نجد:



$$\cos \overline{\varphi} = \frac{I_{eff_R}}{I_{eff}}$$

حالات خاصة:

1- فرعان يحوي أحدهما مقاومة، والآخر وشيعة مهملة المقاومة:



$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_R}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

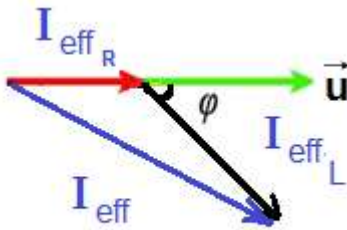
• في فرع المقاومة الشدة على توافق بالطور مع التوتر المطبق $\overline{\varphi_R} = 0 \text{ rad}$

• في فرع الذاتية الشدة على ترابع متأخر بالطور عن التوتر المطبق $\overline{\varphi_L} = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$

بالتربيع نجد:

$$I_{eff}^2 = I_{eff_R}^2 + I_{eff_L}^2$$

2- فرعان يحوي أحدهما مقاومة، والآخر وشيعة ذات مقاومة:



• في فرع المقاومة الشدة على توافق بالطور مع التوتر المطبق $\overline{\varphi_R} = 0 \text{ rad}$

• في فرع الوشيعة الشدة متأخرة بالطور عن التوتر المطبق بمقدار $\overline{\varphi_L}$

$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_R}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

بالتربيع نجد:

$$I_{eff}^2 = I_{eff_R}^2 + I_{eff_L}^2 + 2I_{eff_R} I_{eff_L} \cos(\overline{\varphi_L} - \overline{\varphi_R})$$

كما يمكن حساب I_{eff} في الدارة الأصلية (قبل التفرع) من تمثيل فريزل.

3- فرعان يحوي أحدهما مكثفة، والآخر وشيعة مهملة المقاومة:

$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_R}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

• في فرع المكثفة الشدة متأخرة بالطور عن التوتر المطبق $\overline{\varphi_C} = +\frac{\pi}{2} \text{ rad}$

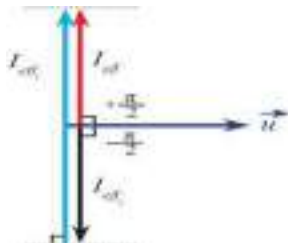
• في فرع الوشيعة مهملة المقاومة الشدة على ترابع متأخر بالطور عن التوتر المطبق

$$\overline{\varphi_L} = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

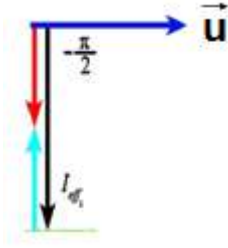
$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_C}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

نميز الحالات الآتية:

1- إذا كان $X_C < X_L$ فإن $I_{eff_C} > I_{eff_L}$ وبالتالي:

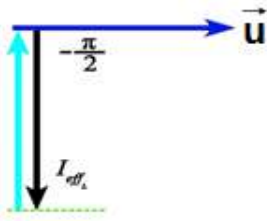


$$I_{eff} = I_{eff_C} - I_{eff_L}$$



2- إذا كان $X_L < X_C$ فإن $I_{eff_C} > I_{eff_L}$ وبالتالي:

$$I_{eff} = I_{eff_L} - I_{eff_C}$$



3- إذا كان $X_C = X_L$ فإن $I_{eff_C} = I_{eff_L}$ وبالتالي:

$$I_{eff} = I_{eff_C} - I_{eff_L}$$

$$I_{eff} = 0$$

وتتعدم الشدة في الدارة الخارجية، وتسمى الدارة في هذه الحالة بالدارة الخائفة للتيار، ويكون عندها $\omega_r = \omega$

$$X_L = X_C$$

$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$$

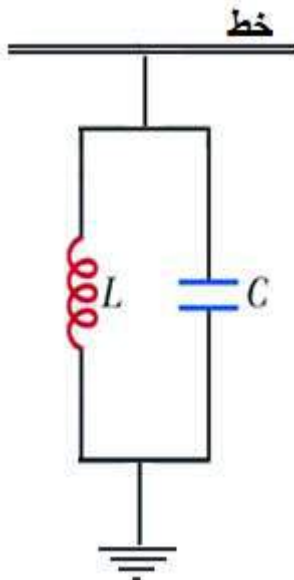
$$\omega_r^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

حيث f_r هو تواتر الطنين الذاتي للدارة والذي يكون التيار المحصل عنده معدوماً، أي لا يمر بالدارة الأصلية التيار الذي دوره العلاقة:

$$T_r = 2\pi\sqrt{LC}$$



تستخدم الدارة الخائفة في وصل خطوط نقل الطاقة الكهربائية مع الأرض بهدف ترشيح التواترات التي يلتقطها الخط من الجو وذلك بجعل تواتر تجاوب الدارة المهتزة مساوياً لتواتر تيار خط النقل فتكون ممانعتها لا نهائية بالنسبة لهذا التواتر بينما تمر بقية التواترات الملتقطة من الجو عبر الدارة المهتزة إلى الأرض

تعلمت

- التيار المتناوب الجيبي تيار تتغير فيه الشدة، والتوتر جيبيًا مع الزمن.
- الشدة المنتجة للتيار المتناوب الجيبي: هي شدة تيار متوصل يعطي الطاقة الحرارية نفسها التي يعطيها التيار المتناوب الجيبي عند مرورهما في الناقل الأومي نفسه خلال الزمن نفسه

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

- التوتر المنتج للتيار المتناوب الجيبي يكافئ التوتر المستمر الذي يقدم الطاقة نفسها التي يقدمها التوتر المتناوب الجيبي في الناقل الأومي نفسه خلال الزمن نفسه والتي تصرف بشكل حراري
- تعرّف الاستطاعة المتوسطة بأنها الاستطاعة الثابتة التي تقدم في الزمن t الطاقة الكهربائية E نفسها التي يقدمها التيار المتناوب الجيبي للدائرة، وهي معدل الطاقة الكهربائية المقدمة نتيجة مرور التيار المتناوب خلال الزمن t وتعطى بالعلاقة:

$$P_{avg} = I_{eff} U_{eff} \cos \varphi$$

- عامل الاستطاعة وهو النسبة بين الاستطاعة المتوسطة P_{avg} والاستطاعة الظاهرية P_A .

$$\text{عامل الاستطاعة} = \frac{P_{avg}}{P_A} = \frac{I_{eff} U_{eff} \cos \varphi}{I_{eff} U_{eff}} = \cos \varphi$$

- قانون أوم في الحالة العامة. $U_{eff} = Z I_{eff}$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad \text{عامل استطاعة الدائرة}$$

- تحدث حالة التجاوب الكهربائي (الطنين الكهربائي) في دائرة تحوي على التسلسل مقاومة R ، وشيعة ذاتيتها L ، ومكثفة سعتها C إذا كان النبض الخاص لاهتزاز الإلكترونات الحرة ω_0 يساوي النبض القسري ω الذي يفرضه المولد، ويسمى نبض الطنين ω_r .

أختبر نفسي

أولاً: اعط تفسيراً علمياً موضحاً بالعلاقات المناسبة :

- 1- لا تستهلك الوشيعية مهمة المقاومة طاقة كهربائية
- 2- لا تستهلك المكثفة طاقة كهربائية
- 3- لا تمرر المكثفة تيار متواصل عند وصل لبوسيتها بمأخذ تيار متواصل
- 4- تسمح المكثفة بمرور تيار متناوب جيبي عند وصل لبوسيتها بمأخذ هذا التيار المتناوب ولكنها تعرقل هذا المرور
- 5- تكون الشدة المنتجة واحدة في عدة أجهزة موصولة على التسلسل مهما اختلفت قيم ممانعتها

6- تستعمل الوشيعية ذات النواة الحديدية كمعدلة في التيار المتناوب

7- توصف الاهتزازات الكهربائية في التيار المتناوب بالقسرية .

ثانياً - أهمية عامل الاستطاعة في نقل الطاقة الكهربائية من مولد التيار إلى الجهاز الكهربائي :

يطلب من اصحاب التجهيزات الكهربائية الصناعية ألا ينقص عامل الاستطاعة في تجهيزاتهم عن 0.86 كي لا تخسر مؤسسة الكهرباء طاقة إضافية كبيرة نسبياً بفعل جول في خطوط نقلها وهي طاقة لا يسجلها العداد ولا يدفع ثمنها المستهلك. **المطلوب** استنتج العلاقة التي تربط الاستطاعة الضائعة في خطوط النقل والتي مقاومتها R بدلالة عامل الاستطاعة بفرض ثبات التوتر المنتج والاستطاعة المتوسطة للدائرة

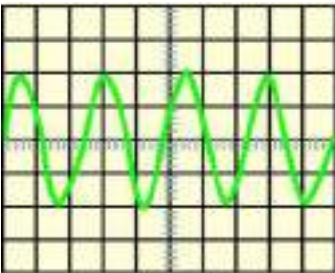
ثالثاً: دائرة تيار متناوب جيبي تابع شدته اللحظية $i = I_{\max} \cos \omega t$ ارسم المنحني البياني الممثل لكل من الشدة اللحظية والتوتر اللحظي بدلالة ωt (مخطط ضابط الطور) في كل من الحالات الآتية:

(1) مقاومة أومية فقط (2) وشيعية مهمة المقاومة فقط (3) مكثفة فقط

رابعاً : يعطي راسم الاهتزاز إشارة التوتر المطبق في مدخلة مع حساسية المدخل عند 500mV لكل تدريجه (500mV/div) وقاعدة الزمن عند 0,2ms/div المطلوب : 1- هل التوتر المشاهد مستمر أم متغير أم متناوب جيبي

2- عين دور وتواتر هذه الإشارة.

3- أحسب القيمة المنتجة للتوتر



المسألة الأولى :

يعطى تابع التوتر اللحظي بين نقطتين a و b بالعلاقة : $\bar{u} = 130\sqrt{2} \cos 100\pi t$ (Volt)

1- احسب التوتر المنتج للتيار وتواتره

2- نصل بين النقطتين a و b وشيعة ، مقاومتها $r = 25\Omega$ ، وذاتيتها $L = \frac{3}{5\pi} H$. احسب الشدة المنتجة وعامل استطاعة الدارة والاستطاعة المتوسطة المستهلكة فيها .

4- نرفع الوشيعة ثم نصل النقطتين a و b بمقاومة $R = 30\Omega$ موصولة على التسلسل مع مكثفة سعتها $C = \frac{1}{4000\pi} F$ وشيعة ذاتيتها L مقاومتها مهملة ، فتصبح الشدة المنتجة للتيار بأكبر قيمة ممكنة لها احسب قيمة ذاتية الوشيعة والشدة المنتجة للتيار في هذه الحالة.

المسألة الثانية :

نطبق توترا متواصلا $6V$ على طرفي وشيعة ، فيمر فيها تيار شدته $0.5 A$ ، وعندما نطبق توترا متناوب جيبيا بين طرفي الوشيعة نفسها ، قيمته المنتجة (الفعالة) $130V$ ، تواتره $50Hz$ ، يمر فيها تيار شدته المنتجة $10A$. والمطلوب حساب :

1- مقاومة الوشيعة وذاتيتها.

2- عدد لفات الوشيعة إذا علمت أن مساحة مقطعها $\frac{1}{80} m^2$ وطولها $1m$.

3- احسب سعة المكثفة التي يجب ضمها على التسلسل مع الوشيعة السابقة حتى يصبح عامل استطاعة الدارة يساوي الواحد ثم احسب الشدة المنتجة للتيار والاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الدارة عندئذ

المسألة الثالثة :

مأخذ لتيار متناوب جيبى بين طرفيه توتر لحظي يعطى بالعلاقة : $\bar{u} = 200\sqrt{2} \cos 100\pi t$ (V)

نصلهما لدارة تحوي فرعين يحوي الأول مقاومة صرفة يمر فيها تيار شدته المنتجة $4A$ ، ويحوي الفرع الثاني وشيعة يمر فيها تيار شدته المنتجة $5A$ ، فيمر في الدارة الخارجية تيار شدته المنتجة $7A$. والمطلوب حساب :

1- التوتر المنتج بين طرفي المأخذ ، وتواتر التيار.

2- قيمة المقاومة الصرفة ، وممانعة الوشيعة .

3- عامل استطاعة الوشيعة . ثم احسب مقاومتها .

4- الاستطاعة الكلية المستهلكة في الدارة ، وعامل استطاعة الدارة .

المسألة الرابعة :

يعطى تابع التوتر اللحظي بين طرفي مأخذ بالعلاقة : $\bar{u} = 120\sqrt{2} \cos 120\pi t (V)$

- 1- احسب التوتر المنتج بين طرفي المأخذ وتواتر التيار .
- 2- نضع بين طرفي المأخذ مصباح كهربائي ذاتيته مهمة ، فيمر فيها تيار شدته المنتجة $6A$ احسب قيمة المقاومة الاومية للمصباح ، واكتب تابع الشدة اللحظية المارة فيها .
- 3- نصل بين طرفي المصباح في الدارة السابقة وشيعة عامل استطاعتها $\frac{1}{2}$ فيمر في الوشيعة تيار شدته المنتجة $10A$ احسب ممانعة الوشيعة والاستطاعة المستهلكة فيها ، ثم اكتب تابع الشدة اللحظية المارة فيها .
- 4- احسب قيمة الشدة المنتجة في الدارة الأصلية باستخدام إنشاء فرينل .
- 4- احسب الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في جملة الفرعين ، وعامل استطاعة الدارة .
- 5- احسب سعة المكثفة الواجب ربطها على التفرع بين طرفي المأخذ لتصبح شدة التيار الاصلية الجديدة على وفاق بالطور مع التوتر المطبق عندما تعمل الفروع الثلاث معا
- 6- المسألة الخامسة :

مأخذ تيار متناوب جيبي ، تواتره $50Hz$ ، نربط بين طرفيه الأجهزة الآتية على التسلسل : مقاومة

$$R \text{ أومية ، وشيعة مقاومتها الأومية مهمة ذاتيتها } L \text{ ، مكثفة سعتها } C = \frac{1}{2000\pi} F$$

فيكون التوتر المنتج بين طرفي كل من أجزاء الدارة هو على الترتيب :

$$U_{eff1} = 30V , U_{eff2} = 80V , U_{eff3} = 40V$$

والمطلوب :

- 1- استنتج قيمة التوتر المنتج الكلي بين طرفي المأخذ باستخدام إنشاء فرينل .
- 2- احسب قيمة الشدة المنتجة المارة في الدارة ، ثم اكتب التابع الزمني لتلك الشدة .
- 3- احسب الممانعة الكلية للدارة .
- 4- احسب ذاتية الوشيعة ، واكتب التابع الزمني للتوتر بين طرفيها .
- 5- احسب عامل استطاعة الدارة .
- 6- نضيف إلى المكثفة في الدارة السابقة مكثفة C' مناسبة فتصبح الشدة المنتجة للتيار بأكبر قيمة لها ، والمطلوب :
- A - حدد الطريقة التي يتم بها ضم المكثفتين .

B - احسب سعة المكثفة المضمومة C' .

C - احسب الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الدارة في هذه الحالة .

المسألة الثامنة:

نصل طرفي مأخذ تيار متناوب جيبي توتره المنتج $U_{eff} = 100V$ وتواتره $50Hz$ إلى دارة تحوي على التسلسل مقاومة R ومكثفة سعتها $C = 50\mu F$ والمطلوب :

- (1) احسب قيمة المقاومة R اذا كان فرق الكمون المنتج بين طرفيها $50V$.
- (2) نضيف على التسلسل إلى الدارة السابقة وشيعة مناسبة مقاومتها مهملة بحيث تبقى الشدة المنتجة نفسها، احسب ذاتية هذه الوشيعة.
- (3) نغير تواتر التيار في الدارة الأخيرة بحيث يحصل توافق بالطور بين شدة التيار والتوتر المطبق، احسب قيمة التواتر الجديد.
- (4) تحذف المقاومة الصرف من الدارة ويعاد ربط المكثفة على التفرع مع الوشيعة بين طرفي مأخذ التيار، احسب قيمة الشدة المنتجة الأصلية للدارة في هذه الحالة باستخدام إنشاء فرينل.

تفكير ناقد مخاطر الكهرباء المنزلية والوقاية منها:



1- ماهي مخاطر التيار الكهربائي المنزلي وكيف نحمي انفسنا والتجهيزات المنزلية منه

2- تزود المآخذ الخاصة بالبراد والغسالة وبعض الاجهزة الاخرى بمأخذ ثالث. كما في الشكل جانبا

- نشعر احيانا بهزة خفيفة عند لمس هيكل بعض الاجهزة الكهربائية الموصولة بالتيار .
- يزود مأخذ التيار في الحمام بغطاء بلاستيكي .
- ينصح بعدم لمس الاجهزة الكهربائية بيد مبللة

ما هو دور الفاصمة ولماذا تتركب مباشرة وراء العداد في بداية الشبكة المنزلي

ابحث اكثر: تستخدم حالة دائرة الطنين في عملية توليف اجهزة الاستقبال الاذاعية والتلفزيونية اشرح الية عملها في جهاز الاستقبال اللاسلكي لاختيار محطة الاذاعة المراد سماعها ؟

المحولات الكهربائية

الأهداف التعليمية:

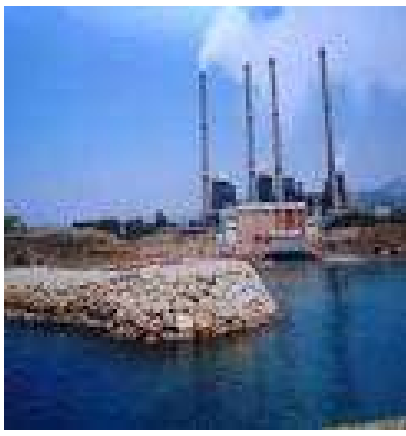
- يتعرف المحولة الكهربائية.
- يتعرف العلاقات في المحولات.
- يتعرف عمل المحولة.
- يميز بين المحولات الرافعة والمحولات الخافضة للتوتر.
- يتعرف كفاءة المحولة.
- يستنتج مردود نقل الطاقة الكهربائية.

كلمات مفتاحية

المحولة، نسبة التحويل ، مردود المحولة ، كفاءة المحولة

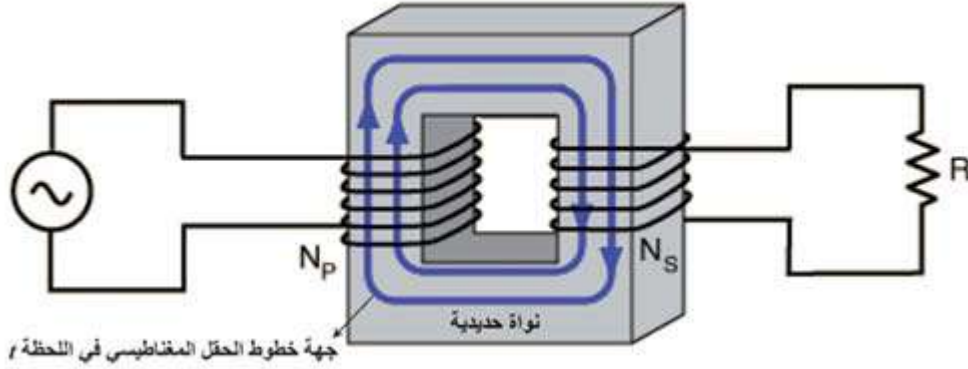


يحتاج عمل بعض الأجهزة الكهربائية لتوتر منخفض وبعضها الآخر يحتاج لتوتر مرتفع نسبياً، فكيف يتم تأمين التوتر المناسب لعملها ؟



يعتبر مركز توليد الطاقة الكهربائية في مدينة بانياس من المشاريع الحيوية التي تساهم في رفد الاقتصاد الوطني، حيث يتم رفع التوتر المنتج في محطة التوليد بواسطة محولات رافعة للتوتر وذلك لتقليل ضياع جزء من الطاقة الكهربائية بفعل جول، فما هي المحولة؟ وما عملها؟

نشاط



يمثل الشكل المجاور دارتين في الأولى وشيعة عدد لفاتها $N_p = 300$ موصولة إلى منبع تيار متناوب، وفي الثانية وشيعة عدد لفاتها $N_s = 600$

لفة، ملفقتين حول نواة مغلقة من الحديد اللين.

(1) عند تطبيق توتر متناوب قيمه المنتجة مختلفة بين طرفي الوشيعة الأولى، سجّلت النتائج وفق الجدول الآتي:

$\frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$	$\frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}}$	$\frac{N_s}{N_p}$	I_{eff_s} (A)	I_{eff_p} (A)	U_{eff_s} (v)	U_{eff_p} (v)
.....		0.25	0.5	20	10
.....		0,5	1	40	20
.....		1	2	80	40

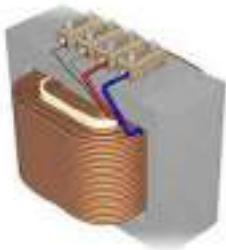
(2) عند التبديل بين الوشيعتين سجّلت النتائج وفق الجدول الآتي:

$\frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$	$\frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}}$	$\frac{N_s}{N_p}$	I_{eff_s} (A)	I_{eff_p} (A)	U_{eff_s} (v)	U_{eff_p} (v)
.....		1	0.5	5	10
.....		2	1	10	20
.....		4	2	20	40

المطلوب:

- أكمل الفراغات في الجدولين السابقين.
- ماذا تتوقع عند استبدال منبع تيار مستمر بمنبع التيار المتناوب؟

النتائج



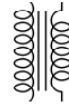
- نسمي دائرة الوشيعة التي تتلقى التيار المتناوب بالوشيعة الأولية، ويرمز لعدد لفاتها N_p ، وللتوتر المنتج المطبق بين طرفيها U_{eff_p} ، وللشدة المنتجة المارة فيها I_{eff_p} .

- نسمي دائرة الوشيعة التي نتلقى منها التيار المتناوب (التي تطبق عليها الحملية) بالثانوية، ويرمز لعدد لفاتها N_s ، وللتوتر المنتج بين طرفيها U_{eff_s} ، وللشدة المنتجة المارة فيها I_{eff_s} .
- يختلف دائماً عدد اللفات بين الوشيعتين الأولية والثانوية للمحوّلة، حيث تصنع الوشيعة ذات عدد اللفات الأقل من سلك ذي مقطع أكبر من مقطع سلك الوشيعة الأخرى.

- تسمى النسبة $\frac{N_s}{N_p}$ نسبة التحويل ويرمز لها بالرمز μ :

$$\mu = \frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}} = \frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}} = \frac{N_s}{N_p}$$

- تكون المحوّلة رافعة للتوتر خافضة للشدة إذا كانت $\mu > 1$.
- تكون المحوّلة خافضة للتوتر رافعة للشدة إذا كانت $\mu < 1$.
- المحوّلة جهاز كهربائي يعتمد على حادثة التحريض الكهرومغناطيسي، يعمل على تغيير التوتر المنتج، والشدة المنتجة للتيار المتناوب، دون أن يغيّر تقريباً من الاستطاعة المنقولة، أو من تواتر التيار، أو شكل اهتزاز التيار.



يرمز للمحوّلة في الدارات الكهربائية بالرمز:

- لا تعمل المحولات الكهربائية عند تطبيق توتر كهربائي متواصل بين طرفي دارتها الأولية.

عمل المحوّلة:



كيف تفسّر عمل المحوّلة عند تطبيق توتر متناوب جيبي؟
 عند تطبيق توتر متناوب جيبي بين طرفي الدارة الأولية يمرّ فيها تيار متناوب جيبي، فيتولّد داخل الوشيعة حقل مغناطيسي متناوب، تعمل النواة الحديدية على إمرار كامل تدفقه إلى الدارة الثانوية، فتتولّد فيها قوة محرّكة كهربائية تساوي التوتر المتناوب الجيبي بين طرفيها بإهمال مقاومة أسلاك الوشائع في المحوّلة، فيمرّ فيها تيار كهربائي متناوب له تواتر التيار المار في الأولية.

كفاءة المحوّلة الكهربائية:

عند إمرار تيار كهربائي في ناقل أومي يضيع قسم من الطاقة الكهربائية حرارياً بفعل جول.
 فما نوع الطاقات الضائعة في أثناء عمل المحوّلة؟
 تصنّف الطاقات الضائعة في المحوّلة الكهربائية إلى نوعين:
 الطاقة الكهربائية الضائعة حرارياً:

- طاقة ضائعة حرارياً في الدارة الأولية: $P'_p = R_p I_{eff_p}^2$

- طاقة ضائعة حرارياً في الدارة الثانوية: $P'_s = R_s I_{eff_s}^2$

- الطاقة الكلية الضائعة حرارياً:

$$P_E = P'_p + P'_s$$

- الطاقة الكهربائية الضائعة مغناطيسياً نتيجة هروب جزء من خطوط الحقل المغناطيسي خارج النواة الحديدية P_M .

تكون المقاومة الكهربائية لأسلاك معظم المحولات مهمة مما يسمح بالإبقاء عليها موصولة بمنبع التيار حتى في حال عدم الاستخدام، أي عندما لا تكون وشيعتها الثانوية موصولة إلى حمولة، حيث لا تستهلك المحولة في هذه الحالة سوى مقدار ضئيل من الطاقة يمكن أن يؤدي فقط إلى ارتفاع بسيط في درجة حرارتها، وهذا ناتج بالطبع عن المقاومة الصغيرة لأسلاك الوشيعية الأولية، ولذلك يفضل فصلها عن منبع التيار.

عند إهمال مقاومة أسلاك الوشيعية الأولية فإنّ التيار يعاني فيها فقط من الممانعة التحريضية، وبالمقابل يعاني التيار المار في الوشيعية الثانوية من المقاومة الكهربائية للحمولة بالإضافة إلى الممانعة التحريضية للوشيعية ذاتها.

تحسين كفاءة عمل المحولة:

عندما استخدم شاحن الهاتف النقال أشعر بارتفاع درجة حرارته في أثناء عملية الشحن، ما سبب ذلك؟ وماهي أهم الحلول العملية لتحسين كفاءة عمل المحولة.

- يعود ارتفاع درجة حرارة الشاحن (المحولة) إلى:
- ضياع جزء من الطاقة الكهربائية حرارياً بفعل جول.
- تيارات فوكو التحريضية.

ولتحسين كفاءة عمل المحولة تصنع:

- أسلاك الوشيعية من النحاس ذو المقاومة النوعية الصغيرة لتقليل الطاقة الكهربائية الضائعة بفعل جول.
- النواة الحديدية من شرائح رقيقة من الحديد اللين معزولة عن بعضها البعض لتقليل أثر التيارات التحريضية (تيارات فوكو).

المحولة ونقل الطاقة الكهربائية:

يعطى مردود النقل بالعلاقة:

$$\eta = \frac{P - P'}{P}$$

حيث:

- P الاستطاعة المتولدة من منبع التيار المتناوب (المنوبة).
- P' الاستطاعة الضائعة حرارياً في أسلاك النقل بفعل جول.

$$\eta = 1 - \frac{P'}{P}$$

وباعتبار عامل الاستطاعة قريب جداً من الواحد فإن:

$$P = U_{eff} I_{eff}$$

U_{eff} التوتر المنتج بين طرفي المنبع.

$$P' = R I_{eff}^2$$

حيث R مقاومة أسلاك النقل.

نعوض في علاقة المردود:

$$\eta = 1 - \frac{RI_{eff}^2}{U_{eff}I_{eff}}$$

نعوض فنجد:

$$\eta = 1 - R \frac{I_{eff}}{U_{eff}}$$

ماذا ألاحظ من هذه العلاقة؟

لكي يقترب المردود من الواحد ينبغي تصغير مقاومة أسلاك النقل R أو تكبير U_{eff} ، يتم ذلك باستعمال محولات رافعة للتوتر عند مركز توليد التيار ثم خفضه على مراحل عند الاستخدام.

المحولات الخافضة للتوتر:

للمحولات الخافضة للتوتر استخدامات عديدة نذكر منها:

- شحن بعض الأجهزة الكهربائية.
- ألعاب الأطفال، التي يخفّض فيها التوتر للأمان من 220 V إلى 12 V أو أقل.
- عمليات اللحام الكهربائي، حيث نحتاج لتيار شدته من مرتبة مئات الأمبيرات.
- أفران الصهر.

تعلمت :

- المحوِّلة جهاز كهربائي يعتمد على حادثة التحريض الكهروضي، يعمل على تغيير التوتر المنتج، والشدة المنتجة للتيار المتناوب، دون أن يغيّر تقريباً من الاستطاعة المنقولة ، أو من تواتر التيار، أو شكل اهتزاز التيار.
 - نسمي دائرة الوشيعة التي تتلقى التيار المتناوب بالوشيعة الأولية، ويرمز لعدد لفاتها N_p ، وللتوتر المنتج المطبق بين طرفيها U_{eff_p} ، وللشدة المنتجة المارة فيها I_{eff_p} .
 - نسمي دائرة الوشيعة التي نتلقى منها التيار المتناوب (التي تطبق عليها الحمل) بالثانوية، ويرمز لعدد لفاتها N_s ، وللتوتر المنتج بين طرفيها U_{eff_s} ، وللشدة المنتجة المارة فيها I_{eff_s} .
 - تسمى النسبة $\frac{N_s}{N_p}$ نسبة التحويل ويرمز لها بالرمز μ :
- $$\mu = \frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}} = \frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}} = \frac{N_s}{N_p}$$
- تكون المحوِّلة رافعة للتوتر خافضة للشدة إذا كانت $\mu > 1$.
 - تكون المحوِّلة خافضة للتوتر رافعة للشدة إذا كانت $\mu < 1$.
 - مردود المحوِّلة هو نسبة الاستطاعة الكهربائية المفيدة التي نحصل عليها من الدارة الثانوية إلى الاستطاعة الكهربائية الداخلة إلى الدارة الأولية:
- لتحسين كفاءة عمل المحوِّلة :
- تصنع أسلاك الوشيعة من النحاس ذو المقاومة النوعية الصغيرة لتقليل الطاقة الكهربائية الضائعة بفعل جول.
 - تصنع النواة الحديدية من شرائح رقيقة من الحديد اللين معزولة عن بعضها البعض لتقليل أثر التيارات التحريضية (تيارات فوكو).
 - يتم رفع التوتر المنتج في محطة التوليد بواسطة محولات رافعة للتوتر لتقليل من الطاقة الكهربائية الضائعة بفعل جول، مما يحسّن من مردود النقل.

الأنشطة والتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- محولة كهربائية نسبة تحويلها $\mu = 3$ ، وقيمة الشدة المنتجة في ثانويتها $I_{eff_s} = 6 \text{ A}$ فإن الشدة المنتجة في أوليتها:

(b) $I_{eff_p} = 2 \text{ A}$

(a) $I_{eff_p} = 18 \text{ A}$

(d) $I_{eff_p} = 3 \text{ A}$

(c) $I_{eff_p} = 9 \text{ A}$

2- محولة كهربائية قيمة التوتر المنتج بين طرفي أوليتها $U_{eff_p} = 20 \text{ v}$ و قيمة التوتر المنتج بين طرفي أوليتها $U_{eff_s} = 40 \text{ v}$ فإن نسبة تحويلها μ تساوي :

(b) 0.5

(a) 2

(d) 60

(C) 20

ثانياً: أعط تفسيراً علمياً لكلّ ممّا يأتي:

- 1 – لا تنتقل الطاقة الكهربائية عبر المسافات البعيدة بواسطة تيار متواصل؟.
- 2 – تنتقل الطاقة الكهربائية بتوتر عدة آلاف من الفولتات ثمّ تخفّض إلى 220 v عند الاستهلاك؟
- 3- تصنع النواة في المحوّلة من صفائح أو قضبان معزولة من الحديد اللين ؟.

ثالثاً : حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

يبلغ عدد لفات أوليّة محوّلة كهربائية $N_p = 125$ لفة وعدد لفات ثانويتها $N_s = 375$ لفة ، والتوتر اللحظي بين

طرفي الثانويّة يعطى بالمعادلة : $u_s = 120\sqrt{2} \cos 100\pi t \text{ (v)}$. المطلوب:

- 1 – احسب نسبة التحويل، ثمّ بيّن هل المحوّلة رافعة للتوتر أم خافضة له.
- 2 – احسب قيمة التوتر المنتج بين طرفي كل من الدارة الثانويّة و الأوليّة.
- 3 – نصل طرفي الدارة الثانويّة بمقاومة صرف $R = 30 \Omega$ ، احسب قيمة الشدة المنتجة للتيار المار في الدارة الثانويّة.
- 4 – نصل على التفرّع مع المقاومة السابقة وشيعة مهمة المقاومة ، فيمر في فرع الوشيعة تيار شدته المنتجة $I_{eff} = 3 \text{ A}$ ، احسب رديّة الوشيعة ، ثمّ اكتب التابع الزمني الشدة التيار المار في الوشيعة.
- 5 – احسب قيمة الشدة المنتجة الكليّة في الدارة الثانويّة باستخدام إنشاء فريزل.
- 6 – احسب قيمة الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الدارة ، وعامل استطاعة الدارة.

المسألة الثانية:

مولد كهربائي متناوب، يعطي تيار وتوتر فعالين قيمتهما $I_{eff} = 10 A$ ، $U_{eff} = 400 V$ ، يتم رفع هذا التوتر بواسطة محولة كهربائية مثالية إلى (4500 V) ويتم نقله بعد ذلك مسافة بعيدة بواسطة خط نقل مقاومته الكلية (30Ω) المطلوب:

- 1- عيّن النسبة المئوية للاستطاعة الضائعة في خط النقل في هذه الحالة.
- 2- ما هي النسبة المئوية للاستطاعة الضائعة في خط النقل في حال عدم رفع التوتر؟
- 3- إذا تم تبريد خط النقل بحيث تنخفض مقاومته إلى (5Ω) احسب الاستطاعة الضائعة في خط النقل حين يسري فيه تيار مقداره $(0.89 A)$.

المسألة الثالثة:

يبلغ عدد لفات أولية محولة 3750 لفة، وعدد لفات ثانويتها 125 لفة، نطبق بين طرفي الأولية توتراً منتجاً $U_{eff_p} = 3000 V$ ، ونربط بين طرفي الثانوية دارة تحوي على التفرع:

- مقاومة صرف الاستطاعة المستهلكة فيها $P_{avg_1} = 1000 W$
- وشيعة لها مقاومة أومية الاستطاعة المستهلكة فيها $P_{avg_2} = 1000 W$ ، يمرّ فيها تيار يتأخر بالطور عن

التوتر المطبق بمقدار $\frac{\pi}{3} \text{ rad}$ ، المطلوب حساب:

- 1- قيمة الشدة المنتجة للتيار المار في المقاومة.
- 2- قيمة الشدة المنتجة للتيار المار في المحرك.
- 3- قيمة الشدة المنتجة للتيار المار في ثانوية المحولة.
- 4- الشدة المنتجة للتيار المار في الدارة الأولية للمحولة.
- 5- عامل الاستطاعة في جملة الفرعين.

المسألة الرابعة:

يبلغ عدد الحلقات في أولية محولة 125 حلقة وفي ثانويتها 375 حلقة. نطبق بين طرفي الدارة الأولية فرق كمون منتج قيمته $10 V$ ، ونصل طرفي الثانوية بمقاومة صرف R مغموسة في مسعر يحوي $600 g$ من الماء. معادله المائي مهمل فترتفع حرارته $2.14^\circ C$ خلال دقيقة واحدة. المطلوب حساب:

- 1- قيمة المقاومة R
- 2- الشدتين المنتجتين في دارتي المحولة باعتبار مردودها يساوي الواحد.
- 3- نصل على التفرع بين طرفي المقاومة وشيعة مهملة المقاومة فتصبح الشدة المنتجة الكلية في الدارة الثانوية $5 A$ المطلوب حساب :
 - a - الشدة المنتجة للتيار في فرع الوشيعة باستخدام إنشاء فريزل، ثم اكتب تابع الشدة اللحظية .
 - b - ذاتية الوشيعة.
 - c - الاستطاعة المتوسطة في جملة الفرعين

تفكير ناقد

عملياً يوجد حد أعلى للتوترات التي يمكن نقلها عبر خطوط التوتر، فما العوامل التي تمنع من تجاوز هذا الحد في خطوط النقل البعيد للطاقة الكهربائية؟

أبحث أكثر

يعتمد عمل العديد من الأجهزة الكهربائية على المحولات ، ابحث في مكتبة المدرسة، وفي الشبكة عن أنواع المحولات واستخدامات كل منها.

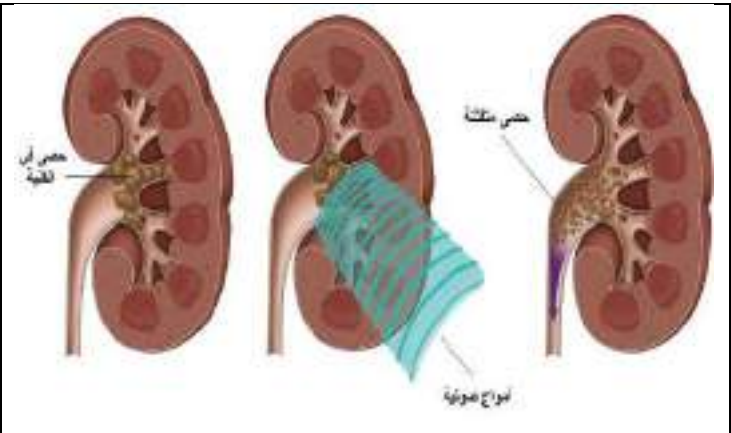
الأمواج المستقرّة

الأهداف التعليمية للوحدة

- يصف مجموعة الأمواج المستقرّة العرضيّة والطوليّة.
- يستنتج العلاقات الرياضيّة للأمواج المستقرّة.
- يذكر خصائص الأمواج المستقرّة.
- يتعرّف تطبيقات الأمواج المستقرّة العرضيّة والطوليّة.
- يحلّ تمارين ومسائل تطبيقية.



جهاز تفتيت الحصى بالأمواج التصادمية



يعتبر جهاز الأمواج الصوتية التصادمية من أحدث ما تم التّوصّل إليه في الطب لعلاج الحصى الموجودة في الكلى بدون جراحة عن طريق تفتيتها، وتحويلها إلى قطع صغيرة يسهل طرحها خارج الجسم. يمكن لكأس زجاجي أن يتحطم عندما يتعرض لموجة صوتية بتواتر مناسب.

الأمواج المستقرّة العرضية

الأهداف التعليمية

- يتعرّف الأمواج المستقرّة العرضية تجريبياً.
- يستنتج معادلة مطال نقطة في موجة مستقرّة عرضية.
- يفسّر تشكّل عقد وبطون الاهتزاز في موجة مستقرّة عرضية.
- يستنتج العلاقة المحددة لكلّ من أبعاد مواضع عقد وبطون الاهتزاز.
- يتعرّف بعض تطبيقات الأمواج المستقرّة العرضية.
- يتعرّف قانون الأوتار المهتزة.

