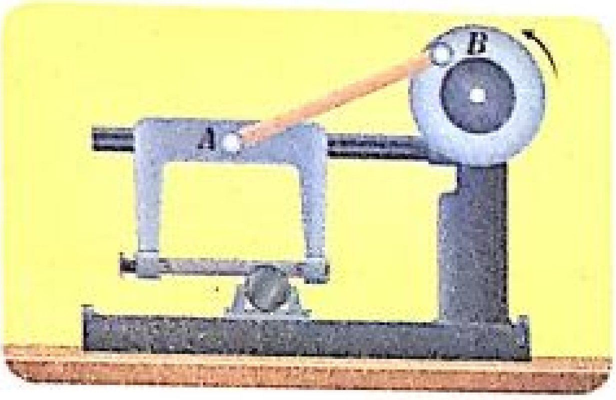
الدرس الأول 1

الحركة التوافقية البسيطة: (النواس المرن)

تمهيد: تعتمد الكثير من الآلات الصناعية في عملها على تطبيق بعض المبادئ الفيزيائية كالحركة التوافقية البسيطة.

نشاط (1) : (سؤال + جواب)

يوضح الشكل المجاور منشارا لقطع المعادن يعمل آليا بوساطة وصله بمحرك كهربائي يدور بسرعة زاوية ثابتة.



1- ما شكل مسار حركة النقطة B من البكرة؟

حركة دائرية منتظمة.

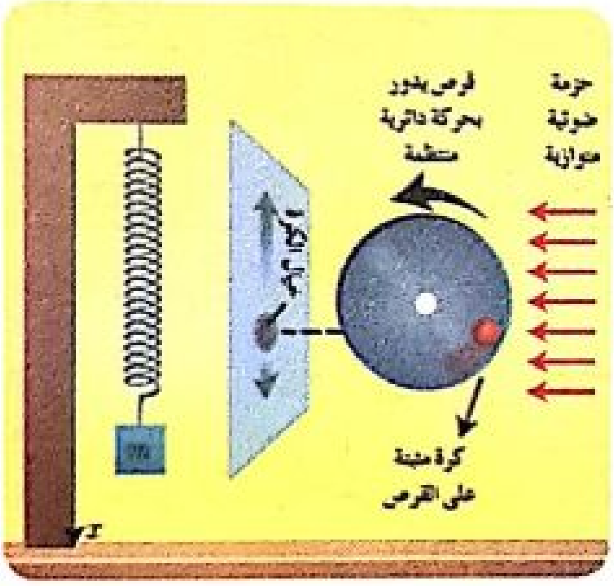
2- ما شكل مسار حركة النقطة A من المنشار؟

حركة مستقيمة.

3- باتجاه واحد حركة النقطة A أم باتجاهين متعاكسين ؟

باتجاهين متعاكسين

نشاط (2) : (سؤال + جواب)



- أثبت كرة صغيرة بالقرب من محيط قرص قابل للدوران حول محور كما في الشكل.
- أسلط حزمة ضوئية أفقيا ليتشكل خيال للكرة في مستو شاقولي.
- أدير القرص بسرعة زاوية ثابتة بوساطة محرك كهربائي.

1- أصف حركة خيال الكرة على المستوي الشاقولي.

حركة الخيال مستقيمة باتجاهين متعاكسين.

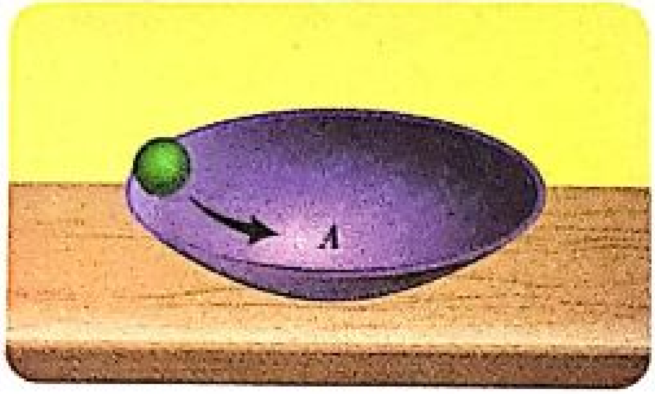
2- أقارن حركة الخيال بحركة جسم معلق بنابض شاقولي.

نلاحظ أن حركة الخيال تشابه حركة جسم معلق بنابض شاقولي.

نستنتج: حركة الخيال هي حركة اهتزازية إلى جانبي نقطة ثابتة تسمى مركز الاهتزاز.

نشاط (3) : (سؤال + جواب)

أترك كرة معدنية صغيرة دون سرعة ابتدائية على طرف وعاء دائري أملس مقعر كما هو موضح في الشكل:



1- هل تتحرك الكرة باتجاه واحد مقارنة بالنقطة A ؟

تتحرك الكرة بالاتجاهين مقارنة بالنقطة (A).

2- ماذا تمثل النقطة A مقارنة بحركة الكرة؟

تمثل النقطة (A) مركز الاهتزاز.

3- هل سرعة الكرة ثابتة وهي تتحرك؟

سرعة الكرة متغيرة.

4- في أي موضع تنعدم سرعة الكرة؟ تنعدم سرعة الكرة في الوضعين الطرفيين.

نتيجة: الحركة الاهتزازية: هي حركة دورية مثالها حركة جسم يهتز إلى جانبي نقطة ثابتة تسمى مركز الاهتزاز.

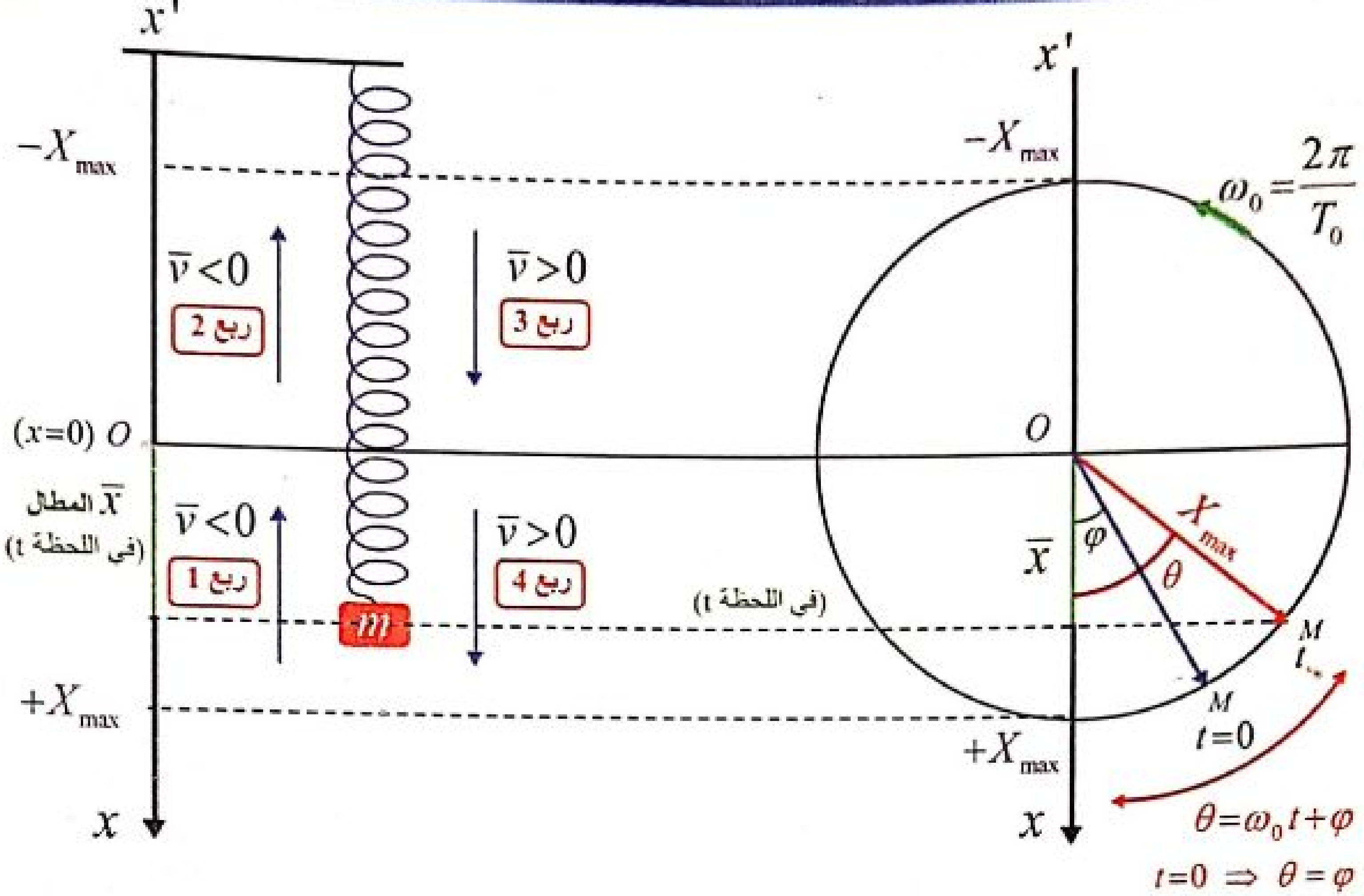
إن حركة اهتزاز جسم صلب معلق بنابض مرن حلقاته متباعدة هي أوضح مثال على الحركة التوافقية البسيطة، **ويدعى هذا النواس المرن.**

ملاحظة: نقول أن الجسم يهتز بحركة توافقية بسيطة عندما يخضع إلى محصلة قوى تدعى قوة الإرجاع **(أي لايخضع إلى قوى مبددة للطاقة).**

العلاقة بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة (تمثيل فرنيل)

نشاط (4) : في الشكل المجاور تدور نقطة مادية M بحركة دائرية منتظمة سرعتها الزاوية ω_0 وشعاع الموضع (شعاع نصف القطر) $\overrightarrow{OM}$ طويلته X_{max} :

1. أسمي الزاوية التي يصنعها $\overrightarrow{OM}$ مع المحور $\overrightarrow{x'x}$ في اللحظة $t = 0$ ؟
2. أسمي الزاوية التي يصنعها $\overrightarrow{OM}$ مع المحور $\overrightarrow{x'x}$ في اللحظة t ؟
3. أبين أطويلة الشعاع $\overrightarrow{OM}$ ثابتة هي أم متغيرة عند الدوران؟
4. أبين ماذا تمثل ω_0؟
5. أوضح هل مسقط الشعاع $\overrightarrow{OM}$ على المحور $\overrightarrow{x'x}$ يتغير عند الدوران؟
6. • أكتب علاقة $\cos(\omega_0 t+\overline{\varphi})$ بدلالة (x و X_{max}).
   • استنتج منها التابع الزمني لحركة المسقط. ماذا نسمي هذه الحركة؟



استنتج:

1. الطور الابتدائي للحركة $\bar{\varphi}$: هو الزاوية بين الشعاع $\overrightarrow{OM}$ والمحور $\overrightarrow{x'x}$ في اللحظة $t=0$.
2. طور الحركة $(\omega_0 t+\bar{\varphi})$: هو الزاوية بين الشعاع $\overrightarrow{OM}$ والمحور $\overrightarrow{x'x}$ في اللحظة t.
3. سعة الحركة X_{max} : هي طويلة الشعاع $\overrightarrow{OM}$ الثابتة عند الدوران.
4. النبض الخاص للحركة ω_0 : يقابل السرعة الزاوية الثابتة التي تدور بها النقطة M.

$$\boxed{\omega_0=\frac{2\pi}{T_0}} \quad , \quad \boxed{\omega_0=2\pi f_0} \qquad \left(\text{حيث : } T_0=\frac{1}{f_0}\right)$$

5. مطال الحركة $\bar{x}$: هو مسقط الشعاع $\overrightarrow{OM}$ على المحور $\overrightarrow{x'x}$ وهو متغير بتغير الزمن.
6. • النسبة : $\cos(\omega_0 t+\varphi)=\dfrac{\bar{x}}{X_{max}}$

• التابع الزمني لحركة المسقط: هو تابع جيبي من الشكل: $\bar{x}=X_{max}\cos(\omega_0 t+\bar{\varphi})$

لذلك تسمى الحركة جيبية انسحابية (توافقية بسيطة).

تدريب ذهني: (مع المسائل يلزم حل بشكل رياضي)

لننظر إلى الشكل ولنوجد الطور البدائي عند بدء الزمن. (أي $\varphi = ?$ عند $t=0$):

$$\left.\begin{array}{l} t=0 \\ x=+X_{max} \end{array}\right] \Rightarrow \varphi=0$$

$$\left.\begin{array}{l} t=0 \\ x=-X_{max} \end{array}\right] \Rightarrow \varphi=\pi\, rad$$

$$\left.\begin{array}{l} t=0 \\ x=0 \end{array}\right] \begin{cases} \varphi=\frac{\pi}{2} rad & \text{يوافق } (\bar{v}<0) \\ \varphi=\frac{3\pi}{2} rad & \text{يوافق } (\bar{v}>0) \end{cases}$$

ملاحظة :

لحساب الدور الخاص تجريبياً

(لكافة النواسات)

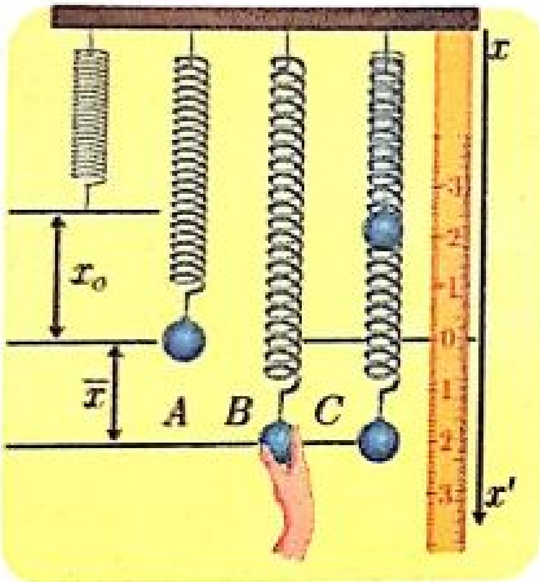
$T_0=\frac{t}{N}$ (حفظ)

t ← زمن الهزات

N ← عدد الهزات

النواس المرن :

يتألف من جسم صلب معلق بنابض مرن مهمل الكتلة حلقاته متباعدة يهتز بحركة اهتزازية حول مركز الاهتزاز (مركز التوازن).



نشاط (5) : (سؤال + جواب)

1. أعلق كرة كتلتها m بنابض مرن مهمل الكتلة حلقاته متباعدة، ثابت صلابته k ، ماذا ألاحظ؟

يستطيل النابض مسافة x_0 (وتدعى إستطالة سكونية)

2. أحدد القوى المؤثرة في الكرة بعد توازنها؟

$\vec{F}_{s_0}$, $\vec{w}$

3. أشد الكرة نحو الأسفل مسافة مناسبة (ضمن حدود مرونة النابض) دون أن أتركها، وأحدد القوى المؤثرة في الكرة عندئذ.

$\vec{F}_s$, $\vec{w}$

4. أقارن بين قوة توتر النابض في الحالة A ، وقوة توتر النابض في الحالة B ؟

نلاحظ أن $F_{s_0} < F_s$

5. أترك الكرة لتتحرك (الحالة C)، وألاحظ شكل مسار حركتها.

مسار حركة الكرة مستقيم.

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

عند الإقتراب من مركز الإهتزاز متسارعة ، عند الابتعاد عن مركز الاهتزاز متباطئة.

7. أحدد المواضع التي تنعدم فيها السرعة. تنعدم السرعة عند الوضعين الطرفيين.

ملاحظة: عند دراسة جسم معلق بنابض: يتم تحديد القوى الخارجية المؤثرة على الجسم وعلى النابض

قوة الإرجاع:

سؤال دورة 2016:

نعلق جسم صلب (كرة كتلتها m) بنابض مرن مهمل الكتلة حلقاته متباعدة. ثابت صلابته (k) المطلوب:

1- ماذا ألاحظ ، أحدد القوى المؤثرة عند توازن الكرة.

2- نزيح الجسم عن مركز توازنه $[O]$ بمطال $(\overline{x})$ ونتركه ليهتز. برهن أن مركز عطالة الجسم يخضع لمحصلة قوى خارجية هي قوة الإرجاع $\left[\overline{F}=-k\cdot\overline{x}\right]$ ، ماذا تستنتج.

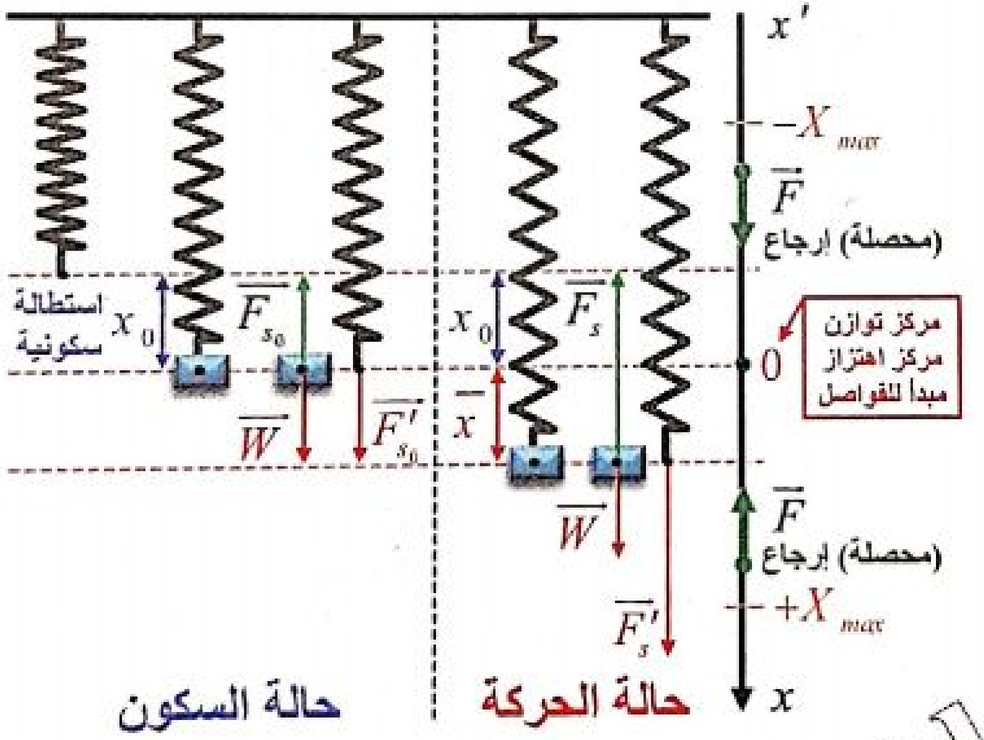
الحل:

1- حالة التوازن السكوني:

ألاحظ أنه:

يستطيل النابض مسافة (x_0) بعد تعليق الجسم فيه.

القوى الخارجية المؤثرة عند توازن الكرة



a- على الجسم:

$\overrightarrow{w}$: قوة ثقل الكرة.

$\overrightarrow{F}_{s_0}$: قوة توتر النابض.

بما أن الجسم ساكن(حالة التوازن السكوني):

$$\sum\overrightarrow{F}=\overrightarrow{0} \Rightarrow \overrightarrow{w}+\overrightarrow{F}_{s_0}=\overrightarrow{0}$$

بالإسقاط على محور شاقولي موجه نحو الأسفل:

$$w-F_{s_0}=0 \Rightarrow w=F_{s_0}$$

b- على النابض : تؤثر في النابض القوة $\vec{F}'_{s_0}$ التي تسبب له استطالة سكونية $[x_0]$ إذاً:

$$\left.\begin{array}{l} F'_{s_0} = k x_0 \\ F'_{s_0} = F_{s_0} \quad \text{لكن:} \end{array}\right] \Rightarrow F_{s_0} = k x_0$$

وبالتعويض في العلاقة السابقة نجد: $\boxed{w = k x_0}$ ①

$\boxed{x_0 = \dfrac{mg}{k}}$ **(حفظ)**

2- حالة الحركة:

القوى الخارجية المؤثرة:

a- على الجسم:
- $\vec{w}$: قوة الثقل
- $\vec{F}_s$: قوة توتر النابض

بتطبيق قانون نيوتن الثاني:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{w} + \vec{F}_s = m\vec{a}$$

بالإسقاط على محور شاقولي موجه للأسفل: $\boxed{w - F_s = m\bar{a}}$ ②

b- على النابض: تؤثر في النابض القوة $\vec{F}_s{}'$ التي تسبب له الإستطالة $(x_0 + \bar{x})$ إذاً:

$$\left.\begin{array}{l} F'_s = k(x_0 + \bar{x}) \\ F'_s = F_s \quad \text{لكن:} \end{array}\right] \Rightarrow \boxed{F_s = k(x_0 + \bar{x})}$$ ③

نعوض ① و ③ بـ ② نجد:

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

$$\cancel{k x_0} - \cancel{k x_0} - k\bar{x} = m\bar{a} \Rightarrow -kx = m\bar{a} = \bar{F}_{\text{محصلة}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\bar{F} = -k\bar{x}}$$ **حفظ**

(N) $(N.m^{-1})$ (m)

<u>**نتيجة:**</u>

إن محصلة القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة الجسم في كل لحظة هي <u>قوة إرجاع</u> لأنها تعيد الجسم إلى مركز الإهتزاز دوماً ، وهي تتناسب طرداً مع المطال $\bar{x}$ وتعاكسه بالإشارة. وتتجه دوماً نحو المركز $[O]$ (مركز التوازن)

تذكر:

مشتق بالنسبة للزمن

مشتق بالنسبة للزمن

المطال (الفاصلة) $\bar{x}$

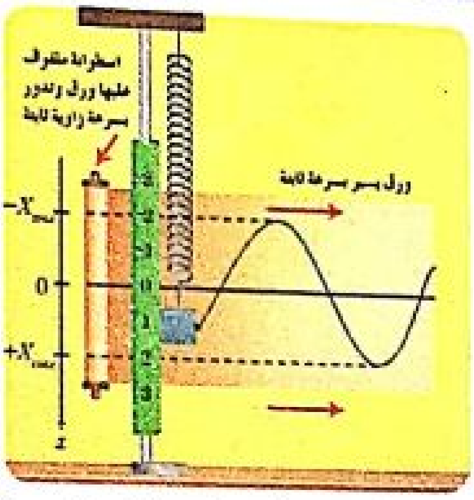
السرعة (الخطية) $\bar{v}$

التسارع (الخطي) $\bar{a}$

مشتق مرتين بالنسبة للزمن

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

$$\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} = (\bar{v})'_t = (\bar{x})''_t$$



استنتاج طبيعة حركة النواس المرن :

يتغير مطال الجسم (زيادة ونقصانا) بمرور الزمن إذ يتحرك الجسم بين موضعين متناظرين بالنسبة إلى مركز الاهتزاز، فما طبيعة هذه الحركة؟

سؤال دورة 2015 (مكرر عدة دورات)

انطلاقاً من قوة الإرجاع $\left[\bar{F} = -k\bar{x}\right]$ برهن أن حركة الجسم الصلب المعلق بالنابض في النواس المرن غير المتخامد حركة جيبية انسحابية (توافقية بسيطة) موضحاً دلالات الرموز للتابع الزمني، ثم استنتج علاقة الدور الخاص لهذا النواس ، مبيناً دلالات الرموز. وماذا نستنتج من علاقة الدور.

الحل:

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

لكن: $a = (\bar{x})''_t$

$$\left.\begin{matrix} a = (\bar{x})''_t \\ m(\bar{x})''_t = -k\bar{x} \end{matrix}\right] \Rightarrow (\bar{x})''_t = -\frac{k}{m}.\bar{x} \quad (*)$$

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

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

للتحقق من صحة الحل: نشتق تابع المطال مرتين بالنسبة للزمن نجد:

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

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

تابع التسارع بدلالة المطال : $(\bar{x})''_t = -\omega_0^2\,\bar{x}$

بالمطابقة مع * نجد:

$$\omega_0{}^2=\frac{k}{m} \Rightarrow \omega_0=\sqrt{\frac{k}{m}}>0$$

$$\boxed{k=m\omega_0{}^2}$$
حفظ

وهذا محقق لأن $[k,m]$ موجبان.

<u>نتيجة:</u> إن حركة النواس المرن هي حركة جيبية انسحابية (هزازة توافقية بسيطة)
الشكل العام للتابع الزمني للمطال يعطى بالعلاقة $\boxed{\overline{x}=X_{max}\cos(\omega_0 t+\overline{\varphi})}$

حيث : $\overline{x}$: المطال (موضع الجسم) في اللحظة (t) ويقدر بـ (m)

X_{max} : سعة الحركة وتقدر ب (m)

ω_0 : النبض الخاص للحركة ويقدر $(rad.s^{-1})$

$(\omega_0 t+\overline{\varphi})$: طور الحركة في اللحظة (t) يقدر بـ (rad)

$\overline{\varphi}$: الطور الابتدائي في اللحظة $(t=0)$ ويقدر بـ (rad)

ندعو كلاً من $[\overline{\varphi}\ ,\ \omega_0\ ,\ X_{max}]$ ثوابت الحركة.

لاستنتاج علاقة الدور الخاص للنواس المرن :

لدينا: $\omega_0=\sqrt{\frac{k}{m}}$

بما أنه: $\omega_0=\frac{2\pi}{T_0}$

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

وهي علاقة الدور الخاص للنواس المرن غير المتخامد. **حيث:**

m : كتلة الجسم (kg) ، k : ثابت صلابة النابض $(N.m^{-1})$ ، T_0: الدور الخاص (s)

نستنتج من علاقة الدور الخاص مايلي : (هام جداً)

1- لايتعلق بسعة الاهتزاز X_{max} (سؤال دورة 2014)

2- يتناسب طرداً مع الجذر التربيعي لكتلة الجسم المهتز m.

3- يتناسب عكساً مع الجذر التربيعي لثابت صلابة النابض k.

ملاحظة: لإيجاد $\overline{\varphi}$ نعوض بشروط البدء كما ترد بنص المسألة.

توابع حركة النواس المرن :

1 تابع المطال: (سؤال + جواب)

نواس مرن يهتز بحركة جيبية انسحابية توافقية بسيطة يطلب :

1- اكتب الشكل العام للتابع الزمني للمطال ، كيف يصبح شكل التابع بفرض أنه في اللحظة $t=0$ كان الجسم في مطاله الأعظمي الموجب $x=+X_{max}$ ؟

الشكل العام للتابع الزمني للمطال: $\bar{x}=X_{max}\cos(\omega_0 t+\bar{\varphi})$

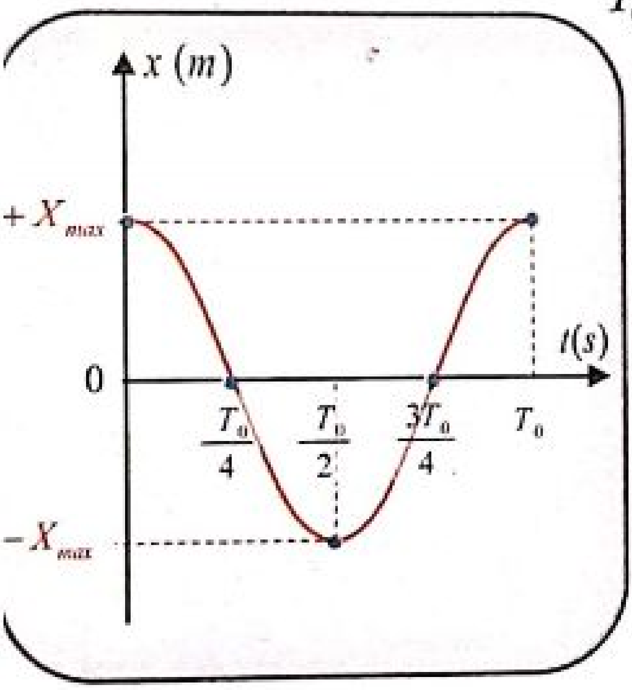
$$\left.\begin{array}{l} t=0 \\ x=X_{max} \end{array}\right] \Rightarrow \cancel{X_{max}}=\cancel{X_{max}}\cos(\omega_0\times 0+\bar{\varphi}) \Rightarrow \cos\varphi=1 \Rightarrow \boxed{\varphi=0}\ rad$$

يصبح شكل التابع: $\boxed{\bar{x}=X_{max}\cos\omega_0 t}$ **ويدعى هذا التابع الشكل المختزل للشكل العام.**

2- ارسم المنحني البياني لتغيرات المطال بدلالة الزمن خلال دور.

لدينا : $\omega_0=\dfrac{2\pi}{T_0} \Rightarrow \bar{x}=X_{max}\cos\dfrac{2\pi}{T_0}t$

t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
$\frac{2\pi}{T_0}\times t$	0	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{2}$	2π
$\cos\omega_0 t$	$+1$	0	-1	0	$+1$
$\bar{x}$	$+X_{max}$	0	$-X_{max}$	0	$+X_{max}$



3- أحدد المواضع التي يأخذ فيها المطال :

a- قيمة عظمى (طويلة) عند الوضعين الطرفين : $x=|\pm X_{max}|$

b- قيمة معدومة عند مركز الاهتزاز $[x=0]$

4- أحدد مطال الجسم في اللحظة $t=\dfrac{3T_0}{2}$

$$t=\frac{3T_0}{2} \Rightarrow \omega_0 t=\frac{2\pi}{T_0}\times\frac{3T_0}{2}=3\pi\ ,\ \cos 3\pi=-1 \overset{\text{(نعوض بالتابع)}}{\Rightarrow} x=-X_{max}$$

استنتج

- المطال أعظمي (طويلة) في الموضعين الطرفيين $x=\left|\pm X_{max}\right|$
- المطال معدوم في مركز الإهتزاز $x=0$

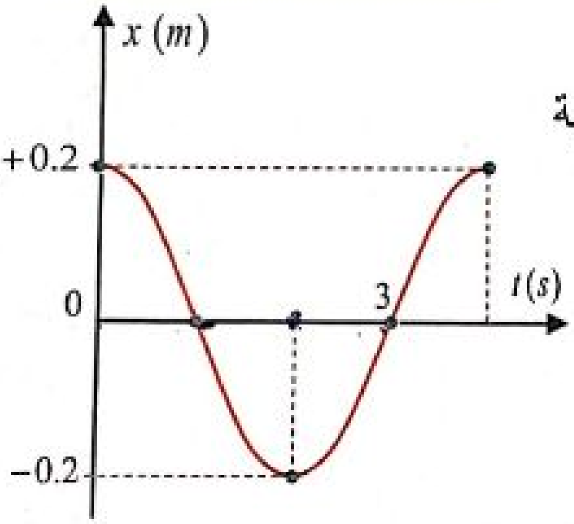
ملاحظة:
طويلة أي بلا إشارة

فائدة لحل المسائل:
عندما يطلب كتابة تابع زمني لدينا ثلاثة خطوات:
1- نكتب التابع الزمني المطلوب.
2- نوجد قيم الثوابت. 3- نعوض مكان الثوابت.

ملاحظة:
لإيجاد $\varphi=?$ نعوض بشروط البدء كما ترد بنص المسألة أو من الشكل البياني.

تمرين (تدرب أكثر):

يمثل الخط البياني تابع المطال لحركة جيبية انسحابية توافقية بسيطة. استنتج من هذا المنحني البياني.



1- الدور الخاص والنبض الخاص.
2- التابع الزمني للمطال.

الحل:

1- من الشكل نجد:

$$\frac{3T_0}{4}=3 \Rightarrow T_0=4s$$

$$\omega_0=\frac{2\pi}{T_0} \Rightarrow \omega_0=\frac{2\pi}{4}=\frac{\pi}{2}\ rad.s^{-1}$$

2- لإيجاد التابع الزمني للمطال. $x=X_{max}\cos(\omega_0 t+\overline{\varphi})$

نوجد قيم الثوابت : $\left[X_{max}\ ,\ \omega_0\ ,\ \overline{\varphi}\right]$

لدينا من الشكل : $X_{max}=0.2m$

لإيجاد $\varphi=?$ نعوض بشرط البدء

لدينا من الشكل البياني شروط البدء $\left[t=0\ ,\ x=+X_{max}\right]$

$$\left.\begin{array}{l} t=0 \\ x=+X_{max} \end{array}\right] \Rightarrow X_{max}=X_{max}\cos(\omega_0\times 0+\varphi) \Rightarrow \cos\varphi=1 \Rightarrow \varphi=0\ rad$$

نعوض مكان الثوابت: $x=0.2\cos(\frac{\pi}{2}t+0)$

2 تابع السرعة: (سؤال + جواب) (سؤال دورة)

انطلاقا من التابع الزمني للمطال: $\left[\bar{x}=X_{max}\cos\omega_0 t\right]$ في النواس المرن

1- استنتج التابع الزمني للسرعة وحدد طويلتها العظمى.

إن تابع السرعة هو المشتق الأول لتابع المطال بالنسبة للزمن: $\bar{v}=(\bar{x})_t'$

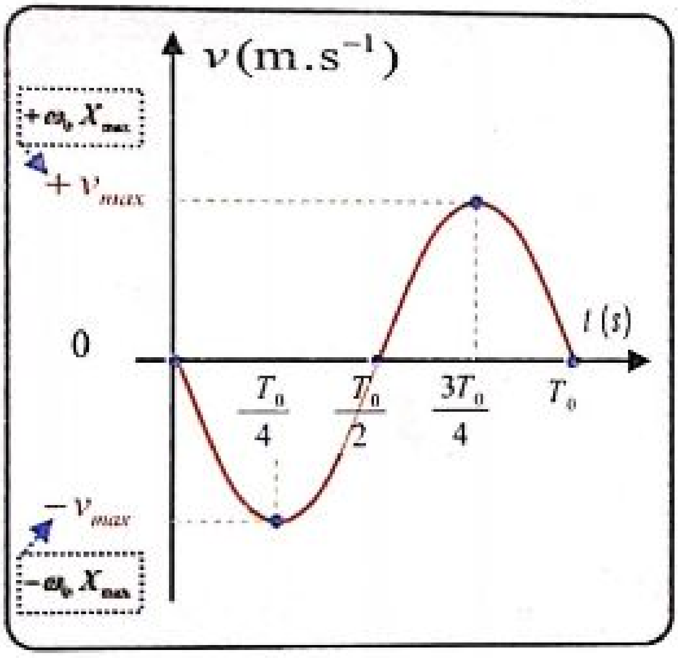
$$\bar{v}=-\omega_0 X_{max}\sin\omega_0 t$$

السرعة العظمى (طويلة): $\boxed{v_{max}=\left|\pm\omega_0 X_{max}\right|}$ **(حفظ)**

2- ارسم المنحني البياني لتغيرات السرعة بدلالة الزمن خلال الدور

$\omega_0=\dfrac{2\pi}{T_0}$: **لدينا** $\Rightarrow \bar{v}=-\omega_0 X_{max}\sin\dfrac{2\pi}{T_0}.t$

t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
$\frac{2\pi}{T_0}\times t$	0	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{2}$	2π
$\sin\omega_0 t$	0	$+1$	0	-1	0
$\bar{v}$	0	$-\omega_0 X_{max}$	0	$+\omega_0 X_{max}$	0



3- أحدد المواضع التي تأخذ فيها السرعة :

a. قيمة عظمى(طويلة)

السرعة أعظمية(طويلة) $\boxed{v_{max}=\left|\pm\omega_0 X_{max}\right|}$ لحظة المرور في مركز الاهتزاز.

b. قيمة معدومة :

تنعدم السرعة $[v=0]$ لحظة المرور في المطالين الأعظميين(الموضعين الطرفيين)

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

$t=\dfrac{5T_0}{4} \Rightarrow \omega_0 t=\dfrac{2\pi}{T_0}\times\dfrac{5T_0}{4}=\dfrac{5\pi}{2}$, $\sin\dfrac{5\pi}{2}=+1 \Rightarrow \bar{v}=-\omega_0 X_{max}$

أي تكون السرعة عظمى **و** بالاتجاه السالب.

أستنتج

- السرعة أعظمية (طويلة) $v_{max} = \left| \pm\omega_0 X_{max} \right|$ لحظة المرور في مركز الاهتزاز.
- تنعدم السرعة $[v=0]$ لحظة المرور في المطالين الأعظميين (الموضعين الطرفيين)

ملاحظة: العلاقة بين المطال والسرعة (لسهولة الفهم والحفظ)

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

فائدة: نستطيع كتابة تابع السرعة بالشكل:

$$\bar{v} = \omega_0 X_{max} \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$$

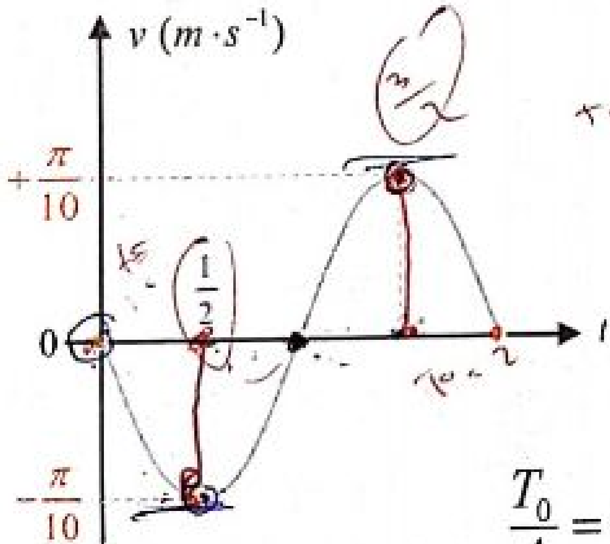
فائدة رياضية:
$-\sin\theta = \cos(\theta + \frac{\pi}{2})$

ونلاحظ أن تابع السرعة متقدم بالطور عن تابع المطال بمقدار $(\frac{\pi}{2})$.

تمرين: (تدرب أكثر)

(للنواس المرن غير التخامد)

يمثل الخط البياني تابع السرعة لحركة جيبية انسحابية توافقية بسيطة. استنتج من هذا المنحني البياني:



1) الدور الخاص، والنبض الخاص.
2) تحديد قيم اللحظات التي تنعدم فيها السرعة خلال هذا الدور.
3) التابع الزمني للمطال، ثم استنتج منه التابع الزمني للسرعة.

$T_0 = 2s$

الحل: من الشكل نجد:

1) الدور الخاص: $\frac{T_0}{4} = \frac{1}{2} \Rightarrow \boxed{T_0 = 2\,s}$

النبض الخاص: $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \Rightarrow \boxed{\omega_0 = \frac{2\pi}{2} = \pi\ rad\cdot s^{-1}}$

2) من الشكل البياني نجد :

تنعدم السرعة $[v=0]$ عند اللحظات: $\boxed{t_1 = 0}$, $\boxed{t_2 = 1s}$, $\boxed{t_3 = 2s}$

3) لإيجاد التابع الزمني للمطال: $\bar{x} = X_{max}\cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$

نوجد قيم الثوابت: $(X_{max}\ ,\ \omega_0\ ,\ \varphi\ )$

حساب $X_{max} = ?$:

$$v_{max} = \omega_0 X_{max} \Rightarrow \frac{\pi}{10} = \pi X_{max} \Rightarrow X_{max} = 0.1\ m$$

حساب $\bar{\varphi} = ?$:

لدينا من الشكل البياني شروط البدء $(t = 0\ ,\ v = 0)$ نعوض بتابع السرعة :

التابع الزمني للسرعة بشكل عام: $\bar{v} = -\omega_0 X_{max}\sin(\omega_0 t + \bar{\varphi})$

$$\left.\begin{matrix} t=0 \\ v=0 \end{matrix}\right] \Rightarrow 0 = -\omega_0 X_{max}\sin(\omega_0 \times 0 + \bar{\varphi}) \Rightarrow \sin\varphi = 0 \begin{cases} \boxed{\varphi = 0} & \text{مقبول} \\ \varphi = \pi & \text{مرفوض} \end{cases}$$

(من الشكل البياني)

نعوض مكان الثوابت $\Leftarrow$ تابع المطال : $\bar{x} = 0.1\cos(\pi t + 0)$

لاستنتاج تابع السرعة: $\bar{v} = (\bar{x})'_t \Rightarrow \boxed{v = -0.1 \times \pi \sin \pi t}$

تذكر:

شعاع التسارع $\vec{a}$ له مركبتان: a_t : مركبة مماسية. a_c : مركبة ناظمية.

$$\vec{a} : \begin{cases} a_t = \dfrac{dv}{dt} = (v)'_t \\ a_c = \dfrac{v^2}{r} \end{cases}$$

في حركة مسارها مستقيم يكون $a_c = 0$ وعندها يكون $a = a_t$ فقط.

ونميز الحالات التالية في الحركات التي يتحقق فيها:

- $a = 0$ $\Leftarrow$ $v = const$ $\Leftarrow$ حركة مستقيمة منتظمة
- $a = const$ $\Leftarrow$ حركة مستقيمة متغيرة بانتظام: متسارعة ($\vec{a}$ و $\vec{v}$ بنفس الجهة)، متباطئة ($\vec{a}$ و $\vec{v}$ متعاكسان)
- $a \neq const$ (موجود) $\Leftarrow$ حركة مستقيمة متغيرة (بلا انتظام): متسارعة ($\vec{a}$ و $\vec{v}$ بنفس الجهة)، متباطئة ($\vec{a}$ و $\vec{v}$ متعاكسان)

3 تابع التسارع: (سؤال + جواب) (سؤال دورة)

انطلاقاً من التابع الزمني للمطال : $\left[\overline{x}=X_{max}\cos\omega_0 t\right]$ في النواس المرن .

1- استنتج التابع الزمني للتسارع.

إن تابع التسارع هو المشتق الأول لتابع السرعة بالنسبة للزمن.

وهو المشتق الثاني لتابع المطال بالنسبة للزمن. $\overline{a}=(\overline{v})_t{}'=(\overline{x})_t{}''$

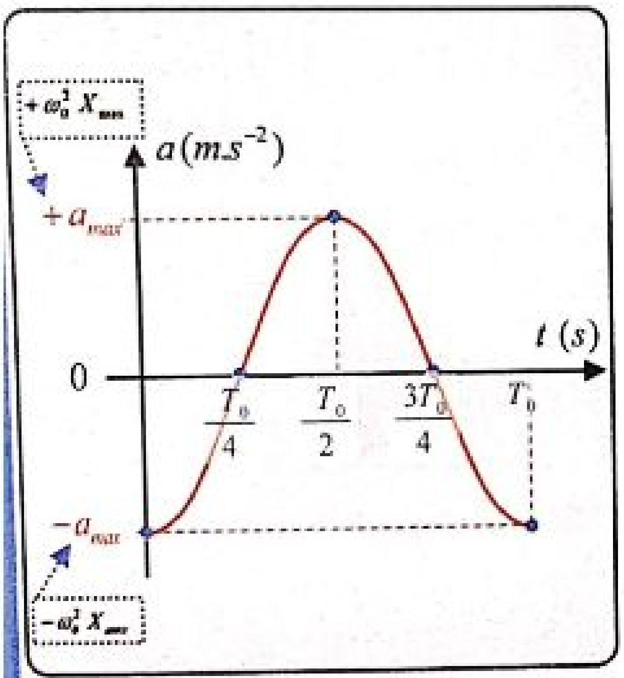
$$(x)_t{}'=-\omega_0 X_{max}\sin\omega_0 t$$

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

$\overline{a}=-\omega_0^2\ \overline{x}$ وهو تابع التسارع بدلالة المطال

2- ارسم المنحني البياني لتغيرات التسارع بدلالة الزمن خلال الدور.

$\overline{a}=-\omega_0^2 X_{max}\cos\frac{2\pi}{T_0}.t \Leftarrow$ لدينا: $\omega_0=\frac{2\pi}{T_0}$



t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
$\frac{2\pi}{T_0}\times t$	0	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3\pi}{2}$	2π
$\cos\omega_0 t$	$+1$	0	-1	0	$+1$
$\overline{a}$	$-\omega_0^2 X_{max}$	0	$+\omega_0^2 X_{max}$	0	$-\omega_0^2 X_{max}$

3- أحدد المواضع التي يأخذ فيها التسارع :

a) قيمة عظمى (طويلة)

التسارع أعظمي (طويلة) $\boxed{a_{max}=\left|\pm\,\omega_0^2 X_{max}\right|}$

عند المرور في المطالين الأعظميين (الموضعين الطرفيين).

$$\left[x=\pm X_{max}\Rightarrow a_{max}=\omega_0^2 X_{max}\right]$$

b) قيمة معدومة.

- التسارع معدوم $[a=0]$ عند المرورفي مركزالاهتزاز $[x=0 \Rightarrow a=0]$

4- أتساءل : أثابتة قيمة التسارع أم متغيرة أثناء حركة الجسم؟

- التسارع غير ثابت تتغير قيمته بتغير المطال (وهو تابع للزمن).

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

- $t=\frac{5T_0}{2} \Rightarrow \omega_0 t=\frac{2\pi}{T_0}\times\frac{5T_0}{2}=5\pi \quad , \quad \cos 5\pi=-1 \Rightarrow a=+\omega_0^2 X_{max}$

ملاحظات هام جداً:

1- عند الوضعين المتطرفين السرعة معدومة والتسارع أعظمي.
وهذا شرط التوقف الآني (شرط التوقف الدائم هو انعدام السرعة والتسارع).

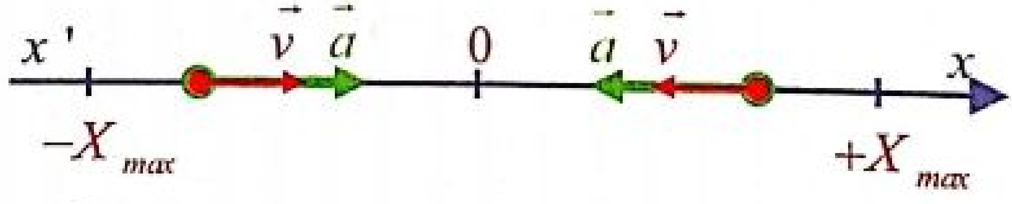
2- عند وضع التوازن السرعة عظمى والتسارع معدوم.

3- إن تسارع الجسم $\overline{a}$ يتناسب طرداً مع المطال $\overline{x}$ ويعاكسه بالإشارة.

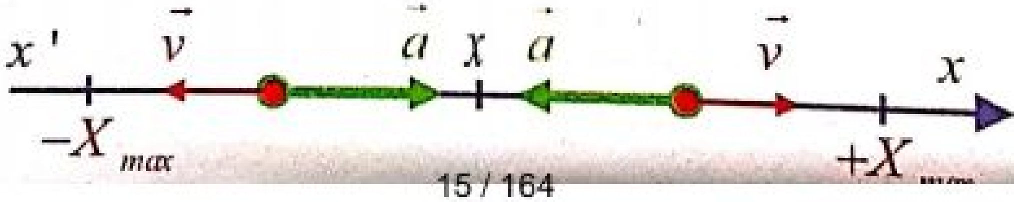
4- بما أن $(\vec{F}=m\vec{a})$ نستنتج أنه $(\vec{F}\,,\,\vec{a})$ لهما نفس الجهة دوماً و هي تتجه نحو المركز (إرجاع).

5- جهة $(\vec{v})$ تحددها جهة الحركة

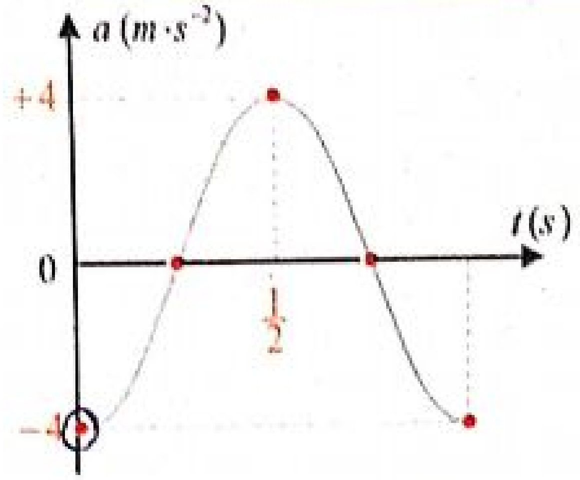
6- تكون الحركة متسارعة عند الانتقال من الأوضاع المتطرفة $(\pm X_{max})$ نحو المركز (O) لأن $(\vec{a}\,,\,\vec{v})$ لهما نفس الجهة:



7- تكون الحركة متباطئة عند الانتقال من المركز (O) إلى الأوضاع المتطرفة $(\pm X_{max})$ لأن $(\vec{a},\vec{v})$ لهما جهتان متعاكستان:



تمرين: (تدرب أكثر)



يمثل الخط البياني تابع التسارع لحركة جيبية انسحابية استنتج من هذا المنحني:

1) الدور الخاص والنبض الخاص وسعة الحركة.

2) التابع الزمني للتسارع.

الحل: من الشكل نجد:

1) الدور: $\frac{T_0}{2}=\frac{1}{2} \Rightarrow T_0=1\ s$

النبض الخاص:

$$\omega_0=\frac{2\pi}{T_0}=\frac{2\pi}{1} \Rightarrow \omega_0=2\pi\ rad\cdot s^{-1}$$

حساب $X_{max}=?$:

لدينا: $a_{max}=\omega_0^2 X_{max}$

من الشكل: $a_{max}=4\ m\cdot s^{-2}$

نعوض: $4=4\pi^2\cdot X_{max}$

$$X_{max}=\frac{1}{\pi^2} \Rightarrow X_{max}=0.1\ m$$

2) التابع الزمني للتسارع (الشكل العام) :

$$\bar{a}=-X_{max}\,\omega_0^2\cos(\omega_0 t+\bar{\varphi})$$

حساب $\bar{\varphi}=?$:

لدينا من الشكل البياني: شروط البدء

$$(t=0\ ,\ a=-4\ m\cdot s^{-2})$$

نعوض بتابع التسارع :

$$-4=-0.1(2\pi)^2\cos(\omega_0\times 0+\varphi)$$

$$-4=-4\cos\varphi$$

$$\Rightarrow \cos\varphi=1 \Rightarrow \boxed{\varphi=0}\ rad$$

نعوض مكان الثوابت:

$$\bar{a}=-0.1(2\pi)^2\cos(2\pi t+0)$$

$$\bar{a}=-4\cos(2\pi t)$$

الطاقة في الحركة التوافقية البسيطة:

سؤال دورة (2006 + 2011 + 2020):

استنتج علاقة الطاقة الميكانيكية للنواس المرن في الحركة التوافقية البسيطة غير المتخامد وبرهن أنها ثابتة، وارسم المنحني البياني لتغيرات الطاقة الكامنة والطاقة الحركية.

الحل: الطاقة الميكانيكية للنواس المرن هي مجموع الطاقتين؛ الطاقة الكامنة المرونية (E_p) والطاقة الحركية (E_k)

$$E=E_p+E_k \quad \cdots\cdots(1)$$

الطاقة الكامنة المرونية: $E_p=\frac{1}{2}k\,x^2$

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

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

الطاقة الحركية للجسم: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$

تابع السرعة: $\bar{v} = -\omega_0 X_{max} \sin(\omega_0 t + \bar{\varphi})$

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

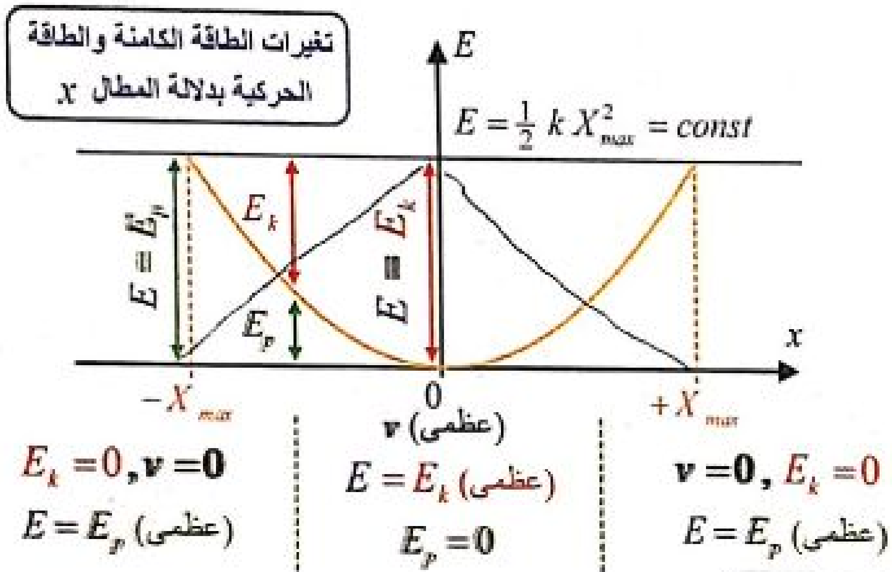
لكن $\left[k = m\omega_0^2\right]$: $\Rightarrow E_k = \underbrace{\frac{1}{2} k}_{} X_{max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \bar{\varphi}) \quad \cdots\cdots (3)$

نعوض (2) و (3) بـ(1): $E_{tot} = \frac{1}{2} k X^2_{max} \cos^2(\omega_0 t + \bar{\varphi}) + \frac{1}{2} k X^2_{max} \sin^2(\omega_0 t + \bar{\varphi})$

$$E = \underbrace{\frac{1}{2} k X_{max}^2}_{} = const$$

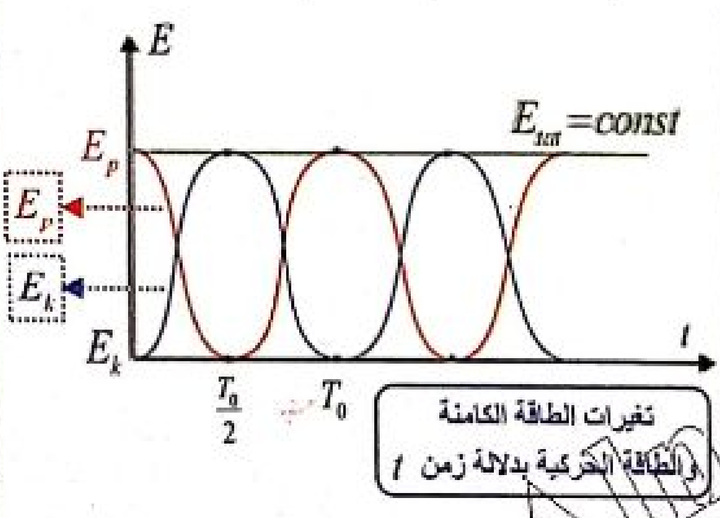
فائدة رياضية:
$\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$

نتيجة: إن الطاقة الميكانيكية في الحركة التوافقية البسيطة ثابتة، وتتناسب طرداً مع مربع سعة الاهتزاز X_{max}.



للرسم البياني:

1. تُمثل: $E = const$ بخط مستقيم يوازي محور المطالات (x).
2. تُمثل: $E_p = \frac{1}{2} k x^2$ بقطع مكافئ ذروته $[0]$



ملاحظة:

- عندما: $\left[\bar{x} = X_{max} \cos\omega_0 t\right]$ لاحظ $[\varphi = 0]$
  أي أن شروط البدء: $[t = 0 \ , \ x = +X_{max}]$
  عندها يكون : $E = E_p \ , \ E_k = 0$
- دور الطاقة يساوي نصف دور الاهتزاز.