كلمات مفتاحية:

بطن اهتزاز، عقدة اهتزاز، نهاية مقيدة، نهاية طليقة، وتر مهتز، حبل مرن، تجاوب، التواتر الأساسي، المدروجات.



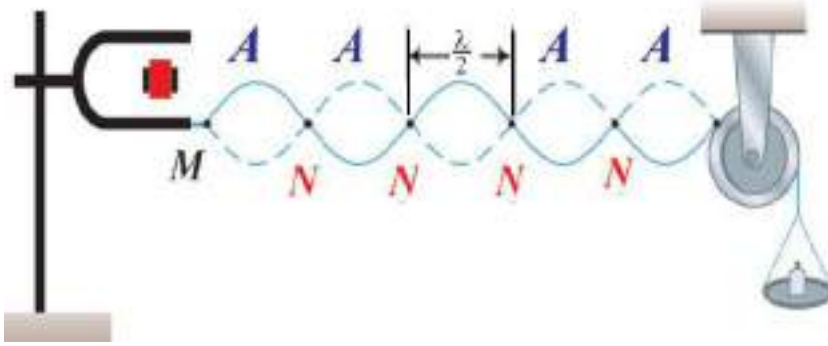
يستطيع عازف العود ضبط أوتار عوده باستخدام مفاتيح الضبط الاثني عشر الموجودة في نهاية العود حيث يعمل على شدّ هذه الأوتار، فيحدّد درجة قوة النغمات الصادرة من العود، وأثناء العزف يستخدم الريشة للنقر على الأوتار بالتزامن مع الضغط عليها، وكذلك الحال بالنسبة لجميع الآلات الوترية (كالغيتار والكمّان والبزق والقانون).

الدراسة التجريبية للأمواج المستقرّة العرضية في وتر:

أجرب واستنتج:

أدوات التجربة:

رنانة كهربائية ذات قاعدة تواترها (100Hz) – بكره – حامل معدني – كفة (حاملة) أثقال – أوزان مختلفة – خيط متين وخفيف (وتر مرّن) – وحدة تغذية – أسلاك توصيل – مسطرة.

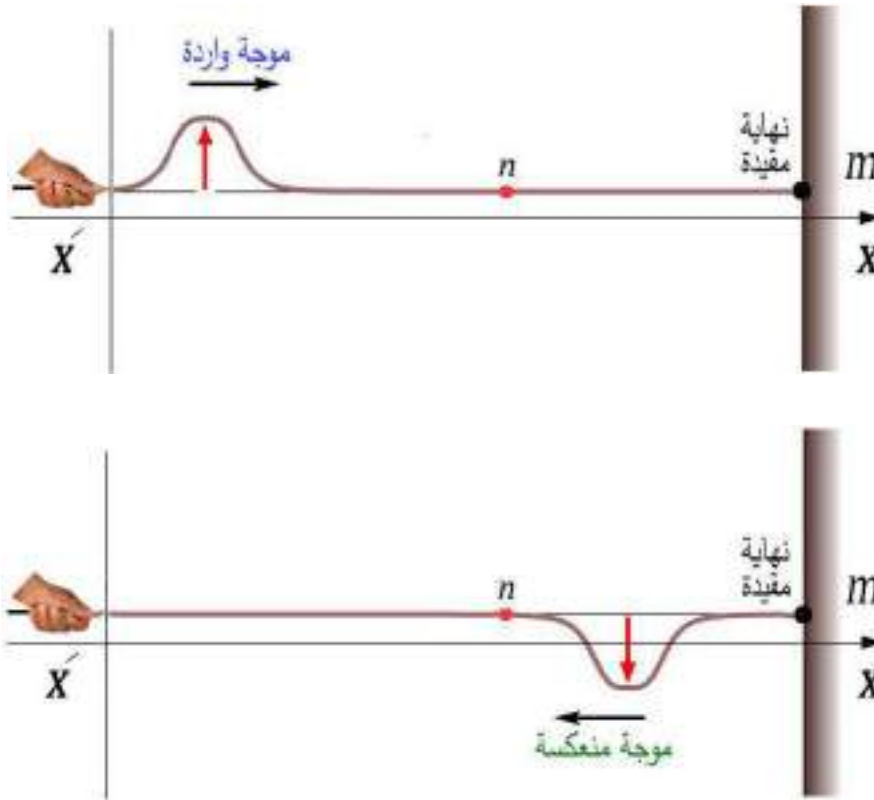


1. أثبتت البكره على الحامل.
2. أثبتت طرف الخيط بإحدى شعبي الرنانة.
3. أمّرر الخيط على محزّ البكره، وأعلّق بطرفه المتدلّي كفة الأثقال.
4. أضع في الكفة ثقل مناسب بحيث يُشدّ الخيط بوضع أفقي.
5. أصل الرنانة بوساطة أسلاك التوصيل بمربطي وحدة التغذية الموصولة بمأخذ تيار المدرسة (تيار المدينة).
6. أغلق مفتاح تشغيل وحدة التغذية لتعمل الرنانة، ماذا ألاحظ؟
7. أكتب معادلة مطال موجة وارده متقدمة جيبيّة بالاتجاه الموجب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ عندما تصل إلى النقطة n من وسط الانتشار والتي فاصلتها \overline{x} عن النهاية المقيده m في اللحظة t .
8. أكتب معادلة مطال موجة منعكسة متقدمة جيبيّة بالاتجاه السالب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ تصل إلى النقطة n من وسط الانتشار والتي فاصلتها \overline{x} عن النهاية المقيده m في اللحظة t .
9. أحدّد أوجه الاختلاف والتشابه بين الموجة الواردة المتقدمة والموجة المنعكسة المتقدمة؟
10. أحدّد ماذا يتشكّل نتيجة التداخل بين الموجة الجيبية الواردة مع الموجة الجيبية المنعكسة؟
11. أحرك حامل البكره وفق استقامة الوتر بحيث يتغيّر الطول المهتز منه، وأتوقّف عندما تتكوّن المغازل بسعة كبيرة نسبياً.
12. أنسأل ما الأمواج المستقرّة العرضية؟

النتائج:

- عندما تعمل الهزازة (الرنانة) تتشكل على طول الوتر أمواج عرضية جيبيّة متقدمة، وتكون معادلة مطال موجة وارده متقدمة جيبيّة بالاتجاه الموجب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ عندما تصل إلى النقطة n من وسط الانتشار والتي فاصلتها \overline{x} عن النهاية المقيده m في اللحظة t معطاة بالعلاقة:

$$\overline{y}_{1(t)} = Y_{\max} \cos(\omega t - 2\pi \frac{x}{\lambda}) \dots \dots \dots (1)$$



- وعندما تصل الأمواج الجيبية إلى النهاية المقيّدة للوتر تنعكس، فتولّد الموجة المنعكسة المتقدمة الجيبية بالاتجاه السالب للمحور $\overrightarrow{x'}$ ، في النقطة n في اللحظة t مطالاً يعطى بالعلاقة:

$$\overline{y}_{2(t)} = Y_{\max} \cos(\omega t + 2\pi \frac{x}{\lambda} + \phi') \dots \dots (2)$$

- تتعرّض لفرق في الطور ϕ' بسبب الانعكاس، وهو متأخّر في الطور عن الموجة الواردة إلى n .
- تنعكس الإشارة عن النهاية المقيّدة أو عن النهاية الطليقة بسرعة الانتشار نفسها والتواتر نفسه وبالسعة نفسها - عند إهمال الضياع في الطاقة - وينشأ فرق في الطور ϕ' بين الموجة الواردة والموجة المنعكسة في الوسط (الوتر):

1. إذا كانت النهاية مقيّدة فإنّ جهة الإشارة المنعكسة تعاكس جهة الإشارة الواردة أي يتولّد

بالانعكاس فرق طور $\phi' = \pi \text{ rad}$ (تعاكس بالطور).

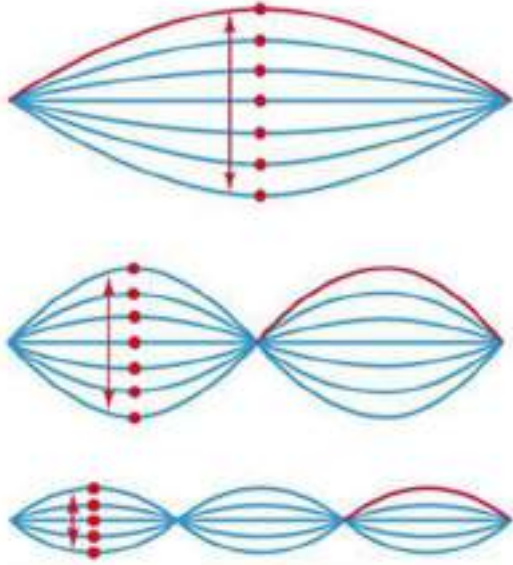
2. إذا كانت النهاية طليقة فإنّ جهة الإشارة المنعكسة نفسها للإشارة الواردة أي فرق الطور

$\phi' = 0 \text{ rad}$ (توافق بالطور)

- تتشكّل الأمواج المستقرة العرضية نتيجة التداخل بين موجة جيبية واردة مع موجة جيبية منعكسة على نهاية مقيّدة - مرتبطة بالبكرة - تعاكسها بجهة الانتشار ولها التواتر نفسه والسعة نفسها، وينتج عن تداخلهما:

- نقاط تهتز بسعة عظيمة تسمى بطون الاهتزاز، يرمز لها بـ A ، حيث تلتقي فيها الأمواج الواردة والمنعكسة على توافق دائم.

- ونقاط تنعدم فيها سعة الاهتزاز تسمى عقد الاهتزاز، يرمز لها بـ N ، حيث تلتقي فيها الأمواج الواردة والمنعكسة على تعاكس دائم.



- تكون المسافة الفاصلة بين كل عقدتين متتاليتين $\frac{\lambda}{2}$ ،

ويشكّل الاهتزاز ما بين عقدتين متجاورتين ما يشبه المغزل، وتهتز جميع نقاط المغزل الواحد على توافق بالطور فيما بينها، بينما تهتز نقاط مغزلين متجاورين على تعاكس بالطور فيما بينها، وتبدو الموجة وكأنّها تهتزّ مراوحة في مكانها، فتأخذ شكلاً ثابتاً، لذلك سمّيت بالأموح المستقرّة.

- **الموجة المستقرّة:** هي نمط اهتزاز مستقر تحتوي على عُقد بينها بطون تنشأ نتيجة التداخل بين موجتين متساويتين في التواتر والسعة وتنتشران في اتجاهين متعاكسين.

الدراسة النظرية للأمواج المستقرّة العرضية:

يمكن استنتاج المطال المحصل لاهتزاز النقطة n التي تخضع لتأثير الموجتين الواردة والمنعكسة معاً بجمع المعادلتين (1) مع (2) فيصبح مطالها المحصل $\bar{y}_{n(t)}$:

$$\bar{y}_{n(t)} = \bar{y}_{1(t)} + \bar{y}_{2(t)}$$

$$\bar{y}_{n(t)} = Y_{\max} [\cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} \bar{x}) + \cos(\omega t + \frac{2\pi}{\lambda} \bar{x} + \varphi')]$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \quad \text{وبما أن:}$$

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{\max} \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \bar{x} + \frac{\varphi'}{2} \right) \cos \left(\omega t + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad \text{نجد:}$$

الأمواج المستقرّة العرضية المنعكسة على نهاية مقيدة:

في الانعكاس على نهاية مقيدة يكون فرق الطور $\varphi' = \pi \text{ rad}$ نعوض:

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{\max} \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda} \bar{x} + \frac{\pi}{2} \right) \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$\cos \left(\theta + \frac{\pi}{2} \right) = -\sin \theta \quad \text{وبما أن: تصبح العلاقة:}$$

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{\max} \sin \frac{2\pi}{\lambda} \bar{x} \sin (\omega t)$$

$$\overline{y}_{n(t)} = Y_{\max/n} \sin(\omega t)$$

باعتبار $Y_{\max/n}$ سعة الموجة المستقرّة في النقطة n :

$$Y_{\max/n} = 2Y_{\max} \left| \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \right|$$

عقد الاهتزاز N : نقاط سعة اهتزازها معدومة دوماً، تحدّد أبعادها \overline{x} عن النهاية المقيّدة بالعلاقة:

$$Y_{\max/n} = 0 \Rightarrow \sin \frac{2\pi}{\lambda} x = 0$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} x = k\pi$$

$$x = k \frac{\lambda}{2}$$

حيث: $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

أي أنّ النقاط التي تبعد عن النهاية المقيّدة - التي يحصل عندها انعكاس وحيد - أعداد صحيحة موجبة من نصف طول الموجة، يصلها اهتزاز وارد واهتزاز منعكس على تعاكس دائم، فتكون ساكنة دوماً، وتؤلّف عقد اهتزاز N ، وتكون المسافة بين كلّ عقدتين متتاليتين $\frac{\lambda}{2}$.

بطون الاهتزاز A : نقاط سعة اهتزازها عظمى دوماً، تحدّد أبعادها \overline{x} عن النهاية المقيّدة بالعلاقة:

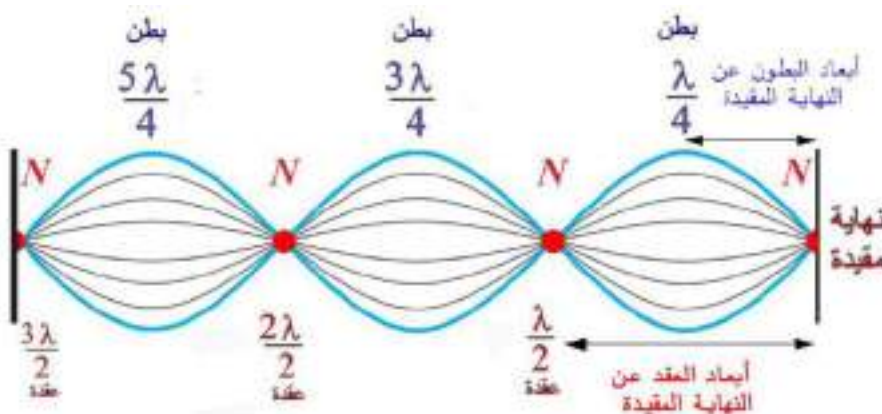
$$Y_{\max/n} = 2Y_{\max} \Rightarrow \sin \left| \frac{2\pi}{\lambda} \overline{x} \right| = 1$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} x = (2k + 1) \frac{\pi}{2}$$

$$x = (2k + 1) \frac{\lambda}{4}$$

حيث: $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

أي أنّ النقاط التي تبعد عن النهاية المقيّدة - التي يحصل عندها انعكاس وحيد - أعداد فردية من ربع طول الموجة،



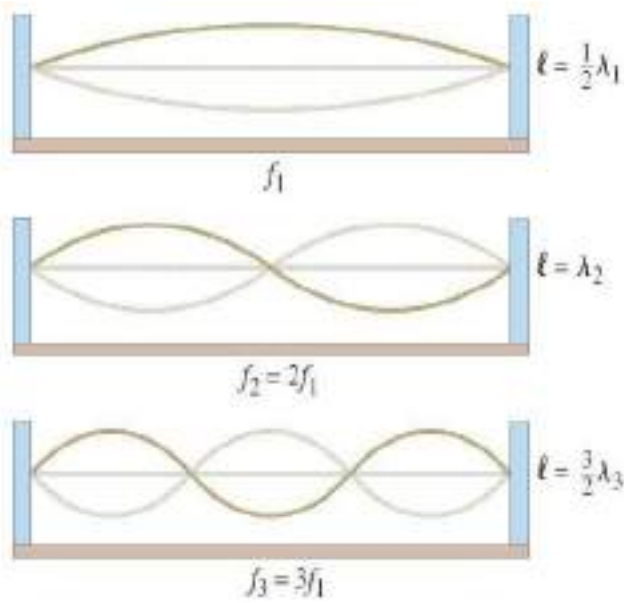
يصلها اهتزاز وارد واهتزاز منعكس على توافق دائم، فتكون سعة الاهتزاز فيها عظمى دوماً، وتؤلف بطون اهتزاز A ، وتكون المسافة بين كلّ بطنين متتاليتين $\frac{\lambda}{2}$ والمسافة بين كل عقدة وبطن يليه $\frac{\lambda}{4}$.

الاهتزازات الحرّة في وتر مرن:

أجرب واستنتج:

أدوات التجربة:

وتر مرن (حبل مطاطي) – مسمارين – قطعة خشبية – مطرقة -مسطرة.



- 1- أثبت مسمارين بواسطة المطرقة على القطعة الخشبية بين نقطتين البعد بينهما L .
- 2- أشدّ الوتر المرن بين النقطتين الثابتتين.
- 3- أزيح (أنقر) الوتر من منتصفه وأتركه يهتز.
- 4- كم مغزل يتشكّل في الوتر؟
- 5- ماذا أسمّي الصوت الناتج؟
- 6- ما نوع الاهتزازات الناتجة في الوتر؟
- 7- أنقر على الوتر من رבעه وألمس منتصفه برأس قلم، كم مغزلاً يتشكل في الوتر المهتز؟
- 8- ماذا أفعل ليهتز الوتر بثلاثة مغازل أو أربعة؟
- 9- ماذا أسمّي الأصوات الناتجة في الحالات السابقة؟

النتائج:

- عندما نُزيح الوتر المرن المشدود من منتصفه ونتركه فإنه يهتز اهتزازات حرّة بتواتره الخاص f_1 مولداً موجة مستقرة نتيجة انعكاسها بالنقطتين الثابتتين ويتشكّل مغزلاً واحداً، ونُسمّي الصوت الناتج بالصوت الأساسي f_1 .
- عندما ننقر الوتر المرن المشدود من رُبعه وألمس منتصفه برأس قلم يهتز الوتر بغزليْن.
- عندما ننقر الوتر المرن المشدود من سُدسه وألمسه من ثُلثه برأس قلم يهتز الوتر بثلاثة مغازل.
- يمكن أن يهتز الوتر المرن اهتزازات حرّة بتواترات خاصة مختلفة عندما تتغيّر شروط التجربة فيتشكّل فيه مغزليْن أو أكثر، ونُسمّي الأصوات الناتجة بالمدرجات.
- الوتر المرن المثبت من طرفيه يمكن أن يُؤلّف هزارة ذات تواترات خاصة متعدّدة، تُعطى بالعلاقة: $f = k f_1$ حيث: $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ عدد صحيح موجب
- نوّلد الاهتزاز العرضي بإزاحة الوتر عن وضع توازنه ويكون ذلك: بالنقر بالريشة (كالعود)، أو بالإصبع (كالقانون)، أو بالضرب بمطرقة (كالبیانو)، أو بالالتصاق بالقوس (كالكمّان).
- يمكن توليد الاهتزاز العرضي فيزيائياً باستخدام سلك نحاسي مشدود بقوة شدّ مُناسبة، بأن نمرّر فيه تياراً جيبيّاً متناوباً مُناسباً، ونُحيط الوتر بمغناطيس نضوي خطوط حقله عموديّة على السلك وفي وضع مناسب – في المنتصف مثلاً – ليهتز بالتجاوب مُكوناً مغزلاً واحداً، ويكون تواتر الوتر النحاسي مساوياً لتواتر التيار المتناوب.

الاهتزازات القسرية في وتر مرن:

(a) تجربة مد على نهاية مقيدة:

أجرب واستنتج:

أدوات التجربة:

هزازة جيبيّة مغدّاة (رنانة) سعّتها العظمى \bar{Y}_{\max} صغيرة، يمكن تغيير تواترها f - بكرة - حامل معدني - كفة (حاملة) أثقال - أوزان مختلفة - وتر مرن طوله L - وحدة تغذية - أسلاك توصيل - مسطرة.

1. أثبتت البكرة على الحامل.
2. أثبتت أحد طرفي الوتر بشعبة الهزازة (النقطة a).
3. أمّرر الوتر على محز البكرة (النقطة b) لتشكّل عقدة ثابتة، وأعلّق بطرفه المتدليّ كفة الأثقال.
4. أضع في الكفة ثقلاً مناسباً يشدّ الوتر بوضع أفقي ويجعل تواتر صوته الأساسي ثابتاً $f_1 = 10\text{Hz}$.
5. أزيد تواتر الرنانة f بالتدريج بدءاً من القيمة صفر حتى القيمة 10Hz ، ماذا ألاحظ؟
6. أجعل تواتر الرنانة $f = 10\text{Hz}$ ، هل يتشكّل موجة مستقرة واضحة بسعة عظمى Y_{\max} ؟
7. أجعل تواتر الرنانة $20\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ ، ماذا ألاحظ؟
8. أجعل تواتر الرنانة $f = 20\text{Hz}$ ، هل أشاهد مغزليين واضحين وبسعة اهتزاز عظمى؟
9. أتساءل كيف أحصل على أربعة مغازل في الوتر تهتز بسعة اهتزاز عظمى؟

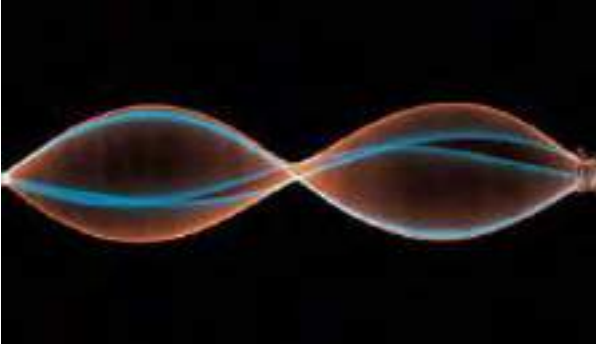
النتائج:

- تتولّد أمواج في الوتر مهما كانت قيمة تواتر الهزازة f .
- إذا كان تواتر الهزازة لا يساوي مضاعفات صحيحة للتواتر الأساسي للوتر f_1 ، يحدث اهتزازات قسريّة في الوتر بسعة اهتزاز صغيرة نسبياً من رتبة سعة



- اهتزاز الهزازة Y_{\max} .
- إذا كان تواتر الهزازة يساوي مضاعفات صحيحة للتواتر الأساسي للوتر $f = k f_1$ ، فإنّ الوتر يكون بحالة تجاوب (طنين)، وتكون سعة الاهتزاز عند البطن أكبر بكثير من السعة العظمى للهزازة، وفي هذه الحالة تتكوّن الأمواج المستقرّة.
- تتكوّن أمواج مستقرّة عرضيّة متجاوبة في k مغزلاً على طول الوتر، فيها عقدة اهتزاز عند النقطة b ، وعقدة اهتزاز عملياً بجوار الهزازة في النقطة a ، وتكون سعة اهتزاز البطن عظمى محققة التجاوب عملياً. ويكون طول الوتر عدداً صحيحاً من نصف طول الموجة $L = k \frac{\lambda}{2}$.
- يؤلّف الوتر (في التجربة السابقة) مجاوباً متعدّد التواتر،

فيحدث التجاوب من أجل سلسلة محدّدة تماماً من تواترات الهزّارة $f = 10, 20, 30, 40, \dots \text{Hz}$ ، ويتكوّن عندها عدد من المغازل $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ على الترتيب. إذا يحدث التجاوب عندما يكون تواتر الهزّارة مساوياً مضاعفات صحيحة للتواتر الأساسي للوتر $f = k f_1$.



الدراسة النظرية:

يتلقّى الوتر اهتزازاتٍ قسريّةً فُرضت عليه من الهزّارة، فتتكوّن على طوله أمواج مستقرّة عرضيّة متجاوبة في k مغزل، ويحدث التجاوب بين الهزارة كجمله محرّضة، والوتر كجمله مجاوبة إذا تحقق الشرط: $f = k f_1$

وبدراسة مماثلة لدراسة الأمواج المستقرّة العرضية المنعكسة على نهاية مقيدة نجد:

$$L = k \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$L = k \frac{v}{2f}$$

$$f = k \frac{v}{2L}$$

حيث: k عدد صحيح موجب $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

- يُسمّى أول تواتر يولّد مغزلاً واحداً: التواتر الأساسي.

$$k = 1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$$

- وتُسمّى بقية التواترات من أجل $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ تواترات المدروجات

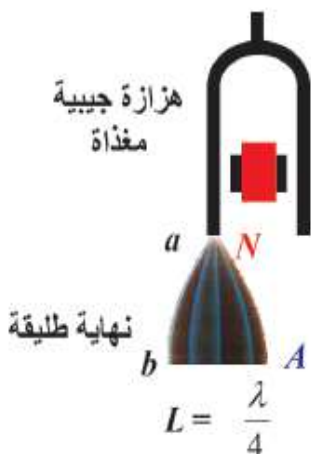
$$f = k \frac{v}{2L} = k f_1$$

(b) تجربة ملد على نهاية طليقة:

أجرب واستنتج:

أدوات التجربة:

هزّارة جيبيّة مغذّاة تواترها f - وتر مطاطي (أو سلك فولاذي) ab طوله L - وحدة تغذية - مسطرة.

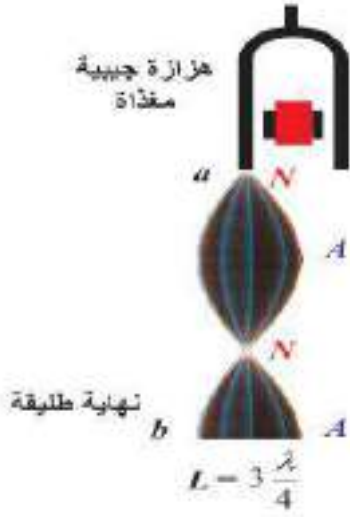


1. أثبت أحد طرفي الوتر بشعبة الهزّارة (النقطة a).
2. أترك الوتر يتدلى شاقولياً، ليكون طرفه السفلي b نهاية طليقة.
3. أغلق القاطعة لتعمل الهزّارة، ماذا تلاحظ؟

4. ماذا يتشكّل في كلّ من النقطة a ، والنقطة b عند حدوث التجاوب؟

النتائج:

- عندما تعمل الهزازة تتولّد أمواج مستقرّة في حالة التجاوب على طول الوتر.
- يتكوّن في النقطة a عقدة اهتزاز، وفي النقطة b بطن اهتزاز.
- عندما يكون طول الوتر $L = \frac{\lambda}{4}$ فإنه يُصدر صوتاً أساسياً تواتره: $f_1 = \frac{v}{4L}$.
- عندما يكون طول الوتر $L = 3\frac{\lambda}{4}$ فإنه يُصدر مدروجه الثالث تواتره:



$$f = 3\frac{v}{4L}$$

- تُحدّد المدروجات انطلاقاً من العلاقة المحدّدة لطول الوتر:

$$L = (2k - 1)\frac{\lambda}{4} = (2k - 1)\frac{v}{4f}$$

- تُحدّد التواترات الخاصة من العلاقة: $f = (2k - 1)\frac{v}{4L}$

حيث: k عدد صحيح موجب $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

ويُمثّل $(2k - 1)$ مدروج الصوت الصادر.

تطبيقات الأمواج المستقرّة

قياس سرعة انتشار الاهتزاز العرضي في وتر مشدود:

أجرب واستنتج:

أدوات التجربة:

هزازة جيبيّة مغذّاة سعّتها العظمى \bar{Y}_{\max} صغيرة، يمكن تغيير تواترها f - بكرة - حامل معدني - كفة (حاملة) - أثقال - أوزان مختلفة - وتر مرّن طوله L - وحدة تغذية - أسلاك توصيل - مسطرة.

1. أثبتت البكرة على الحامل.
2. أثبتت أحد طرفي الوتر بشعبة الهزازة (النقطة a).
3. أمّرر الوتر على محز البكرة (النقطة b) لتشكّل عقدة ثابتة، وأعلّق بطرفه المتدليّ كفة الأثقال.
4. أضع في الكفة ثقلاً مناسباً يشدّ الوتر بوضع أفقي (قوة شد الوتر F_T) ويجعل تواتر صوته الأساسي

$$f_1 = 10 \text{ Hz}$$

5. عندما تعمل الهزازة بتواتر $f = f_1$ ، يتشكّل في الوتر مغزل واحد، أعلل ذلك؟

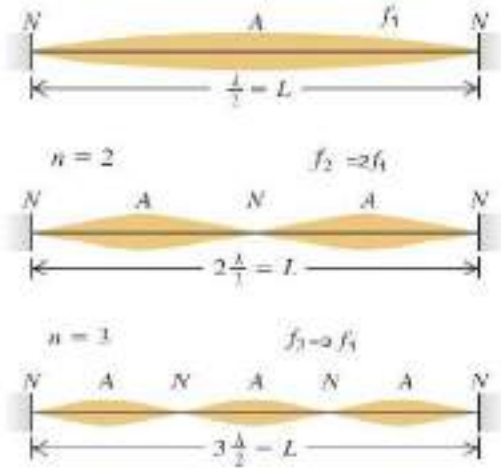
6. ماذا أسمّي الصوت الناتج في هذه الحالة؟

7. أفس المسافة بين عقدتين متتاليتين، ماذا تمثّل هذه القيمة؟

8. أحسب طول الموجة، وسرعة الانتشار؟

9. عندما تعمل الهزازة بتواتر $f = 2f_1$ ، يتشكّل في الوتر مغزلين، ماذا أُسمّي الصوت الناتج؟
10. أشكّل ثلاثة مغازل في الوتر بتغيير تواتر الرنانة ليصبح $f = 3f_1$ وأسمّي الصوت الناتج.
11. أحافظ على التواتر السابق وأضيف أثقالاً جديدة إلى كفة الأثقال بحيث يكون الثقل الكلي المعلق بطرف الوتر أربعة أمثال ما كان عليه، هل يزداد عدد المغازل أم ينقص؟
12. أحافظ على التواتر السابق، وأحافظ على الأثقال السابقة (قوة شد الوتر) وأنقص طول الوتر، هل يزداد عدد المغازل أم ينقص؟

النتائج:



- **الوتر المشدود:** هو جسم صلب مرّن أسطواني، طوله كبير بالنسبة لنصف قطر مقطعه، مشدود بين نقطتين ثابتتين تولّدان عقدتي اهتزاز في جملة أمواج مستقرّة عرضية.
- يحدث التجاوب عندما يكون تواتر الهزازة المعلوم f :
- مساوياً للتواتر الأساسي للوتر المهتز f_1 ويسمى الصوت الناتج **ب الصوت الأساسي** ويكون طول الوتر المهتز مساوياً $L = \frac{\lambda}{2}$ ، وتُحسب سرعة الانتشار من العلاقة $v = \lambda f$.
- أو مساوياً مضاعفات صحيحة منه $f = kf_1$ وتُسمى الأصوات الناتجة **ب المدروجات**.

- يزداد عدد المغازل عندما يزداد طول الوتر أو عندما يزداد تواتر الاهتزاز، وينقص بزيادة قوة الشدّ.
- تدلّ نتائج التجارب المختلفة على أنّ سرعة انتشار الاهتزاز العرضي في الوتر المهتز تتناسب:

1. طرداً مع الجذر التربيعي لقوة الشد F_T .
 2. عكساً مع الجذر التربيعي لكثافة وحدة الطول من الوتر المتجانس، وتُسمى الكثافة الخطيّة μ .
- أي:

$$v = \text{Const} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

إنّ هذا الثابت في الجملة الدولية يساوي الواحد ($\text{Const} = 1$).

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

حيث أنّ الكثافة الخطيّة للوتر: $\mu = \frac{m(\text{kg})}{L(\text{m})}$ ووحدتها في الجملة الدولية kg.m^{-1}

- نعوض عن سرعة انتشار الاهتزاز في الوتر، وعن الكثافة الخطيّة للوتر في علاقة تواتر الوتر المشدود فنجد:

$$f = k \frac{v}{2L} = \frac{k}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \frac{k}{2L} \sqrt{\frac{F_T L}{m}}$$

f تواتر الصوت البسيط الصادر عن الوتر، ويُقدّر بالهرتز Hz

F_T قوة شدّ الوتر، وتُقَدَّر بالنيوتن N

L طول الوتر، وتُقَدَّر بالمتر m

μ الكتلة الخطية للوتر، وتُقَدَّر بـ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$

k عدد صحيح يُمثّل عدد المغازل المتكوّنة في الوتر أو رتبة الصوت الصادر عنه (المدرج).

• إذا فرضنا أن وترًا طوله L ، كتلته m ، ومساحة مقطعه S وكتلته الحجمية ρ ؛ فتكون كتلته الخطية μ :



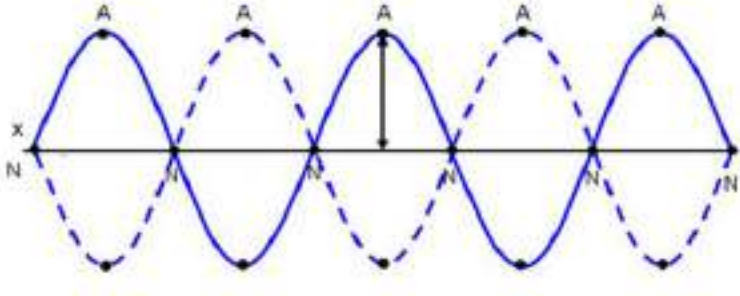
$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{\rho V}{L} = \frac{\rho S L}{L} = \rho S$$

$$\mu = \rho \pi r^2$$

تطبيق:

وتر مشدود طوله $L = 1\text{m}$ ، كتلته $m = 6\text{g}$ مشدود بقوة F_T يهتز بالتجاوب مع رنانة تواترها $f = 50\text{Hz}$

مكوناً خمسة مغازل. المطلوب حساب:



1. الكتلة الخطية للوتر.
2. قوة شدّ الوتر F_T المطبقة على الوتر.
3. سرعة انتشار الاهتزاز العرضي على طول الوتر.
4. عدد أطوال الموجة المتكوّنة.

الحل:

$$1. \mu = \frac{m}{L} = \frac{6 \times 10^{-3}}{1} = 6 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$$

2. عندما يهتز الوتر بالتجاوب يكون: تواتر التيار يساوي تواتر السلك.

$$f = \frac{k}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$F_T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{k^2} = \frac{4 \times (1)^2 \times (50)^2 \times 6 \times 10^{-3}}{(5)^2}$$

$$F_T = 2.4N$$

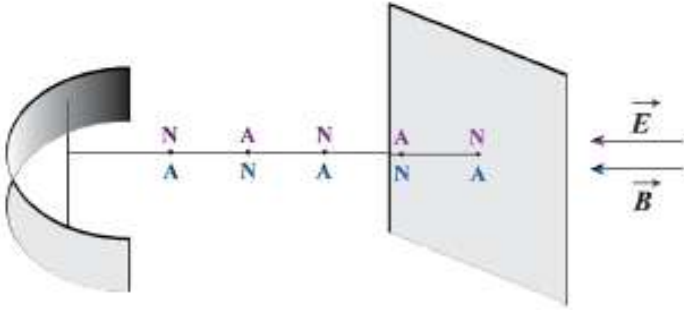
$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \sqrt{\frac{2.4}{6 \times 10^{-3}}} = 20 \text{ m.s}^{-1} \quad .3$$

$$\text{عدد أطوال الموجة} = \frac{L}{\lambda} = \frac{Lf}{v} = \frac{1 \times 50}{20} = 2.5 \quad .4$$

الأمواج الكهرومغناطيسية المستقرة:

نستخدم في منازلنا هوائي مُستقبل لالتقاط البث التلفزيوني، أو شحن الإشارة اللاقط للقنوات الفضائية.

نشاط

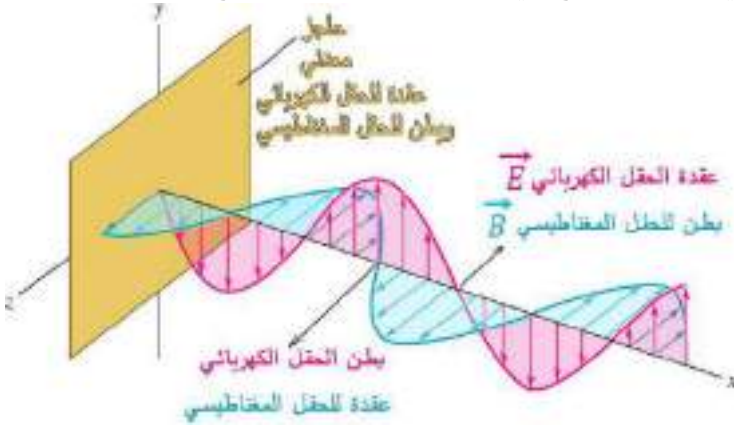


تَشكُل الأمواج المستقرة الكهرومغناطيسية

1. كيف تتولّد الأمواج الكهرومغناطيسية المستوية؟
2. مما تتألف الموجة الكهرومغناطيسية المستوية؟
3. ماذا يحدث عند وضع حاجزاً معدنياً ناقلاً مستوياً يبعد عن الهوائي المرسل بُعداً مناسباً وعمودياً على منحنى الانتشار.
4. ماذا يحدث للموجة الكهرومغناطيسية الواردة عندما تُلاقى الحاجز؟
5. ماذا ينتج عن تداخل الموجة الكهرومغناطيسية الواردة مع الموجة الكهرومغناطيسية المنعكسة؟
6. كيف نكشف عن الحقل الكهربائي؟
7. كيف نكشف عن الحقل المغناطيسي؟
8. ماذا يحصل عند نقل كلا الكاشفين بين الهوائي المرسل والحاجز؟

النتائج:

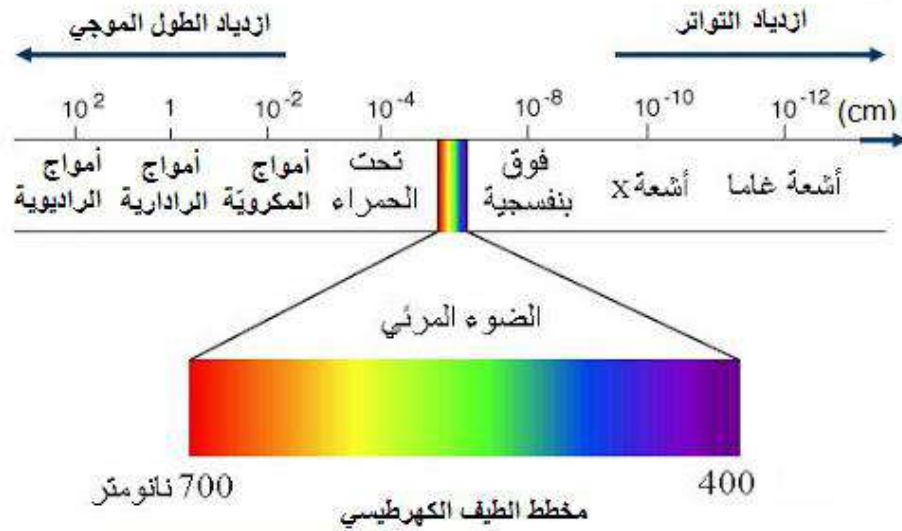
- تتولّد الأمواج الكهرومغناطيسية المستوية بواسطة هوائي مُرسل يُوضع في محرق عاكس بشكل قطع مكافئ دوراني.



- تتألف الموجة الكهرومغناطيسية المستوية من حقلين متعامدين: حقل كهربائي \vec{E} وحقل مغناطيسي \vec{B} .

- عندما تُلاقى الأمواج الكهرومغناطيسية الواردة حاجزاً معدنياً ناقلاً مستوياً عمودياً على منحنى الانتشار، ويبعد عن الهوائي المرسل بُعداً مناسباً، تنعكس عنه وتتداخل الأمواج الكهرومغناطيسية الواردة مع الأمواج الكهرومغناطيسية المنعكسة لتُؤلف أمواج كهرومغناطيسية مستقرة.

- نكشف عن الحقل الكهربائي \vec{E} بواسطة هوائي مُستقبل نضعه موازياً للهوائي المُرسل، يمكن تغيير طوله، وعند وصل طرفي الهوائي المُستقبل براسم اهتزاز مهبطي، وتغيير طول الهوائي حتى يرتسم على شاشة راسم الاهتزاز خط بياني بسعة عظمية فيكون أصغر طول للهوائي المُستقبل مساوياً $\frac{\lambda}{2}$.
 - نكشف عن الحقل المغناطيسي \vec{B} بواسطة حلقة نحاسية عمودية على \vec{B} فيولد فيها توتراً نتيجة تغير التدفق المغناطيسي الذي يجتازها.
 - عندما ننقل كلاً من الكاشفين بين الهوائي المُرسل والحاجز نجد الآتي:
 1. توالي مستويات للعقد N يدل فيها الكاشف على دلالة صغرى ومستويات للبطون A يدل فيها الكاشف على دلالة عظمية مُتساوية الأبعاد عن بعضها، قيمتها $\frac{\lambda}{2}$ بين كلّ مستويين لهما الحالة الاهتزازية نفسها.
 2. مستويات عقد الحقل الكهربائي هي مستويات بطون للحقل المغناطيسي وبالعكس.
 3. الحاجز الناقل المستوي عقدة للحقل الكهربائي ووطن للحقل المغناطيسي.
 - تتمتع هذه الأمواج بطيف واسع من التواترات يشمل الأمواج الطويلة مثل الأمواج الراديوية والرادارية والمكروية إلى الأمواج القصيرة مثل الضوء المرئي والأشعة السينية وأشعة غاما والأشعة الكونية.
- يُمثل الشكل الآتي مُخطّطاً يُعرف بالطيف الكهرطيسي:



الأمواج المستقرّة الطوليّة

الأهداف التعليمية

- يتعرّف الأمواج المستقرّة الطوليّة تجريبياً.
- يجري تجارب توضّح الأمواج المستقرّة الطوليّة.
- يتعرّف بعض تطبيقات الأمواج المستقرّة الطوليّة.
- يتعرّف المزامير (الأعمدة الهوائيّة) وأنواعها.
- يتعرّف قانوني المزامير.

كلمات مفتاحية:

انضغاط ، تخلخل، نابض، المزمّار، مزمّار متشابه الطرفين، مزمّار مختلف الطرفين.

عند عبورك نفقاً طويلاً وضيقاً للسيارات فإنك تسمع ضوضاءً وصخباً شديدين تصدران عن عبور السيارات والمركبات لهذا النفق.

الأمواج المستقرّة الطوليّة في نابض:

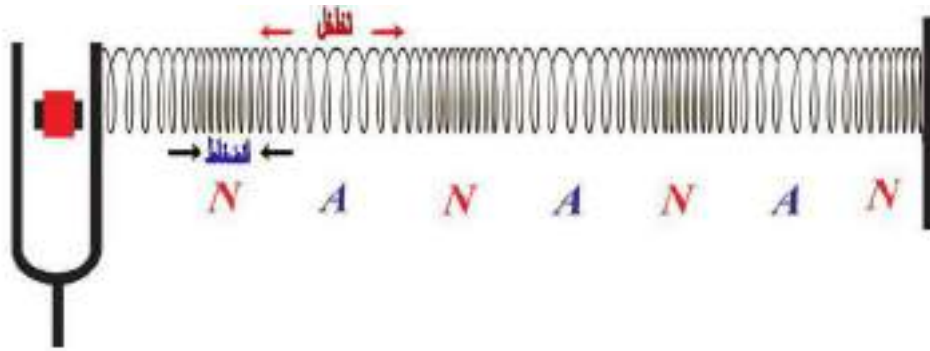
أجرب واستنتج:

أدوات التجربة:

رنانة كهربائيّة ذات قاعدة- نابض مرّن مناسب (ثابت صلابته صغير).

- 1- أثبت أحد طرفي النابض بنقطة ثابتة.
- 2- أثبت الطرف الآخر من النابض بشعبة هزازة جيبيّة مُغذّاة (رنانة كهربائيّة).
- 3- أشدّ النابض أفقياً بقوة شدّ مناسبة.
- 4- أغلق القاطعة لتعمل الرنانة الكهربائيّة.
- 5- ما نوع الأمواج الواردة من المنبع (الرنانة) والمنتشرة في النابض؟
- 6- ماذا يحدث للموجة الطوليّة الواردة عند وصولها إلى النقطة الثابتة؟
- 7- كيف تبدو لك حلقات النابض؟
- 8- ماذا أُسمي حلقات النابض الساكنة؟ وكيف تتكوّن؟
- 9- وماذا أُسمي حلقات النابض الأوسع اهتزازاً؟ وكيف تتكوّن؟
- 10- كيف تنشأ الأمواج المستقرّة الطوليّة في النابض؟

النتائج:



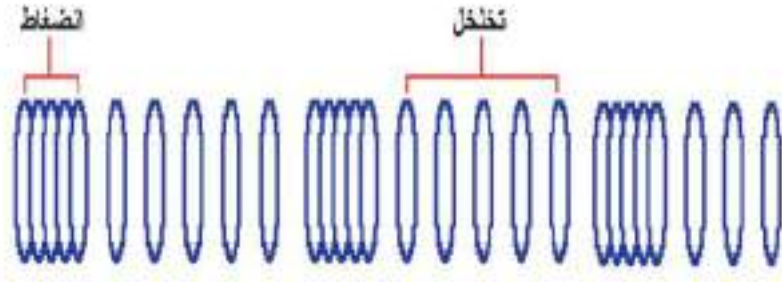
- عندما تعمل الهزازة تنتشر الأمواج الطوليّة الواردة من المنبع (الرنانة) وفق استقامة النابض لتصل إلى النهاية الثابتة وتنعكس عنها، فتتداخل الأمواج الطوليّة المنعكسة مع الأمواج الطوليّة

الواردة، ونشاهد على طول النابض حلقات تبدو ساكنة وحلقات أخرى تهتزّ بسعات متفاوتة فلا تتّضح معالمها.

- تُسمّى الحلقات الساكنة عقد اهتزاز Nodes حيث تكون سعة الاهتزاز معدومة، وتصلها الموجة الطوليّة الواردة و الموجة الطوليّة المنعكسة على تعاكس دائم، بينما الحلقات الأوسع اهتزازاً تُسمّى بطون الاهتزاز Antinodes حيث تكون سعة الاهتزاز عظمى، وتصلها الموجة الطوليّة الواردة و الموجة الطوليّة المنعكسة على توافق دائم.
- تُسمّى الموجة الناتجة عن تداخل الأمواج الطوليّة الواردة والأمواج الطوليّة المنعكسة: الأمواج المستقرّة الطوليّة.

الدراسة النظرية:

- إن بطن الاهتزاز والحلقات المجاورة له تترافق دوماً في الاهتزاز إلى إحدى الجهتين-تكد تدبو المسافات بينها ثابتة- فلا نلاحظ



- تضاغط بين حلقات النابض أو تخلخل فيها أي يبقى الضغط ثابتاً، أي أن بطون الاهتزاز هي عقد للضغط.
- إن عقد الاهتزاز تبقى في مكانها- تتحرك الحلقات المجاورة على الجانبين في جهتين متعاكستين دوماً- فتتقارب خلال نصف دور ثم تتباعد خلال نصف الدور الآخر، وبذلك نلاحظ تضاغطاً يليه تخلخل، أي أن عقد الاهتزاز التي عندها تغير في الضغط هي بطون للضغط.

- المسافة بين عقدتي اهتزاز متتاليتين أو بطني اهتزاز متتاليين يساوي نصف طول الموجة $\frac{\lambda}{2}$ ، والمسافة بين عقدة اهتزاز وبطن اهتزاز تالٍ يساوي ربع طول الموجة $\frac{\lambda}{4}$.

الأعمدة والمزامير

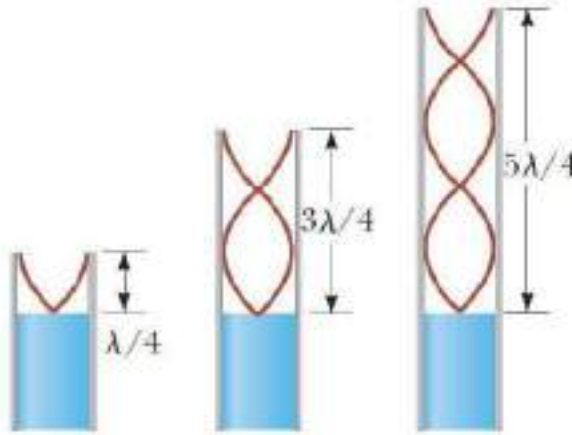
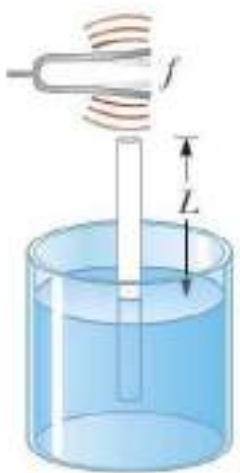
الأعمدة الهوائية المفتوحة والمغلقة:

- إذا حاولت التحدث في علبة معدنية كبيرة وفارغة فإنه يصدر صوتاً عالياً وشديداً.
- النفخ بشكلٍ موازٍ بالقرب من فوهة قارورة زجاجية فارغة يصدر عنها صوتاً عالياً وشديداً.

أجرب واستنتج:

أدوات التجربة:

- رنانة تواترها معلوم $f = 512 \text{ Hz}$ - مطرقة مطاطية خاصة بالرنانة - أنبوب زجاجي (أو بلاستيكي) مفتوح الطرفين طوله 40 cm وقطره 3.5 cm - وعاء مملوء بماء ملون - ساكن - أنبوب آخر زجاجي (أو بلاستيكي) مفتوح الطرفين طوله 30 cm وقطره 2.5 cm - مسطرة.



- 1- أضع الأنبوب الزجاجي داخل الوعاء المملوء بالماء الساكن.
- 2- أمسك الرنانة من قاعدتها ثم اضرب بالمطرقة على إحدى شعبيتيها.
- 3- أقرب الرنانة المهتزة لتصبح فوق طرف الأنبوب الزجاجي المفتوح مباشرة.
- 4- أرفع الأنبوب والرنانة ببطء نحو الأعلى حتى أسمع صوتاً شديداً عالياً.

5- أحرك الأنبوب الزجاجي إلى الأعلى أو الأسفل قليلاً لتحديد نقطة الرنين الأولى (الصوت الشديد) بدقة.

6- أفس المسافة من سطح الماء (نقطة الرنين) إلى أعلى الأنبوب الزجاجي.

7- ماذا تمثل هذه القيمة المقاسة.

8- أضرب بالمطرقة على الرنانة مرة أخرى وأقربها من طرف الأنبوب المفتوح، وأستمر في رفع الأنبوب الزجاجي نحو الأعلى ببطء حتى أسمع صوتاً شديداً عالياً مرة أخرى.

9- أدد نقطة الرنين الثانية على الأنبوب بدقة، وأفس المسافة من هذه النقطة إلى أعلى الأنبوب الزجاجي.

10- ماذا تمثل هذه القيمة المقاسة.

11- أخرج الأنبوب الزجاجي (البلاستيكي) السابق من الحوض، وأدخل فيه الأنبوب البلاستيكي الآخر ذي القطر الأقل (ليشكلاً أنبوبة تلسكوبية يمكنك تغيير طولها) فأحصل على عمود هوائي مفتوح الطرفين.

12- أقرب الرنانة المهتزة من أحد طرفي العمود الهوائي المفتوح وأزيد من طوله ببطء وذلك بإخراج الأنبوب الآخر رويداً رويداً حتى أسمع صوتاً شديداً عالياً.

13- أقيس طول العمود الهوائي الناتج، ماذا تمثل هذه القيمة المقاسة.

14- عند استخدام رنانة أخرى مختلفة تواترها $f' = 320 \text{ Hz}$ ، هل تتغير القيم المقاسة السابقة؟

ملاحظة: يمكن إجراء التجربة باستخدام أنبوب أسطواني زجاجي (أو بلاستيكي) مغلق من أحد طرفيه مع رنانة مهتزة حيث يمكن تغيير طوله بإضافة الماء إليه تدريجياً حتى يصدر الصوت الشديد.

النتائج:

- يحدث تضخيم وتقوية للصوت أثناء انتقاله عبر الأنابيب نتيجة حدوث انعكاسات متكررة داخله، فيتولد عنها أمواج مستقرة ذات نغمات صوتية واضحة، وتزداد وضوحاً في الأنابيب الضيقة.
- تتولد أمواج مستقرة طولية في هواء الأنبوب ونسمع صوتاً شديداً عالياً عندما يكون تواتر الرنانة يساوي تواتر الهواء في عمود الأنبوب.
- يتكون عقدة اهتزاز عند سطح الماء الساكن لأنه يمنع الحركة الطولية للهواء (حيث يُعتبر نهاية مُغلقة)، وبطن اهتزاز تقريباً عند فوهة الأنبوب (نهاية مفتوحة).

• طول أقصر عمود هوائي

فوق سطح الماء يحدث عنده

التجاوب (الرنين الأول)

$$L_1 = \frac{\lambda}{4}$$

• طول العمود الهوائي فوق

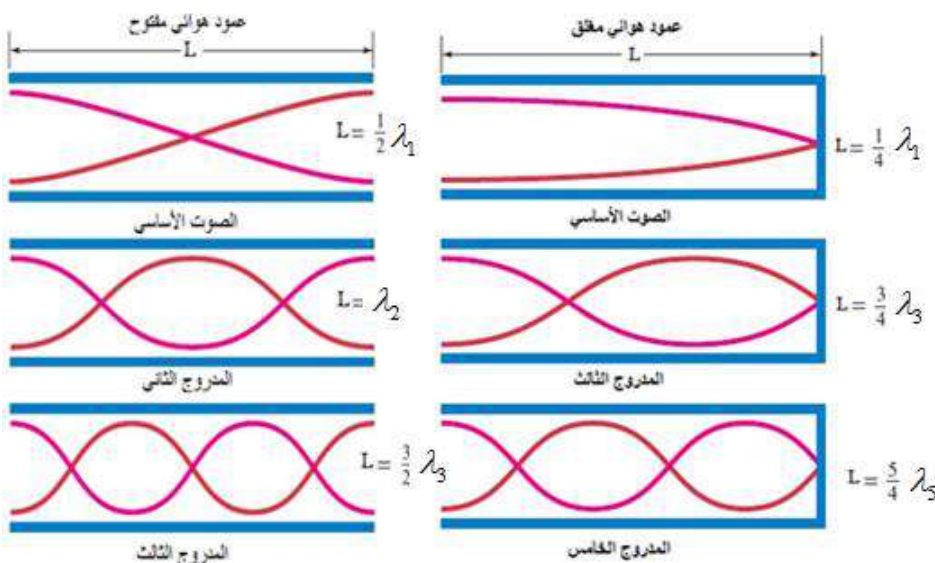
سطح الماء يحدث عنده

التجاوب (الرنين الثاني)

$$L_2 = \frac{3\lambda}{4}$$

• المسافة بين مستويي الماء

الموافقين للصوتين الشديدين



$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} \text{ المتتاليين}$$

- في العمود الهوائي مفتوح الطرفين يتشكّل عند كل طرف مفتوح بطن للاهتزاز وفي منتصف العمود عقدة للاهتزاز فيكون طول العمود الهوائي في هذه الحالة $L = \frac{\lambda}{2}$
- عند استخدام رنانة تواترها كبير نحصل على عمود هوائي طوله قصير.
- يتناسب تواتر الرنانة المستخدم عكساً مع طول العمود.
- تتشابه الأعمدة الهوائية المفتوحة بأنفاق عبور السيّارات.
- تُعطى سرعة الصوت في هواء الأنبوب بالعلاقة: $v = \lambda f$
- في العمود الهوائي المغلق لا يمكن الحصول على المدروجات ذات العدد الزوجي.
- تعمل القناة السمعية في أذن الإنسان التي تنتهي بغشاء الطبل كأنها عمود هوائي مغلق في حالة رنين (تجاوب) يؤدي إلى زيادة حساسية الأذن للتواترات من 2000Hz إلى 5000Hz في حين يمتد المدى الكامل لتواترات الصوت التي تسمعها الأذن البشرية من 20Hz إلى 20000Hz ،

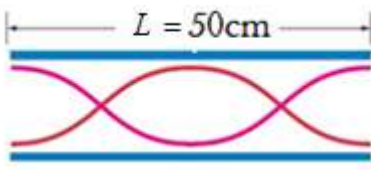
تطبيق:

نستخدم رنانة تواترها $f = 250 \text{ Hz}$ لقياس سرعة انتشار الصوت في الهواء داخل أنبوب هوائي مغلق فسُمع أعلى صوت عندما كان طول أقصر عمود هوائي مساوياً 35 cm ، احسب سرعة انتشار الصوت في هواء الأنبوب ضمن شروط التجربة.

$$\text{الحل: } L = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda = 4L = 4 \times 0.35 = 1.4 \text{ m}$$

$$v = \lambda f = 1.4 \times 250 = 350 \text{ m.s}^{-1}$$

تطبيق:



أنبوب هوائي مفتوح الطرفين طوله $L = 50 \text{ cm}$ يُصدر الرنين الثاني باستخدام رنانة تواترها غير معلوم.

فإذا كانت سرعة انتشار الصوت في شروط التجربة $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$ احسب تواتر الرنانة.

$$\text{الحل: } L = n \frac{\lambda}{2}$$

$$L_2 = 2 \frac{\lambda}{2} = \lambda = 0.5 \text{ m}$$

$$v = \lambda f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0.5} = 680 \text{ Hz}$$

تطبيق:

(1) يبلغ طول القناة السمعية في الأذن البشرية $L = 3 \text{ cm}$ والتي تؤدي إلى غشاء الطبل وهي عبارة عن عمود هوائي مغلق، فإذا علمت أن سرعة انتشار الصوت في القناة $v = 348 \text{ m.s}^{-1}$ أوجد قيمة أصغر تواتر يحدث عنده التجاوب (الرنين الأول).

(2) إذا علمت أن الضغط الناتج عن محادثة عادية $P = 0.02 \text{ Pa}$ ، ومساحة غشاء الطبل $S = 0.50 \text{ cm}^2$ ، أوجد القوة الضاغطة المؤثرة في غشاء الطبل.

$$L = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda = 4L = 4 \times 0.03 = 0.12 \text{ m} \quad (\text{الحل: 1})$$

$$v = \lambda f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{348}{0.12} = 2900 \text{ Hz}$$

وهذا أول أفضل تواتر لحدوث السمع، ويُسمى التواتر الأساسي للقناة السمعية

$$F = P.S = 0.02 \times 0.5 \times 10^{-4} = 10^{-6} \text{ N} \quad (2)$$

تعريف:

العمود الهوائي المفتوح: هو أنبوب أسطواني الشكل، مفتوح الطرفين والمملوء بجزيئات الهواء الساكنة يمكن تغيير طوله بإضافة أنبوب آخر قطره أقل، وطول هذا الأنبوب عند التجاوب يساوي عدداً صحيحاً من نصف طول الموجة.

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad \text{حيث: } n = 1, 2, 3, \dots$$

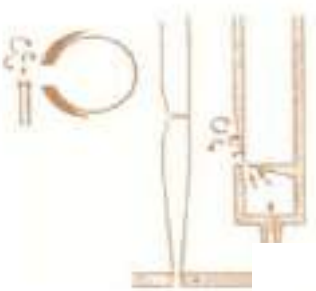
العمود الهوائي المغلق: هو أنبوب أسطواني الشكل، مفتوح من طرف ومغلق من الطرف الآخر والمملوء بجزيئات الهواء الساكنة يمكن تغيير طوله بإضافة الماء، وطول هذا الأنبوب عند التجاوب يساوي عدداً فردياً من ربع طول الموجة

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{حيث: } n = 1, 2, 3, \dots$$

المزمارة: أنبوب أسطواني أو موشوري، مقطعه ثابت وصغير بالنسبة إلى طوله، جدرانه خشبية أو معدنية ثخينة لكي لا تشارك في الاهتزاز، يحتوي غاز (الهواء غالباً) يهتز بالتجاوب مع المنبع الصوتي للمزمارة.

تُصنّف المنابع الصوتية إلى نوعين:

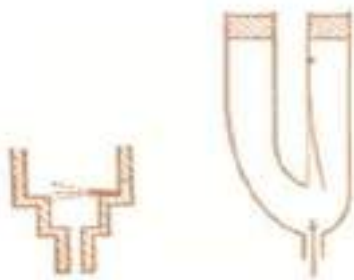
1. **المنبع ذو الفم:** وهو نهاية غرفة صغيرة مفتوحة يدفع فيها الهواء وينساق، ليخرج من شق ضيق، ويتشكل عند الفم بطن اهتزاز (عقدة ضغط).



مع ثوبم

الهواء، لها ضغط

2. **المنبع ذو لسان:** يتألف من صفيحة مرنة تدعى اللسان قابلة للاهتزاز، مثبتة من أحد طرفيها تقطع جريان تواتر المنبع، ويتشكل عند اللسان عقدة اهتزاز (بطن



منبع ذو لسان

تعلييل الأمواج المستقرّة الطوليّة في أنبوب هواء المزمّار:

عندما تهتز طبقة الهواء المجاورة للمنبع ينتشر هذا الاهتزاز طولياً في هواء المزمّار كله لينعكس على النهاية. تتداخل الأمواج الواردة مع الأمواج المنعكسة داخل الأنبوب لتؤلف جملة أمواج مستقرّة طولية، ويتكوّن عند النهاية المغلقة عقدة للاهتزاز، أما عند النهاية المفتوحة يتكون بطن للاهتزاز. ونعلّل ذلك: بأنّ الانضغاط الوارد إلى طبقة الهواء الأخيرة يزيحها إلى الهواء الخارجي، فتسبّب انضغاطاً فيه، وتخلخلاً وراءها يستدعي تهافت هواء المزمّار ليملاً الفراغ، وينتج عن ذلك تخلخلٌ ينتشر من نهاية المزمّار إلى بدايته، وهو منعكس الانضغاط الوارد.

قوانين المزمّار:

تُقسم المزمّامير من الناحية الاهتزازيّة إلى نوعين:

1. **متشابهة الطرفين:** منبع ذو فم يتشكّل عنده بطن اهتزاز ونهايته مفتوحة يتشكّل عندها بطن اهتزاز، أو منبع ذو لسان يتشكّل عنده عقدة اهتزاز ونهايته مغلقة يتشكّل عندها عقدة اهتزاز.
2. **مختلفة الطرفين:** منبع ذو فم يتشكّل عنده بطن اهتزاز ونهايته مغلقة يتشكّل عندها عقدة اهتزاز، أو منبع ذو لسان يتشكّل عنده عقدة اهتزاز ونهايته مفتوحة يتشكّل عندها بطن اهتزاز.

أولاً: المزمّار متشابهة الطرفين:

يُبيّن الشكل عقداً وبطون الاهتزاز في مزمّار متشابهة الطرفين، وفيه يكون طول المزمّار L يساوي عدداً صحيحاً من نصف طول الموجة. نلاحظ من الشكل أنّ طول المزمّار L يساوي تقريباً: $\frac{\lambda}{2}, 2\frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, \dots$ أي:

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

حيث: $n = 1, 2, 3, \dots$ عدد صحيح موجب، ولكن $\lambda = \frac{v}{f}$ نعوض

فنجد:

$$L = n \frac{v}{2f}$$

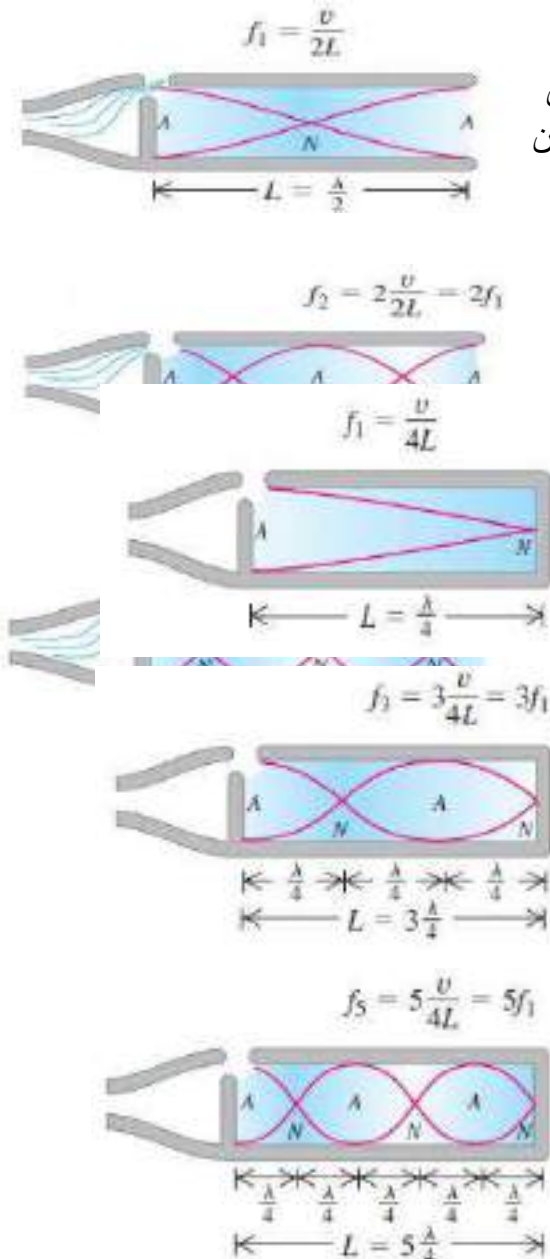
$$f = n \frac{v}{2L}$$

f تواتر الصوت البسيط الصادر عن المزمّار (Hz).

L طول المزمّار (m).

v سرعة انتشار الصوت في غاز المزمّار (m.s^{-1}).

n عدد صحيح موجب يمثل رتبة صوت المزمّار (مدرجات الصوت).



ولكي يُصدر المزمار مدروجاته المختلفة نزيد بفخ الهواء فيه تدريجياً، كما يمكن إصدار مدروجات المزمار ذي اللسان بتغيير طول اللسان.

ثانياً: المزمار مختلف الطرفين:

يُبين الشكل عقداً وبطوناً الاهتزاز في مزمار مختلف الطرفين، وفيه يكون طول المزمار L يساوي عدداً فردياً من ربع طول الموجة. نلاحظ من الشكل أن طول المزمار L يساوي تقريباً: $\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots$ أي:

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$$

حيث: $n = 1, 2, 3, \dots$ عدد صحيح موجب، ولكن $\lambda = \frac{v}{f}$ نعوض فنجد:

$$L = (2n - 1) \frac{v}{4f}$$

$$f = (2n - 1) \frac{v}{4L}$$

f تواتر الصوت البسيط الصادر عن المزمار (Hz).

L طول المزمار (m).

v سرعة انتشار الصوت في غاز المزمار (m.s^{-1}).

$(2n - 1)$ يمثل رتبة صوت المزمار (مدروجات الصوت).

ملاحظات:

- تواتر الصوت الأساسي الذي يُصدره مزمار يتناسب طردياً مع سرعة انتشار الصوت في غاز المزمار. ويمكن تغيير هذه السرعة بزيادة درجة حرارة الغاز أو تغيير طبيعته.

• تدل التجارب على أن سرعة انتشار صوت في الغازات:

(a) تتناسب سرعة انتشار الصوت في غاز معين طردياً مع الجذر التربيعي لدرجة حرارته المطلقة

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad T \text{ (كلفن)}$$

حيث: $T (K) = 273 + t (^{\circ}C)$

(b) تتناسب سرعتنا انتشار الصوت في غازين مختلفين عكساً مع الجذر التربيعي لكثافتهما

D_1, D_2 بالنسبة للهواء، إذا كان الغازان في درجة حرارة واحدة، ولهما رتبة ذرية واحدة (أي

عدد الذرات التي تُؤلف جزيئته هي نفسها). أي:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

M : الكتلة المولية للغاز (الكتلة الجزيئية الغرامية)

$$D = \frac{M}{29} \text{ تُعطى كثافة غاز بالنسبة للهواء بالعلاقة:}$$

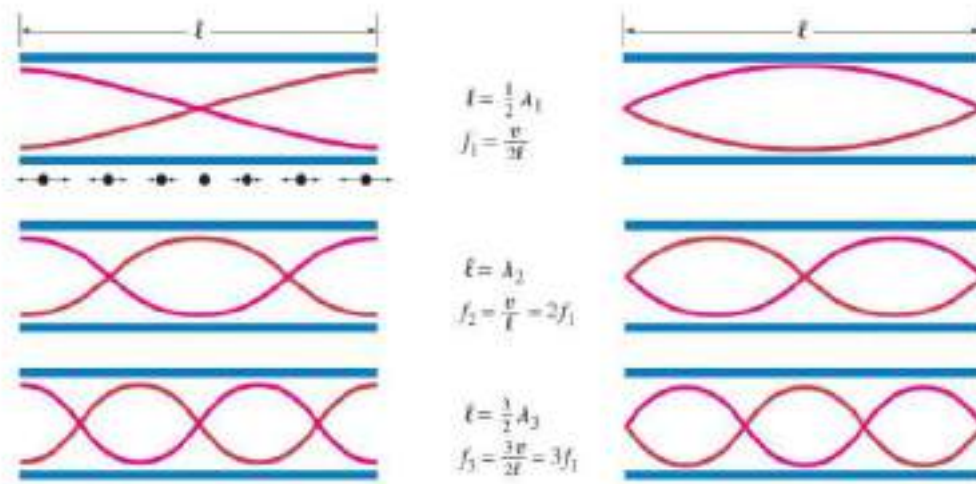
ملاحظة:

- بما أن الرنانة تقع خارج الأنبوب الزجاجي بمسافة معينة، فإنّ بطن الاهتزاز سيمتد إلى خارج الأنبوب قليلاً، لذلك يجب تصحيح طول العمود الهوائي المقيس بإضافة هذه المسافة إلى الطول الأصلي L والتي

$$L_1 = \frac{\lambda}{4} + 0.6 d \text{ تُسمّى مقدار التصحيح فتصبح العلاقة:}$$

حيث d : نصف قطر الأنبوب الزجاجي.

في العمود الهوائي مفتوح الطرفين يتشكّل عند كل طرف مفتوح بطن للاهتزاز لذلك يجب تصحيح طول العمود باستخدام عامل التصحيح مرتين.



تعلمت:

- تتشكّل الأمواج المستقرة العرضية نتيجة التداخل بين موجة جيبية واردة مع موجة جيبية منعكسة على نهاية مقيدة – مرتبطة بالبكرة-تعاكسها بجهة الانتشار ولها التواتر نفسه والسعة نفسها، وينتج عن تداخلهما:

نقاط تهتز بسعة عظمى تسمى بطون الاهتزاز.

نقاط تنعدم فيها سعة الاهتزاز تسمى عقد الاهتزاز.

المسافة الفاصلة بين العقد متساوية وتساوي نصف طول الموجة $\frac{\lambda}{2}$.

المسافة الفاصلة بين البطون متساوية وتساوي نصف طول الموجة $\frac{\lambda}{2}$.

المسافة بين كل عقدة وبطن يليه مباشرة $\frac{\lambda}{4}$.

- في الأمواج المستقرة العرضية المنعكسة على نهاية مقيدة:

$$L = k \frac{\lambda}{2} , \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

$$f = k \frac{v}{2L}$$

حيث: k عدد صحيح موجب $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

- يُسمّى أول تواتر يولّد مغزلاً واحداً: التواتر الأساسي.

$$k = 1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L} \quad \text{المدرج الأول (الأساسي).}$$

- وتُسمّى بقيّة التواترات من أجل $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ بـ تواترات المدرجات.

- في الأمواج المستقرة العرضية المنعكسة على نهاية طليقة:

$$L = (2k - 1) \frac{\lambda}{4} = (2k - 1) \frac{v}{4f}$$

$$f = (2k - 1) \frac{v}{4L}$$

حيث: k عدد صحيح موجب $k = 1, 2, 3, 4, \dots$

ويُمثّل $(2k - 1)$ مدرج الصوت الصادر.

$$f = k \frac{v}{2L} = \frac{k}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \frac{k}{2L} \sqrt{\frac{F_T L}{m}} \quad \text{يهتز الوتر بالتجاوب عندما يكون}$$

- طول أقصر عمود هوائي فوق سطح الماء يحدث عنده التجاوب (الرنين الأول) يُساوي $L_1 = \frac{\lambda}{4}$.

- طول العمود الهوائي فوق سطح الماء يحدث عنده التجاوب (الرنين الثاني) يُساوي $L_2 = \frac{3\lambda}{4}$.

- المسافة بين مستويي الماء الموافقين للصوتين الشديدين المتتاليين $\Delta L = \frac{\lambda}{2}$

- في العمود الهوائي مفتوح الطرفين يتشكّل عند كل طرف مفتوح بطن للاهتزاز وفي منتصف العمود

$$L = \frac{\lambda}{2} \quad \text{عقدة للاهتزاز فيكون طول العمود الهوائي في هذه الحالة}$$

- في العمود الهوائي المغلق لا يمكن الحصول على المدرجات ذات العدد الزوجي.

- في المزمارة متشابه الطرفين: $L = n \frac{\lambda}{2}$ ، $f = n \frac{v}{2L}$.

$$f = (2n - 1) \frac{v}{4L} , \quad L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{في المزمارة مختلف الطرفين:}$$

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. في الأمواج المستقرّة العرضيّة المسافة بين عقدتين متتاليتين تساوي:

- A) $\frac{\lambda}{4}$ B) $\frac{\lambda}{2}$ C) λ D) 2λ

2. فرق الطور ϕ بين الموجة الواردة والموجة المنعكسة على نهاية مُقيّدة تساوي بالراديان:

- A) $\phi = 0$ B) $\phi = \frac{\pi}{3}$ C) $\phi = \frac{\pi}{2}$ D) $\phi = \pi$

3. في تجربة ملد مع نهاية طليقة يُصدر وترّاً طوله L صوتاً أساسياً طول موجته λ تساوي:

- A) $4L$ B) $2L$ C) L D) $\frac{L}{2}$

4. وتر مهتز طوله L ، وسرعة انتشار الموجة العرضيّة على طوله v وقوة شدّه F_T فإذا زدنا قوة شدّه أربع مرات لتصبح سرعة انتشاره v' تساوي:

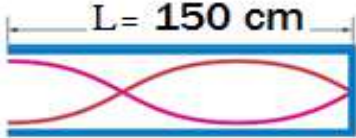
- A) $\frac{v}{4}$ B) $\frac{v}{2}$ C) $2v$ D) $4v$

5. وتر مهتز طوله L ، وكتلته m ، وكتلته الخطيّة μ نقسمه إلى قسمين متساويين فإنّ الكتلة الخطيّة لكل قسم تساوي:

- A) 2μ B) μ C) $\frac{\mu}{2}$ D) 4μ

6. يُمثّل الشكل أنبوب هوائي مغلق طوله $L = 150 \text{ cm}$ ، فإنّ طول الموجة الصوتيّة λ تساوي:

- A) 50cm B) 250cm C) 200cm D) 150cm



7. طول العمود الهوائي المفتوح الذي يُصدر نغمته الأساسيّة يُعطى بالعلاقة:

- A) $L = \frac{\lambda}{4}$ B) $L = \frac{\lambda}{2}$ C) $L = \lambda$ D) $L = 2\lambda$

8. طول العمود الهوائي المغلق الذي يُصدر نغمته الأساسيّة يُعطى بالعلاقة:

- A) $L = \frac{\lambda}{4}$ B) $L = \frac{\lambda}{2}$ C) $L = \lambda$ D) $L = 2\lambda$

9. وتران متجانسان من المعدن نفسه مشدودان بقوة الشد نفسها، قطر الوتر الأول 1mm ، وقطر الوتر الثاني 2mm ، فإذا كانت سرعة انتشار اهتزاز عرضي في الوترين v_1 ، v_2 على الترتيب فإنّ:

- A) $v_1 = v_2$ B) $v_1 = 2v_2$ C) $v_1 = 4v_2$ D) $2v_1 = v_2$

10. مزمار متشابه الطرفين طوله L ، وسرعة انتشار الصوت في هواءه v فتواتر صوته البسيط الأساسيّ الذي يُصدره يُعطى بالعلاقة:

$$A) f = \frac{v}{2L} \quad B) f = \frac{v}{4L} \quad C) f = \frac{4v}{L} \quad D) f = \frac{2v}{L}$$

11. مزمار ذو فم نهايته مفتوحة عندما يهتز هواؤه بالتجاوب يتكوّن عند نهايته المفتوحة:

بطن ضغط (D) جميع ماسبق صديج (C) قدة اهتزاز (B) بطن اهتزاز (A)
12. مزمار متشابه الطرفين طوله L ، يصدر صوتاً أساسياً موقتاً للصوت الأساسي لمزمار آخر مختلف الطرفين طوله L' في الشروط نفسها. فإن:

$$A) L = L' \quad B) L = 2L' \quad C) L = 3L' \quad D) L = 4L'$$

13. يصدر أنبوب صوتي مختلف الطرفين صوتاً أساسياً تواتره 435 Hz ، فإن تواتر الصوت التالي الذي يمكن أن يصدره يساوي:

$$A) 145 \text{ Hz} \quad B) 217.5 \text{ Hz} \quad C) 870 \text{ Hz} \quad D) 1305 \text{ Hz}$$

14. في تجربة ملد مع نهاية مقيدة تتكوّن أربعة مغازل عند استخدام وتر طوله $L = 2\text{m}$ ، وهزارة تواترها $f = 435 \text{ Hz}$ فتكون سرعة انتشار الاهتزاز v مقدرة بـ m.s^{-1} تساوي:

$$A) 435 \quad B) 290 \quad C) 1742 \quad D) 870$$

15. إذا كانت v_1 سرعة انتشار الصوت في غاز الهيدروجين ($H = 1$)، و v_2 سرعة انتشار الصوت في غاز الأكسجين ($O = 16$)، بدرجة الحرارة نفسها، فإن:

$$A) v_1 = v_2 \quad B) v_1 = 4v_2 \quad C) v_1 = 8v_2 \quad D) v_1 = 16v_2$$

16. طول الموجة المستقرّة هو:

- A. المسافة بين بطنين متتاليين أو عقدتين متتاليتين.
- B. مثلي المسافة بين بطنين متتاليين أو عقدتين متتاليتين.
- C. نصف المسافة بين بطنين متتاليين أو عقدتين متتاليتين.
- D. نصف المسافة بين بطن وعقدة تليه مباشرة.