نتائج: يستمر الاهتزاز في النواس المرن (غير المتخامد) بالتبادل بين الطاقتين الكامنة والحركية، وأي نقصان في إحدى الطاقتين هو زيادة في الطاقة الأخرى وتبقى الطاقة الكلية للجملة ثابتة $\left[E_{tot} = E_p + E_k = const\right]$

نشاط (6): أحدد المواضع التي تكون فيها كل من الطاقتين الحركية والكامنة المرونية:

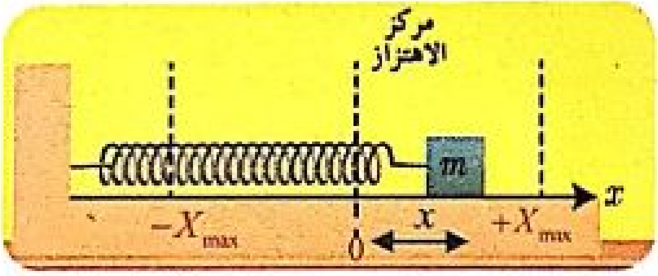
1. عظمى 2. معدومة **الحل:**

- عند الوضعين الطرفيين (المطالين الأعظمين) $x = \pm X_{max}$ يكون:

أي الطاقة الكلية للمتحرك هي طاقة كامنة فقط. $v=0 \Rightarrow E_k=0 \Rightarrow E=E_p$ (عظمى)

- عند مرور المتحرك في وضع التوازن: $x=0 \Rightarrow E_p=0 \Rightarrow E=E_k$ (عظمى)

أي الطاقة الكلية للمتحرك هي طاقة حركية فقط.



ملاحظة: (شكل آخر للنواس المرن) :
نثبت إلى بداية ساق أفقية ملساء (دون احتكاك) طرف نابض مرن مهمل الكتلة ونثبت إلى نهايته الثابتة جسماً صلباً كتلته m ونعد مركز عطالة الجسم وهو ساكن مبدأ للفواصل $[O]$ ، نزيح الجسم عن وضع توازنه على طول قطعة مستقيمة لنشكل بذلك نواس مرن غير متخامد.

تطبيق: نواس مرن أفقي مؤلف من جسم ونابض مرن تابعه الزمني $x=0.1\cos(\pi t + \pi)$

المطلوب: 1. حدد ثوابت الحركة لهذا النواس. 2. احسب دور T_0

3. حدد موضع المتحرك (الجسم) في لحظة بدء الزمن.

الحل:

1. نكتب التابع الزمني للنواس المرن

$$x=\boxed{X_{max}}\cos(\boxed{\omega_0}\ t\ \boxed{+\varphi})$$
$$x=\boxed{0.1}\cos(\boxed{\pi}\ t\ \boxed{+\pi})$$

بالمقارنة نجد: المطال الأعظمي $X_{max} = 0.1\,m$ ، النبض $\omega_0 = \pi\ rad.s^{-1}$

الطور الابتدائي للحركة (عند اللحظة $t=0$) هو $\varphi = +\pi\ rad$

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

3. مطلوب $x = ?$ عند بدء الزمن

$$\left.\begin{matrix} t=0 \\ x=? \end{matrix}\right] \xrightarrow{\text{(نعوض بتابع المطال)}} \left.\begin{matrix} x = 0.1\cos\pi \\ \cos\pi = -1 \end{matrix}\right] \Rightarrow x = -0.1m$$

أي المتحرك في مطاله الأعظمي السالب في لحظة بدء الزمن.

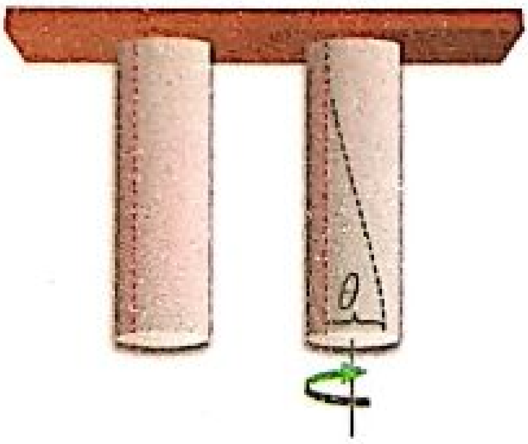
ملاحظات: راجع نوطة المسائل وادرس:

1- فوائد رياضية + مايجب تذكره ص 5+6 نوطة مسائل.✓
2- حل مسائل الدرس (1+2+3+4) **مع الطلبات الإضافية**.✓
3- حل أسئلة الدرس النظري والتفكير الناقد✓ **4-** حل مسائل عامة (1+2)✓
5- امتحان بأسئلة خيار من متعدد من نوطة المسائل ص 162 من سؤال(1) إلى (23).✓

الدرس الثاني 2

الاهتزازات الجيبية الدورانية: (نواس الفتل غير المتخامد)

تذكر:



- **سلك الفتل:** هو سلك مرن ، عند فتل القسم السفلي بزاوية الفتل $[\theta]$ ينشأ في السلك عزم إرجاع:

$$\boxed{\text{(حفظ)}\quad \overline{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} = -k\,\overline{\theta}}$$

$\overline{\Gamma}$: $(m \cdot N)$ ، k: $(m \cdot N \cdot rad^{-1})$ ، $\overline{\theta}$: (rad)

k : ثابت فتل سلك التعليق.

تذكر:

$\overline{\theta}$ المطال الزاوي

$\overline{\omega}$ السرعة الزاوية

$\overline{\alpha}$ التسارع الزاوي

مشتق بالنسبة للزمن

مشتق بالنسبة

مشتق مرتين بالنسبة للزمن

$$\overline{\omega} = \frac{d\overline{\theta}}{dt} = (\overline{\theta})'_t$$

$$\overline{\alpha} = \frac{d\overline{\omega}}{dt} = (\overline{\omega})'_t = (\overline{\theta})''_t$$

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

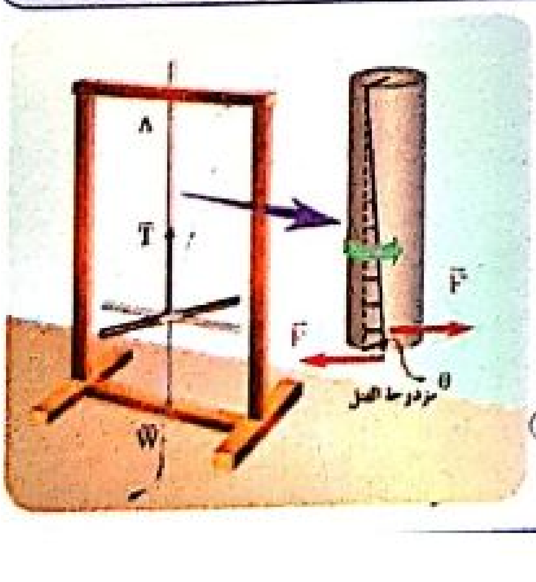
تعريف نواس الفتل:

هو جسم صلب متجانس (ساق أو قرص) معلق من مركزه $[O]$ بسلك فتل شاقولي ثابت فتله (k) يهتز في مستو أفقي حول سلك الفتل الشاقولي بتأثير عزم مزدوجة الفتل.

أجرب واستنتج:

دراسة حركة نواس الفتل:

(سؤال + جواب)



a) ساق معدنية متجانسة معلقة من منتصفها بسلك فتل شاقولي ثابت فتله k، أحدد القوى الخارجية المؤثرة في الساق المتوازنة في مستو أفقي.

b) أدير الساق عن وضع توازنها الأفقي بزاوية $[\theta]$ وأتركها دون سرعة ابتدائية. **يطلب:**

1- أحدد عزم القوى الخارجية المؤثرة في سلك الفتل أثناء الحركة.

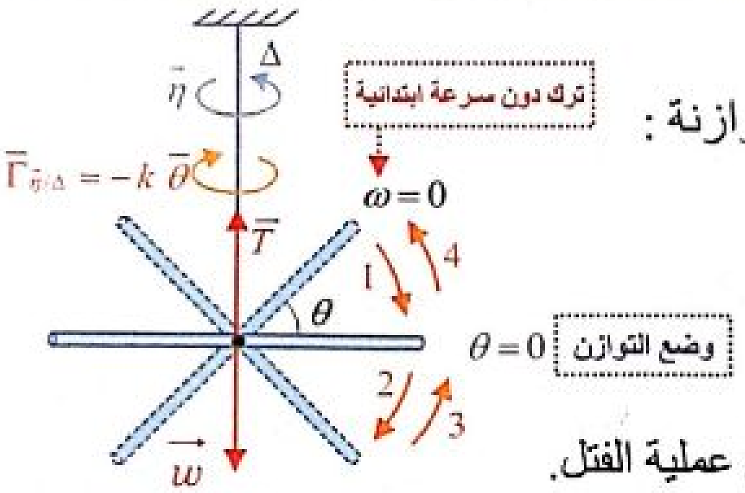
2- أحدد محصلة العزوم للقوى المؤثرة في جملة النواس، وادرس حركة الساق مبيناً طبيعة حركتها ، واستنتج تابعها الزمني موضحاً دلالات الرموز.

3- استنتج علاقة الدور الخاص لنواس الفتل موضحاً دلالات الرموز.

وماذا تستنتج من علاقة الدور؟

صيغة السؤال كما ورد في الدورات السابقة: ساق معدنية متجانسة معلقة من منتصفها بسلك فتل رفيع شاقولي ثابت فتله (k) . ندير الساق في مستوٍ أفقي حول سلك التعليق بزاوية ما ونتركها، ادرس حركة الساق مبيناً طبيعتها، ثم استنتج علاقة دورها الخاص.

الجواب:



a) القوى الخارجية المؤثرة في الساق المتوازنة :

$\vec{w}$: قوة ثقل الساق ، $\vec{T}$: قوة التوتر

b) 1- عندما ندير الساق زاوية $[\theta]$

عن وضع توازنها في مستوٍ أفقي.

- تنشأ في السلك مزدوجة فتل $[\vec{\eta}]$ تقاوم عملية الفتل.
- تعمل على إعادة الساق إلى وضع توازنها.
- عزمها هو عزم إرجاع يتناسب طرداً مع زاوية الفتل $[\theta]$ ويعاكسها بالإشارة ويعطى بالعلاقة : $\boxed{\bar{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta}=-k\,\bar{\theta}}$

2- 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)

$\bar{\alpha}=(\bar{\theta})''_t$ التسارع الزاوي.

$$\bar{\Gamma}_{\vec{w}/\Delta}+\bar{\Gamma}_{\vec{T}/\Delta}+\bar{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta}=I_{\Delta}\,\bar{\alpha} \quad (*)$$

لكن : $\bar{\Gamma}_{\vec{w}/\Delta}=0$, $\bar{\Gamma}_{\vec{T}/\Delta}=0$

لأن القوتان $\vec{w}$, $\vec{T}$ حامل كل منهما منطبق على محور الدوران (Δ).

سؤال دورات سابقة: انطلاقاً من العلاقة: $\left[-k\bar{\theta}=I_\Delta(\bar{\theta})''_t\right]$ برهن أن حركة نواس الفتل جيبية دورانية. ثم استنتج علاقة دوره الخاص. موضحاً دلالات الرموز.

ولدينا عزم مزدوجة الفتل: $\bar{\Gamma}_{\bar{\eta}/\Delta}=-k\bar{\theta}$

نعوض بـ (*):

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

$$-k\bar{\theta}=I_\Delta(\bar{\theta})_t'' \Rightarrow \boxed{(\bar{\theta})_t''=-\frac{k}{I_\Delta}\bar{\theta}}$$

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

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

وللتحقق من صحة الحل نشتق مرتين بالنسبة للزمن:

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

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

وبالتالي: $(\bar{\theta})_t''=-\omega_0^2\bar{\theta}$

بالمطابقة مع المعادلة التفاضلية نجد:

$$\omega_0^2=\frac{k}{I_\Delta} \Rightarrow \omega_0=\sqrt{\frac{k}{I_\Delta}}>0$$

$\boxed{k=I_\Delta\omega_0^2}$ حفظ

وهذا ممكن لأن (I_Δ , k) **موجبان.**

إذاً: حركة نواس الفتل جيبية دورانية تابعها الزمني من الشكل: $\bar{\theta}=\theta_{max}\cos(\omega_0 t+\bar{\varphi})$

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

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

ω_0 : النبض الخاص بالحركة واحدته $rad.s^{-1}$.

$\bar{\varphi}$: الطور الابتدائي للحركة واحدته rad.

3- لاستنتاج علاقة الدور الخاص لنواس الفتل:

بما أنه: $\omega_0=\sqrt{\frac{k}{I_\Delta}}$

ولدينا: $\omega_0=\frac{2\pi}{T_0}$

$$\Rightarrow \frac{2\pi}{T_0}=\sqrt{\frac{k}{I_\Delta}} \Rightarrow \boxed{T_0=2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k}}}$$ (حفظ)

حيث: T_0: دور خاص (s).

I_Δ : عزم العطالة $(kg\cdot m^2)$ ، k: ثابت فتل سلك التعليق $(m\cdot N\cdot rad^{-1})$

نتائج: إن الدور الخاص لنواس الفتل:

1. لا يتعلق بالسعة الزاوية θ_{max} (لعدم وجودها في عبارة الدور).
2. يتناسب طرداً مع الجذر التربيعي لعزم عطالة جملة النواس حول محور الدوران(سلك الفتل)
3. يتناسب عكساً مع الجذر التربيعي لثابت فتل سلك التعليق (k).

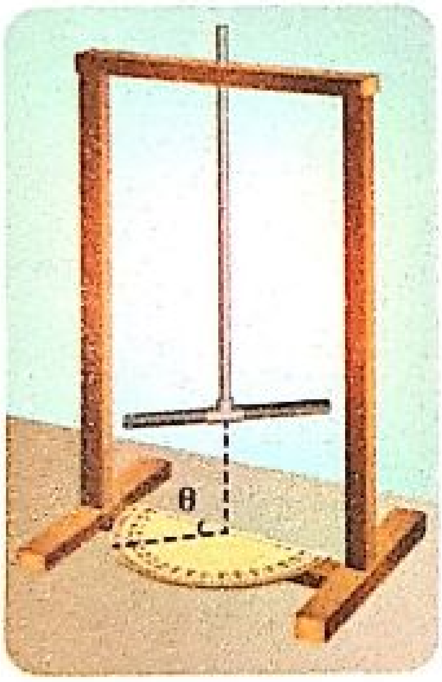
ملاحظة: يعطى ثابت فتل السلك (k) بالعلاقة:

$$k = k'\frac{(2r)^4}{\ell}$$ (حفظ)

حيث: k': ثابت يتعلق بنوع مادة السلك.
$2r$: قطر السلك الأسطواني.
ℓ: طول سلك الفتل.

أجرب واستنتج:

تجربة (1) خطوات التجربة:

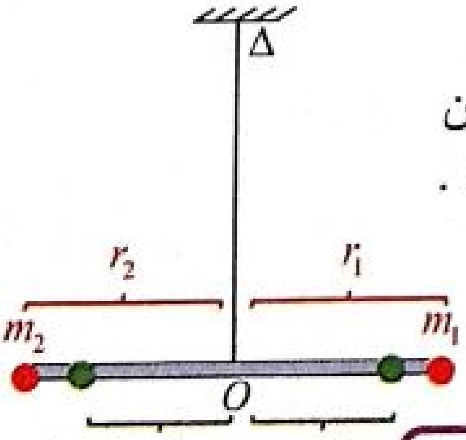


1. أعلق ساقا معدنية متجانسة طولها L ، كتلتها m من منتصفها إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتله k.
2. أدير الساق زاوية θ_1 عن وضع توازنها في مستو أفقي وأتركها لتهتز دون سرعة ابتدائية.
3. أقيس زمن 10 نوسات.
4. أحسب زمن نوسة واحدة، وليكن $T_{01} = \frac{t}{N}$.
5. أعيد التجربة السابقة مع زاوية $\theta_2 > \theta_1$.
6. أحسب زمن النوسة الواحدة.

أستنتج

لاتتغير قيمة الدور الخاص لنواس الفتل بتغير السعة الزاوية للحركة.

تجربة (2) خطوات التجربة:



1. أثبت على الساق كتلتين نقطيتين متساويتين، وعلى بعدين متساويين $(r_1 = r_2)$ من سلك التعليق وأديرها زاوية θ.
2. أحسب زمن النوسة الواحدة، وليكن T_{02}.
3. أقارن T_{01} مع T_{02} ، ماذا أستنتج؟ $T_{02} > T_{01}$

أستنتج

يزداد الدور الخاص لنواس الفتل بزيادة عزم عطالة الجملة.

ملاحظة: إذا غيرنا موقع الكتلتين ليصبح $[r_1' = r_2']$ عندها يتغير عزم العطالة ويتغير دور النواس. **حيث:** $\boxed{I_\Delta = mr^2 \text{ (نقطة مادية)}}$ r: بعد الكتلة عن محور الدوران.

تجربة (3) **خطوات التجربة:**

1. أجعل طول سلك الفتل نصف ما كان عليه وأديرها زاوية θ وأحسب زمن النوسة الواحدة T_{03}. **2.** أقارن T_{01} مع T_{03}. $T_{03} < T_{01}$

أستنتج

ينقص الدور الخاص لنواس الفتل بنقصان طول سلك الفتل.

التفسير الرياضي:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k}} \Rightarrow T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k'\frac{(2r)^4}{\ell}}} \Rightarrow T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta.\ell}{k'(2r)^4}}$$

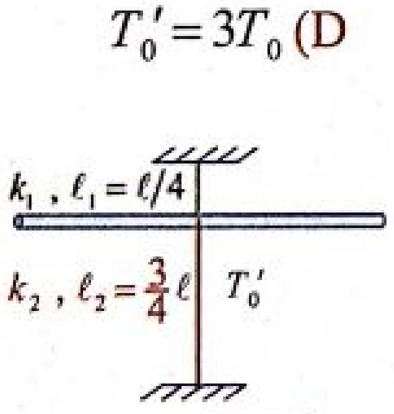
نلاحظ: من العلاقة أن الدور يتناسب طرداً مع الجذر التربيعي لطول سلك الفتل (ℓ).
لذا بتقصير طول سلك الفتل ينقص الدور.

تدرب أكثر:

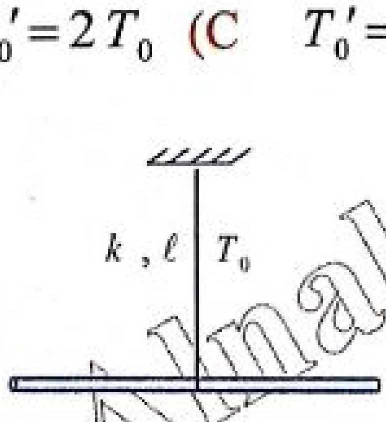
- **تمارين خارجية راجع نوطة المسائل ص 16 (هام خيار من متعدد أو طلب مسألة).**
- **تمرين:** نواس فتل دوره الخاص T_0 مكون من ساق متجانسة معلقة (من منتصفها) بسلك فتل شاقولي طوله (ℓ)، نقسم ربع سلك الفتل ثم نعلق الساق من منتصفها بربع سلك الفتل من الأعلى، والباقي من السلك من الأسفل ويثبت طرف هذا السلك من الأسفل بحيث يكون شاقولياً فيصبح دوره الخاص T_0'

$T_0' = 3T_0$ (D $\quad T_0' = 2T_0$ (C $\quad T_0' = \frac{\sqrt{3}}{4}T_0$ (B $\quad T_0' = \frac{\sqrt{3}}{2}T_0$ (A

شرح الحل:



$$T_0' = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k_1 + k_2}}$$



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

$$T_0' = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k_1 + k_2}}$$

$$k_1 = k'\frac{(2r)^4}{\frac{\ell}{4}} = 4k$$

$$k_2 = k'\frac{(2r)^4}{\frac{3}{4}\ell} = \frac{4}{3}k$$

$$T_0' = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{4k+\frac{4}{3}k}} = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{\frac{16}{3}k}} = 2\pi\sqrt{\frac{3I_\Delta}{16k}} = \frac{\sqrt{3}}{4}\times 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k}} \Rightarrow T_0' = \frac{\sqrt{3}}{4}T_0$$

ملاحظات:

1. السرعة الزاوية العظمى (طويلةً) عند المرور في وضع التوازن: $\omega_{max} = |\pm\omega_0\,\theta_{max}|$

تنعدم السرعة الزاوية عند المطالين الأعظميين: $[\pm\,\theta_{max}]$

2. التسارع الزاوي يعطى بالعلاقة : $\boxed{\bar{\alpha} = -\omega_0^2\,\bar{\theta}}$ (حفظ)

3. التشابه الشكلي بين النواس المرن ونواس الفتل:

نواس مرن (حركة جيبية انسحابية)		نواس فتل (حركة جيبية دورانية)	
مطال:	$\bar{x}$	مطال زاوي:	$\bar{\theta}$
سرعة:	$\bar{v} = (\bar{x})'_t$	سرعة زاوية:	$\bar{\omega} = (\bar{\theta})'_t$
تسارع:	$\bar{a} = (\bar{x})''_t$	تسارع زاوي:	$\bar{\alpha} = (\bar{\theta})''_t$
كتلة (عطالة):	m	عزم عطالة:	I_Δ
ثابت صلابة النابض:	k	ثابت فتل سلك التعليق:	k
قوة الإرجاع:	$\bar{F} = -k\,\bar{x}$	عزم الإرجاع:	$\bar{\Gamma}_{\eta/\Delta} = -k\,\bar{\theta}$

4. الطاقة:

الطاقة	نواس مرن	نواس فتل
الطاقة الكامنة المرونية:	$E_p = \frac{1}{2}k\,x^2$	$E_p = \frac{1}{2}k\theta^2$
الطاقة الحركية:	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$E_k = \frac{1}{2}I_\Delta\,\omega^2$
الطاقة الميكانيكية:	$E = \frac{1}{2}k\,X_{max}^2$	$E = \frac{1}{2}k\,\theta_{max}^2$

ملاحظات: راجع نوطة المسائل والدرس.

1- حل المسائل (1+ 2 + 3).

2- حل أسئلة الدرس النظري والتفكير الناقد.

3- حل المسألة العامة رقم (3).

4- امتحان بأسئلة خيار من متعدد من نوطة المسائل ص 164 من السؤال (24) إلى (33).

الدرس الثالث 3

الاهتزازات غير التوافقية: (النواس الثقلي غير المتخامد)

تمهيد:

تنتشر لعبة الأرجوحة في معظم المتنزهات، هل لاحظت حركتها؟ عند إزاحتها عن موضع توازنها تهتز إلى جانبي وضع توازنها وتتخامد الحركة لتقف بعد مدة، فهي بحاجة لإعطائها دفعة كي تهتز مجددا. والأمر مشابه لما يحدث في رقاص الساعة الجدارية إذ يتأرجح بين وضعين متناظرين، وهو يحتاج إلى تغذية حركته بتعويض الطاقة المبددة. ولعل الدراسة التجريبية والنظرية للنواس الثقلي غير المتخامد تعطي فكرة عن طبيعة الحركة وتوابعها والفائدة المرجوة منها.

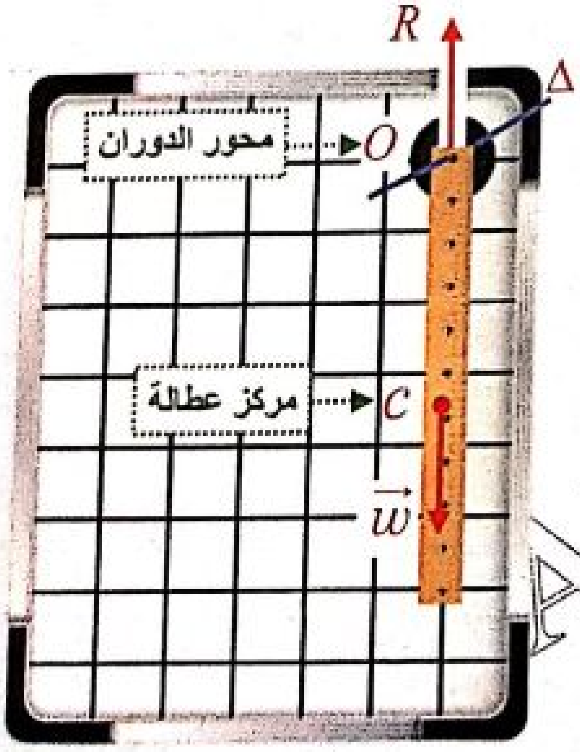
تعريف النواس الثقلي:

هو كل جسم صلب يهتز بتأثير **عزم قوة ثقله** في مستوٍ شاقولي حول محور دوران أفقي عمودي على مستويه **ولا يمر** من مركز عطالته.

نشاط (1) : (سؤال + جواب)

1- أعلق المسطرة من طرفها العلوي في النقطة O بحامل مثبت على اللوح، عموديا على مستويها الشاقولي، ليكون محور الدوران أفقيا، وأتركها تتوازن شاقوليا.

- ما القوى الخارجية المؤثرة في الساق في هذه الحالة؟



$\vec{w}$: قوة ثقل الساق

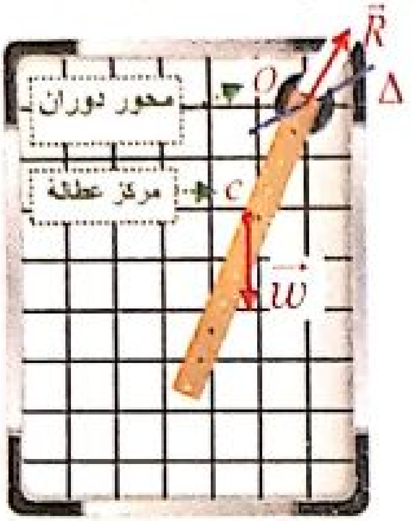
$\vec{R}$: قوة رد فعل محور الدوران

- أحدد عزوم القوى المؤثرة.

$\Gamma_{\vec{R}} = 0 \quad , \quad \Gamma_{\vec{w}} = 0$

لأن حاملي كل من القوتين $\vec{w}$ و $\vec{R}$ يمر من محور الدوران (Δ).

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



- ما نوع حركة المسطرة؟

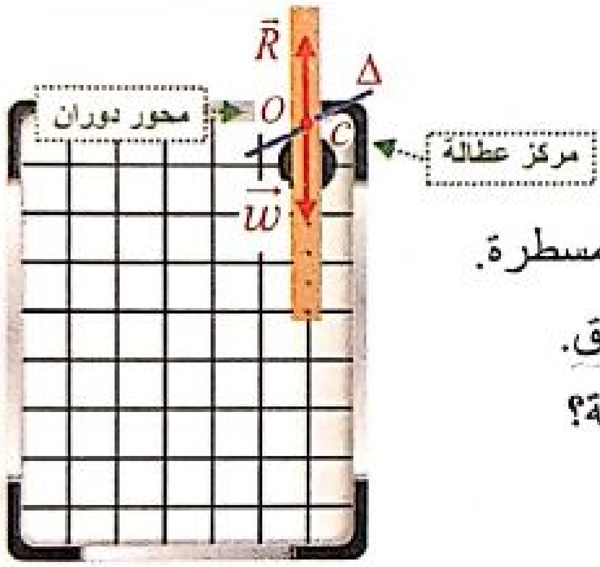
حركة اهتزازية في مستو شاقولي حول وضع التوازن.

- أحدد عزوم القوى المؤثرة في هذه الحالة.

$\overline{\Gamma}_{\vec{R}} = 0$ لأن حامل القوة يمر من محور الدوران (Δ)

$\overline{\Gamma}_{\vec{w}} = -m g d \sin\theta$ (يستنتج لاحقاً...)

3- أعلق المسطرة من ثقب في منتصفها.



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

- هل تتحرك المسطرة؟ لاتتحرك المسطرة.
- ما نوع توازن المسطرة؟ توازن مطلق.
- ما قيمة عزوم القوى المؤثرة في هذه الحالة؟

$\overline{\Gamma}_{\vec{R}} = 0 \quad , \quad \overline{\Gamma}_{\vec{w}} = 0$

لأن حاملي كل من القوتين $\vec{R}$, $\vec{w}$ يمر من محور الدوران (Δ)

الدراسة التحريكية للنواس الثقلي:

(سؤال + جواب)

- نعلق جسماً صلباً كتلته (m)، مركز عطالته (c) إلى محور دوران أفقي (Δ) مار من النقطة (O) من الجسم حيث البعد $d=oc$.
- نزيح الجسم عن موضع توازنه الشاقولي بزاوية (θ) ونتركه دون سرعة ابتدائية ليهتز في مستو شاقولي.

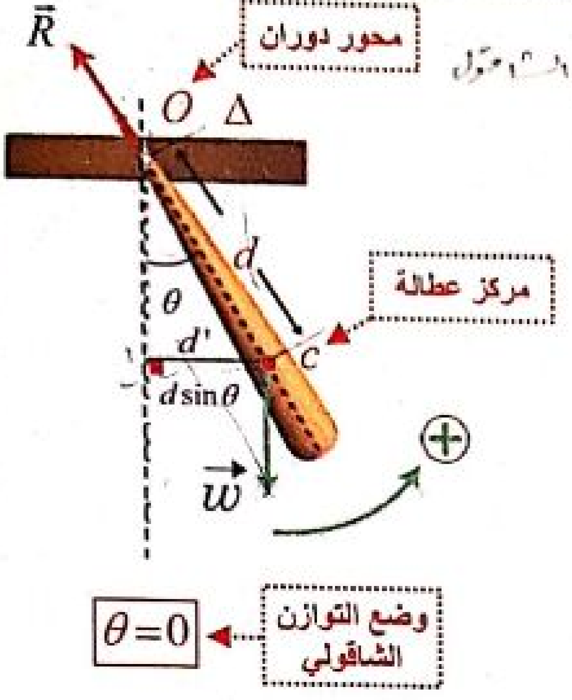
1- ما القوى المؤثرة في هذا الجسم، أحدد عزوم القوى المؤثرة في هذه الحالة واستنتج المعادلة التفاضلية. هل تقبل حلاً جيبياً، ماذا تستنتج ؟

2- كيف تصبح حركة النواس الثقلي من أجل السعات الزاوية الصغيرة $[\theta \leq 0.24 \ rad]$

3- استنتج علاقة الدور الخاص للاهتزاز في حالة السعات الصغيرة موضحاً دلالات الرموز.

الحل:

1- تؤثر في الجسم قوتان هما:



$\vec{w}$: قوة ثقله

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

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

$$\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta}\,\overline{\alpha}$$

$$\overline{\Gamma}_{\vec{w}/\Delta} + \overline{\Gamma}_{\vec{R}/\Delta} = I_{\Delta}\,\overline{\alpha} \quad (*)$$

وباختيار الجهة الموجبة للدوران عكس جهة دوران عقارب الساعة نجد:

$\overline{\Gamma}_{\vec{R}/\Delta}=0$ لأن حامل القوة $\vec{R}$ يمر من محور الدوران (Δ).

$$\left.\begin{array}{l}\overline{\Gamma}_{\vec{w}}=-d'.w\\ \sin\overline{\theta}=\dfrac{d'}{d}\Rightarrow d'=d\sin\overline{\theta}\end{array}\right]\Rightarrow \begin{array}{l}\overline{\Gamma}_{\vec{w}}=-(d\sin\overline{\theta}).w\\ \overline{\Gamma}_{\vec{w}}=-mgd\sin\overline{\theta}\end{array}$$

بالتعويض بـ $(*)$ نجد:

$$\left.\begin{array}{l}-mgd\sin\overline{\theta}+0=I_{\Delta}\,\overline{\alpha}\\ \overline{\alpha}=(\overline{\theta})_t'' \quad : \text{لكن}\end{array}\right]\Rightarrow -mgd\sin\overline{\theta}=I_{\Delta}(\overline{\theta})_t''$$

$$(\overline{\theta})_t''=-\frac{mgd}{I_{\Delta}}.\sin\overline{\theta} \qquad (**)$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تحوي $[\sin\theta]$ بدلاً من $[\theta]$ فحلها ليس جيبياً.

نستنتج: إن حركة النواس الثقلي هي حركة اهتزازية غير توافقية.

2- من أجل السعات الزاوية الصغيرة

$[\theta\leq 0.24\ rad]$ في هذه الحالة يكون $\sin\theta\approx\theta$

نعوض في العلاقة $(**)$ فنجد: $(\overline{\theta})_t''=-\dfrac{mgd}{I_{\Delta}}.\overline{\theta}$

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

سؤال دورة: انطلاقاً من المعادلة التفاضلية:

$$(\overline{\theta})_t''=-\frac{mgd}{I_{\Delta}}.\sin\overline{\theta}$$

من أجل سعات زاوية صغيرة، برهن أنّ حركة النواس الثقلي المركب غير المتخامد هي حركة جيبية دورانية، ثم استنتج علاقة الدور الخاص لهذا النواس المركب. مبيناً دلالات الرموز.

للتحقق من صحة الحل نشتق تابع المطال الزاوي مرتين بالنسبة للزمن نجد:

$$(\bar{\theta})_t' = -\omega_0 \theta_{max} \sin(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

$$(\bar{\theta})_t'' = -\omega_0^2 \theta_{max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi}) \Rightarrow (\bar{\theta})_t'' = -\omega_0^2 \bar{\theta}$$

بالمطابقة مع المعادلة التفاضلية نجد:

$$\omega_0^2 = \frac{m g d}{I_\Delta} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{m g d}{I_\Delta}} > 0$$

وهذا محقق لأن المقادير (g , m , I_Δ) موجبة.

فحركة النواس الثقلي من أجل **السعات الزاوية الصغيرة** هي حركة جيبية دورانية نبضها الخاص ω_0 .

3- لاستنتاج علاقة الدور الخاص للإهتزاز:

$$\left.\begin{aligned} \omega_0 &= \frac{2\pi}{T_0} \\ \omega_0 &= \sqrt{\frac{m g d}{I_\Delta}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \boxed{T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_\Delta}{m g d}}} \text{ (حفظ)}$$

وهي العلاقة العامة لدور النواس الثقلي المركب بسعة صغيرة.

حيث: $I_{\Delta/O}$: عزم عطالة الجسم الصلب حول محور الدوران $(kg \cdot m^2)$.

T_0: الدور الخاص للنواس الثقلي المركب بسعة صغيرة (s) .

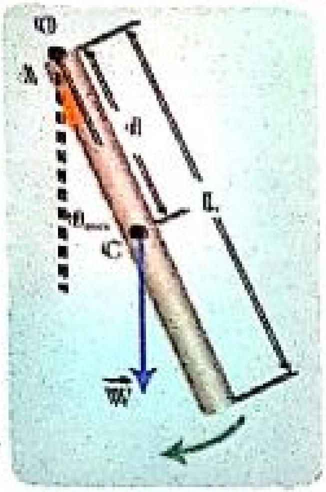
m: كتلة الجسم الصلب (kg) .

$d = OC$: بُعد محور الدوران عن مركز عطالة الجسم الصلب (m) .

لحساب $[d = OC]$: تابع فائدة (4) من نوطة المسائل ص25 مع فوائد لحل المسائل.

تطبيق: **ملاحظة: الأفضل حل التطبيق بعد دراسة الفوائد من نوطة المسائل ص (25 + 26+ 27+ 28)**

نواس ثقلي مؤلف من ساق متجانسة طولها $L = 0.375 m$ 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 انطلاقا من العلاقة العامة للدور الخاص للنواس الثقلي المركب، ثم احسب قيمتها، علما أن عزم عطالة الساق حول محور عمودي على مستويها ومار من مركز عطالتها $(I_{\Delta/c}=\frac{1}{12}ML^2)$.

الحل: يعطى دور النواس الثقلي بالعلاقة: $T_0=2\pi\sqrt{\frac{I_{\Delta/O}}{mgd}}$

لإيجاد عزم عطالة الساق حول المحور المار من O: **نطبق نظرية هايغنز:**

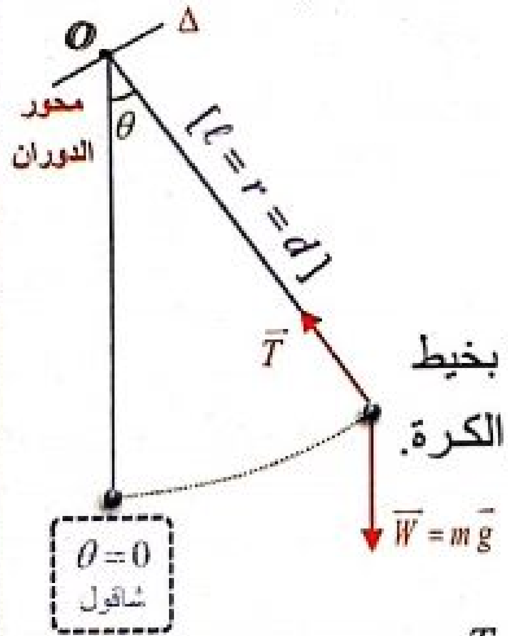
$$\left.\begin{array}{l} I_{\Delta/O}=I_{\Delta/c}+Md^2 \\ d=\frac{L}{2} \end{array}\right] \Rightarrow I_{\Delta/O}=\frac{1}{12}ML^2+M(\frac{L}{2})^2 \Rightarrow I_{\Delta/O}=\frac{1}{3}ML^2$$

نعوض في علاقة الدور:

$$T_0=2\pi\sqrt{\frac{\frac{1}{3}ML^2}{Mg\frac{L}{2}}} \Rightarrow T_0=2\pi\sqrt{\frac{2L}{3g}} \Rightarrow T_0=2\pi\sqrt{\frac{2\times 0.375}{3\times 10}}=1s$$

النواس الثقلي البسيط

سؤال دورة (2008): مم يتألف النواس الثقلي البسيط نظرياً، وكيف نحقق هذا النواس عملياً. استنتج عبارة دوره الخاص انطلاقاً من عبارة الدور الخاص للنواس الثقلي المركب من أجل النوسات صغيرة السعة.



الحل:

نظرياً: هو نقطة مادية تهتز بتأثير ثقلها على بعد ثابت [ℓ] من محور أفقي ثابت.

عملياً: كرة صغيرة، كتلتها m ،كثافتها النسبية كبيرة، معلقة بخيط مهمل الكتلة لا يمتط طوله [ℓ] كبير بالنسبة لنصف قطر الكرة.

لاستنتاج علاقة دوره الخاص بسعات زاوية صغيرة:

دور النواس الثقلي المركب بسعة صغيرة: $T_0=2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{mgd}}$

- عزم عطالة نقطة مادية تبعد مسافة (r) عن محور الدوران Δ: $I_\Delta=mr^2$
- لكن: $r=d=\ell$ نعوض:

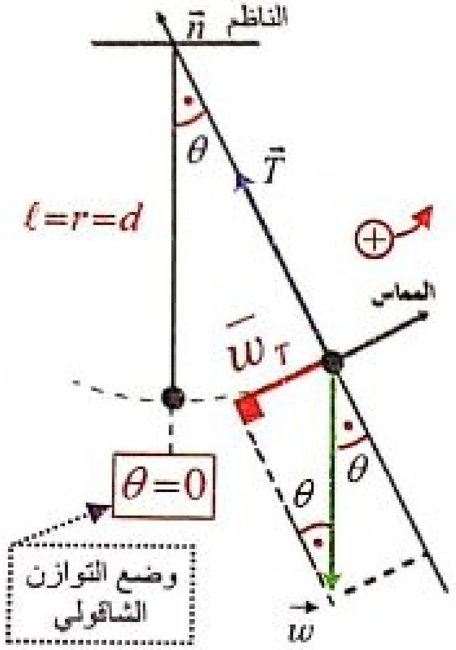
$$T_0=2\pi\sqrt{\frac{m\ell^2}{mg\ell}} \Rightarrow \boxed{T_0=2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}}$$ (حفظ)

الدراسة التحريكية:

سؤال: كرة صغيرة (m) كثافتها النسبية كبيرة نعلقها بخيط (ℓ) طويل مهمل الكتلة لايمتط ، نزيح الكرة عن وضع توازنها الشاقولي بزاوية (θ)ونتركها دون سرعة ابتدائية

والمطلوب: 1- ماطبيعة الحركة من أجل السعات الزاوية الصغيرة مستنتجاً تابعها الزمني.

2- استنتج علاقة الدور الخاص للاهتزاز.



الحل:

1- القوى الخارجية المؤثرة

$\vec{w}=m\vec{g}$: قوة ثقل الكرة.

$\vec{T}$: قوة توتر الخيط.

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن: $\sum\vec{F}=m\vec{a}$

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

بالإسقاط على المماس الموجه بجهة إزاحة الكرة:

فائدة للإسقاط: $\sin\theta=\frac{\overline{w}_T}{w}$

$\overline{w}_T=mg\sin\theta$

$-mg\sin\theta+0=m\bar{a}_t \Rightarrow -g\sin\theta=\bar{a}_t$ (*)

عكس التوجه

تذكر:

$v=\omega\times r$

$a_t=\alpha\times r$

لدينا: $\left.\begin{aligned}\bar{a}_t&=\bar{\alpha}.r\ ,\ (r=\ell)\\ \bar{\alpha}&=(\bar{\theta})_t''\end{aligned}\right] \Rightarrow \bar{a}_t=\ell\,(\bar{\theta})_t''$

نعوض في العلاقة (*) : $-g\sin\theta=\ell\,(\bar{\theta})_t'' \Rightarrow (\bar{\theta})_t''=-\frac{g}{\ell}.\sin\theta$

وفي حالة السعات الزاوية الصغيرة $[\theta\le 0.24rad]$

لدينا $[\sin\theta=\theta]$ **نعوض في العلاقة السابقة:** $\Leftarrow$ $\boxed{(\bar{\theta})_t''=-\frac{g}{\ell}.\bar{\theta}}$

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

للتحقق من صحة الحل نشتق تابع المطال مرتين بالنسبة للزمن:

$$(\bar{\theta})_t' = -\omega_0\,\theta_{max}\sin(\omega_0 t+\bar{\varphi})$$

$$(\bar{\theta})_t'' = -\omega_0^2\,\theta_{max}\cos(\omega_0 t+\bar{\varphi}) \Rightarrow (\bar{\theta})_t'' = -\omega_0^2\,\bar{\theta}$$

بالمطابقة مع المعادلة التفاضلية نجد:

$$\omega_0^2=\frac{g}{\ell} \Rightarrow \omega_0=\sqrt{\frac{g}{\ell}}>0$$

وهذا محقق لأن (ℓ , g) مقداران موجبان.

فحركة النواس الثقلي البسيط من أجل **السعات الزاوية الصغيرة** **هي حركة جيبية دورانية** نبضها الخاص ω_0 .

2- لاستنتاج علاقة الدور الخاص للإهتزاز:

$$\left.\begin{aligned}\omega_0&=\frac{2\pi}{T_0}\\ \omega_0&=\sqrt{\frac{g}{\ell}}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{2\pi}{T_0}=\sqrt{\frac{g}{\ell}} \Rightarrow \boxed{T_0=2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}\ \text{(حفظ)}}$$

وهي علاقة الدور الخاص للنواس الثقلي البسيط في السعات الزاوية الصغيرة.

أستنتج من علاقة الدور

1. لا يتعلق دور النواس البسيط بكتلته ، ولا بنوع مادة كرته.
2. النوسات صغيرة السعة لها الدور نفسه (متواقتة فيما بينها).
3. يتناسب دور النواس البسيط من أجل السعات الزاوية الصغيرة:
   - طردا مع الجذر التربيعي لطول الخيط ℓ .
   - عكسا مع الجذر التربيعي لتسارع الجاذبية الأرضية g .

ملاحظة: إن مستوي النوسان ثابت طيلة مدة إجراء التجربة.

فائدة (هام جداً): لايتعلق الدور الخاص للنواس الثقلي المركب بكتلته ويبقى الدور نفسه مهما زدنا من كتلة النواس الثقلي (أي المركب والبسيط).

نشاط: (تجارب + النتائج)

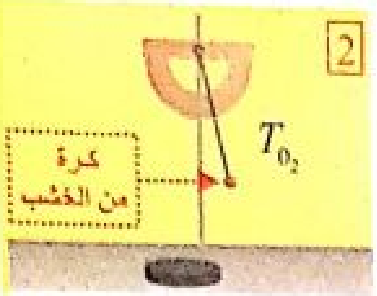
الأدوات المستعملة: كرات مختلفة الكتلة، حامل معدني، منقلة ، خيط ، ميقاتية.

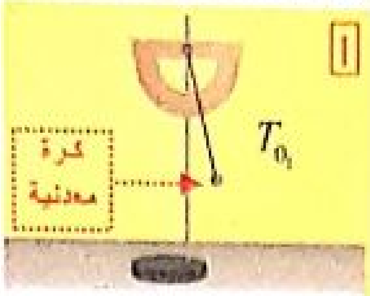
1. أعلق كرة معدنية بخيط عديم الامتطاط طوله $30\,cm$.

2. أزيح كرة النواس عن الشاقول بزاوية صغيرة 10° وأتركها دون سرعة ابتدائية.

3. أحسب زمن 10 نوسات وليكن t_1. **4.** أحسب زمن النوسة الواحدة من العلاقة $T_{0_1}=\frac{t_1}{10}$

5. أكرر التجربة السابقة باستبدال كرة أخرى من الخشب بالكرة المعدنية، وأقيس زمن 10 نوسات وليكن t_2.





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

7. أقارن بين T_{0_1} و T_{0_2}، ماذا أستنتج؟

النتيجة:

نلاحظ أن $\left[T_{0_1} = T_{0_2}\right]$ أي لا يتعلق دور النواس البسيط بكتلته ولا بنوع مادة كرته.

8. أكرر التجربة في الشكل $\boxed{1}$ من أجل زوايا مختلفة 14° , 30° , 45° أحسب زمن النوسة الواحدة. ماذا أستنتج؟

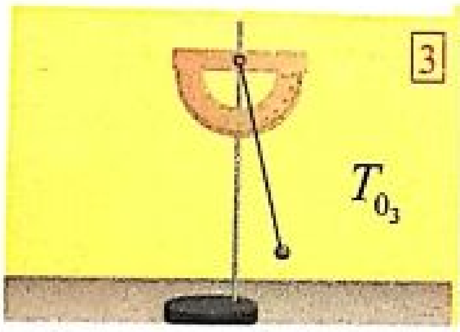
النتيجة: **الدور يتغير بتغير زاوية الإزاحة.**

أي: فقط النوسات صغيرة السعة لها الدور نفسه (متوافقة فيما بينها)

9. أكرر التجربة الأولى باستبدال الخيط بخيط آخر طوله مختلف (وليكن الخيط أطول).

10. أحسب زمن 10 نوسات وليكن t_3 ، **11.** أحسب زمن النوسة الواحدة $T_{0_3} = \frac{t_3}{10}$

12. أقارن T_{0_1} و T_{0_3} ، ماذا أستنتج؟



النتيجة: $T_{0_3} > T_{0_1}$

لأن دور النواس البسيط من أجل السعات الزاوية الصغيرة يتناسب طرداً مع الجذر التربيعي لطول الخيط (ℓ).

حيث قمنا بزيادة طول الخيط وهذا يؤدي إلى زيادة دور النواس.

13. أبين كيف يتغير الدور بتغير قيمة تسارع الجاذبية الأرضية مع ثبات طول الخيط (ثبات درجة الحرارة)؟

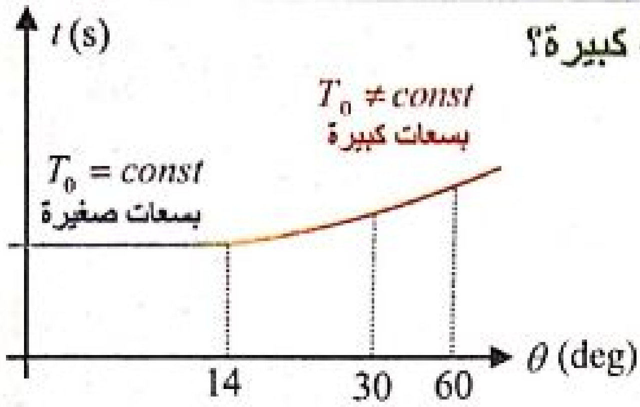
النتيجة: **يتناسب دور النواس البسيط من أجل السعات الزاوية الصغيرة عكساً مع الجذر التربيعي لتسارع الجاذبية الأرضية (g).**

ملاحظة : راجع نوطة المسائل ص 28 فائدة رقم (15) هام جداً تشرح آلية تغير طول الخيط وتغير الجاذبية وربطها مع تغير دور النواس.

الدراسة التجريبية للنواس الثقلي:

إن الدراسة السابقة للنواس الثقلي (المركب أو البسيط) كانت من أجل السعات الزاوية الصغيرة $(\theta_{max} \le 14^\circ)$ **(أي مايعادل** $\theta_{max} \le 0.24\ rad)$

ولكن كيف نحسب دور النواس إذا كانت السعة الزاوية كبيرة؟



نشاط: (سؤال + جواب)

الرسم البياني المجاور يوضح عددا من التجارب لقياس قيمة الدور عند سعات زاوية مختلفة:

1- في المجال ($\theta_{max} \leq 14^{\circ}$) على محور السعات هل قيمة الدور ثابتة؟

نعم قيمة الدور ثابتة (النوسات صغيرة السعة متواقتة فيما بينها)

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

لا ، الدور غير ثابت عند ازدياد السعة الزاوية.

3- أتساءل هل يوجد علاقة لحساب دور النواس الثقلي في حالة السعات الزاوية الكبيرة اكتب هذه العلاقة موضحاً دلالات الرموز.

علاقة لحساب الدور الخاص في حالة السعات الزاوية الكبيرة :

$$\underbrace{T_0'}_{\text{سعة كبيرة}} \simeq \underbrace{T_0}_{\text{سعة صغيرة}} \left[1+\frac{\theta_{max}^2}{16}\right] \quad \text{(حفظ)}$$

rad

حيث: T_0 : دور النواس في حالة السعات الزاوية الصغيرة (s).

T_0' : دور النواس في حالة السعات الزاوية الكبيرة (s).

θ_{max} : السعة الزاوية مقدرة بالراديان .

الطاقة الميكانيكية للنواس الثقلي البسيط:

- إن الطاقة الميكانيكية للنواس الثقلي البسيط ثابتة بإهمال القوى المبددة للطاقة، إذ يهتز بسعة زاوية ثابتة θ_{max} إلى جانبي موضع توازنه الشاقولي.
- **إن الطاقة الميكانيكية هي مجموع الطاقتين الكامنة الثقالية، والحركية** $E = E_k + E_p$

حيث أن مبدأ قياس الطاقة الكامنة الثقالية هو المستوي الأفقي المار من مركز عطالة الكرة عند مرور النواس في وضع توازنه الشاقولي.

- إذاً أثناء نوسان النواس الثقلي هناك تبادل بين طاقتيه الكامنة الثقالية والحركية، وكل نقصان في إحدى الطاقتين هو زيادة بالأخرى بحيث يبقى مجموعهما ثابتاً بكل لحظة على المسار الذي تسلكه الكرة أثناء نوسانها.

استنتاج العلاقة المحددة لسرعة كرة النواس وعلاقة توتر خيط التعليق في نقطة من مسارها:

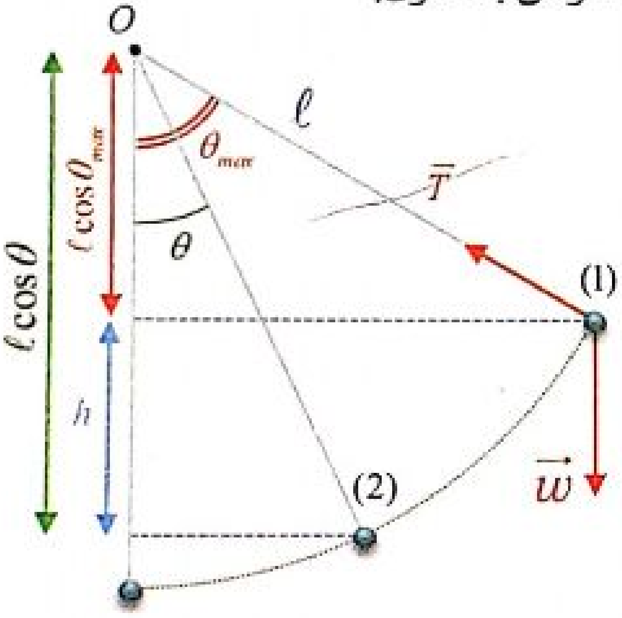
تطبيق محلول: (**ملاحظة:** الأفضل دراسة هذا التطبيق بعد حل مسائل النواس البسيط)

يتألف نواس ثقلي بسيط من كرة صغيرة كتلتها $m = 100\ g$ معلقة بخيط خفيف لا يمتط طوله $\ell = 1\ m$ ، نزيح النواس عن وضع توازنه الشاقولي بزاوية $\theta_{max} = 60°$ ونتركه دون سرعة ابتدائية. المطلوب: **(ملاحظة : يمكن اعتبار هذه الطلبات بمثابة أسئلة نظري)**

1) استنتج بالرموز العلاقة المحددة للسرعة الخطية لكرة النواس عندما يصنع الخيط مع الشاقول زاوية ما θ ، ثم احسب قيمة تلك السرعة لحظة مرور النواس بوضع توازنه الشاقولي.

2) استنتج بالرموز علاقة توتر خيط النواس البسيط في وضع يصنع مع الشاقول الزاوية θ ، وناقش العلاقة، ثم احسب شدة توتر الخيط عند مرور النواس بالشاقول.

الحل:



نواس ثقلي بسيط: $m = 100\ g\ ,\ \ell = 1\ m$

إزاحة بـ $\theta_{max} = 60°$ وترك دون سرعة بدائية:

1) استنتاج علاقة (v) لكرة النواس عندما يصنع الخيط مع الشاقول زاوية ما (θ)،

ثم حساب $v = ?$ مرور بالشاقول $\theta = 0$:

القوى الخارجية المؤثرة: $\vec{w}$: ثقل الكرة

$\vec{T}$: توتر الخيط

نطبق نظرية الطاقة الحركية بين وضعين:

الأول: تركه دون سرعة بدائية: $\theta_1 = \theta_{max}$

الثاني: مروره بوضع يصنع الخيط زاوية: $\theta_2 = \theta$

$$\overline{\Delta E_k} = \sum \overline{W_{\vec{F}}}$$

$$E_{k_2} - E_{k_1} = \overline{W_{\vec{w}}} - \overline{W_{\vec{T}}} \Rightarrow \frac{1}{2} m v^2 - 0 = m g h + 0 \Rightarrow v^2 = 2 g h$$

حيث: $\overline{W_{\vec{T}}} = 0$ لأن حامل $\vec{T}$ يعامد الانتقال في كل لحظة ، $E_{k_1} = 0$

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

$$v^2 = 2\, g \ell [\cos\theta - \cos\theta_{max}] \Rightarrow \boxed{v = \sqrt{2\, g \ell [\cos\theta - \cos\theta_{max}]}}$$

هي العلاقة المطلوبة

لحساب $v = ?$ **مرور بالشاقول** $\theta = 0$: $\cos 0 = 1$

تصبح علاقة السرعة:

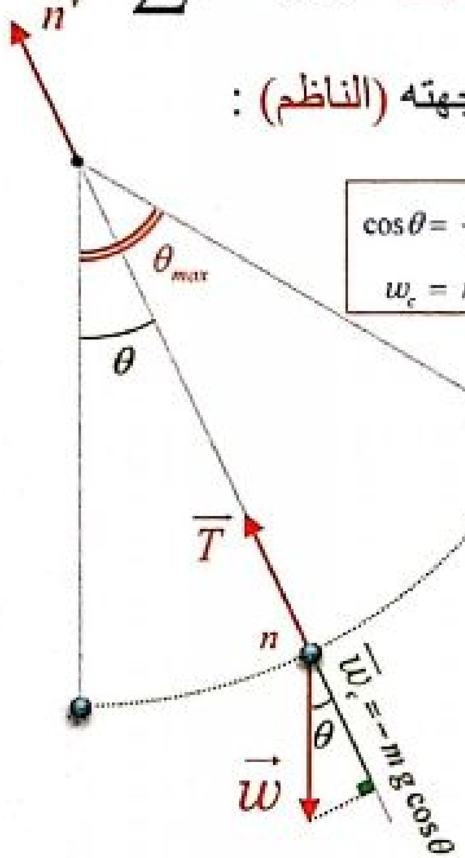
$$v = \sqrt{2\, g \ell\, (1 - \cos\theta_{max})} \Rightarrow v = \sqrt{2 \times 10 \times 1 (1 - \tfrac{1}{2})} = \sqrt{10}\ m \cdot s^{-1}$$

2) استنتاج علاقة (T) بوضع يصنع الخيط زاوية (θ) ، ناقش العلاقة.
ثم احسب $T = ?$ مرور بالشاقول $(\theta = 0)$.