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. في تجربة أمواج مستقرّة عرضيّة تعطى معادلة اهتزاز نقطة n من وتر مرّن تبعد \bar{x} عن نهايته المقيدة:

$$\bar{y}_{n(t)} = 2 Y_{\max} \sin \frac{2\pi}{\lambda} \bar{x} \sin (\omega t)$$

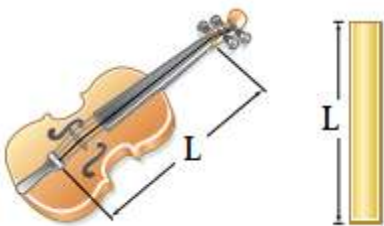
2. استنتج العلاقة المحددة لكل من مواضع بطون وعقد الاهتزاز، ما بُعد البطن الثاني عن النهاية المقيدة؟ كيف نجعل مزماراً ذا لسان مختلف الطرفين من الناحية الاهتزازية؟ استنتج العلاقة المحددة لتواتر الصوت البسيط الذي يصدره هذا المزمار بدلالة طوله.

3. استنتج قوة الشد F_T في وتر كمان كتلته m ، وطوله L ، عندما يهتز

بالتواتر الأساسي، الذي يساوي التواتر الأساسي لعمود هوائي مغلق طوله L ، وسرعة انتشار الصوت في الهواء v .

تطبيق: احسب قيمة قوة الشد F_T في وتر كتلته $m = 1\text{g}$ وطوله

$L = 40\text{cm}$ عندما يهتز بالتواتر الأساسي، الذي يساوي التواتر



الأساسي لعمود هوائي مغلق طوله L ، إذا علمت أنّ سرعة انتشار الصوت في الهواء $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.
 4. تُنَبَّت بإحدى شعبتي رنانة كهربائية تواترها f طرف وتر له طول مناسب ومشدود بثقل مناسب كتلته m لتكوّن أمواج مستقرّة عرضيّة بثلاثة مغازل، ولكي نحصل على مغزلين تُجري التجربتين الآتيتين:
 (a) نستبدل الرنانة السابقة برنانة أخرى تواترها f' مع الكتلة السابقة نفسها m . استنتج العلاقة بين

التواترين f, f'

(b) نستبدل الكتلة السابقة m بكتلة أخرى m' مع الرنانة السابقة نفسها f . استنتج العلاقة بين الكتلتين m, m'

5. كيف يتم عملياً الكشف عن الحقل الكهربائي \vec{E} والحقل المغناطيسي \vec{B} في الأمواج المستقرّة الكهرومغناطيسيّة المنتشرة في الهواء؟

6. إذا تكوّنت ثلاثة مغازل لأمواج مستقرّة عرضيّة في وتر مشدود بقوة مناسبة، وأردنا الحصول على خمسة مغازل بتغيير قوة الشد فقط، فهل نزيد تلك القوة أم نُقصها؟ ولماذا؟

7. علل ما يأتي:

- لا يحدث انتقال للطاقة في الأمواج المستقرّة كما في الأمواج المنتشرة.

- تُسمّى الأمواج المستقرّة بهذا الاسم.

8. في الأمواج المستقرّة العرضيّة، هل يهتز البطن الأول والبطن الثالث التالي على توافق أم على تعاكس فيما بينهما؟

ثالثاً: حل المسائل الآتية: (في جميع المسائل $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$).

الأولى: إذا كانت سرعة انتشار الصوت في الهواء $v = 331 \text{ m.s}^{-1}$ بدرجة 0°C . احسب سرعة انتشار الصوت في الدرجة 27°C .

الثانية: يُصدر أنبوب صوتي مختلف الطرفين صوتاً أساسياً تواتره $f = 435 \text{ Hz}$. فما تواترات الأصوات الثلاثة المتتاليّة التي يمكنه أن يصدرها؟

الثالثة: يُصدر وتر صوتاً أساسياً تواتره 250 Hz . كم يصبح تواتر صوته الأساسي إذا نقص طول الوتر حتى النصف ($L' = \frac{L}{2}$) وازدادت قوة الشد حتى مثليها ($F' = 2F$).

الرابعة: تهتز رنانة تواترها $f = 440 \text{ Hz}$ فوق عمود هوائي مغلق، حدّد البعد الذي يحدث عنده الرنين الأول عندما تكون درجة حرارة الهواء في العمود 20°C ، حيث سرعة انتشار الصوت في هذه الحالة $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

الخامسة: استعملت رنانة تواترها $f = 445 \text{ Hz}$ فوق عمود رنين مغلق لتحديد سرعة انتشار الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كان البعد بين صوتين شديدين متتاليين (رينين متعاقبين) $L = 110 \text{ cm}$ ، احسب سرعة انتشار الصوت في غاز الهيليوم.

السادسة: أحسب تواتر الصوت الأساسي لوتر مشدود طوله $L = 0.7 \text{ m}$ وكتلته $m = 7 \text{ g}$ شدّ بقوة قدرها $F_T = 49 \text{ N}$.

السابعة: تهتز شعبتا رنانة كهربائية بتواتر $f = 30 \text{ Hz}$ ، نصل إحدى الشعبتين بخيط مرّن طوله $L = 2 \text{ m}$.

(1) يُشد الخيط بقوة شدتها $F_T = 7.2 \text{ N}$ فيهتز مُكوّناً مغزلاً واحداً. استنتج كتلة الخيط؟

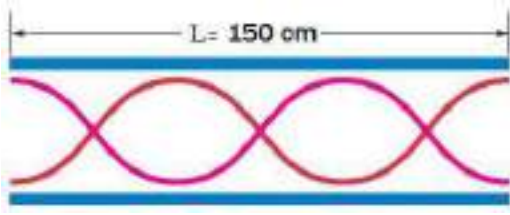
(2) احسب قوتي الشد التي تجعل الخيط يهتز بمغزلين ثم بثلاثة مغازل مع الرنانة نفسها؟

الثامنة: احسب سرعة انتشار اهتزاز عرضي في وتر قطر مقطعه 0.1 mm ، وكثافته مادته 8 ، مشدود بقوة شدتها $F_T = 100\pi$ N .

التاسعة: يصدر مزمار صوتاً أساسياً تواتره $f = 432$ Hz وهو مملوء بالأكسجين. احسب قيمة تواتر صوته الأساسي عندما يُملأ بالهيدروجين.

العاشر: إذا كانت سرعة انتشار الصوت في الهواء $v = 330$ m.s⁻¹ ، المطلوب حساب:

- (a) تواتر الصوت الأساسي الذي يُصدره عمود هوائي طوله $L = 2$ m إذا كان مغلقاً، ثم إذا كان مفتوحاً.
(b) تواتر المدروج الثالث في كل حالة.



الحادية عشرة: يُمثل الشكل المجاور أنبوب هوائي مفتوح طوله

$$L = 150 \text{ cm}$$

فإذا علمت أنّ تواتر الرنانة المستخدم هو $f = 350$ Hz . احسب سرعة انتشار الصوت في الهواء ضمن شروط التجربة.

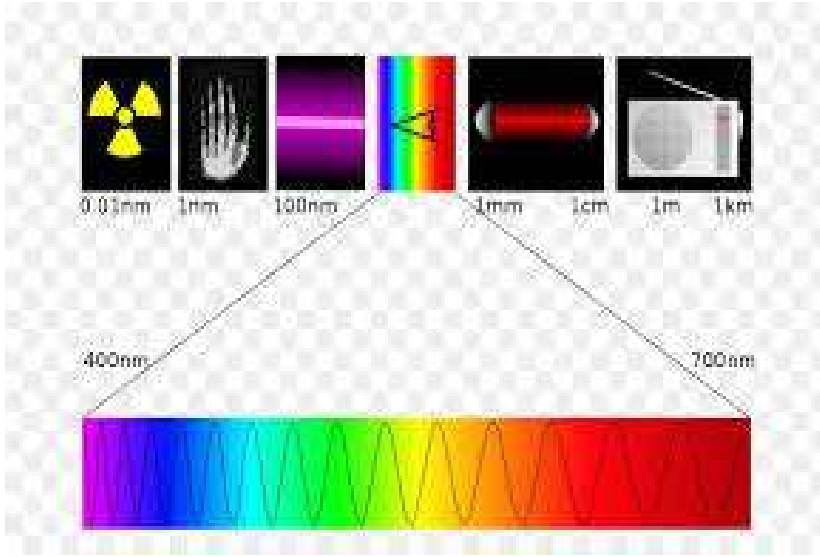
الثانية عشرة: وتر آلة موسيقية، طوله $L = 1$ m ، وكتلته $m = 20$ g ، مُثبت من طرفيه ومشدود بقوة $F_T = 2$ N .

المطلوب حساب:

- (1) سرعة انتشار الاهتزاز على طول الوتر.
 - (2) تواتر الصوت الأساسي الذي يمكن أن يصدر عنه.
 - (3) التواترات الخاصة لمدروجاته الثلاثة الأولى.
- الثالثة عشرة:** مزمار متشابه الطرفين طوله $L = 1$ m يصدر صوتاً تواتره $f = 170$ Hz ، يحوي هواء في درجة حرارة معينة حيث سرعة انتشار الصوت $v = 340$ m.s⁻¹ . المطلوب حساب:

- (1) عدد أطوال الموجة التي يحويها المزمار.
- (2) طول مزمار آخر مختلف الطرفين يحوي الهواء يصدر صوتاً أساسياً مواظاً للصوت السابق في درجة الحرارة نفسها.

النماذج الذرية والطيف



الطيف الكهرطيسي مصطلح عام يشمل جميع الترددات الممكنة من الإشعاعات الكهرطيسية. و يُعرّف الطيف الكهرطيسي ايضاً بخطوط الأشعة الصادرة من جسم أسود عند درجة حرارة معينة.

لكل عنصر كيميائي طيف يميزه، أي له مجموعة خطوط متسلسلة تميزه عن غيره، ويسمى هذا الطيف "طيف انبعاث"

كلمات مفتاحية

التكميم - طاقة التآين - سويات الطاقة - الطيف الذرية - طيف مستمر - طيف متقطع - التحليل الطيفي

يُفترض من الطالب في نهاية الدرس أن:

- 1- يتعرف فرضيات نموذج بور الذري الخاص بذرة الهروجين
- 2- يُحدّد مستويات الطاقة في ذرة الهروجين.
- 3- يستنتج علاقة طاقة الإلكترون في مداره في ذرة الهروجين
- 4- يشرح مع الرسم مفهوم إثارة الذرة
- 5- يوضح طرق إثارة الذرة
- 6- يميّز بين أنواع الطيف.

هل تساءلت كيف يستفيد العلماء من دراسة ظاهرة كسوف الشمس، لمعرفة مكوناتها.

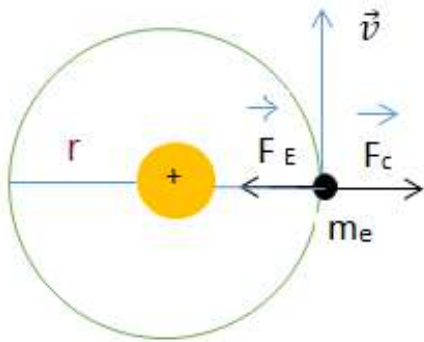
نموذج بور

قدّم بور نموذجاً في بنية الذرة معتمداً على التوفيق بين النموذج الذري والنظرية الكهروضوئية، وكان يرى في نظرية الكم وثابت بلانك حلاً لذلك، واستخدم بور تكميم الضوء لشرح الطيف الذرية، **وضع المبادئ الآتية:**

- 1- إنّ تغيّر طاقة الذرة مكتمم.
- 2- لا يمكن للذرة أن تتواجد إلا في حالات طاقة محدّدة، كل حالة منها تتميز بسوية طاقة محددة.
- 3- عندما ينتقل الإلكترون في ذرة مثارة من سوية طاقة E_2 إلى سوية طاقة E_1 فإنّ الذرة تُصدر فوتوناً طاقته تساوي فرق الطاقة بين السويتين، أي: $\Delta E = E_2 - E_1 = h.f$

التكميم في ذرة الهيدروجين

نشاط



في الشكل المجاور تمثيل لأبسط ذرة في الطبيعة وهي ذرة الهيدروجين، التي تتكوّن من إلكترون واحد يتحرّك في الحقل الكهربائي لبروتون واحد. ألاحظ وأجيب:

- أحرّد القوى المؤثرة في إلكترون ذرة الهيدروجين على مداره.
- أكتب علاقة شدة كلّ قوة من القوى المؤثرة في الإلكترون.
- أفسّر سبب الحركة الدائرية المنتظمة لهذا الإلكترون.

أستنتج:

- يخضع الإلكترون لتأثير قوتين بإهمال قوّة التجاذب الكتلي بين البروتون والإلكترون لصغرها، هما:

القوّة الكهربائية الناجمة عن جذب النواة (بروتون) له، تعطى شدتها بالعلاقة:

$$F_E = k \frac{e^2}{r^2} \dots\dots\dots (1)$$

حيث:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ ، } \epsilon_0 \text{ سماحية الخلاء الكهربائية،}$$

r نصف قطر المدار الذي يتحرّك عليه الإلكترون.
قوّة العطالة النابذة ناجمة عن الدوران، تعطى شدتها بالعلاقة:

$$F_C = m_e \frac{v^2}{r} \dots\dots\dots (2)$$

- حركة إلكترون ذرة الهيدروجين حول النواة هي حركة دائرية منتظمة، لأنّ القوّة الكهربائية الناجمة عن جذب النواة له مساوية لقوّة العطالة النابذة.

1- فرضيات بور

الفرض الأول:

حركة الإلكترون حول النواة دائرية منتظمة، أي:

$$F_E = F_c$$

$$k \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r}$$

$$v^2 = k \frac{e^2}{m_e r} \dots\dots\dots (3)$$

الطاقة الميكانيكية (الكلية) للإلكترون:

$$E = E_k + E_p \dots\dots\dots (4)$$

حيث:

$$E_p = -k \frac{e^2}{r} \quad \text{الطاقة الكامنة الكهربائية:}$$

$$E_k = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r} \quad \text{الطاقة الحركية:}$$

بالتعويض والاصلاح نجد:

$$E = -k \frac{e^2}{2r} \dots\dots\dots (5)$$

وهي علاقة الطاقة الميكانيكية للإلكترون ذرة الهروجين في مداره.

الفرض الثاني:

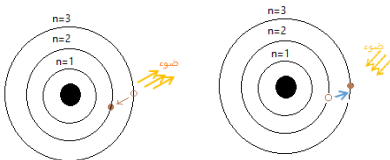
اقترح بور أنّ هناك مدارات محدّدة ذات أنصاف أقطار مختلفة يمكن للإلكترون ذرة الهروجين أن يدور فيها حول النواة، وفي أيّ منها عزم كمية الحركة للإلكترون من المضاعفات الصحيحة لـ $\frac{h}{2\pi}$ أي أنّ العزم الحركي للإلكترون يعطى بالعلاقة:

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \dots\dots\dots (6)$$

حيث $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ثابت بلانك، $n = 1, 2, 3, \dots$ رقم المدار.

الفرض الثالث:

لا يُصدر الإلكترون طاقة طالما بقي متحركاً في أحد مداراته حول النواة، لكنه يمتص طاقة بكميات محدّدة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أبعد عن النواة، ويُصدر طاقة بكميات محدّدة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أقرب إلى النواة تُحسب بالعلاقة:



$$\Delta E = hf$$

حيث: f تواتر الإشعاع، h ثابت بلانك.

2- مستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين

من العلاقة (6) نجد:

$$v^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e^2 r^2} \dots\dots\dots (7)$$

بالتعويض في (1) نجد:

$$\frac{1}{2} m \frac{n^2 h^2}{m^2 r^2} = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r^2}$$

نستنتج:

$$r = r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2 k}$$

أي:

$$r = n^2 r_0$$

مع: $r_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2 k}$ هو نصف قطر بور الذي نحصل عليه عندما $n = 1$.

بالتعويض في (2) نجد:

$$E = E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{2\pi^2 m e^4 k^2}{h^2}$$

أي:

$$E_n = \frac{E_0}{n^2}$$

$$E_0 = -\frac{2\pi^2 e^4 k^2}{h^2} = -13.6 \text{ eV} \text{ مع:}$$

إن طاقة الحالة الأساسية للهيدروجين ($n=1$):

$$E = E_0 = -13.6 \text{ eV}$$

3- طاقة التأين لذرة الهيدروجين

لكي تتأين ذرة الهيدروجين يجب إعطاؤها طاقة تكفي لنقل الإلكترون من السوية الأساسية إلى حالة عدم الارتباط أي إلى طاقة معدومة، أي يلزم إعطاء طاقة أكبر أو تساوي 13.6 eV.

4- طاقة الإلكترون في مداره:

تتواجد إلكترونات الذرة في حالة حركة حول نواتها، لكن لا يمكن تحديد موضع (أو سرعة) أيٍّ من هذه الإلكترونات في لحظة ما بدقة، وإنما يمكن فقط تحديد كثافة احتمال تواجد الإلكترون في لحظة ما في موضع ما. بالرغم من ذلك فقد تم استخدام النماذج الذرية الكلاسيكية، التي تفترض مسارات دائرية للإلكترونات حول النواة، لإيجاد طاقات وسرعة الإلكترونات في السويات المختلفة وذلك من أجل ذرة الهيدروجين، والذرات الشبيهة بالهيدروجين. إن الطاقة الكلية للإلكترون في مداره في جملة (إلكترون - نواة) تتألف من قسمين:

1- قسم سالب هو الطاقة الكامنة نتيجة تأثره بالحقل الكهربائي الناتج عن النواة والتي تُعطى بالعلاقة:

$$E_p = F_c r_n = -\frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 r_n}$$

2- قسم موجب هو الطاقة الحركية الناتجة عن دورانه حول النواة والتي تُعطى بالعلاقة:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v_n^2 = \frac{e^2}{8\pi \epsilon_0 r_n}$$

$$E_n = E_p + E_k \quad \text{أي أن:}$$

نعوض عن e , r_n , ϵ_0 فنحصل العلاقة التي تعطي الطاقة الكلية للإلكترون في مدار n :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

وهي طاقة سالبة لأنها طاقة ارتباط تشكّل طاقة التجاذب الكهربائية الجزء الأكبر منها، والقيمة المطلقة لهذه الطاقة تتناسب عكساً مع رتبة المدار n الذي يدور فيه الإلكترون، وتزداد طاقة الإلكترون بازدياد رتبة المدار n أي مع ابتعاد الإلكترون عن النواة.

الطيوف الذرية

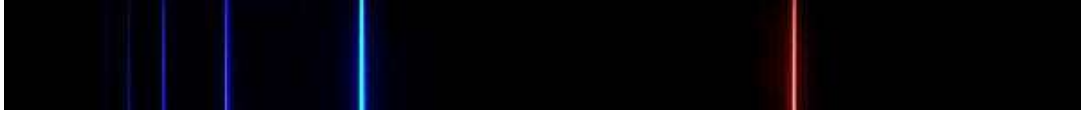
أتساءل:

ما منشأ الطيف؟ وما أنواعها؟ وما الاختلاف بين طيف وآخر؟ وكيف نحصل على كلّ منهما؟

منشأ الطيوف الذرية

توجد سويات طاقة مثارة كثيرة في ذرة الهيدروجين، يُمكن للإلكترون أن يشغل أيّ سوية من هذه السويات، وأنّ انتقل الإلكترون من سوية طاقة إلى سوية طاقة أدنى يؤدي إلى إصدار طاقة (إشعاع) تساوي فرق الطاقة بين السويتين، عند حصول انتقالات مختلفة بين سويات الطاقة سوف نحصل على إصدارات بتواترات مختلفة تُعطى بالعلاقة: $\Delta E = E_2 - E_1 = h f$

وعند تحليل حزمة ضوئية صادرة عن غاز الهيدروجين المثار بالانفراغ الكهربائي سوف نجد أنّ الطيف مكوّن من عدد من الخطوط الطيفية، كلّ من هذه الخطوط يُمثل انتقال الإلكترون بين سويتين طاقيتين في ذرة الهيدروجين. ويوضّح الشكل التالي بعض الخطوط الطيفية لذرة الهيدروجين في المجال المرئي.



يُمكن إجراء دراسة مشابهة لذرات المواد شبيهة بتلك التي أجريت لذرة الهيدروجين ولكن بحسابات أكثر تعقيداً، توصلنا هذه الدراسة إلى استنتاج تواترات الإصدارات الناجمة عن الذرات.

أنواع الطيف

نشاط:

أدوات النشاط:

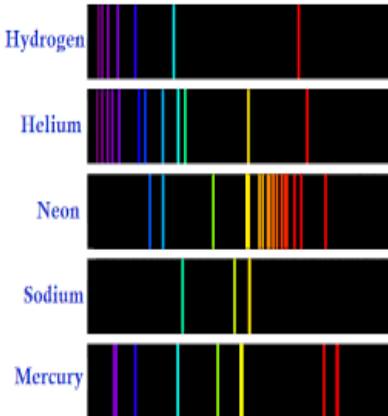
صفحة من الحديد، سلك من القصدير، ملح طعام، موشور زجاجي، حاجز ذو شق للحصول على حزمة متوازية، شاشة بيضاء، مصباح غازي يحوي غاز الهيدروجين، موقد غولي.

خطوات تنفيذ النشاط

- أسخن صفحة الحديد بالتدريج وأفحص الطيف الصادر باستخدام المطياف، ماذا ألاحظ؟
- أنثر قليلاً من ملح الطعام فوق لهب موقد غولي، وأفحص طيفه بالمطياف، ماذا ألاحظ؟
- أمّر حزمة من الضوء الصادر عن المصباح الغازي عبر الشق في الحاجز على الموشور.
- أتلقى الحزمة المنحرفة بالموشور على الشاشة البيضاء.
- ألاحظ شكل ولون الطيف على الشاشة.
- أتساءل هل يتغير الطيف بتغيير نوع الغاز في المصباح.

استنتاج:

- يظهر أولاً اللون الأحمر عند تسخين قطعة الحديد، وكلما زادت درجة الحرارة ظهر اللون البرتقالي فالأصفر وهكذا حتى يصل الجسم المسخن إلى درجة البياض فتظهر جميع ألوان الطيف.
- تلون لهب الصوديوم باللون الأصفر الذهبي، وعند فحصه بالمطياف أشاهد وجود خطين أصفرين متقاربين جداً.
- إن الصوديوم لم يشع جميع ألوان الطيف السبعة، وإنما انبعث منه خطان طيفيان يقعان في منطقة الضوء الأصفر.
- يتكوّن طيف الهيدروجين المثار بالانفراغ الكهربائي من عدد من الخطوط الطيفية.
- يتغير الطيف المتشكل بتغير نوع الغاز داخل المصباح.



الطيوف نوعان:

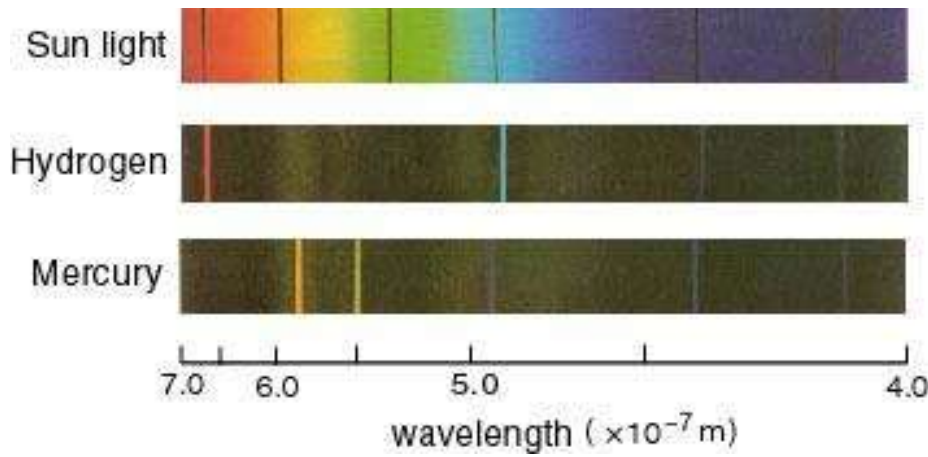
(a) طيوف مستمرة: هي الطيوف التي تظهر فيها جميع ألوان الطيف على هيئة مناطق متجاورة دون وجود فواصل بينها، وهذا ما نلاحظه عند تحلل ضوء الشمس بالهواء المشبع بالرطوبة، وتكون قوس قزح، حيث نجد عند تحليل الضوء أن الطيف مستمر، من الأمثلة على ذلك طيف مصباح

الكهرباء ذو مقاومة التنغستن، فإذا حللنا طيف هذا المصباح نجد أن طيف الإصدار متصل، ويأخذ شكل منحنى له قمة بجوار طول الموجة 0.6 ميكرون.



(b) **الطيف المتقطعة:** مثل طيف إصدار ذرات الهيدروجين، يتكوّن طيف الإصدار لهذه المنابع من خطوط طيفية أو عصابات طيفية منفصلة، فبينما نجد جميع ألوان قوس قزح في طيف مصباح التنغستن، فإننا نجد خطوط طيفية في طيف مصباح بخار الزئبق، ولكن هذه الخطوط منفصلة عن بعضها البعض. وبشكل عام تكون طيف المصابيح الغازية متقطعة وطيف إصدارات الأجسام الصلبة الساخنة متصلة.

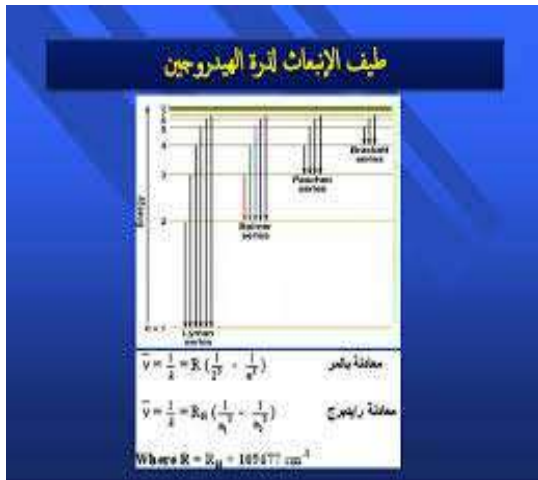
في الشكل الآتي لدينا ثلاث طيف الأول مستمر وهو طيف الإصدار الشمسي والآخران متقطعان:



الطيف الذري

الطيف الذري لعنصر هو سلسلة التواترات الضوئية الصادرة عن ذرات هذا العنصر، وأبسط أنواع الطيف الذرية هو طيف ذرة الهيدروجين.

السلسلة الواحدة (الطيف الذري) تحتوي على عدد من التواترات، والتواتر الأكثر كثافة يغلب لونه على السلسلة، مثل الطيف الذري لبخار الصوديوم يحتوي على تواترين كثافتهما عالية يميل لونهما للبرتقالي.



يحتوي الطيف الخطي للهيدروجين على عدد من السلاسل هي:
أولاً: سلسلة ليمان (أكبر سلاسل الطيف طاقةً)

نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهيدروجين من المستويات العليا أي ($n = 2, 3, 4, 5, 6, \dots$) إلى المستوى الأول.

مميزاتها: أنها أمواج ضوئية غير مرئية بسبب تواترها الكبير وأطوالها الموجية أقصر من الأطوال الموجية للضوء المرئي.

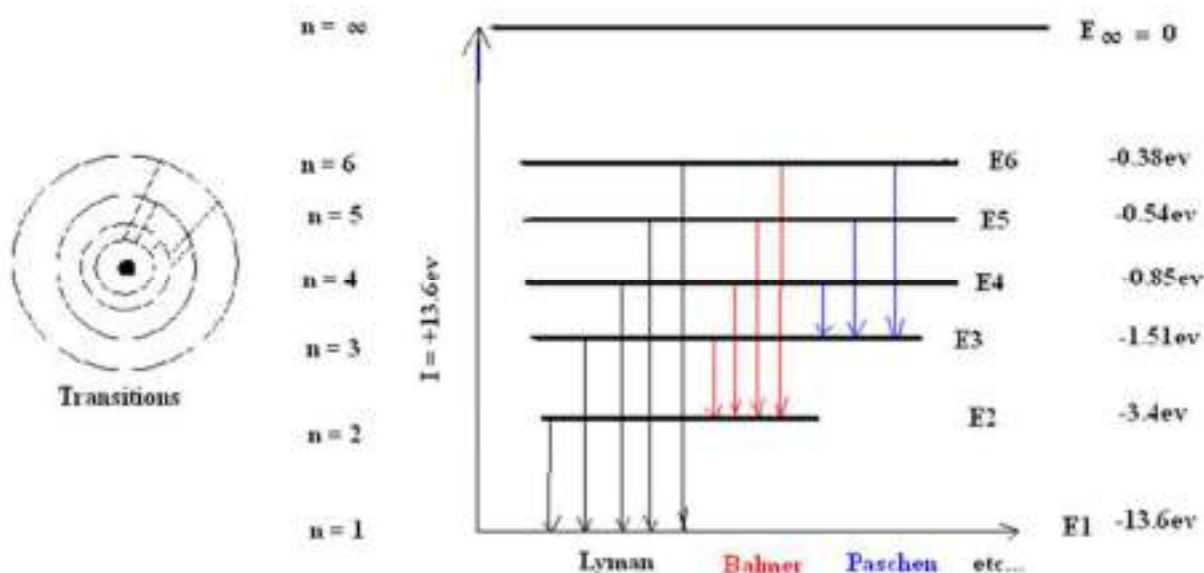
ثانياً: سلسلة بالمر

نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهروجين من المستويات العليا أي ($n = 3, 4, 5, 6, \dots$) إلى المستوى الثاني.

مميزاتها : أنها أمواج ضوئية يمكن مشاهدتها وقياسها في المختبر.

ثالثاً: سلسلة باشن

نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهروجين من المستويات العليا أي ($n = 4, 5, 6$) إلى المستوى الثالث . ومن مميزاتها أنها أمواج ضوئية غير مرئية بسبب تواترها المنخفض.



التحليل الطيفي:

يلجأ علماء الكيمياء في المختبرات وعلماء الفلك الذين يراقبون النجوم إلى استخدام تقانات التحليل الطيفي لكشف ما يحلّونه، ومعرفة تركيبه الكيميائي.

تعتمد تقانات التحليل الطيفي للمواد على امتصاص أو إصدار ذراتها للطاقة، فالمعادن مثلاً تتوهج، أو تصدر ضوء عند تسخينها إلى درجات حرارة عالية، ويتحلّل الضوء الصادر عند إمراره عبر موشور زجاجي، إلى مكوناته من إشعاعات ملونة ذات أطوال موجية مختلفة، تشكّل في مجموعها طيفاً خطياً مميزاً للمعدن المدروس.

يعزى تشكّل هذا الطيف إلى حركة الإلكترونات الخارجية في الذرات المعتبرة التي تمتص طاقة تثار بها، فترتقي إلى مستويات طاقة أعلى من التي كانت تشغلها، إلا أنها لا تلبث أن تعود إلى المستويات الطاقة الأساسية التي كانت تشغلها، مُصدرةً فائض طاقتها على شكل إشعاع وحيد أو مجموعة من الإشعاعات المتتالية، وتُعدّ تواترات هذه الإشعاعات، أو أطوالها الموجية مميزة للعنصر المعني ويمكن استخدامها للتعرف عليه.

إثراء:



(يختلف طيف الهيدروجين عن أطيف العناصر الكيميائية الأخرى ، مثل الكربون والهليوم والزنك والحديد وغيرها ، أي يختلف توزيع خطوط الطيف التي نستطيع قياسها عملياً عند تسخين أو حرق العينة ، وتوزيعها يعطينا نوع عنصر العينة ، إذ لكل عنصر "بصمة" من خطوط الطيف خاصة به . من الملاحظ أنه يوجد على عبوات الدواء والكتب المدرسية الجديدة وغيرها خطوط طيفية ، حيث يمكن من خلالها التعرف على تركيب هذه المواد الكيميائية ونوعها وأسعارها باستخدام جهاز الباركود

أسئلة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي:

1. عندما ينتقل الإلكترون من سوية طاقة أقرب للنواة إلى سوية طاقة أبعد عن النواة فإنّه:
 - a) يمتص طاقة (b) يُصدر طاقة (c) يحافظ على طاقته (d) تنعدم طاقته
2. عندما ينتقل الإلكترون من سوية طاقة ما في الذرة إلى اللانهاية فإنّه:
 - a) يقترب من النواة (b) يُصدر طاقة (c) يحافظ على طاقته (d) يصبح ذو طاقة معدومة
3. بابتعاد الإلكترون عن النواة فإنّ طاقته:
 - a) تزداد (b) تنقص (c) لا تتغير (d) تنقص ثم تنعدم
4. تنشأ الطيوف الذرية نتيجة انتقال:
 - a) الإلكترون من سوية طاقة إلى سوية طاقة أخفض.
 - b) الإلكترون من سوية طاقة إلى سوية طاقة أعلى.
 - c) البروتون خارج الذرة.
 - d) الإلكترون إلى النواة.
5. نقدم طاقة للذرة على شكل اشعاع متواصل فنتثار الذرة لأنها:
 - a) تمتص كامل الطاقة المُقدمة
 - b) لا تمتص أية طاقة
 - c) تمتص جزء من طاقة الاشعاع مطابق لفرق الطاقة بين سويتين مختلفتين
 - d) تمتص جزء من طاقة الاشعاع

ثانياً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى: بفرض أن نصف قطر الإلكترون على مداره في ذرة الهيدروجين ($r = 0.53 \times 10^{-10} m$) ،
(وبإهمال قوى التجاذب الكتلي بين البروتون و الإلكترون) المطلوب احسب:

- 1- قوة التجاذب الكهربائي بين البروتون والإلكترون
- 2- احسب سرعة دوران الإلكترون الخطية على مداره السابق ، هل يجب أن نأخذ في الاعتبار تغيير كتلة الإلكترون وفق النظرية النسبية؟
- 1) احسب تواتر دوران الإلكترون.

(كتلة الإلكترون $m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$ شحنة الإلكترون $e = -1.6 \times 10^{-19} C$)

سماحية الخلاء الكهربائية $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9}$)

المسألة الثانية: حسب الطاقة المتحررة وطول موجة الاشعاع الصادر عندما يهبط إلكترون من السوية الثالثة ذات الطاقة $E_2 = -3.4 eV$ إلى السوية الثانية ذات الطاقة $E_3 = -1.51 eV$

ثابت بلانك $h = 6.63 \times 10^{-34} J.s$

المسألة الثالثة

تتألف ذرة الهيدروجين من بروتون وإلكترون، تُعطى مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين بالعلاقة: $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$

حيث n هو عدد صحيح موجب.

في السوية ذات الطاقة الأقل لدينا $n=1$ ، وفي سوية الطاقة المثارة الأولى لدينا $n=2$ وهكذا، عندما تسعى n إلى اللانهاية نجد الحالة المتأينة أي التي تخسر فيها ذرة الهيدروجين إلكترونها. **المطلوب:**

1- احسب النسبة بين قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الإلكترون، والقوة التي تجذب بها النواة الإلكترون علماً أن المسافة بين الإلكترون والبروتون هي $a = 5.9 \times 10^{-11} \text{ m}$ ، ماذا تستنتج؟

علماً أن: شحنة الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

ثابت الجذب الكهربائي $k = 9 \times 10^9 \text{ m.F}^{-1}$

ثابت الجاذبية الكوني $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

كتلة البروتون $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

كتلة الإلكترون $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

سرعة انتشار الضوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

2- ما قيمة الطاقة في السوية الأساسية؟

3- ارسم مخططاً لطاقة السويات الخمس الأولى.

4- تتواجد الذرة في البداية في حالتها الأساسية، تمتص هذه الذرة فوتون بتواتر $f = 2.91 \times 10^{15} \text{ Hz}$ ، احسب الرقم n للسوية التي تتواجد فيها الذرة بعد الامتصاص.

الحل:

النسبة بين قوة الجاذبية الأرضية F_G والقوة الكهربائية F_{elec} :

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{elec} = k \cdot \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{r^2} \\ F_G = G \cdot \frac{m_P \cdot m_e}{r^2} \end{array} \right. \Rightarrow F_{elec} = k \cdot \frac{e^2}{r^2} \Rightarrow \frac{F_G}{F_{elec}} = \frac{G \cdot m_P \cdot m_e}{k \cdot e^2}$$

تطبيق عددي:

$$\frac{F_G}{F_{elec}} \approx \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 1,67 \times 10^{-24} \times 9,3 \times 10^{-31}}{9 \times 10^9 \times (1,6 \times 10^{-19})^2}$$

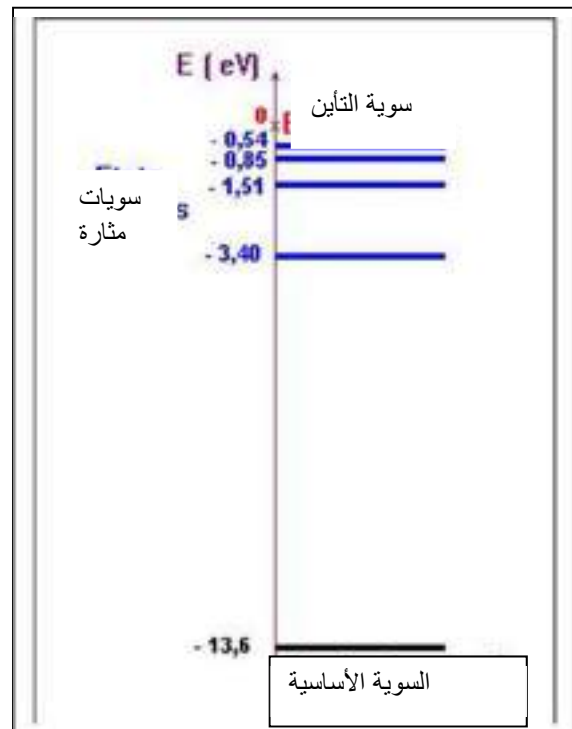
$$\frac{F_G}{F_{elec}} \approx 4,4 \times 10^{-40} \Rightarrow F_{elec} \gg F_G$$

التجاذب الكتلي مهمل مقارنة بالتجاذب الكهربائي. لاحظ أنّ هذه النتيجة مستقلة عن البعد بين الإلكترون والبروتون.
طاقة الذرة في الحالة الأساسية:

$$n = 1 : E_1 = - 13,6 \text{ eV}$$

ت) مخطط الطاقة للسويات الخمس الأولى:

n	1	2	3	4	5
En en eV	- 13,6	- 3,40	- 1,51	- 0,85	- 0,54



ث) الطاقة التي تمتصها الذرة:

$$E_n - E_1 = h \cdot \nu$$

$$E_n = E_1 + h \cdot \nu$$

$$E_n \approx -13,6 + \frac{6,62 \times 10^{-34} \times 2,91 \times 10^{15}}{1,6 \times 10^{-19}}$$

$$E_n \approx -1,56 \text{ eV}$$

وهذا يخص الانتقال بين $n=3$ و $n=1$

تعلمت

- استخدم بور تكميم الضوء لشرح الطيف الذرية.
- وضع المبادئ الآتية:
 1. إنّ تغيّر الطاقة مكتم.
 2. لا توجد الذرة إلا في حالة طاقة محددة.
 3. عندما ينتقل إلكترون في ذرة مثارة من سوية أعلى إلى سوية أدنى فإنّ الذرة تصدر فوتوناً طاقته:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h f$$

الفرض الأول:

حركة الإلكترون حول النواة دائرية منتظمة، أي

$$E = -k \frac{e^2}{2r} \dots\dots(5)$$

وهي علاقة الطاقة الميكانيكية لإلكترون ذرة الهروجين في مداره.

الفرض الثاني:

اقترح بور أنّ هناك مدارات محدّدة ذات أنصاف أقطار مختلفة يمكن للإلكترون ذرّة الهروجين أن يدور فيها حول النواة، وفي أيّ منها عزم كمية الحركة للإلكترون من المضاعفات الصحيحة لـ $\frac{h}{2\pi}$ أي أنّ العزم الحركي

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \dots\dots(6)$$

للإلكترون يعطى بالعلاقة:

الفرض الثالث:

لا يُصدر الإلكترون طاقة طالما بقي متحركاً في أحد مداراته حول النواة، لكنه يمتص طاقة بكميات محدّدة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أبعد عن النواة، ويُصدر طاقة بكميات محدّدة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أقرب إلى النواة تُحسب بالعلاقة:

$$\Delta E = h.f$$

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي:

6. عندما ينتقل الإلكترون من سوية طاقة أقرب للنواة إلى سوية طاقة أبعد عن النواة فإنه :
(a) يمتص طاقة (b) يُصدر طاقة (c) يحافظ على طاقته (d) تنعدم طاقته
 7. عندما ينتقل الإلكترون من سوية طاقة ما في الذرة إلى اللانهاية فإنه :
(a) يقترب من النواة (b) يُصدر طاقة (c) يحافظ على طاقته (d) يصبح ذو طاقة معدومة
 8. بابتعاد الإلكترون عن النواة فإن طاقة الإلكترون:
(a) تنقص (b) تزداد (c) لا تتغير (d) تنقص ثم تنعدم
 9. تنشأ طيوف الاصدار الذرية نتيجة انتقال:
(a) الإلكترون من سوية طاقة إلى سوية طاقة أخفض.
(b) الإلكترون من سوية طاقة إلى سوية طاقة أعلى.
(c) البروتون خارج الذرة.
(d) الإلكترون إلى النواة.
 10. نقدم طاقة للذرة على شكل اشعاع متواصل فتثار الذرة لأنها:
(a) تمتص كامل الطاقة المُقدمة .
(b) لا تمتص أية طاقة.
(c) تمتص طاقة الاشعاع المطابق لفرق الطاقة بين سويتين مختلفتين.
(d) تمتص جزء من طاقة الاشعاع
- ثانياً : حل المسألة التالية:

بفرض أن نصف قطر الإلكترون على مداره في ذرة الهيدروجين $0.53 \times 10^{-10} m$ المطلوب احسب:

3- قوّة التجاذب الكهربائي بين البروتون والإلكترون

4- السرعة الخطية لدوران الإلكترون على مداره

تفكير ناقد

إننا جميعاً نشاهد الألوان الجميلة في قوس قزح الذي يتكون من نفس الألوان التي يحويها الطيف المرئي للضوء الأبيض ، كيف تفسر ذلك؟

ابحث أكثر

قد نشاهد قوسان قوس ابتدائي يعلوه قوس ثانوي أقل وضوحاً وألوانه معكوسة بواسطة قطرات المطر والشمس ساطعة كيف يتم ذلك؟ ابحث في الشبكة .

الإلكترونيات



انتزاع الإلكترونات وتسريعها

الأهداف:

- 1- يستنتج الطاقة الكلية للإلكترون في مدار.
- 2- يستنتج علاقة انتزاع إلكترون حرّ من سطح معدن.
- 3- يشرح طرائق انتزاع الإلكترونات.
- 4- يستنتج علاقة سرعة خروج إلكترون سرعته الابتدائية معدومة من حقل كهربائي منتظم.
- 5- يستنتج معادلة حامل مسار الإلكترون في حقل كهربائي منتظم سرعته الابتدائية عمودية على خطوط الحقل.

الكلمات المفتاحية

طبقة، مدار، حالة، القوة الكهربائية، طاقة ارتباط، انتزاع الإلكترون، مفعول الحث
المفعول الكهروضوئي، المفعول الكهحراري، تسريع الإلكترون

هل حاولت يوماً تفسير أيّ مما يلي:

- لا تتفق النماذج الذرية مع الواقع ومع ذلك تستخدم في حساب متحولات الإلكترون (طاقته، نصف قطر مساره، سرعته) في ذرة الهيدروجين والذرات الشبيهة بها؟
- تكون الطاقة الكلية للإلكترون في ذرة سالبة؟
- بالرغم من أنّ محصلة القوى المؤثرة على الإلكترون الحرّ داخل المعدن تكون معدومة تقريباً فإنه لا يتمكن من مغادرة سطح هذا المعدن؟
- يتم اقتلاع إلكترونات من سطح المعدن عندما تسقط عليه حزم من أشعة موجية أو جسيمة بطاقات مناسبة وكذلك عند رفع درجة حرارته؟
- عند تطبيق حقل كهربائي على إلكترون فإنه يؤدي إلى تغير سرعته

تتواجد الإلكترونات في الذرة في حالة حركة دائمة حول نواتها ولكن لا يمكن تحديد موضع أو سرعة أيّ من هذه الإلكترونات في لحظة ما وبدقة وإنما يمكن تحديد احتمال وجود الإلكترون في لحظة ما في موضع معين".

طاقة الإلكترون ذرة الهروجين في مداره

تتألف الطاقة الكلية E للإلكترون على مداره في جملة (إلكترون - نواة) من قسمين:

(1) الطاقة الكامنة الكهربائية E_p الناتجة عن تأثيره بالحقل الكهربائي للنواة، وهي القسم السالب.

(2) الطاقة الحركية E_k الناتجة عن دورانه حول النواة، وهي القسم الموجب.

• تعطى الطاقة الكامنة الكهربائية للإلكترون الموجود في السوية التي رتبته n بالعلاقة:

$$E_p = -k \frac{e^2}{r}$$

• تعطى الطاقة الحركية للإلكترون في السوية n بالعلاقة:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{ke^2}{2r}$$

فتكون الطاقة الكلية:

$$E = E_k + E_p$$

$$E = -\frac{13.6}{n^2} \text{ (eV)}$$

- إن الطاقة الكلية هي طاقة سالبة لأنها طاقة ارتباط.
- تتناسب القيمة المطلقة للطاقة الكلية عكساً مع مربع رتبة المدار n
- تزداد طاقة الإلكترون على مداره بازدياد رتبة المدار n وتتعدى في النهاية ويتحول الإلكترون إلى إلكترون حر.

طاقة انتزاع إلكترون من سطح معدن:

يتحرك الإلكترون الحر داخل المعدن بسرعة وسطية تتعلق بدرجة حرارة المعدن، ويكون خاضعاً لقوى جذب كهربائي محصلتها قريبة من الصفر لأنها تنتج عن الأيونات الموجبة المبعثرة حوله بعشوائية دون تفضيل لاتجاه على آخر. لكن من الواضح أنه من أجل إلكترون واقع على سطح المعدن يصبح لهذه القوى الجاذبة محصلة مختلفة عن الصفر وجهتها دوماً نحو داخل المعدن، لأن الأيونات الموجبة تتوزع بالنسبة لمثل هذه الإلكترون في الجهة الداخلية من المعدن فقط. وعليه فإن انتزاع إلكترون من سطح معدن يحتاج إلى صرف طاقة، تسمى الطاقة الدنيا اللازمة لانتزاع إلكترون من سطح معدن بطاقة الانتزاع لهذا المعدن، يرمز لطاقة الانتزاع بالرمز w_s تتعلق قيمة طاقة الانتزاع لمعدن بمتحولات المعدن: العدد الذري Z ، كثافة المعدن، طبيعة الروابط،... ونتيجة اختلاف هذه المتحولات من معدن لآخر، تختلف قيمة طاقة الانتزاع

من معدن لآخر بحيث يمكن اعتبار قيمته خاصية مميزة للمعدن، ولقد تم التحقق من ذلك تجريبياً. ويظهر الجدول (1) توابع العمل المقاسة تجريبياً لبعض المعادن:

الجدول (1): توابع العمل لبعض المعادن

رمز المعدن	Na	Al	Cu	Zn	Ag	Pt	Pb	Fe
طاقة الانتزاع W_s (eV)	2.16	4.08	4.7	4.31	4.73	6.35	4.14	4.5

- لانتزاع إلكترون حر من سطح معدن ونقله مسافة صغيرة dl خارج المعدن يجب تقديم طاقة أكبر من عمل القوة الكهربائية التي تجذب الإلكترون نحو داخل المعدن.

$$W_d = F dl \quad \text{وبالتالي:}$$

$$F = e E \quad \text{لكن:}$$

نعوض فنجد:

$$W_d = e E dl$$

$$E dl = U_d \quad \text{لكن:}$$

$$E_d = W_d = e U_d \quad \text{وبالتالي يكون:}$$

حيث أن:

$$E_d: \text{طاقة الانتزاع}$$

$$W_d: \text{عمل الانتزاع}$$

$$U_d: \text{فرق كمون الانتزاع بين سطح المعدن والسطح الخارجي}$$

E : الحقل الكهربائي المتولد عن الأيونات الموجبة عند سطح المعدن.
مناقشة:

بفرض E الطاقة التي يمتصها الإلكترون (الطاقة المقدمة للإلكترون) ونميز الحالات الآتية:

(1) إذا كانت $E < E_d$: لا ينتزع الإلكترون ويبقى منجذباً نحو داخل الكتلة المعدنية

(2) إذا كانت $E = E_d$: يتحرر الإلكترون من سطح المعدن بسرعة ابتدائية معدومة.

(3) إذا كانت $E > E_d$: يتحرر الإلكترون من سطح المعدن ومعه سرعة ابتدائية

تحسب من العلاقة:

$$E_K = E - E_d$$

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = E - E_d$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{m_e}(E - E_d)}$$

طرق انتزاع إلكترون من سطح معدن:

1- الفعل الكهروضوئي:

تقدم الطاقة اللازمة لانتزاع الإلكترون من سطح المعدن على شكل طاقة ضوئية تواترها

$$E = hf \text{ وتعطى بالعلاقة:}$$

2- الفعل الكهحراري:

تقدم الطاقة اللازمة لانتزاع الإلكترون على شكل طاقة حرارية حيث يسخن المعدن فتكتسب بعض إلكتروناته السطحية قدراً كافياً من الطاقة تزيد من سرعتها وحركتها وتنبعث خارج المعدن.

3- مفعول الحث:

يؤدي قذف سطح المعدن بحزمة من الجسيمات ذات الطاقة الكافية فيؤدي ذلك إلى تصادم بعض جسيمات هذه الحزمة مع الإلكترونات الحرة في السطح المعدني، وتؤدي هذه العملية إلى انتقال جزء من طاقة الجسيم الصادم إلى الإلكترون وعندها يكون هذا الجزء المنقل أكبر أو يساوي طاقة عندها يمكن للإلكترون الحر الواقع عند سطح المعدن أن يقتلع من هذا المعدن.

مثال:

يقذف سطح معدن له طاقة انتزاع $W_d = 2\text{eV}$ بحزمة من الإلكترونات فيؤدي ذلك إلى إصدار إلكترونات من سطح المعدن بسرعة ابتدائية مقدارها $v' = 5.9 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$ ، ففترض أن الإلكترون السطحي قد امتصّ كامل طاقة الإلكترون الساقط. احسب طاقة كل من إلكترون الحزمة الساقطة وسرعته إذا علمت أن $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ، $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

الحل:

يجب أن تكون طاقة كل من هذه الإلكترونات الساقطة مساوية للطاقة الحركية الابتدائية للإلكترون المقتلع مضافاً لها طاقة الانتزاع، أي:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v'^2 + W_d$$

$$W_d = 2 \text{ eV}$$

$$W_d = 2 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$W_d = 3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

نعوض:

$$E = \frac{1}{2} \times 9 \times 10^{-31} (5.9 \times 10^5)^2 + 3.2 \times 10^{-19}$$

وهي طاقة الإلكترون الساقط

$$E_k = 4.8 \times 10^{-19} \text{ J}$$

حساب السرعة:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 4.8 \times 10^{-19}}{9 \times 10^{-31}}}$$

$$v = 1.04 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

تسريع الإلكترونات في منطقة حقل كهربائي منتظم:

تتطلب معظم التجارب التي تستخدم حزم إلكترونية، إلكترونات ذات سرعات عالية نسبياً، وبالمقابل تكون سرعة الإلكترونات المقتلعة من سطوح المعادن صغيرة بصورة عامة، لذلك لابد من زيادة سرعتها ويتم ذلك عن طريق إخضاعها لحقول كهربائية ساكنة أو حقول مغناطيسية ساكنة أو كليهما معاً.

نشاط

نفرض إلكترونًا شحنته e ، وكتلته m_e ساكنًا في نقطة من منطقة يسودها حقل كهربائي منتظم بين لبوسي مكثفة مستوية مشحونة لبوسيهما شاقوليين.

- ما جهة شعاع الحقل الكهربائي.
- اكتب عبارة هذا الحقل.
- ما هي القوة التي يخضع لها الإلكترون؟ وما هي عناصرها؟
- إلى أي لبوس يتجه الإلكترون.

تخضع الشحنة الكهربائية النقطية e عند وضعها في حقل كهربائي ساكن \vec{E} لقوة كهربائية \vec{F} تعطى بالعلاقة:

$$\vec{F} = e \vec{E}$$

تؤدي القوة الكهربائية إلى تسارع الإلكترون يمكن حسابه بتطبيق قانون نيوتن الثاني:

$$\vec{F} = q \vec{E} = m \vec{a}$$

يعتبر الإلكترون الشحنة الأكثر تحقيقاً لتعريف الشحنة النقطية، وذلك لأنه أصغر شحنة موجودة في الطبيعة وامتداده الفراغي نقطي، لذلك يمكن القول أن الإلكترون هو أفضل الشحن التي تنطبق عليها العلاقتين السابقتين، بالإضافة لبقية علاقات الشحن النقطية.

لنستنتج العلاقة المحددة لسرعة خروج الإلكترون من نافذة مقابلة في اللبوس الموجب؟

جملة المقارنة: خارجية

الجملة المدروسة: الإلكترون داخل منطقة الحقل الكهربائي بإهمال ثقله

القوى الخارجية المؤثرة:

\vec{F} : القوة الكهربائية حيث

لها حامل \vec{E} وتعاكسه بالجهة وشدتها ثابتة $F = eE$

لكن: $E = \frac{U}{d}$ نعوض:

$$F = e \frac{U}{d}$$

حسب قانون نيوتن الثاني:

$$F = m_e a$$

بمساواة العلاقتين السابقتين:

$$m_e a = e \frac{U}{d}$$

$$a = \frac{eU}{m_e d} = \text{const}$$

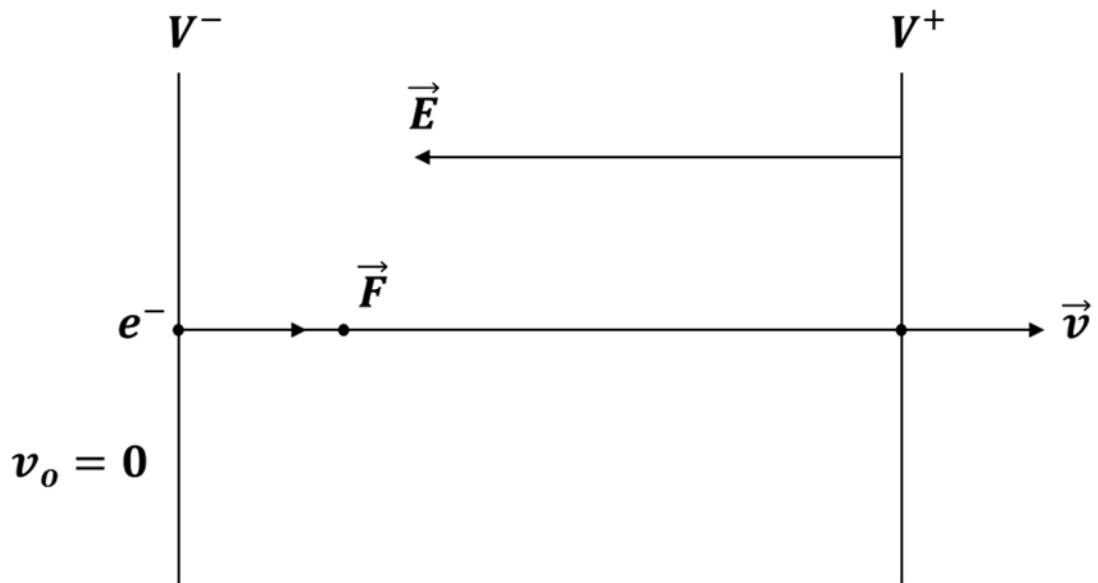
بما أن الحركة بدأت من السكون والتسارع ثابت فالحركة مستقيمة متسارعة بانتظام

* عند وصول الإلكترون إلى نافذة اللبوس الموجب فإن: $x = d$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad *$$

$$v^2 - 0 = 2 \frac{eU}{m_e d} d \quad \text{نعوض:}$$

$$v = \sqrt{2 \frac{eU}{m_e}}$$



نتائج:

1. يمكن زيادة سرعة خروج الإلكترون من نافذة اللبوس الموجب بزيادة فرق الكمون بين اللبوسين.

2. تصلح العلاقة السابقة من أجل السرعات الصغيرة للإلكترون بالنسبة لسرعة الضوء لأن الكتلة يمكن اعتبارها ثابتة عندئذٍ.

أما من أجل السرعات الكبيرة للإلكترون القريبة من سرعة الضوء فلا تصلح العلاقة السابقة لأن كتلة الإلكترون تزداد بصورة ملموسة كما مر معنا في درس النظرية النسبية الخاصة لإينشتاين

تأثير حقل كهربائي منتظم على إلكترون يدخل منطقة الحقل بسرعة $\vec{v} \perp \vec{B}$

نفرض إلكترونات يتحرك بسرعة \vec{v} ليدخل بين اللبوسين الأفقيين مشحونة حيث $\vec{v} \perp \vec{B}$ لندرس حركة هذا الإلكترون ثم نستنتج معادلة حامل المسار؟

جملة المقارنة: خارجية

الجملة المدروسة: الإلكترون داخل منطقة الحقل الكهربائي المنتظم بإهمال ثقله القوى الخارجية المؤثرة:

$$\vec{F} = e \vec{E} \text{ حيث } \vec{F} \text{ :القوة الكهربائية}$$

$$F = e \frac{U}{d} \text{ لها حامل } \vec{E} \text{ وتعاكسه بالجهة وشدتها ثابتة}$$

$$\sum \vec{F} = m_e \vec{a} \text{ :التحريك}$$

$$\vec{F} = e \vec{E} = m_e \vec{a}$$

باعتبار:

مبدأ الفواصل نقطة دخول الإلكترون منطقة الحقل الكهربائي المنتظم.

مبدأ الزمن لحظة دخول الإلكترون منطقة الحقل الكهربائي المنتظم.

بالإسقاط على محورين متعامدين $\overrightarrow{x'x}$ أفقي و $\overrightarrow{y'y}$ شاقولي موجه نحو الأعلى

$$\overrightarrow{ox} \begin{cases} v_{ox} = v_o = v \\ F_x = 0 \Rightarrow ax = 0 \Rightarrow v_x = \text{const} \end{cases}$$

إن الحركة المسقط على $\overrightarrow{x'x}$ هي حركة مستقيمة منتظمة

$$x = v_x t + x_o$$

لكن $x_o = 0$

$$x = vt \quad (1)$$

$$\overrightarrow{oy} \begin{cases} v_{oy} = 0 \\ F_y = F \Rightarrow m_e a_y = e \frac{U}{d} \\ \Rightarrow a_y = \frac{eU}{m_e d} = \text{const} \end{cases}$$

⇐ حركة المسقط على $\overrightarrow{y'y}$ هي حركة مستقيمة متسارعة بانتظام:

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 + v_{oy} t + y_o$$

$$y_o = 0$$

$$\Rightarrow y = \frac{eU}{2m_e d} t^2 \quad (2)$$

استنتاج معادلة حامل المسار:

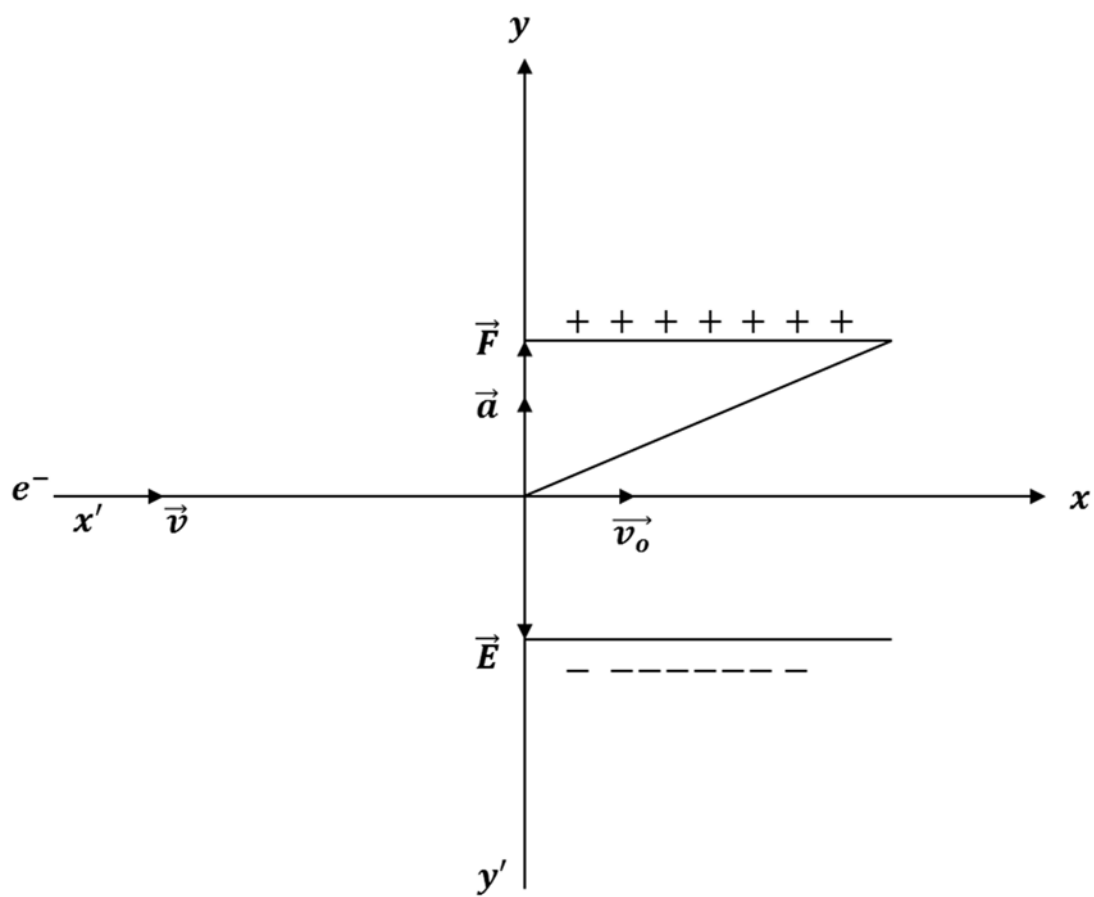
من (1):

$$t = \frac{x}{v}$$

نعوض في (2):

$$y = \frac{eU}{2m_e d V^2} x^2$$

والمسار قوس من قطع مكافئ.



اختبر نفسي

أولاً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. ما هو الشكل الواقعي لمسار الإلكترون حول النواة؟
2. هل يمكن أن نحدد بدقة موقع الإلكترون في لحظة ما؟
3. هل تكون حركة الإلكترون في ذرة متسارعة أم غير متسارعة؟
4. علل امتلاك بعض الإلكترونات المقتلعة لطاقة أدنى أو أعلى من القيم المحسوبة؟
5. هل تختلف طاقة انتزاع إلكترون من سطح معدن عن طاقة انتزاعه من الذرة؟ ولماذا؟
6. هل يكفي الإلكترون الواقع على سطح معدن، امتلاكه لطاقة مساوية لطاقة الانتزاع لهذا المعدن كي يتحرر؟

ثانياً: اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

أولاً: يمتص الإلكترون طاقة عندما:

(a) ينتقل من مدار إلى آخر ضمن نفس السوية.

(b) يهبط إلى سوية أقرب إلى النواة.

(c) يقفز من سوية أدنى إلى سوية أعلى.

(d) عندما يسقط على النواة.

ثانياً: يتحرر الإلكترون من سطح معدن بشكل مؤكد عند:

(a) حصوله على طاقة أكبر أو تساوي طاقة الانتزاع لهذا المعدن.

(b) رفع درجة حرارة المعدن إلى درجة أعلى أو تساوي تلك المكافئة لطاقة الانتزاع لهذا المعدن.

(c) حصوله على طاقة أكبر أو تساوي طاقة الانتزاع بشكل متزامن مع كون جهة حركته نحو الخارج.

(d) تحقق c بالإضافة لعدم اصطدامه بأي جسيم أثناء خروجه من السطح.

ثالثاً: حل المسألتين الآتيتين

المسألة الأولى:

ينطلق إلكترون بسرعة ابتدائية معدومة من فتحة في اللبوس السالب لمكثفة ليخرج من الفتحة المقابلة في اللبوس الموجب كما في الشكل جانباً فإذا علمت أن فرق الكمون بين لبوسي المكثفة هو 10^3 V والمسافة بينهما (1 cm) المطلوب:

احسب سرعة وتسارع هذا الإلكترون لحظة خروجه من المكثفة

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C} , \quad m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

تفكير ناقد

أي شحنة تتحرك بسرعة غير ثابتة، من حيث القيمة أو الاتجاه، تصدر طاقة كهرومغناطيسية، فهل ينطبق ذلك على الإلكترونات في الذرة؟ وهل يوجد تفسير مقنع لهذه المعضلة.
أبحث أكثر

الأشعة المهبطية

الأهداف التعليمية:

- 1- يتعرف معنى الانفراغ .
- 2- يتعرف انواع الانفراغ
- 3- يستنتج شروط توليد الأشعة المهبطية
- 4- يشرح خواص الأشعة المهبطية
- 5- يتعرف طبيعة الأشعة المهبطية

الكلمات المفتاحية

الانفراغ الكهربائي، أنبوب الانفراغ، الأشعة المهبطية.



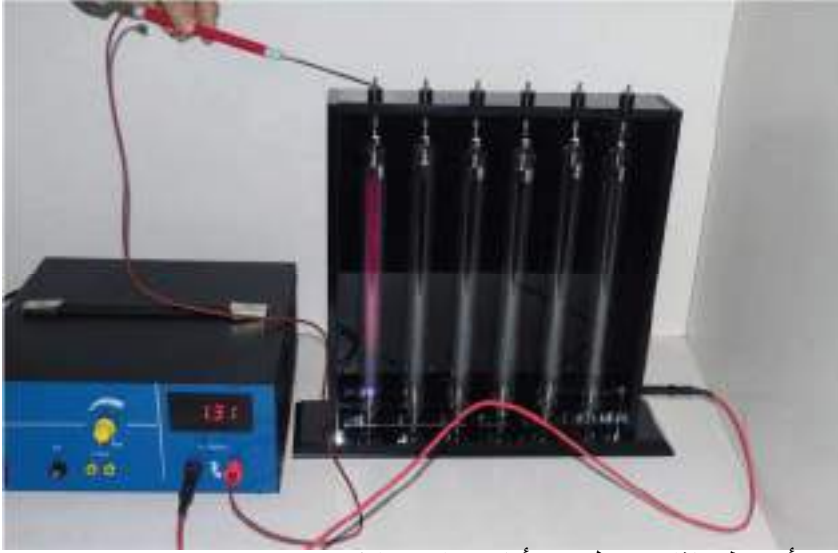
في الأيام الماطرة تشاهد البرق وتسمع الرعد وتحدث الصواعق، ذلك ناتج عن شرارات تفريغ تحدث بين السحب المشحونة أو شرارات تفريغ تحدث بين السحب المشحونة وسطح الأرض وتفقد السحب معظم شحناتها بعد حدوث البرق أو الصاعقة.

هل ظهور السحب في الجو يعني حدوث الظواهر السابقة؟ أم أنّ هناك شروط خاصة لحدوث تلك الظواهر؟

هل البرق والصاعقة تيار كهربائي؟ وإذا كان تيار فكيف ينتقل في الغازات؟
إذاً ما هو الانفراغ الكهربائي؟

هو شرارة كهربائية تحدث عبر العازل (هواء، غازات) الفاصل بين جسمين مشحونين بفرق كمون كاف.

لا تنقل الغازات التيار الكهربائي ما لم يتم تأيينها، فعند تطبيق حقل كهربائي خارجي على الغاز المتأين تتحرك الجسيمات المشحونة باتجاهين متعاكسين، إذ تتحرك الإلكترونات والأيونات السالبة باتجاه معاكس للحقل المطبق، وتتحرك الأيونات الموجبة باتجاه الحقل وتحدث الناقلية التي هي (أيون – إلكترون) والتيار المتولد في الغازات يدعى الانفراغ الكهربائي.



أجرب وأستنتج

الأدوات اللازمة: مجموعة أنابيب الانفراغ -
منبع تغذية لتيار متواصل (أو آلة ويمشورت) -
أسلاك توصيل.

خطوات تنفيذ التجربة

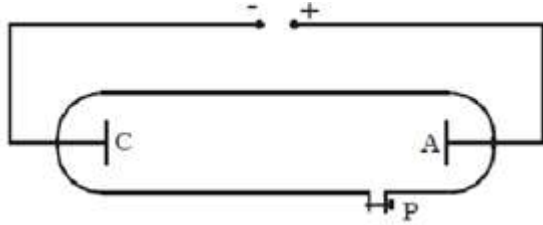
- (1) أطبق على كل أنبوب من أنابيب الانفراغ (تحتوي غازات مختلفة، وضغط الغاز فيها متساوٍ من مرتبة 10 mm Hg) التوتر ذاته 300 V. ماذا ألاحظ؟
- (2) أرفع قيمة التوتر إلى 500 V. ماذا يحدث؟
- (3) أكرّر التجربة السابقة من أجل توتر 1310 V وألاحظ ماذا يحصل في أنابيب الانفراغ.

أستنتج

- لا يظهر الضوء في أنابيب الانفراغ عند تطبيق توتر بقيمة أقل من 500 V.
- تظهر في أنابيب الانفراغ أضواء بألوان مختلفة عند تطبيق توتر 500 V مع سماع صوت طقطقة، فإذا كان الغاز هو النيون يكون اللون أحمر برتقالي، وإذا كان الغاز هو بخار الزئبق يكون اللون أزرق مخضر.
- تزداد شدة الحزمة الضوئية في الأنابيب، ولا يتغير لونها بزيادة التوتر عن القيمة 500 V.

النتيجة

- أنبوب التفريغ الكهربائي في الغازات هو عبارة عن أنبوب زجاجي متين ومغلق تماماً بطول 50 cm وقطر 4 cm، مملوء بالغاز المطلوب دراسته. يثبت في الطرفين قطبين كهربائيين أحدهما المهبط (cathode) والثاني المصعد



(anode) كما هو موضح في الشكل. في أحد الجانبين توجد فتحة توصل إلى مخلية ضغط p بواسطة يمكن التحكم بالضغط داخل الأنبوب. يتم توصيل طرفي الأنبوب أي القطبين إلى دارة تيار AC عالي التوتر من مرتبة 50 kv.

أجرب وأستنتج

الأدوات اللازمة: أنبوب كروكس- منبع تغذية لتيار متواصل- أسلاك توصيل.

خطوات تنفيذ التجربة

- (1) أطبق على الأنبوب توتراً متواصلاً 1000V، وأشغل مخلية الهواء بحيث يكون قيم الضغط داخل الأنبوب على التوالي: 110 mm Hg، 100 mm Hg، 10 mm Hg، قيمة قريبة من 0.01 mm Hg، أراقب ما يحصل في الأنبوب، وأسجل ملاحظاتي.

استنتج

- إن مظهر الانفراغ الكهربائي يتغيّر بتغيّر ضغط الغاز داخل الأنبوب.
- من أجل الضغط حوالي 110 mm Hg لا نلاحظ انقراضاً في الأنبوب.
- عندما يصبح الضغط داخل الأنبوب حوالي 100 mm Hg نسمع طقطقات تدلّ على حدوث تفريغ كهربائي في الأنبوب.
- عند الضغط 10 mm Hg تختفي الطقطقات، ونلاحظ عموداً ضوئياً متجانساً يمتدّ من المهبط إلى المصعد.
- بمتابعة تخفيض الضغط داخل الأنبوب إلى قيمة قريبة من 0.01 mm Hg يختفي الضوء كلياً ويحلّ محله ظلاماً حالكاً داخل الأنبوب، عند هذه المرحلة تتألق جدران الأنبوب بلون أخضر، وهذا ناتج عن أشعة غير مرئية صادرة عن المهبط، ولذلك سميت بالأشعة المهبطية.
- شرطاً لتوليد الأشعة المهبطية:

1. فراغ كبير في الأنبوب يتراوح الضغط فيه بين (0.01 – 0.001 mm Hg).
2. توتر كبير نسبياً بين قطبي الأنبوب حيث يولد حقلاً كهربائياً شديداً بجوار المهبط.

آلية توليد الأشعة وطبيعتها:

ماذا يحوي انبوب الاشعة المهبطية عند ضغط يقل عن (0.01 mm Hg) ؟

ما دور التوتر الكهربائي الكبير المطبق بين قطبي الانبوب ؟
مما تتكون الاشعة المهبطية المتولدة في الانبوب ؟

يحتوي أنبوب الأشعة المهبطية على كتلة غازية تتكون من ذرات غازية وأيونات موجبة. عند تطبيق توتر كهربائي كبير بين قطبي الأنبوب تتجه هذه الأيونات الموجبة نحو المهبط بسرعة كبيرة وتؤين ما تلاقيه في طريقها من ذرات غازية حتى تصل إلى المهبط وتصدمه. يساعد هذا الصدم على انتزاع بعض من الإلكترونات الحرة من سطح معدن المهبط الذي يقوم بدفعها لتبتعد عنه نظراً لشحنتها السالبة ويسرعها التوتر الكهربائي لتصدم من جديد، أثناء توجيهها نحو المصعد، ذرات غازية جديدة وتسبب تأينها، وتتشكل أيونات موجبة جديدة تتجه نحو المهبط لتولد إلكترونات جديدة وهكذا.

تتكون الأشعة المهبطية من إلكترونات منتزعة من مادة المهبط ومن إلكترونات تأين الذرات الغازية بجوار المهبط يسرعها الحقل الكهربائي الشديد الناتج عن التوتر المطبق بين قطبي الأنبوب.

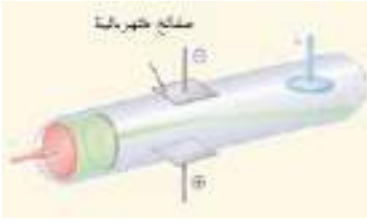
خواص الأشعة المهبطية:

- 1- تنتشر وفق خطوط مستقيمة ناظرية على سطح المهبط، لذا يختلف شكل حزمة الأشعة حسب شكل المهبط. -إذا كان المهبط مستويّ فالحزمة متوازية. -إذا كان المهبط مقعر فالحزمة متقاربة. -إذا كان المهبط محدب فالحزمة متباعدة.
- 2- تسبب تألق بعض الاجسام: تهيج الأشعة المهبطية ذرات بعض المواد التي تسقط عليها فتتألق بألوان معينة. عندما تسقط الأشعة المهبطية على الزجاج العادي يتألق بالأخضر، وعلى كبريتات الكالسيوم بالأصفر البرتقالي.



يُستفاد من هذه الخاصية في الكشف عن الأشعة المهبطية.

- 3- ضعيفة النفوذ: لا تنفذ من خلال صفيحة من المعدن وتكون ظلاً على الزجاج المتألق خلفها.



4-تحمل طاقة حركية: سرعة الأشعة المهبطية تقترب من سرعة انتشار الضوء في الخلاء إذ تتراوح سرعتها بين 2×10^7 m/s و (6×10^7) m/s، لذلك يمكنها أن تدير دولاب خفيف، وهذه الطاقة الحركية يمكن أن تتحول إلى أشكال أخرى طاقة كيميائية، حرارية، إشعاعية.

5-تتأثر بالحقل الكهربائي: تنحرف نحو اللبوس الموجب لمكثفة مشحونة مما يدل على أنها مشحونة بشحنة سالبة.



6-تتأثر بالحقل المغناطيسي: تنحرف بتأثر قوة لورنز المغناطيسية عمودياً على خطوط الحقل المغناطيسي الذي يؤثر عليها.

7-تنتج أشعة سينية: إذا صدمت صفيحة مصنوعة من معدن ثقيل.
8-تؤين الغازات: عندما تنتشر الأشعة المهبطية في غاز ما فإنها تقوم بتأيينه أي تنزع الكترون من الذرة الغازية وتتحول إلى أيون مما يؤدي إلى توهج الغاز.
9-تعمل عمل الأشعة الضوئية في حرقها للألواح التصوير الضوئي الحساسة للضوء.

تعلمت

- الانفراغ الكهربائي هو شرارة كهربائية تحدث عبر العازل (هواء، غازات) الفاصل بين جسمين مشحونين بفرق كمون كاف.
- يتغير مظهر الانفراغ الكهربائي بتغير ضغط الغاز داخل الأنبوب.
- تتكون الأشعة المهبطية من إلكترونات منتزعة من مادة المهبط ومن إلكترونات تأين الذرات الغازية بجوار المهبط يسرعها الحقل الكهربائي الشديد الناتج عن التوتر المطبق بين قطبي الأنبوب.
- **خواص الأشعة المهبطية:**

- 1- تنتشر وفق خطوط مستقيمة ناظمية على سطح المهبط.
- 2- تسبب تألق بعض الاجسام
- 3- ضعيفة النفوذ.
- 4- تحمل طاقة حركية
- 5- تتأثر بالحقل الكهربائي.
- 6- تتأثر بالحقل المغناطيسي.
- 7- تنتج أشعة سينية.
- 8- تؤين الغازات.
- 9- تعمل عمل الأشعة الضوئية في حرقها للألواح التصوير الضوئي الحساسة للضوء.