القوى الخارجية المؤثرة في كرة النواس: $\vec{w}$: ثقل الكرة. ، $\vec{T}$: توتر الخيط.

نطبق العلاقة الأساسية في التحريك: $\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{w} + \vec{T} = m\vec{a}$

بإسقاط طرفي العلاقة على محور ينطبق على حامل $\vec{T}$ وبجهته (الناظم) :



$$\cos\theta = \frac{w_c}{w}$$
$$w_c = mg\cos\theta$$

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{v^2}{\ell}$$
(التسارع الناظمي)

$$-mg\cos\theta + T = m\,a_c$$

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

نعوض بعبارة (v^2) من الطلب السابق:

$$T = \frac{m}{\cancel{\ell}} \times 2g\cancel{\ell}[\cos\theta - \cos\theta_{max}] + mg\cos\theta$$

$$T = mg[2\cos\theta - 2\cos\theta_{max} + \cos\theta]$$

$$\boxed{T = mg\,[3\cos\theta - 2\cos\theta_{max}\,]}$$ هي العلاقة المطلوبة

حالة خاصة عند المرور بالشاقول $\theta = 0$: **يصبح شكل العلاقة:** $T = mg(3 - 2\cos\theta_{max})$

المناقشة: إن قيمة التوتر T تتغير أثناء الحركة وذلك بتغير θ :

1) تأخذ قيمة صغرى عندما $\theta = \theta_{max}$ ، نعوض:

$$T = mg\cos\theta_{max} \Rightarrow T = 0.1 \times 10 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}\ N$$

2) تأخذ T قيمة عظمى عند المرور بالشاقول $\theta = 0$ ، نعوض:

$$T = 0.1 \times 10\ [3 \times 1 - 2 \times \frac{1}{2}] = 2\ N$$

ملاحظات: المطلوب دراسته من نوطة المسائل :

1- فوائد لحل مسائل النواس ص (25 + 26 + 27 + 28) **هام جداً نتعلم كيف تكون بداية الحل لكل طلب.**

2- دراسة فائدة ضبط الميقاتية ص 18 نوطة.✓

3- حل أسئلة الدرس النظري والتفكير الناقد ثم يصلح من نوطة المسائل.✓

4- حل ودراسة مسائل الدرس **مع الطلبات الإضافية.** **5-** حل ودراسة المسائل العامة (4 + 5 + 6).

6- إجراء امتحان بمسألة (دورة 2016) موجود حلها بنوطة المسائل ص 38.

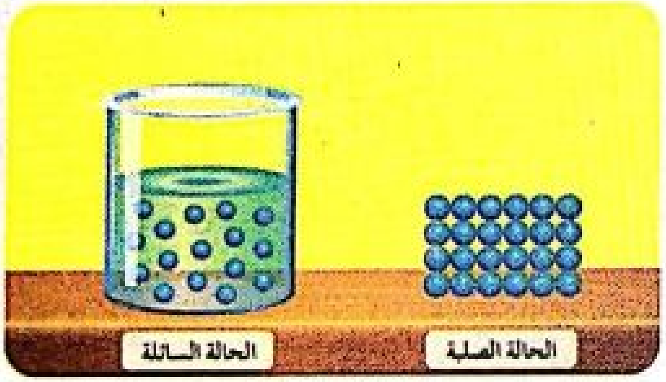
7- امتحان بسؤال خيار من متعدد من نوطة المسائل ص 166 من رقم (34) إلى (42)

الدرس الرابع 4

ميكانيك السوائل المتحركة

تمهيد: للسوائل دور حيوي في حياتنا، فتدور في أجسامنا عبر الأوردة والشرايين، وتطفو السفن على سطحها ، وتتحرك في محركات السيارات وأجهزة التكييف.

ما المقصود بالسائل؟ وما القوانين التي تحكم حركتها؟



السائل:

نشاط (1): ألاحظ الشكل جانبا:

1. أميز بين قوى الترابط بين الجزيئات في الحالة السائلة والصلبة ؟
2. أفسر قدرة السوائل على حرية الحركة والجريان.
3. أفسر قدرة الغازات على إشغال كامل حجم الوعاء الذي يحتويها.

أستنتج

تتميز السوائل بقوى تماسك ضعيفة نسبيا بين جزيئاتها؛ فهي لا تحافظ على شكلٍ معين، وتتحرك جزيئاتها بحيث تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه، وهي تستجيب بسهولة للقوى الخارجية التي تحاول تغيير شكلها.

الخصائص الميكانيكية للسوائل المتحركة:

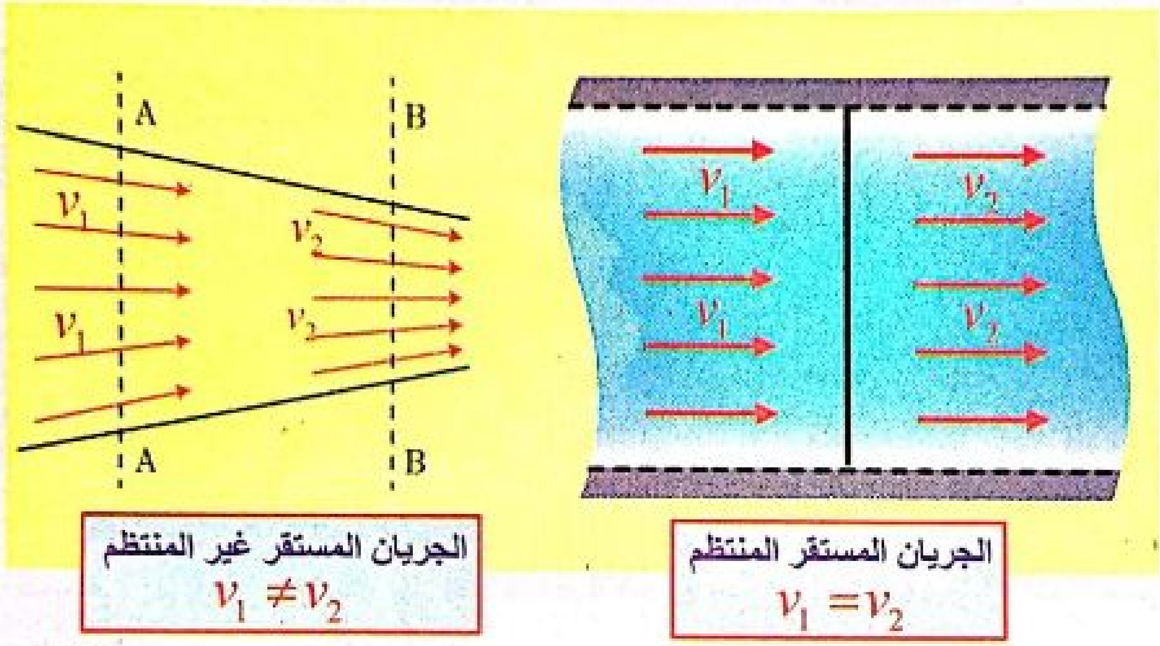
تتميز السوائل بقدرتها على الجريان بتأثير قوى خارجية، ولوصف حركتها عند لحظة ما يجب معرفة 1- كثافة السائل ، 2- ضغطه ، 3 - سرعته ، 4- درجة حرارته.

ولتسهيل دراسة السوائل فإننا ندرس **جسيم السائل** : وهو جزء من السائل أبعاده صغيرة جداً بالنسبة لأبعاد السائل وكبيرة بالنسبة لأبعاد جزيئات السائل.

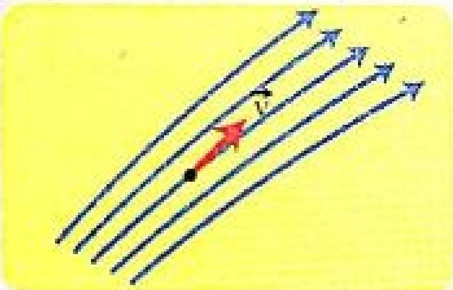
تعاريف أساسية:

1- الجريان المستقر: هو الجريان الذي تكون فيه سرعة جسيمات السائل 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 السائل بمرور الزمن فإن الجريان المستقر يكون منتظما.

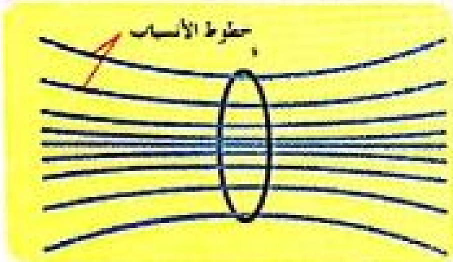


2- خط الانسياب (خط الجريان):



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

3- أنبوب التدفق:



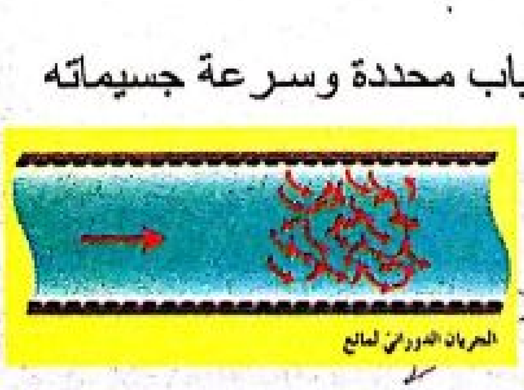
هو أنبوب وهمي ينتج من اجتماع خطوط الانسياب المارة من منحنٍ مغلق داخل السائل.

4- ميزات السائل المثالي:

سؤال دورة (2013 + 2014) اكتب مع الشرح الميزات التي يتمتع بها السائل المثالي.

يتمتع السائل المثالي بالميزات الآتية :

1. **غير قابل للانضغاط:** كتلته الحجمية ثابتة مع مرور الزمن.
2. **عديم اللزوجة:** قوى الاحتكاك الداخلي بين مكوناته مهملة عندما تتحرك بالنسبة لبعضها البعض، وبالتالي لا يوجد ضياع للطاقة.
3. **جريانه مستقر:** أي أن حركة جسيماته لها خطوط انسياب محددة 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:



سؤال أعط تفسيراً علمياً : السائل المثالي تبقى طاقته الميكانيكية ثابتة أثناء جريانه؟

الجواب: لأنه عديم اللزوجة وقوى الاحتكاك الداخلي بين مكوناته مهملة عندما تتحرك بالنسبة لبعضها البعض، وبالتالي لا يوجد ضياع للطاقة.

معادلة الاستمرارية:

أجرب وأستنتج: لإجراء التجربة أحتاج إلى: محقن بلاستيكي ذو مكبس قابل للحركة، إبرة معدنية قابلة للتثبيت بطرف المحقن، ماء، كوب زجاجي.

خطوات التجربة + النتائج :

1- أثبت الإبرة المعدنية بالمحقن البلاستيكي. 2- أضع قليلا من الماء في الكوب الزجاجي

3- أضع رأس الإبرة في كوب الماء وأسحب المكبس، ماذا الاحظ؟ **الاحظ:** دخول الماء إلى المحقن.

4- أسحب الإبرة من كوب الماء ، وأدفع المكبس ببطء، وأراقب سرعة تدفق الماء من رأس الإبرة ، ماذا ألاحظ ؟ **ألاحظ:** خروج الماء بسرعة v_1

5- أعيد سحب الماء من الكوب بعد نزع الإبرة المعدنية من مكانها، وأدفع المكبس بالقوة السابقة نفسها، ماذا ألاحظ؟ **ألاحظ:** خروج الماء بسرعة v_2 وبالمقارنة نجد أن $v_1 > v_2$

النتيجة: تزداد سرعة تدفق السائل من الأنبوب بنقصان مساحة مقطع الأنبوب الذي يتدفق السائل من خلاله.

تعاريف:

- **معدل التدفق الكتلي Q لسائل (مانع) :** هو كتلة كمية السائل التي تعبر مقطع الأنبوب في واحدة الزمن ، **ونعبر عنه بالعلاقة:**

$$\boxed{Q = \frac{m}{\Delta t}}$$ **(حفظ)** وتقدر في الجملة الدولية بواحدة $\left[kg.s^{-1}\right]$

- **معدل التدفق الحجمي Q' لسائل (مانع) :** هو حجم كمية السائل التي تعبر مقطع الأنبوب في واحدة الزمن ، **ونعبر عنه بالعلاقة:**

$$\boxed{Q' = \frac{V}{\Delta t}}$$ **(حفظ)** وتقدر في الجملة الدولية بواحدة $\left[m^3.s^{-1}\right]$

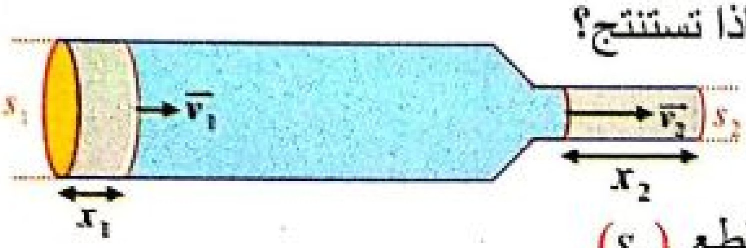
ملاحظة: معدل التدفق الحجمي Q' لسائل يسمى أيضاً معدل الضخ.

ملاحظة: الربط بين Q و Q' بالعلاقة: $\boxed{Q = \rho Q'}$ $\Leftarrow$ $Q = \dfrac{m}{\Delta t} = \dfrac{\rho V}{\Delta t} = \rho Q'$

الاستنتاج الرياضي لمعادلة الاستمرارية:

سؤال: بافتراض سائل يتحرك داخل أنبوب مساحة كل من مقطعي طرفيه تختلف عن الأخرى s_2 , s_1، وكمية السائل التي تدخل الأنبوب عند المقطع s_1 في مدة زمنية معينة تساوي كمية السائل التي تخرج من المقطع s_2 للأنبوب في المدة الزمنية نفسها (السائل لا يتجمع داخل الأنبوب ويملؤه تماما، وجريانه مستقر):

والمطلوب: استنتاج معادلة الاستمرارية ، وماذا تستنتج؟



الجواب:

- بفرض أن (v_1) سرعة السائل عبر المقطع (s_1)، (v_2) سرعة السائل عبر المقطع (s_2)
- إن حجم كمية السائل التي تعبر المقطع (s_1) لمسافة (x_1) في الزمن (Δt) يكون:

$$V_1 = s_1 x_1$$
لكن: $x_1 = v_1 \Delta t$ $\Rightarrow V_1 = s_1 v_1 \Delta t$

- وحجم كمية السائل التي تعبر المقطع (s_2) لمسافة (x_2) في الزمن (Δt) يكون:

$$V_2 = s_2 x_2$$
لكن: $x_2 = v_2 \Delta t$ $\Rightarrow V_2 = s_2 v_2 \Delta t$

- وبما أن (حجم كمية السائل التي عبرت المقطع s_1) = (حجم كمية السائل التي عبرت المقطع s_2 في المدة الزمنية نفسها)

فإن:
$$Q_1' = Q_2'$$

$$\frac{V_1}{\Delta t} = \frac{V_2}{\Delta t} \Rightarrow \frac{s_1 v_1 \cancel{\Delta t}}{\cancel{\Delta t}} = \frac{s_2 v_2 \cancel{\Delta t}}{\cancel{\Delta t}} \Rightarrow s_1 v_1 = s_2 v_2$$

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

لدينا:
$$Q' = \frac{V}{\Delta t} = \frac{s\, v\, \Delta t}{\Delta t}$$
$$\boxed{Q' = s\, v} \text{ (حفظ)}$$

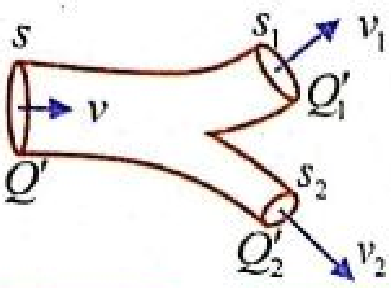
النتيجة:

إن سرعة تدفق السائل تتناسب عكساً مع مساحة مقطع الأنبوب الذي يتدفق منه السائل.

بشكل عام يمكننا أن نكتب: $\boxed{Q' = s_1 v_1 = s_2 v_2 = const}$ (حفظ)

فائدة: لحل مسألة رقم (3) :

لدينا من الشكل الموضح جانباً: $\boxed{Q' = Q_1' + Q'}$



بحالة خاصة:

1. إذا كان $s_2 = s_1 \Leftarrow Q_2' = Q_1' \Leftarrow \boxed{Q' = 2Q_1'}$

2. إذا كان لدينا (n) فتحة متماثلة، مساحة كل فتحة (s_1) $\boxed{s\,v = n\, s_1 v_1} \Rightarrow \boxed{Q' = n\, Q_1'}$

سؤال: خرطوم يدخل الماء فيه من فوهة نصف قطرها (r_1) وسرعة جريان الماء عند تلك الفوهة (v_1) فتكون سرعة خروج الماء (v_2) من نهاية الخرطوم حيث نصف قطرها $(r_2 = 2r_1)$ مساويةً:

A) $v_2 = \frac{1}{2} v_1$ B) $v_2 = \frac{1}{4} v_1$ C) $v_2 = 4v_1$ D) $v_2 = v_1$

الشرح:

$$s_1 v_1 = s_2 v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{\cancel{\pi} r_1^2 \times v_1}{\cancel{\pi} r_2^2} = \frac{\cancel{r_1^2} \times v_1}{4 \cancel{r_1^2}} = \frac{v_1}{4}$$

طريقة ثانية:

$$r_2 = 2\,r_1 \Rightarrow s_2 = 4\,s_1$$

(**حيث:** $s_2 = \pi\, r_2^2 = \pi\,(2r_1)^2 = 4\,\pi\, r_1^2 = 4\,s_1$)

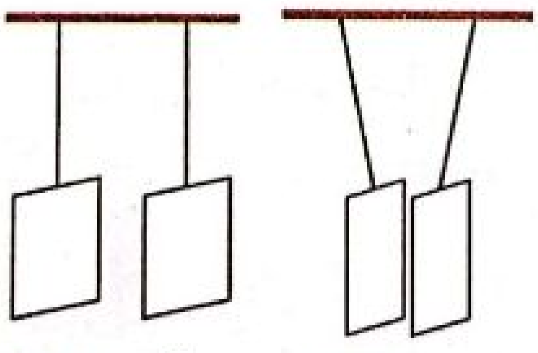
وبما أن سرعة تدفق السائل تتناسب عكساً مع سطح المقطع، فإنه عندما يزداد السطح 4 مرات

$\Leftarrow$ تتناقص السرعة 4 مرات أي: $v_2 = \frac{v_1}{4}$.

معادلة برنولي في الجريان المستقر:

نشاط (1): (تجربة + نتائج)

لإجراء النشاط أحتاج إلى: خيوط،
أنبوب بلاستيكي مقطعه صغير ، ورقتان.



بعد النفخ قبل النفخ

خطوات تنفيذ النشاط:

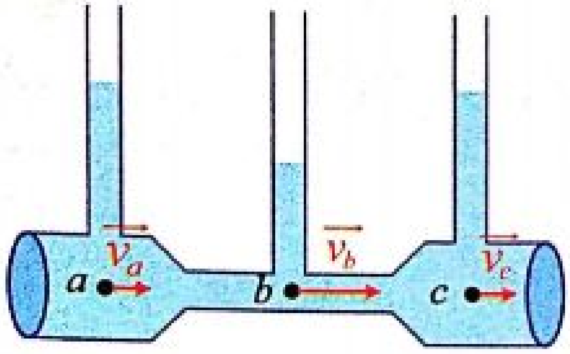
1. أعلق كل من الورقتين بخيط شاقولي، وأجعلهما متقابلتين.

2. أنفخ بينهما بقوة بواسطة الأنبوب، ماذا ألاحظ؟ **ألاحظ من الشكل:**

أستنتج

ينقص ضغط السائل كلما ازدادت سرعته.

نشاط (2) : (سؤال + جواب)



في الشكل المجاور سائل جريانه مستقر عبر أنبوب أفقي ذي مقاطع مختلفة.

1- عند أي النقاط تكون سرعة جسيم السائل أكبر؟

عند النقطة (b) ، والسبب لأن $(s_b < s_c \ , \ s_b < s_a)$.

ونلاحظ أيضاً إن الطاقة الحركية قد ازدادت عند المرور في النقطة (b).

2- أفسر سبب اختلاف ارتفاع سوية السائل في الأنابيب الشاقولية عند النقاط a,b,c.

إن ضغط السائل يتغير إذا مرّ في منطقة تتغير فيها سرعة جريانه.

(أو ارتفاعه عن سطح الأرض).

3- من أين تأتي الزيادة في الطاقة الحركية لجسيم السائل عند المرور بالنقطة b ؟

وأين تذهب تلك الطاقة عند النقطتين c,a علما أن 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:

نص نظرية برنولي

إن مجموع الضغط والطاقة الحركية لواحدة الحجوم، والطاقة الكامنة الثقالية لواحدة الحجوم تساوي مقدارا ثابتا عند أي نقطة من نقاط خط الانسياب لسائل جريانه مستقر.

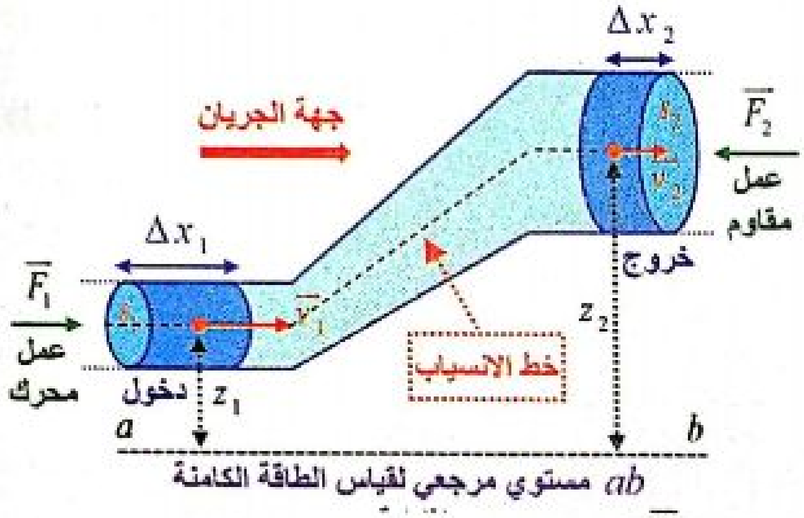
الاستنتاج الرياضي لمعادلة برنولي:

سؤال: عندما تمر كمية صغيرة من السائل بين مقطعين حيث مساحة المقطع الأول s_1 ، والضغط عنده p_1، وسرعة الجريان فيه v_1 ، والارتفاع عن مستو مرجعي z_1. ومساحة المقطع الثاني s_2، والضغط عنده p_2، وسرعة الجريان فيه v_2 ، والارتفاع عن المستوي المرجعي z_2.

المطلوب:

- استنتج عبارة العمل الكلي المبذول لتحريك كتلة السائل من المقطع الأول إلى المقطع الثاني.
- استنتج العبارة الرياضية المعبرة عن معادلة برنولي ، ثم اذكر نص نظرية برنولي.

(أو **يطلب** انطلاقاً من عبارة العمل الكلي المبذول .... استنتج العبارة الرياضية المعبرة عن معادلة برنولي)

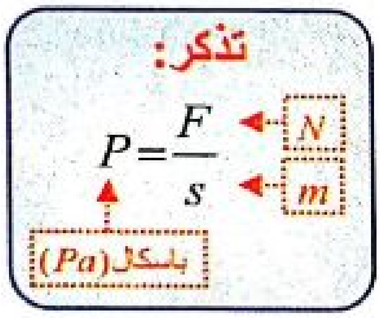


الحل:

- إن العمل الكلي المبذول لتحريك كتلة السائل من المقطع الأول إلى المقطع الثاني يساوي مجموع عمل قوة الثقل وعمل قوة ضغط السائل.

$$\overline{W}_{tot} = \overline{W}_w + \overline{W}_1 + \overline{W}_2$$

عمل كلي — عمل قوة الثقل — عمل قوة ضغط السائل عند المقطع S_1 — عمل قوة ضغط السائل عند المقطع S_2



- **عمل قوة الثقل:** $\overline{W}_w = -mg(z_2 - z_1)$

- **عمل قوة ضغط السائل:**

- **يتأثر سطح المقطع** s_1 بقوة F_1 لها جهة الجريان ، وتنتقل نقطة تأثيرها مسافة قدرها Δx_1 في مدة زمنية Δt فتقوم بعمل محرك (موجب).

$$\left.\begin{array}{l} W_1 = F_1 \Delta x_1 \\ F_1 = P_1 s_1 \quad \text{لكن:} \end{array}\right] \Rightarrow W_1 = P_1 s_1 \Delta x_1 \Rightarrow \boxed{W_1 = P_1 \Delta V}$$

حيث: $\Delta V = S_1 \Delta x_1$ {حجم كمية السائل التي تعبر المقطع (s_1) في المدة 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 في المدة الزمنية Δt فتقوم بعمل مقاوم (سالب)

$$\left.\begin{array}{l} W_2 = -F_2 \Delta x_2 \\ F_2 = P_2 s_2 \quad \text{لكن:} \end{array}\right] \Rightarrow W_2 = -P_2 s_2 \Delta x_2 \Rightarrow \boxed{W_2 = -P_2 \Delta V}$$

حيث: $\Delta V = S_2\, \Delta x_2$ حجم كمية السائل التي تعبر المقطع (S_2) هي نفسها التي تعبر المقطع (S_1) خلال الزمن (Δt) نفسه وذلك لأن السائل غير قابل للانضغاط.

- نعوض في عبارة العمل الكلي:

$$\overline{W}_{tot} = \overline{W}_w + \overline{W}_1 + \overline{W}_2$$

$$\overline{W}_{tot} = -mg(z_2 - z_1) + P_1 \Delta V - P_2 \Delta V \Rightarrow \overline{W}_{tot} = -mg(z_2 - z_1) + (P_1 - P_2)\Delta V$$

- وبحسب مصونية الطاقة **(بتطبيق نظرية الطاقة الحركية)**:

$$W_{tot} = \Delta E_k \Rightarrow W_{tot} = E_{k_2} - E_{k_1}$$

نعوض:

$$-mg(z_2 - z_1) + (P_1 - P_2)\Delta V = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

نقسم طرفي العلاقة على (ΔV) **ولدينا:** $\rho = \frac{m}{\Delta V}$

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

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

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = const$$ **وهي معادلة برنولي (حفظ)**

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

نص نظرية برنولي: إن مجموع الضغط والطاقة الحركية لواحدة الحجوم، والطاقة الكامنة الثقالية لواحدة الحجوم تساوي مقداراً ثابتاً عند أي نقطة من نقاط خط الانسياب لسائل جريانه مستقر.

فائدة (لسهولة الحفظ):

- يمثل الحد: $\left[\rho g z = \frac{mgz}{\Delta V} = \frac{E_p}{\Delta V}\right]$ الطاقة الكامنة الثقالية **لواحدة الحجوم** من السائل.

- يمثل الحد: $\left[\frac{1}{2}\rho v^2 = \frac{1}{2}\frac{m v^2}{\Delta V} = \frac{E_k}{\Delta V}\right]$ الطاقة الحركية **لواحدة الحجوم** من السائل.

ملاحظة:

يجب أن يمثل الضغط (P) طاقة واحدة الحجوم أيضاً.

وبذلك حتى تتناسق واحدات الكميات الواردة في المعادلة يمكن أن نتحقق من ذلك لو كتبنا واحدة الضغط فنجد:

$$1\ Pa = 1\,\frac{N}{m^2} = 1\,\frac{N.m}{m^3} = 1\,\frac{J}{m^3}$$

طاقة

واحدة الحجوم

سؤال: فسر علمياً انطلاقاً من معادلة برنولي: إذا كان الأنبوب أفقياً أي عندما $(z_1 = z_2)$ يزداد الضغط للسائل في نقطة منه عندما تقل السرعة.

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

عندما يكون الأنبوب أفقياً $(z_1 = z_2)$:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \Rightarrow P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho\,(v_2^2 - v_1^2)$$

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

نستنتج أن ضغط السائل يقل عندما تزداد سرعته لأن السوية نفسها وكون $[\rho = const]$، وبالتالي يزداد الضغط بنقصان السرعة **(وهذا يفسر رقم (2) من النشاط السابق)** .

تطبيقات على معادلة برنولي:

1- سكون السوائل ومعادلة المانومتر:

سؤال: انطلاقاً من معادلة برنولي استنتج معادلة المانومتر بفرض أن السائل ساكن **(قانون الضغط في السوائل الساكنة).**

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

بفرض أن السائل ساكن في الأنبوب أي أن : $v_1 = v_2 = 0$

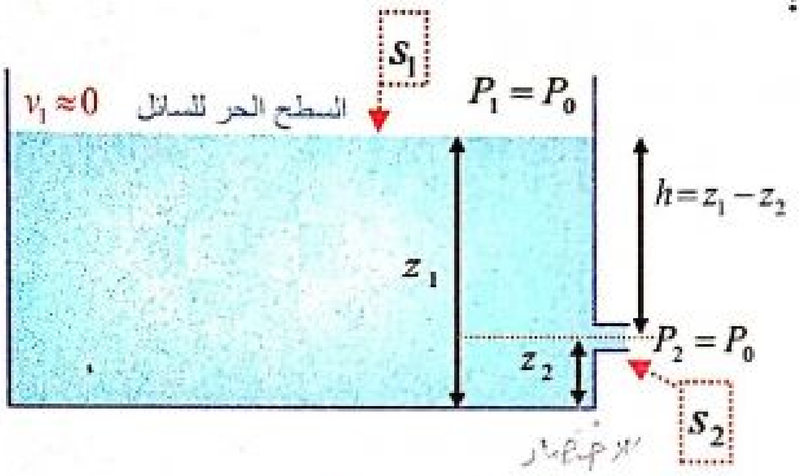
$$P_1 - P_2 = \rho g z_2 - \rho g z_1 \Rightarrow P_1 - P_2 = \rho g (z_2 - z_1)$$

$$\Rightarrow \boxed{P_1 - P_2 = \rho g h \text{ (حفظ)}} \quad (h = z_2 - z_1 \text{ :حيث})$$

وهذه معادلة المانومتر (قانون الضغط في السوائل الساكنة).

2- نظرية تورشيللي:

سؤال دورة 2015: خزان يحتوي على سائل كتلته الحجمية (ρ) مساحة سطح مقطعه (s_1) كبير بالنسبة لفتحة جانبية (s_2) صغيرة تقع قرب قعره وعلى عمق $(h = z_1 - z_2)$ من السطح الحر للسائل، انطلاقاً من معادلة برنولي استنتج بالرموز علاقة السرعة التي يخرج بها السائل من الفتحة الجانبية (s_2) ؟



الحل:

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

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

إن السطح المفتوح و الفتحة معرضتان للضغط الجوي النظامي ولذلك $P_1 = P_2 = P_0$

وبما أن السرعة v_1 مهملة بالنسبة للسرعة v_2 نأخذ $(v_1 \approx 0)$

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

$$\Rightarrow \frac{1}{2} v_2^2 = g z_1 - g z_2 \Rightarrow v_2^2 = 2g(z_1 - z_2) \Rightarrow \boxed{v_2 = \sqrt{2gh}} \text{ (حفظ)}$$

إن سرعة خروج السائل تساوي السرعة التي يسقط بها جسيم السائل سقوطاً حراً من ارتفاع h . **تدعى العلاقة السابقة بنظرية تورشيللي**، وتنطبق على أي فتحة في الوعاء، سواء في قعره كانت أم في جداره الجانبي.

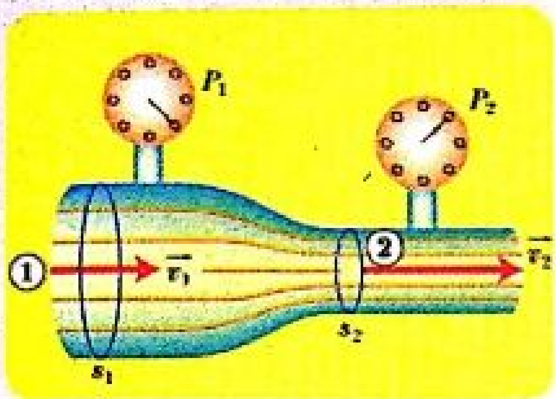
3- أنبوب فنتوري:

سؤال: أنبوب مساحة مقطعه (s_1) يجري فيه سائل بسرعة (v_1) في منطقة ضغطها (P_1) ، فيصل لاختناق مساحته (s_2) في منطقة ضغطها (P_2). **المطلوب:**

1- ماذا يسمى هذا الأنبوب .

2- انطلاقاً من معادلة برنولي استنتج علاقة فرق الضغط بين الجذع الرئيسي والإختناق.

- ماذا تستنتج من هذه العلاقة؟ • ماهي الفائدة الطبية من هذه الخاصة؟



الجواب:

1- يسمى أنبوب فنتوري

2- نطبق معادلة برنولي بين النقطتين (1 و 2)

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

وبما أن النقطتين (1 و 2) تقعان في المستوي الأفقي نفسه $(z_1 = z_2)$

$$P_1+\frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2+\frac{1}{2}\rho v_2^2 \Rightarrow P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho\,(v_2^2-v_1^2)$$

ولكن : $s_1 v_1 = s_2 v_2 \Rightarrow v_2=\frac{s_1}{s_2}v_1$

نعوض في العلاقة السابقة نجد:

$$P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho\left[\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2 v_1^2-v_1^2\right] \Rightarrow \boxed{P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho\left[\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2-1\right]v_1^2}$$

ويقاس فرق الضغط بين النقطتين باستخدام جهاز قياس الضغط .

- نستنتج من العلاقة السابقة: بما أن $s_1 > s_2 \Leftarrow P_1 > P_2$

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

- يستفاد من هذه الخاصية في الطب، فقد تتناقص مساحة مقطع الشرايين في منطقة ما نتيجة تراكم الدهون والشحوم،وهذا يعيق جريان الدم في هذه الشرايين،ويتناقص ضغط الدم في المقاطع المتضيقة عن قيمته الطبيعية اللازمة لمقاومة الضغوط الخارجية.

ملاحظة: **تُربط المقادير كما يلي:** P تنقص , v تزداد , S تنقص

ملاحظات:

1- راجع نوطة المسائل لحفظ القوانين والفوائد ص 40.✓
2- دراسة أسئلة الدرس النظري والتفكير الناقد.✓
3- حل ودراسة مسائل الدرس (1 + 2 + 3 + 4)✓
4- حل ودراسة مسألة عامة رقم (7) ✓
5- إجراء امتحان حل مسألة (دورة 2014 + 2016) ص 45 نوطة المسائل ✓
6- إجراء امتحان بسؤال خيار من متعدد من نوطة المسائل ص 167 + ص 168✓ 646

الدرس الخامس 5

النسبية الخاصة

تمهيد:

- 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؟**
- النظرية النسبية الخاصة تصف حركة الأجسام التي تتحرك بسرعة قريبة من سرعة انتشار الضوء.

فرضيتا أينشتاين:

أتساءل وأجيب : (سؤال + جواب)

1- يطلق شخص متحرك سهما بجهة حركته، هل تختلف سرعة السهم بالنسبة للشخص الذي أطلق السهم عنها بالنسبة لمراقب آخر يقف ساكنا على الطريق؟

- سرعة السهم بالنسبة للشخص المتحرك هي السرعة التي أطلق بها السهم.
- سرعة السهم بالنسبة لمراقب ساكن هي السرعة التي أطلق بها السهم ويضاف إليها سرعة الشخص المتحرك.

أستنتج

السرعة مفهومٌ نسبيٌ تختلف باختلاف جملة المقارنة.

2- لو أضاء شخص متحرك مصباحا بجهة حركته ، هل تتوقع أن تكون سرعة الضوء الصادر عن المصباح بالنسبة للشخص هي نفسها تماما بالنسبة لمراقب ساكن؟ نعم

أستنتج

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 يطلق بجهة دوران الأرض حول الشمس، وسرعة شعاع ضوئي معامد له، في تجربتهما لإثبات وجود الأثير الذي كان يعتقد أنه وسط انتشار الضوء، لكن التجربة أخفقت في إثبات ذلك، لأن سرعة انتشار الضوء كانت نفسها في جميع الحالات. إن تجربة مايكلسون- مورلي كانت من أسباب نجاح النظرية النسبية لأينشتاين، الذي نفى وجود الأثير، وأكد ثبات سرعة الضوء في وسط محدد مهما اختلفت سرعة المنبع الضوئي أو سرعة المراقب.

سؤال: اذكر الفرضيتين التي وضعهما أينشتاين في النسبية الخاصة. **الجواب:**

1- الفرضية الأولى: سرعة انتشار الضوء في الخلاء هي نفسها $c = 3\times10^{8}\, m.s^{-1}$ في جميع جمل المقارنة.

2- الفرضية الثانية : القوانين الفيزيائية تبقى نفسها في جميع جمل المقارنة العطالية.

أفكر: (سؤال + جواب)

أجريت تجربة حساب تسارع الجاذبية الأرضية بوساطة النواس الثقلي البسيط في مخبر المدرسة، ثم كررت التجربة السابقة ضمن باص يسير بحركة مستقيمة منتظمة.

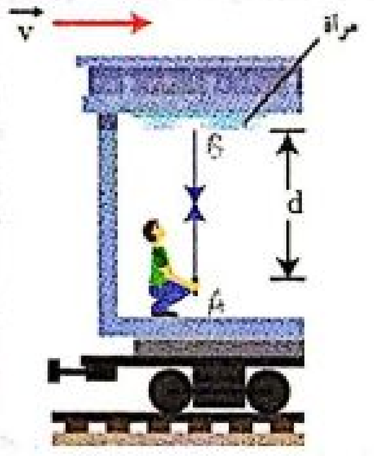
1- هل ستختلف نتائج التجربتين؟ لاتختلف نتائج التجربتين.

2- هل ينطبق ذلك على جميع القوانين الفيزيائية؟ نعم وهذا وفق الفرضية الثانية لأينشتاين.

ملاحظة: جمل المقارنة العطالية هي جملة يكون فيها التسارع معدوم.
وهي الجمل التي تتحرك بحركة مستقيمة منتظمة.

تمدد الزمن:

بفرض أن القطار يسير بسرعة ثابتة v، مثبت على سقف إحدى عرباته مرآة مستوية ترتفع مسافة d عن منبع ضوئي.



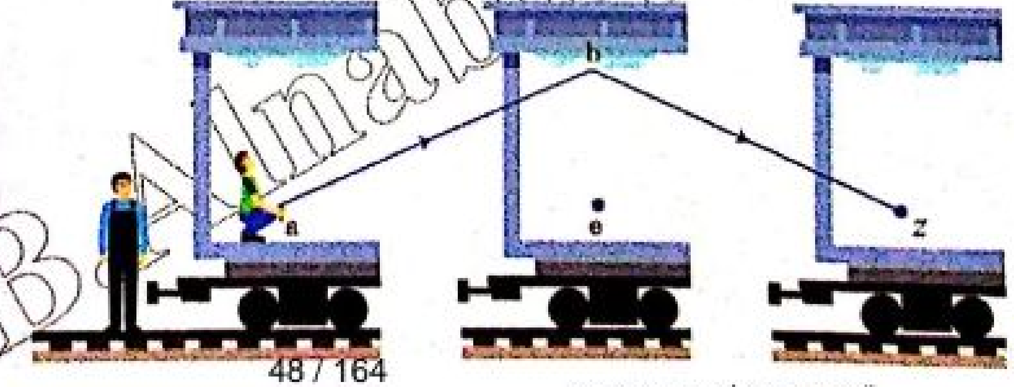
$\boxed{t_0}$ زمن يقيسه المراقب الداخلي الساكن داخل العربة. و المتحرك بالنسبة للمراقب الخارجي.

- **المراقب الساكن داخل العربة ذاتها** يرسل ومضة ضوئية باتجاه المرآة.

- يسجل الزمن (t_0) (زمن حقيقي) الذي تستغرقه الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع قاطعاً مسافة شاقولية $(2d)$ بسرعة الشعاع الضوئي c:

$$2d = ct_0 \Rightarrow d = \frac{ct_0}{2} \Rightarrow \boxed{t_0 = \frac{2d}{c}} \quad (1)$$

- **المراقب الخارجي:**



$\boxed{t}$ زمن يقيسه المراقب الخارجي الساكن

- بالنسبة للمراقب الخارجي الذي يقف ساكناً خارج القطار وعلى استقامة واحدة مع المنبع الضوئي لحظة إصدار الومضة الضوئية.
فإن الزمن الذي تستغرقه الومضة الضوئية للعودة إلى المنبع هو (t).

أتساءل: هل t تساوي t_0 ؟

- بالنسبة للمراقب الخارجي تقطع الومضة الضوئية مسافة $[ab+bz=2ab]$ بسرعة الشعاع الضوئي c **(وفق النظرية النسبية الخاصة فإن سرعة الضوء لاتتغير بتغير المراقب).**

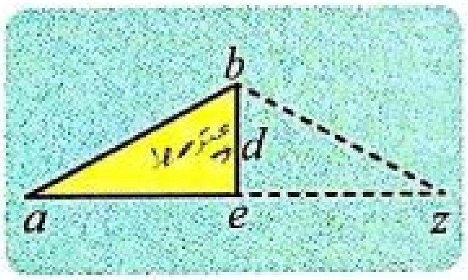
$$2\,ab = c\,t \Rightarrow \boxed{ab=\frac{ct}{2}}$$

انتقال الضوء

- والمنبع انتقل من a إلى z أي قطع مسافة $[ae+ez=2ae]$ بسرعة v خلال الزمن t.

$$2ae=vt \Rightarrow \boxed{ae=\frac{vt}{2}}$$

انتقال المنبع



- بتطبيق نظرية فيثاغورث في المثلث القائم (abe) نجد:

$$(ab)^2=(ae)^2+(be)^2$$

$$\frac{c^2t^2}{4}=\frac{v^2t^2}{4}+d^2 \Rightarrow \frac{c^2t^2}{4}-\frac{v^2t^2}{4}=d^2$$

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

- بقسمة العلاقة (2) إلى (1) نجد:

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

ندعو النسبة : $\gamma=\frac{t}{t_0}$ معامل تمدد الزمن **وبالتالي :** $\boxed{\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}$

بما أن : $c>v \Rightarrow \gamma>1$

أستنتج

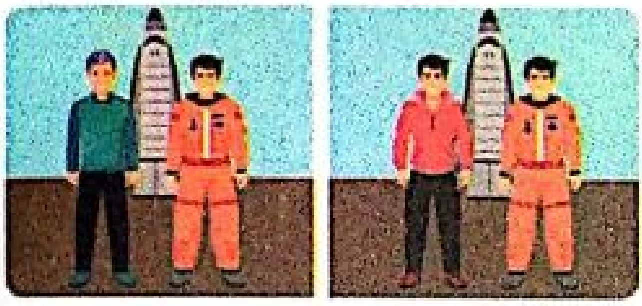
يتمدد (يتباطئ) الزمن عند الحركة

$$\gamma=\frac{t}{t_0}>1 \Rightarrow \boxed{t=\gamma t_0} \text{ (حفظ)}$$

$t_0 < t$

وهذا يفسر كيف قطع الضوء مسافة أكبر بالسرعة نفسها (c) $\boxed{t=\gamma t_0}$

وبما أن : $t > t_0 \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow [c > v]$.



تطبيق: (مفارقة التوأمان)

بفرض أن أخوين توأمين أحدهما رائد فضاء طار بسرعة قريبة من سرعة الضوء في الخلاء $\left[v=\frac{\sqrt{899}}{30}c\right]$ وبقي رائد الفضاء في رحلته سنة واحدة وفق ميقاتية يحملها، فما الزمن الذي انتظره أخوه التوأم على الأرض ليعود رائد الفضاء من رحلته؟

الحل:

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

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

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

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{(\frac{\sqrt{899}}{30}c)^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{899}{900}}}=\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{900}}}=30 \Rightarrow t=30\times1=30\,year$$

أي أن الأخ الأول **(المراقب الأرضي)** انتظر ثلاثين عاماً حتى انتهت رحلة أخيه الثاني **(رائد الفضاء)** التي استغرقت بالنسبة له عاماً واحداً.

ملاحظة: للتوضيح بشكل آخر 😄😄

نعتبر رائد الفضاء هو الشاب سعيد وعمره $(25year)$ وخطيبته نانسي وعمرها $(25year)$ تنتظره على الأرض .

وعندما يعود الشاب سعيد من رحلته التي استغرقت بالنسبة له سنة. يكون قد أصبح عمر خطيبته نانسي $[25+30=55\,year]$

أي أنها قد أصبحت عجوز بالنسبة له وبالتالي على سعيد 😞 أن ينسى نانسي ويبدأ البحث من جديد على عروس تناسبه.

تقلص الأطوال:

سؤال: تخيل مـراقبيـن

الأول: في محطة إطلاق على الأرض (مـراقب خارجي ساكن)

الثاني: هو روبوت في مـركـبة فضـاء(مـراقب داخلي متحرك بالنسبة للمـراقب الأول). انطلق مـن محطة الإطلاق على الأرض نحو الشمس بسـرعة ثابتة (v) بالنسبة للمـراقب الأول.

المطلوب: أبيـن هل المسافة المقطوعة بيـن الأرض والشمس التي تسجلها عدادات كل مـن المـراقبيـن متساوية ، وذلك مـن خلال استنتاج العلاقة بيـن المسافتين التي يقيسها كل مـن المـراقبيـن .ماذا تستنتج؟

مخطط لسهولة وفهم الاستنتاج

المراقب الأول	شمس	المراقب الثاني
خارجي ساكن في محطة الإطلاق على الأرض		روبوت في محطة الفضاء مراقب داخلي متحرك بالنسبة للمراقب الأول
• زمن يسجله t		• زمن يسجله t_0
• المسافة المقطوعة L_0'		• المسافة المقطوعة L'
• طول المركبة L		• طول المركبة L_0

الحل:

- **المـراقب الأول:** تسجل العدادات في المحطة على الأرض.
  المسافة بيـن الأرض والشمس L_0'.
  والزمـن الذي استغرقته مـركـبة الفضـاء في رحلتها t فيكون: $\boxed{L_0' = v\,t}$ (1)

- **المـراقب الثاني:** تسجل عدادات مـركـبة الفضـاء المسافة المقطوعة بيـن الأرض والشمس L' وزمـن الرحلة t_0 فيكون: (2) $\boxed{L' = v\,t_0}$.

- نقسم (1) على (2): $\frac{L_0'}{L'} = \frac{t}{t_0}$

- لكن الزمـن الذي استغرقته رحلة المـركبة الفضائية يتمدد بالنسبة للمـراقب الأول، أي: $t = \gamma\, t_0$

- نعوض في العلاقة السابقة: $\frac{L_0'}{L'} = \frac{\gamma\, t_0}{t_0} \Rightarrow \frac{L_0'}{L'} = \gamma \Rightarrow \boxed{L' = \frac{L_0'}{\gamma}}$

- نستنتج : بما أن $c > v \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow L' < L_0'$

مسافة يقيسها المراقب الثاني (L') — مسافة حقيقية يقيسها المراقب الأول (L_0')

وبذلك نستنتج أن المسافتين غير متساويتين.

أي إن المسافة التي يقيسها المراقب الثاني المتحرك بالنسبة للمراقب الأول أقصر من المسافة الحقيقية التي يقيسها المراقب الأول الساكن.

أما بالنسبة لطول المركبة الفضائية (وفق منحى سرعتها) :

- **طولها** (L) : بالنسبة للمراقب الأرضي **(المراقب الساكن في المحطة).** حيث أن المركبة الفضائية متحركة بالنسبة له.
- **طولها** (L_0) : بالنسبة للمراقب في المركبة الفضائية حيث أن المركبة الفضائية ساكنة بالنسبة له **(وهو الطول الحقيقي).**

وبذلك نستنتج:

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

طول المركبة بالنسبة للمراقب الأول (L) — طول حقيقي بالنسبة للمراقب الثاني (L_0)

أي أن طول المركبة بالنسبة للمراقب الأرضي أقصر مما هو عليه بالنسبة للمراقب في المركبة الفضائية.

سؤال دورة 2020: أعط تفسيراً علميا باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة وفق الميكانيك النسبي: عندما يكون الجسم متحركاً بالنسبة لجملة مقارنة فإن طوله يتقلص وفق قياس جملة المقارنة تلك.

الحل:

$$L = \frac{L_0}{\gamma} \quad , \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$v < c \Rightarrow \gamma > 1 \Rightarrow L < L_0$$

أستنتج

يتقلص (ينكمش) الطول عند الحركة

للتمييز:

المسافة	الطول
$L' < L_0'$ L': مسافة أقصر يقيسها المراقب الداخلي المتحرك بالنسبة للمراقب الخارجي L_0': مسافة حقيقية يقيسها المراقب الأول الخارجي الساكن	$L < L_0$ L: طول أقصر يقيسه المراقب الخارجي الساكن L_0: الطول الحقيقي بالنسبة للمراقب الداخلي
أي : المسافة تنقص بالنسبة للمراقب الثاني المتحرك بالنسبة للمراقب الأول	**أي: الطول ينقص (ينكمش) بالنسبة للمراقب الأول الساكن بالنسبة للمراقب الثاني.**

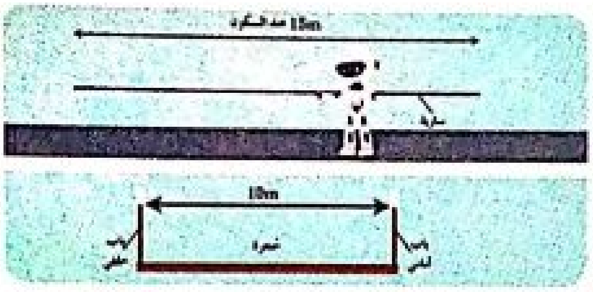
ملاحظة للمسائل: بالنسبة لمراقب خارجي (ساكن)

إذا تحرك جسم بسرعة v $\quad (v < c \Leftarrow \gamma > 1)$

الزمن يتمدد : $t = \gamma\, t_0 \Leftarrow$ زمن حقيقي $\rightarrow t > t_0 \rightarrow$ يتمدد الزمن بالنسبة للمراقب الأرضي الساكن

الطول ينكمش : $L = \frac{L_0}{\gamma} \Leftarrow$ طول حقيقي $\rightarrow L < L_0 \rightarrow$ يتقلص الطول بالنسبة للمراقب الأرضي الساكن

تطبيق (السارية والحُجرة)



بفرض أن روبوتاً رياضياً يحمل سارية أفقية طولها وهي ساكنة $15m$ ،يتحرك بسرعة أفقية $0.8c$ وأمامه حجرة لها بابان أمامي وخلفي، البعد بينهما $10m$، يمكن التحكم بفتحهما، وإغلاقهما آنيا بالنسبة لمراقب ساكن، هل يمكن أن تعبر السارية الحُجرة بأمان إذا أغلق المراقب الساكن البابين وفتحهما آنيا(بالنسبة له)عند عبور الروبوت مع السارية للحُجرة؟

الحل: يعد المراقب الساكن طول السارية المتحركة L وطولها وهي ساكنة L_0

طول السارية وهي ساكنة $L_0=15m$, $v=0.8c$, **البعد بين البابين** $\Delta x=10m$

الفكرة: نحسب $L=?$ **(طول السارية المتحركة بالنسبة للمراقب الساكن).**

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

نحسب $\gamma=?$

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{(0.8c)^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma=\frac{1}{\sqrt{1-0.64}}=\frac{1}{\sqrt{0.36}}=\frac{1}{0.6}$$

$$L=\frac{L_0}{\gamma}=\frac{15}{\frac{1}{0.6}} \Rightarrow L=9\ m<10m$$

لذا يمكن أن تعبر السارية بأمان **(بالنسبة للمراقب الساكن).**

تكافؤ الكتلة ـ طاقة

الكتلة ثابتة في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة انتشار الضوء في الخلاء.

أما وفق الميكانيك النسبي فإن الكتلة تزداد بزيادة السرعة، وتعطى بالعلاقة:

$$\boxed{m=\gamma\, m_0}$$

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

سؤال:

وفق الميكانيك النسبي نعلم أن الكتلة تزداد بزيادة السرعة وتعطى بالعلاقة : $m=\gamma\, m_0$

من أين أتت هذه الزيادة في الكتلة، مستنتجاً العلاقة الرياضية التي تبرهن أنه عندما يتحرك الجسم تزداد كتلته وتكافئ طاقة.

الحل : 53

- $\Delta m = m - m_0 \Rightarrow \Delta m = \gamma m_0 - m_0 \Rightarrow \Delta m = m_0(\gamma - 1)$

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

- من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء : $v < c \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} << 1$

وبتطبيق دستور التقريب: $\boxed{(1+\bar{\varepsilon})^n \approx 1 + n\bar{\varepsilon} \quad : \text{يعد } \varepsilon << 1}$ فإن :

$$\Delta m = m_0\left[1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2} - 1\right] \Rightarrow \Delta m = \frac{\frac{1}{2} m_0 v^2}{c^2} \Rightarrow \boxed{\Delta m = \frac{E_k}{c^2}}$$

أستنتج

عندما يتحرك الجسم تزداد كتلته بمقدار يساوي طاقته الحركية مقسوماً على رقم ثابت $[c^2]$ ، **أي الكتلة تكافئ الطاقة**

الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي:

سؤال: استنتج عبارة الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي انطلاقاً من العلاقة $\left[\Delta m = \frac{E_k}{c^2}\right]$ موضحاً دلالات الرموز . وماذا تستنتج؟

الحل:

$$\Delta m = \frac{E_k}{c^2} \Rightarrow m - m_0 = \frac{E_k}{c^2} \Rightarrow mc^2 - m_0c^2 = E_k$$

$$\Rightarrow mc^2 = m_0c^2 + E_k \Rightarrow \boxed{E = E_0 + E_k}$$

النتيجة: إن الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي هو مجموع الطاقة السكونية والطاقة الحركية.

إذاً: الطاقة الكلية: $E = mc^2$ (حفظ)

الطاقة السكونية: $E_0 = m_0c^2$ (حفظ)

الطاقة الحركية: $E_k = E - E_0$ (حفظ)

سؤال دورة 2020: أعط تفسيراً علميا باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة وفق الميكانيك النسبي: جسم ساكن على سطح الأرض فإن طاقته الكلية النسبية غير معدومة. **الحل:**

- **لأن الجسم يملك طاقة سكونية** تعطى بالعلاقة: $E_0 = m_0c^2$
- الطاقة الكلية: $E = E_k + E_0$

$$\left.\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} m_0 v^2 \\ v &= 0 \ \text{الجسم ساكن} \end{aligned}\right] \Rightarrow E_k = 0$$

$$E = E_0 \neq 0$$

ملاحظات : نستطيع أيضا كتابة القوانين السابقة بالشكل التالي:

1) $E=mc^2 \Rightarrow \boxed{E=\gamma m_0 c^2} \Rightarrow \boxed{E=\gamma E_0}$

2) $E_k=E-E_0 \Rightarrow E_k=mc^2-m_0c^2 \Rightarrow E_k=\gamma m_0 c^2-m_0c^2 \Rightarrow \boxed{E_k=(\gamma-1)\,m_0 c^2}$

تطبيق: يتحرك إلكترون في أنبوبة تلفاز بطاقة حركية $27\times10^{-16}\ J$

1. احسب النسبة المئوية للزيادة في كتلة الإلكترون نتيجة طاقته الحركية.

2. أحسب طاقته السكونية. علماً أن $m_e=9\times10^{-31}\,kg\ ,\ c=3\times10^8\,m.s^{-1}$

الحل:

-1 $E_k=E-E_0 \Rightarrow E_k=mc^2-m_0c^2 \Rightarrow E_k=(m-m_0)\,c^2$

$$m-m_0=\frac{E_k}{c^2} \Rightarrow \Delta m=\frac{E_k}{c^2} \Rightarrow \Delta m=\frac{27\times10^{-16}}{(3\times10^8)^2}=3\times10^{-32}\,kg$$

كل $m_e=9\times10^{-31}\,kg$ تزداد كتلتها $\Delta m=3\times10^{-32}\,kg$

كل $100\,kg$ تزداد كتلتها x

$$x=\frac{3\times10^{-32}\times100}{9\times10^{-31}}=\frac{10}{3}=3.33\ \%$$ (النسبة المئوية)

-2 طاقة الإلكترون السكونية:

$$E_0=m_0c^2 \Rightarrow E_0=9\times10^{-31}\times(3\times10^8)^2 \Rightarrow E_0=81\times10^{-15}\ J$$

متى أطبق قوانين النسبية:

إن أسرع وسيلة نقل للإنسان حالياً هي مكوك الفضاء الذي تبلغ سرعته تقريبا $27870\ km.h^{-1}$، أقارن هذه السرعة بسرعة الضوء في الخلاء، هل تعد قريبة منها؟ فهل من المفيد تطبيق القوانين النسبية لدراسة حركة مكوك الفضاء؟

ملاحظة: إن قيمة سرعة انتشار الضوء بواحدة

$$c=3\times10^8\,m.s^{-1} \Rightarrow c=\frac{3\times10^8\times10^{-3}}{\frac{1}{3600}} \Rightarrow c=108\times10^7\,km.h^{-1}$$

نلاحظ أن: $v \ll c$ (سرعة المكوك)

إذاً لاتحتاج دراسة حركة مكوك الفضاء تطبيق قوانين النسبية الخاصة.

أستنتج

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

سؤال: انطلاقاً من علاقة الطاقة الحركية في الميكانيك النسبي استنتج علاقة الطاقة الحركية في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء في الخلاء.

الحل:

- الطاقة الحركية في الميكانيك النسبي:

$$E_k = E - E_0 \Rightarrow E_k = mc^2 - m_0 c^2 \Rightarrow E_k = \gamma m_0 c^2 - m_0 c^2$$

$$\Rightarrow E_k = (\gamma - 1)\, m_0 c^2 \quad (*)$$

- من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء في الخلاء: $v << c \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} << 1$

وبتطبيق دستور التقريب: $\boxed{(1+\varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon \quad : \text{يعد} \quad \varepsilon << 1}$

فإن :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma = (1-\frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}} \Rightarrow \gamma \approx 1 + \frac{1}{2}.\frac{v^2}{c^2}$$

نعوض عن (γ) في العلاقة $(*)$ فنجد:

$$E_k = (\cancel{1} + \frac{1}{2}.\frac{v^2}{\cancel{c^2}} - \cancel{1})\, m_0 \cancel{c^2} \Rightarrow \boxed{E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2}$$

وهي علاقة الطاقة الحركية في الميكانيك الكلاسيكي.

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

الحل:

- من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء في الخلاء: $v << c \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} << 1$

وبتطبيق دستور التقريب: $\boxed{(1+\varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon \quad : \text{يعد} \quad \varepsilon << 1}$

فإن :

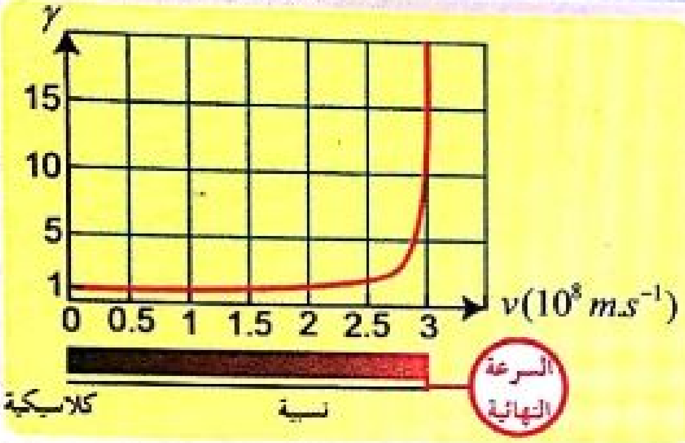
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \gamma = (1-\frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}} \Rightarrow \gamma \approx 1 + \frac{1}{2}.\frac{v^2}{c^2}$$

- تعطى علاقة كمية الحركة في الميكانيك النسبي:

$$P = mv \Rightarrow P = \gamma\, m_0 v \Rightarrow P = (1 + \frac{1}{2}.\frac{v^2}{c^2})\, m_0 v$$

إذا تناهت (v) إلى قيمة صغيرة بالنسبة لسرعة الضوء في الخلاء

فإن $\left[\frac{v^2}{c^2} << 1\right]$ أي تهمل لصغرها $\Leftarrow \boxed{P = m_0 v}$ **هي علاقة كمية الحركة في الميكانيك الكلاسيكي.**



ملاحظة:

الميكانيك النسبي أكثر شمولية من الميكانيك الكلاسيكي لأن قوانين الميكانيك النسبي تؤول إلى ماكانت عليه في الميكانيك الكلاسيكي عندما $v << c$.

تعلمت:

- ينتشر الضوء في الخلاء بالسرعة نفسها $c=3\times10^8\,m.s^{-1}$ 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 متحركا بالنسبة لجملة مقارنة فإن زمنه يتمدد وفق قياس جملة المقارنة تلك

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

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

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

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

$$\boxed{m=\gamma\, m_0}$$

- إن الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي هي مجموع الطاقة السكونية والطاقة الحركية.
- إذ: الطاقة السكونية: $\boxed{E_0=m_0c^2}$ الطاقة الحركية: $\boxed{E_k=E-E_0}$ الطاقة الكلية: $\boxed{E=m\,c^2}$
- تؤول العلاقات في الميكانيك النسبي إلى العلاقات في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة جدا أمام سرعة الضوء في الخلاء.

ملاحظات:

1- راجع نوطة المسائل ص 46 لحفظ القوانين (مايجب تذكره) ✓
2- حل ودراسة أسئلة الدرس النظري (اختبر نفسي) ✓
3- حل ودراسة مسائل الدرس (1 + 2 + 3) ✓
4- حل ودراسة المسائل العامة (8)
5- اجراء امتحان بسؤال خيار من متعدد نوطة المسائل ص 168 + ص 169 ✓

ملاحظة:
راجع الكتاب ص 63 للاطلاع على الإضاءة + الإثراء

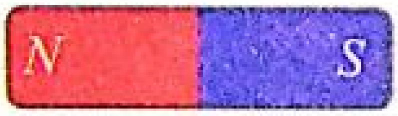
الدرس الأول 1

المغناطيسية:

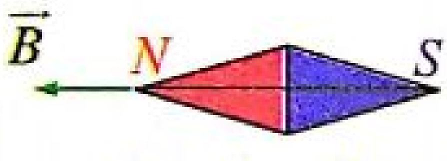
تمهيد: القطار المغناطيسي قطار يعمل بقوة الرفع المغناطيسية، أي أنه يعتمد في عمله بشكل أساسي على المغناطيس، ويتميز هذا القطار بأنه لا يحتوي على محركات ميكانيكية ولا يستطيع السير على القضبان الحديدية، لذلك فهو يطفو في الهواء بالاعتماد على الوسادة المغناطيسية التي تعمل على تشكيل مجالات كهرومغناطيسية قوية، وأكثر ما يميز هذا النوع من القطارات أن سرعته مرتفعة جدا، ومن المعروف أنه عند تقريب مغناطيسين من بعضهما البعض، فإننا نلاحظ حدوث التجاذب بين الأقطاب المختلفة، حيث يعمل كل مغناطيس على توليد حقل مغناطيسي يؤثر به على المغناطيس الآخر، وبالتالي نستطيع تعليق الأشياء، وبناء على ذلك تم تطوير وتصنيع هذا النوع من القطارات، ويتم تصميم القطار المغناطيسي وفقا لإحدى التقنيتين، إما نظام التعليق الكهروديناميكي أو نظام التعليق الكهرومغناطيسي.

- تأخذ الظواهر المغناطيسية أهمية متنامية في حياتنا اليومية فنجد أن سماعة الهاتف تحتوي مغناطيسا كما أن المولدات الكهربائية والمحركات الكهربائية البسيطة وأشرطة التسجيل ومشغلات الأقراص الصلبة داخل أجهزة الحاسوب جميعها تعتمد على الآثار المغناطيسية، ويستعمل المغناطيس الكهربائي أيضا لرفع الكتل الحديدية الكبيرة. **فما المغناطيس؟ وما المواد المغناطيسية؟ وما المواد غير المغناطيسية؟ وما الحقل المغناطيسي؟ وما علاقته بالتيار الكهربائي؟**

تذكر معلومات عن المغناطيس:



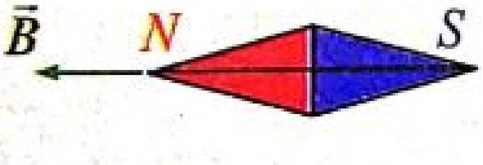
- **المغناطيس:** كل جسم يمتاز بخاصية جذب الأجسام الحديدية إليه (فولاذ ، نيكل ، كوبالت) ولكل مغناطيس قطبان أحداهما قطب شمالي (N) والآخر قطب جنوبي (S). لا يمكن فصلهما عن بعضهما، القطبان المتماثلان يتنافران والمختلفان يتجاذبان.



- **الإبرة المغناطيسية:** هي قطعة مغناطيسية رقيقة جداً وصغيرة وخفيفة وتكون حرة الحركة.

سؤال: كيف يمكن تحديد عناصر شعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ في نقطة من الحقل ؟

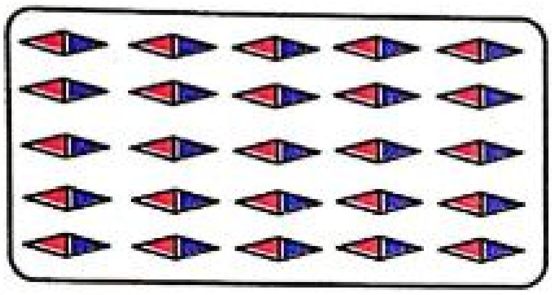
الجواب: يمكن تحديد عناصر شعاع الحقل المغناطيسي لمغناطيس بوساطة إبرة مغناطيسية موضوعة في النقطة المراد تعيين شعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ فيها بعد استقرارها:



- **الحامل:** المستقيم الواصل بين قطبي الإبرة المغناطيسية.
- **الجهة:** من القطب الجنوبي للإبرة إلى قطبها الشمالي.
- **الشدة:** تزداد بازدياد سرعة اهتزاز الإبرة المغناطيسية في تلك النقطة، وتقدر في الجملة الدولية بواحدة التسلا T.

مفهوم الحقل المغناطيسي:

أجرب واستنتج

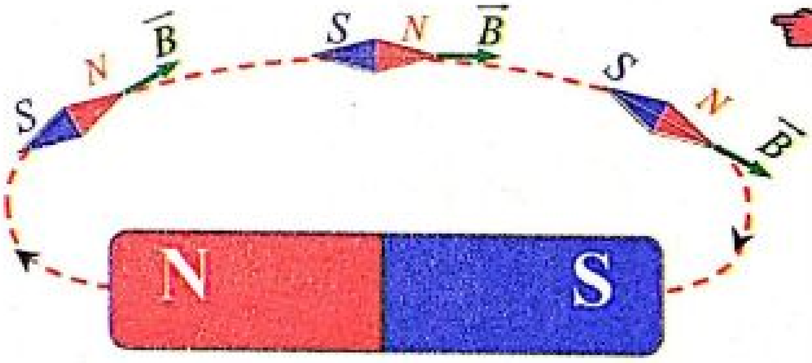


خطوات التجربة : (سؤال + جواب)

1- أضع علبة الأبر المغناطيسية بعيدا عن تأثير أي مغناطيس، وألاحظ كيف تستقر كل إبرة منها ، أرسم منحى استقرار كل منها.

ملاحظة: منحى استقرار الإبر المغناطيسية سببه التأثر بالحقل المغناطيسي الأرضي.

2- أضع المغناطيس المستقيم فوق علبة الأبر المغناطيسية، وألاحظ استقرار كل إبرة.
أرسم منحى الاستقرار الجديد للإبر المغناطيسية، وأحدد الشكل الذي أحصل عليه.

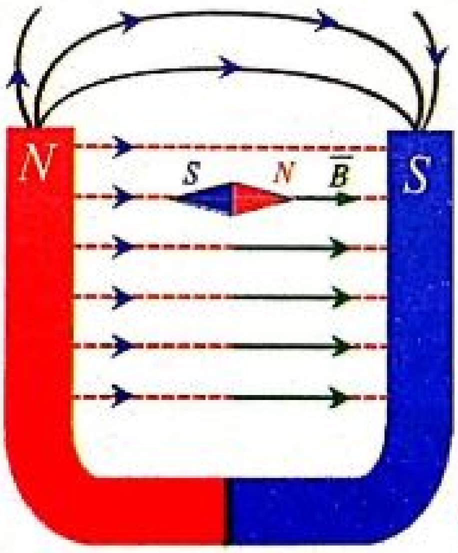


ملاحظة:

- **ندعو الحيز من الفراغ المحيط بالمغناطيس بالحقل المغناطيسي رمزه (B)**
- **ندعو الخطوط التي ترسمها الإبر المغناطيسية بخط الحقل المغناطيسي.**

3- أغير موضع المغناطيس فوق علبة الأبر بحيث يتجه اتجاهات مختلفة، ماذا ألاحظ؟
ماذا أستنتج؟ يتغير وضع الإبر المغناطيسية وتأخذ شكل مماثل للشكل السابق.

4- أبعد المغناطيس تدريجيا عن علبة الأبر المغناطيسية، وأفسر عودة الأبر إلى منحاها قبل وضع المغناطيس.
نفسر عودة الإبر إلى منحاها قبل وضع المغناطيس بسبب تأثرها بالحقل المغناطيسي الأرضي.



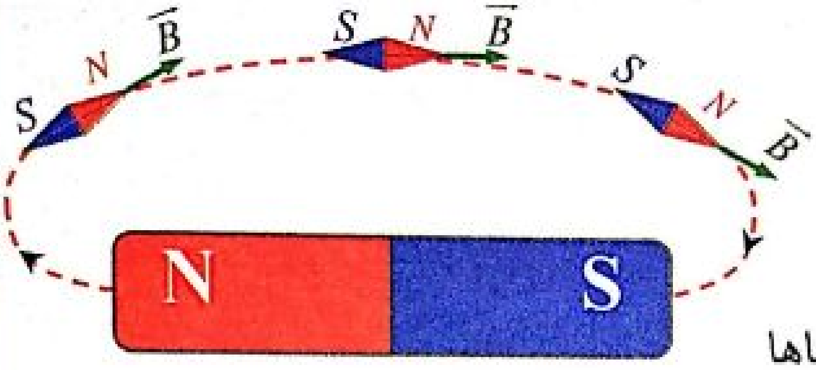
5- أكرر التجربة باستخدام **مغناطيس نضوي**.

نسمي الحقل المتولد بين الفرعين بالحقل المغناطيسي المنتظم وتكون شدته ثابتة $(B = const)$

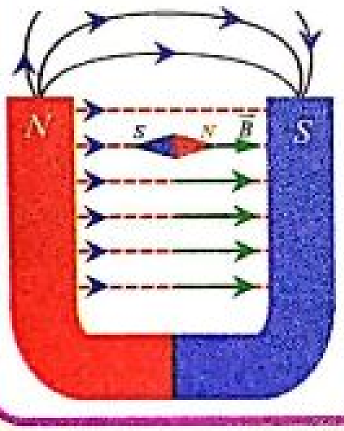
ملاحظة: الحقل المغناطسي المنتظم يكون فيه

$\left[\vec{B} = \overrightarrow{const}\right]$ أي إن شعاع الحقل المغناطيسي ثابت بكل عناصره.

أما عندما نقول $\left[B = const\right]$ أي أن شعاع الحقل المغناطيسي ثابت الشدة.



- نقول: إن منطقة يسودها حقل مغناطيسي إذا وضعت فيها إبرة مغناطيسية حرة الحركة، فإنها تخضع لأفعال مغناطيسية.
- تأخذ الإبرة المغناطيسية منحى واتجاها معيناً بتأثير الحقل المغناطيسي.
- تشكل الخطوط التي ترسمها الإبر المغناطيسية ما يسمى بخطوط الحقل المغناطيسي.
- خط الحقل المغناطيسي هو خط وهمي يمس في كل نقطة من نقاطه شعاع الحقل المغناطيسي في تلك النقطة.
- تتجه خطوط الحقل المغناطيسي خارج المغناطيس من قطبه الشمالي إلى قطبه الجنوبي، وتكمل دورتها داخل المغناطيس من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي.

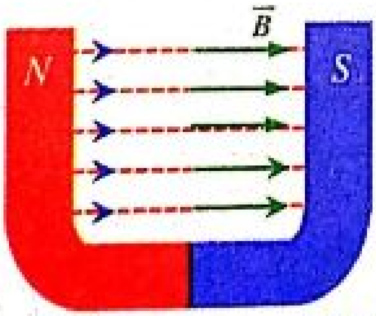


- تأخذ خطوط الحقل المغناطيسي بين قطبي المغناطيس النضوي شكل خطوط مستقيمة متوازية، ولها الجهة نفسها، ثم تنحني خارج قطبي المغناطيس.
- **يكون الحقل المغناطيسي منتظما إذا كانت أشعة الحقل متوازية، ولها الشدة نفسها ، والجهة ذاتها (متسايرة فيما بينها).**

الحقل المغناطيسي بوجود الحديد:

أجرب واستنتج: المواد اللازمة: مغناطيس نضوي – برادة حديد – نواة حديدية – لوح زجاجي.

خطوات التجربة : (سؤال + جواب)



الحقل المغناطيسي دون وجود النواة الحديدية

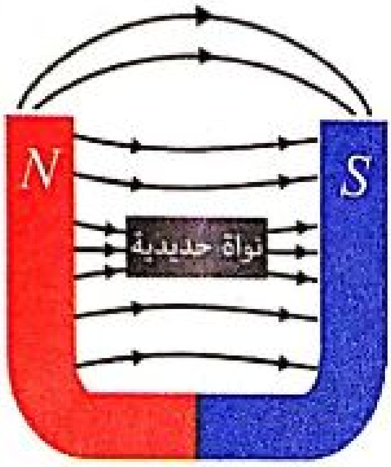
1) أضع المغناطيس النضوي على طاولة أفقية ، أضع اللوح الزجاجي فوق المغناطيس، أنثر برادة الحديد فوق اللوح الزجاجي، وأنقر على اللوح الزجاجي نقرات خفيفة.

- ماذا ألاحظ؟ • أعلل ذلك.

- ألاحظ أن برادة الحديد تترتب في خطوط مستقيمة متوازية **(خطوط الحقل المغناطيسي)**
- وأعلل سبب ذلك أن برادة الحديد تتمغنط وتصبح كل منها بمثابة إبرة مغناطيسية تأخذ منحى واتجاهاً معيناً. (**ملاحظة:** برادة الحديد هي قطع صغيرة جداً من الحديد).

2) أكرر التجربة بعد أن أضع بين قطبي المغناطيس نواة حديدية.

- ماذا ألاحظ؟ • أعلل ذلك.
- ما الفائدة من وضع النواة الحديدية بين قطبي المغناطيس النضوي.



- تتقارب برادة الحديد عند طرفي النواة الحديدية، أي تتكاثف خطوط الحقل المغناطيسي ضمن النواة الحديدية.
- تتمغنط نواة الحديد، ويتولد منها حقلا مغناطيسيا $\vec{B'}$ إضافي يضاف إلى الحقل المغناطيسي الأصلي الممغنِط $\vec{B}$ فيشكل حقلاً مغناطيسيا كليا $\vec{B}_t$.
- يستفاد من وضع النواة الحديدية بين قطبي المغناطيس النضوي في زيادة شدة الحقل المغناطيسي.

سؤال: (بصياغة أخرى) تحتاج بعض الأجهزة الكهربائية كمكبر الصوت مثلاً إلى حقول مغناطيسية شديدة ، كيف يتم تأمينها معللاً إجابتك (الجواب كما سبق).

عامل النفاذية المغناطيسي (في الحديد):

سؤال: ماهو عامل النفاذية المغناطيسي ، اكتب علاقته الرياضية موضحاً دلالات الرموز ، وماهي العوامل التي يتعلق بها. **الجواب:**

- نسمي النسبة بين شدة الحقل الكلي $\vec{B}_t$ بوجود النواة الحديدية بين قطبي المغناطيس إلى شدة الحقل المغناطيسي الأصلي $\vec{B}$ بعامل النفاذية المغناطيسي μ ، أي: $\boxed{\mu=\frac{B_t}{B}}$
- **حيث:**

μ : عامل النفاذية المغناطيسي **لا واحدة قياس له .**

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

B : شدة الحقل المغناطيسي الأصلي الممغنِط، وتقدر شدته في الجملة الدولية بواحدة التسلا (T)

- **يتعلق عامل النفاذية المغناطيسي بعاملين، هما:**

a) طبيعة المادة من حيث قابليتها للمغنطة. b) شدة الحقل المغناطيسي الممغنِط $\vec{B}$

الحقل المغناطيسي الأرضي:

أتساءل: كيف نفسر توجه إبرة مغناطيسية في نقطة ما من سطح الأرض إلى الشمال الجغرافي؟

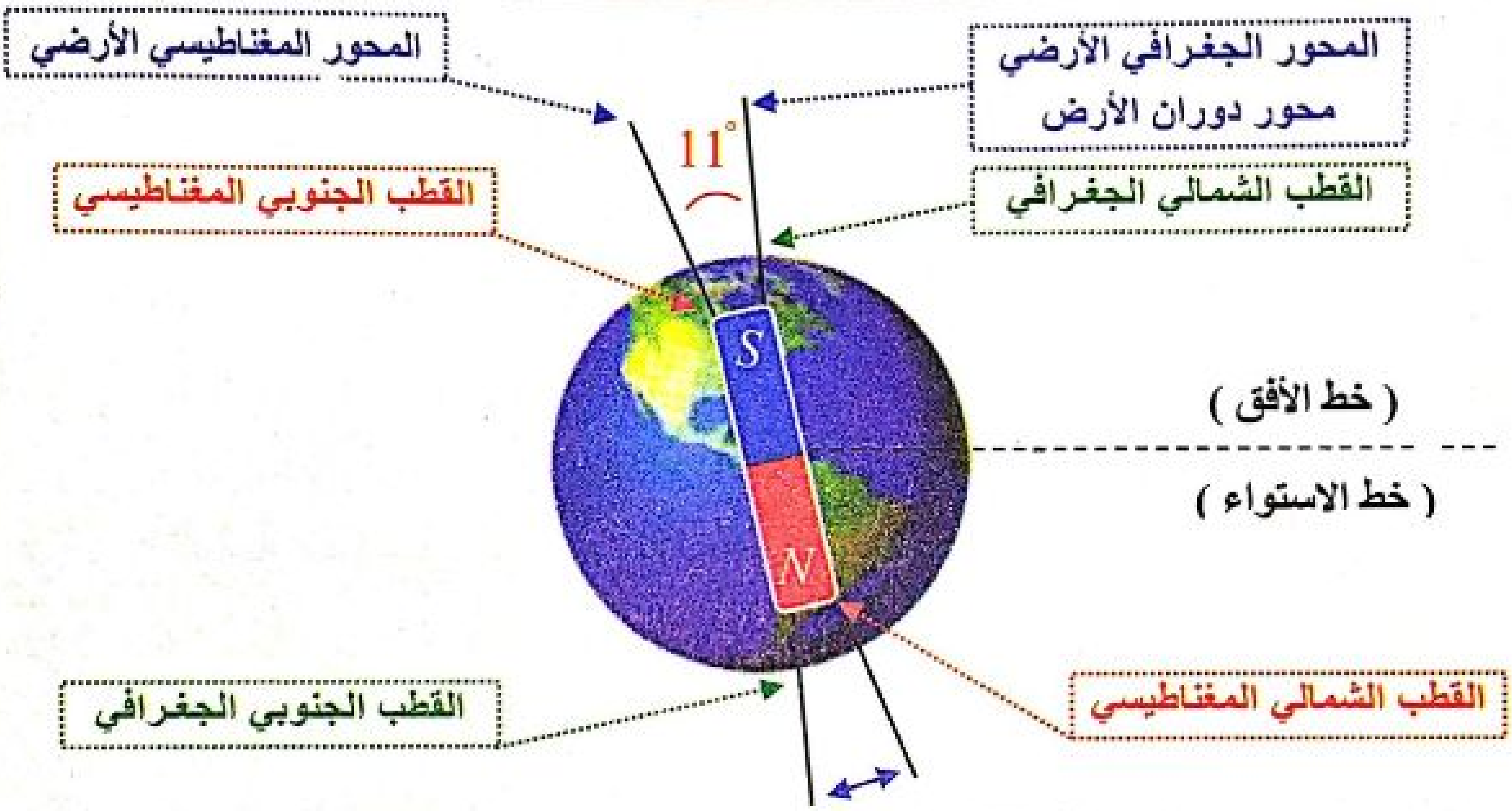
إن منشأ المغناطيسية الأرضية معقد وغير معروف بدقة حتى الآن.

اعتقد العلماء بداية أن المواد المغناطيسية في الأرض مسؤولة عن مغناطيسية الأرض،

لكن درجات الحرارة العالية جدا في جوف الأرض تجعل من الصعب الحفاظ على مغناطيسية دائمة للمواد الحديدية في باطن الأرض.

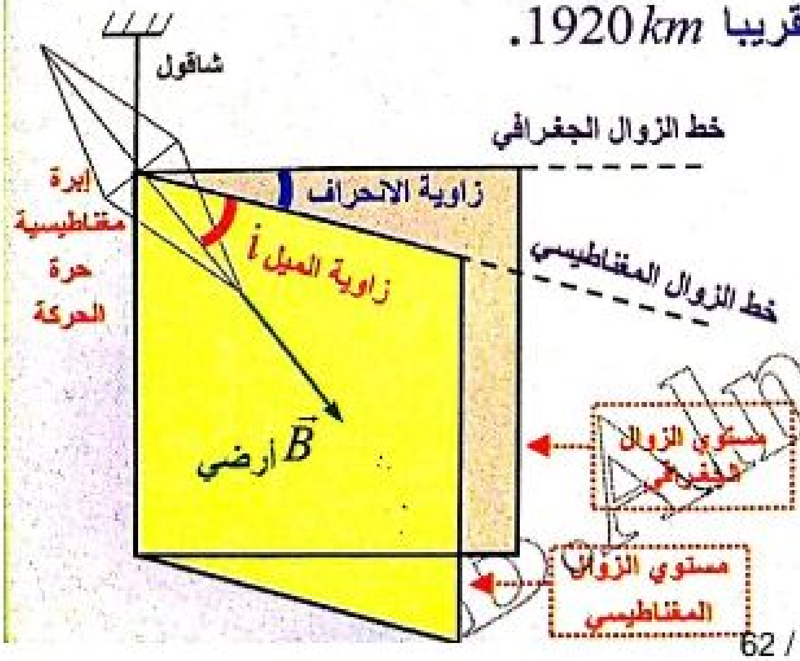
إذا يمكن تفسير مغناطيسية الأرض إلى الشحنات المتحركة في سوائل جوف الأرض (أيونات موجبة، وإلكترونات سالبة) التي تولد بحركتها تيارات كهربائية داخل الأرض ينشأ عنها حقول مغناطيسية.

عناصر شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في نقطة:



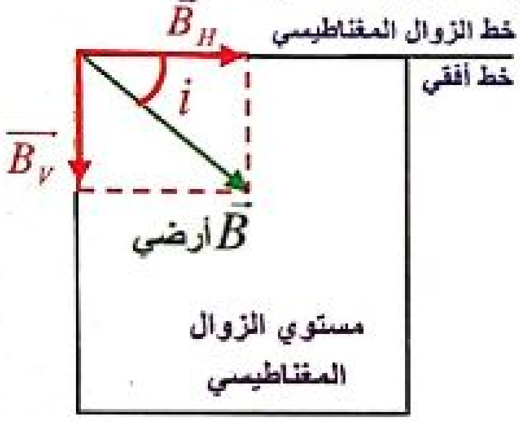
$\Delta x = 1920\,km$ **المسافة بين القطبين تقريباً**

- تسلك الأرض سلوك مغناطيس مستقيم كبير، منتصفه في مركزها، يميل محوره قرابة (11°) عن محور دوران الأرض المنطبق على (الشمال – الجنوب) الجغرافي، قطباها المغناطيسيان لا يطابقان قطباها الجغرافيان، 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 تقريبا** $1920\,km$.



- **زاوية الميل:** هي الزاوية المحصورة بين منحى الإبرة وخط الأفق.
- **زاوية الانحراف:** هي الزاوية المحصورة بين مستوي الزوال المغناطيسي ومستوي الزوال الجغرافي للأرض **ويتغير مقدارها بين** $(0^{\circ} - 180^{\circ})$

- تتغير شدة الحقل المغناطيسي الأرضي من منطقة إلى أخرى على سطح الأرض حسب موقعها الجغرافي، ويقع شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في مستوي الزوال المغناطيسي (وهو المستوي المعرف بخط الزوال المغناطيسي ومركز الأرض).
- يعين شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي بوساطة زاويتي الميل والانحراف.
- يمكن تحليل شعاع الحقل المغناطيسي إلى مركبتين :



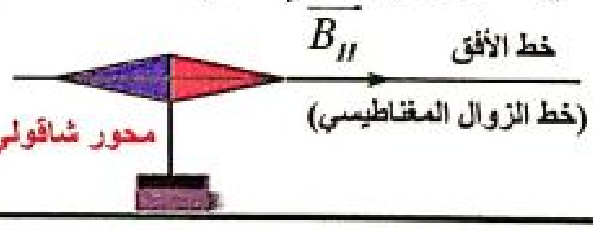
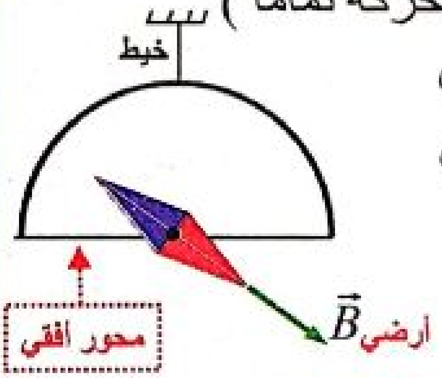
$$\cos i = \frac{B_H}{B} \quad \Rightarrow \quad B_H = B\cos i$$

شدة المركبة الأفقية

$$\sin i = \frac{B_V}{B} \quad \Rightarrow \quad B_V = B\sin i$$

شدة المركبة الشاقولية

فائدة: نلاحظ عند غياب الحقول المغناطيسية الخارجية.

الإبرة المغناطيسة لبوصلة	الإبرة المغناطيسية حرة الحركة
محور دورانها شاقولي تأخذ منحى المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي $\left[\overrightarrow{B_H}\right]$. (وهي تدور في مستوٍ أفقي فقط ، لاتميل) 	محور دورانها أفقي وتعلق بخيط (لذا تكون حرة الحركة تماماً) تأخذ منحى الحقل المغناطيسي الكلي ($\vec{B}$ أرضي) 

- عند وضع إبرة مغناطيسية محور دورانها شاقولي (إبرة البوصلة) بعيدة عن أي تأثير مغناطيسي يمكنها الدوران بحرية في مستوٍ أفقي فإنها تستقر موازية لخط أفقي يسمى خط الزوال المغناطيسي. **(سؤال: كيف نعين خط الزوال المغناطسي)**
- عند وضع إبرة مغناطيسية محور دورانها أفقي عند أحد القطبين المغناطيسين فإنها تستقر بوضع شاقولي، أي تصنع مع خط الأفق زاوية قياسها تقريبا (90°) وعند نقل الإبرة إلى خط الاستواء فإنها تنطبق على الأفق، أي أن قياس زاوية الإبرة مع الأفق يساوي الصفر.

إثراء
الطيور المهاجرة تتحسس الحقل المغناطيسي الأرضي

نتيجة: إن قيمة زاوية الميل التقريبية $(\hat{i})$

1- عند القطبين $\hat{i} \approx 90^\circ$ (إبرة مغناطيسية حرة الحركة تأخذ منحى $\vec{B} = \vec{B}_V$)

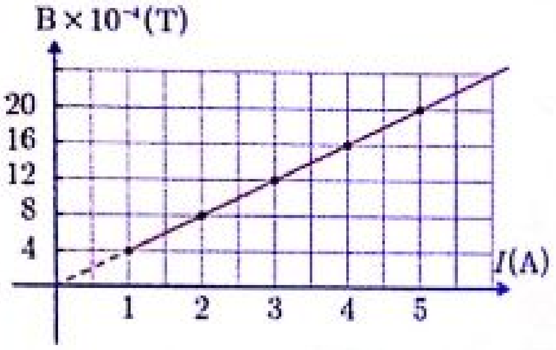
2- عند خط الإستواء $\hat{i} \approx 0^\circ$ (إبرة مغناطيسية حرة الحركة تأخذ منحى $\vec{B} = \vec{B}_H$)

الحقول المغناطيسية للتيارات الكهربائية:

نشاط : (سؤال + جواب)

يبين الجدول الآتي النتائج التجريبية لقياس شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن مرور تيار كهربائي متواصل في سلك مستقيم في نقطة تقع على بعد 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- ارسم الخط البياني لتغيرات B بدلالة I.

2- أحسب ميل الخط البياني ، ماذا استنتج؟

$$\tan\theta=\frac{B_2-B_1}{I_2-I_1}=\frac{8\times10^{-4}-4\times10^{-4}}{2-1}=4\times10^{-4}$$

نستنتج أن: $\frac{B}{I}=const\,(k)\ \Rightarrow\ B=k\,I$

3- أحسب قيمة B من أجل تيار شدته $8\,A$.

إن قيمة الثابت بهذه التجربة $k=4\times10^{-4}$ $\Leftarrow$ $\left[B=kI\ \Rightarrow B=4\times10^{-4}\times8=32\times10^{-4}\,T\right]$

أستنتج

- إن شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن تيا ر كهربائي تتناسب طردا مع شدة التيار المار في الدارة.
- الخط البياني الممثل لتغيرات شدة الحقل المغناطيسي بدلالة شدة التيار، مستقيم يمر من المبدأ ميله: $k=\frac{B}{I}\ \Rightarrow\ B=kI$

دورة 2020

- **حيث** k : ثابت يمثل ميل المستقيم. وبينت الدراسات أن قيمة $[k]$ **تتعلق بعاملين:**

الأول: الطبيعة الهندسية للدارة: شكل الدارة، وموضع النقطة المعتبرة بالنسبة للدارة، أي (k')

الثاني: عامل النفاذية المغناطيسي μ_0 في الخلاء.

(وقيمته في الخلاء في جملة الوحدات الدولية $\mu_0=4\pi\times10^{-7}\,T.m.A^{-1}$)

- **بناءً على ماسبق** يمكن أن نكتب علاقة شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن تيار كهربائي **بالشكل:**

$$\boxed{B=kI}\ \Rightarrow\ \boxed{B=\mu_0\,k'\,I}\ \Rightarrow\ \boxed{B=4\pi\times10^{-7}k'I}$$

$\boxed{T}$ $\boxed{T.m.A^{-1}}$ $\boxed{m^{-1}}$ $\boxed{A}$

B : شدة الحقل المغناطيسي (T).

I : شدة التيار (A) ، k' : ثابت يتعلق بالطبيعة الهندسية للدارة (m^{-1}).

الحقل المغناطيسي لتيار مستقيم طويل:

نشاط : (سؤال + جواب) في إحدى التجارب مرر تيار كهربائي متواصل شدته $[I=20\,A]$ في سلك مستقيم وطويل، وقيست شدة الحقل المغناطيسي بوساطة مقياس تسلا في مجموعة نقاط تقع على أبعاد مختلفة من محور السلك، وكانت النتائج وفق الجدول الآتي:

$B(\mathrm{T})$	2×10^{-4}	1×10^{-4}	0.8×10^{-4}	0.4×10^{-4}
$d(m)$	2×10^{-2}	4×10^{-2}	5×10^{-2}	10×10^{-2}
$k'=\frac{1}{2\pi d}$	$\frac{25}{\pi}$	$\frac{25}{2\pi}$	$\frac{10}{\pi}$	$\frac{5}{\pi}$
$\mu_0=\frac{B}{k'I}$	$4\pi\times10^{-7}$	$4\pi\times10^{-7}$	$4\pi\times10^{-7}$	$4\pi\times10^{-7}$

ثابت شكل الدارة (m^{-1})

محيط خط الحقل

1. احسب قيمة الجداء $B.d$ ، ماذا تستنتج ؟

$B\times d=4\times10^{-6}=const$ نستنتج أن شدة الحقل المغناطيسي (B) تتناسب عكساً مع بعد النقطة عن محور السلك (d).

2. أكمل الفراغات في الجدول السابق، ماذا أستنتج ؟

نستنتج أن :

$$\frac{B}{k'I}=4\pi\times10^{-7}=const$$

$$B=4\pi\times10^{-7}\,k'I \Rightarrow B=4\pi\times10^{-7}\frac{1}{2\pi d}.I \Rightarrow \boxed{B=2\times10^{-7}\frac{I}{d}}$$

سؤال (عدة دورات): عين عناصر شعاع الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل يمر في سلك مستقيم في نقطة n تبعد مسافة (d) عن محور السلك موضحاً بالرسم.

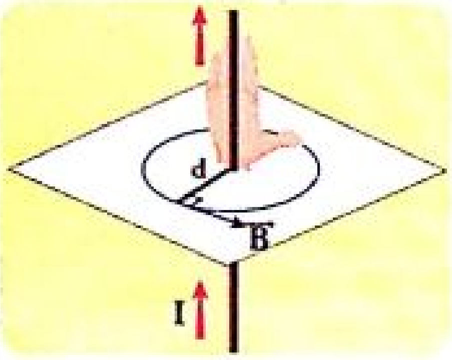
الجواب:

1- نقطة التأثير: النقطة المعتبرة (n) تبعد مسافة (d) عن محور السلك.

2- الحامل: عمودي على المستوي المعين بالسلك والنقطة المعتبرة.

3- الجهة: (تحدد عملياً ونظرياً)

- **عملياً:** من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية صغيرة $(\overrightarrow{SN})$ نضعها في النقطة المعتبرة بعد استقرارها.



- **نظرياً:** تحدد بقاعدة اليد اليمنى:
  - الساعد يوازي السلك
  - يدخل التيار من الساعد ويخرج من نهايات الأصابع
  - نوجه باطن الكف نحو النقطة المدروسة
  - يشير إبهام اليد اليمنى (الذي يعامد الأصابع) إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسي.

هذا الشكل للتوضيح:
أن السلك يقع بين باطن الكف والنقطة المدروسة.

4- الشدة: إن شدة الحقل المغناطيسي لتيار مستقيم طويل تتناسب طردا مع شدة التيار الكهربائي المارفيه I، وعكسا مع بعد النقطة المعتبرة عن محور السلك d.

ويعطى بالعلاقة:

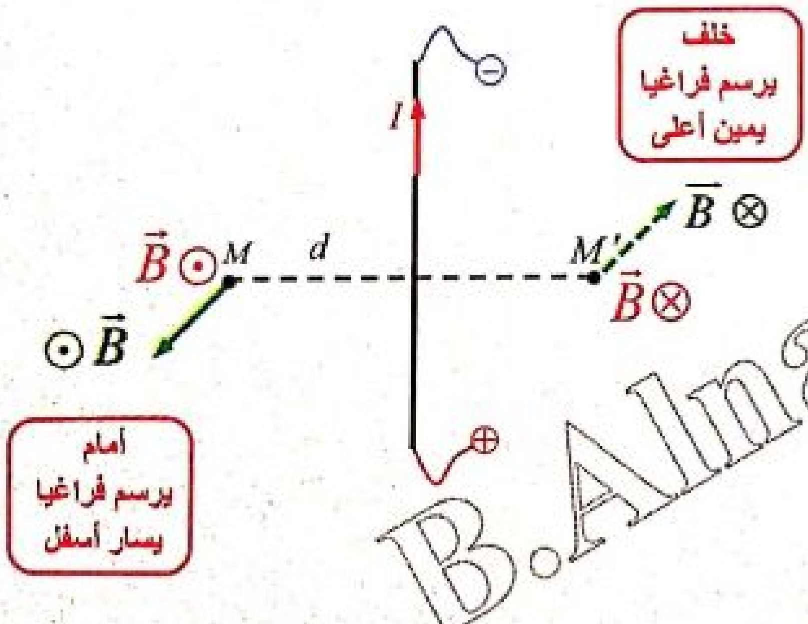
$$\boxed{B=2\times10^{-7}\,\frac{I}{d}}\ \textbf{(حفظ)} \Leftarrow \left.\begin{array}{l} B=4\pi\times10^{-7}\,k'I \\ \textbf{لكن: } k'=\dfrac{1}{2\pi d} \end{array}\right]$$

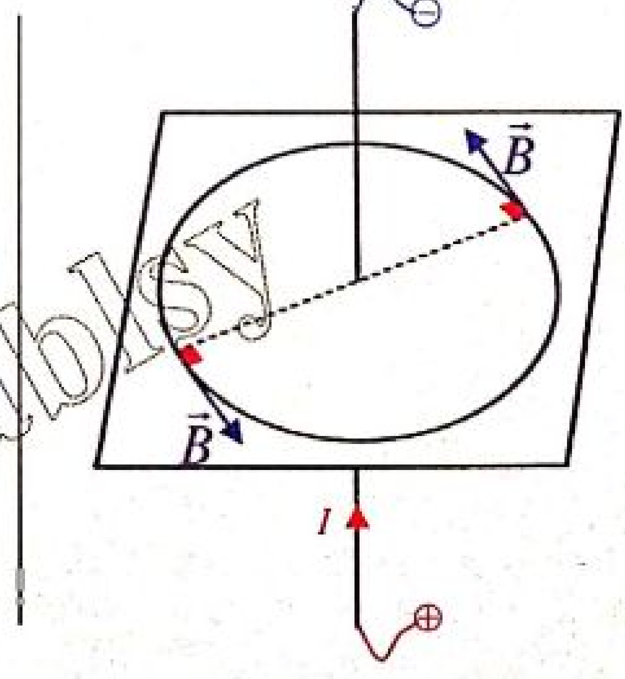
ثابت شكل الدارة

حيث:

- I : شدة التيار الكهربائي (A).
- B : شدة الحقل المغناطيسي (T) (تسلا).
- d : بعد النقطة المعتبرة عن محور السلك (m)

فائدة للرسم:
خلف ⟵ أمام
$\otimes$ $\odot$





تطبيق: (راجع فائدة لحل المسائل رقم 9 ص 50 نوطة المسائل)

نمرر تيارا كهربائيا متواصلاً شدته $10A$ في سلك طويل مستقيم موضوع أفقيا في مستوي الزوال المغناطيسي الأرضي المار من مركز إبرة مغناطيسية صغيرة يمكنها أن تدور حول محور شاقولي (إبرة البوصلة) موضوعة تحت السلك على بعد $50cm$ من محوره.

المطلوب حساب:

1. شدة الحقل المغناطيسي عند مركز الإبرة المغناطيسية الناتج عن مرور التيار.
2. قيمة زاوية انحراف (دوران) الإبرة المغناطيسية عن منحاها الأصلي،موضحاً بالرسم.

باعتبار أن قيمة المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي $2\times10^{-5}\,T$.

الحل:

$$d = 50\times10^{-2}\,m = 0.5\,m \quad , \quad I = 10\,A \quad , \quad B_H = 2\times10^{-5}\,T$$

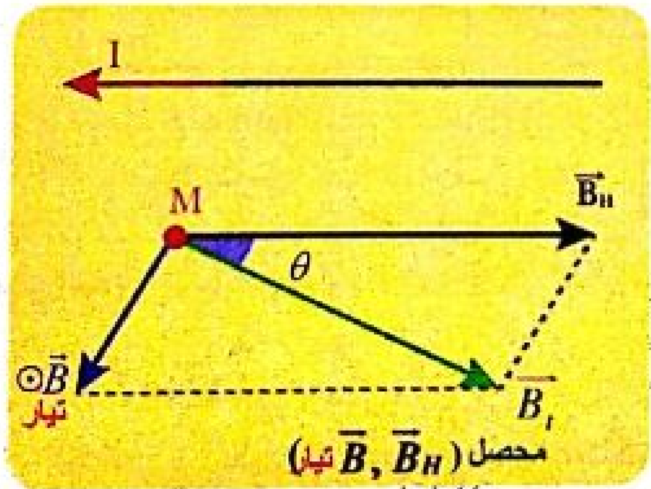
1. الحقل المغناطيسي المتولد عن التيار المار في السلك:

$$B = 2\times10^{-7}\frac{I}{d} \Rightarrow B = 2\times10^{-7}\frac{10}{5\times10^{-1}} \Rightarrow B = 4\times10^{-6}\,T$$

2. ▪ قبل إمرار التيار تستقر الإبرة وفق منحى المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي $\vec{B}_H$.

▪ بعد مرور التيار يتولد حقل مغناطيسي $\vec{B}$ يؤلف مع $\vec{B}_H$ حقلاً محصلاً $\vec{B}_t$ تدور الإبرة المغناطيسية بزاوية θ ، وتستقر وفق منحاها.

من الشكل نجد: $\left[\vec{B}_H \perp \vec{B}_{\text{تيار}}\right]$



$$\tan\theta = \frac{B}{B_H} \Rightarrow \tan\theta = \frac{4\times10^{-6}}{2\times10^{-5}}$$

$$\tan\theta = 0.2 < 0.24$$

لكن θ صغيرة:

$$\tan\theta \approx \theta \Rightarrow \theta \approx 0.2\,rad$$

الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل في ملف دائري:

نشاط : (سؤال + جواب)

في إحدى التجارب مرر تيار كهربائي متواصل شدته $(I=10\,A)$ في ملف دائري نصف قطره $10\,cm$ وقيست شدة الحقل المغناطيسي بوساطة مقياس تسلا في مركز الملف، وكررت التجربة السابقة من أجل ملفات متماثلة في نصف قطرها الوسطي ومختلفة في عدد لفاتها، وكانت النتائج وفق الجدول الآتي:

$B(\mathrm{T})$	$2\pi\times10^{-3}$	$4\pi\times10^{-3}$	$6\pi\times10^{-3}$
N (لفة)	100	200	300
$k'=\dfrac{N}{2r}$	500	1000	1500
$\mu_0=\dfrac{B}{k'I}$	$4\pi\times10^{-7}$	$4\pi\times10^{-7}$	$4\pi\times10^{-7}$

ثابت شكل الدارة m^{-1}

1. أحدد علاقة شدة الحقل المغناطيسي بعدد لفات الملف.

$$\frac{B}{N}=2\pi\times10^{-5}=const$$

نستنتج أن شدة الحقل المغناطيسي (B) تتناسب طرداً مع عدد اللفات (N)

2. أكمل الفراغات في الجدول السابق، ماذا أستنتج؟

$$\frac{B}{k'I}=4\pi\times10^{-7}=const$$

نستنتج أن:

$$B=4\pi\times10^{-7}\,k'I \Rightarrow B=4\pi\times10^{-7}\,\frac{N}{2r}.I \Rightarrow \boxed{B=2\pi\times10^{-7}\,\frac{NI}{r}}$$

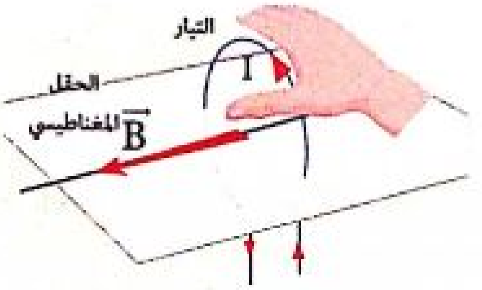
سؤال (دورة 2020): عين عناصر شعاع الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل في مركز ملف دائري موضحاً بالرسم.

الجواب:

1. **نقطة التأثير:** مركز الملف.
2. **الحامل :** العامود على مستوي الملف (محور الملف).

3. الجهة: (تحدد عملياً ونظرياً)

- **عملياً:** من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية صغيرة $(\overrightarrow{SN})$ نضعها عند مركز الملف الدائري بعد استقرارها.



هذا الشكل لتوضيح كيف نضع اليد اليمنى

- **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 (الذي يعامد الأصابع) إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسي.

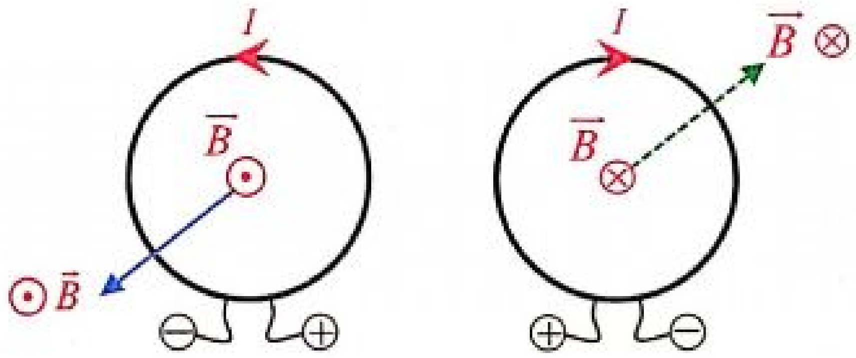
4. الشدة: وجد تجريبياً أن شدة الحقل المغناطيسي لتيار دائري تتناسب:

- طرداً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه I.
- طرداً مع عدد لفات الملف N.
- عكساً مع نصف قطر الملف الوسطي r.

$$B=4\pi\times10^{-7}k'I$$

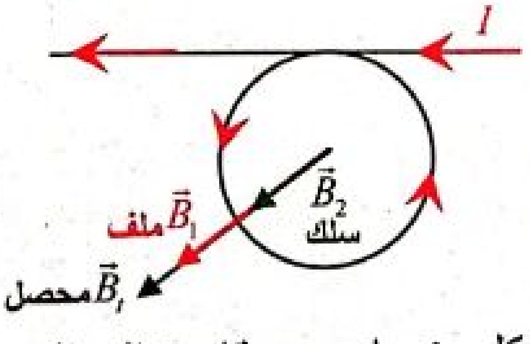
لكن: $k'=\frac{N}{2r}$ ⇒ $\boxed{B=2\pi\times10^{-7}\frac{NI}{r}}$ (حفظ)

ثابت شكل الدارة



تطبيق:

نمرر تياراً كهربائيا شدته $6\,A$ في سلك مستقيم طويل معزول، ثم نلف جزءا منه على شكل حلقة دائرية بلفة واحدة نصف قطرها $3cm$ ، كما في الشكل. احسب شدة الحقل المغناطيسي المحصل في مركز الحلقة، ثم حدد بقية عناصره.



الحل:

$$I=6A\ ,\ r=3\times10^{-2}m\ ,\ N=1$$

نعد السلك جزأين: **الأول :** حلقة **والثاني:** مستقيم

فينشأ في مركز الحلقة الدائرية حقلان يمكن تحديد جهة كل منهما حسب قاعدة اليد اليمنى.

1. الحقل المغناطيسي المتولد عن التيار المار في الحلقة الدائرية:

$$B_1=2\pi\times10^{-7}\frac{NI}{r}\Rightarrow B_1=2\pi\times10^{-7}\frac{1\times6}{3\times10^{-2}}\Rightarrow B_1=12.5\times10^{-5}\,T$$

2. الحقل المغناطيسي المتولد عن التيار المار في السلك المستقيم:

$$B_2=2\times10^{-7}\frac{I}{d}\Rightarrow B_2=2\times10^{-7}\frac{6}{3\times10^{-2}}\Rightarrow B_2=4\times10^{-5}\,T$$

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

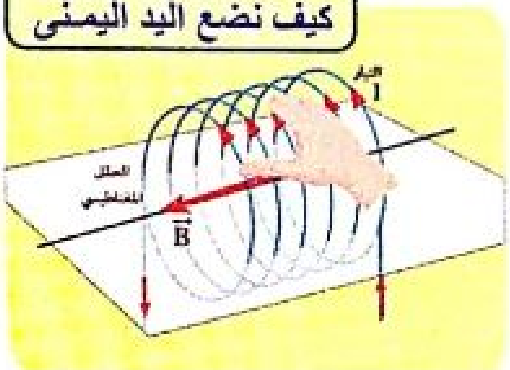
$$B_t=B_1+B_2\Rightarrow B_t=12.5\times10^{-5}+4\times10^{-5}\Rightarrow B_t=16.5\times10^{-5}\,T$$

محصل

الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل في ملف حلزوني (وشيعة)

سؤال: (دورات عديدة) عين عناصر شعاع الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل في مركز ملف حلزوني (وشيعة) موضحاً بالرسم.

هذا الشكل لتوضيح كيف نضع اليد اليمنى



الجواب:

1. **نقطة التأثير:** مركز الوشيعة.
2. **الحامل:** محور الوشيعة.
3. **الجهة:** (تحدد عملياً ونظرياً).

- **عملياً:** من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية صغيرة $(\overrightarrow{SN})$ نضعها عند مركز الوشيعة بعد استقرارها.
- **نظرياً:** تحدد بقاعدة اليد اليمنى نضعها فوق الوشيعة بحيث توازي أصابعها إحدى الحلقات والتيار يدخل من الساعد، ويخرج من رؤوس الأصابع، فيشير الإبهام (الذي يعامد الأصابع) إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسي.