أختبر نفسي

أولاً: علل مايلي:

- 1-الأشعة المهبطية تتأثر بالحقلين الكهربائي والمغناطيسي.
- 2- إذا سقطت الأشعة المهبطية على دولاب خفيف تستطيع تدويره.

ثانياً: حل المسائل التالية:

الأولى:

احسب السرعة التي يغادر بها الإلكترون المهبط المعدني إذا كانت طاقته الحركية تساوي $E_k = 10^{-18} J$. لحظة خروجه من المهبط و طاقة الانتزاع 3ev للمعدن المدروس، إذا علمت أن $m_e = 9 \times 10^{-31} kg$ $e = 1.6 \times 10^{-19} c$

الثانية:

إذا كانت شدة التيار داخل أنبوب الانفراغ $4.8 \times 10^{-12} A$ أوجد عدد الأيونات (أزواج الأيونات المتشكلة) خلال وحدة الزمن من جراء الحقل الخارجي علماً أن شحنة الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19} c$

الثالثة:

إذا علمت أن طاقة تأين جزيئات الهواء هي $10eV$ أوجد المسار الحر الوسطي (L) للإلكترون في الهواء علماً أن $e = 1.6 \times 10^{-19} c$ وأن الانفراغ الشرري يظهر عندما تصل شدة الحقل الكهربائي إلى $E = 3 \times 10^6 \frac{V}{m}$

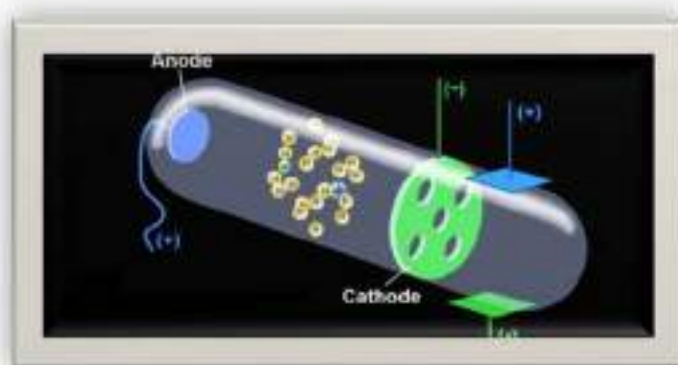
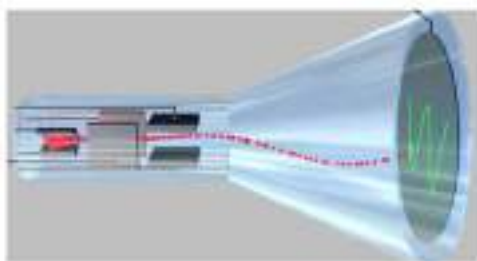
الرابعة:

تبلغ شدة التيار في أنبوب الأشعة المهبطية 16mA

- 1- احسب عدد الإلكترونات الصادرة عن المهبط في الثانية الواحدة
- 2- احسب الطاقة الحركية لأحد الإلكترونات لحظة وصوله المصعد باعتبار أنه ترك المهبط دون سرعة بدائية وأن التوتر المطبق بين المصعد والمهبط 180V ثم احسب سرعته عندئذ
- 3- احسب الطاقة الحرارية الناتجة عن التحول الكامل للطاقة الحركية للإلكترونات التي تصدم المصعد خلال دقيقة واحدة علماً أن $m_e = 9 \times 10^{-31} kg$ $e = 1.6 \times 10^{-19} c$.

ننصح جميعاً ألا نلمس جهاز التلفاز من الخلف، ونحذّر من رفع أية أداة ناقلة للتيار باتجاه الأعلى حيث تمر خطوط التوتر الكهربائي، وعند تمديد خطوط التوتر العالي نلاحظ اتساع المسافات الفاصلة بينها! أبحث أكثر

تنصب موانع الصواعق على أسطحه الأبنية لتفادي الصواعق، ابحث في ذلك مستعيناً بمكتبة مدرستك، والشابكة.





الفعل الكهرحراري

الأهداف:

يعرّف الفعل الكهرحراري
يفسّر الفعل الكهرحراري
يتعرّف اقسام راسم الاهتزاز الإلكتروني
يتعرف عمل راسم الاهتزاز الإلكتروني
يتعرّف تطبيقات راسم الاهتزاز



الكلمات المفتاحية

الفعل الكهرحراري، راسم الاهتزاز الإلكتروني، شبكة وهنلت، الجملة الحارفة، الشاشة المتألقة.

يستخدم جهاز راسم الاهتزاز الإلكتروني في مجالات متعددة من العلوم، حتى يكاد لا يخلو منه مختبر بحثي أو طبي تشخيصي، وغير ذلك معتمداً على ظاهرة الفعل الكهحراري كأحد طرائق انتزاع الإلكترونات.

فكيف نفسّر حدوث هذه الظاهرة ، وما هي الأقسام الرئيسية لراسم الاهتزاز الإلكتروني؟
نشاط:

- نسخّن سلك معدني إلى درجة حرارة معينة، ماذا يحدث لبعض إلكتروناته الحرّة عند بدء التسخين؟
- ماذا يحدث عند استمرار التسخين؟
- ما الشحنة الكهربائية التي يكتسبها السلك المعدني؟
- ما الأفعال المتبادلة بين المعدن والإلكترونات؟
- ماذا نسمي هذه الظاهرة؟
- كيف تفسّر تشكل سحابة إلكترونية كثافتها ثابتة حول السلك؟
- ماذا يحصل إذا طبقنا على السحابة الإلكترونية حقل كهربائي؟
- أفسّر ما العوامل التي يتوقّف عليها زيادة عدد الإلكترونات المنتزعة؟

النتيجة:

- تكتسب بعض الإلكترونات الحرّة للسطح المعدني قدراً من الطاقة تزيد من سرعتها وحركتها العشوائية.
- تكتسب بعض الإلكترونات الحرّة طاقة كافية لتنتقل من ذرات السطح المعدني.
- يكتسب سطح المعدن شحنة موجبة.
- باستمرار التسخين يزداد خروج الإلكترونات من ذرات سطح المعدن (إلى حدّ معين) وتزداد شحنة المعدن مما يزيد من قوّة جذب المعدن للإلكترونات المنطلقة وفي لحظة ما يتساوى عدد الإلكترونات المنطلقة مع عدد الإلكترونات العائدة لسطح المعدن، فتتشكّل سحابة إلكترونية كثافتها ثابتة حول سطح المعدن.
- أسمى هذه الظاهرة الفعل الكهحراري. اكتشفها توماس أديسون (1847-1931) خلال تجاربه حيث لاحظ تحوّل الهواء المحيط بسلك المعدن المتوهج إلى وسط ناقل.
- وعند تطبيق حقل كهربائي فإنّ الإلكترونات الخارجة من سطح المعدن لا تعود إليه وإنّما تتحرك في الحقل نحو المصعد ويساعد هذا على إصدار إلكترونات جديدة وتستمر العملية و بسرعة كبيرة جداً، حيث تتسارع الإلكترونات مكونة حزمة إلكترونية.
- يزداد عدد الإلكترونات المنتزعة في الثانية الواحدة من سطح المعدن كلما:

(1) قل الضغط المحيط بسطحه

(2) ارتفعت درجة حرارة المعدن.


إذاً ما الفعل الكهحراري؟

هو انتزاع إلكترونات حرّة من سطح معدن بتسخينه إلى درجة حرارة مناسبة.

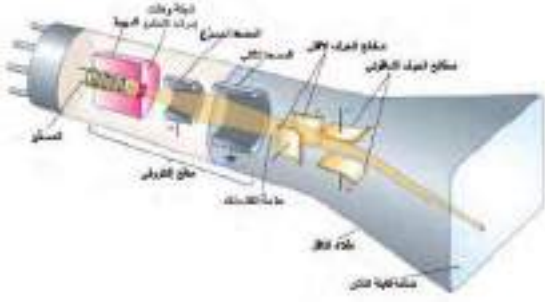
راسم الاهتزاز الإلكتروني

أَتَفَحَّصُ رَاسِمَ الْاهْتِرَازِ الْإِلِكْتُرُونِي فِي مَخْبَرِ الْمَدْرَسَةِ بِمُسَاعَدَةِ الْمَخْبِرِيِّ وَأَتَعَرَّفُ عَلَى أَجْزَائِهِ الرَّئِيسِيَّةِ الْمَدْفَعِ الْإِلِكْتُرُونِيِّ _ الْجُمْلَةِ الْحَارِفَةِ _ الشَّاشَةِ الْمَتَالِقَةِ

أُسْتَعِينُ بِالرَّسْمِ الْمَجَاوِرِ وَأُحَدِّدُ أَجْزَاءَ رَاسِمِ الْاهْتِرَازِ الْإِلِكْتُرُونِيِّ وَوُضُفِيَّةَ كُلِّ مِنْهَا.



The diagram shows a rectangular circuit board with various components and labels in Arabic. Labels include: 'مفتاح التردد العالي' (High frequency switch), 'مفتاح التردد المنخفض' (Low frequency switch), 'مفتاح التردد المتوسط' (Medium frequency switch), 'مفتاح التردد العالي' (High frequency switch), 'مفتاح التردد المنخفض' (Low frequency switch), 'مفتاح التردد المتوسط' (Medium frequency switch), 'مفتاح التردد العالي' (High frequency switch), 'مفتاح التردد المنخفض' (Low frequency switch), 'مفتاح التردد المتوسط' (Medium frequency switch), 'مفتاح التردد العالي' (High frequency switch), 'مفتاح التردد المنخفض' (Low frequency switch), 'مفتاح التردد المتوسط' (Medium frequency switch).



يتألف راسم الاهتزاز الإلكتروني من أنبوب زجاجي متين يتحمل الضغط، أسطوانتي ضيق في بدايته، ومخروطي متسع في نهايته ومخلّى من الهواء، ويحتوي على الأقسام الثلاثة الآتية:

(1) المدفع الإلكتروني:

يتألف المدفع الإلكتروني من الأجزاء الآتية:

- (1) **المهبط:** صفيحة معدنية يُطبّق عليها توتر سالب، يصدر إلكترونات بالفعل الكهرحراري عن طريق تسخينه تسخيناً غير مباشر بواسطة سلك تسخين من التنغستين حيث يمرّر فيه تيار متواصل.
- (2) **شبكة وهنتل:** وهي أسطوانة تحيط بالمهبط في قاعدتها ثقب ضيق، وتوصل بتوتر سالب قابل للتغيير، ولها دور مزدوج لضبط الحزمة الإلكترونية:
- تجميع الإلكترونات الصادرة عن المهبط في نقطة تقع على محور الأنبوب.
 - التحكم بعدد الإلكترونات النافذة من ثقبها من خلال تغيير التوتر السالب المطبّق على الشبكة مما يغيّر من شدّة إضاءة الشاشة.
- (3) **مصعدان:** لتسريع الحزمة الإلكترونية على مرحلتين الأولى: بين الشبكة والمصعد الأول بتطبيق توتر عالٍ موجب قابل للتغيير. الثانية: بين المصعدين بتطبيق توتر عالٍ موجب ثابت.

(2) الجملة الحارفة:

تتألف من:

- (1) مكثفة لبوساها أفقيان "حقلها الكهربائي شاقولي" تحرف الحزمة الإلكترونية شاقولياً.
 - (2) مكثفة مستوية لبوساها شاقوليان "حقلها الكهربائي أفقي" تحرف الحزمة الإلكترونية أفقياً.
- يمكن استخدام زوجين من الوشائع بدلاً من الصفائح إحداها أفقية و الأخرى شاقولية.

(3) الشاشة المتألقة:

تتألف من:

- (1) طبقة سميكة من الزجاج.
- (2) طبقة ناقلة من الغرافيت.
- (3) طبقة من مادة متألقة "كبريت الزنك".
- تغطي الشاشة من الداخل بوريقة من الألمنيوم لا يتجاوز ثخنها بضعة ميكرونات.
- تسمح وريقة الألمنيوم للإلكترونات المسرعة بالعبور فتصطدم بالمادة القابلة للتألق وينعكس التألق على وريقة الألمنيوم الذي تعكسه بدورها خارج الأنبوب.
- يطلى الأنبوب الزجاجي من الداخل بطبقة من الغرافيت تعمل دور الواقي للحزمة الإلكترونية من الحقول الخارجية كما أنها تعيد الإلكترونات التي سببت التألق إلى المصعد وتغلق الدارة.

استخدامات راسم الاهتزاز:

يستخدم في دراسة الحركات الدورية السريعة كالتيارات المتناوبة والاهتزازات الصوتية، حيث يُظهر تحويلات التوتر بتابعية الزمن على شكل منح بياني له تواتر الحركة المدروسة نفسه، ويمكن للجهاز قياس فرق الكمون المستمر أو المتناوب بواسطة الشاشة المُقسّمة إلى تدرجات مناسبة، ويمكن التحكم بقيمة كل تدرجه



بواسطة مفتاح خاص.

ويستخدم أيضاً في أجهزة الاستقبال التلفزيونية حيث تستبدل بالمكثفات وشائع تحريضية تقوم بالعمل ذاته، وكذلك يستخدم في التكبير مثل المجهر الإلكتروني وفي أجهزة الرادار.

تعلمت

- الفعل الكهرحراري هو انتزاع إلكترونات حرّة من سطح معدن بتسخينه إلى درجة حرارة مناسبة.
- يستخدم راسم الاهتزاز الإلكتروني في دراسة الحركات الدورية السريعة كالتيارات المتناوبة والاهتزازات الصوتية، حيث يُظهر تحويلات التوتر بتابعية الزمن على شكل منحني بياني له تواتر الحركة المدروسة نفسه.
- يتألف راسم الاهتزاز الإلكتروني من ثلاثة أقسام:
(1) مدفع الإلكتروني:
يتألف المدفع الإلكتروني من الأجزاء الآتية:
(1) المهبط
(2) شبكة وهملت
(3) مصعدان
(2) الجملة الحارفة
(3) الشاشة المتألقة
- لشبكة وهملت دور مزدوج لضبط الحزمة الإلكترونية:
 - تجميع الإلكترونات الصادرة عن المهبط في نقطة تقع على محور الأنبوب.
 - التحكم بعدد الإلكترونات النافذة من ثقبها من خلال تغيير التوتر السالب المطبق على الشبكة مما يغيّر من شدة إضاءة الشاشة.

أسئلة وتدريبات

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي:

- 1- الفعل الحراري الإلكتروني هو انتزاع:
 - (a) النيوترونات من سطح المعدن بتسخينه
 - (b) الإلكترونات الحرة من سطح المعدن بتسخينه لدرجة حرارة مناسبة
 - (c) البروتونات من سطح المعدن بتسخينه
 - (d) الفوتونات عند اصطدام الإلكترونات بسطح مادة مفلّورة.
- 2- يتم التحكم بشدة إضاءة شاشة راسم الاهتزاز بواسطة التحكم:
 - (a) بتوتر الجملة الحارفة
 - (b) بدرجة حرارة المهبط
 - (c) بالتوتر المطبق على المصعد
 - (d) بالتوتر السالب المطبق على الشبكة

3- مهمة شبكة وهلنت هي:

- (a) ضبط الحزمة الإلكترونية .
- (b) تسخين السلك (الفتيل)
- (c) اصدار الإلكترونات
- (d) حرف الحزمة الإلكترونية

4- تطلّى شاشة راسم الاهتزاز الإلكتروني بطبقة من الغرافيت:

- (a) لحماية الشاشة من الحقول الخارجية.
- (b) للالتقاط الفوتونات
- (c) لامتناس النترونات
- (d) لإصدار البروتونات الزائدة.

ثانياً: اشرح الدور المزدوج لشبكة وهلنت في جهاز راسم الاهتزاز الإلكتروني.

ثالثاً: حل المسألتين الآتيتين:

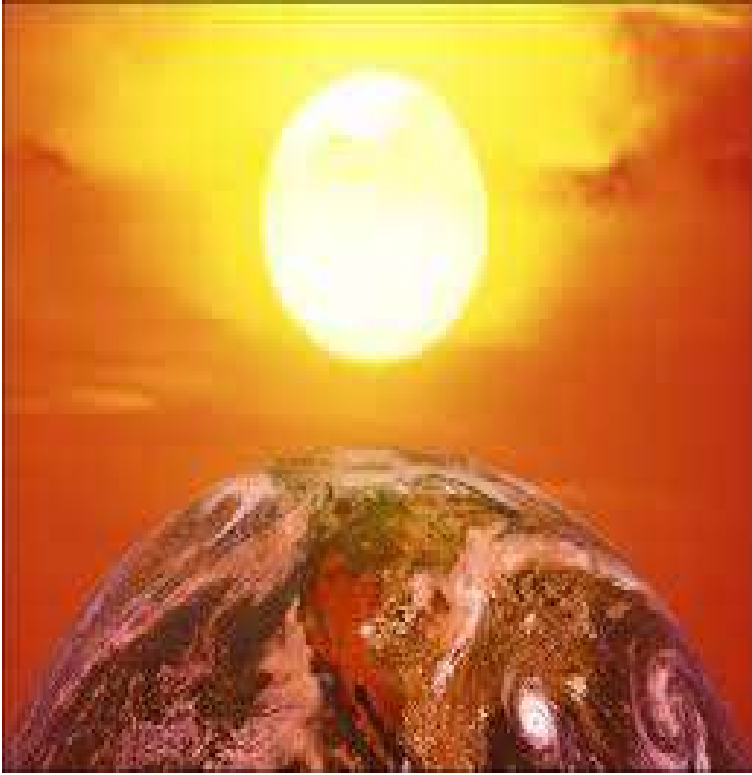
المسألة الأولى: راسم اهتزاز يُصدر مدفعه الإلكتروني حزمة متجانسة من الإلكترونات بدون سرعة ابتدائية عملياً. نطبق توتراً قدره 1125 V بين مصعده ومهبطه، المطلوب:

- A. احسب الطاقة الحركية لأحد إلكترونات تلك الحزمة عندما يصل المصعد وسرعته حينئذٍ.
- B. تدخل الحزمة الإلكترونية بين لبوسي المكثفة المستوية ذات الحرف الشاقولي المشحونة البعد بين لبوسيهما 2 cm . احسب شدة الحقل الكهربائي بين البوسين إذا كان فرق الكمون بينهما 220 V .

المسألة الثانية: تبلغ الطاقة الحركية لحزمة من الإلكترونات المنتزعة $9.6 \times 10^{-14} \text{ J}$ ، وشدّتها $10 \mu\text{A}$.
المطلوب حساب:

- (1) سرعة الإلكترونات في هذه الحزمة.
 - (2) كمية الحرارة المنتشرة خلال 30 ثانية عند اصطدام هذه الحزمة بصفيحة معدنية وتحول طاقتها الحركية بالكامل إلى طاقة حرارية.
 - (3) عدد الإلكترونات التي تصل الصفيحة المعدنية في الثانية الواحدة.
- (كتلة الإلكترون $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ شحنة الإلكترون $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

مقدمة :



تعتمد الحياة على سطح الأرض بجميع صورها على ما ترسله الشمس من حرارة وضوء. كما أن للتدفق المنتظم للحرارة والضوء من الشمس دوراً أساسياً في تنمية الحياة وتطورها على الأرض، التي لم يكن من الممكن أن توجد بدونها وبدون تدفق اشعاعاتها في انتظام واستمرارية الحياة ، فلو زادت أو نقصت هذه الطاقة فإن ذلك سيؤثر على مقدار سخونة أو برودة الأرض ، وسيرافق ذلك أخطار جسيمة .

يمكن الحصول على الحرارة إما بطرق فيزيائية مثل الاحتكاك أو تهيج جزيئات المادة، أو بطرق كيميائية مثل الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية و النووية و الاحتراق وغيرها.

بين الكيميائيين التحليليين في مختبراتهم وبين علماء الفلك الذين يراقبون النجوم والكواكب بمناظيرهم العملاقة شيء مشترك هو لجوء كليهما إلى استخدام تقانات التحليل الطيفي لكشف كنه ما يحلونه أو ما يراقبونه ومعرفة تركيبه الكيميائي.

يقوم مبدأ التقانات المستخدمة على امتصاص الذرات و الجزيئات للطاقة، أو اصدارها في انبوب اختبار في متناول اليد أو في نجم بعيد



نظرية الكم والفعل الكهرضوئي

أهداف الدرس



1. يتعرّف فرضيات نظرية الكم.
2. يشرح نظرية أينشتاين الكهرضوئية.
3. يستنتج طاقة الفوتون وخواصه.
4. يتعرّف الفعل الكهرضوئي.
5. يفسّر الظاهرة الكهرضوئية على أساس نظرية اينشتاين.
6. يستنتج معادلة أينشتاين في الفعل الكهرضوئي.
7. يصف الخلية الكهرضوئية.
8. يبيّن بعض تطبيقات الخلية الكهرضوئية.

الكلمات المفتاحية

نظرية الكم – نظرية أينشتاين – الفعل الكهرضوئي – الخلية الكهرضوئية

أُتساءل:

وفق النظرية الكلاسيكية للذرة، أين يتواجد الإلكترون في الذرة؟

ما مسار حركته حول النواة؟

هل يفقد أم يكتسب طاقة في أثناء حركته؟

ما مصير الإلكترون إذا كانت طاقته تتناقص تدريجياً في أثناء دورانه حول النواة؟ وهل تنفي الذرة نتيجة ذلك؟

إنّ تطبيق قوانين الفيزياء التقليدية لتفسير ذلك يقودنا إلى أن دوران الإلكترونات حول النواة يؤدي إلى فقدانها تدريجياً لطاقتها وبالتالي إلى اقترابها من النواة لتستقر فيها وهذا لا يحدث في الطبيعة.

إنّ هذا العجز في تفسير ذلك وغيره من الظواهر مهّد لوضع نظرية الكمّ التي تقوم على الأسس الآتية:

أ- **فرضية بلانك:** افترض بلانك أنّ الضوء والمادة يمكنها تبادل الطاقة من خلال كميات منفصلة من

$$\text{الطاقة سُمّيت (كمّات الطاقة)، تعطى طاقة كلّ كمّة بالعلاقة: } E = h.f = \frac{h.C}{\lambda}$$

ب- **فرضية أينشتاين:**

افتراض أينشتاين أنّ الحزمة الضوئية مكوّنة من فوتونات (كمّات الطاقة) يحمل كل منها طاقة تساوي

$$E = h.f, \text{ ويحصل تبادل للطاقة مع المادة من خلال امتصاص أو إصدار فوتونات.}$$

ويتمتع الفوتون بالخواص الآتية:

(1) الفوتون أو (حبيبة الطاقة) هو جسيم يواكب موجة كهرومغناطيسية ذات التواتر f .

(2) شحنته الكهربائية معدومة.

(3) يتحرّك بسرعة انتشار الضوء.

(4) طاقته تساوي $E = h.f$ حيث $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ثابت بلانك.

(5) يمتلك كمية حركة $P = m c$:

$$E = m c^2$$

$$m = \frac{E}{c^2}$$

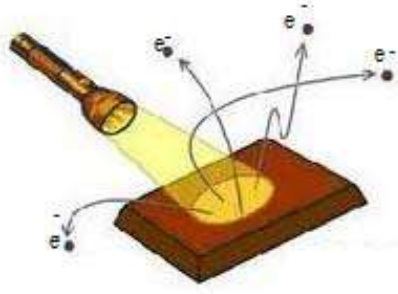
$$P = \frac{E}{c^2} c$$

$$P = \frac{E}{c}$$

$$P = \frac{h.f}{\lambda f}$$

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

الفعل الكهروضوئي

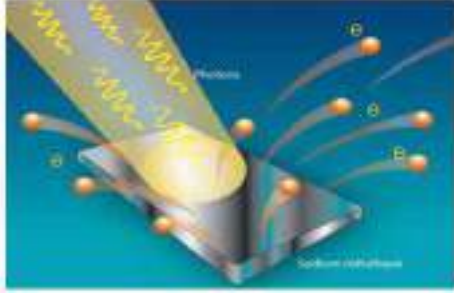


يوجد الكثير من الأجهزة في حياتنا اليومية تعتمد في عملها على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية، كالخلايا الشمسية التي يستفاد منها في إنارة الشوارع وغير ذلك.

أتساءل ما المبدأ الذي تعتمد عليه عمل هذه الأجهزة؟

إنّ عمل هذه الأجهزة يقوم على انتزاع الإلكترونات الحرة من المادة عند

تعرّضها لإشعاعات كهرومغناطيسية مناسبة، وهذا ما يسمى بالفعل الكهروضوئي، وأول من لاحظ هذه الظاهرة عملياً هو العالم هرتز عام 1887.



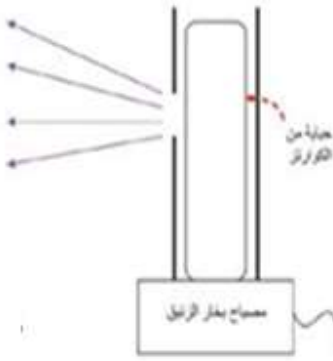
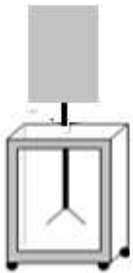
تجربة هرتز :

أدوات التجربة: صفيحة توتياء – كاشف كربائي – مصباح بخار زئبقي – لوح زجاج

وصف التجربة:

- نثبت صفيحة من التوتياء فوق كاشف كهربائي.
- نعّرض الصفيحة للأشعة الصادرة عن مصباح بخار الزئبق.
- كما في الشكل.

صفيحة توتياء



خطوات تنفيذ النشاط

1. نقوم بشحن الصفيحة بشحنة سالبة، ماذا نلاحظ؟
 2. نسلط ضوء المصباح على صفيحة التوتياء، ماذا نتوقع أن يحدث لوريقتي الكاشف؟
 3. نعيد التجربة السابقة بعد أن نضع بين المصباح وصفيحة التوتياء لوح زجاجي، ماذا نلاحظ؟
 4. نقرب المصباح من الصفيحة مع بقاء اللوح بينهما، هل يتغيّر انفراج الوريقتين؟
 5. نسحب اللوح الزجاجي، هل تفقد الصفيحة شحنتها؟
 6. نشحن الصفيحة بشحنة موجبة، ثمّ نعّرضها لضوء مصباح الزئبق، ماذا يحدث لشحنة الصفيحة؟
- نتائج التجربة

- تنفّرج وريقتا الكاشف دالة على شحنة الصفيحة.
- تنتزع بعض الإلكترونات من صفيحة التوتياء بالفعل الكهروضوئي، وتدفعهم شحنة الصفيحة السالبة فتبتعد الإلكترونات عن الصفيحة مما يؤدي إلى فقدانها تدريجياً لشحنتها السالبة حتى تتعادل، فنتقارب وريقتا الكاشف حتى تنطبقا.

- يمتص اللوح الزجاجي الأشعة فوق البنفسجية المسؤولة عن انتزاع الإلكترونات ويمنعها من الوصول إلى الصفيحة بينما يسمح بمرور الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء التي لا تمتلك الطاقة الكافية لانتزاع الإلكترونات.

- إن الإلكترونات التي يجري نزعها يعاد جذبها إلى الصفيحة بسبب شحنتها الموجبة، فنجد أ وريقتي الكاشف لا تتأثر فلا يتغير أفراسها.

شرح الفعل الكهروضوئي بالاستناد إلى فرضية أينشتاين



اقترح أينشتاين أنه عندما يسقط فوتون على معدن فإن هذا الفوتون يُمكن أن يصادف إلكترونًا ويُقدّم له كامل طاقته، والفوتون يكون بذلك قد جرى امتصاصه، وهنا لدينا ثلاث إمكانيات:

(1) إذا كانت طاقة الفوتون مساوية لعمل الانتزاع $E_s = hf$ فإن ذلك يؤدي إلى انتزاع الإلكترون،

وخروجه من المعدن، ولكن بطاقة حركية معدومة، وتواتر الموجة عندئذٍ يمثل تواتر العتبة اللازمة لنزع الإلكترون.

(2) إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من عمل الانتزاع، فإنه يجري انتزاع الإلكترون من المعدن باستهلاك جزء من طاقة الفوتون يساوي E_s والجزء الآخر

يبقى مع الإلكترون على شكل طاقة حركية، أي يخرج الإلكترون من المعدن بطاقة حركية تساوي $E_k = hf - E_s$.

(3) إذا كانت طاقة الفوتون أصغر من طاقة الانتزاع يكتسب الإلكترون طاقة حركية ويبقى مرتبطاً بالمعدن.

النتيجة

يجري انتزاع الإلكترونات من المعدن إذا كان طول موجة الحزمة الضوئية الواردة على المعدن أصغر أو يساوي طول موجة العتبة اللازمة للانتزاع.

نجد في الجدول عمل انتزاع الإلكترون من عدد من المعادن، وطول موجة العتبة الموافق.

المعدن	عتبة طول الموجة للفعل الكهروضوئي (μ m)	طاقة الانتزاع (eV)
Zn	0.35	3.55
Al	0.365	3.40
Ca	0.447	2.78
Na	0.50	2.48
Li	0.54	2.30
K	0.55	2.26
Rb	0.57	2.18
Sr	0.60	2.07
Cs	0.66	1.88

جدول يبين عتبة طول الموجة، وطاقة الانتزاع لعدد من العناصر الكيميائية

إضاءة: حصل أينشتاين على جائزة نوبل عام 1921 لشرح الفعل الكهروضوئي.

معادلة أينشتاين في الفعل الكهروضوئي

وجدنا أنَّ الإلكترون ينتزع بطاقة حركية عظمى من أجل:

$$E_k = hf - E_s$$

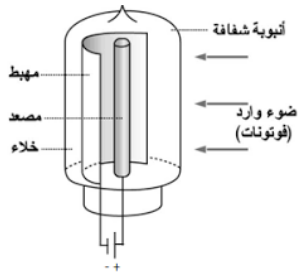
$$E_k = hf - hf_s$$

$$E_k = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_s} \right)$$

فسَّرت معادلة أينشتاين ما عجزت النظرية الموجية الكلاسيكية عن تفسيره وهي:

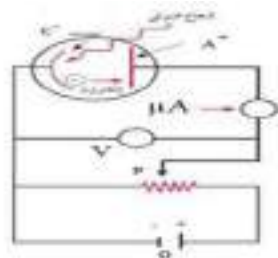
- 1- لا يحدث الفعل الكهروضوئي إذا كان تواتر الضوء الوارد أقل من تواتر العتبة f_s الذي تتعلَّق قيمته بطبيعة المعدن، أمَّا النظرية الموجية فتعتبر أنَّ الفعل الكهروضوئي يحدث عند جميع التواترات بحسب شدة الضوء الوارد.
- 2- لا تزداد الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنتزع E_k بزيادة شدة الضوء لأنَّ الإلكترون لا يمتص سوى فوتون واحد من الفوتونات الواردة، بينما اعتبرت النظرية الموجية أنَّ الضوء ذو الشدة العالية يحمل طاقة أكثر للمعدن وبالتالي تزداد الطاقة الحركية للإلكترون المنتزع بزيادة شدة الضوء الوارد.
- 3- تزداد الطاقة الحركية العظمى للإلكترون المنتزع بزيادة تواتر الضوء الوارد، بينما اعتبرت النظرية الموجية أنَّه لا علاقة بين طاقة الإلكترون وتواتر الضوء الوارد.
- 4- يحدث انتزاع للإلكترونات من سطح المعدن أنيًّا مهما كانت قيمة شدة الضوء الوارد، وحسب النظرية الموجية يحتاج الإلكترون لزمن امتصاص الفوتون الوارد حتى ينتزع.

الخلية الكهروضوئية



تتألف الخلية الكهروضوئية من حباب زجاجية من الكوارتز مخلّاة من الهواء، تحتوي مسرى معدني يغطي سطحه طبقة رقيقة من معدن قلوي تتلقّى الضوء، يسمى المهبط C، كما تحتوي على مسرى آخر يسمى المصعد A.

نشاط



في إحدى التجارب على دارة خلية كهروضوئية، أسقطنا ضوء وحيد اللون على مهبط الخلية، وكانت النتائج المسجلة لشدة التيار المار فيها I (mA) من أجل فرق الكمون المطبق بين المصعد والمهبط U_{AC} ، وفق الجدول الآتي:

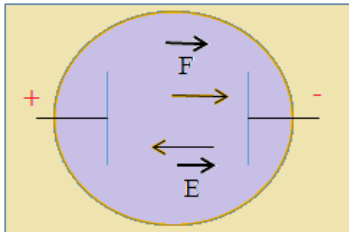
U_{AC} (V)	-6	-5	-1	-0.95	0	2	5	10	15	20
I (mA)	0	0	0	1	2	3	6	7	7	7

المطلوب:

- 1- أرسم الشكل البياني لتغيرات الشدة I (mA) بدلالة U_{AC} .
- 2- أفسّر هل يمرّ تيار كهربائي في الدارة عند تطبيق توتر عكسي (من أجل كمون المهبط أعلى من كمون للمصعد)؟
- 3- أفسّر عدم مرور تيار كهربائي في الدارة من أجل $U_{AC} \leq -1 \text{ V}$ ؟
- 4- أفسّر ما أصغر قيمة لفرق الكمون بين المصعد والمهبط التي يمرّ من أجلها تيار كهربائي في الدارة؟ وأفسّر ذلك.
- 5- أفسّر مرور تيار كهربائي في الدارة من أجل قيمة فرق الكمون $U_{AC} = 0$.
- 6- أفسّر زيادة شدة التيار المار في الدارة بزيادة فرق الكمون المطبق حتى $U_{AC} = 10 \text{ V}$ عند تطبيق توتر مباشر (أي كمون موجب للمصعد بالنسبة للمهبط).
- 7- أفسّر عن سبب ثبات شدة التيار من أجل فرق الكمون المطبق $U_{AC} \geq 10 \text{ V}$.

النتائج:

عند تعرّض المهبط للحزمة الضوئية تنتزع بعض الإلكترونات من الصفيحة وتنطلق بسرعة غير معدومة:



- عندما يكون كمون المهبط أعلى من كمون المصعد وتكون قيمة فرق الكمون $U_{AC} < -U_0$ تخضع الإلكترونات لقوة كهربائية تعاكس جهة الحقل الكهربائي (الذي يتجه من المهبط إلى المصعد) وتعمل هذه القوة على إعادة الإلكترونات إلى المهبط، ولا يمرّ تيار كهربائي في الخلية.
- بتخفيض التوتر بالقيمة المطلقة والوصول إلى $U_{AC} = -U_0$ (حيث U_0

يسمى كمون الإيقاف) تبدأ بعض الإلكترونات بالوصول إلى المصعد بالرغم من إبطاء الحقل الكهربائي لحركتها باتجاه المصعد فيمر تيار، وكلما صغر فرق الكمون بقيمته المطلقة كلما ازداد عدد الإلكترونات التي تصل إلى المصعد فتزداد شدة التيار نتيجة ذلك.

- عندما يصبح كمون المصعد أعلى من كمون المهبط تعمل القوة الكهربائية على تسريع الإلكترونات المتجهة إلى المصعد، وتزداد بذلك عدد الإلكترونات التي تصل إليه وتزداد شدة التيار نتيجة لذلك حتى تصل قيمتها العظمى $I = I_s$ ، وعند هذه القيمة تصل جميع الإلكترونات المنتزعة من المهبط إلى المصعد ونقول أنّ التيار وصل إلى حالة الاشباع.
- توتر الإيقاف: أقل توتر كهربائي عكسي يكفي لمنع وصول الإلكترونات الضوئية من المهبط إلى المصعد أي لجعل التيار الكهروضوئي معدوماً.
- ماذا يحدث لو أعدنا التجربة بعد زيادة استطاعة الحزمة الضوئية؟ تزداد شدة تيار الاشباع بزيادة الاستطاعة الضوئية.

$$P = N h f$$

تُكتب استطاعة موجة كهروضوئية تسقط على سطح بالعلاقة:

حيث N عدد الفوتونات التي يتلقاها السطح في واحدة الزمن.

تطبيقات الخلية الكهروضوئية

أولاً: الخلية الشمسية: جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية

مكوناتها:



- طبقة رقيقة من مادة نصف ناقلة من النمط n وهي الطبقة المقابلة للشمس لتعطيها خاصية ضخ الإلكترونات عند ارتطام الضوء بها.

- طبقة سميكة من مادة نصف ناقلة من النمط p في الأسفل لتعطيها خاصية امتصاص الإلكترونات.

عندما تسقط الأشعة الشمسية على الطبقة العليا تتحرر بعض الإلكترونات بسبب اكتسابها طاقة كافية لتحررها، تنتقل هذه الإلكترونات المحررة عبر سلك معدني (نحاس) من الطبقة العليا إلى الطبقة السفلى، وهكذا يتكون تيار وتوتر كهربائيان.

تستخدم الخلايا الشمسية في (الأقمار الصناعية والمحطات الفضائية وفي إنارة الشوارع و الآلات الحاسبة و.....).
طاقة الخلية الشمسية متجددة نظيفة .

ثانياً المضاعف الضوئي: يتألف من حجرة زجاجية مفرغة من الهواء تحوي داخلها على صفيحة معدنية تتحرر منها الإلكترونات عند سقوط الضوء عليها بتواتر مناسب ، كما تحتوي عدداً من الصفائح المتوازية بحيث يزداد الكمون عند الانتقال من صفيحة إلى التالية التي تقابلها، مما يؤدي إلى تسريع الإلكترونات عند انتقالها إلى الصفيحة التالية المقابلة، هذه الإلكترونات تقتلع عدد أكبر من إلكترونات الصفيحة التالية بسبب طاقتها الحركية الإضافية ، وهكذا انطلاقاً من إلكترون مقتلع من الصفيحة الأولى نصل إلى عدد أكبر من الإلكترونات بعد الصفيحة الأخيرة مما يسمح بتمرير تيار كبير نسبياً، يسمح هذا الجهاز بتحسس الإشعاعات الضوئية الضعيفة.