4. **الشدة:** وجد تجريباً أن شدة الحقل المغناطيسي لتيار حلزوني داخل الوشيعة تتناسب

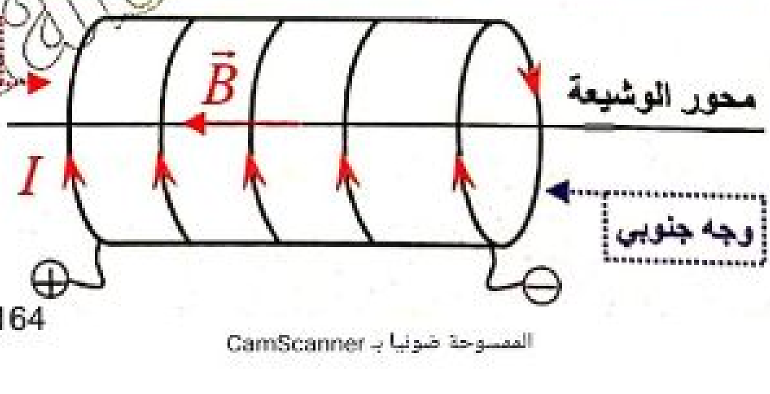
طرداً مع:
- شدة التيار الكهربائي المتواصل المار فيها .
- النسبة $\boxed{n_1=\frac{N}{\ell}}$ أي عدد اللفات في واحدة الأطوال. **وتعطى بالعلاقة:**

$$\left.\begin{array}{l} B=4\pi\times10^{-7}\,k'I \\ \text{لكن: } k'=\frac{N}{\ell} \end{array}\right] \Rightarrow \boxed{B=4\pi\times10^{-7}\frac{NI}{\ell}}$$

(حفظ)

ℓ: طول الوشيعة

k': ثابت شكل الدارة

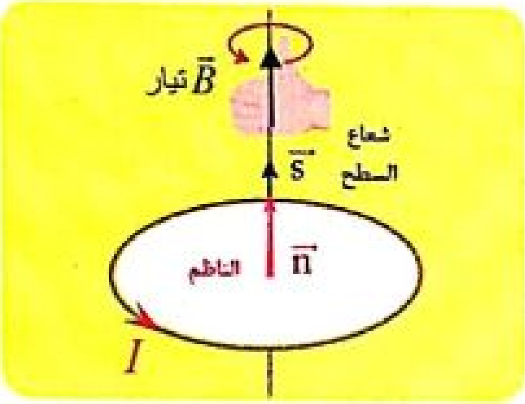


يمكن كتابة علاقة شدة الحقل المغناطيسي بالشكل:

$$B=4\pi\times10^{-7}\,n_1 I$$

شعاع السطح :

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



أستنتج

عناصر شعاع السطح:

- **الحامل:** الناظم.
- **الجهة:** بجهة الناظم دوماً.
- **الشدة:** S مساحة سطح الدارة، واحدة قياسها m^2.

التدفق المغناطيسي:

أتساءل: عمّ يعبر التدفق المغناطيسي $\bar{\Phi}$ **(مفهوم التدفق المغناطيسي)**

يعبر التدفق المغناطيسي $\bar{\Phi}$ عن عدد خطوط الحقل المغناطيسي التي تجتاز سطح دارة كهربائية مستوية مغلقة.

تعريف التدفق المغناطيسي:

نعرف التدفق المغناطيسي $\bar{\Phi}$ الذي يجتاز دارة كهربائية مستوية في الخلاء :

هو مقدار جبري ويساوي الجداء السلمي لشعاع الحقل المغناطيسي في شعاع السطح.

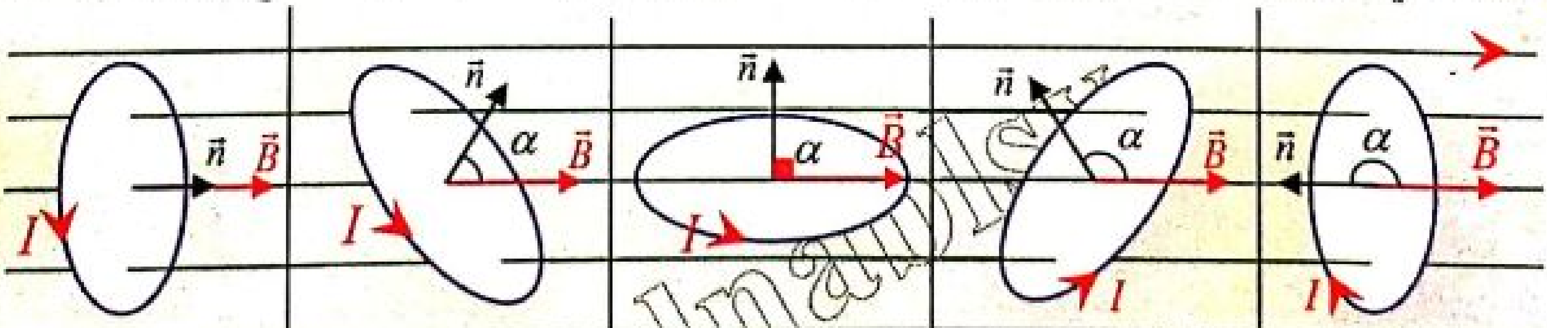
ويعطى بالعلاقة: $\bar{\Phi}=\vec{B}.\vec{s} \Rightarrow \bar{\Phi}=B s\cos\alpha$

ومن أجل دارة تحوي N لفة تصبح العلاقة: $\boxed{\bar{\Phi}=N B s\cos\alpha}$ **(حفظ)**

$\bar{\Phi}$: التدفق المغناطيسي، **يقدر بواحدة Weber**.

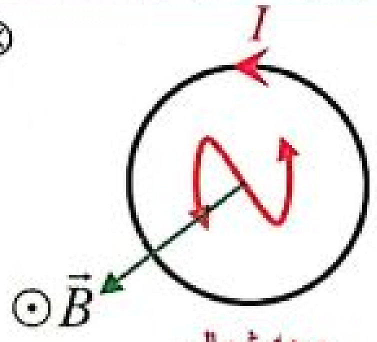
B : شدة الحقل المغناطيسي الذي يجتاز الدارة، يقدر بواحدة التسلا (T)

α : هي الزاوية الكائنة بين شعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ والناظم على السطح $\alpha=(\vec{B}\,\hat{,}\,\vec{n})$

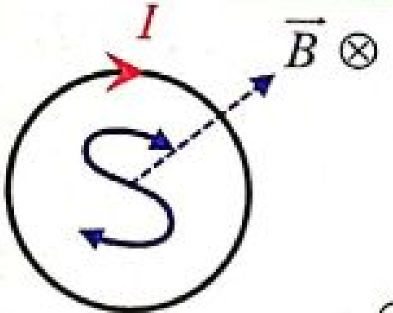


$\alpha=0\ (\cos 0=1)$ Φ_{max} **(أعظمي موجب)**	$0<\alpha<\frac{\pi}{2}$ $\cos\alpha>0\Rightarrow\bar{\Phi}>0$ **(موجب)**	$\alpha=\frac{\pi}{2}$ $\cos\frac{\pi}{2}=0\Rightarrow\bar{\Phi}=0$ **(تدفق معدوم)**	$\frac{\pi}{2}<\alpha<\pi$ $\cos\alpha<0\Rightarrow\bar{\Phi}<0$ **(سالب)**	$\alpha=\pi\ (\cos\pi=-1)$ $\bar{\Phi}$ **(أصغري سالب)** $\bar{\Phi}=-\bar{\Phi}$ أعظمي أصغري

ملاحظة: إن الملفات والوشائع الكهربائية تكافئ مغانط، إذ يطلق اسم الوجه الشمالي على وجه الملف الذي تكون فيه جهة التيار بعكس جهة دوران عقارب الساعة، أما الوجه الآخر للملف فهو الوجه الجنوبي وتكون جهة التيار مع جهة دوران عقارب الساعة.



وجه شمالي
جهة التيار بعكس جهة دوران عقارب الساعة



وجه جنوبي
جهة التيار مع جهة دوران عقارب الساعة

تعليل المغناطيسية:

نشاط : (سؤال + جواب)

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

1. • اكتب التوزع الالكتروني في ذرة الحديد.
• ارسم التمثيل الإلكتروني في المدار الثانوي $3d$ بطريقة السهم والمربعات.

$$_{26}Fe: 1S^2 , 2S^2 , 2p^6 , 3S^2 , 3p^6 , 4S^2 , 3d^6$$

[↑↓]   [↑↓][↑][↑][↑][↑]

2. ماعدد الإلكترونات الفردية (العازبة) فيه؟

أربعة إلكترونات فردية في المدار الثانوي ($3d$) ولها نفس الاتجاه.

3. هل هي ساكنة ؟ هل تدور بجهة واحدة أو بجهتين متعاكستين ؟

هي غير ساكنة، تدور بجهة واحدة.

4. هل يدور الإلكترون حول النواة وحول نفسه؟ وماذا يكافئ هذا الدوران؟

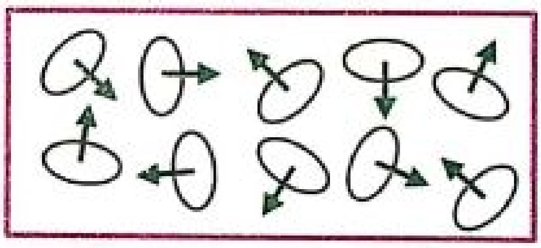
نعم يدور الإلكترون حول النواة وحول نفسه وهذا يكافئ تياراً كهربائيا يولد حقلاً مغناطيسياً كما لو كان مغناطيساً صغيراً.

أستنتج

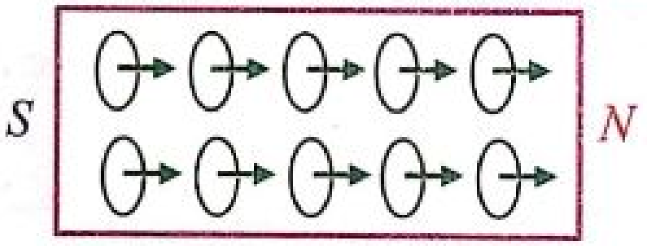
• يشبه دوران الإلكترونات حول النواة مرور تيار كهربائي في حلقة مغلقة، فيولد حقلا مغناطيسياً إذ تتغير جهة هذا الحقل بتغير جهة دوران الإلكترون فإذا دار إلكترونان حول النواة في الذرة بسرعتين زاويتين متساويتين طويلة وباتجاهين متعاكسين وبنصف قطر مدار واحد تولد عن أحدهما خاصية مغناطيسية تلغي خاصية المغناطيسية المتولدة عن الآخر.

أما إذا انفرد أحد إلكترونات الذرة بدورانه حول النواة اكسبها صفة مغناطيسية جاعلاً من الذرة مغناطيسا صغيرا ثنائي القطب.

- إن دوران الإلكترون حول محوره يعد تيارا متناهيا في الصغر يولد حقلاً مغناطيسيا كما لو كان مغناطيسا صغيراً فإذا دار إلكترونان حول محوريهما باتجاهين متعاكسين يلغي أحدهما الخصائص المغناطيسية للآخر.
أما إذا انفرد الإلكترون بدورانه حول نفسه أكسب الذرة صفة مغناطيسية.
- إن حركة بعض الشحنات داخل النواة تولد خاصة مغناطيسية صغيرة جداً مقارنة بالخاصة المتولدة عن الدورانين السابقين للإلكترونات.
- لقد أظهرت الدراسة للمواد الحديدية العادية أنها تتكون من ثنائيات أقطاب مغناطيسية موزعة عشوائياً في غياب الحقل المغناطيسي الخارجي بحيث تكون محصلة هذه الخصائص المغناطيسية معدومة.
ولكن إذا وجدت قطعة الحديد في حقل مغناطيسي خارجي تتوجه ثنائيات الأقطاب المغناطيسية داخل القطعة باتجاه الحقل المغناطيسي الخارجي أي تكون أقطابها الشمالية المغناطيسية باتجاه الحقل المغناطيسي الخارجي.
وتصبح محصلتها غير معدومة، **لذا تصبح قطعة الحديد ممغنطة.**



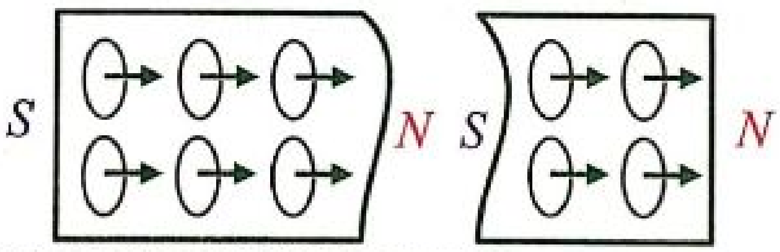
قبل وجود حقل مغناطيسي خارجي



بوجود حقل مغناطيسي خارجي

ملاحظة: (للاطلاع)

نفسر عدم إمكانية فصل أحد القطبين عن الآخرمهما حاولنا شطر المغناطيس من الشكل التالي:



ملاحظات:

1- **المطلوب راجع نوطة المسائل لحفظ مايجب تذكره + فوائد لحل المسائل وحفظ القوانين لحساب عدد اللفات وعدد الطبقات.** ✓

2- حل ودراسة أسئلة الدرس النظري + التفكير الناقد ✓

3- حل ودراسة المسائل (1 + 2 + 3 + 4 + 5) ✓

4- حل ودراسة المسائل العامة (9 + 10 + 11) ✓

5- اجراء امتحان بسؤال خيار من متعدد ص 169 + ص 170 من نوطة المسائل أرقام من (1 ⟵ 5)

الدرس الثاني 2

فعل الحقل المغناطيسي في التيار الكهربائي:

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

القوة المغناطيسية (قوة لورنز):

أجرب واستنتج : (سؤال + جواب)

1- أصل دارة أنبوب توليد الأشعة المهبطية، وأغلق الدارة لتتولد حزمة إلكترونية في أنبوب الأشعة المهبطية، وألاحظ شكل مسار الحزمة الإلكترونية. مسار مستقيم.

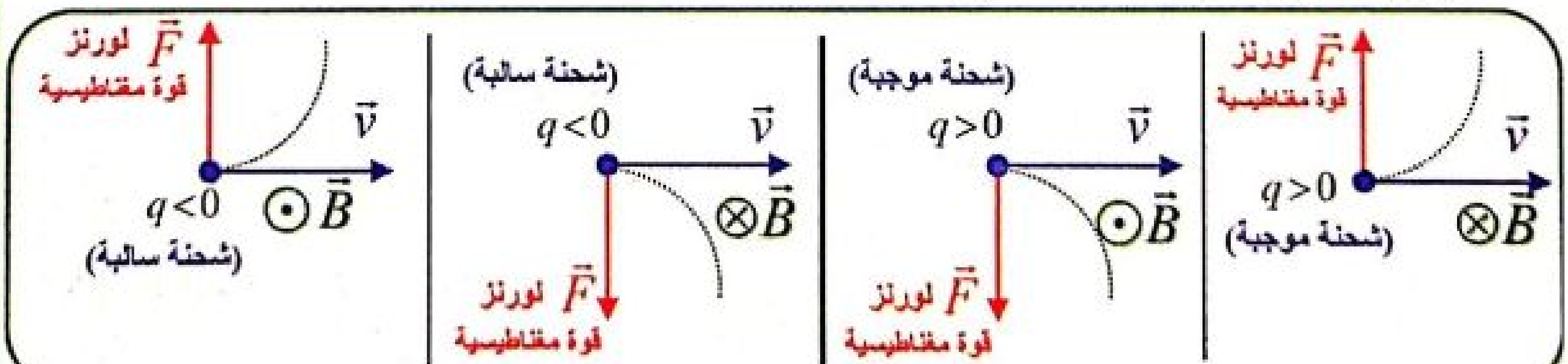
2- أقرب القطب الشمالي لمغناطيس من الحزمة، وأراقب مسار الحزمة الإلكترونية، ماذا ألاحظ؟ انحراف الحزمة عن مسارها.

3- أقرب القطب الجنوبي للمغناطيس، ماذا ألاحظ؟

انحراف الحزمة عن مسارها بالاتجاه المعاكس.

النتائج:

- يؤثر الحقل المغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة ضمن المنطقة التي يسودها الحقل بقوة مغناطيسية (قوة لورنز) ، حيث تغير هذه القوة من مسار حركة هذه الجسيمات.
- تتغير جهة انحراف مسار الجسيمات المشحونة بتغير جهة الحقل المغناطيسي المؤثر (أو إذا تغيرت إشارة الشحنة).

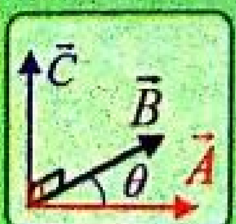


فائدة رياضية

1. الجداء الخارجي (الشعاعي) للشعاعين $\vec{A},\vec{B}$ بينهما زاوية θ يعطي شعاع ثالث $\vec{C}$ يُرمز له: $\vec{C}=\vec{A}\wedge\vec{B}$

يحقق ما يلي: $\vec{C}\perp(\vec{A},\vec{B}) \Rightarrow \vec{C}\perp\vec{B}$ ، $\vec{C}\perp\vec{A}$

طويلته: $C=AB\sin\theta$



2. الجداء السلمي للشعاعين $\vec{A},\vec{B}$ يعطي قيمة جبرية: $\vec{C}=\vec{A}\cdot\vec{B} \Rightarrow C=AB\cos\theta$

العوامل المؤثرة في شدة القوة المغناطيسية: (قوة لورنز)

فائدة:
الحقل المغناطيسي لا يؤثر على الشحنات الساكنة، وإنما يؤثر على الشحنات المتحركة بقوة لورنز المغناطيسية.

أثبتت التجارب أن شدة القوة المغناطيسية تتناسب طرداً مع:

1. مقدار الشحنة المتحركة q .
2. شدة الحقل المغناطيسي المؤثرة B .
3. سرعة الشحنة v .
4. $\sin\theta$ حيث θ هي الزاوية بين شعاع سرعة الشحنة، وشعاع الحقل المغناطيسي $\theta = (\hat{\vec{v},\vec{B}})$

بناء على ما تقدم يمكن أن نكتب: $\boxed{F = qvB\sin\theta}$ **(حفظ)**

وتكون العبارة الشعاعية للقوة المغناطيسية:

$\boxed{\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}}$ **(حفظ)**

(الجداء غير تبديلي)

شرح $\left\{ \begin{array}{l} \vec{F} \perp q\vec{v} \\ \vec{F} \perp \vec{B} \end{array} \right.$ **حسب خواص الجداء الشعاعي**

عناصر شعاع القوة المغناطيسية: (قوة لورنز)

سؤال دورة:
- اكتب العبارة الشعاعية للقوة المغناطيسية (قوة لورنز)، واذكر عناصر هذه القوة مع الشرح والرسم.
- بين متى تكون هذه القوة عظمى ومتى تكون معدومة.

الجواب:
- العبارة الشعاعية للقوة المغناطيسية: $\boxed{\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}}$

عناصر شعاع القوة المغناطيسية (لورنز):

1. **نقطة التأثير:** الشحنة المتحركة.
2. **الحامل:** عمودي على المستوي المحدد بشعاع السرعة وشعاع الحقل المغناطيسي.
3. **الجهة:** تحدد بقاعدة اليد اليمنى وفق الآتي :
   - نجعل الساعد يوازي شعاع سرعة الشحنة المتحركة و **أصابع اليد a)** بعكس جهة شعاع السرعة للشحنات السالبة.
   b) بجهة شعاع السرعة للشحنات الموجبة.
   - يخرج شعاع الحقل المغناطيسي من راحة الكف.
   - يشير الإبهام إلى جهة القوة المغناطيسية.

للرسم:
إذا لم يحدد إشارة الشحنة نختار إحدى الأشكال السابقة

4. **الشدة:** $F = qvB\sin\theta$

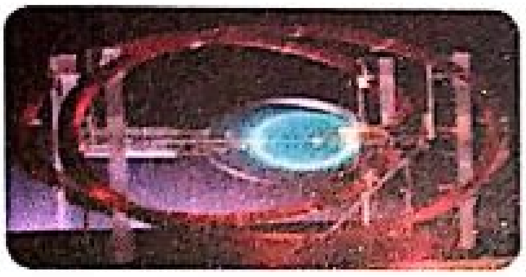
- تكون: $F_{(\text{لورنز})}$(عظمى) عندما $\theta = \frac{\pi}{2}$ أي $\vec{v} \perp \vec{B}$ (لأن : $\sin\frac{\pi}{2} = 1$)

تكون: $F_{(\text{لورنز})} = 0$ عندما (π أو 0) $\theta =$ أي $\vec{v} // \vec{B}$ (لأن : $\sin 0 = 0$)

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

تجربة ملفي هلمهولتز:

ملاحظة: ملفي هلمهولتز عبارة عن ملفين دائريين متوازيين وعندما يمر فيهما التيار ذاته، يتولد بينهما حقل مغناطيسي منتظم ، يمكن تغيير شدة وجهة هذا الحقل المغناطيسي من خلال تغيير جهة وشدة التيار الكهربائي.



التجربة : (سؤال + جواب)

1- أركب دارة ملفي هلمهولتز (ودارة الملفين مفتوحة) أولد حزمة من الإلكترونات وألاحظ مسار الحزمة.

يكون مسار حزمة الإلكترونات مستقيم، وتكون الحركة مستقيمة منتظمة.

2- أغلق دارة الملفين، ماذا ألاحظ؟ انحراف حزمة الإلكترونات عن مسارها ليصبح مسارها دائري، وتكون الحركة دائرية منتظمة.

3- أغير من شدة التيار المار في الملفين، وألاحظ مسار الحزمة، ماذا ألاحظ؟

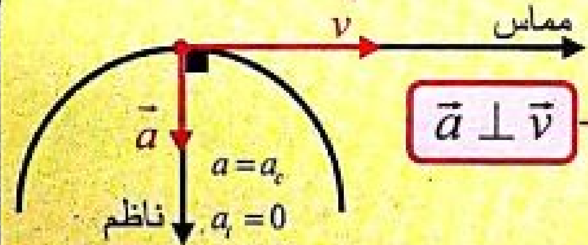
يتغير نصف قطر المسار الدائري لحزمة الإلكترونات (لأن تغيير شدة التيار تؤدي إلى تغيير شدة الحقل المغناطيسي).

النتائج:

يؤثر الحقل المغناطيسي المنتظم (المتولد بين ملفين دائريين متوازيين ومار فيهما نفس التيار) في الحزمة الإلكترونية بقوة مغناطيسية (قوة لورنز)
تكون دائماً عمودية على شعاع سرعتها $(\vec{F} \perp \vec{v})$ ، أي أنها تكتسب تسارعاً ثابتاً يعامد شعاع السرعة $(\vec{a} \perp \vec{v})$.

وعندما يكون $\left[\vec{v}_0 \perp \vec{B}\right]$ تخضع لتسارع جاذب مركزي وبالتالي تكون حركتها دائرية منتظمة أي يحدث تغير في حامل وجهة شعاع السرعة لا في شدته (قيمته).

تذكر: الحركة الدائرية



$\boxed{\vec{a} \perp \vec{v}}$

$a_t = 0$

$a_t = \dfrac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = const$ (حركة منتظمة)

$a_c = a$

$a_c = \dfrac{v^2}{r} = const$ (مسار دائري)

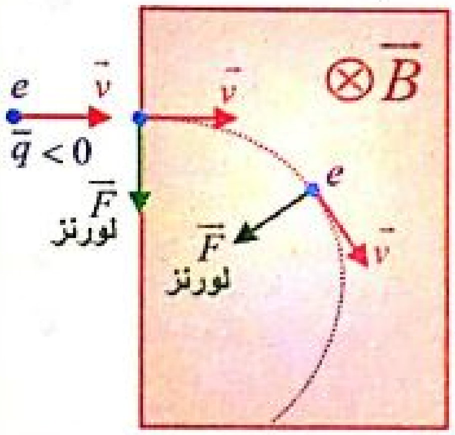
أي أن شعاع التسارع ناظمي فقط
$(a_t = 0 , a = a_c)$
لذا هو تسارع جاذب مركزي

سؤال: استنتج علاقة نصف قطر المسار الدائري لأحد الإلكترونات المتحركة ضمن المنطقة التي يسودها الحقل المغناطيسي المنتظم حيث $\left[\vec{v}\perp\vec{B}\right]$ ، موضحاً بالرسم وماهي دلالات الرموز، ثم استنتج علاقة دور حركة الإلكترون.

الحل: يخضع الإلكترون المتحرك لتأثير القوة المغناطيسية (قوة لورنز) فقط بإهمال قوة ثقله.

$$\sum\vec{F}=m_e\vec{a} \Rightarrow \underbrace{\vec{F}}_{\text{قوة مغناطيسية}}=m_e\vec{a} \Rightarrow e\vec{v}\wedge\vec{B}=m_e\vec{a}$$

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



وبحسب خواص الجداء الشعاعي فإن: $\left[\vec{F}\perp\vec{v}\right]$ إذاً $\left[\vec{a}\perp\vec{v}\right]$

والتسارع جاذب مركزي $[a=a_c]$ **وبالتالي الحركة دائرية منتظمة.**

$$\underbrace{F}_{\text{قوة لورنز}}=\underbrace{F_c}_{\text{قوة جاذبة مركزية}} \Rightarrow evB=m_e a_c$$

$$\vec{v}\perp\vec{B}\ :\theta=\frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin\frac{\pi}{2}=1$$

$$evB=m_e\frac{v^2}{r} \Rightarrow \boxed{r=\frac{m_e v}{eB}}$$ (حفظ)

حيث: m_e : كتلة الإلكترون ، v سرعة الإلكترون.

e : القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون ، B شدة شعاع الحقل المغناطيسي.

ولاستنتاج علاقة دور حركة الإلكترون:

$$\left.\begin{array}{l} v=\omega\times r \\ \omega=\dfrac{2\pi}{T}\end{array}\right] \Rightarrow v=\frac{2\pi}{T}\times r \Rightarrow T=\frac{2\pi r}{v}$$

$$\Rightarrow T=\frac{2\pi}{v}\times\frac{m_e v}{eB} \Rightarrow \boxed{T=\frac{2\pi m_e}{eB}}$$

مناقشة: (هام خيار متعدد)
نلاحظ من علاقة نصف قطر المسار الدائري أن: (r) تتناسب طرداً مع (v) وعكساً مع (B)
لذا: (r) تنقص بإنقاص (v) أو بزيادة (B).

القوة الكهرطيسية:

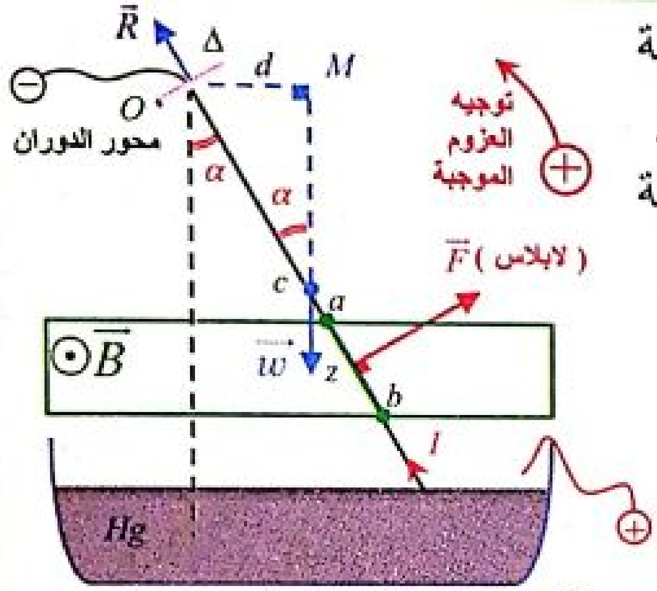
خطوات التجربة : (سؤال + جواب)

أركب دارة تجربة السلك الموضحة بالشكل.

أغلق الدارة وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول (α_1) وجهة الانحراف.

1- أعكس جهة التيار، وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول ، وجهة الانحراف.

ينحرف السلك عن الشاقول بنفس قيمة الزاوية (α_1) السابقة، وتنعكس جهة انحراف السلك.



-2 أعكس جهة الحقل المغناطيسي، وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول، وجهة الانحراف.

- ينحرف السلك عن الشاقول بنفس قيمة الزاوية (α_1) السابقة ، وتنعكس جهة انحراف السلك.

-3 أزيد شدة التيار ، وألاحظ زاوية الانحراف.

- ينحرف السلك عن الشاقول بزاوية (α_2) أكبر من (α_1).

-4 أزيد شدة الحقل المغناطيسي، وألاحظ زاوية الانحراف.

- ينحرف السلك عن الشاقول بزاوية (α_2) أكبر من (α_1).

-5 أزيد طول الجزء من الناقل المستقيم الخاضع لتأثير الحقل المغناطيسي وألاحظ زاوية الانحراف. ينحرف السلك عن الشاقول بزاوية (α_2) أكبر من (α_1)

النتائج:

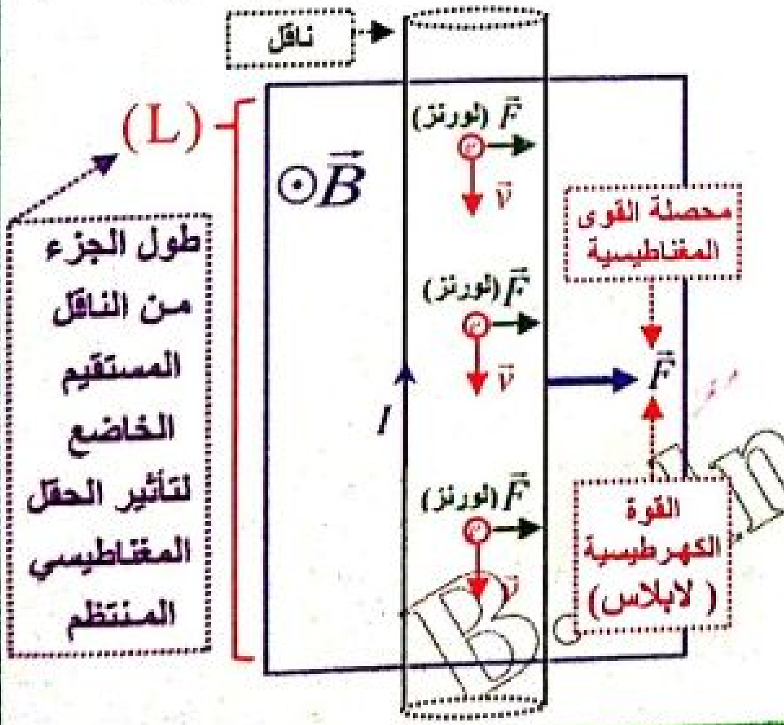
- **يؤثر الحقل المغناطيسي في السلك الناقل بقوة ثابتة تسمى القوة الكهرطيسية (قوة لابلاس)**
- تتعلق جهة القوة الكهرطيسية بجهة التيار، وجهة شعاع الحقل المغناطيسي المؤثرة.
- **تزداد شدة القوة الكهرطيسية بزيادة كل من:**

-1 شدة التيار المار بالسلك.

-2 شدة الحقل المغناطيسي المؤثرة.

-3 طول الجزء من الناقل المستقيم الخاضع للحقل المغناطيسي.

-4 تتعلق بـ $\sin\theta$ حيث θ الزاوية الكائنة بين الناقل المستقيم ، وشعاع الحقل المغناطيسي المؤثر $\theta:(I\vec{L},\vec{B})$



استنتاج عبارة القوة الكهرطيسية:

- بفرض أن طول السلك L ، ومساحة مقطعه s ،والكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة فيه n (عدد الإلكترونات في الـ m^3) يكون عدد الإلكترونات الحرة:

$$N = nV \Rightarrow N = nsL$$

تذكر: $I = \dfrac{q}{\Delta t}$ ، $q = Ne$

• إن الحقل المغناطيسي يؤثر في السلك الذي يمر فيه تيار كهربائي بقوة كهرطيسية تساوي محصلة القوى المغناطيسية المؤثرة في الشحنات المتحركة داخل السلك (الإلكترونات الحرة)

• وعند تطبيق فرق كمون بين طرفي السلك فإن الإلكترونات الحرة تتحرك بسرعة ثابتة $\vec{v}$ وتخضع هذه الإلكترونات إلى تأثير القوة المغناطيسية ، فتكون القوة الكهرطيسية مساوية جداء عدد الإلكترونات في القوة المغناطيسية، أي: $F = N \times F$

القوة الكهرطيسية — القوة المغناطيسية

$$F = N e v B \sin\theta \quad \text{لكن:} \quad v = \frac{L}{\Delta t} \Rightarrow F = N e . \frac{L}{\Delta t} . B \sin\theta \quad \text{ولدينا:} \quad q = Ne \Rightarrow F = \frac{q}{\Delta t} . L B \sin\theta \quad \text{لكن :} \quad I = \frac{q}{\Delta t}$$

$$\boxed{F = I\, L B \sin\theta \quad \text{(حفظ)}}$$

هي العلاقة المعبرة عن شدة القوة الكهرطيسية

حيث: (θ) هي الزاوية المحصورة بين $(I\vec{L}\,,\vec{B})$

ويسمى الشعاع $I\vec{L}$ بشعاع التيار ، الذي حامله السلك وجهته بجهة التيار.

وتكتب العبارة الشعاعية للقوة الكهرطيسية بالشكل:

$$\boxed{\vec{F} = I\vec{L} \wedge \vec{B} \quad \text{(حفظ)}}$$

(الجداء غير تبديلي)

شرح $\left\{ \begin{array}{l} \vec{F} \perp I\vec{L} \\ \vec{F} \perp \vec{B} \end{array} \right\} \xrightarrow[\text{الجداء الشعاعي}]{\text{حسب خواص}}$

ملاحظة: إن الأشعة $\left[\underset{1}{I\vec{L}}\,, \underset{2}{\vec{B}}\,, \underset{3}{\vec{F}} \right]$ تحقق ثلاثية مباشرة (مرتبة)

تمرين (تدرب أكثر): سلك طوله $50cm$ مساحة مقطعه $0.1cm^2$ الكثافة الإلكترونية الحجمية للإلكترونات الحرة في كل ثانية ($10^{24}\,m^3$ / إلكترون) فإذا كانت شحنة الإلكترونات $(e = 1.6\times10^{-19}\,C)$ فإن شدة التيار المارة فيه مقدرة بالأمبير .

a) 6 b) 3 c) 0.6 d) 0.8

الحل:

$$N = nV = nS\ell \Rightarrow N = 10^{24}\times10^{-5}\times5\times10^{-1} \Rightarrow N = 5\times10^{18} \text{ الكترون}$$

$$q = Ne \Rightarrow q = 5\times10^{18}\times1.6\times10^{-19} \Rightarrow q = 8\times10^{-1}\,C$$

$$I = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow I = \frac{8\times10^{-1}}{1} \Rightarrow I = 0.8\,A$$

عناصر شعاع القوة الكهرطيسية:

سؤال (عدة دورات):
- اكتب العبارة الشعاعية للقوة الكهرطيسية (لابلاس)
- اذكر عناصر شعاع القوة الكهرطيسية موضحاً بالشرح والرسم.
- بين متى تكون هذه القوة عظمى ومتى تكون معدومة.

الحل:

- **العبارة الشعاعية للقوة الكهرطيسية :** $\boxed{\vec{F} = I\vec{L} \wedge \vec{B}}$
- **عناصر شعاع القوة الكهرطيسية:**

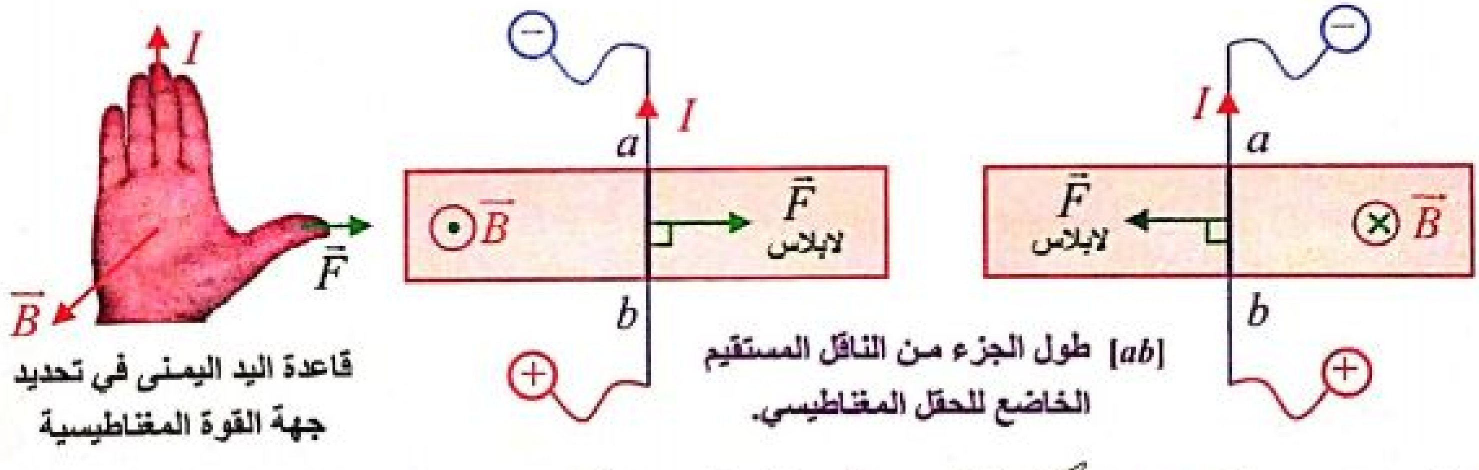
1- نقطة التأثير: منتصف الجزء من الناقل المستقيم الخاضع للحقل المغناطيسي المنتظم.

2- الحامل: عمودي على المستوي المحدد بالناقل المستقيم وشعاع الحقل المغناطيسي.

3- الجهة: تحقق الأشعة $\left[I\vec{L}, \vec{B}, \vec{F}\right]$ ثلاثية مباشرة وفق **قاعدة اليد اليمنى:**

- نجعل اليد اليمنى منبسطة على الناقل بحيث يدخل التيار من الساعد ويخرج من رؤوس الأصابع.
- يخرج شعاع الحقل $\vec{B}$ من راحة الكف.
- فيشير الإبهام إلى جهة القوة الكهرطيسية $\vec{F}$.

4- الشدة: تعطى بالعلاقة: $F = I L B \sin\theta$ حيث $\theta = (I\vec{L}, \vec{B})$.



قاعدة اليد اليمنى في تحديد جهة القوة المغناطيسية

[ab] طول الجزء من الناقل المستقيم الخاضع للحقل المغناطيسي.

- تكون: (عظمى)F (لابلاس) عندما $\theta = \frac{\pi}{2}$ أي $I\vec{L} \perp \vec{B}$ (لأن : $\sin 0 = 0$)

تكون: $F = 0$ (لابلاس) عندما (π أو 0) $= \theta$ أي $I\vec{L} // \vec{B}$ (لأن : $\sin 0 = 0$)

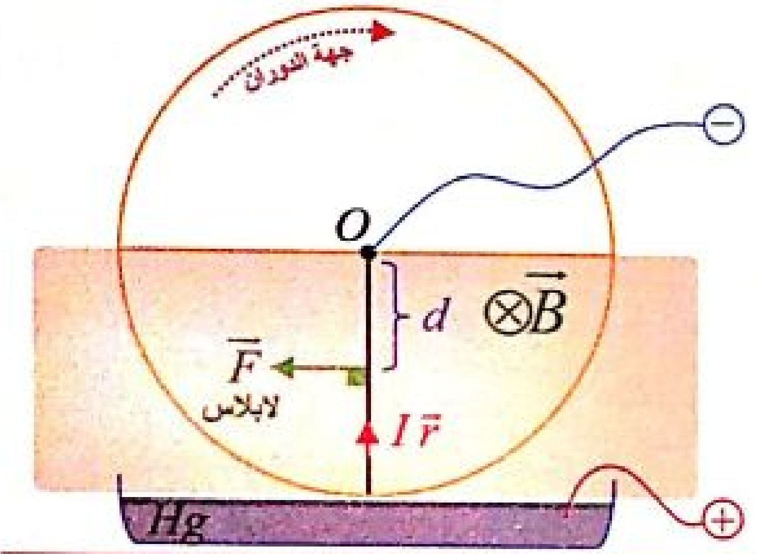
تجربة دولاب بارلو:

خطوات التجربة : (سؤال + جواب)

أركب دارة دولاب بارلو المبينة بالشكل المجاور، حيث يخضع نصف الدولاب السفلي لحقل مغناطيسي منتظم عمودي على مستوي الدولاب.

1. أغلق الدارة، وألاحظ جهة دوران الدولاب ، أعلل سبب الدوران.

عند إغلاق دارة الدولاب فإنه يدور بسبب تأثير **عزم القوة الكهرطيسية.**



$\ell = r$ الخاضع لحقل المغناطيسي ، $d=\frac{r}{2}$ ذراع القوة الكهرطيسية

2. أعكس جهة التيار، أو أعكس جهة الحقل المغناطيسي، وألاحظ جهة دوران الدولاب ، أعلل ذلك.

عندما تنعكس جهة التيار أو جهة الحقل المغناطيسي فإن جهة الدوران تنعكس أيضاً.

لأنه عندما تنعكس جهة التيار أو جهة الحقل المغناطيسي يؤدي إلى انعكاس جهة القوة الكهرطيسية وبالتالي تنعكس جهة الدوران.

3. أزيد شدة التيار أو أزيد شدة الحقل المغناطيسي، وألاحظ سرعة دوران الدولاب، أعلل سبب ذلك.

عند زيادة شدة التيار أو زيادة شدة الحقل المغناطيسي تزداد سرعة دوران الدولاب.

بسبب زيادة شدة القوة الكهرطيسية، لأن شدة القوة الكهرطيسية تتناسب طرداً مع شدة التيار وطرداً مع شدة الحقل المغناطيسي: $F=I\,r\,B\sin\theta$

4. **اكتب العبارة الشعاعية للقوة الكهرطيسية التي سببت دوران الدولاب وأحدد عناصر هذه القوة موضحاً بالشرح والرسم.** (هام جداً) . $\boxed{\vec{F}=I\vec{r}\wedge\vec{B}}$

عناصر القوة الكهرطيسية التي يخضع لها الدولاب:

1. **نقطة التأثير:** منتصف نصف القطر الشاقولي السفلي الخاضع للحقل المغناطيسي المنتظم (والذي يجتازه التيار).
2. **الحامل:** عمودي على المستوي المحدد بنصف القطر الشاقولي السفلي وشعاع الحقل المغناطيسي المنتظم.
3. **الجهة:** تحقق الأشعة $[I\vec{r}\,,\,\vec{B}\,,\,\vec{F}]$ 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 الكهرطيسية $\vec{F}$.

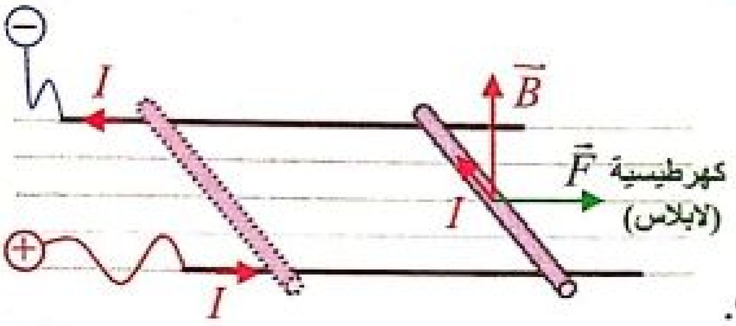
فائدة:
في دولاب بارلو تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.

4. **الشدة:** تعطى بالعلاقة : $F=I\,r\,B\sin\theta \Rightarrow F=I\,r\,B$

حيث : $\theta=\frac{\pi}{2}rad : (I\vec{r}\,,\vec{B})\ ,\ \sin\frac{\pi}{2}=1$

عمل القوة الكهرطيسية (نظرية مكسويل)

تجربة السكتين الكهرطيسية :



خطوات التجربة : (سؤال + جواب)

1. أركب الدارة المبينة بالشكل، أغلق الدارة، وألاحظ ماذا يحدث للساق، أفسر سبب ذلك.

عند إغلاق دارة السكتين تتدحرج الساق.

نفسر سبب تدحرج الساق أنها تخضع لتأثير القوة الكهرطيسية.

2. أعكس جهة التيار، أو أعكس جهة الحقل المغناطيسي وألاحظ جهة حركة الساق، أعلل ذلك.

عندما تنعكس جهة التيار أو جهة الحقل المغناطيسي فإن جهة حركة الساق تنعكس أيضاً

لأنه عندما تنعكس جهة التيار أو جهة الحقل المغناطيسي يؤدي إلى انعكاس جهة القوة الكهرطيسية وبالتالي تنعكس جهة حركة الساق.

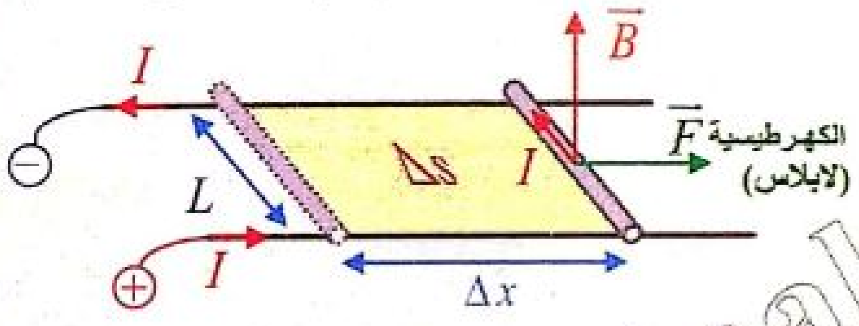
3. أزيد شدة التيار أو أزيد شدة الحقل المغناطيسي،وألاحظ سرعة تدحرج الساق، أعلل سبب ذلك.

عند زيادة شدة التيار أو زيادة شدة الحقل المغناطيسي تزداد سرعة تدحرج الساق.

بسبب زيادة شدة القوة الكهرطيسية، لأن شدة القوة الكهرطيسية تتناسب طرداً مع شدة التيار وطرداً مع شدة الحقل المغناطيسي: $F = I\,L\,B\sin\theta$

4. أحدد نوع العمل الذي تنجزه القوة الكهرطيسية. تنجز عملاً محركاً موجباً $(W>0)$

سؤال (عدة دورات): استنتج العلاقة المعبرة عن عمل القوة الكهرطيسية (نظرية مكسويل) في تجربة السكتين الكهرطيسية (حيث $\vec{B}$ يعامد مستوي السكتين) مع التوضيح بالرسم واذكر نص نظرية مكسويل.



الحل:

- تنتقل الساق الأفقية موازية لنفسها مسافة Δx، فتمسح سطحاً $\Delta s = L\Delta x$
- حيث تنتقل نقطة تأثير القوة الكهرطيسية على حاملها وبجهتها.
- فتنجز القوة الكهرطيسية عملاً محركاً موجباً $[W>0]$

$$W = F\,\Delta x \qquad F = I\,L\,B\sin\frac{\pi}{2} \quad \Rightarrow \quad W' = I\,L\,B\,\Delta x \qquad W = I\,B\,\Delta s$$

$\alpha = 0 \;:\; (\vec{B},\vec{n})$
$\cos 0 = 1$

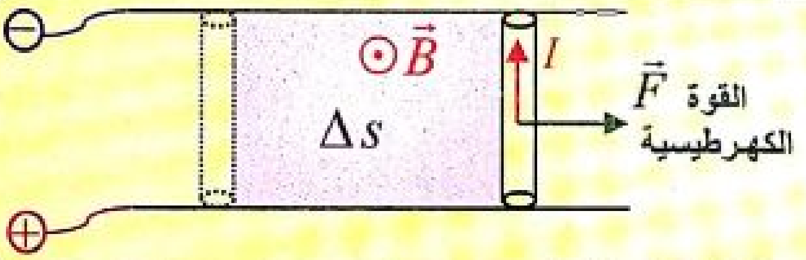
لكن: $\Delta\Phi = B\,\Delta s > 0$ يمثل **تزايد** التدفق المغناطيسي.

نستنتج أن: $\boxed{W = I\,\Delta\Phi}$ **(حفظ)** **حيث:** W: العمل (J) ، I: شدة التيار الكهربائي (A)

$\Delta\Phi$: تزايد التدفق المغناطيسي $(Weber)$.

نص نظرية مكسويل: عندما تنتقل دارة كهربائية (أو جزء من دارة كهربائية) في منطقة يسودها حقل مغناطيسي، فإن عمل القوة الكهرطيسية المسببة لذلك الانتقال يساوي جداء شدة التيار المار في الدارة في **تزايد** التدفق المغناطيسي الذي يجتازها.

ملاحظة:
إذا اعتبرنا ورقة الدفتر مستو أفقي و $\vec{B}$ عمودي على مستوي السكتين نستطيع أن نرسم الشكل كما يلي:



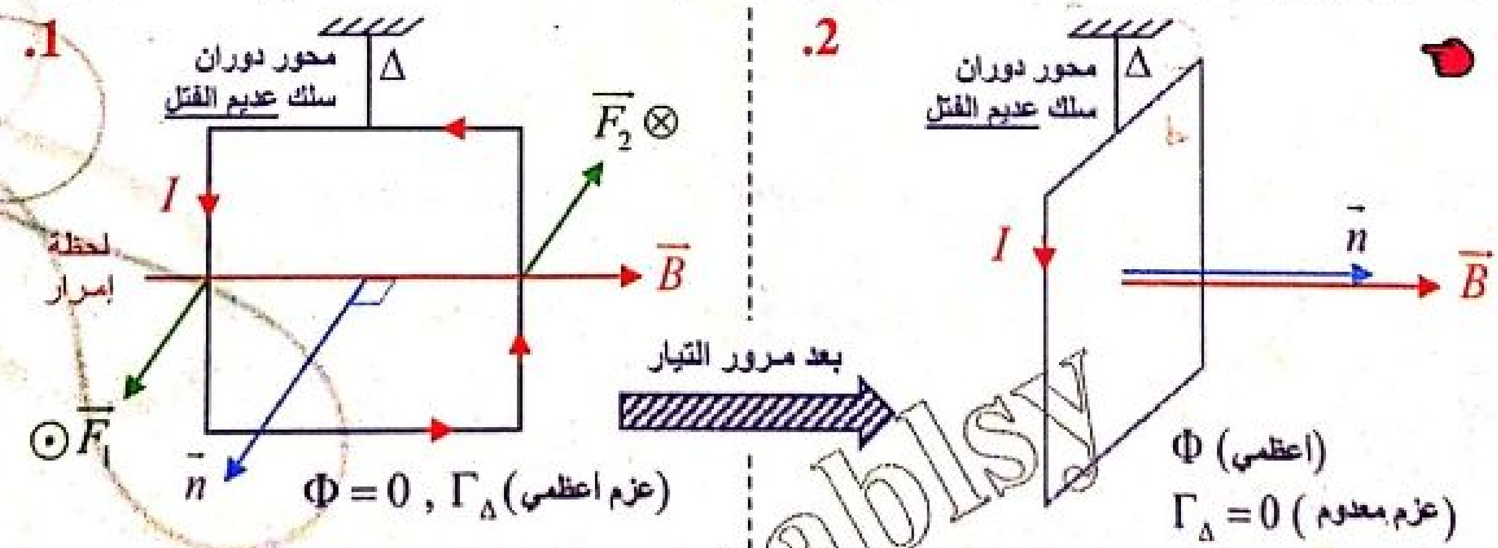
تأثير الحقل المغناطيسي على إطار مستطيل يمر فيه تيار كهربائي متواصل:

قاعدة التدفق الأعظمي:

أجرب وأستنتج : (سؤال + جواب)

1- أركب الدارة المبينة بالشكل المجاور حيث خطوط الحقل المغناطيسي توازي مستوي الإطار.
2- أمرّر تياراً متواصلاً شدته مناسبة في الإطار، ماذا ألاحظ؟ ماذا أستنتج ؟ ماتفسير ذلك؟

.1 .2



لدينا إطار معلق بسلك عديم الفتل قابل للدوران حول محور شاقولي وخاضع لحقل مغناطيسي منتظم خطوطه توازي مستوي الإطار لحظة إمرار التيار (أو نقول قبل إمرار التيار).

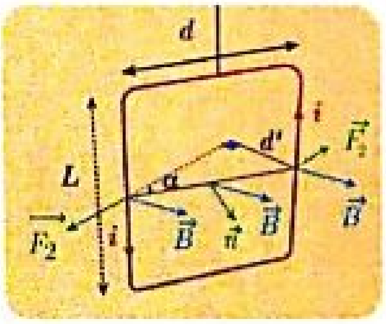
يدور الإطار لينطبق $\vec{n}$ على $\vec{B}$ ويستقر في وضع يكون التدفق المغناطيسي الذي يجتازه من وجهه الجنوبي أعظمياً. ((التوازن مستقر))

- **النتيجة:** عند إمرار التيار الكهربائي في الإطار المعلق بسلك عديم الفتل (محور الدوران) يدور ويستقر عندما تصبح خطوط الحقل المغناطيسي عمودية على مستوي الإطار (تدفق أعظمي).
- **أفسر سبب دوران الإطار:** يؤثر الحقل المغناطيسي المنتظم في الإطار بمزدوجة كهرطيسية تنشأ عن القوتين الكهرطيسيتين 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 أعظمياً.

ملاحظة: لحظة إمرار التيار القوتان على الأضلاع الأفقية معدومة لأن $I\vec{L}//\vec{B}$

وبهذا نستنتج : قاعدة التدفق الأعظمي (نتيجة لنظرية مكسويل): والتي تنص على مايلي:

إذا أثر حقل مغناطيسي في دارة كهربائية مغلقة حرة الحركة تحركت بحيث **يزداد** التدفق المغناطيسي الذي يجتازها من وجهها الجنوبي، وتستقر في وضع يكون التدفق المغناطيسي فيها أعظمياً أي: **توازن مستقر ⟷ تدفق أعظمي**



سؤال: (دورة 2020) **استنتج علاقة عزم المزدوجة الكهرطيسية المؤثرة في إطار طول ضلعه الأفقي d ، والشاقولي L.**

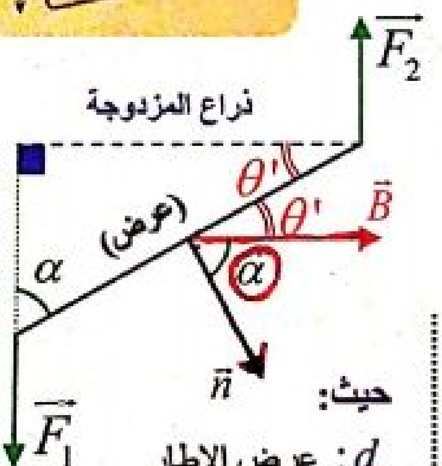
الحل:

تذكرة:

عزم المزدوجة = ذراع المزدوجة × إحدى القوتين

$$\overline{\Gamma}_\Delta = d' \times F$$

(d') : ذراع المزدوجة: هو العمود الواصل بين حاملي القوتين



حيث:

d : عرض الإطار

d' : ذراع المزدوجة الكهرطيسية

θ' : الزاوية بين الوضعين

$\alpha = [\widehat{\vec{B},\vec{n}}]$: α

- $$\overline{\Gamma}_\Delta = d' F$$

$$\sin\alpha = \frac{d'}{d} \Rightarrow d' = d\sin\alpha$$

- شدة القوة الكهرطيسية من أجل (N) لفة معزولة ومتماثلة :

$$F_1 = F_2 = F$$

$$F = N I L B \sin\frac{\pi}{2}$$ **(شدة القوة المؤثرة على الأضلاع الشاقولية)** $\left[\theta = \frac{\pi}{2}\ (I\vec{L} \perp \vec{B})\ , \sin\frac{\pi}{2} = 1\right]$

نعوض: $\Gamma_\Delta = N I L B d \sin\alpha$

لكن: $\boxed{s = d\,L}$ مساحة سطح الإطار (m^2)

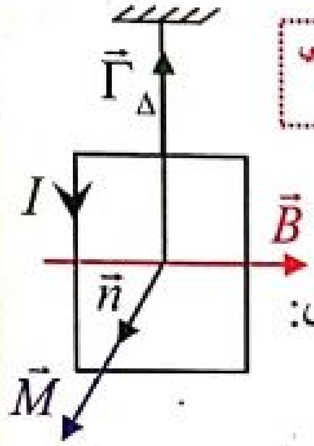
$$\Rightarrow \boxed{\overline{\Gamma}_\Delta = N I s B \sin\alpha}$$ **(حفظ)**

وهي عبارة عزم المزدوجة الكهرطيسية

حيث: $\alpha = [\widehat{\vec{B},\vec{n}}]$

ملاحظة : يسمى الجداء NIs بالعزم المغناطيسي M

أي: $M = NIs$ **(حفظ)** — شدة العزم المغناطيسي $A.m^2$



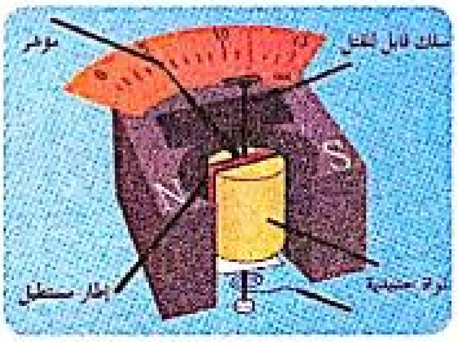
وتكتب عبارته الشعاعية بالعلاقة: $\boxed{\vec{M} = NI\vec{s}}$

وبذلك يمكننا أن نكتب علاقة عزم المزدوجة الكهرطيسية شعاعياً بالشكل:

$$\boxed{\vec{\Gamma}_\Delta = \vec{M} \wedge \vec{B}}$$

$\vec{M}$ شعاع العزم المغناطيسي ناظمي على مستوي الإطار، وجهته بجهة إبهام يد يمنى تلتف أصابعها بجهة التيار (أي يخرج شعاع العزم المغناطيسي من الوجه الشمالي للدارة).

المقياس الغلفاني ذو الإطار المتحرك:

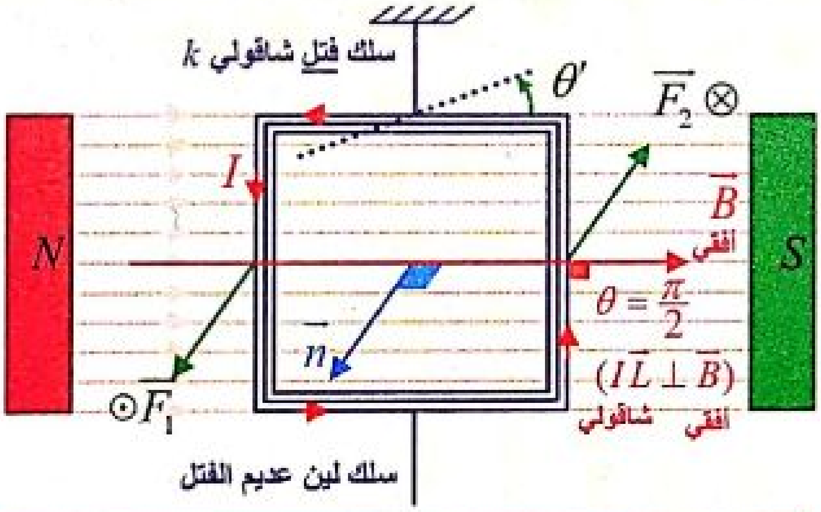


- **استخدامه:**

هو جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربائية صغيرة الشدة، وقياسها.

- **مم يتكون المقياس الغلفاني؟**

يتألف من ملف على شكل إطار مستطيل يحتوي N لفة معزولة متماثلة ، **يتصل أحد طرفيه بسلك قابل للفتل** (k) ، أما الطرف الآخر من سلك الملف فيتصل بسلك آخر شاقولي لين عديم الفتل، ويمكن للإطار أن يدور حول محوره الشاقولي المار بمركزه بين قطبي مغناطيس نضوي محيطاً بنواة أسطوانية من الحديد اللين، **بحيث يكون مستوى الإطار يوازي الخطوط الأفقية للحقل المغناطيسي للمغناطيس قبل إمرار التيار.**



لحظة إمرار التيار: $\alpha = \frac{\pi}{2}[\vec{n} \perp \vec{B}]$ ، إذاً: $\Phi = 0$

- **مبدأ عمله:**

عندما يمر تيار كهربائي في الإطار فإنه يدور بزاوية صغيرة θ' فيشير مؤشر المقياس إلى قراءة معينة عندما يتوازن الإطار دالاً على قيمة شدة التيار المار (المراد قياسه $I = ?$).

▪ **استنتاج العلاقة بين زاوية دوران الإطار θ' والتيار المار فيه I.**

- عند إمرار التيار الكهربائي المراد قياس شدته I في إطار المقياس.
- فإن الحقل المغناطيسي المنتظم يؤثر في الإطار بمزدوجة كهرطيسية تسبب دوران الإطار حول محور دورانه.
- فينشأ في سلك الفتل مزدوجة فتل تمانع استمرار الدوران $\boxed{\overline{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} = -k\theta' \text{ (حفظ)}}$
- ويتوازن الإطار بعد أن يدور بزاوية صغيرة θ' **وعندها يتحقق شرط التوازن الدوراني.**

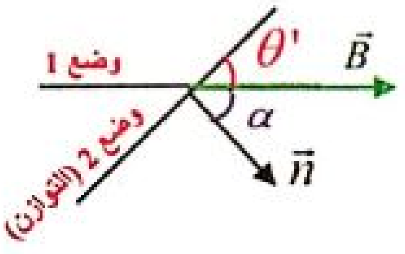
سؤال عدة دورات: في المقياس الغلفاني يدور الإطار بزاوية صغيرة $[\theta']$ ويتوازن. انطلاقاً من شرط التوازن الدوراني استنتج العلاقة التي تربط زاوية الدوران $[\theta']$ وشدة التيار الذي يجتاز الاطار، اشرح كيف تتم زيادة حساسية المقياس.

الحل :

شرط التوازن الدوراني: $\overline{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} + \overline{\Gamma}_{\Delta} = 0 \Rightarrow \sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = 0$

فتل (مقاومة) كهرطيسية (محركة)

$$N I s B \sin\alpha - K\theta' = 0$$



لكن: $\alpha + \theta' = \dfrac{\pi}{2}\, rad \Rightarrow \sin\alpha = \cos\theta'$

$$N I s B \cos\theta' - k\theta' = 0$$

وباعتبار $[\theta']$ زاوية صغيرة : فإن $\cos\theta' \approx 1$

$$N I s B - k\theta' = 0 \Rightarrow N I s B = k\theta'$$

$$\theta' = \frac{N s B}{k} . I$$

لكن: $\boxed{G = \dfrac{N s B}{k}}$ **(حفظ)**
ثابت المقياس الغلفاني

$$\Rightarrow \boxed{\theta' = G\ I} \text{ (حفظ)}$$

θ': rad ، G: $rad.A^{-1}$ ، I: A

حيث: G **: ثابت القياس 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 قيمة ثابت الفتل k) (أو بزيادة S, B, N)

لأنه بزيادة G تزداد زاوية دوران الاطار θ' من أجل شدة التيار نفسها.

فكرة هامة: إذا مررنا تياراً واحداً في مقياسين غلفانيين موصولين على التسلسل فإن المقياس الذي ينحرف إطاره بزاوية أكبر يكون أشد حساسية (أي ثابته G هو الأكبر).

جهاز المقياس متعدد الأغراض (آفومتر)

يستخدم هذا الجهاز لاستخدامات عدة مثل قياس:

1. التوتر المستمر DC **2.** التوتر المتناوب AC **3.** شدة التيار المستمر والمتناوب. **4.** المقاومات

ما يجب تذكره وللتميز:

عزم المزدوجة الكهرطيسية المؤثرة على إطار خاضع لحقل مغناطيسي منتظم $[\overrightarrow{B}]$ خطوط حقله توازي مستوي الإطار لحظة إمرار التيار (I) تُعطى بالعلاقة:

$$[\overline{\Gamma}_{\Delta} = N\ I\ s\ B \sin\alpha]$$ **حيث:** $\alpha = [\overrightarrow{B}\ ,\ \overrightarrow{n}]$

A) مع سلك عديم الفتل (محور الدوران) $\Longrightarrow$ يدور الإطار لينطبق $[\overrightarrow{n}$ على $\overrightarrow{B}]$ ويتحقق:

[تدفق أعظمي $\Leftrightarrow$ توازن مستقر]

B) مع سلك الفتل (k) $\Longrightarrow$ مقياس غلفاني: يدور الإطار فقط بزاوية (θ') ثم يتوازن.

[وفي هذه الحالة يكون التدفق موجب وليس أعظمياً]

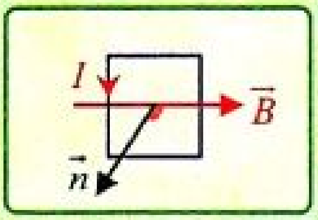
فائدة لحل المسائل:

لدينا علاقة التدفق المغناطيسي: $\overline{\Phi} = N B s \cos\alpha$

لدينا علاقة عزم المزدوجة الكهرطيسية: $\overline{\Gamma}_{\Delta} = N I s B \sin\alpha$

حيث $[\alpha]$ هي زاوية بين $\overline{B}$ والناظم على السطح $\overline{n}$. أي $\alpha = [\overline{B}\hat{,}\overline{n}]$

A) حقل مغناطيسي $\overline{B}$ يوازي السطح:

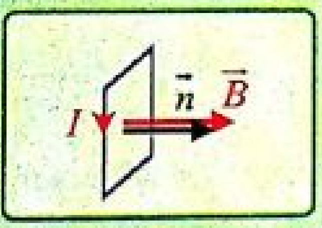


$\alpha = \frac{\pi}{2} (\overline{B} \perp \overline{n})$

$\Phi = 0$

Γ_{Δ} أعظمي

B) حقل مغناطيسي $\overline{B}$ عمودي(ناظمي) على السطح:



$\alpha = 0\ (\overline{B}\ ,\ \overline{n})$

Φ أعظمي

$\Gamma_{\Delta} = 0$

ملاحظات:

1. **مطلوب راجع نوطة المسائل ص 58 مايجب تذكره + فوائد لحل المسائل.** ✓

2. حل ودراسة أسئلة الدرس النظري + التفكير الناقد.

3. حل ودراسة مسائل الدرس أرقام (1 + 2 + 3 + 4) ✓

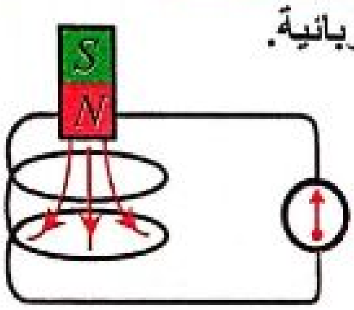
4. حل ودراسة المسائل العامة أرقام (12 + 13 + 14 + 15 + 16) ✓

5. إجراء امتحان بسؤال خيار من متعدد من نوطة المسائل ص 170 من رقم 6 إلى 24.

الدرس الثالث 3

التحريض الكهرطيسي:

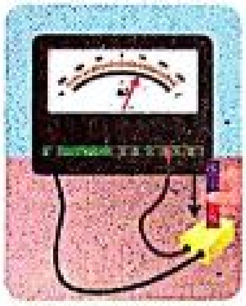
تمهيد: في ظل الطلب المتزايد على الطاقة ولاسيما الطاقة الكهربائية تزداد الحاجة للبحث عن مصادر جديدة لها، وقد تم استثمار المصادر الطبيعية كالمياه والرياح للحصول على الطاقة ولاسيما النظيفة منها، فبنيت السدود ووضعت على فتحاتها عنفات لتحويل الطاقة الميكانيكية للماء إلى طاقة كهربائية، فما مبدأ عمل هذه العنفات؟ **وما مبدأ توليد التيار الكهربائي والحصول على الطاقة الكهربائية.**



قانون فاراداي:

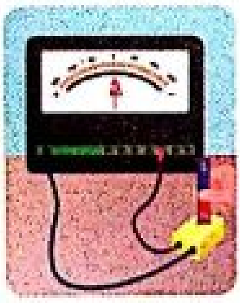
أجرب واستنتج : (سؤال + جواب)

تجربة (1): أركب الدارة الموضحة بالشكل:

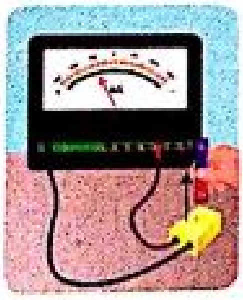


1. أقرب أحد قطبي المغناطيس من أحد وجهي الوشيعة وفق محورها، وأراقب مؤشر مقياس الميكرو أمبير ،ماذا ألاحظ؟

انحراف مؤشر المقياس وهذا يدل على مرور تيار كهربائي متحرض في الوشيعة. **(تزايد تدفق الحقل المغناطيسي المُحرض).**



2. أثبت المغناطيس عند أحد الوجهين، وأراقب مؤشر المقياس، ماذا ألاحظ؟ لاينحرف مؤشر المقياس أي لايمر تيار كهربائي $(\Phi = const \Rightarrow \Delta\Phi = 0)$



3. أبعد المغناطيس عن وجه الوشيعة، وأراقب مؤشر المقياس،ماذا ألاحظ؟

انحراف مؤشر المقياس في الاتجاه المعاكس وهذا يدل على مرور تيار كهربائي متحرض في الاتجاه المعاكس لجهته السابقة. **(تناقص تدفق الحقل المغناطيسي المُحرض)**

4. أكرر التجربة السابقة بتقريب وإبعاد المغناطيس خلال زمن أقل (زيادة سرعة تقريب وإبعاد المغناطيس) ما الذي يحدث لمؤشر المقياس؟

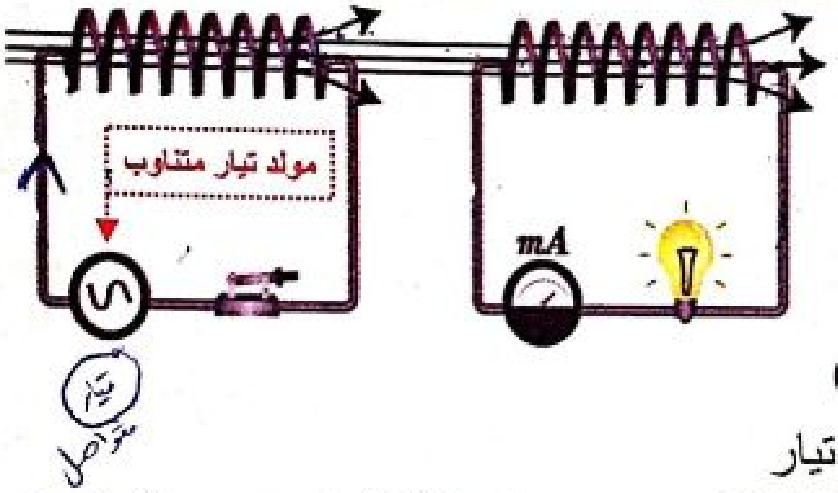
انحراف مؤشر المقياس بشكل أكبر مما كان عليه في السابق. وهذا يدل على مرور تيار كهربائي متحرض شدته أكبر من التيار الكهربائي السابق.

النتيجة:

إن تقريب المغناطيس أوإبعاده يؤدي إلى **تغير التدفق المغناطيسي (بالزيادة أو بالنقصان)** وبالتالي تنشأ قوة محركة كهربائية متحرضة تسبب مرور التيار الكهربائي المتحرض.

لاحظ أنه: تولد تيار كهربائي في الدارة دون أن تكون هذه الدارة موصولة بمنبع للتيار.

تجربة (2): المواد اللازمة: وشيعتان مولد تيار متناوب جيبي – مولد تيار متواصل- مصباح كهربائي- أسلاك توصيل – مقياس ميلي أمبير.



خطوات التجربة : (سؤال + جواب)

أصل طرفي الوشيعة الأولى بمأخذ لمولد تيار كهربائي متناوب جيبي ، أضع الوشيعة الثانية ليكون محورها منطبقا على محور الوشيعة الأولى، وأصل طرفيها بوساطة أسلاك التوصيل إلى المصباح الكهربائي ومقياس الميلي أمبير.

1. أغلق دارة الوشيعة الأولى، وأراقب المصباح الكهربائي، ومقياس الميلي أمبير في الدارة الثانية، ماذا ألاحظ؟ ماذا أستنتج ؟ كيف أفسر هذه الظاهرة؟

نلاحظ إضاءة المصباح وانحراف مؤشر مقياس الميلي أمبير.

نستنتج: تولد تيار كهربائي في الدارة الثانية الحاوية على مصباح ومقياس الميلي أمبير على الرغم من عدم وجود مولد فيها، لذا نقول أن التيار المتولد في الدارة الثانية ناتج عن التحريض الكهرطيسي، ويدعى بالتيار الكهربائي المتحرض.

أفسر هذه الظاهرة: إن إضاءة المصباح الموصول بين طرفي الوشيعة الثانية وانحراف مؤشر مقياس الميلي أمبير، فيها يدل على نشوء تيار متحرض على الرغم من عدم تحريك أي من الوشيعتين.

ويعلل ذلك: أن الوشيعة الأولى تولد حقلاً مغناطيسياً متناوباً جيبياً فيتغير التدفق المغناطيسي الذي يجتاز الوشيعة الثانية، وتتولد قوة محركة كهربائية متحرضة تسبب مرور التيار الكهربائي المتحرض.

2. أكرر التجربة السابقة بعد استبدال مولد التيار المتواصل بمولد التيار المتناوب، ماذا ألاحظ؟ ماتفسير ذلك؟

لايضئ المصباح ولاينحرف مؤشر مقياس الميلي أمبير.

التفسير: لعدم نشوء تغير في التدفق المغناطيسي وعدم نشوء تيار مُحرض.

مداخلة: نستطيع أن نجعل المصباح يضئ بأن نحرك أحد الوشيعتين بالنسبة للأخرى (قد يكون التحريك ناجم عن التدوير) أو نقوم بفتح القاطعة وإغلاقها (بشكل مستمر).

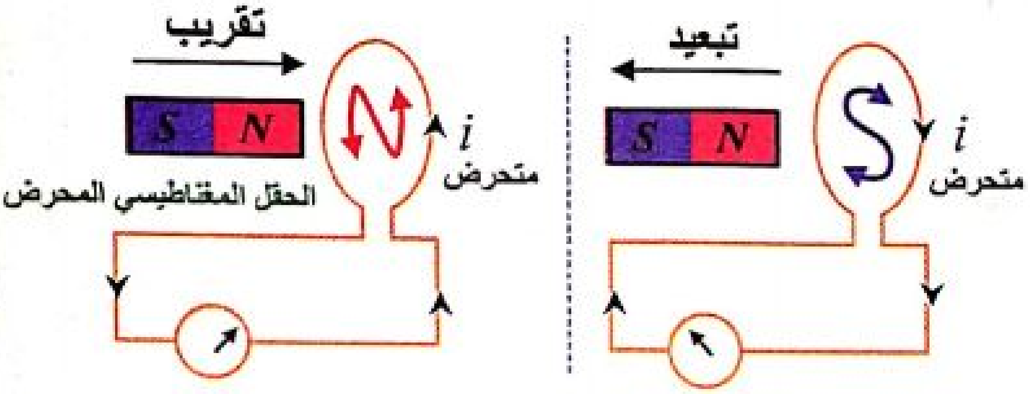
نص قانون فاراداي:

يتولد تيار كهربائي متحرض في دارة مغلقة إذا تغير التدفق المغناطيسي الذي يجتازها ويدوم هذا التيار بدوام تغيّر التدفق و لينعدم عند ثبات التدفق المغناطيسي المُحرض.

قانون لنز (في تعيين جهة التيار المتحرض):

أجرب وأستنتج:

تشير التجربة أنه: تقريب قطب مغناطيسي من وجه ملف يعطي قطب مماثل وإبعاده يعطي قطب معاكس.



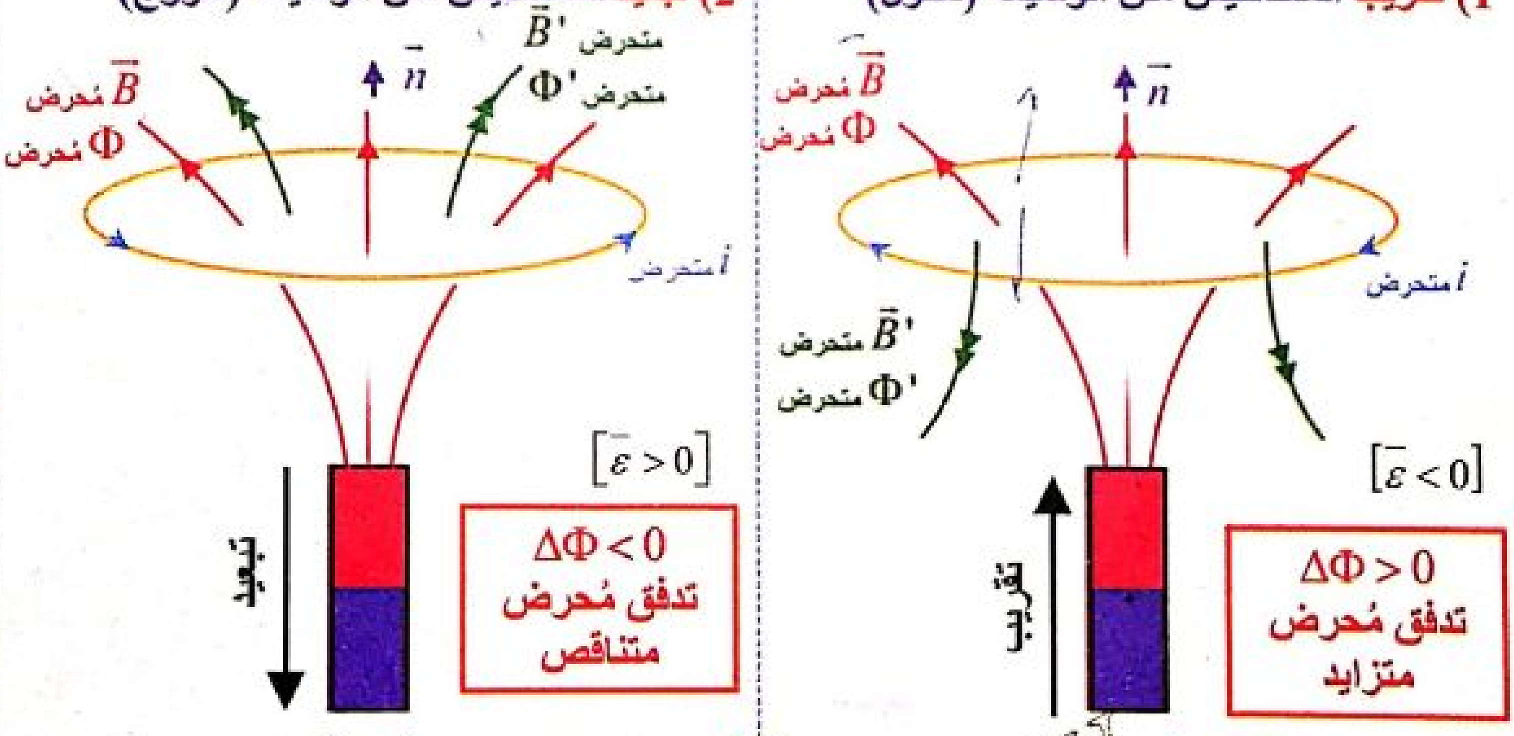
ملاحظات هامة جداً:

(تغير تدفق الحقل المغناطيسي المُحرض ($\vec{B}$ مُحرض)) $\Leftarrow$ (نشوء تيار كهربائي متحرض) $\Leftarrow$ (نشوء حقل مغناطيسي متحرض ($\vec{B'}$ متحرض))

إذاً: [$\vec{B}$ مُحرض يُنتج Φ مُحرض] ، [$\vec{B'}$ متحرض يُنتج Φ' متحرض].

اصطلاح: يوجه $\vec{n}$ الناظم بجهة الحقل المغناطيسي المُحرض.

نتائج قانون لنز:



(تزايد تدفق الحقل المغناطيسي المُحرض) ⬅ (تناقص تدفق الحقل المغناطيسي المتحرض)

(تناقص تدفق الحقل المغناطيسي المُحرض) ⬅ (تزايد تدفق الحقل المغناطيسي المتحرض)

{جهة ($\vec{B'}$ متحرض) **بعكس** جهة ($\vec{B}$ مُحرض)}

{جهة ($\vec{B'}$ متحرض) **بنفس** جهة ($\vec{B}$ مُحرض)}

قاعدة اليد اليمنى لتحديد جهة التيار المتحرض:

نجعل إبهام اليد اليمنى بجهة ($\vec{B'}$ متحرض)، فتكون جهة التفاف الأصابع لها جهة التيار المتحرض.

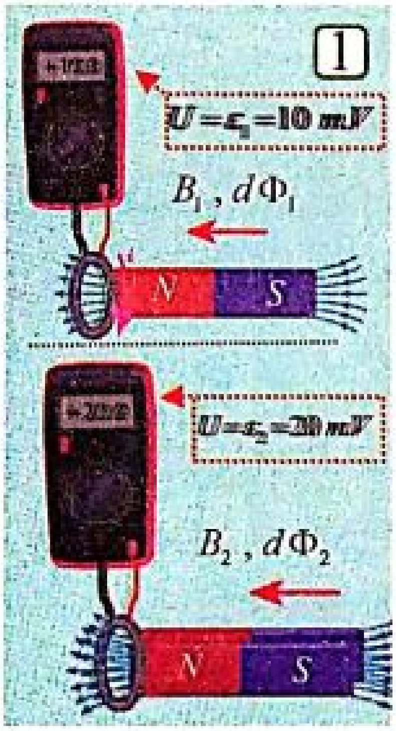
نتيجة: إن التيار المتحرض يظهر أفعالا تعاكس سبب حدوثه، فالوشيعة تسعى لإنقاص التدفق المغناطيسي الذي يجتازها في حال تزايد التدفق المغناطيسي المُحرض الناجم عن تقريب المغناطيس، وتسعى لزيادة التدفق المغناطيسي الذي يجتازها في حالة إنقاص التدفق المغناطيسي المُحرض الناجم عن إبعاد المغناطيس.

نص قانون لنز:

إن جهة التيار المتحرض في دارة مغلقة تكون بحيث يُنتج أفعالاً **تعاكس السبب** الذي أدى إلى حدوثه.

القوة المحركة الكهربائية المتحرضة:

إن مرور تيار كهربائي في أي دارة مغلقة يكافئ وضع مولد فيها يمتاز بقوة محركة كهربائية متحرضة ε . فما العوامل التي تتوقف عليها القوة المحركة الكهربائية المتحرضة؟

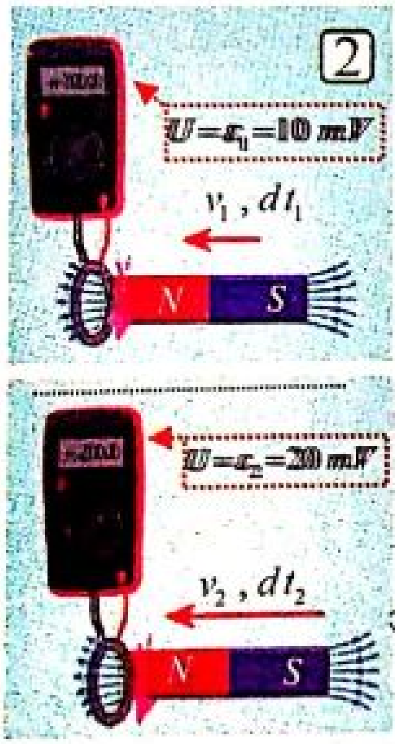


نشاط :

استبدل بمقياس الميكرو أمبير في التجربة السابقة مقياس ميلي فولت (مقياس الميلي فولت يقيس فرق الكمون الذي يمثل القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في الوشيعة $U=\varepsilon$).

1. أقرب المغناطيس وفق محور الوشيعة، وأسجل القيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية المتحرضة المتولدة ε_1 التي نقرؤها على مقياس الميلي فولت.
أعيد التجربة حيث ألصق بالمغناطيس مغناطيسا آخر مماثلا له بشكل تنطبق فيه الأقطاب المتماثلة على بعضها، وأقرب جملة المغناطيسين وفق محور الوشيعة خلال الزمن نفسه تقريبا، وأسجل القيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية المتحرضة بقراءتها على مقياس الميلي فولت ولتكن ε_2. ماذا ألاحظ ؟ وماذا أستنتج؟

نلاحظ أنه: $B_2=2B_1 \Rightarrow d\Phi_2=2d\Phi_1 \Rightarrow \boxed{\varepsilon_2=2\varepsilon_1}$



2. أعيد التجربة السابقة بمغناطيس واحد، وأقربه من الوشيعة وفق محورها بزمن أقل بحيث يصبح نصف ما كان عليه تقريبا، وأسجل القيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية المتحرضة ε_2.
ماذا ألاحظ؟ وماذا أستنتج؟

نلاحظ أنه: $v_2=2v_1 \Rightarrow dt_2=\frac{1}{2}dt_1 \Rightarrow \boxed{\varepsilon_2=2\varepsilon_1}$

النتائج:

- تتناسب القوة المحركة الكهربائية المتحرضة $\overline{\varepsilon}$:
  1. طردا مع تغير التدفق المغناطيسي المُحرض $d\overline{\Phi}$.
  2. عكسا مع زمن تغير التدفق المغناطيسي المُحرض dt.
- بناء على ما سبق يمكننا أن نعبر رياضيا عن **قانون فارداي** بالعلاقة الآتية:

$$\overline{\varepsilon} = -(\overline{\Phi})'_t \text{ (حفظ)} \Rightarrow \overline{\varepsilon} = -\frac{d\overline{\Phi}}{dt} \text{ (حفظ)}$$

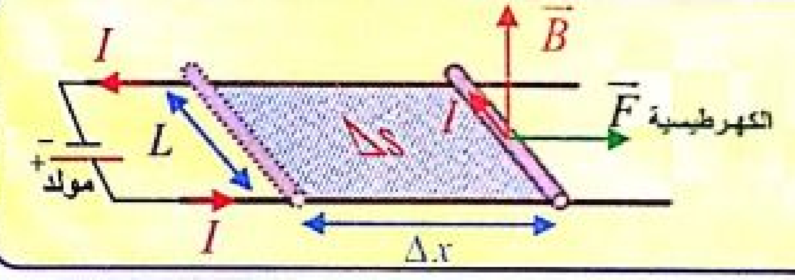
حيث تنسجم الإشارة السالبة مع قانون لنز.

ملاحظات:

- القوة المحركة الكهربائية المتحرضة الوسطى: $\underbrace{\overline{\varepsilon}}_{\text{وسطى}} = -\frac{\Delta\overline{\Phi}}{\Delta t}$ (حفظ) خلال فترة زمنية Δt
- فرق الكمون يمثل القوة المحركة الكهربائية المتحرضة: $U_{ab} = \varepsilon$ (حفظ) Volt
- لحساب شدة التيار المتحرض: $U = Ri \Rightarrow \varepsilon = Ri \Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R}$ (حفظ)

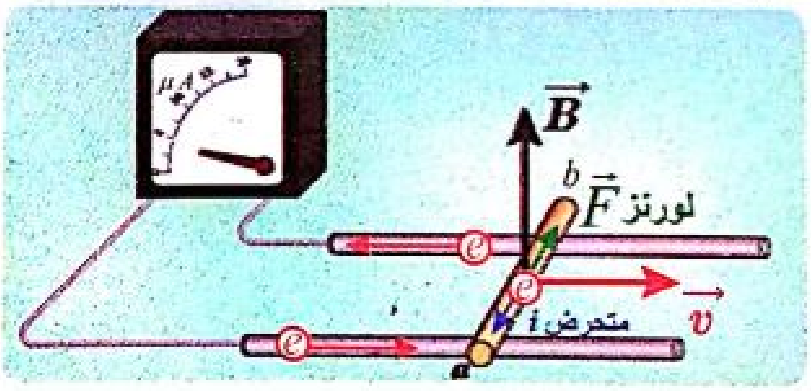
التعليل الإلكتروني لنشوء التيار المتحرض والقوة المحركة الكهربائية المتحرضة:

تذكر: تجربة السكتين الكهرطيسية:
تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (مبدأ المحرك)



تجربة السكتين التحريضية:

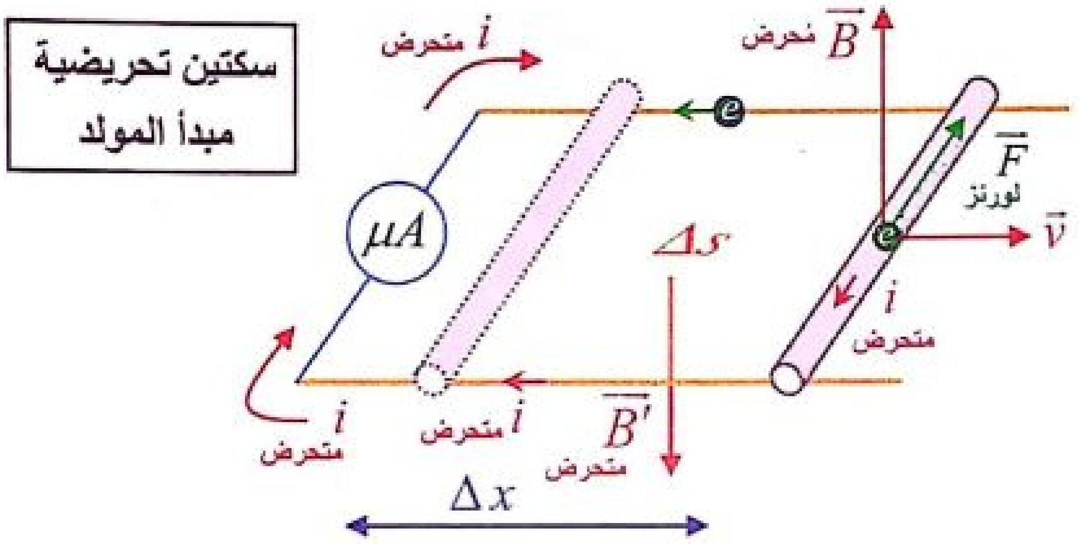
خطوات التجربة: أستبدل بالمولد في تجربة السكتين الكهرطيسية مقياس الميكرو أمبير، كما في الدارة الموضحة بالشكل المجاور.



سؤال دورة:

ساق نحاسية طولها (L) تستند على سكتين أفقيتين متوازيتين [مربوط بين طرفيها مقياس (μA)] نضع الجملة في منطقة يسودها حقل مغناطيسي منتظم $(\overrightarrow{B})$ ناظمي على مستوي السكتين. أدحرج الساق الناقلة على السكتين (وأراقب انحراف مقياس الميكروأمبير)، ماذا ألاحظ؟ أفسر ذلك؟ موضحاً بالرسم جهة كل من ($\overrightarrow{B}$, $\overrightarrow{v}$ وجهة التيار المتحرض).

الجواب:



- ينحرف مؤشر مقياس الميكرو أمبير دليل مرور تيار كهربائي متحرض.
- عند تحريك الساق بسرعة ثابتة عموديا على خطوط الحقل المغناطيسي.
فإن الإلكترونات الحرة في الساق ستتحرك بهذه السرعة وسطيا.
ومع خضوعها لتأثير الحقل المغناطيسي المنتظم فإنها تخضع لتأثير القوة المغناطيسية : $\vec{F}=e\vec{v}\wedge\vec{B}$.

١

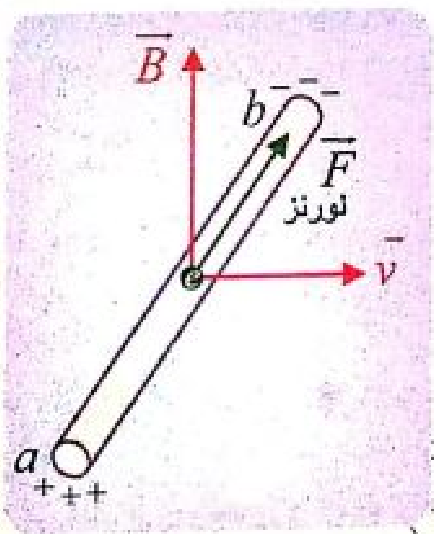
وبتأثير هذه القوة تتحرك الإلكترونات الحرة في الساق وتتولد قوة محركة كهربائية تحريضية تسبب مرور تيار كهربائي متحرض عبر الدارة المغلقة.

جهته الاصطلاحية بعكس جهة حركة الإلكترونات الحرة أي بعكس جهة القوة المغناطيسية.

- **أتساءل ماذا يحدث عندما تكون الدارة مفتوحة:**

سؤال دورة: **أعطي تفسيراً علمياً:** ينشأ فرق في الكمون بين طرفي ساق معدنية متحركة بسرعة $(\vec{v})$ على سكتين معزولتين عمودياً على خطوط الحقل المغناطيسي المنتظم، موضحاً بالرسم.

الجواب:



- عند تحريك الساق بسرعة $(\vec{v})$ على سكتين معزولتين (دارة مفتوحة) في منطقة يسودها حقل مغناطيسي فتنشأ 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 فرقا في الكمون يمثل القوة المحركة الكهربائية المتحرضة: $\varepsilon=U_{ab}$.

تطبيقات التحريض الكهرطيسي:

1- مبدأ المولد:

سؤال 1 (دورة): في تجربة السكتين التحريضية حيث الدارة مغلقة [مربوطة بين طرفيها مقياس (μA)] أحرك الساق بسرعة ثابتة (تقريباً) $\vec{v}$ عمودية على شعاع الحقل المغناطيسي فيتولد تيار كهربائي متحرض . **يطلب:**

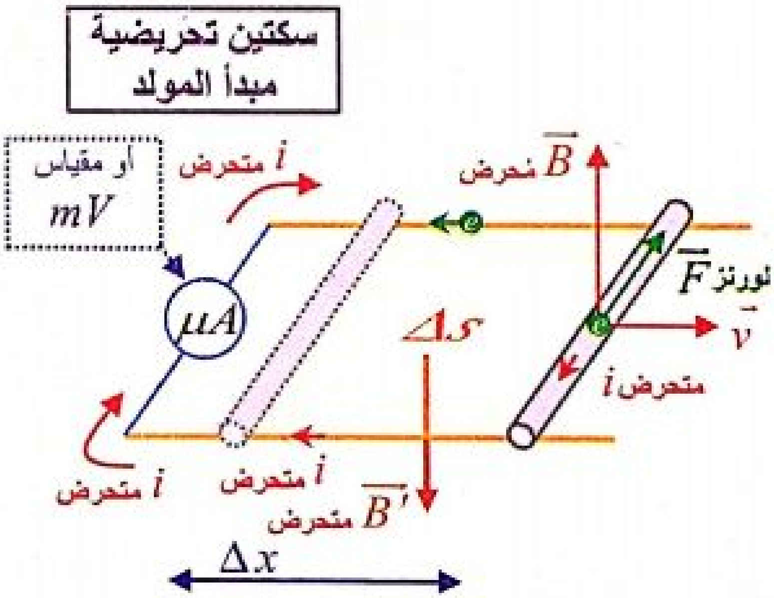
- استنتاج عبارة شدة التيار المتحرض موضحاً بالرسم جهة كل من ($\vec{B},\vec{v}$ وجهة التيار المتحرض)
- ناقش العلاقة أبين كيف نستطيع زيادة شدة التيار المتحرض.

سؤال 2 (دورة): في تجربة السكتين التحريضية حيث الدارة مغلقة [مربوط بين طرفيها مقياس (mV)] أحرك الساق بسرعة ثابتة (تقريباً) $\vec{v}$ عمودية على شعاع الحقل المغناطيسي.

ادرس نظرياً تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية ، وأثبت أن الاستطاعة الكهربائية تساوي الاستطاعة الميكانيكية ، ماذا تستنتج ، موضحاً بالرسم ....

ملاحظة:

- **في هذه التجربة قدمنا للساق طاقة ميكانيكية وتحولت إلى طاقة كهربائية.**
- **نلاحظ من الشكل المرسوم جانباً ، أن الساق أثناء حركتها على السكتين تؤدي إلى زيادة السطح الذي تمسحه الساق.**



الحل مع السؤال 1 :

- عند تحريك الساق بسرعة ثابتة $\vec{v}$ عمودية على شعاع الحقل المغناطيسي المنتظم $\vec{B}$ ، $\left[\vec{v} \perp \vec{B}_{\text{منتظم}}\right]$
- خلال فاصل زمني Δt
- تنتقل الساق مسافة: $\Delta x = v\,\Delta t$
- يتغير السطح بمقدار: $\Delta s = L\,\Delta x \;\Rightarrow\; \Delta s = L v \Delta t$
- يتغير التدفق بمقدار: $\Delta\Phi = B\,\Delta s \;\Rightarrow\; \Delta\Phi = B L v \Delta t$
- فتتولد قوة محركة كهربائية متحرضة قيمتها المطلقة:

$$\varepsilon = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| \Rightarrow \varepsilon = \frac{B L v \Delta t}{\Delta t} \Rightarrow \varepsilon = B L v$$

• وبما أن الدارة مغلقة يمر تيار كهربائي متحرض شدته : $\boxed{i = \dfrac{BLv}{R}} \Leftarrow i = \dfrac{\varepsilon}{R}$

مناقشة العلاقة: نلاحظ من العلاقة أن (i) **يتناسب طرداً مع** (v) **وعكساً مع** (R) لذلك شدة التيار المتحرض تزداد بزيادة السرعة (v) أو انقاص المقاومة (R).

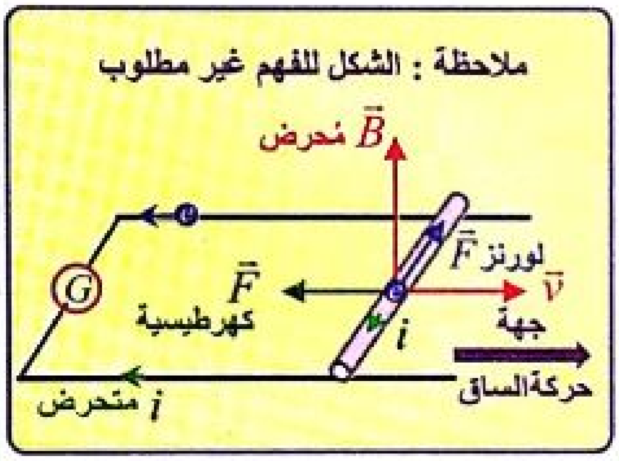
{أو بزيادة (B) أو (L) طول الساق}

إكمال الحل مع السؤال 2:

• فتكون الاستطاعة الكهربائية الناتجة:

$$P = \varepsilon\, i \Rightarrow P = BLv \times \frac{BLv}{R} \Rightarrow P = \frac{B^2L^2v^2}{R} \quad (1)$$

استطاعة كهربائية — استطاعة كهربائية



• ولكن عند تحريك الساق بسرعة $\vec{v}$ تنشأ قوة كهرطيسية جهتها بعكس جهة حركة الساق المسببة لنشوء التيار المتحرض .

ولاستمرار توليد التيار يجب التغلب على هذه القوة الكهرطيسية بصرف استطاعة ميكانيكية P':

$$P' = F\,v \quad (*)$$

استطاعة ميكانيكية

لدينا: $F = i L B \sin\frac{\pi}{2}$

لكن: $i = \dfrac{BLv}{R}$ (متحرض)

$$\Rightarrow F = \frac{BLv}{R}.LB \Rightarrow F = \frac{B^2L^2v}{R}$$

كهرطيسية

نعوض في العلاقة $(*)$:

$$P' = \frac{B^2L^2v}{R}.v \Rightarrow P' = \frac{B^2L^2v^2}{R} \quad (2)$$

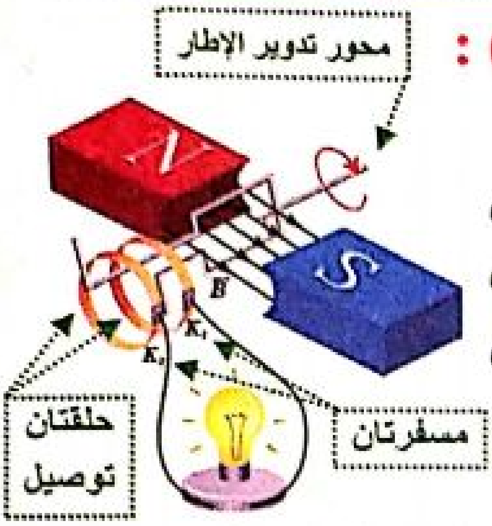
استطاعة ميكانيكية

• **بموازنة (1) و (2) نجد:** $P' = P$

(استطاعة كهربائية) (استطاعة ميكانيكية)

نستنتج : قد تحولت الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية وهو المبدأ الذي يعتمد عليه الكثير من المولدات الكهربائية.

2- مولد التيار المتناوب الجيبي (AC أحادي الطور) :



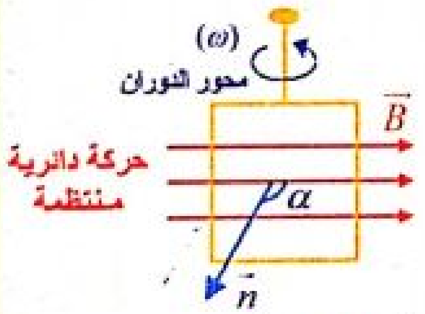
يعتمد على دوران دارة كهربائية مغلقة ضمن حقل مغناطيسي.

وصفه: يتكون من إطار مؤلف من N لفة متماثلة، مساحة كل منها s، أسلاكه ناقلة ومعزولة و 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 ويمس كل حلقة مسفرة معدنية (ناقلة) (K_1 , K_2) وتصل هاتان المسفرتان الملف بالدارة الخارجية.

ملاحظة: نتيجة لدوران الإطار بسرعة زاوية ثابتة (حركة دائرية منتظمة).

تتغير الزاوية α بين الناظم $\vec{n}$ وشعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ $[\alpha = \omega t]$ وهذا يؤدي إلى تغير التدفق المغناطيسي الذي يجتاز الإطار. وهذا بدوره يؤدي إلى توليد التيار المتحرض (متناوب جيبي).

سؤال: في تجربة التيار الكهربائي المتناوب (AC) يدور فيه ملف حول محوره بحركة دائرية وبسرعة زاوية ثابتة ω، في منطقة يسودها حقل مغناطيسي منتظم $\vec{B}$ ، استنتج العلاقة المحددة للقوة المحركة الكهربائية المتحرضة وارسم المنحني البياني لتغيراتها $\varepsilon = f(\omega t)$ خلال دور واحد. **الجواب:**



- في لحظة ما أثناء الدوران كان الناظم $(\vec{n})$ العمودي على مستوي الإطار يصنع مع شعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ زاوية قدرها (α)
- فيكون التدفق المغناطيسي Φ الذي يجتاز سطح الإطار

$$\bar{\Phi} = N B s \cos\alpha \quad \text{حيث:} \ [\alpha = (\vec{B} , \vec{n})]$$

- إذا كانت $[\omega]$ السرعة الزاوية الثابتة ،لدوران الإطار فإن الزاوية $[\alpha]$ التي يدورها الملف في زمن قدره $[t]$ هي : $[\alpha = \omega t]$ **نبدل في العلاقة السابقة:**

$$\bar{\Phi} = N B s \cos\omega t$$ (التابع الزمني للتدفق المغناطيسي)

- وتتولد قوة محركة كهربائية متحرضة ε :

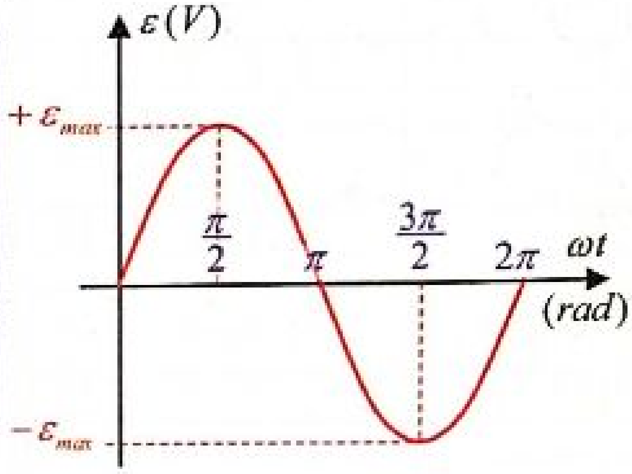
$$\bar{\varepsilon} = -\frac{d\bar{\Phi}}{dt} = -(\bar{\Phi})' \Rightarrow \bar{\varepsilon} = N B s \omega \sin\omega t$$

- وتكون $\varepsilon = \varepsilon_{max}$ أعظمية عندما $\sin\omega t = 1$:

$$\Rightarrow \boxed{\varepsilon_{max} = N B s \omega \ \text{(حفظ)}} \Rightarrow \boxed{\bar{\varepsilon} = \varepsilon_{max} \sin\omega t \ \text{(حفظ)}}$$

وبذلك نحصل على التيار المتناوب الجيبي لأن القوة المحركة الكهربائية المتحرضة (ε) متناوبة جيبية.

- المنحني البياني لدراسة تغيرات (ε) بدلالة ωt خلال دور واحد.



ملاحظة: للتمييز بين المولد والمحرك:

- **مبدأ المحرك:** (سكتين كهرطيسية + دولاب بارلو) **تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.**
- **مبدأ المولد:** (سكتين تحريضية + مولد التيار المتناوب AC) **تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.**

سؤال استنتاجي: احدد قيمة ε عند اللحظات ($3\frac{T}{2}$, $5\frac{T}{4}$, $7\frac{T}{4}$)

الجواب: $t = 3\frac{T}{2} \Rightarrow \varepsilon = 0$

$t = 5\frac{T}{4} \Rightarrow \varepsilon = +\varepsilon_{max}$, $t = 7\frac{T}{4} \Rightarrow \varepsilon = -\varepsilon_{max}$

ملاحظة رياضية: $\omega t = \frac{2\pi}{T}.t$

$t = 0 \Rightarrow \omega t = 0$

$t = \frac{T}{4} \Rightarrow \omega t = \frac{\pi}{2}$ max

$t = \frac{T}{2} \Rightarrow \omega t = \pi$ 0

$t = 3\frac{T}{4} \Rightarrow \omega t = 3\frac{\pi}{2}$ -max

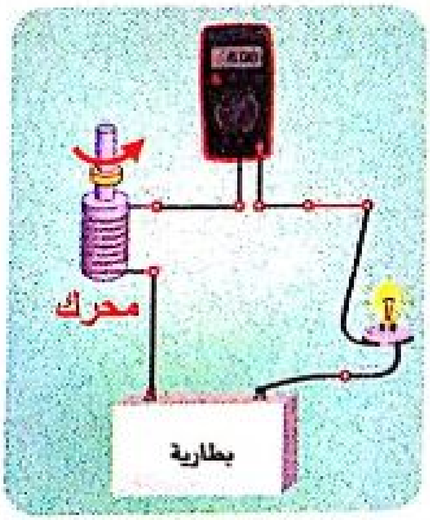
$t = T \Rightarrow \omega t = 2\pi$ 0

3- مبدأ المحرك :

تجربة: المواد اللازمة: مولد ـ مصباح كهربائي ـ مقياس أمبير ـ محرك كهربائي صغير ـ أسلاك توصيل ـ قاطعة.

خطوات التجربة : (سؤال + جواب)

أصل الدارة الموضحة بالشكل على التسلسل وألاحظ إضاءة المصباح.



1. أغلق الدارة وأمنع المحرك من الدوران بمسك محوره باليد، ماذا ألاحظ؟ يتوهج المصباح ويدل المقياس على مرور تيار كهربائي له شدة معينة.
2. أسمح للمحرك بالدوران، ماذا ألاحظ؟

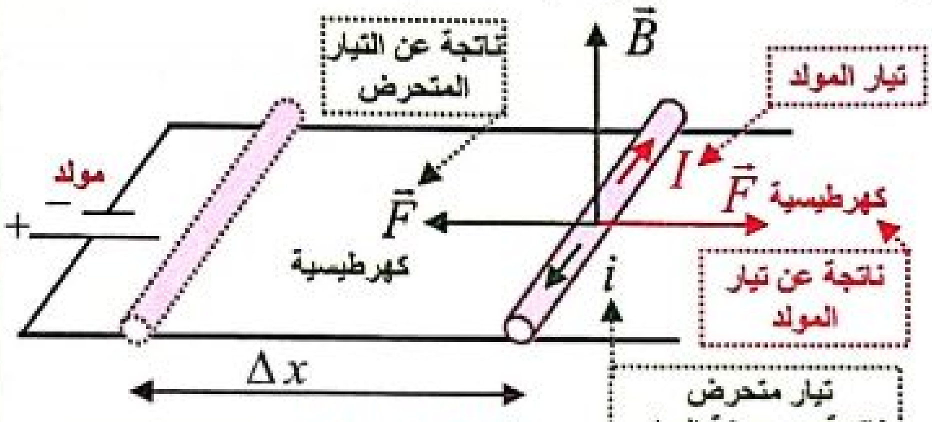
عند السماح للمحرك بالدوران تبدأ سرعته بالازدياد فيقل توهج المصباح وتنقص دلالة المقياس مما يدل على مرورتيار كهربائي شدته أصغر.

3. **ماذا أستنتج ؟ ماتعليل ذلك؟**

- **أستنتج:** تتولد في المحرك قوة محركة كهربائية تحريضية عكسية مضادة للقوة المحركة الكهربائية المطبقة بين قطبي المولد، وتتزايد بازدياد سرعة دوران المحرك
- **تعليل ذلك:** 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.

سؤال (دورة 2020): ادرس نظرياً تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية في تجربة السكتين الكهرطيسية (مبدأ المحرك)، وأثبت أن الاستطاعة الكهربائية تساوي الاستطاعة الميكانيكية.