ثالثاً الأجهزة آلية الحركة: يسقط الضوء على حجرة كهروضوئية مما يغلق دارتها، وإذا اجتاز جسم عاتم الحيز المحصور بين المنبع الضوئي والخلية ينقطع مرور التيار في الخلية (مثل باب المصعد الكهربائي الذي يفتح تلقائياً بمرور شخص في المكان المناسب)

تطبيق:

تبلغ شدة التيار في خلية كهروضوئية $16mA$ المطلوب حساب :

- (1) عدد الإلكترونات الصادرة عن المهبط كل ثانية.
- (2) الطاقة الحركية لأحد الإلكترونات المنتزعة لحظة وصولها المصعد باعتبار أنه ترك المهبط دون سرعة ابتدائية. وأنّ التوتر الكهربائي بين المصعد والمهبط $180V$

الحل:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{i t}{e} = \frac{16 \times 10^{-3} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 1 \times 10^{17} \quad - 1$$

$$E_k = e U_{AC} = 1.6 \times 10^{-19} \times 180 = 288 \times 10^{-19} J \quad - 2$$

تعلمت

ت- **فرضية بلانك:** افترض بلانك أن الضوء والمادة يمكنها تبادل الطاقة من خلال كميات منفصلة من الطاقة .

ث- **فرضية أينشتاين:**

افترض أينشتاين أن الحزمة الضوئية مكونة من فوتونات (كمات الطاقة) يحمل كل منها طاقة تساوي $E = h.f$ ، ويحصل تبادل للطاقة مع المادة من خلال امتصاص أو إصدار فوتونات .

ويتمتع الفوتون بالخواص الآتية:

6) الفوتون أو (حبيبة الطاقة) هو جسيم يواكب موجة كهرومغناطيسية ذات التواتر f .

7) شحنته الكهربائية معدومة.

8) يتحرك بسرعة انتشار الضوء.

9) طاقته تساوي $E = h.f$

10) يمتلك كمية حركة $p = \frac{h}{\lambda}$

الفعل الكهروضوئي

انتزاع الإلكترونات الحرة من المادة عند تعرضها لإشعاعات كهرومغناطيسية مناسبة،

يجري انتزاع الإلكترونات من المعدن إذا كان طول الموجة الضوئية الواردة على المعدن أصغر أو يساوي طول موجة العتبة اللازمة للانتزاع.

الخلية الكهروضوئية

تتألف الخلية الكهروضوئية من حبابية زجاجية من الكوارتز مخلّاة من الهواء، تحتوي مسرى معدني يغطي سطحه طبقة رقيقة من معدن قلوي تتلقّى الضوء، يسمى المهبط C، كما تحتوي على مسرى آخر يسمى المصعد A.

تطبيقات الخلية الكهروضوئية

أولاً: الخلية الشمسية: جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية

ثانياً المضاعف الضوئي: يتألف من حبيبة زجاجية مفرغة من الهواء تحوي داخلها على صفيحة معدنية تتحرر منها الإلكترونات عند سقوط الضوء عليها بتواتر مناسب ، كما تحتوي عدداً من الصفائح المتوازية بحيث يزداد الكمون عند الانتقال من صفيحة إلى التالية التي تقابلها، مما يؤدي إلى تسريع الإلكترونات عند انتقالها إلى الصفيحة التالية المقابلة،

ثالثاً الأجهزة آلية الحركة: يسقط الضوء على حبيبة كهروضوئية مما يغلق دارتها، وإذا اجتاز جسم عاتم الحيز المحصور بين المنبع الضوئي والخلية ينقطع مرور التيار في الخلية .

أسئلة وتدريب

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي:

- 1- الحزمة الضوئية حزمة من الجسيمات غير المرئية تسمى:
 - (a) نوترونات (b) فوتونات (c) إلكترونات (d) بروتونات
- 2 - يزداد عدد الإلكترونات المقترعة من مهبط الحجرة الكهروضوئية بازدياد:
 - (a) تواتر الضوء الوارد (b) شدة الضوء الوارد (c) كتلة صفيحة مهبط الحجرة (d) تواتر العتبة
- 3 - تزداد الطاقة الحركية العظمى للإلكترون لحظة مغادرته مهبط الحجرة الكهروضوئية بازدياد:
 - a - تواتر الضوء الوارد (b) شدة الضوء الوارد (c) سماكة صفيحة مهبط الحجرة (d) تواتر العتبة f_s
- 4- يحدث الفعل الكهروضوئي بإشعاع ضوئي وحيد اللون تواتره:
 - (a) $f = f_s$ (b) $f < f_s$ (c) $f = 0$ (d) $f > f_s$
- 5 - يجري انتزاع الإلكترون من سطح معدن ما إذا كان طاقة الفوتون:
 - (a) معدومة
 - (b) تساوي طاقة الانتزاع
 - (c) أكبر من طاقة الانتزاع
 - (d) أصغر من طاقة الانتزاع

ثانياً: يسقط فوتون طاقته E على معدن ويصادف إلكترونات طاقة انتزاعه E_s ويقدم له كامل طاقته.

المطلوب : A - اشرح ما يحدث للإلكترون إذا كانت:

- 1) طاقة الفوتون أقل من طاقة الانتزاع (2) طاقة الفوتون أكبر من طاقة الانتزاع
 - B - ما الشرط الذي يجب أن يحققه طول موجة الضوء الوارد لتعمل الحجرة الكهروضوئية؟
- ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى :

يسقط ضوء بتواتر $7.3 \times 10^{14} \text{ Hz}$ على معدن طاقة الانتزاع لديه $3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$ المطلوب:

- 1- بين بالحساب هل تُنتزع الإلكترونات من سطح المعدن أم لا ؟
- 2- احسب طاقتها الحركية في حال انتزاعها.

المسألة الثانية:

يضيء منبع ضوئي وحيد اللون طول موجته $0.5\mu m$ حبيرة كهروضوئية طاقة انتزاع الإلكترون فيها $E_s = 33 \times 10^{-20} J$ المطلوب حساب:

- 1- تواتر العتبة
- 2- طول موجة عتبة الإصدار
- 3- الطاقة الحركية العظمى للإلكترون لحظة خروجه من مهبط الحبيرة وسرعته.

المسألة الثالثة:

إذا كان أكبر طول موجة يلزم لانتزاع الإلكترون من سطح مهبط حبيرة كهروضوئية يساوي $66 \times 10^{-8} m$ والمطلوب حساب:

- 1- طاقة انتزاع الإلكترون من مادة المهبط
- 2- كمية حركة الفوتون الوارد عندما يضاء سطح صفيحة المهبط بضوء وحيد اللون طول موجته $44 \times 10^{-8} m$
- 3- اسب الطاقة الحركية للإلكترون لحظة خروجه من مهبط الحبيرة الكهروضوئية
- 4- احسب قيمة كمون الإيقاف

المسألة الرابعة:

احسب تواتر العتبة لخلية كهروضوئية تحوي صفيحة من معدن السيزيوم عندما يرد عليها ضوء وحيد اللون طول موجته $5 \times 10^{-7} m$ علماً أن طاقة الانتزاع لدى السيزيوم تساوي $3 \times 10^{-19} J$ ثم احسب الطاقة الحركية للإلكترون المنتزع وسرعة الإلكترون.

سرعة انتشار الضوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8 m.s^{-1}$ ثابت بلانك $h = 6.64 \times 10^{-34} Js$

كتلة الإلكترون $m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$

ابحث أكثر:

ابحث في مكتبة مدرستك أو في الشبكة عن ظاهرة الإصدار الكهروضوئي باستخدام نموذج بئر الكمون

تفكير ناقد:

إن نظرية الكم وفرضية دبرولي وما ترتب عليهما تؤكدان و تثبتان وجود الخاصة الثنائية في كل من الضوء و المادة. اعتماداً على فرضيات دوبرولي فسر تشكل أهداب التداخل للإلكترونات عند إمرار حزمة منها خلال شريحة رقيقة من الألمنيوم

الفيزياء الطبية

الأشعة السينية X – Ray

يُفترض من الطالب في نهاية الدرس أن :

1. يتعرف الأشعة السينية و آلية توليدها
2. يشرح طبيعة الأشعة السينية و خواصها
3. يوازن بين الأشعة السينية و الفعل الكهر ضوئي من حيث الاصدار

كلمات مفتاحية

الأشعة السينية – طبيعة الأشعة السينية - امتصاص الأشعة السينية - نفاذ الأشعة السينية.

الأشعة السينية

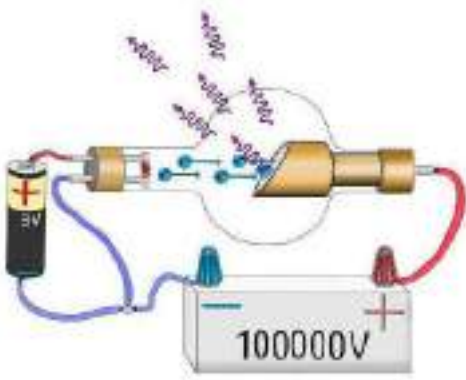


يقوم طبيب الأسنان بمعالجة أسنانك بالاعتماد على صورة شعاعية للفكين تظهر فيها الأسنان وعظام الفكين بوضوح، فيُتبيّن منها أماكن التسوس والنخر، والاعوجاج فيها.

ما طبيعة الأشعة المستخدمة في التصوير الشعاعي؟ وكيف يمكنها تجاوز النسيج الحية في الوجه؟ ولماذا يرتدي العاملون في مراكز التصوير ألبسة خاصة بهم؟

اكتشف وليم رونتجن الأشعة السينية عام (1895) م مصادفة في أثناء دراسته للأشعة المهبطية في أنبوب كروكس، فقد لاحظ أثرها، وقدرتها العالية على النفاذ من خلال بعض المواد، وأطلق عليها اسم (X - Rays)، وأدرك رونتجن أنّ هذه الأشعة تتولّد عندما تسقط حزمة من الإلكترونات ذات الطاقة العالية على هدف من معدن ثقيل.

آلية توليد الأشعة السينية:



يُستخدم لتوليدها أنبوب كوليدج، وهو أنبوب زجاجي مُخلّى من الهواء تخلية شديدة، حيث يبلغ الضغط داخله 10^{-6} mm Hg تقريباً، ويحوي الأنبوب سلكاً مصنوعاً من التنغستين يُسخّن لدرجة التوهّج بواسطة تيار كهربائي، وذلك بوصله بمجموعة مولدات، يحيط بالسلك مهبط معدني مُقعر الشكل يعمل على عكس حزمة الإلكترونات المنبعثة من السلك وتجميعها على الهدف الموصول بالمصعد (مقابل المهبط)، ويُصنع الهدف من معدن ثقيل، درجة حرارة انصهاره مرتفعة جداً مثل الموليبيدين، ويوضع بحيث يميل بزاوية 45° على محور الأنبوب، ويُثبت على أسطوانة نحاسية أكبر منه حجماً متصلة بمبرّد. إذن كيف تتولّد الأشعة السينية؟

نشاط

أنظر إلى الشكل المجاور، وأجيب:



- أحدّد ما يحدث عند تسخين سلك التنغستين؟
- أحدّد ما يحدث عند تطبيق توتر عالٍ متواصل U_{AC} من رتبة $(10^4 - 10^5)$ V بين المصعد والمهبط.
- ماذا ألاحظ عند اصطدام الإلكترونات المُسرّعة بذرات الهدف، وما تفسير ذلك؟
- أعلّل سبب وجود المبرّد المتصل بأسطوانة النحاس.

النتائج

- تنتزع إلكترونات من سلك التنغستين نتيجة تسخينه لدرجة مناسبة.
- تسرّع الإلكترونات المنتزعة بالحقل الكهربائي الشديد المطبّق بين المصعد والمهبط.
- تصطدم الإلكترونات المُسرّعة بذرات الهدف، يؤدي جزء منها إلى انتزاع إلكترونات من الطبقة الداخلية في ذرات الهدف، ويخلف وراءه ثقباً.
- ينتقل أحد إلكترونات الطبقات الأعلى لذرات مادة الهدف بسرعة ليحلّ في الثقب، ويترافق ذلك بإصدار فوتونات ذات طاقة عالية جداً (هي الأشعة السينية).

- يؤدي اصطدام الجزء الأكبر من الإلكترونات المُسرَّعة بذرات الهدف إلى تحوّل كامل طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية في مادة الهدف فتتفج حرارتها، مما يستدعي تبريدها.

طالما أنّ الأشعة السينية هي أمواج كهروطيسية فما هو أقصر طول موجة λ_{\min} يمكن أن تنطلق بها فوتونات الأشعة السينية؟ وعلى ماذا يتوقف ذلك؟

- طاقة الفوتونات تساوي بقيمتها العظمى الطاقة الحركية للإلكترونات المُسرّعة التي تُسبب إصدارها.

$$E = E_k \dots\dots\dots (1)$$

$$hf_{\max} = e U_{AC} \dots\dots\dots (2)$$

بالمساواة بين (1) و(2) نجد:

$$h \frac{c}{\lambda_{\min}} = e U_{AC}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{e U_{AC}}$$

وهي علاقة طول الموجة الأصغري للأشعة السينية.

حيث U_{AC} فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفي الأنبوب، $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ سرعة انتشار الضوء في الخلاء.

- أستنتج أنّ أقصر طول موجة لفوتون الأشعة السينية يتوقف على فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفي أنبوب توليد الأشعة السينية.
- يمكن تغيير قيمة فرق الكمون الكهربائي بين المصعد والمهبط **بتغيير وضع الزالقة (ق)** فيغيّر ذلك من طاقة تسريع الإلكترونات، فتتغيّر الطبقة الذرية التي يقتلع منها إلكترونات في ذرات صفيحة الهدف وتتغيّر بالتالي طاقة أشعة X - الصادرة. أما تغيير **وضع الزالقة (م)** فيغيّر من حرارة سلك التسخين مما يغيّر من عدد الإلكترونات التي يصدرها فتتغيّر شدة (كثافة) الأشعة المهبطية وتتغيّر بالتالي شدة أشعة X .
- يُظهر تحليل طيف أشعة X - الصادرة عن أنبوب انفرغ أنّه عبارة عن طيفين أحدهما مستمر (مجال مستمر من الأطوال الموجية)، والآخر عبارة عن خطوط متميزة حادة وساطعة منفصلة عن بعضها تقع فوق الطيف الأول، تسمى الأشعة التي تسبب الطيف الأول (المستمر) بأشعة الكبح الإلكتروني، وتنتج عن فقدان الإلكترونات المسرعة لطاقتها عندما تكبح (تبطئ) عند اصطدامها بصفيحة الهدف، أما الأشعة التي تسبب الطيف الآخر المؤلف من الخطوط الحادة المنفصلة فتنتج عن الانتقالات الإلكترونية لملء الثقوب الداخلية في الذرات المهيجة في صفيحة الهدف.

خواصّ الأشعة السينية:

1. ذات طبيعة موجيه، فهي أمواج كهروطيسية أطوال موجاتها قصير جداً أقصر بكثير من أطوال الأمواج الضوئية، لذلك تكون طاقتها عالية جداً.
2. ذات قدرة عالية على النفاذ بسبب قصر طول موجتها.
3. لا يمكن أن تصدر أشعة X - إلا من ذرات العناصر الثقيلة نسبياً بعد تهيجها بطريقة مناسبة، أو من الإلكترونات المسرّعة بعد كبجها ضمن وسط مادي.
4. تشبه الضوء المرئي من حيث الانتشار المستقيم والانعكاس والتداخل والانعراج (الأشعة السينية لا تنكسر) وسرعة انتشارها تساوي سرعة انتشار الضوء في الخلاء.

5. لا تملك شحنة كهربائية، فلا تتأثر بالحقلين الكهربائي والمغناطيسي.
6. تسبب تألق المواد التي تسقط عليها: بسبب قدرتها على إثارة ذرات هذه المواد، وتؤثر في أفلام التصوير.
7. تؤثر في الأنسجة الحية: تتخرب الخلايا الحية إذا استمر تعرضها لهذه الأشعة، (تستطيع جرح أو قتل الخلايا الحية وأحيانا إحداث تغيرات عضوية فيها). لذا تستعمل الألبسة التي يدخل في تركيبها الرصاص للوقاية من الحروق التي تسببها هذه الأشعة.
8. تؤين الغازات: فوتونات الأشعة السينية ذات طاقة كبيرة تكفي لتأيين الغاز الذي تخترقه.

قابلية امتصاص ونفاذ الأشعة السينية:

تتوقف قابلية امتصاصها ونفاذها على:



- أ- **ثخن المادة:** تزداد نسبة الأشعة الممتصة وتقل نسبة النافذة منها كلما ازداد ثخن المادة.
- ب- **كثافة المادة:** تزداد نسبة الأشعة الممتصة بازدياد كثافة المادة، كالرصاص والذهب والعظام، وتقل نسبة النافذة منها بنقصان كثافة المادة، كالخشب والبلاستيك وجلد الإنسان، لذلك، يستخدم نوع منها في تشخيص الكسور عند تعرض الإنسان لحادث.
- ت- **طاقة الأشعة:** تتعلق نفوذية أشعة X بطاقتها المرتبطة بقيمة فرق الكمون المطبق على أنبوب توليدها.

طاقة وطول موجة أشعة X :

تعطى E_n طاقة ارتباط الإلكترون الموجود في الطبقة n في الذرة التي عددها الذري Z بوحدة الـ eV بالعلاقة التالية:

$$E_n = -\frac{13,6Z^2}{n^2} \dots\dots\dots(2)$$

ونشير هنا إلى أنه تم وضع إشارة سالبة في العلاقة 2 للدلالة على أنها طاقة تجاذب (طاقة ارتباط)، وتجدر الإشارة هنا أيضاً إلى أن الإلكترونات الداخلية، في الذرات التي تحوي أكثر من إلكترون، تتأثر بشدة بجاذبية النواة، لذلك لا تنطبق عليها العلاقة 2 بشكل جيد.

عندما ينتقل إلكترون من سوية أعلى إلى سوية أدنى فإنه يفقد طاقة وفي الحالة المعاكسة يمتص طاقة، ويعطى ΔE مقدار الطاقة التي يفقدها الإلكترون أو يمتصها بفرق طاقتيه بين السويتين اللتين ينتقل بينهما، أي عندما ينتقل الإلكترون من السوية n_1 إلى السوية n_2 فإن:

$$\Delta E = \left(\frac{-13,6Z^2}{n_2^2} \right) - \left(\frac{-13,6Z^2}{n_1^2} \right) \dots\dots\dots(3)$$

يمكن باستخدام العلاقتين 1 و 3 حساب طول الموجة الموافق للانتقالات الإلكترونية، مع ملاحظة أن الطاقة في

العلاقة 3 معطاة بوحدة الـ eV ويمكن تحويلها إلى واحدة الجول عن طريق الضرب بـ $1,602 \times 10^{-19}$.

إثراء

استخدامات أشعة -X

الاستخدامات الطبية:

يوجد الكثير من الاستخدامات الطبية لأشعة -X، والتي يمكن تبويب بعضها بما يلي:

- 1- في التصوير للكشف عن الكسور والتشوهات في العظام وكذلك عن الأورام أو الاختلالات في أعضاء الجسم المختلفة وكذلك في الكشف عن نخر الأسنان والتشوهات في جذورها.
- 2- في معالجة الأورام السرطانية، حيث يمكن لجرعات صغيرة من أشعة -X أن تقتل الخلايا السرطانية في حين يكون ضررها أقل بكثير على الخلايا السليمة، لأن الخلايا السرطانية تكون ضعيفة كونها تنتج عبر انقسامات سريعة وغير منتظمة لخلايا غير مكتملة.
- 3- يمكن بواسطة جهاز أشعة -X المزود بشاشة تلفزيونية مشاهدة الأعضاء الداخلية لجسم المريض أثناء أدائها لوظائفها كفيلم متحرك، حيث يعطى المريض عن طريق الفم، في البداية، مادة غير ضارة مثل محلول كبريتات الباريوم ثم يعرض جهازه الهضمي لأشعة -X فتمتص كبريتات الباريوم أشعة -X بكثافة مما يجعل صورة الأعضاء التي تحوي هذه المادة أقل تعتيماً ما يجاورها، الأمر الذي يُمكن من مراقبة فعاليتها وحركتها والتعرف إن كانت طبيعية أم مريضة.
- 4- تُستخدم أشعة -X في تعقيم بعض المعدات الطبية التي لا يمكن تعقيمها بالحرارة، مثل القفازات الجراحية اللدنة أو المطاطية، والمحقنات البلاستيكية وغيرها.

الاستخدامات الصناعية:

تُستخدم أشعة -X لاختبار جودة المواد المصنعة بما في ذلك العناصر الإلكترونية، حيث تظهر الشروخ والعيوب الداخلية في مثل هذه المنتجات وتُستخدم كذلك لاختبار جودة اللحامات المعدنية.

الاستخدامات الزراعية:

تُستخدم أشعة -X في مكافحة بعض الحشرات الوبائية عن طريق تعقيم الذكور (جعلهم غير قادرين على الإنجاب) بتعريضهم لجرعات معينة بطاقات (بأطوال موجية) مناسبة. وتُستخدم أشعة -X كذلك في تغيير الصفات الوراثية للمنتجات الزراعية بغية تحسين الجودة والكمية.

الاستخدامات العلمية والبحثية:

يمكن دراسة البلورات وتحديد أبعادها باستخدام أشعة -X، ويمكن كذلك تحليل تركيب وبنية المواد الكيماوية المعقدة مثل الأنزيمات والبروتينات باستخدام أشعة -X.

الاستخدامات الأخرى:

تُستخدم أشعة -X في الكشف عن المواد الممنوعة ضمن الأمتعة في المنافذ الحدودية. تجدر الإشارة إلى أنّ ما سبق كان بعض الأمثلة فقط على استخدامات أشعة -X في المجالات المختلفة... حيث توجد استخدامات أخرى كثيرة أيضاً لأشعة -X.

تعلمت

الأشعة السينية : أمواج كهروطيسية أطوال موجاتها قصيرة جداً.
خواص الأشعة السينية:

- 1- ذات قدرة عالية على النفاذ.
 - 2- تصدر عن ذرات العناصر الثقيلة.
 - 3- تشبه الضوء المرئي.
 - 4- تسبب التآلق لبعض الأجسام التي تسقط عليها.
- تتوقف قابلية امتصاصها على
- أ- ثخن المادة ب- كثافة المادة

أختبر نفسي

أولاً: أختَر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي:

1- في أنبوب الأشعة السينية يمكن تسريع الإلكترونات بين المهبط والمصعد:

- (a) بزيادة درجة حرارة سلك التسخين
- (b) بزيادة التوتر المطبق على دائرة تسخين السلك
- (c) بزيادة التوتر المطبق بين المصعد والمهبط
- (d) بانقاص التوتر المطبق بين المصعد والمهبط

2- يزداد امتصاص المادة للأشعة السينية:

- (a) بزيادة طاقة الأشعة السينية
- (b) بزيادة كثافة المادة
- (c) بنقصان كثافة المادة
- (d) بنقصان ثخانة المادة

3- الأشعة السينية أمواج كهربائية:

- (a) أطوال موجاتها قصير وطاقتها صغيرة
- (b) أطوال موجاتها قصير وطاقتها كبيرة
- (c) أطوال موجاتها كبير وطاقتها كبيرة
- (d) أطوال موجاتها كبير وطاقتها صغيرة

4- تصدر الأشعة السينية عن ذرات:

- (a) الهيدروجين
- (b) الكربون
- (c) الهليوم
- (d) العناصر الثقيلة

ثانياً: فسر: الأشعة السينية ذات قدرة عالية على النفاذ؟

ثالثاً: اكتب ثلاثاً من خواص الأشعة السينية

رابعاً حل المسألة:

يعمل أنبوب الأشعة السينية بتوتر $8 \times 10^4 V$ حيث يصدر عن المهبط إلكترون سرعته معدومة عملياً. المطلوب:

- 1- احسب الطاقة الحركية للإلكترون عند اصطدامه بمقابل المهبط (الهدف) .
- 2- احسب سرعة الإلكترون لحظة اصطدمه بالهدف.
- 3- احسب أقصر طول موجة للأشعة السينية الصادرة .

سرعة الضوء في الخلاء	كتلة الإلكترون	شحنة الإلكترون	ثابت بلانك
$c=3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$	$m_e=9.1 \times 10^{-31} \text{ Kg}$	$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$h=6.64 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

تفكير ناقد

أبحث أكثر

ابحث في مكتبة مدرستك وفي الشبكة عن الخدمات الطبية التي تقدمها الأشعة السينية وكيف تَمَكَّن العالم (فون لاو) من إحداث انعراج في الأشعة السينية.

أشعة الليزر

يُفترض من الطالب في نهاية الدرس أن :

1. يوازن بين الإصدار التلقائي والإصدار المحثوث
2. يتعرّف أشعة الليزر
3. يوضّح الأساس الذي يقوم عليه عمل الليزر
4. يتعرّف على بعض أنواع الليزر

دخلت أشعة الليزر في العديد من المنتجات التكنولوجية فباتت عنصراً أساسياً في تشغيل الأقراص المدمجة وصناعة الإلكترونيات وقياس أبعاد الأجسام الفضائية، وفي الاتصالات ومعدات قطع ولحام المعادن وفي آلات طب الأسنان والعيون. ما الليزر وما الذي يميزه عن المصادر الضوئية الأخرى.

الكلمات المفتاحية :

الإصدار المحثوث- الإصدار التلقائي - الليزر - الوسط الفعال

الليزر LASER

وهو اختصار للجملة باللغة الإنكليزية :

(Light Amplification by Stimulated Emission Of Radiation)

وتعني: تضخيم الضوء بالإصدار المحثوث للأشعة.

يستند عمل الليزر على ظاهرة الإصدار المحثوث.

الليزر: عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي (موجات كهرومغناطيسية تتكون من فوتونات عالية الطاقة متساوية في التواتر ومتفقة في الطور والاتجاه) يرسل كميات متساوية من الضوء من حيث التواتر والطور، تندمج مع بعضها البعض لتصبح على هيئة حزمة ضوئية تنسم بالطاقة العالية وذات تماسك شديد.

آلية عمل الليزر:

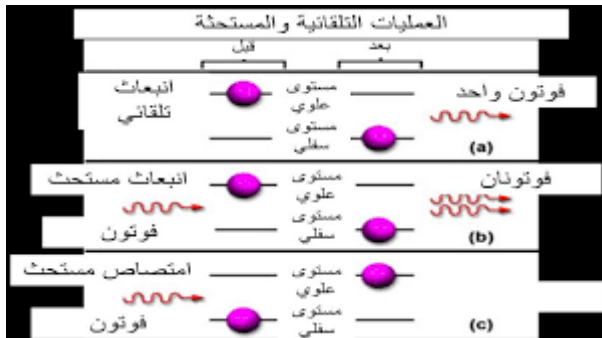
لدينا مادة ذات نظام ذري ذي مستويين للطاقة نتساءل:

ما شروط توليد الليزر؟

ما الانتقالات التي تحصل عند امتصاص أو إصدار الضوء؟

ما الانتقالات التي تعمل على توليد الليزر وتحت أية شروط؟

هل هذه الانتقالات ضرورية لانبعاث شعاع الليزر؟



أ- امتصاص الضوء: يحدث انتقال الذرة من مستوى طاقة أدنى

E_1 إلى مستوى طاقة مثار E_2 وذلك بامتصاص فوتون

طاقته تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين أي

$$\Delta E = E_2 - E_1 = hf$$

ب- الإصدار التلقائي: إذا كانت الذرة مثارة فهي تميل دائماً

إلى حالة الاستقرار فتعود تلقائياً بعد مدة زمنية قصيرة

إلى المستوى الأدنى وهذا يصاحبه إصدار فوتون طاقته

تساوي فرق الطاقة بين المستويين $\Delta E = E_2 - E_1 = hf$

يكون اتجاه الإصدار التلقائي عشوائياً، وتكون الفوتونات الصادرة غير مترابطة ، أي فرق الطور بين الأمواج الكهربائية الناتجة غير ثابت.

ت- الإصدار المحثوث: يحدث عند تعرّض الذرة المثارة لحزمة ضوئية يحقق تواترها العلاقة : $\Delta E = hf$ فرق الطاقة

بين السوية المثارة والسوية الأساسية، في هذه الحالة يؤدي مرور فوتون بجوار الذرة المثارة إلى تحفيز إلكترون الذرة المثار للعودة إلى السوية الأساسية ، فيصدر فوتون آخر يتمتع بالخواص الآتية:

1. طاقته تساوي طاقة الفوتون الوارد أي لهما التواتر ذاته.
2. جهة حركته تنطبق على جهة حركة الفوتون الوارد.
3. طوره يطابق طور الفوتون الوارد.

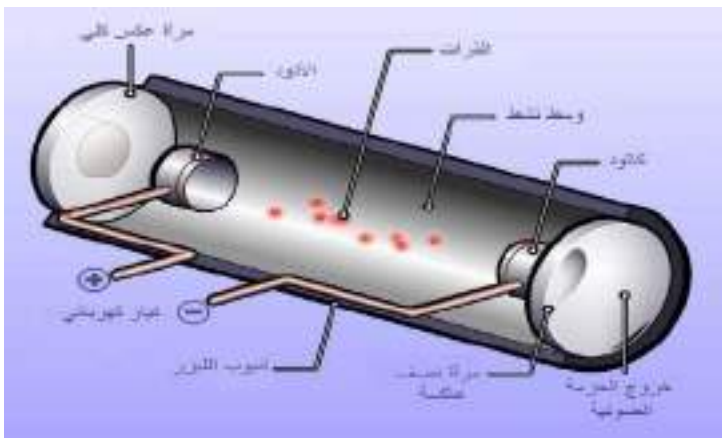
الفرق بين الإصدار المحثوث و الإصدار التلقائي:

الإصدار التلقائي	الإصدار المحثوث
<ol style="list-style-type: none"> 1) يحدث بوجود حزمة ضوئية واردة أو بعدم وجودها. 2) يحدث في جميع الاتجاهات. 3) طور الفوتون الصادر يمكن أن يأخذ أي قيمة. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. يحدث بوجود حزمة ضوئية يحقق تواترها العلاقة : $\Delta E = E_2 - E_1 = hf$ حيث (ΔE) هي فرق الطاقة بين السوية المثارة والسوية الأساسية. 2. جهة الفوتون الصادر هي نفس جهة الفوتون الوارد. 3. طور الفوتون الصادر يطابق طور الفوتون الوارد.

خواص حزمة الليزر:

1. وحيدة اللون، أي لها ذات التواتر.
2. مترابطة بالطور، فوتونات الإصدار المحثوث لها نفس طور الفوتون الذي حثّها.
3. انفراج حزمة الليزر صغير أي لا يتوسع مقطع الحزمة كثيراً عند الابتعاد عن منبع الليزر. لذلك تستخدم في دقة القياس، وتخطيط الشوارع ، وخطوط نقل النفط و الغاز والماء لمسافات بعيدة.

مكونات جهاز الليزر



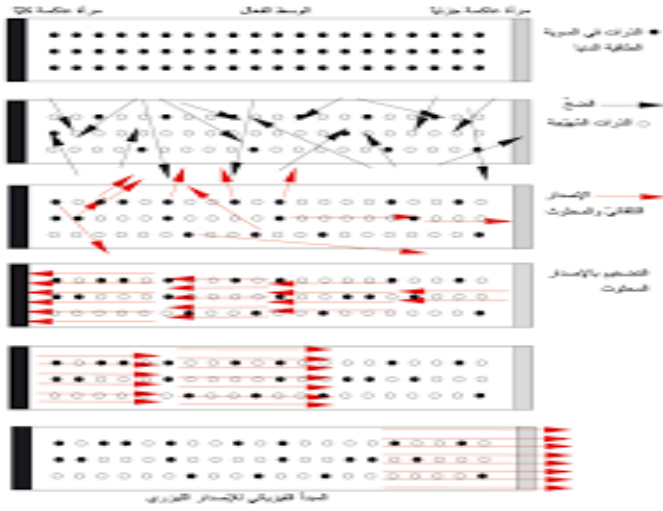
- 1- **الوسط الفعال:** يحوي عدداً كبيراً من الذرات، سوف نركز على حالة تكون للذرة فيها سوية أساسية وسوية مثارة فرق الطور بينهما ΔE تكون بعض هذه الذرات في السوية الأساسية وبعضها الآخر في السوية المثارة، بفرض عدد الذرات في السوية المثارة N^* وعدد الذرات في السوية غير المثارة N

إذا عبرت حزمة ضوئية تواترها f بحيث $\Delta E = hf$ فإن امتصاص الفوتونات يتناسب طردياً مع N وإن إصدار الفوتونات بالإصدار المحثوث يتناسب مع N^*

إذا كان $N^* < N$ ، فإن عدد الفوتونات الناتجة عن طريق الإصدار المحثوث سيكون أكبر من عدد الفوتونات التي تم امتصاصها، وهذا يؤدي إلى زيادة شدة الحزمة الضوئية بعد عبورها الوسط ، ونقول عن الوسط أنه وسط مضخم يصلح لتوليد الليزر.

إذا كان $N > N^*$ فإن عدد الفوتونات الناتجة عن طريق الإصدار المحثوث سيكون أصغر من عدد الفوتونات التي جرى امتصاصها، ومن ثم سوف تنقص شدة الحزمة بعد عبورها الوسط ولا يمكن للوسط أن يولد الليزر.

2- حجرة التضخيم (المرنان): تتكون من مرأتين توضع المادة الفعالة (الوسط المضخم) بينهما ، وتكون المرأتين



مستويتان أو أحدهما مستوية. يتم وضع الوسط المضخم بين المرأتين التي تسمح كل منهما للحزمة الضوئية بالانعكاس من جديد باتجاه الوسط المضخم، نجعل عاكسية إحدى المرأتين كاملة بينما تكون عاكسية الثانية غير كاملة مما يسمح بخروج جزء من الحزمة الضوئية إلى الوسط الخارجي، الذي يُشكل الليزر جزء منه. توليد أشعة الليزر يعتمد على إعادة تمرير الحزمة الضوئية في الوسط المضخم مرّات عديدة ووفق المنحنى نفسه، وكلما زاد عدد الحزم الضوئية المارة في الوسط يزداد عدد الإصدارات المحثوثة التي تتفق مع الحزمة بالاتجاه ومع الفوتونات بالتواتر والطور، مما يزيد من طاقة الحزمة أي يُضخمها.

3- جملة الضخ: الإصدار المحثوث يعيد الذرات إلى السوية الأساسية ، فلا بد من مؤثر خارجي (مصدر ضوئي

مناسب) على الوسط المضخم يقوم بتقديم طاقة للوسط المضخم ، الذي يعمل على إثارة الذرات للتعويض عن انتقال الذرات إلى الحالة الأساسية نتيجة الإصدار المحثوث. وهناك ثلاثة أنواع من طرق الضخ :
أ- الضخ الضوئي تستعمل مصابيح (وماضة) للحصول على ليزرات تعمل ضمن الطيف المرئي أو طيف تحت الحمراء القريب منه مثل الليزر اللياقوتي
ب- الضخ الكهربائي: عن طريق التفريغ الكهربائي للغاز داخل الانبوب وتستعمل هذه الطريقة في الليزرات الغازية وليزر شبه الناقل.
ت- الضخ الكيميائي: يكون التفاعل الكيميائي بين مكونات الوسط الفعال أساس توليد الطاقة لتوليد الليزر ولا تحتاج لمصدر طاقة خارجية.

بعض أنواع الليزر:

الليزرات الغازية: يكون الوسط المضخم غازياً. مثل ليزر (هليوم - نيون) يُستخدم في المخبر يتمتع بطول موجة $(\lambda = 0.638 \mu m)$. يستخدم هذا الليزر الانفراغ الكهربائي لإثارة الذرات.

الليزرات الصلبة:

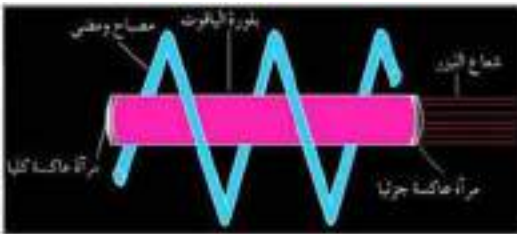
ليزر نصف الناقل: وفيه يكون الوسط المضخم من مادة نصف ناقلة، يستخدم في الاتصالات.

الليزر اللياقوتي: هو ليزر يكون فيه الوسط الفعال مادة اللياقوت

الليزرات السائلة:

يستخدم فيه كلوريد الألمنيوم المذاب في الكحول الإيثيلي كوسط فعال.

استخدامات الليزر:



في المجال الطبي: يستخدم في العمليات الجراحية، وخاصة طب العيون والجلد وإزالة الشعر والوشم. يستخدم في اظهار الصور ثلاثية الأبعاد: ويسمى (هولو غرام) يُستعمل في المجالات العلميّة و التجارية: كالتحليل الطيفي والأقراص المدمجة، ومؤشرات الليزر، وماسحات الباركود.



يُستخدم في الصناعة : في عمليات لحام وقص المعادن وثقبها. يُستخدم في البيئة: مراقبة تلوث الجو. يستخدم في المجالات العسكرية: في تحديد المدى توجيه الصواريخ. يستخدم في الاتصالات اللاسلكية بين المحطات الأرضية وسفن الفضاء.

تعلمت

الليزر: عبارة عن اشعاع كهربيسي يرسل كميات من الضوء متساوية من حيث التواتر والطور تظهر على هيئة حزمة ضوئية تتسم بالطاقة العالية ذات تماسك شديد.

الاصدار التلقائي: إذا كانت الذرة مثارة، لا تبقى طويلاً سرعاً ما ينتقل إلكترون من سوية طاقة مثارة إلى سوية طاقة أدنى ، فتصدر الذرة فوتون. نسمي هذا الإصدار بالإصدار التلقائي.

خواص أشعة الليزر:

1. وحيدة اللون ، أي لها التواتر ذات
2. مترابطة بالطور
3. انفراج حزمة الليزر صغير

أختبر نفسي

السؤال الأول: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي:

1- تتمتع حزمة الليزر بإحدى الخواص الآتية

- (a) مترابطة في الطور.
- (b) لها أطوار مختلفة .
- (c) انفراج حزمة الليزر يضيق عند الابتعاد عن منبع الليزر .
- (d) طول موجتها أكبر من طول موجة الضوء الوارد.

2- الاصدار التلقائي

- (a) لا يحدث إلا بوجود حزمة ضوئية واردة.
- (b) يحدث بوجود حزمة ضوئية واردة على الذرة المثارة أم لم يكن هناك حزمة.
- (c) يحدث باتجاه محدد.
- (d) فوتوناته تطابق فوتونات الأشعة الواردة على الذرة.

3- إذا عبرت حزمة ضوئية تتمتع بتواتر مناسب الوسط المضخم فإن امتصاص الفوتونات يتناسب طرماً مع

- (1) عدد الذرات في السوية غير المثارة
- (2) عدد الفوتونات
- (3) درجة الحرارة
- (4) عدد الذرات في السوية المثارة

4- إذا عبرت حزمة ضوئية تتمتع بتواتر مناسب الوسط المضخم فإن اصدار الفوتونات بالإصدار المحثوث يتناسب طرماً مع

- (1) عدد الذرات في السوية غير المثارة
- (2) عدد الفوتونات
- (3) درجة الحرارة
- (4) عدد الذرات في السوية المثارة

ثانياً: فسر

1- لا يمكن الحصول على وسط مضخم دون استخدام مؤثر خارجي؟

2- لا تتحلل حزمة الليزر عند امرارها عبر موشور زجاجي؟

ثالثاً: اكتب خواص حزمة الليزر.