الحل:



الشكل غير مطلوب: لتوضيح القوة الكهرطيسية الناتجة عن التيار المتحرض

- عند مرور التيار الكهربائي (تيار المولد) في الساق الخاضعة لتأثير الحقل المغناطيسي المنتظم $\vec{B}$ فإنها تتأثر بقوة كهرطيسية شدتها:

$$F = I\,L\,B\,\sin\frac{\pi}{2} \qquad \left[\theta = \frac{\pi}{2} (I\vec{L} \perp \vec{B})\right]$$

- تعمل القوة الكهرطيسية على تحريك الساق بسرعة ثابتة $\vec{v}$ ، وتكون الاستطاعة الميكانيكية الناتجة:

$$P' = F\,v \Rightarrow \boxed{P' = I\,L\,B\,v} \quad (1)$$ **استطاعة ميكانيكية**

- لكن عند انتقال الساق مسافة Δx ، فإن التدفق المغناطيسي يتغير بمقدار:

$$\Delta\Phi = B\,\Delta s \Rightarrow \Delta\Phi = B\,L\,\Delta x \Rightarrow \Delta\Phi = B\,L\,v\,\Delta t$$

- فتتولد في الساق **قوة محركة كهربائية متحرضة عكسية** تعاكس مرور تيار المولد فيها (بحسب قانون لنز) ، تعطى قيمتها المطلقة بالعلاقة:

$$\varepsilon' = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| \Rightarrow \varepsilon' = B\,L\,v$$

- ولاستمرار مرور تيار المولد يجب تقديم استطاعة كهربائية:

$$P = \varepsilon' I \Rightarrow \boxed{P = B\,L\,v\,I} \quad (2)$$ **استطاعة كهربائية**

- بموازنة (1) و (2) نجد: **استطاعة كهربائية** $P' = P$ **استطاعة ميكانيكية**

- **وبهذا الشكل تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.**

4- تيار فوكو: (إثراء) (المختصر المفيد)

هي تيارات تحريضية تتولد في الكتل المعدنية التي تخضع لتدفق مغناطيسي متغير ، وتسبب انتشار كمية من الحرارة بفعل جول كأثر حراري لتلك التيارات، وللتخفيف منها يتم استبدال الكتل المعدنية المصمتة المعرضة لمثل هذه التيارات بكتل معدنية معزولة بعضها عن بعض تنقطع فيها تلك التيارات مما يخفف من أثرها. (**للاطلاع بشكل أوسع راجع الكتاب ص 115**)

التحريض الذاتي:

فكرة التحريض الذاتي: نريد دراسة تدفق الحقل المغناطيسي المتولدعن مـرور التيار في الوشيعة بالوشيعة نفسها.

ذاتية الوشيعة:

سؤال: وشيعة يمـر فيها تيار كهربائي متغير شدته (i) : **المطلوب:**

1- استنتج العلاقة التي تربط بين تيار الوشيعة والتدفق المغناطيسي للحقل المغناطيسي الناتج عن مـرور التيار في الوشيعة ذاتها.

(أو **يطلب** استنتج علاقة ذاتية الوشيعة، وماهي واحدة قياسها في الجملة الدولية وعرفها)

2- • استنتج علاقة القوة المحركة الكهربائية المتحرضة الذاتية بدلالة شدة التيار المتغير الذي يجتازها. • ناقش متى تنعدم هذه القوة.

الحل:

1. (لاستنتاج علاقة ذاتية الوشيعة):

تعطى شدة الحقل المغناطيسي المتولد عن مـرور تيار في الوشيعة بالعلاقة:

$$B=4\pi\times10^{-7}\frac{N\,i}{\ell} \quad (1)$$

ويكون تدفق هذا الحقل من خلال الوشيعة ذاتها: $\overline{\Phi}=N\,B\,s \quad (2)$

حيث: $\alpha=0\,(\vec{B},\vec{n})$

نعوض 1 بـ 2: $\overline{\Phi}=4\pi\times10^{-7}\frac{N^2 s}{\ell}.i \Rightarrow \overline{\Phi}=const\times i \Rightarrow \boxed{\overline{\Phi}=L\,\overline{i}}$ (حفظ)

- ندعو الثابت المميز للوشيعة **ذاتيه الوشيعة** رمـزه (L) واحدة قياسه في الجملة الدولية هي الهنري (H).

$$\boxed{L=4\pi\times10^{-7}\frac{N^2 s}{\ell}}$$ (حفظ)

تعريف الهنري: هو ذاتية دارة مغلقة يجتازها تدفق مغناطيسي قدره ويبر واحد عندما يمـر فيها تيار قدره أمبير واحد.

2. • لاستنتاج علاقة القوة المحركة الكهربائية المتحرضة الذاتية بدلالة شدة التيار المتغير الذي يجتازها:

$$\overline{\varepsilon}=-\frac{d\overline{\Phi}}{dt}=-\frac{d(L\overline{i})}{dt} \Rightarrow \boxed{\overline{\varepsilon}_{(\text{ذاتي})}=-L\frac{d\overline{i}}{dt}} \text{ (حفظ)} \Rightarrow \boxed{\overline{\varepsilon}_{(\text{ذاتي})}=-L\,(\overline{i})'_t}$$

- تنعدم قيمة القوة المحركة الكهربائية المتحرضة الذاتية $(\varepsilon = 0)$ عند:

a) ثبات شدة التيار: $i = const \Rightarrow \frac{di}{dt} = 0 \Rightarrow \varepsilon = 0$

b) انعدام شدة التيار الكهربائي: $i = 0 \Rightarrow \varepsilon = 0$

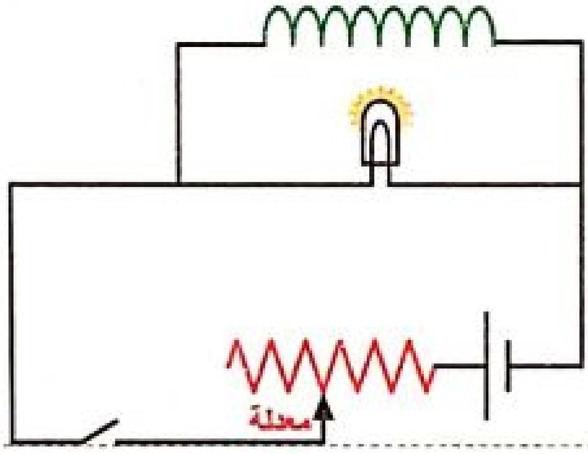
ملاحظة للمسائل:

نستطيع حساب (ε ذاتي) من العلاقة $\boxed{\overline{\varepsilon} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}$ عندما يكون تغير التيار خلال فاصل زمني (Δt)

مثال مسألة 17 عامة.

أجرب واستنتج : (سؤال (دورة) + جواب)

- أركب الدارة الموضحة بالشكل المجاور.
- أغلق القاطعة،وأحرك الزالقة حتى تصبح إضاءة المصباح خافتة.



1. أفتح القاطعة، ماذا ألاحظ؟ وعلى ماذا يدل ذلك ؟ ماتفسير ذلك؟

- **ألاحظ :** 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 الوشيعة)
- **تفسير ذلك:**
  - يحدث هذا نتيجة التحريض الذاتي في الوشيعة.
  - حيث أن فتح القاطعة يؤدي إلى تناقص شدة التيار المار في الوشيعة، فيتناقص تدفق الحقل المغناطيسي المتولد في الوشيعة خلال الوشيعة ذاتها.

- الأمر الذي يولد قوة كهربائية محركة متحرضة في الوشيعة أكبر من القوة المحركة الكهربائية للمولد، لأن زمن تناقص الشدة متناهي في الصغر.
- حيث تكون قيمة $\frac{di}{dt}$ أعلى مايمكن لحظة فتح القاطعة.

2. أغلق القاطعة من جديد؟ ماذا ألاحظ؟ ماتفسير ذلك؟

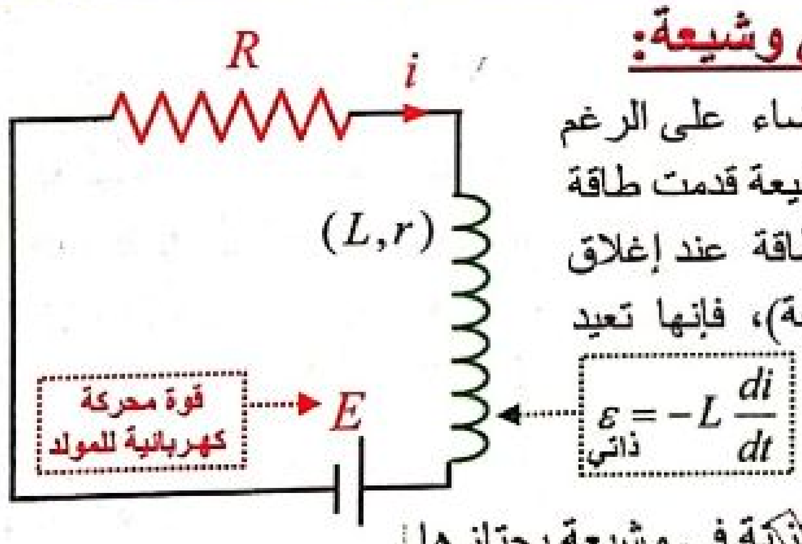
- **ألاحظ : عند إغلاق القاطعة من جديد يتوهج المصباح ثم يعود إلى ضوئه الخافت.**
- **تفسير ذلك:**

- تتزايد شدة التيار وبالتالي يتزايد تدفق الحقل المغناطيسي المتولد عن الوشيعة عبر الوشيعة ذاتها. فيتولد فيها قوة محركة كهربائية متحرضة تمنع مرور التيار فيها،
- ويمر التيار في المصباح فقط مسببا توهجه قبل أن تخبو إضاءته بسبب تناقص قيمة $\frac{di}{dt}$ ، وازدياد مرور التيار تدريجياً في الوشيعة حتى ثبات الشدة فتنعدم القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في الوشيعة.

ملاحظة:
- **إن الوشيعة قامت بدور مُحرض ومتحرض في آن واحد، لذلك ندعو الدارة بالدارة المتحرضة الذاتية وندعو الحادثة تحريضا ذاتيا.**
- **عند فتح القاطعة يكون توهج المصباح أشد مما هو عليه من إغلاق القاطعة.**

إغلاق القاطعة $\varepsilon_{2\,ذاتي} > \varepsilon_{1\,ذاتي}$ فتح القاطعة $\Longrightarrow$ فترة زمنية لإغلاق القاطعة $dt_2 > dt_1$ فترة زمنية لفتح القاطعة

الطاقة الكهرطيسية المختزنة في وشيعة:



في التجربة السابقة نلاحظ أن المصباح أضاء على الرغم من فصل المولد، وهذا يدل على أن الوشيعة قدمت طاقة إلى المصباح، أي أن الوشيعة تختزن طاقة عند إغلاق القاطعة، وعند فصل المولد (فتح القاطعة)، فإنها تعيد الطاقة المختزنة إلى المصباح.

سؤال (دورات عديدة هام جداً):

استنتج علاقة الطاقة الكهرطيسية المختزنة في وشيعة يجتازها تيار (I)؟ (أو يقول: يجتازها تيار تزداد شدته من 0 إلى I)

الحل: نربط وشيعة ذاتيتها L ، على التسلسل مع مقاومة أومية R ، ومولد قوته المحركة الكهربائية E

بحسب قانون كيرشوف الثاني:

$$\sum \overline{E} = R\,\overline{i} \Rightarrow \overline{E} + \overline{\varepsilon} = R\,\overline{i}$$

$$\overline{E} - L\frac{d\overline{i}}{dt} = R\,\overline{i} \Rightarrow \overline{E} = R\,\overline{i} + L\frac{d\overline{i}}{dt}$$

نضرب طرفي العلاقة بـ $[idt]$ فنجد:

$$Eidt = Ri^2dt + Lidi$$

إن المقدار $Eidt$ يمثل الطاقة التي يقدمها المولد خلال الزمن dt ، **وهذه الطاقة تنقسم إلى قسمين:**

القسم الأول: Ri^2dt: يمثل الطاقة الضائعة حرارياً بفعل جول في المقاومة خلال الزمن dt.

القسم الثاني: $Lidi$: يمثل الطاقة الكهرطيسية المختزنة في الوشيعة خلال الزمن dt.

وتختزن الوشيعة طاقة كهرطيسية E_L **خلال الزمن t** عندما تزداد شدة التيار المارة في الدارة من الصفر إلى قيمتها النهائية I.

$$E_L = \int_0^I Li\,d\overline{i} \Rightarrow \boxed{E_L = \frac{1}{2}LI^2 \text{ (حفظ)}} \Rightarrow \boxed{E_L = \frac{1}{2}\Phi I \text{ (حفظ)}}$$

وهي العلاقة المحددة للطاقة الكهرطيسية المختزنة في الوشيعة ذاتيتها (L) يمر فيها تيار شدته (I).

ملاحظة هامة: (مدخل لدرس الدارة المهتزة)

- **الوشيعة تختزن طاقة كهرطيسية أثناء فترة تزايد شدة التيار، وتبقى هذه الطاقة ثابتة طالما بقي التيار ثابتاً في الدارة.**
- **وعند تناقص شدة التيار (فتح القاطعة) تعمل الوشيعة على إعادة هذه الطاقة للدارة على شكل طاقة كهربائية.**

تطبيق محلول:

وشيعة طولها $20cm$ ، وطول سلكها $40m$ ، بطبقة واحدة، مقاومتها الأومية مهملة. **المطلوب:**

1. احسب ذاتية الوشيعة **2.** إذا كان نصف قطر اللفة الواحدة $4cm$ فاحسب عدد لفات الوشيعة.

3. نمرر في الوشيعة تيارا كهربائيا تزداد شدته بانتظام من الصفر إلى $10A$ خلال $0.5s$، احسب القوة المحركة الكهربائية المتولدة داخل الوشيعة محددا جهة التيار المتحرض.

4. احسب الطاقة الكهرطيسية المختزنة في الوشيعة.

الحل: $\ell = 20\times10^{-2} = 0.2\,m$ (طول الوشيعة) , $\ell' = 40\,m$ (طول السلك)

.1 حساب ذاتية الوشيعة:

$$L = 4\pi\times10^{-7}\frac{N^2 s}{\ell}$$

لكن: $N = \frac{\ell'}{2\pi r}$, $s = \pi r^2$

$$\Rightarrow L = 4\pi\times10^{-7}\frac{\frac{\ell'^2}{4\pi^2 r^2}\times\pi r^2}{\ell} \Rightarrow L = 10^{-7}\frac{\ell'^2_{\text{سلك}}}{\ell_{\text{وشيعة}}}$$

نعوض: $L = 10^{-7}\times\frac{1600}{0.2} \Rightarrow L = 8\times10^{-4}\,H$

.2 حساب عدد لفات الوشيعة: $N = \frac{\ell'_{\text{سلك}}}{2\pi r} = \frac{40}{2\pi\times4\times10^{-2}} = \frac{4000}{25} = 160$ لفة

.3 حساب القوة المحركة الكهربائية المتحرضة المتولدة داخل الوشيعة: $\bar{\varepsilon} = -\frac{\Delta\bar{\Phi}}{\Delta t}$

$\Delta\bar{\Phi} = N(\Delta B)s\cos\alpha$

$\alpha = 0\,,\ s = \pi r^2$

$$\Rightarrow \Delta\Phi = N\,(\Delta B)\pi r^2\cos\alpha$$

$$\Delta\bar{B} = B_2 - B_1 = 4\pi\times10^{-7}\frac{NI}{\ell} - 0 \Rightarrow \Delta B = 4\pi\times10^{-7}\frac{160\times10}{2\times10^{-1}} = 32\pi\times10^{-4} = 10^{-2}\,T$$

$$\boxed{\begin{array}{c}\cos 0 = 1\\ 16\pi \approx 50\end{array}}$$

$$\Delta\Phi = 160\times10^{-2}\times\pi\times16\times10^{-4}\times1 \Rightarrow \Delta\Phi = 8\times10^{-3}\,Weber$$

$$\bar{\varepsilon} = -\frac{\Delta\bar{\Phi}}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\varepsilon} = -\frac{8\times10^{-3}}{\frac{1}{2}} \Rightarrow \bar{\varepsilon} = -16\times10^{-3}\ Volt < 0$$

لتحديد جهة التيار المتحرض: حسب لنز

$\Delta\Phi > 0$ (تدفق الحقل المغناطيسي المُحرض متزايد) $\Leftarrow$ $\bar{\varepsilon} < 0$

إذاً : $\vec{B}$ مُحرض، $\vec{B}'$ متحرض على حامل واحد وبجهتين متعاكستين.

نجعل ابهام اليد اليمنى بجهة ($\vec{B}'$ متحرض) فتكون جهة التفاف الأصابع لها جهة التيارالمتحرض.

.4 $E_L = \frac{1}{2}LI^2 \Rightarrow E_L = \frac{1}{2}\times8\times10^{-4}\times100 \Rightarrow E_L = 4\times10^{-2}\,J$

المطلوب:

1. راجع نوطة المسائل ص 66 مايجب تذكره + فوائد لحل المسائل
2. حل ودراسة أسئلة الدرس النظري + التفكير الناقد
3. حل ودراسة مسائل الدرس (1+2+3+4+5)
4. حل ودراسة المسائلا العامة (17 + 18 + 19 + 20 + 21)
5. إجراء امتحان بسؤال خيار من متعدد نوطة مسائل ص 172 من سؤال 25 إلى 32

إثراء للاطلاع:
الطباخ الإلكتروني
راجع الكتاب ص121

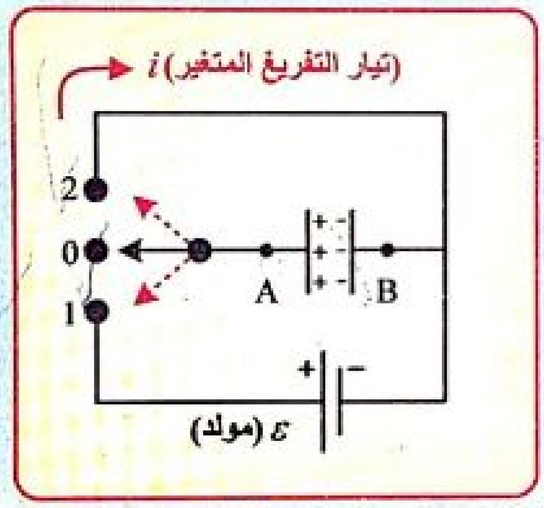
الدرس الرابع 4

الدارات المهتزة والتيارات عالية التواتر

تذكرة: عن بحث المكثفات:

1- المكثفة المستوية: سعتها $[C]$ رمزها $\overset{}{\underset{B}{-|}}\ \underset{A}{|-}$ وتقدر في الجملة الدولية بالفاراد (F)

2- شحن وتفريغ المكثفة:



a. القاطعة على وضع (1):

تنشحن المكثفة إلى أن يصبح: $\underset{\text{مكثفة}}{U_{AB}} = \underset{\text{مولد}}{\varepsilon}$

وبالتالي يكون : $q = |q_A| = |q_B|$

b. القاطعة على وضع (0):

الدارة مفتوحة، المكثفة مشحونة ومعزولة (مفصولة عن المولد)، وتبقى شحنتها ثابتة.

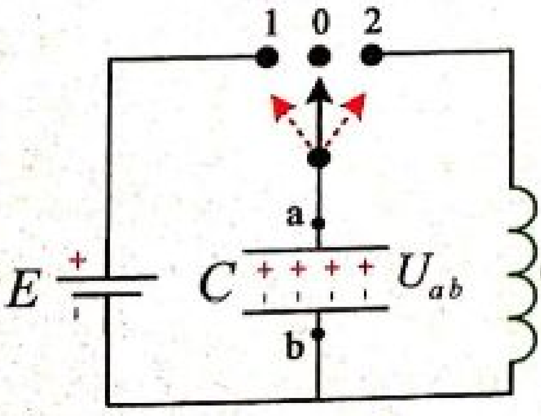
c. القاطعة على وضع (2): تتفرغ شحنة المكثفة، ويمر تيار (i) متغير يدعى تيار التفريغ. ويستمر ذلك إلى أن يصبح $(U_{AB} = 0)$ وينعدم التيار.

3- فرق الكمون بين لبوسي مكثفة: $\boxed{U_{AB} = \dfrac{q}{C} \Rightarrow q = CU_{AB}}$ (حفظ)

4- الطاقة الكهربائية المختزنة في مكثفة مشحونة يعطى كما يلي:

$$\boxed{E_c = \frac{1}{2}CU^2 \quad \text{أو} \quad E_c = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} \quad \text{أو} \quad E_c = \frac{1}{2}qU}$$ (حفظ)

دارة الاهتزاز الكهربائي:



نشاط: (سؤال + جواب)

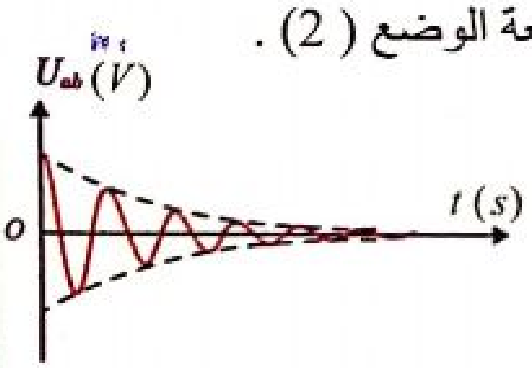
نشكل دارة من مولد قوته المحركة الكهربائية E ، ومكثفة سعتها C، ووشيعة ذاتيتها L ، مقاومتها r صغيرة، وقاطعة دوارة S ، كما في الشكل، ونصل لبوسي المكثفة براسم اهتزاز مهبطي.

1. أفسر ماذا يحدث للمكثفة عندما نصل القاطعة الدوارة إلى الوضع (1)؟

تشحن المكثفة عندما تلامس القاطعة الدوارة الوضع (1) فتختزن طاقة كهربائية $E_c = \frac{1}{2}\cdot\frac{q^2}{C}$

2. أفسر ماذا يحدث للمكثفة عندما نصل القاطعة الدوارة الى الوضع (2)؟

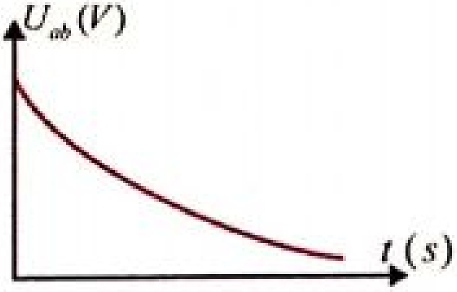
- تتفرغ شحنة المكثفة عبر الوشيعة، عندما تلامس القاطعة الوضع (2) .



- يظهر على شاشة راسم الاهتزاز المنحني البياني للتوتر بين طرفي المكثفة بدلالة الزمن في أثناء تفريغ شحنتها على شكل تفريغ متناوب. دوري متخامد تتناقص فيه سعة الاهتزاز حتى تبلغ الصفر.

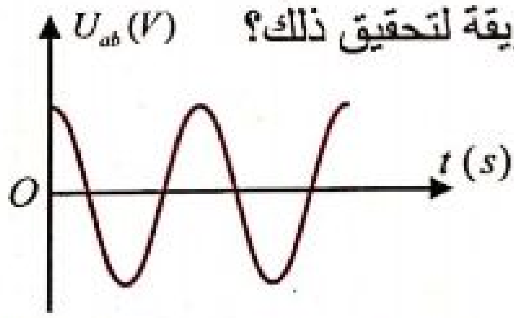
لذا نقول إن الاهتزازات الحاصلة هي اهتزازات حرة متخامدة؛ لأنها لا تتلقى طاقة من المولد.

- نسمي الدارة المؤلفة من مكثفة، ووشيعة ذات المقاومة الصغيرة بالدارة المهتزة الحرة المتخامدة. ويكون زمن الاهتزاز T_0 ثابتا، **وبما أن سعة الاهتزاز متناقصة نسمي هذا الزمن بشبه الدور.**



3. نصل مع الوشيعة وعلى التسلسل مقاومة متغيرة ، ونزيد تدريجيا قيمة المقاومة، ماذا يظهر على الشاشة؟ ولماذا؟

- عندما نصل مع الوشيعة في دارة الاهتزاز الكهربائي على التسلسل مقاومة متغيرة ، نجد أنه كلما زدنا قيمة المقاومة أصبح تخامد الاهتزاز أشد، وإذا بلغت المقاومة قيمة كبيرة يظهر على شاشة الراسم المنحني البياني الموضح في الشكل جانبا، **حيث التفريغ لا دوري باتجاه واحد.**



4. هل يمكن أن يظهر على الراسم منحنٍ جيبي، اقترح طريقة لتحقيق ذلك؟

- **إذا أهملنا المقاومات يصبح التفريغ جيبياً ، سعة الاهتزاز فيه ثابتة، ودوره الخاص T_0 وهذه حالة مثالية لاتتحقق عملياً إلا إذا عوضنا الطاقات الضائعة.**

سؤال: في الدراة (R , L , C) بين أشكال التفريغ حسب قيم المقاومة R (صغيرة , كبيرة , مهملة) مع رسم المنحنيات البيانية الموضحة لذلك؟

الجواب: **(الأشكال مرسومة في الفكرة السابقة)**

المقاومة صغيرة: يكون التفريغ **دورياً متخامداً** باتجاهين شبه الدور T_0، تتناقص فيه سعة الاهتزاز حتى تبلغ الصفر.

المقاومة كبيرة بشكل كاف: يكون التفريغ لا دوري باتجاه واحد.

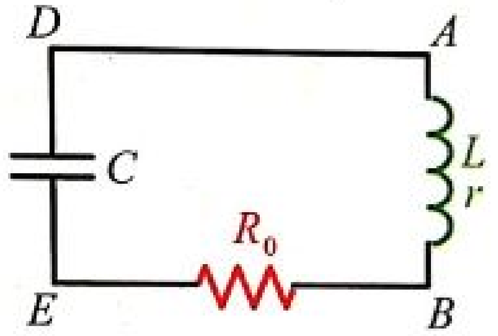
إذا أهملنا المقاومة $(R=0)$: يكون التفريغ **جيبياً** سعة الاهتزاز فيه ثابتة ، دوره الخاص T_0 ، وهذه حالة مثالية لا تتحقق عملياً إلا إذا عوضنا الطاقات الضائعة.

الدراسات التحليلية للدارة R , L , C : (المعادلة التفاضلية للدارة).

سؤال: نشكل دارة كهربائية تحتوي على التسلسل وشيعة (L , r) ومكثفة مشحونة سعتها (C) ومقاومة (R_0) **المطلوب:**

1. اكتب عبارة التوتر بين طرفي كل جزء في الدارة، ثم استنتج المعادلة التي تصف اهتزاز الشحنة فيها؟

2. كيف يؤول شكل المعادلة بحالة $(R=0)$ ، اكتب حل المعادلة في هذه الحالة ، ثم استنتج علاقة الدور الخاص للتفريغ المهتز.



الجواب:

1. نختار اتجاهاً موجباً للتيار الكهربائي فيكون:

$$(1) \cdots \quad U_{AB} + U_{BE} + U_{ED} + U_{DA} = 0$$

لكن: $U_{DA} = 0$ لإهمال مقاومة الأسلاك.

$U_{ED} = \frac{q}{C}$ التوتر بين طرفي المكثفة.

$U_{BE} = R_0 i$ التوتر بين طرفي المقاومة.

$U_{AB} = L(i)'_t + r i$ التوتر بين طرفي الوشيعة.

نعوض في (1): $L(i)'_t + r i + R_0 i + \frac{q}{C} = 0$

لكن: $i = (q)'_t \Rightarrow (i)'_t = (q)''_t$

وباعتبار: $R = R_0 + r$

$$(2) \cdots \quad L(\overline{q})''_t + R(\overline{q})'_t + \frac{1}{C}\overline{q} = 0$$

هي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تصف اهتزاز الشحنة الكهربائية في دارة (R , L , C) **لا تقبل حلاً جيبياً.**

فائدة: فرق الكمون بين طرفي الوشيعة

$U_{AB} = r i - \varepsilon_{\text{ذاتي}}$

$\varepsilon_{\text{ذاتي}} = -L\frac{di}{dt} = -L(i)'_t$

$U_{AB} = L(i)'_t + r i$

فائدة:

$I_{\text{تيار متواصل}} = \frac{q}{t}$, $i_{\text{تيار متغير}} = \frac{dq}{dt} = (q)'_t$

فائدة:

فرق الكمون مقدار جبري

أي: $\overline{U}_{AB} = -\overline{U}_{BA}$

الاهتزازات الحرة في الدارة الكهربانية (L , C) :

2. تصبح المعادلة التفاضلية (2) في دارة (L , C) عندما تكون $R = 0$:

$$(3) \cdots \quad L(\overline{q})''_t + \frac{1}{C}q = 0 \quad \Rightarrow \quad (\overline{q})''_t = -\frac{1}{LC}\overline{q}$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية بالنسبة لـ $\overline{q}$ **تقبل حلاً جيبياً** من الشكل:

$$\overline{q} = q_{max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$

حيث: q_{max}: الشحنة العظمى للمكثفة.

ω_0: النبض الخاص.

$\overline{\varphi}$: الطور الابتدائي في اللحظة $t = 0$.

$(\omega_0 t + \overline{\varphi})$: طور الحركة في اللحظة t.

عبارة الدور الخاص للاهتزازات الحرة غير المتخامدة: في دارة (L,C)

صيغة ثانية للسؤال (كما ورد في دورات سابقة)
انطلاقاً من العلاقة [(1) أو (2) أو (3)] استنتج علاقة الدور الخاص للتفريغ المهتز لمكثفة مشحونة عبر وشيعة مهملة المقاومة (L,C) (علاقة تومسون). موضحاً دلالات الرموز؟

سؤال دورة (2020):

تتألف دارة اهتزاز كهربائي من مكثفة مشحونة ووشيعة مهملة المقاومة ، نغلق الدارة **المطلوب:**

1. اكتب تابع الشحنة بشكله العام .

2. استنتج عبارة الدور الخاص للاهتزازات الكهربائية الحرة غير المتخامدة وماذا تسمى هذه العلاقة ، موضحاً دلالات الرموز.

الحل:

1- يعطى تابع الشحنة بشكله العام بالعلاقة: $\bar{q}=q_{\max}\cos(\omega_0 t+\bar{\varphi})$

2- نشتق تابع الشحنة مرتين بالنسبة للزمن نجد: $(\bar{q})'_t=-\omega_0\, q_{max}\sin(\omega_0 t+\bar{\varphi})$

$$(\bar{q})''_t=-\omega_0^2\, q_{max}\cos(\omega_0 t+\bar{\varphi}) \Rightarrow (\bar{q})''_t=-\omega_0^2\, \bar{q}$$

بالموازنة مع المعادلة: $(\bar{q})''_t=-\frac{1}{LC}\,\bar{q}$ **نجد:**

$$\omega_0^2=\frac{1}{LC} \Rightarrow \omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}>0$$ (وهذا محقق لأن (L,C) موجبان دوماً)

ولكن لدينا: $\omega_0=\frac{2\pi}{T_0}$

$$\Rightarrow \quad \frac{2\pi}{T_0}=\frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{T_0=2\pi\sqrt{LC}}$$ **(حفظ)**

وهي عبارة الدور الخاص للاهتزازات الكهربائية الحرة غير المتخامدة وتسمى علاقة طوسون.

حيث: T_0: الدور الخاص للاهتزازات الكهربائية تقدر بالثانية (s).

L: ذاتية الوشيعة وتقدر بالهنري (H) ، C: سعة المكثفة وتقدر بالفاراد (F).

عبارة شدة التيار الكهربائي في الدارة المهتزة :

سؤال:

تتألف دارة اهتزاز كهربائي من مكثفة مشحونة، ووشيعة مهملة المقاومة، نغلق الدارة. **المطلوب:**

1. اكتب تابع الشحنة بشكله العام، وكيف يصبح تابع الشحنة، وتابع شدة التيار المار في الدارة باعتبار مبدأ الزمن لحظة إغلاق الدارة، وناقش فرق الطور بين تابعي شدة التيار والشحنة؟

2. ارسم المنحنيات البيانية لكل من الشحنة والشدة بدلالة الزمن، ماذا تستنتج؟

الحل:

1- يعطى تابع الشحنة بشكله العام بالعلاقة:

$$\bar{q} = q_{max}\cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$$

بما أن مبدأ الزمن لحظة إغلاق الدارة فإن $[\varphi = 0]$

$$\left.\begin{array}{l} t=0 \\ q=q_{max} \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} q_{max} = q_{max}\cos(\omega_0 \times 0 + \varphi) \\ \cos\varphi = 1 \Rightarrow \varphi = 0 \end{array}$$

وبالتالي نحصل على تابع الشحنة بشكله المختزل : $\boxed{\bar{q} = q_{max}\cos\omega_0 t}$

إن تابع الشدة (التيار) هو مشتق تابع الشحنة بالنسبة للزمن أي:

$\bar{i} = (\bar{q})'_t \Rightarrow \boxed{\bar{i} = -\omega_0 q_{max}\sin\omega_0 t}$ **(تابع شدة التيار شكل أول)**

$$\left.\begin{array}{l} \bar{i} = \omega_0 q_{max}\cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}) \\ I_{max} = \omega_0 q_{max} \end{array}\right] \Rightarrow \boxed{i = I_{max}\cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})}$$

حيث: $I_{max} = \omega_0 q_{max}$

تابع شدة التيار شكل ثاني

فائدة رياضية:

$$-\sin\theta = \cos(\theta + \frac{\pi}{2})$$

بمقارنة تابع شدة التيار مع تابع الشحنة نلاحظ أن:

تابع شدة التيار على ترابع متقدم بالطور على تابع الشحنة.

(أي أن تابع شدة التيار متقدم بالطور عن تابع الشحنة بمقدار $\frac{\pi}{2}$).

2-

فائدة لرسم التوابع:

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

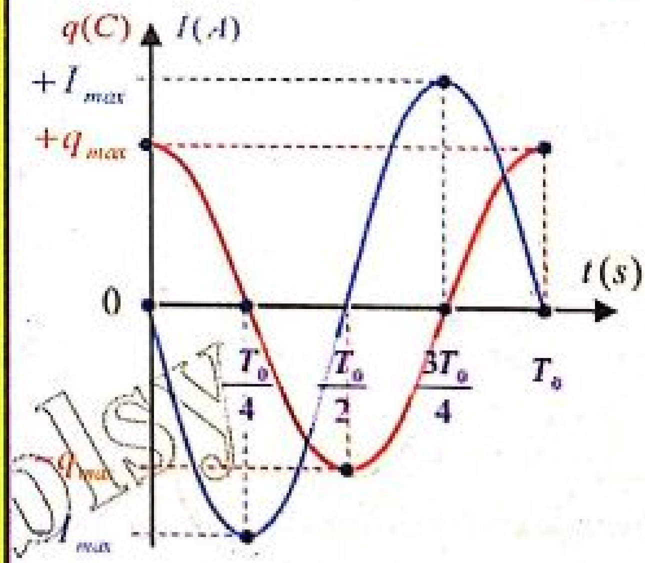
$t = 0 \Rightarrow \omega_0 t = 0 \Rightarrow \begin{cases} \cos 0 = 1 \Rightarrow q = q_{max} \\ \sin 0 = 0 \Rightarrow i = 0 \end{cases}$

$t = \frac{T_0}{4} \Rightarrow \omega_0 t = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \begin{cases} \cos\frac{\pi}{2} = 0 \Rightarrow q = 0 \\ \sin\frac{\pi}{2} = 1 \Rightarrow i = -I_{max} \end{cases}$

$t = \frac{T_0}{2} \Rightarrow \omega_0 t = \pi \Rightarrow \begin{cases} \cos\pi = -1 \Rightarrow q = -q_{max} \\ \sin\pi = 0 \Rightarrow i = 0 \end{cases}$

$t = \frac{3T_0}{4} \Rightarrow \omega_0 t = \frac{3\pi}{2} \Rightarrow \begin{cases} \cos\frac{3\pi}{2} = 0 \Rightarrow q = 0 \\ \sin\frac{3\pi}{2} = -1 \Rightarrow i = +I_{max} \end{cases}$

$t = T_0 \Rightarrow \omega_0 t = 2\pi \Rightarrow \begin{cases} \cos 2\pi = 1 \Rightarrow q = q_{max} \\ \sin 2\pi = 0 \Rightarrow i = 0 \end{cases}$



سؤال: انظر إلى الرسم البياني لتابعي شدة التيار والشحنة بدلالة الزمن (يرسم لنا الشكل البياني) ماذا تستنتج. **الحل:**

نستنتج من الشكل البياني (هام جداً):

- عندما تكون شحنة المكثفة عظمى تنعدم شدة التيار في الوشيعة $(q = q_{max} \ , \ i = 0)$.
- عندما تكون الشدة عظمى في الوشيعة تنعدم شحنة المكثفة.
- تابع الشدة على تَرابع متقدم بالطور مع تابع الشحنة.

فائدة: لاحظ أنه:

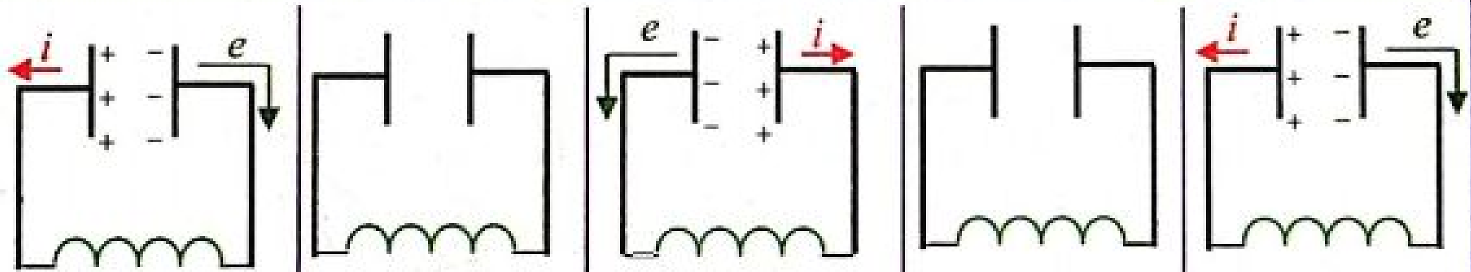
$$t=0 \begin{cases} q = q_{max} \ , \ E_C \text{ عظمى} \\ i = 0 \ , \ E_L = 0 \end{cases}$$

شروط البدء

الطاقة في الدارة الكهربائية المهتزة:

تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيعة

لدينا: $E_C = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C}$ (E_C تابع للشحنة) ، $E_L = \frac{1}{2} L i^2$ (E_L تابع للتيار).



$t=0$	$t=\frac{T_0}{4}$	$t=\frac{T_0}{2}$	$t=\frac{3T_0}{4}$	$t=T_0$
$q=+q_{max}$	$q=0$	$q=-q_{max}$	$q=0$	$q=+q_{max}$
$i=0$	$i=-I_{max}$	$i=0$	$i=+I_{max}$	$i=0$
$E_C=\frac{1}{2}.\frac{q^2_{max}}{C}$ عظمى	$E_C=0$	$E_C=\frac{1}{2}.\frac{q^2_{max}}{C}$ عظمى	$E_C=0$	$E_C=\frac{1}{2}.\frac{q^2_{max}}{C}$ عظمى
$E_L=0$	$E_L=\frac{1}{2}LI^2_{max}$ عظمى	$E_L=0$	$E_L=\frac{1}{2}LI^2_{max}$ عظمى	$E_L=0$

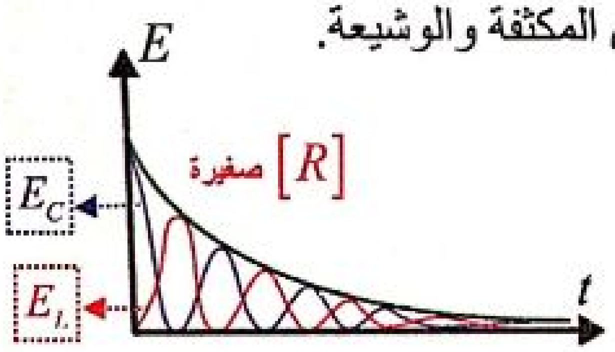
سؤال: كيف يتم تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيعة في الدارة المهتزة ؟

الجواب: يتم تبادل الطاقة من طاقة كهربائية في المكثفة E_C إلى طاقة كهرطيسية في الوشيعة E_L.

t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
E	$E_C \rightarrow$	$E_L \rightarrow$	$E_C \rightarrow$	$E_L \rightarrow$	E_C

الشرح:

- **خلال ربع الدور الأول:** تبدأ المكثفة بتفريغ شحنتها في الوشيعة فيزداد تيار الوشيعة ببطء حتى يصل إلى قيمة عظمى في نهاية ربع الدور الأول من التفريغ عندما تفقد المكثفة كامل شحنتها فتختزن الوشيعة طاقة كهرطيسية عظمى $E_L = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$
- **خلال ربع الدور الثاني:** يقوم تيار الوشيعة بشحن المكثفة حتى يصبح تيارها معدوماً، وتصبح شحنة المكثفة عظمى، فتختزن المكثفة طاقة كهربائية عظمى $E_c = \frac{1}{2}\frac{q_{\max}^2}{c}$ وهذا يتحقق في نهاية نصف الدور الأول.
- **أما في نصف الدور الثاني:** تتكر عمليتا الشحن والتفريغ في الاتجاه المعاكس نظراً لتغيّر شحنة اللبوسين وهكذا يتم تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيعة.



ملاحظة هام جداً: (سؤال علل..)

1- عندما تكون مقاومة الوشيعة صغيرة فإن الطاقة تتبدد تدريجياً على شكل طاقة حرارية بفعل جول مما يؤدي إلى تخامد الاهتزاز .

2- عند وجود مقاومة كبيرة في الدارة فإن الطاقة التي تعطيها المكثفة إلى الوشيعة والمقاومة تتحول إلى حرارة بفعل جول في المقاومة، ونسمي عندئذ التفريغ لا دورياً حيث تتبدد طاقة المكثفة بالكامل دفعة واحدة في أثناء تفريغ شحنتها الأولى عبر الوشيعة ومقاومة الدارة.

الطاقة الكلية في الدارة المهتزة $(L.C)$:

سؤال (دورات عديدة هام جداً):

استنتج علاقة الطاقة الكلية في دارة مهتزة تحوي على التسلسل مكثفة مشحونة C، ووشيعة مهملة المقاومة ذاتيتها L، [دارة (L,C)]. ناقش العلاقة موضحاً بالخطوط البيانية اللازمة.

الحل:

$$E = E_C + E_L \quad \cdots (1)$$

- الطاقة الكهربائية المختزنة في المكثفة: $E_C = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$
- الطاقة الكهرطيسية المختزنة في الوشيعة: $E_L = \frac{1}{2} L i^2$

لكن: $\begin{pmatrix} q = q_{max}\cos\omega_0 t \\ i = -\,\omega_0 q_{max}\sin\omega_0 t \end{pmatrix}$ نعوض بعلاقة E_L و E_C فنجد:

طريقة للتذكر: يجب أن تتساوى أمثال $\sin^2$ مع $\cos^2$ وبالمطابقة نجد: $\frac{1}{C} = L\,\omega_0^2$

$$E_C = \frac{1}{2}\frac{q_{max}^2}{C}\cos^2\omega_0 t \quad \cdots (2)$$

$$E_L = \frac{1}{2} L\,\omega_0^2\, q_{max}^2 \sin^2\omega_0 t$$

لكن : $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ $\Rightarrow E_L = \frac{1}{2}\frac{q_{max}^2}{C}.\sin^2\omega_0 t \cdots (3)$

نعوض (2) و (3) بـ (1):

$$E = \frac{1}{2}.\frac{q_{max}^2}{C}\cos^2\omega_0 t + \frac{1}{2}\frac{q_{max}^2}{C}\sin^2\omega_0 t$$

فائدة رياضية:

$$\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$$

بالطريقة نفسها نصل إلى العلاقة:

$$E = \frac{1}{2}\frac{q_{max}^2}{C} = const \quad \text{(حفظ)}$$

$$E = \frac{1}{2} L I_{max}^2 = const \quad \text{(حفظ)}$$

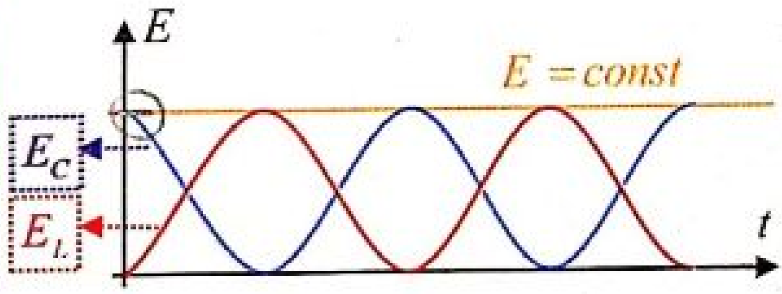
مناقشة العلاقة: إن الطاقة الكلية لدارة تحتوي مكثفة وذاتية صرفة (ليس لها مقاومة) ثابتة وتساوي الطاقة العظمى للمكثفة المشحونة أو تساوي الطاقة العظمى للوشيعة ؛ أي أنه في دارة مهتزة في أثناء التفريغ تتحول الطاقة بشكل دوري من طاقة كهربائية في المكثفة إلى طاقة كهرطيسية في الوشيعة وبالعكس، ولكن المجموع يبقى ثابتاً.

فائدة للرسم:

من شروط البدء:

$$t=0 \begin{cases} q = q_{max}\ ,\ E_{C\,(\text{عظمى})} \\ i=0\ ,\ E_L = 0 \end{cases}$$

لذا: تبدأ طاقة المكثفة من عظمى، والوشيعة من الصفر



إذاً: الطاقة الكلية للدارة المهتزة $(L.C)$ مقدار ثابت في كل لحظة ، وتمثل بخط مستقيم يوازي محور الزمن.

مسألة محلولة:

نشحن مكثفة سعتها $C=1\,\mu F$ بتطبيق توتر كهربائي $U_{ab}=100V$ ، ثم نصلها في اللحظة $t=0$ بين طرفي وشيعة ذاتيتها $L=10^{-3}\,H$ ومقاومتها مهملة. **المطلوب حساب:**

1. الشحنة الكهربائية للمكثفة والطاقة الكهربائية المختزنة 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:

$$q_{max} = CU_{max} \Rightarrow q_{max} = 1\times10^{-6}\times100 \Rightarrow q_{max} = 1\times10^{-4}\ C$$

حساب الطاقة الكهربائية المختزنة:

$$E_C = \frac{1}{2}CU_{max}^2 \Rightarrow E_C = \frac{1}{2}\times1\times10^{-6}\times(100)^2 \Rightarrow E_C = 5\times10^{-3}\ J$$

أو تحسب من العلاقة : $E_C = \frac{1}{2}qU_{max}$ **أو** $E_C = \frac{1}{2}\cdot\frac{q_{max}^2}{C}$

2. حساب f_0:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC} \Rightarrow T_0 = 2\pi\sqrt{10^{-3}\times1\times10^{-6}} = 2\sqrt{\pi^2\times10^{-9}} = 2\times10^{-4}\ s$$

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\times10^{-4}} = 5000\,Hz$$

3. حساب شدة التيار الأعظمي: لدينا من التابع الزمني للشدة اللحظية:

$$\bar{i} = \underbrace{\omega_0\, q_{max}}\cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}) \Rightarrow \underbrace{I_{max}} = \omega_0\, q_{max}$$

$$I_{max} = 2\pi f_0\, q_{max} \Rightarrow I_{max} = 2\pi\times5000\times10^{-4} \Rightarrow I_{max} = \pi\ A$$

<u>التيارات عالية التواتر:</u> (ملاحظة: الأفضل دراسة هذه الفكرة بعد درس التيار المتناوب الجيبي)

نشاط:

تتألف دارة 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؟

<u>الحل:</u>

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{10^{-8}\times10^{-4}} \Rightarrow T_0 = 2\pi\times10^{-6}\ s$$

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\times10^{-6}} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi}\times10^{6}\ H$$

نحصل على تيار عالي التواتر.

خصائص التيارات عالية التواتر:

(سؤال + جواب) أعطي تفسيراً علمياً باستخدام العلاقات الرياضية. (هام جداً عدة دورات)

1. تبدي الوشيعة ممانعة كبيرة للتيارات عالية التواتر:

تُعطى العلاقة التي تمثل ممانعة الوشيعة بالشكل: $Z_L = \sqrt{r^2 + X_L^2}$

فإذا كانت r مهملة تؤول الممانعة إلى ردية الوشيعة:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

إن الممانعة تتناسب طردا مع تواتر التيار، وفي حالة التيارات عالية التواتر فإن ممانعة الوشيعة تكون كبيرة جدا.

النتيجة: تبدي الوشيعة ممانعة كبيرة جداً للتيارات عالية التواتر فيمر فيها تيار شدته المنتجة ضعيفة جدا.

2. تبدي المكثفة ممانعة صغيرة للتيارات عالية التواتر:

تُعطى العلاقة التي تمثل ممانعة المكثفة (الاتساعية) بالشكل:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

إن الممانعة تتناسب عكساً مع تواتر التيار فهي صغيرة جدا في التيارات عالية التواتر لذلك تبدي المكثفة سهولة لمرور هذه التيارات.

النتيجة: تبدي المكثفة ممانعة صغيرة جداً للتيارات عالية التواتر فيمر فيها تيار شدته المنتجة كبيرة.

إذاً:
- **الوشيعة تبدي صعوبة لمرور تيار عالي التواتر وسهولة لمنخفض التواتر**
- **المكثفة تبدي صعوبة لمرور تيار منخفض التواتر وسهولة لعالي التواتر**

المطلوب: راجع نوطة المسائل لدراسة اختبر نفسي:

1. حل ودراسة أسئلة الدرس النظري.
2. حل ودراسة مسائل الدرس (1 + 2 + 3 + 4 + 5)
3. اجراء امتحان بسؤال خيار من متعدد من نوطة المسائل ص 173 من رقم 1 إلى 9

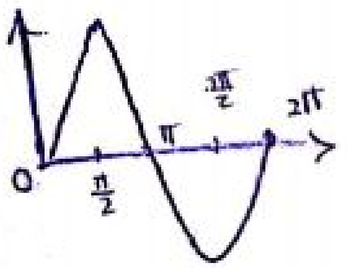
الدرس الخامس 5

التيار المتناوب الجيبي

تمهيد: 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 التيار المتناوب؟ وما أنواعه؟**

ألاحظ واستنتج: (سؤال + جواب)

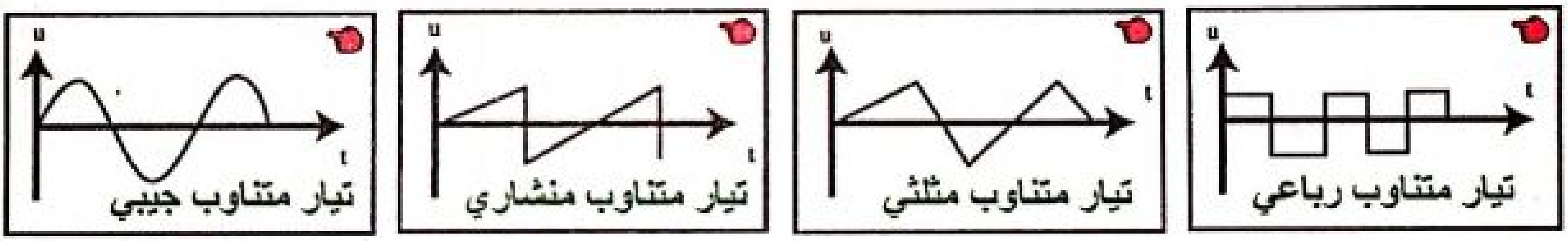
تمثل الأشكال البيانية المرسومة تغيرات توتر التيار مع الزمن:



1- أتتغير قيمة توتر التيار أم تبقى ثابتة؟ تتغير.

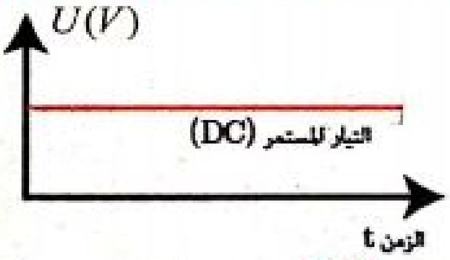
2- أتتغير جهة التيار ، أم تبقى ثابتة؟ تتغير.

3- ماشكل تغير التوتر في كل منها؟ **وماذا تستنتج؟**



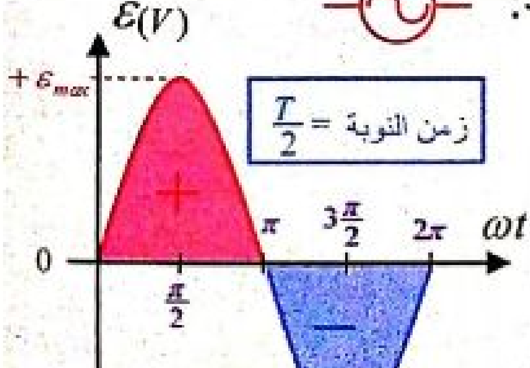
النتيجة: التيار المتناوب هو التيار الذي تتغير شدته وجهته مع الزمن بشكل دوري.

مقارنة بين التيار المستمر والتيار المتناوب الجيبي بواسطة راسم الاهتزاز الإلكتروني:



1- **التيار المستمر** : تيار ثابت الشدة والجهة مع الزمن (**تيار متواصل** DC) ، رمز المولد :

2- **التيار المتناوب الجيبي:** تيار تتغير فيه الشدة والتوتر جيبياً مع الزمن (**تيار متناوب** AC) رمز المولد:



تابع الشدة اللحظية وتابع التوتر اللحظي:

مر معنا أن القوة المحركة الكهربائية المتحرضة المتناوبة الجيبية تعطى بالعلاقة:

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

التوتر المتناوب الجيبي يساوي تقريبا القوة المحركة الكهربائية في كل لحظة ، لذا سنستخدم التوتر بدلا من القوة المحركة الكهربائية. **ويمكن أن نكتب:**

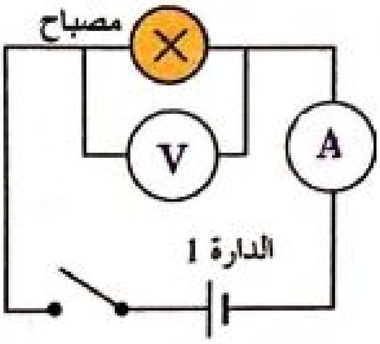
- **تابع الشدة اللحظية:** $\bar{i} = I_{max} \cos(\omega t + \bar{\varphi}_1)$ تمثل $\bar{\varphi}_1$ الطور الابتدائي لشدة التيار.
- **تابع التوتر اللحظي:** $\bar{u} = U_{max} \cos(\omega t + \bar{\varphi}_2)$ تمثل $\bar{\varphi}_2$ الطور الابتدائي للتوتر.