ابحث أكثر:

ابحث في مكتبة مدرستك أو في الشبكة عن الليزر السائل، ومن اكتشفه وفي أي عام وماهي مادته الفعالة.

تفكير ناقد

تصمم في الوقت الراهن أنواع عديدة من أجهزة الليزر ويكتسب الليزر الناتج اسمه من المواد المستخدمة ابحاث في ذلك؟

أو

تفكير ناقد

تصمم في الوقت الراهن أنواع عديدة من أجهزة الليزر ويكتسب الليزر الناتج اسمه من المواد المستخدمة ابحاث في ذلك؟

ابحث أكثر

من الجير بالذكر أنّ أجهزة الليزر تعمل عمل محاولات للطاقة وليست مولات لا ابحاث في ذلك مستعينا بالشابكة.

مشروع طبيعة الأشعة الكونية

توجد أشعة صادرة من أعماق الفضاء الخارجي تسمى الأشعة الكونية الأولية.

هدف المشروع:

التعرّف على الأشعة الكونية الأولية والثانوية.

مراحل المشروع:

1 – التخطيط:

- ممّ تتكون الأشعة الكونية الأولية وما مصادرها؟
- ممّ تتكون الأشعة الكونية الثانوية ما مصادرها؟
- ماهي خواص الأشعة الكونية؟
- ماهي المادة المضادة في الأشعة الكونية؟

2 – التنفيذ:

توزع الطلاب إلى مجموعات وتحدد مهمة كل مجموعة:

- المجموعة الأولى: تبحث في الأشعة الكونية الأولية وما هي مصادرها
- المجموعة الثانية: تبحث في الأشعة الكونية الثانوية وكيف تشكلت
- المجموعة الثالثة : تبحث في خواص الأشعة الكونية
- المجموعة الرابعة : تبحث في المادة المضادة

3 – تبادل المعلومات:

تبادل المعلومات بين المجموعات للوصول إلى نتائج البحث ثم تسليم نسخة ورقية أو نسخة إلكترونية لمكتبة المدرسة.

4 – التقويم:

مناقشة النتائج وإعداد تقرير كامل خلال مدة عشرة أيام.

الفيزياء الفلكية

Physical Cosmology

الأهداف التعليمية

1. يتعرّف المجموعة الشمسية.
2. يستدل على مصدر الطاقة الرئيسي في النجوم.
3. يشرح آلية تحوّل الهيدروجين إلى الهيليوم.
4. يبين استخدام فعل دوبلر في الضوء لمعرفة حركة النجوم والمجرات.
5. يتعرّف انزياح الطيف الذريّة للنجوم.
6. يشرح أنواع النجوم المفردة والثنائية.
7. يتعرّف قانون هابل.
8. يحسب أبعاد النجوم بالاعتماد على الانزياح الطيفي لها.
9. يتعرّف توسع الكون ونظرية الانفجار الأعظم.
10. يتعرف سرعة الإفلات.
11. يتعرّف الثقوب السوداء وأفق الحدث.
12. يتعرف رصد الثقوب السوداء.

الكلمات المفتاحية

جرم سماوي ،الكوكب
،النجم،المجرة ،طيف النجوم،
الانزياح الموجي ،تمدد الكون
،سرعة الافلات، نصف قطر
شفارتزشيلد



شغلت السماء تفكير الإنسان منذ القدم وحاول دراستها من خلال مواقع الأجرام المنيرة فيها وربطها بأشكال تخيلية ترافقت في كثير من الأحيان مع الأساطير، لكن الصورة أصبحت أكثر وضوحاً في القرن العشرين بعد ظهور النظريات الحديثة كالنسبية العامة مثلاً وبعد أن أمكن رصد الكون من خارج الغلاف الجوي من خلال تلسكوبات ضخمة تدور حول الأرض في مدارات كما الأقمار الصناعية كتلسكوب هابل.

ما الذي نراه في السماء ؟



- أنظر إلى السماء في ليلة غير غائمة وفي مكان لا يوجد فيه تلوث ضوئي، أصف ما أرى ، هل للأجرام المنيرة شدة الإضاءة نفسها ؟
- أكرّر مراقبة السماء في أكثر من يوم، هل تبقى جميع الأجرام في الموقع نفسه؟ وهل يبقى توزعها نفسه؟

إنّ بعض ما أراه كنقاط مضيئة هي كواكب في مجموعتنا الشمسية وبعضها نجوم وبعضها مجرات، وغير ذلك، كيف أميّز بينها ؟

النتائج

- إشعاع الكواكب يبدو أكثر ثباتاً من إشعاع النجوم.
- مواقع الكواكب متغيرة أما النجوم فتبقى في تشكيلات تبدو ثابتة.
- تتحرك الكواكب في مجال معين بالنسبة لمراقب على الأرض أما النجوم فهي تنتشر على امتداد القبة السماوية.
- باستخدام التلسكوب تبدو الكواكب أكثر وضوحاً أما النجوم فتبقى نقاطاً مضيئة، وباستخدام التلسكوبات الدقيقة يمكن التمييز بين النجوم والمجرات.

المجموعة الشمسيّة Sun Group



أعلم أنّ كواكب المجموعة الشمسية ثمانية، أربعة منها غازيّة والباقي صخريّة، أحدّد أيّها الغازية، هل هي الكواكب الأقرب أم الأبعد عن الشمس؟.

ما هو مصدر الطاقة الذي تعطيه الشمس؟

أفكر:

أعلم أنّ الشمس كما النجوم الأخرى تحوي بشكل رئيسي الهيدروجين والهيليوم ، ومع مرور الزمن تزداد كمية الهيليوم وتقل كمية الهيدروجين ، وأعلم أنّ كتلة الشمس تقل مع مرور الزمن ، كيف أربط بين ذلك؟

أستنتج :

في النجوم يندمج الهيدروجين ليعطي الهيليوم ويتحول النقص في الكتلة نتيجة ذلك إلى طاقة وفق علاقة أينشتاين في النسبية الخاصة $\Delta E = \Delta mc^2$

تطبيق

يتلقّى كلّ $1m^2$ من سطح الأرض وسطياً $6.3 \times 10^4 J$ في كل ثانية عند التعرّض لأشعة الشمس، بإعتبار أنّ 47% من أشعة الشمس تصل إلى سطح الأرض والباقي يمتصه الغلاف الجوي أو يرتد عنه إلى الفضاء، فاحسب النقص في كتلة الشمس في كلّ ثانية إذا علمت أنّ بُعدها عن الأرض 150 مليون كيلومتر (يُهمل بُعد الغلاف الجوي عن سطح الأرض)

الحل :

الطاقة المقدمة لكل $1m^2$ من الأرض :

$$E_1 = 6.3 \times 10^4 \times \frac{100}{47}$$

$$E_1 = 13.4 \times 10^4 J$$

فتكون الطاقة الكلية الصادرة عن الشمس خلال ثانية هي الطاقة المقدمة لسطح كرة مركزها الشمس ونصف قطرها 150 مليون كيلومتر

$$\Delta E = 4\pi r^2 \cdot E_1 = 4\pi(150 \times 10^6 \times 10^3)^2 \cdot (6.3 \times 10^4)$$

$$\Delta E \approx 38 \times 10^{27} \text{ J}$$

هذه الطاقة ناتجة عن النقص في كتلة الشمس وفق علاقة أينشتاين

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

$$\Delta m = \frac{38 \times 10^{27}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$\Delta m = 4.22 \times 10^{11} \text{ kg}$$

وهو مقدار النقص في كتلة الشمس في كل ثانية واحدة.

تحول الهيدروجين إلى هيليوم في النجوم (الشمس مثلاً):

يفسر العلماء توليد النجوم للطاقة من خلال العودة إلى كيفية نشأتها وفق نظرية السديم (Nebula Theory) التي تنص على أنه يبدأ التفاعل النووي داخل النجم عندما تنهار سحابة مكونة من الغاز والجسيمات (وهي السديم) تحت تأثير الضغط الناتج عن جاذبيتها فيولد هذا الانهيار كرة كبيرة من الضوء ويبدأ الاندماج بين الذرات تحت تأثير الضغط والحرارة المرتفعين، فيندمج الهيدروجين الذي يشكل النسبة الأكبر من النجم ليتحول إلى هيليوم وتصدر الطاقة نتيجة النقص في الكتلة وفق علاقة أينشتاين.

إضاءة:

تنظم الجمعية الفلكية السورية نشاطات متنوعة لهواة الفلك وكل من يرغب، من هذه النشاطات ليالي الرصد



الإشعاع النجمي

Stellar radiation

أفكر



هل للنجوم اللون نفسه؟

باعتبار الضوء موجة كهرومغناطيسية ،
كيف يختلف لون الضوء؟

هل يتعلق ذلك بتركيب النجم؟

أتذكر قوانين كبلر وكيفية استخدامها
في حساب كتلة النجوم.

أستنتج

يمكن تحديد كتلة النجم وعمره
وتركيبه الكيميائي وعدة خصائص
أخرى بملاحظة ودراسة طيفه وشدة إضاءته وحركته.

الانزياح نحو الأحمر Red Shift

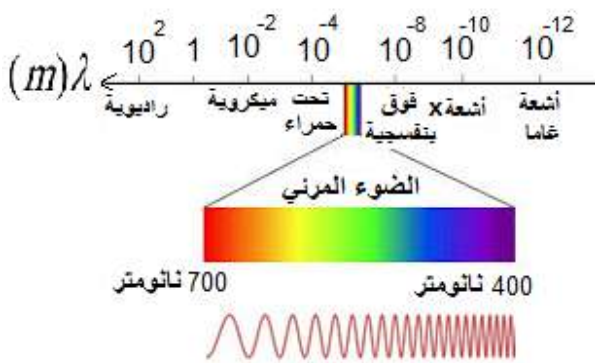
خلال رصده للمجرات البعيدة أدهش العالم "هابل" عندما لاحظ انزياح طيف المجرات نحو الأحمر كلما كانت أبعد.

ماذا يعني ذلك؟ هل لهذا علاقة بحركة المجرات؟

أعلم أنّ الضوء هو الطيف المرئي من الأمواج الكهرومغناطيسية،
تتدرج ألوانه من البنفسجي إلى الأحمر (ألوان قوس قزح)،
وكلما زاد الطول الموجي اقترب اللون من الأحمر.

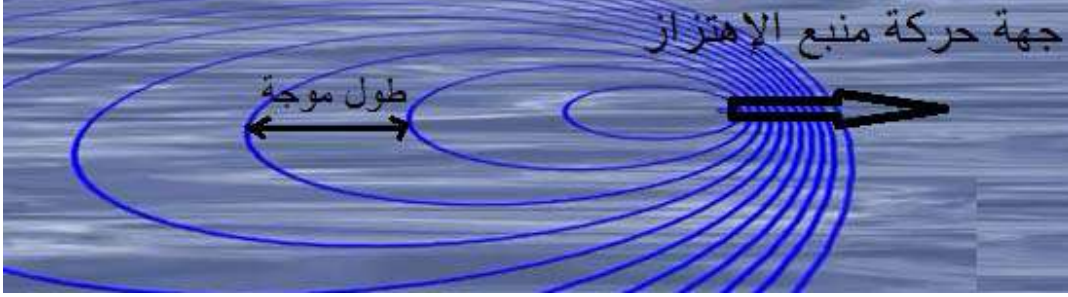
ماذا يعني إذاً انزياح طيف المجرات نحو الأحمر؟ هل تتحرك
مبتعدة عنّا أم مقتربة منّا؟

إنّ تأثير دوبلر يوضّح لنا ذلك.



تأثير دوبلر Doppler effect

ألاحظ اختلاف صوت بوق السيارة عندما تمر بجانبني وتتابع مبتعدة عني، ما السبب؟
أعلم أنّ الصوت موجة ،فماذا يحدث عندما يبتعد المنبع المولد للموجة (منبع الاهتزاز) عن المراقب؟



عندما يكون المنبع ساكناً بالنسبة للمراقب تشغل الموجة مسافة λ :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

باعتبار f تواتر الاهتزاز v سرعة الموجة λ طول الموجة
عندما يتحرك المنبع مبتعداً عن المراقب بسرعة v' ، تشغل الموجة مسافة λ' :

$$\lambda' = \frac{v + v'}{f}$$

$$\lambda' = \frac{v + v'}{\frac{v}{\lambda}}$$

$$\lambda' = \left(1 + \frac{v'}{v}\right) \lambda$$

هذا يعني أنّ λ' أكبر من λ

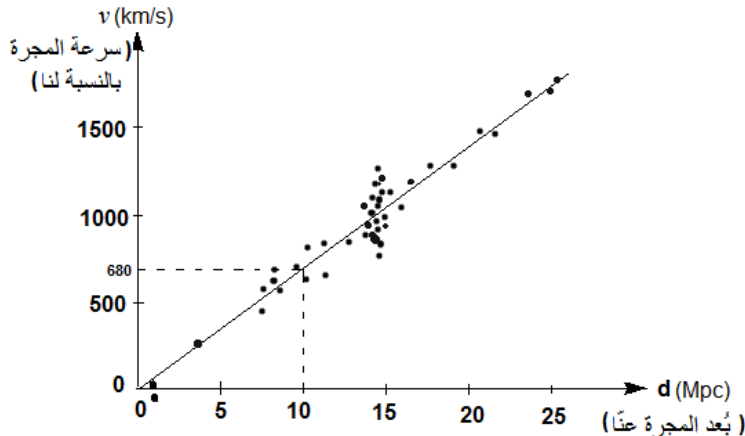
ما الذي يحدث عندما يزداد طول موجة الضوء؟

أستنتج

عندما يبتعد منبع موجي عن مراقب فإنّ الطول الموجي يزداد، وبما أنّ الضوء ذو الطول الموجي الأكبر هو الأحمر، فعندما يبتعد المنبع الضوئي عن المراقب ينزاح الطيف نحو الأحمر.

ثابت هابل Hubble constant

نشاط:



أعتمدُ على التمثيل البياني المجاور وأجيب:
يعبر التمثيل البياني عن سرعة المجرات
بدلالة بعدها عنّا وفق دراسة العالم هابل ،

أيها أكبر ، سرعة ابتعاد المجرات القريبة منا أم البعيدة عنا ؟

هل يعني ذلك أن هابل وجد انزياحاً نحو الأحمر أم انزياحاً نحو الأزرق في طيف المجرات الأكثر بعداً؟

هل يمكن اعتبار أن سرعة المجرات تتغير بشكل متناسب مع بعدها تقريباً؟

أرمز لثابت التناسب (الميل) التقريبي بـ H_0 ، وأوجد العلاقة بين d ، H_0 ، v .

النتيجة

لاحظ هابل انزياح طيف المجرات الأكثر بعداً عنا نحو الأحمر أي ازدياد في الطول الموجي ، وهذا يعني وفق دوبلر زيادة في سرعة الابتعاد عنا، وبدراسة زيادة سرعة المجرات بدلالة بعدها عنا توصل هابل إلى أنه كلما كانت المجرة أبعد كلما كانت سرعة ابتعادها أكبر وفق العلاقة:

$$v = H_0 d$$

حيث v سرعة المجرة بالنسبة لنا ، H ثابت هابل ، d بعد المجرة عنا .

تطبيق

- 1) أحسب ثابت هابل بدلالة الواحدات المستخدمة في التمثيل البياني السابق. ثم بدلالة الواحدات الدولية علماً أن pc (parsec) هو الفرسخ الفلكي ويساوي 3.26 سنة ضوئية.
- 2) أحسب بعد مجرة رُصد خط طيف الهيدروجين فيها فكانت نسبة انزياح طول الموجة إلى الطول الأصلي 1/30.
- 3) كم سنة يستغرق الضوء للوصول إلينا من تلك المجرة؟.

الحل:

- 1) آخذ البعد بين الصفر و 10Mpc مثلاً فأجد أنّ السرعة المقابلة هي بين الصفر و 680km/s

$$H_0 = \frac{v}{d}$$

$$H_0 = \frac{680}{10} = 68 \text{ km.s}^{-1} / \text{Mpc}$$

وبالواحدات الدولية :

لنحسب أولاً السنة الضوئية وهي المسافة التي يقطعها الضوء في الخلاء خلال سنة

$$\text{Light year} = 3 \times 10^8 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365.25 = 9.46728 \times 10^{15} \text{ m}$$

$$\text{pc} = 3.26 \times 9.46728 \times 10^{15} \approx 3 \times 10^{16} \text{ m}$$

$$H_0 = \frac{68 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}}{10^6 (3 \times 10^{16}) \text{ m}} = \frac{68}{3} \times 10^{-19} \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda' = (1 + \frac{v'}{c}) \lambda \quad (2)$$

$$\lambda' = \lambda + \frac{v'}{c} \lambda$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{v'}{c} \lambda$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{v'}{c}$$

$$\frac{1}{30} = \frac{v'}{3 \times 10^8}$$

$$v' = 10^7 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v' = H_0 d \quad \text{ومن قانون هابل}$$

$$10^7 = \frac{68}{3} \times 10^{-19} d$$

$$d = \frac{3}{68} \times 10^{26} \text{ m}$$

$$c = \frac{d}{t} \quad (3)$$

$$3 \times 10^8 = \frac{\frac{3}{68} \times 10^{26}}{t}$$

$$t = \frac{1}{68} \times 10^{18} \text{ s}$$

فيكون هذا الزمن مقاساً بالسنوات :

$$t = \frac{\frac{1}{68} \times 10^{18}}{60 \times 60 \times 24 \times 365.25} = 0.466 \times 10^9 \text{ years}$$

أي أن تلك المجرة تبعد عنّا 0.466×10^9 light years

وهذا يعني أيضاً أن مائراه في تلك المجرة اليوم قد حدث منذ 0.466 مليار سنة .

أنواع النجوم:

يحوي نظامنا الشمسي نجماً واحداً مفرداً هو الشمس، فهل جميع النجوم في الكون مفردة؟ إنّ التلسكوبات أظهرت لنا أنّ الكثير من النجوم ثنائية Binary stars تدور حول بعضها البعض.



بعض النجوم الثنائية قد ترى بالعين المجردة كالنجم الذي يشكّل الانحناء في مقبض الدب الأكبر إنّّه في الواقع نجمان، أحدهما يدعى الإزار (Mizar)، والأخف لمعاناً يدعى السها (Alcor) وهما قريبان على بعضهما جداً بحيث تحتاج لبصر حاد جداً للتفريق بينهما (كان يستخدم ذلك في الماضي لفحص قوة النظر)

نظرية الانفجار الأعظم Big Bang theory

أفكر

تدلّ ظاهرة الانزياح نحو الأحمر لطيف المجرات أنّ كلّ المجرات تبتعد عن بعضها فالفضاء الكوني يتمدد كبالون يُنفخ.

لو تخيلت المشهد بتراجع زمني ، كيف كان الكون في الماضي السحيق؟

هل لهذا الكون بداية (لحظة ولادة)؟

أستنتج

إنّ من أكثر النظريات قبولاً حول نشأة الكون هي نظرية الانفجار الأعظم Big Bang التي تقول أنّ الكون نشأ قبل حوالي 13.8 مليار سنة. في تلك اللحظة كان الكون عبارة عن نقطة منفردة صغيرة جداً ذات كثافة عالية جداً من المادة و الحرارة التي تفوق الخيال. ثمّ حدث الانفجار العظيم. وبدأت المادة تأخذ أشكالها، فتشكلت في البداية الجسيمات الأولية ثمّ الذرات والجزيئات والغبار الكوني فالنجوم والمجرات واستمرّ توسع الكون إلى يومنا هذا.

الأسس الفيزيائية لنظرية الانفجار الأعظم :

- الانزياح نحو الأحمر لطيف المجرات .
- وجود تشويش ضعيف لموجات راديوية قادمة بشكل منتظم تماماً من جميع اتجاهات الكون، وبالشدة نفسها المتوقعة في وقتنا الحاضر لإشعاع الانفجار الأعظم.
- وجود كميات هائلة من الهيدروجين والهيليوم في النجوم ، فمثلاً تبين أن كمية الهيليوم التي تحويها شمسنا أكبر بثلاثة أضعاف من الكمية التي يمكن أن تتولد نتيجة اندماج الهيدروجين في قلب الشمس، وهذا يستدعي وجود مصدر هائل آخر درجة حرارته أعلى بكثير من درجة حرارة الشمس، إنها الدقائق الأولى من بدء الانفجار الأعظم.

تطبيق

احسب عمر الكون التقريبي اعتماداً على قانون هابل ، باعتبار ثابت هابل تقريباً: $H_0 = \frac{68}{3} \times 10^{-19} s^{-1}$

الحل :

d هي بُعد مجرة ما عنا وهي أيضاً المسافة التي قطعتها المجرة منذ حدوث الانفجار الأعظم حيث كانت مجرتنا وجميع المجرات متكثفة في النقطة نفسها، نسمي الزمن الذي مضى على حدوث الانفجار الأعظم t عمر الكون

$$v = \frac{d}{t}$$

$$v = H_0 d \quad \text{لكن}$$

$$\frac{d}{t} = H_0 d$$

$$t = \frac{1}{H_0} = \frac{1}{\frac{68}{3} \times 10^{-19}} = \frac{3}{68} \times 10^{19} s$$

فيكون عمر الكون التقريبي بالسنوات :

$$t = \frac{\frac{3}{68} \times 10^{19}}{60 \times 60 \times 24 \times 365.25} \approx 14 \times 10^9 \text{ years}$$

توزع المجرات في الكون:

المجرة Galaxy هي نظام كوني مكوّن من تجمع هائل من النجوم و الغبار والغازات .. التي ترتبط معاً بقوى تجاذب متبادلة، وتدور حول مركز مشترك.

يقدر العلماء أنّ هناك حوالي 10^{10} إلى 10^{12} مجرة تقريباً في الكون المنظور، إنّ أبعد مجرّات تم تصويرها تبعد حوالي 10 إلى 13 مليار سنة ضوئية، تتراوح في أحجامها بين المجرات القزمة، التي لا يتعدى عدد نجومها 10^7 نجم وتكون مساحتها حوالي بضعة آلاف سنة ضوئية، إلى المجرات العملاقة التي تحتوي على أكثر من 10^{12} نجمة وحجمها يصل إلى نصف مليون سنة ضوئية.

مجرتنا:

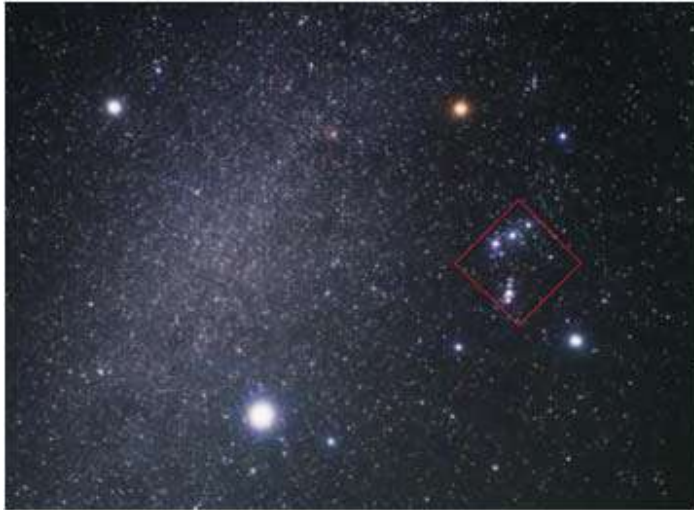
تسمّى مجرتنا درب التبانة ، يوجد فيها أكثر من 2×10^{11} نجم، ويقدر العلماء قطرها بحوالي 100 ألف سنة ضوئية، وتحوي الكثير من التجمعات النجمية، بما فيها المجموعة الشمسية، والتي ينتمي إليها كوكبنا كوكب الأرض.



إثراء

تكريماً للعالم هابل سَمِّي باسمه التلسكوب الفضائي العملاق الذي يدور خارج الغلاف الجوي، والذي أعطى صوراً مذهلة للكون، وساهم في إثبات نظرية هابل نفسه.

من الصور المذهلة التي أعطاها تلسكوب هابل صورة سديم رأس الحصان الذي يظهر بالتلسكوب في مجموعة نطاق الجبار، تلك النجوم الثلاث التي تظهر لك بالعين المجردة على استقامة واحدة.



الثقوب السوداء

Black Holes

أفكر

أعلم أنه بزيادة كتلة الجسم تزداد قوة جذبها، كما تزداد أيضاً بنقصان البعد عن الجسم.

ما هو قانون نيوتن العالمي الذي يصف ذلك؟

كيف يمكن أن تكون قوة الجذب تلك لا نهائية؟

ماهي سرعة الإفلات من تلك الجاذبية وفق قوانين نيوتن؟

أتذكر

قوة التجاذب الكتلي بين جسمين تتناسب طردياً مع كتلتيهما وعكساً مع مربع البعد بينهما ، فتصبح القوة لانهائية عندما يتناهى البعد بين الكتلتين إلى الصفر (وفق قوانين نيوتن)

أفترض أنني على سطح الأرض وأريد إلقاء جسم للأعلى حتى يفلت من جذب الأرض وينطلق في الفضاء، فيجب اعطائه طاقة حركية أكبر من طاقة الجذب الكامنة له :

$$E_k = E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = F_c r$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = G \frac{mM}{r^2} r$$

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

حيث : v : سرعة الإفلات من الأرض (السرعة الكونية الثانية)

G : ثابت التجاذب العالمي ويساوي

M : كتلة الأرض (الجسم الجاذب)

r : نصف قطر الأرض

* السرعة الكونية الأولى هي السرعة المدارية التي تجعل الجسم يدور ضمن مدار حول الجسم الجاذب

تطبيق:

احسب السرعة الكونية الثانية للأرض علماً أن نصف قطر الأرض يعتبر $6400km$ وأن تسارع الجاذبية الأرضية على سطح الأرض يعتبر $g = 10m.s^{-2}$

الحل : أعلم أن قوة جذب الأرض للجسم تعتبر ثقله

$$\begin{aligned}F_c &= w \\ G \frac{m.M}{r^2} &= m.g \\ g &= G \frac{M}{r^2} \\ r.g &= G \frac{M}{r}\end{aligned}$$

فتكون سرعة الإفلات (السرعة الكونية الثانية) :

$$\begin{aligned}v &= \sqrt{\frac{2GM}{r}} \\ v &= \sqrt{2gr} \\ v &= \sqrt{2 \times 10 \times 6400 \times 1000} \\ v &= 8\sqrt{2} \times 10^6 m.s^{-1}\end{aligned}$$

أسئلة

ماذا لو صغر نصف قطر الأرض (الجسم الجاذب)؟

ماذا سيحدث لسرعة الجسم المذبذب ليتحرك من الإفلات؟

لكن هناك حدود لسرعة الجسم، ماهي؟

ما هو نصف قطر الجسم الجاذب عندئذ؟

أستنتج

كلما نقص نصف قطر الجسم الجاذب وزادت كثافته، تزداد سرعة الإفلات اللازمة للتحرر من سطحه.

وبما أنه لا يمكن لأي جسم أن تتجاوز سرعته سرعة الضوء في الفضاء،

فيكون أن يكون نصف قطر الجسم الجاذب يعطى بالعلاقة :

$$c = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

$$r = \frac{2GM}{c^2}$$

كي لا يمكن لأي جسم الإفلات منه، حتى الضوء ، فيسمى الثقب الأسود

ويسمى نصف القطر الذي يحقق العلاقة السابقة : نصف قطر شفارتزشيلد



وتسمى الحدود التي لا يمكن بعدها الإفلات من الجاذبية : أفق الحدث

الثقب الأسود : حيّز كثافته هائلة بحيث لا يمكن لشيء الإفلات من جاذبيته حتى الضوء . وله قوة جاذبية جبارة يستحيل على أي شيء الإفلات من جاذبيته بما في ذلك أشعة الضوء . لذا تبدو هذه المنطقة غير مرئية في الفضاء. وهو يعتبر من النجوم التي أفلت.

أفكر

كيف يمكن للثقب الأسود أن يجذب الضوء ؟ هل للضوء كتلة ؟

أتذكر

تكافؤ الطاقة – كتلة في النسبية الخاصة ، ليس للضوء كتلة سكونية لكن له طاقة تكافئ كتلة تعطى بالعلاقة

$$E = mc^2$$

رصد الثقوب السوداء:

كيف يمكن رصد الثقوب السوداء رغم أنه لا يمكن رؤيتها فهي تبتلع الضوء؟

1) سلوك الأجسام المجاورة للثقوب السوداء : إذا توقّعت وجود شخص في غرفة مظلمة تماماً ولا تمتلك أي أداة للرؤيا الليلية فكيف يمكن أن تتأكد من وجوده وتحدد مكانه؟ إنّ سلوك الأشياء المحيطة يمكن أن تدلّك كحركة الباب وصوته أو حركة الستائر أو أي حركة غير اعتيادية في الغرفة

هذا ما اعتمده العلماء في رصد الثقوب السوداء من خلال دراسة الحركات غير المتوقعة للنجوم أو الغبار أو الغازات المحيطة بالأماكن غير المرئية.

2) الانبعاث الإشعاعي : تدور النجوم المجاورة والأجسام الأخرى حول الثقب الأسود وترتفع درجة حرارة هذه الأجسام لملايين الدرجات المئوية وتستمر الزيادة في درجة الحرارة وتزداد سرعة دورانها وتنبعث منها أشعة سينية، فيمكن رصد هذه الأشعة بواسطة مرصد الأشعة السينية.

3) تأثير عدسة الجاذبية : وفق النظرية النسبية العامة تُحدث الجاذبية انحناء في الفضاء، فضوء النجوم أو المجرات الذي يمر بجوار ثقب أسود ينحني فتبدو تلك النجوم أو المجرات في غير أماكنها بالنسبة للتلسكوبات الأرضية، تعرف هذه الظاهرة باسم عدسة الجاذبية gravitational lensing .

تعلمت:

- مصدر الطاقة الذي تعطيه النجوم ناتج عن تفاعلات اندماجية تعطي طاقة وفق علاقة اينشتان $\Delta E = \Delta mc^2$

- يمكن تحديد عدّة خصائص للنجوم من خلال دراسة طيفها.

- يزداد الطول الموجي بابتعاد المنبع الموجي عن المراقب $\lambda' = (1 + \frac{v'}{v})\lambda$.

- تبتعد المجرات عن بعضها، وكلّما كانت المجرة أبعد كلما كانت سرعة ابتعادها أكبر $v = H_0 d$

- وفق نظرية الانفجار الأعظم، نشأ الكون من نقطة ذات كثافة عالية إلى أبعد الحدود.

- الثقب الأسود هو حيّز ذو كثافة هائلة لا يمكن لشيء الهروب من جاذبيته عند أفق الحدث الخاص به حتّى الضوء

ويعطى نصف قطره بالعلاقة : $r = \frac{2GM}{c^2}$

ابحث أكثر:

ما هو مصير الثقوب السوداء؟

تحدّث العالم ستيفن هوكينغ عن تبخّر الثقب الأسود بفعل اشعاع هوكينغ، ابحث في ذلك.

تفكير ناقد:

إذا راقبت القبة السماوية في ليلة واحدة لعدّة ساعات أجد أنّ جميع الأجرام المنيرة قد غيرت مكانها وتحركت في مسار دائري، إلّا نجم القطب يبدو ثابتاً، ما تفسير ذلك؟



مشروع:

دراسة المسارات الظاهرية لبعض الكواكب والتشكيلات النجمية

أهداف المشروع:

التعرّف على بعض الكواكب والتشكيلات النجمية في القبة السماوية ودراسة مساراتها الظاهرية.



مراحل المشروع:

التخطيط :

- البحث عن كيفية الاستدلال على بعض الأجرام المنيرة في القبة السماوية.

- زيارة أحد فروع الجمعية الفلكية السورية والتعرف بمساعدة المختصين على بعض الكواكب المريخ والزهرة، وعلى بعض التشكيلات النجمية كالثريا والدب الأكبر ونطاق الجبار، وذلك من خلال التلسكوب والعين المجردة

التنفيذ:

- تقسيم الطلاب إلى خمس مجموعات تراقب كل منها أحد الكواكب أو التشكيلات النجمية.
- ترسم كل مجموعة خريطة للسماء تحدد فيها الكوكب أو التشكيل المدروس بعد اعتماد نقاط أرضية ثابتة مشتركة.
- نكرر الإجراء السابق مرّة كل أسبوع في التوقيت نفسه، لمدة شهر.
- نقارن بين الخرائط المرسومة من قبل كل مجموعة ونكتب توصيفاً لمسار الكوكب أو التشكيل المدروس.
- نضع الخرائط المرسومة مع النتائج في لوحة حائط خاصة

التقويم:

نناقش النتائج مع المدرّس المشرف

التدريبات

أولاً: اختر الاجابة الصحيحة:

1) خلال فترة حياة نجم تتغيّر نسبة الهيدروجين فيه، فعند ولادته كانت 70% وانتهت حياته بحدث فلكي يعرف بالمستعر الأعظم (Supernova) حيث كانت نسبة الهيدروجين فيه :

- (a) 70% (b) أكثر من 70% (c) أقل من 70% (d) قد تكون أكثر أو أقل من 70%



2) في عام 2015 نجحت الجمعية الفلكية السورية في إطلاق اسم تدمر (Palmyra) على الكوكب الذي يدور حول نجم الراعي. إذا علمت أنّ كوكب تدمر يبتعد عن نجم الراعي مسافة تعادل تقريباً 2 وحدة فلكية أي ضعف المسافة بين الأرض والشمس وأنّ السرعة الخطيّة المداريّة لكوكب تدمر ثلثي السرعة الخطيّة المدارية للأرض فإن السنة على كوكب تدمر تساوي :

- (a) 4 سنة أرضيّة. (b) 2 سنة أرضيّة. (c) 3 سنة أرضيّة. (d) سنة أرضية واحدة.

3) إذا علمت أنّ مجرّة المرأة المتسلسلة (Andromeda) الأقرب إلى مجرتنا درب التبانة تقترب من مجرتنا مخالفةً بذلك أغلب المجرات الأخرى، فإنّ الطيف الآتي من مجرّة المرأة المتسلسلة هو بالنسبة لنا:

- (a) ينزاح نحو الأحمر. (b) ينزاح نحو الأزرق. (c) لا يتغيّر. (d) يزداد طول موجته.

4) إنّ ثابت هابل هو :

- (a) معدل تغيّر سرعة تمدد الكون مع الزمن. (b) معدل تغيّر سرعة تمدد الكون مع المسافة. (c) معدل تغيّر المسافة بين المجرات مع الزمن. (d) معدل تغيّر تسارع تمدد الكون مع المسافة.

(5) تبتعد مجرة a عنّا عشرة أمثال بعد مجرة b، فإنّ نسبة سرعة المجرة b إلى سرعة المجرة a :

(a) 10 (b) 1 (c) 0.1 (d) 0.01

(6) الثقوب السوداء هي بالضرورة :

(a) ذات كتلة هائلة. (b) ذات كثافة هائلة. (c) ذات حجم هائل. (d) ذات نصف قطر هائل.

ثانياً: أجب عن الأسئلة التالية:

(1) يمكن أن تُرسل رحلات علمية غير مأهولة لتخط على سطح أحد أقمار المشتري، لكن لا يمكن لها أن تخط على المشتري نفسه، لماذا برأيك؟

(2) عندما يكون المنبع الموجي ساكناً بالنسبة للمراقب فإنّ $\lambda = \frac{v}{f}$ وعندما يقترب المنبع الموجي من المراقب بسرعة v' تشغل الموجة المسافة λ' ، أوجد العلاقة بين λ' و λ ، لماذا تسمى هذه الظاهرة في الطيف المرئي: الإنزياح نحو الأزرق؟.

(3) اذا علمت أنّ السرعة الكونية الأولى هي السرعة المدارية (مماسية للمسار الدائري حول الأرض) التي تجعل قوة العطالة النابذة للجسم تساوي قوة جذب الأرض له، وأنّ السرعة الكونية الثانية هي السرعة التي تجعل الطاقة الحركية للجسم المبتعد عن الأرض تساوي طاقة الجذب الكامنة، فاستنتج العلاقة بين السرعة الكونية الثانية والسرعة الكونية الأولى.

ثالثاً: حل المسائل التالية:

المسألة الأولى:

افترض أن الأرض انكمشت حتى أصبحت ثقباً أسوداً ، كم يجب أن يكون نصف قطرها ؟

علماً أن نصف قطر الأرض الحالي يعتبر $6400Km$ ،

وأن تسارع الجاذبية الأرضية عند سطحها الحالي $g = 10m.s^{-2}$

هل ستبتلع الأرض عندئذ القمر اذا تجمعت كتلة الارض حول مركزها ؟ لماذا برأيك؟

(واقعيّاً الأجرام التي تنتهي حياتها إلى ثقب أسود هي النجوم التي تبلغ كتلتها أكثر من عشرة أضعاف كتلة شمسنا)

المسألة الثانية:

احسب نسبة انزياح الطول الموجي إلى الطول الأصلي لمجرة تبعد عنّا 932×10^6 سنة ضوئية ، إذا كان طول الموجة الأصلي 500nm فاحسب طول الموجة بعد الانزياح ،

علماً أن ثابت هابل $H_0 = 68\text{km.s}^{-1}/\text{Mpc}$ ، الفرسخ الفلكي $pc = 3.26\text{light year}$ ،

سرعة الضوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8\text{m.s}^{-1}$

مسألة

يبعد المريخ عن الشمس وسطياً 1.52AU وتصل سطحه تقريباً 100% من أشعة الشمس المتجهة إليه، فإذا علمت أنّ النقص في كتلة الشمس $4.22 \times 10^{11}\text{kg.s}^{-1}$ فاحسب الطاقة التي يتلقاها $1(\text{km})^2$ من سطح المريخ خلال دقيقة واحدة.

(الوحدة الفلكية AU هي المسافة بين الأرض والشمس وسطياً وتعتبر 150 مليون كيلومتر)

مسألة

قيس الانزياح في طول موجة الهيدروجين لمجرة فكان 5% ممّا كان عليه،

احسب بعد تلك المجرة.

باعتبار ثابت هابل $H_0 = 68\text{km.s}^{-1}/\text{Mpc}$ ، والفرسخ الفلكي $pc = 3.26\text{light year}$ ،

وسرعة الضوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8\text{m.s}^{-1}$.

مسألة

باعتبار لكوكب المريخ شكل كروي قطره 6800km وكتلته $6.4 \times 10^{23}\text{kg}$ ،

(1) احسب سرعة الإفلات من جاذبية المريخ

(2) لو ضغط المريخ حتى أصبح ثقباً أسوداً، فاحسب نصف قطر المريخ عندئذ.