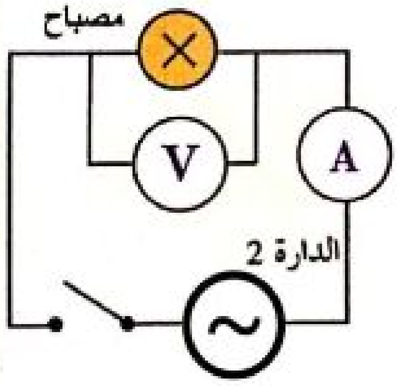
$\bar{\varphi} = \bar{\varphi}_2 - \bar{\varphi}_1$ **تمثل فرق الطور بين الشدة والتوتر، ويتغير بتغير مكونات الدارة.**

القيم المنتجة (الفعالة)

أجرب وأستنتج:

المصباح يعامل معاملة الناقل الأومي



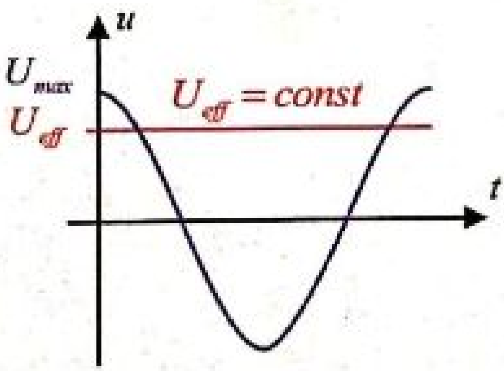


1. أحقق الدارتين الكهربائيتين الممثلتين في الشكل، حيث الدارتان متماثلتان، الدارة الأولى مغذاة بمولد تيار مستمر، والثانية بمولد تيار متناوب جيبي.
2. أغير قيمة توتر المولد المتناوب حتى ألاحظ تماثلاً في توهج المصباحين. حيث يشير مقياس الأمبير للقيمة ذاتها.
3. أقارن قيمة التوتر التي يعطيها مقياس الفولط في كلا الدارتين، ماذا ألاحظ؟ (لاتشير إلى القيمة ذاتها)
4. أصل طرفي مصباح الدارة (2) في مدخل راسم الاهتزاز المهبطي، وأضبط الجهاز للحصول على إشارة واضحة على الشاشة.
5. أعين القيمة العظمى لإشارة التوتر U_{max} ، وأقارنها مع القيمة المقروءة على مقياس الفولط. وأحسب النسبة بينهما: $\left[U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}\right]$

النتائج:

- تسمى قيمة شدة التيار المتناوب الجيبي التي يقيسها مقياس الأمبير الحراري في دارة التيار المتناوب بالشدة المنتجة أو الفعالة ويرمز لها I_{eff} .
- **الشدة المنتجة للتيار المتناوب الجيبي:** هي شدة تيار متواصل يعطي الطاقة الحرارية نفسها التي يعطيها التيار المتناوب الجيبي عند مرورهما في الناقل الأومي نفسه خلال الزمن نفسه: **وتعطى بالعلاقة:**

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{(حفظ)}$$

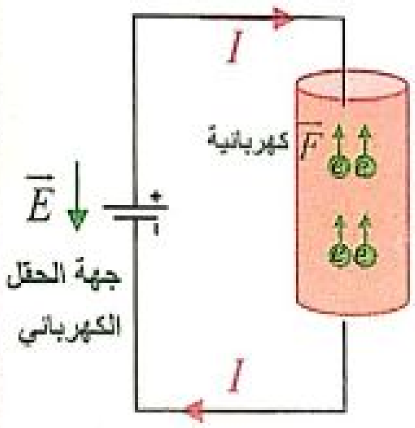


- تسمى قيمة التوتر المتناوب الجيبي التي يقيسها مقياس الفولط في دارة التيار المتناوب بالتوتر المنتج، أو الفعال ويرمز لها U_{eff}
- **التوتر المنتج للتيار المتناوب الجيبي** يكافئ التوتر المستمر الذي يقدم الطاقة نفسها التي يقدمها التوتر المتناوب الجيبي في الناقل الأومي نفسه خلال الزمن نفسه والتي تصرف بشكل حراري.

يرتبط التوتر الأعظمي للتيار المتناوب الجيبي بالتوتر المنتج (الفعال) بالعلاقة:

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \quad \text{(حفظ)}$$

التفسير الإلكتروني للتيار الكهربائي وإمكانية تطبيق قوانين أوم في التيار المتواصل على دارات التيار المتناوب:



- **التيار المتواصل:** ينشأ 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.

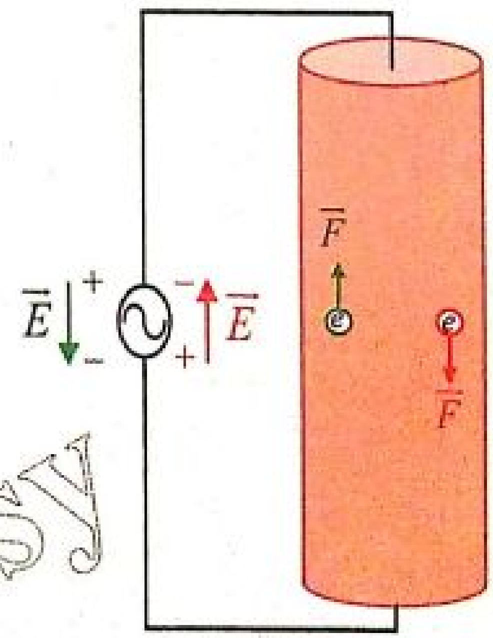
تذكر: $\overrightarrow{F}=e\overrightarrow{E}$ للشعاعين $\overrightarrow{E}$, $\overrightarrow{F}$ نفس الحامل وجهتين متعاكستين

- **التيار المتناوب:** سؤال دورة: (2013 + 2015 + ...)

فسر الكترونياً نشوء التيار المتناوب الجيبي، واكتب شرطي تطبيق قوانين التيار المتواصل على دارة يجتازها تيار متناوب في كل لحظة. **الجواب:**

- ينشأ التيار المتناوب من الحركة الاهتزازية للإلكترونات الحرة حول مواضع وسطية بسعة صغيرة من مرتبة الميكرومتر. يكون تواتر هذه الحركة مساوياً لتواتر التيار.
- وتنتج الحركة الاهتزازية للإلكترونات عن الحقل الكهربائي المتغيّر 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.

ملاحظة هام:
تهتز الإلكترونات الحرة في الدارة بالنبض الذي يفرضه المولد (ω) ، والذي يختلف عن النبض الخاص (ω_0) ، لذلك تسمى الاهتزازات الكهربائية الحاصلة بالاهتزازات القسرية، ويشكل المولد فيها جملة محرضة وبقية الدارة جملة مجاوبة.



شرطا تطبيق قوانين أوم في التيار المتواصل على دارة التيار المتناوب في كل لحظة:

1. **الدارة قصيرة بالنسبة لطول الموجة.**
2. **تواتر التيار المتناوب الجيبي صغير.**

شرح الشرطين: (من أجل تواتر تيار المدينة $f = 50\ Hz$)

$$c = f\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times10^8}{50} = 6\times10^6\ m$$

لاحظ أن طول الموجة كبير مقارنة مع أبعاد الدارات المستخدمة في الأجهزة الكهربائية ، فإذا أخذنا دارة أبعادها من رتبة عدة أمتار نجد أن الإلكترونات تتحرك بالاتجاه نفسه في كامل الدارة في لحظة ما. ويجتاز مقطع السلك العدد نفسه من الإلكترونات في كل نقاط الدارة. وهذا مايسمح بتطبيق قوانين أوم في التيار المتواصل على دارة التيار المتناوب في كل لحظة.

مصطلحات التيار المتناوب:

القيمة	التوتر الخطي	التوتر المنتج	التوتر الأعظمي	الشدة اللحظية	الشدة المنتجة	الشدة الأعظمية
التيار المتناوب	u	U_{eff}	U_{max}	i	I_{eff}	I_{max}

الاستطاعات في التيار المتناوب الجيبي:

وجدنا أن للتيار المتناوب شدات، وتوترات لحظية، وأعظمية، ومنتجة، فما 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: $\boxed{P=ui}$

- أتكون الاستطاعة اللحظية ثابتة أم متغيرة ؟ **ولماذا؟**
- تتغير هذه الاستطاعة من لحظة إلى أخرى تبعا 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:** $\boxed{P_{avg} = I_{eff}\, U_{eff} \cos\varphi}$ **(حفظ)**

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:**

$$\bar{\varphi} = 0 \Rightarrow \cos\bar{\varphi} = 1 \Rightarrow P_A = I_{eff}\, U_{eff}$$

العلاقة بين الاستطاعة المتوسطة، والاستطاعة الظاهرية؟

نسمي المعامل $\cos\overline{\varphi}$ **بعامل الاستطاعة** : وهو النسبة بين الاستطاعة المتوسطة P_{avg} والاستطاعة الظاهرية P_A.

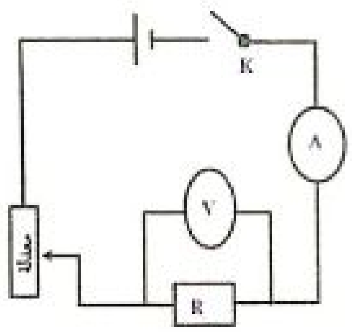
$$\cos\varphi = \frac{I_{eff}\,U_{eff}\cos\varphi}{I_{eff}\,U_{eff}} = \frac{P_{avg}}{P_A} = \text{عامل الاستطاعة (حفظ)}$$

ملاحظة: لاحظ أن عامل الاستطاعة لاواحدة له وأن $\cos\varphi \le 1$

معلومة هام جداً: إن الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في جملة ثنائيي قطب موصولين على التسلسل أو على التفرع تساوي مجموع الاستطاعتين المستهلكتين في ثنائيي القطب؛ **أي:**

$$P_{avg} = P_{avg1} + P_{avg2} \quad \text{(حفظ)}$$

قانون أوم:



تطبيقات قانون أوم في دارة تيار متناوب.

أجرب واستنتج: (سؤال + جواب)

تجربة (1):

1- أصل الدارة كما في الشكل المجاور و أغلق القاطعة،
وأغير قيمة التوتر المطبق، وألاحظ قيمة شدة التيار الموافق لكل توتر . ماذا أستنتج؟

أستنتج: نسبة التوتر المطبق بين طرفي ناقل أومي إلى شدة التيار المتواصل المارة فيه تساوي مقدار ثابت

$$\frac{U}{I} = R = const$$

2- أكرر التجربة باستخدام مأخذ التيار المتناوب، ماذا أستنتج؟

أستنتج: نسبة التوتر المنتج المطبق بين طرفي ناقل أومي إلى الشدة المنتجة للتيار المتناوب المارة فيه تساوي مقدار ثابت

$$\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = R = const$$

النتيجة: يسلك الناقل الأومي السلوك نفسه في التيارين المتواصل والمتناوب.

تجربة (2): أستبدل بالمقاومة في الدارة السابقة وشيعة (ذاتيتها L ومقاومتها r) ، وأكرر التجربة السابقة باستخدام تيار متواصل، ثم تيار متناوب، ماذا ألاحظ، وماذا أستنتج؟

النتيجة: تقوم الوشيعة بدور مقاومة أومية في التيار المتواصل وتقوم بدور مقاومة وذاتية (ممانعة) في التيار المتناوب.

تجربة (3): أستبدل بالوشيعة في الدارة السابقة مكثفة، وأكرر التجربة، ماذا ألاحظ، وماذا أستنتج؟

النتيجة: لا تسمح المكثفة بمرور التيار المتواصل في حين أنها تمرر التيار المتناوب.

المكثفة ومرور التيار المتناوب: (سؤال دورة : علل..)

- **لا تسمح** المكثفة بمرور التيار المتواصل
  بسبب وجود العازل بين لبوسيها.
- **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 تخترق 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.

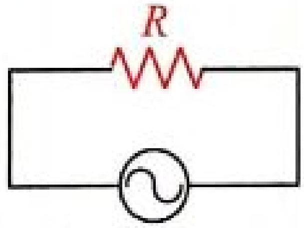
استنتاج قوانين أوم:

ملاحظة: جهاز واحد مع المنبع لا نقول دارة تسلسل، ولا نقول دارة

1- مقاومة أومية في دارة تيار متناوب جيبي:

سؤال دورة 2016: نطبق توترا لحظيا $\overline{u}$ على مقاومة أومية صرفة R في دارة تيار متناوب جيبي مغلقة، فيمر تيار تابع شدته اللحظية $\overline{i} = I_{max}\cos\omega t$ **المطلوب:**

- استنتج تابع التوتر اللحظي بين طرفيها، ما قيمة فرق الطور بين التيار والتوتر المطبق موضحاً بإنشاء فرنيل.
- استنتج العلاقة التي تربط بين الشدة المنتجة والتوتر المنتج في هذه الدارة. **(قانون أوم)**
- ناقش عبارة الاستطاعة المستهلكة فيها.



الحل: • **تابع الشدة اللحظية للتيار:** $\overline{i} = I_{max}\cos\omega t \quad \cdots(1)$

$[\varphi_{1\,تيار} = 0]$، محور الشدة (التيار) مبدأ للأطوار. **(شرح)**

تابع التوتر اللحظي بين طرفي المقاومة: $\overline{u} = R\overline{i} \Rightarrow \overline{u} = RI_{max}\cos\omega t$

لكن: $[X_R = R]$ **تدعى ممانعة المقاومة** (تُقدر بالأوم).

$$U_{max} = R\,I_{max} \Rightarrow U_{max} = X_R\,I_{max} \quad \cdots(*)$$

$$\overline{u}_R = U_{max_R}\cos\omega t \quad \cdots(2) \qquad (\varphi_{2\,توتر} = 0)$$ **(تابع التوتر بين طرفي المقاومة)**

بمقارنة (1) و (2) تابعي الشدة والتوتر نجد $[\overline{\varphi} = 0$ فرق الطور$]$.

أي أن المقاومة تجعل التوتر المطبق بين طرفيها على توافق بالطور مع الشدة (التيار).

تمثيل فرنيل:

$(\varphi_{2\,توتر} = 0)$ $U_{eff\,R}$ $\vec{i}$

التوتر على وفاق مع التيار

ملاحظة: كما نستطيع أن نكتب: $(\varphi_{1\,تيار} = 0)$ $I_{eff\,R}$ $\vec{u}$

التيار على وفاق مع التوتر المطبق.

- للحصول على القيم المنتجة **(قانون أوم)** نقسم طرفي العلاقة **(*)** على $\sqrt{2}$

قانون أوم بين طرفي مقاومة $\boxed{U_{eff} = R\, I_{eff}}$

$$\frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = X_R \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow \boxed{U_{eff} = X_R I_{eff}}$$

- **مناقشة الاستطاعة المتوسطة (المستهلكة):**

$$\left.\begin{array}{l} P_{avg} = U_{eff} I_{eff} \cos\varphi \\ \text{لكن: } \varphi = 0 \Rightarrow \cos\varphi = 1 \end{array}\right] \Rightarrow P_{avg} = U_{eff} I_{eff}$$

لكن: $U_{eff} = R\, I_{eff} \Leftarrow \boxed{P_{avg} = R I_{eff}^2}$

وهذا يدل على أن: الطاقة تُصرف في المقاومة حرارياً بفعل جول.

> **ملاحظة:** لحساب الطاقة الحرارية المنتشرة عن مرور التيار في المقاومة:
>
> $$E = P_{avg} \times t \Rightarrow E = U_{eff} I_{eff} . t \Rightarrow E = R I_{eff}^2 \cdot t$$

2- وشيعة مهملة المقاومة (ذاتية صرف) في دارة تيار متناوب جيبي :

سؤال دورة 2015: نطبق توتراً لحظياً $\bar{u}$ على وشيعة ذاتيتها (L) مقاومتها الأومية مهملة $(L, r = 0)$ في دارة تيار متناوب جيبي مغلقة، فيمر تيار تابع شدته اللحظية : $\bar{i} = I_{max} \cos\omega t$

المطلوب:

- استنتج تابع التوتر اللحظي بين طرفيها، ما قيمة فرق الطور بين التيار والتوتر المطبق موضحاً بإنشاء فرنيل.
- استنتج العلاقة التي تربط بين الشدة المنتجة والتوتر المنتج في هذه الدارة. **(قانون أوم)**
- ناقش عبارة الاستطاعة المستهلكة فيها

$(L, r = 0)$

الحل: • **تابع الشدة اللحظية للتيار** $\bar{i} = I_{max} \cos\omega t \cdots (1)$

$[\varphi_1 = 0$ تيار ، محور التيار مبدأ للأطوار]. **(شرح)**

تابع التوتر اللحظي بين طرفي الوشيعة : $\bar{u} = L \frac{d\bar{i}}{dt}$

> **تذكر:**
>
> وشيعة $u = L(i)'_t + r\, i$
>
> $r = 0 \Rightarrow u = L(i)'_t$

$$\frac{d\bar{i}}{dt} = -\omega I_{max} \sin\omega t \Rightarrow \frac{d\bar{i}}{dt} = \omega I_{max} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

نعوض بعلاقة التوتر فنجد: $\bar{u} = L\omega I_{max} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$

> **فائدة رياضية:**
>
> $-\sin\theta = \cos(\theta + \frac{\pi}{2})$

- نسمي المقدار $\boxed{X_L = L\,\omega \text{ (حفظ)}}$ ممانعة الوشيعة مهمل المقاومة،

وتسمى **ردية الوشيعة** ، تقدر بالأوم في الجملة الدولية.

$u = (U_{max}) \cos(\omega t + \varphi)$

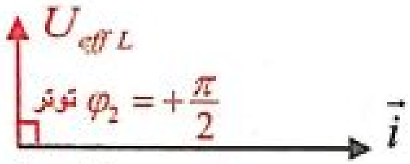
يصبح تابع التوتر بين طرفي الوشيعة مهملة االمقاومة: $\bar{u}_L = X_L\, I_{max} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$

$$\rightarrow U_{max_L} = X_L\, I_{max} \quad \cdots (*)$$

$$\bar{u}_L = U_{max_L} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad \cdots (2) \qquad (\varphi_{2\,\text{توتر}} = \frac{\pi}{2})$$

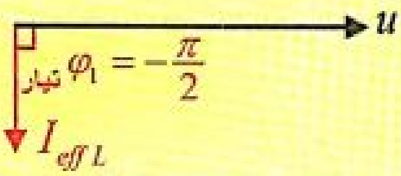
- بمقارنة (1) و (2) تابعي الشدة والتوتر نجد أن ($\bar{\varphi} = \frac{\pi}{2}$ فرق الطور) أي أن الوشيعة مهملة المقاومة تجعل التوتر اللحظي يتقدم بالطور على الشدة اللحظية بمقدار $(\frac{\pi}{2})$ (أي ترابع متقدم).

تمثيل فرنيل:



تقدم التوتر عن التيار (بين طرفي وشيعة)

ملاحظة: كما نستطيع أن نكتب:



تأخر تيار عن توتر(بين طرفي وشيعة)

- للحصول على القيم المنتجة (قانون أوم)

نقسم طرفي العلاقة (*) على $\sqrt{2}$

$$\frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = X_L\, \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow \boxed{U_{eff} = X_L\, I_{eff} \quad \text{(حفظ)}}$$

قانون أوم بين طرفي وشيعة مهملة المقاومة

- **مناقشة الاستطاعة المتوسطة (المستهلكة) (دورة 2015):** $P_{avg} = U_{eff}\, I_{eff} \cos\varphi$

لكن في حالة وشيعة مهملة المقاومة:

$$\bar{\varphi}_L = \frac{\pi}{2}\ rad \Rightarrow \cos\varphi_L = 0 \Rightarrow \boxed{P_{avg} = 0}$$

أي أن الاستطاعة المتوسطة في الوشيعة مهملة المقاومة معدومة.

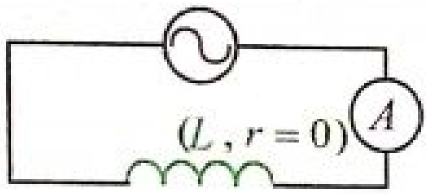
فالوشيعة مهملة المقاومة تختزن طاقة كهرطيسية خلال ربع الدور لتعيدها كهربائياً إلى الدارة الخارجية خلال ربع الدور الذي يليه، أي أن الوشيعة مهملة المقاومة لا تستهلك طاقة.

سؤال: أعطي تفسيراً علمياً باستخدام العلاقات الرياضية: لا تستهلك الوشيعة مهملة المقاومة أي استطاعة كهربائية. **الجواب:** (......مناقشة الاستطاعة).

ملاحظة: حالة وشيعة لها مقاومة (L, r) يكون: $[\ P_{avg} \neq 0\ ,\ \bar{\varphi} \neq \frac{\pi}{2}\ ]$ **يوضح لاحقا في ص 128**

تستهلك بسبب وجود (r) جزء من الطاقة بشكل حراري بفعل جول.

تدرب أكثر (تطبيق محلول):



نطبق توتراً متناوباً تُعطى قيمته اللحظية بالمعادلة:

$\boxed{u = 150\cos 1000t}$ على وشيعة ذاتيتها $L = 0.02\ H$، مقاومتها مهملة.

والمطلوب: اكتب تابع الشدة اللحظية i، ثم احسب الاستطاعة المتوسطة P_{avg}

منـاقشة للفهـم:

نلاحظ من تابع التوتر المعطى بنص المسألة أن $(\varphi_{توتر} = 0)$ لذا يكون التوتر هو مبدأ للأطوار. وبذلك يكون التيار **متأخر** بالطور عن التوتر بمقدار $\frac{\pi}{2}$

الحل:

$$\bar{i} = I_{max}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{X_L} = \frac{U_{max}}{L\omega} = \frac{150}{0.02 \times 1000} = 7.5\ A$$

نعوض:

$$\bar{i} = 7.5\cos(1000t - \frac{\pi}{2})\ A$$

لحساب الاستطاعة المتوسطة:

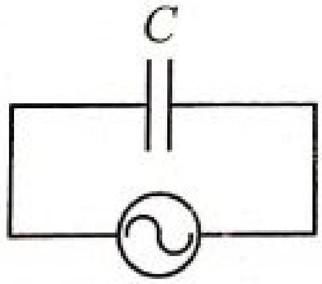
$$P_{avg} = I_{eff}U_{eff}\cos\frac{\pi}{2} \Rightarrow \boxed{P_{avg} = 0}$$

$0 - (-\frac{\pi}{2}) \Rightarrow \varphi_2 - \varphi_1$

3- مكثفة في دارة تيار متناوب جيبي:

سؤال: نطبق توتراً لحظياً $\bar{u}$ على مكثفة غير مشحونة (C) في دارة تيار متناوب جيبي، فيمر تيار تابع شدته اللحظية: $i = I_{max}\cos\omega t$ **المطلوب:**

- استنتج تابع التوتر اللحظي بين طرفيها، ما قيمة فرق الطور بين التيار والتوتر المطبق.
- استنتج العلاقة التي تربط بين الشدة المنتجة والتوتر المنتج في هذه الدارة. (قانون أوم)
- ناقش عبارة الاستطاعة المستهلكة فيها.



الحل: • تابع الشدة اللحظية للتيار $\bar{i} = I_{max}\cos\omega t \cdots (1)$

$[\varphi_{1\,تيار} = 0]$ ، محور التيار مبدأ للأطوار] (شرح)

التوتر اللحظي بين لبوسي المكثفة: $\bar{q} = C\bar{u} \Rightarrow \bar{u} = \frac{\bar{q}}{C}$

(باعتبار أن سعة المكثفة ثابتة، $\bar{q}$ شحنتها المتغيرة مع الزمن، فإنه خلال فاصل زمني dt تتغير شحنة المكثفة بمقدار dq) ولدينا:

$$\bar{i} = \frac{d\bar{q}}{dt} \Rightarrow d\bar{q} = \bar{i}\ dt \Rightarrow d\bar{q} = I_{max}\cos(\omega t)\ dt$$

$$\bar{q} = \int d\bar{q} = \int I_{max}\cos(\omega t)\ dt = I_{max}\int \cos(\omega t)\ dt$$

لكن: $\int \cos(\omega t)\ dt = \frac{1}{\omega}\sin\omega t$

فائدة رياضية:
$\sin\theta = \cos(\theta - \frac{\pi}{2})$

$$\Rightarrow \quad \bar{q} = \frac{1}{\omega} I_{max} \sin\omega t$$

نعوض بعلاقة التوتر:

$$\bar{u} = \frac{1}{\omega C} I_{max} \sin\omega t \Rightarrow \bar{u} = \frac{1}{\omega C} I_{max} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

- نسمي المقدار: $\boxed{X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ (حفظ)}}$ ممانعة المكثفة (تقدر بالأوم)
(او اتساعية المكثفة او الممانعة السعوية للمكثفه)

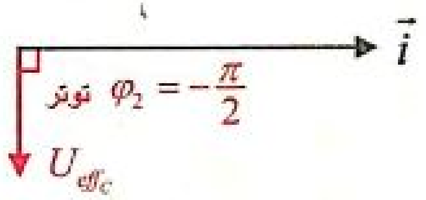
$$\Rightarrow \quad \bar{u} = X_C I_{max} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$U_{max} = X_C I_{max} \quad \cdots (*)$$

يصبح تابع التوتر: $\overline{u_C} = U_{max_C} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \cdots (2)$ ($\varphi_2 = -\frac{\pi}{2}$ توتر)

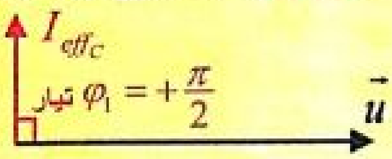
- بمقارنة (1) و (2) تابعي الشدة والتوتر نجد أن ($\bar{\varphi} = -\frac{\pi}{2}$ فرق الطور) أي أن التوتر اللحظي بين طرفي المكثفة **يتأخر** عن التيار بالمقدار $\frac{\pi}{2}\, rad$ (ترابع متأخر).

تمثيل فرنيل:



تأخر التوتر عن التيار (بين طرفي مكثفة)

ملاحظة: كما نستطيع أن نكتب:



تقدم التيار عن التوتر بين طرفي مكثفة

- للحصول على القيم المنتجة (قانون أوم)
نقسم طرفي العلاقة (*) على $\sqrt{2}$

$$\frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = X_C \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow \boxed{U_{eff} = X_C I_{eff} \text{ (حفظ)}}$$

قانون أوم بين طرفي مكثفة

- **مناقشة الاستطاعة المتوسطة (المستهلكة):** $P_{avg} = U_{eff} I_{eff} \cos\varphi$

لكن في حالة مكثفة:

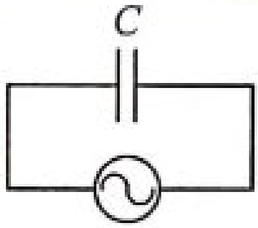
$$\overline{\varphi_C} = -\frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos\overline{\varphi_C} = 0 \Rightarrow \boxed{P_{avg} = 0}$$

الاستطاعة المتوسطة في المكثفة معدومة دوماً.
فالمكثفة لا تستهلك أية طاقة، لأنها تختزن الطاقة كهربائياً خلال **ربع الدور** ، وتعيدها كهربائياً في **ربع الدور** الذي يليه.

سؤال: أعطي تفسيراً علمياً باستخدام العلاقات الرياضية. لا تستهلك المكثفة أي استطاعة كهربائية.

الجواب: (..... مناقشة الاستطاعة).

تدرب أكثر(تطبيق محلول):



إذا كانت سعة المكثفة المبينة في الشكل المرافق، تساوي $2\ \mu F$ وكان فرق الكمون اللحظي بين طرفيها يعطى بالمعادلة:

$$\boxed{\bar{u} = 100 \cos 1000\, t}$$

احسب ممانعة هذه المكثفة، واكتب التوابع اللحظية لكل من التيار والشحنة الكهربائية.

مناقشة للفهم:

نلاحظ من تابع التوتر المعطى بنص المسألة أن $(\varphi_{\text{توتر}} = 0)$ لذا يكون التوتر هو مبدأ للأطوار.

وبذلك يكون التيار **متقدم** بالطور عن التوتر بمقدار $\frac{\pi}{2}$

الحل:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{1000 \times 2 \times 10^{-6}} = 5 \times 10^2\ \Omega$$

تابع الشدة اللحظية:

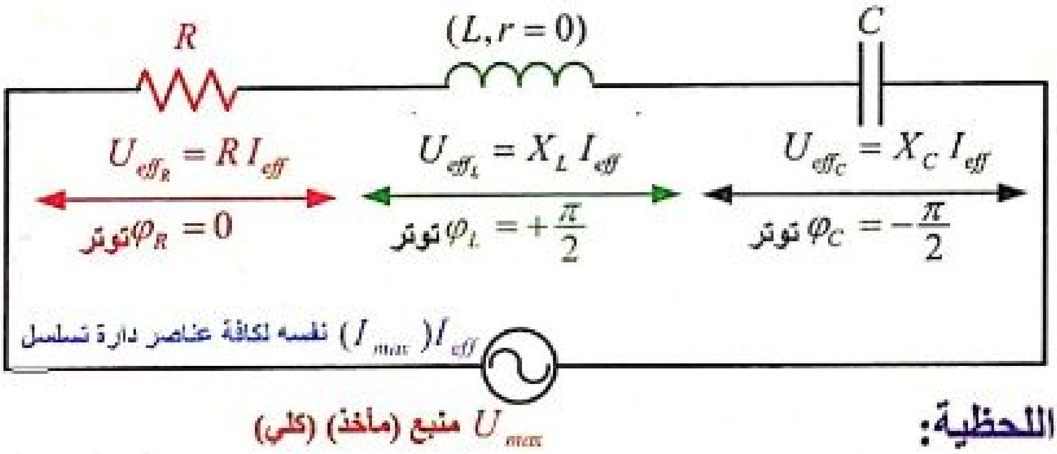
$$\bar{i} = I_{max} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{X_C} = \frac{100}{5 \times 10^2} = 0.2\ A \Rightarrow \boxed{\bar{i} = 0.2 \cos(1000 t + \frac{\pi}{2})}$$

تابع الشحنة:

$$\bar{q} = C \bar{u} \Rightarrow \bar{q} = 2 \times 10^{-6} \times 100 \cos 1000 t \Rightarrow \bar{q} = 2 \times 10^{-4} \cos 1000 t$$

الحالة العامة: دارة تيار متناوب تحوى على التسلسل مقاومة وذاتية صرف ومكثفة



U_{max} منبع (مأخذ) (كلي)

تابع الشدة اللحظية:

I_{eff} نفسه لكافة عناصر دارة تسلسل لذا يكون $\varphi_{\text{تيار}} = 0$ ومحور التيار هو مبدأ للأطوار $\Leftarrow$ $\boxed{i = I_{max} \cos \omega t}$

$$\underset{\text{منبع (كلي)}}{\bar{u}} = \underset{\text{منبع (كلي)}}{U_{max}} \cos(\omega t + \underset{\text{(كلي)}}{\varphi})$$

فائدة: مع تمثيل فرينل نميز:

- المقادير الآنية جبرية وتجمع جمعاً جبرياً: $\bar{x} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots$
- المقادير المنتجة (والعظمى) شعاعية وتجمع جمعاً شعاعياً: $\overrightarrow{X}_{max} = \overrightarrow{X}_{max_1} + \overrightarrow{X}_{max_2} + \dots$

إن توابع التوترات اللحظية الجزئية مختلفة في الطور أي: $\bar{u}_{(\text{كلي})} = \bar{u}_R + \bar{u}_L + \bar{u}_C$

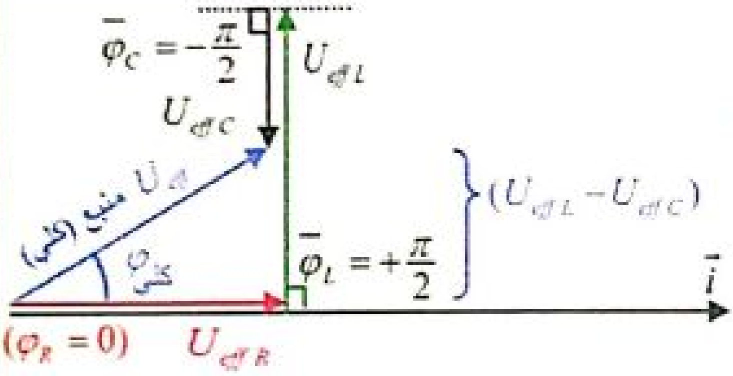
$$\overline{U_{max}}_{\text{(كلي)}}\cos(\omega t+\varphi_{\text{(كلي)}}) = \overline{U_{max_R}}\cos\omega t + \overline{U_{max_L}}\cos(\omega t+\frac{\pi}{2}) + \overline{U_{max_C}}\cos(\omega t-\frac{\pi}{2})$$

$$\varphi_{\text{(كلي)}} = ? \qquad \varphi_R = 0 \qquad \varphi_L = +\frac{\pi}{2} \qquad \varphi_C = -\frac{\pi}{2}$$

- **التوترات المنتجة تجمع هندسياً:** $\vec{U}_{eff\ \text{(كلي) منبع}} = \vec{U}_{eff_R} + \vec{U}_{eff_L} + \vec{U}_{eff_C}$

- باستخدام إنشاء فرينل يمكننا حساب $(U_{eff\ \text{(كلي)}}\ ,\ \bar{\varphi}_{\text{(كلي)}})$

ملاحظة: الرسم بفرض $U_{eff\,L} > U_{eff\,C}$



من الرسم وحسب فيثاغورث:

$$U^2_{eff\,\text{(كلي)}} = U^2_{eff_R} + (U_{eff_L} - U_{eff_C})^2$$

$$U^2_{eff} = R^2 I^2_{eff} + (X_L I_{eff} - X_C I_{eff})^2$$

$$U^2_{eff} = I^2_{eff}\left[R^2 + (X_L - X_C)^2\right] \Rightarrow$$

$$U_{eff} = I_{eff}\underbrace{\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}}_{\text{ندعو هذا المقدار ممانعة أومية للدارة } (Z)} \Rightarrow \boxed{Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}\ \text{(حفظ)}}$$

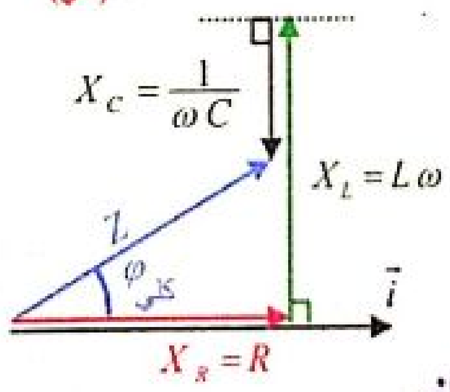
- **نستنتج:** $\boxed{U_{eff} = Z\, I_{eff}\ \text{(حفظ)}}$ **وهو قانون أوم في الحالة العامة**

ميز هنا أن:
X: ممانعة جهاز.
Z: ممانعة دارة.

- **لحساب** (φ) زاوية الطور بين الشدة والتوتر: من الشكل:

$$\cos\bar{\varphi} = \frac{U_{eff_R}}{U_{eff\,\text{(كلي)}}} \Rightarrow \cos\bar{\varphi} = \frac{R\,I_{eff}}{Z\,I_{eff}} \Rightarrow \boxed{\cos\bar{\varphi} = \frac{R}{Z}\ \text{(حفظ)}}$$

ملاحظة:
$[U_{eff} = X\, I_{eff}]$
I_{eff} نفسه لكافة عناصر الدارة
(U_{eff})، $(X$ ممانعة$)$
تناسب طردي

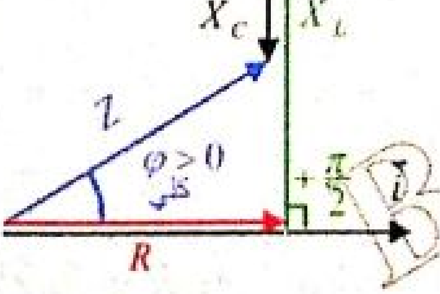


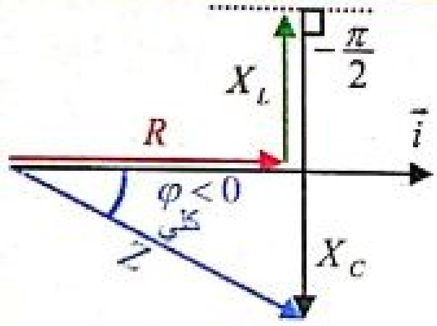
ملاحظة: لدينا من تمثيل فرينل السابق إذا قسمنا كافة المقادير على (I_{eff}) نحصل على تمثيل الممانعات بحسب فرينل.

مناقشة هام جداً: توجد ثلاث حالات:

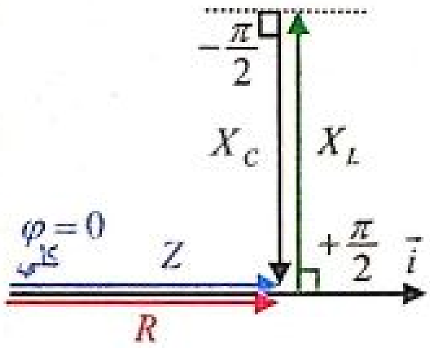
1- عندما تكون : ردية الوشيعة (X_L) **أكبر من** اتساعية المكثفة (X_C) يكون التوتر المطبق متقدم بالطور على الشدة (التيار) تكون الدارة ذات ممانعة ذاتية.

$$(X_L > X_C \Rightarrow \bar{\varphi} > 0)$$





2- عندما تكون: ردية الوشيعة (X_L) **أصغر من** اتساعية المكثفة (X_C) يكون التوتر المطبق متأخر بالطور عن الشدة (التيار) وتكون الدارة ذات ممانعة سعوية $(X_L < X_C \Rightarrow \bar{\varphi} < 0)$.



3- عندما تكون : ردية الوشيعة (X_L) **تساوي** اتساعية المكثفة (X_C) يكون التوتر المطبق متفقاً بالطور مع شدة (التيار) وتسمى هذه الحالة **التجاوب الكهربائي أو الطنين الكهربائي.**

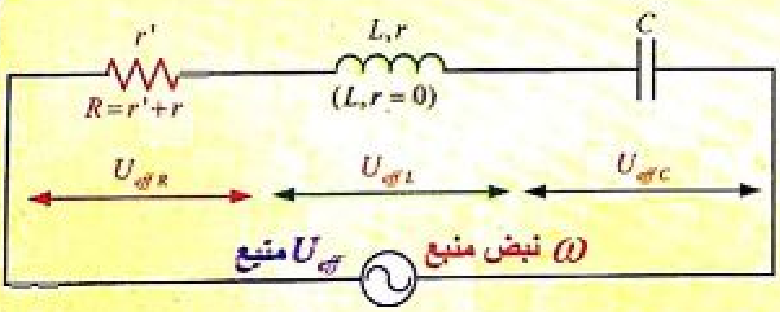
ظاهرة الطنين (التجاوب الكهربائي):

تجربة (للفهم ، للشرح) في إحدى التجارب على ظاهرة الطنين في دارة مؤلفة من مولد تواتر منخفض، يعطي توترا متناوبا جيبيا قيمته المنتجة (الفعالة) U_{eff} ، تواتره f قابلان للتغيير، نصل بين طرفيه على التسلسل وشيعة ذاتيتها $L=1.95\,H$ ، ومقاومتها الأومية r ، مع مكثفة سعتها $C = 0.5\,\mu F$ ، ومقاومة متغيرة r' ، وقد سجلت النتائج من أجل قيمتين للمقاومة الكلية $(R=r+r')$ في الدارة: $R_1 = 40\ \Omega$, $R_2 = 100\Omega$ في الجدول الآتي:

تواتر المنبع

$f\,(Hz)$	100	130	140	150	155	160	165	170	180
$I_{eff_1}\,(mA)$	2	4.37	6.25	11.25	16.6	25	23	16	9.37
$I_{eff_2}\,(mA)$	2	4.37	6.25	10	12.5	15	14.5	12.5	8.25

شرح للفهم:



$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}} \approx 160\,Hz$$

لاحظ أنه عندما: $\left[f_0 = f_{\text{منبع}} = 160\,Hz\right]$

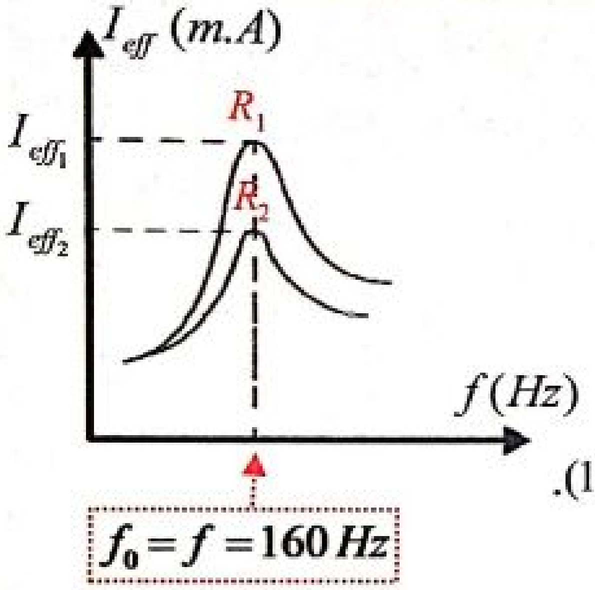
يكون I_{eff} بأكبر قيمة له

$$\left.\begin{array}{l} X_L = L\,\omega = L\,2\pi f \approx 1960\ \Omega \\ X_C = \dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{2\pi f C} \approx 1960\ \Omega \end{array}\right] \Rightarrow X_L = X_C \Rightarrow \boxed{Z = R}$$

إذاً يتحقق التجاوب الكهربائي بدارة تحوي على التسلسل (R, L, C) **عندما يكون :** $\boxed{X_L = X_C}$

عندها: $\underbrace{U_{eff}}_{\text{أكبر مايمكن}} = \underbrace{Z}_{\text{أصغر مايمكن}}\ I_{eff}$, $\boxed{\cos\varphi = 1}$, $\boxed{\varphi = 0}$, $\boxed{Z = R}$

المطلوب:



1. أرسم المنحنيين البيانيين لتغيرات الشدة المنتجة بدلالة تغيرات التواتر بالنسبة للمقاومتين.
2. أحدد قيمة التواتر f الذي تكون من أجله الشدة المنتجة I_{eff} بأكبر قيمة لها في كل من المنحنيين البيانيين. (محدد على الشكل)
3. أحسب الممانعة الكلية للدارة من أجل التواتر $(160\,Hz)$.

ماذا ألاحظ ؟ (مماسبق وجدنا أنه : $Z=R$).

النتائج: (حفظ هام جداً نظري + مسائل)

- تحدث حالة التجاوب الكهربائي (الطنين الكهربائي) في دارة تحوي على التسلسل مقاومة R ، و 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 (شرط الطنين: $\omega = \omega_0 = \omega_r$)
- **يتحقق في حالة الطنين:**

1. ردية الوشيعة تساوي اتساعية المكثفة $X_L = X_C$.
2. ممانعة الدارة أصغر ما يمكن $Z = R$.
3. التوتر المطبق على توافق بالطور مع الشدة $(\varphi = 0\ rad)$ ، بالتالي عامل استطاعة الدارة يساوي الواحد $(\cos\varphi = 1)$.
4. شدة التيار المنتجة أكبر ما يمكن $I_{eff} = \dfrac{U_{eff}}{R}$.
5. الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الدارة أكبر ما يمكن.

- التوتر المنتج بين طرفي المنبع يساوي التوتر المنتج بين طرفي المقاومة $U_{eff\,(منبع)} = U_{eff_R}$

لأن التوتر المنتج بين طرفي الوشيعة يساوي بالقيمة التوتر المنتج بين طرفي المكثفة $U_{eff_L} = U_{eff_C}$ ويعاكسه بالجهة.

وقد تكون قيمة كل منهما كبيرة جدا بالنسبة لتوتر المنبع.

وتستخدم هذه الخاصية في دارات الراديو للحصول على توترات كبيرة بين أطراف الوشائع و المكثفات باستخدام منابع ذات توترات محدودة القيمة.

لاستنتاج دور وتواتر الطنين (الرنين):

في حالة (الطنين) التجاوب الكهربائي:

$$X_L = X_C \Rightarrow \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} \Rightarrow \omega_r^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\frac{2\pi}{T_r} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow \boxed{T_r = 2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow \boxed{f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}$$

وهي العلاقة المحددة لدور وتواتر التيار في حالة الطنين .

تستخدم خاصة الطنين في عملية التوليف في أجهزة الاستقبال.

سؤال عدة دورات (هام): دارة تيار متناوب جيبي تحوي على التسلسل (R,L,C)، يتحقق فيها $[X_L = X_C]$. **المطلوب:**

- ماذا تسمى هذه الحالة؟
- كيف تكون ممانعة الدارة في هذه الحالة؟
- كيف تكون قيمة التيار المار بالدارة؟
- ما فرق الطور بين الشدة والتوتر؟
- استنتج علاقة دور التيار في حالة الطنين.

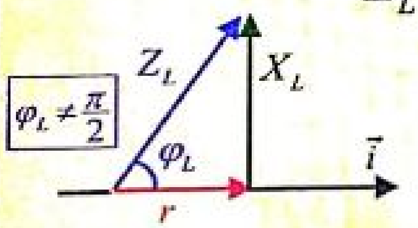
الحل: كما سبق ....

ملاحظة (هام جدا) :

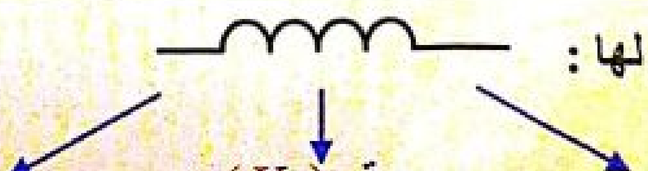
(L,r)

إذا كان للوشيعة مقاومة أومية (r) :

- عندها تعامل الوشيعة **كأنها** جهازين (L) و (r) مربوطين على التسلسل
- وبالتالي فإن ممانعتها تعطى بالعلاقة : $Z_L = \sqrt{r^2 + X_L^2}$
- قانون أوم بين طرفيها: $U_{eff} = Z_L I_{eff}$
- ويكون عامل استطاعة الوشيعة: $\cos\bar{\varphi} = \frac{r}{Z_L}$
- وتستهلك جزء من الطاقة بشكل حراري (فعل جول) بسبب وجود (r) $\boxed{P_{avg} \neq 0}$
- تابع التوتر اللحظي بين طرفيها : $\bar{u} = U_{\max}\cos(\omega t + \bar{\varphi}_L)$



إذاً: تتميز الوشيعة بأن لها :

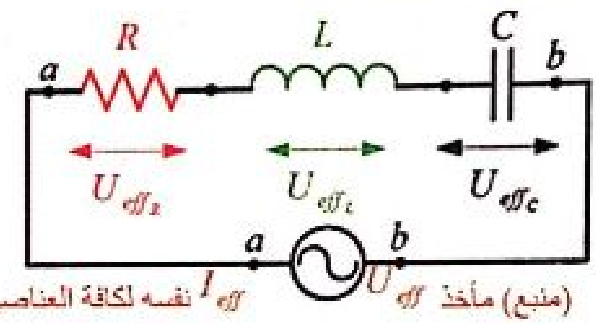


مقاومة (r) ردية (X_L) ممانعة (Z_L)

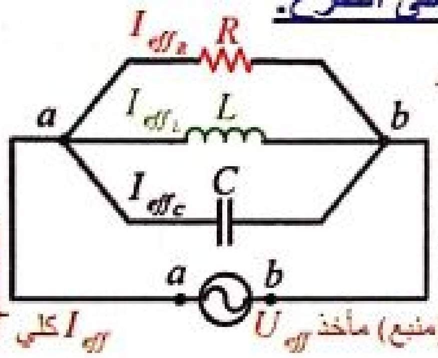
وبحالة خاصة عندما تكون $r=0 \Leftarrow Z_L = X_L$

التيارات الفرعية : لندرس دارة التفرع بمقارنتها مع دارة التسلسل:

- **وصل على التسلسل:**



- **وصل على التفرع:**



$\varphi_R = 0$ تيار

$\varphi_L = -\frac{\pi}{2}$ تيار

$\varphi_C = +\frac{\pi}{2}$ تيار

دارة خارجية
دارة أصلية
قبل التفرع

وصل على التسلسل:

- الشدة الآنية نفسها في جميع أجزاء الدارة الموصولة على التسلسل: $i = I_{max}\cos\omega t$

  $\boxed{\varphi_{تيار} = 0}$ محور التيار مبدأ للأطوار.

- التوتر اللحظي:

  $$u_{كلي} = U_{max}\cos(\omega t + \overline{\varphi}_{كلي})$$

- التوتر الكلي الآني يساوي مجموع جبري:

  $$\overline{u} = \overline{u_R} + \overline{u_L} + \overline{u_C}$$

- التوتر المنتج (الفعال) يساوي مجموع هندسي (شعاعي) للتوترات المنتجة الجزئية:

  $$\overline{U}_{eff_{كلي}} = \overline{U}_{eff_1} + \overline{U}_{eff_2} + \dots$$

وللحصول على قيمة $(U_{eff_{كلي}})$:

a. نربع الطرفين **(عند وجود حدين)**:

$$U^2_{eff_{كلي}} = U^2_{eff_1} + U^2_{eff_2} + 2U_{eff_1}U_{eff_2}\cos(\overline{\varphi_2} - \overline{\varphi_1})$$

b. **من إنشاء فرينل:** يكون الرسم للتوترات المنتجة ومحور التيار مبدأ الأطوار. و من رسم فرينل نستطيع حساب $(\varphi_{كلي\ توتر})$.

وصل على التفرع:

- التوتر الآني المطبق بين نقطي التفرع نفسه لكافة الفروع: $u = U_{max}\cos\omega t$

  $\boxed{\varphi_{توتر} = 0}$ محور التوتر مبدأ للأطوار.

- التيار اللحظي في الدارة الأصلية (دارة خارجيه):

  $$i_{كلي} = I_{max}\cos(\omega t + \overline{\varphi}_{كلي})$$

- الشدة الآنية في الدارة الأصلية تساوي مجموع جبري:

  $$\overline{i}_{كلي} = \overline{i}_1 + \overline{i}_2 + \overline{i}_3 + \dots$$

- الشدة المنتجة (الفعالة) للتيار في الدارة الأصلية تساوي مجموع هندسي (شعاعي) للشدات الفرعية:

  $$\overline{I}_{eff_{كلي}} = \overline{I}_{eff_1} + \overline{I}_{eff_2} + \dots$$

وللحصول على قيمة $(I_{eff_{كلي}})$:

a. نربع الطرفين **(عند وجود حدين)**:

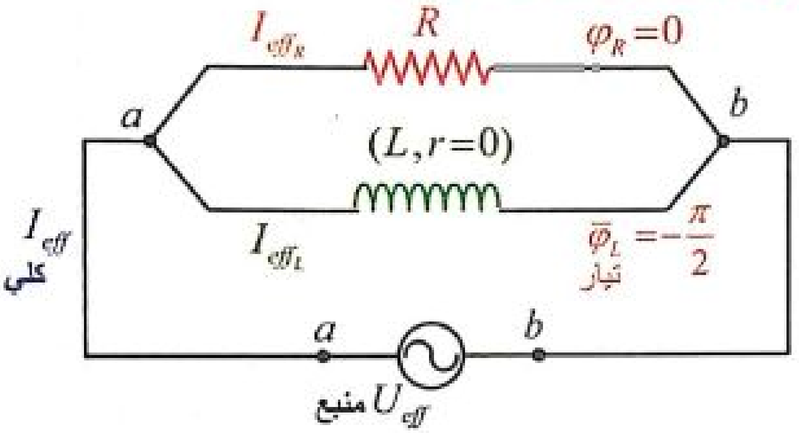
$$I^2_{eff_{كلي}} = I^2_{eff_1} + I^2_{eff_2} + 2I_{eff_1}I_{eff_2}\cos(\overline{\varphi_2} - \overline{\varphi_1})$$

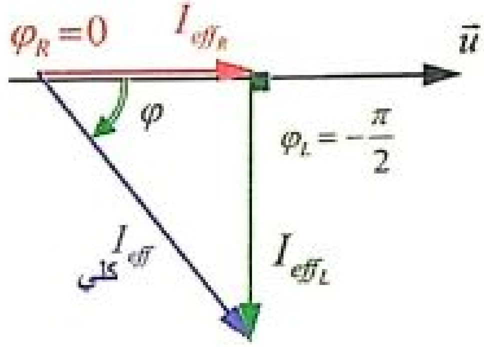
b. **من إنشاء فرينل:** يكون الرسم للشدات المنتجة ومحور التوتر مبدأ الأطوار. و من رسم فرينل نستطيع حساب $(\varphi_{كلي\ تيار})$.

(φ تمثل الطور البدائي للتوتر) محور التيار مبدأ للأطوار $\boxed{\varphi = 0}$ U_{eff_R} $\overline{i}$ **(تسلسل)** التوتر المطبق بين طرفي المقاومة على توافق بالطور مع التيار.	U_{eff_L} $\varphi = +\frac{\pi}{2}$ $(L, r=0)$ التوتر المطبق بين طرفي وشيعة **مهملة المقاومة** يتقدم بالطور على التيار بمقدار $\frac{\pi}{2}$ (ترابع متقدم)	التوتر المطبق بين طرفي المكثفة يتأخر بالطور عن التيار بمقدار $\frac{\pi}{2}$ (ترابع متأخر) $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ U_{eff_C}	U_{eff_L} $\overline{\varphi} > 0$ $\overline{\varphi} = ?$ وشيعة لها مقاومة $[L, r]$
(φ تمثل الطور البدائي للتيار) محور التوتر مبدأ للأطوار $\boxed{\varphi = 0}$ I_{eff_R} $\overline{u}$ **(تفرع)** تيار المقاومة على توافق بالطور مع التوتر المطبق.	تيار الوشيعة **مهملة المقاومة** يتأخر بالطور عن التوتر المطبق بمقدار $\frac{\pi}{2}$ $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ $(L, r=0)$ I_{eff_L}	I_{eff_C} $\varphi = +\frac{\pi}{2}$ تيار المكثفة يتقدم بالطور عن التوتر المطبق بمقدار $\frac{\pi}{2}$	وشيعة لها مقاومة $[L, r]$ $\overline{\varphi} = ?$ $\overline{\varphi} < 0$ I_{eff_L}

حالات خاصة :

1- فرعان يحوي أحدهما مقاومة والآخر وشيعة مهملة المقاومة:

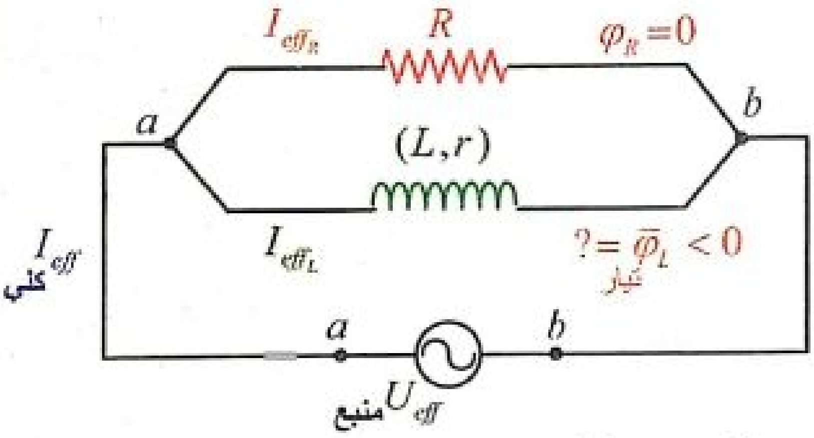


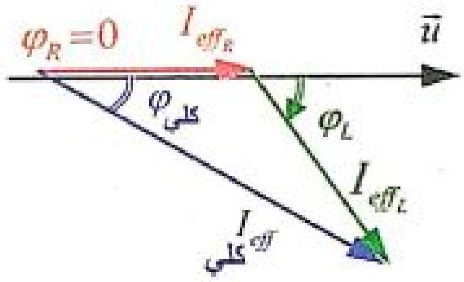


$$\vec{I}_{eff\,كلي}=\vec{I}_{eff_R}+\vec{I}_{eff_L}$$

من الشكل (المثلث قائم حسب فيثاغورث) **نجد:** $I^2_{eff\,كلي}=I^2_{eff_R}+I^2_{eff_L}$

2- فرعان يحوي أحدهما مقاومة والآخر وشيعة ذات مقاومة:



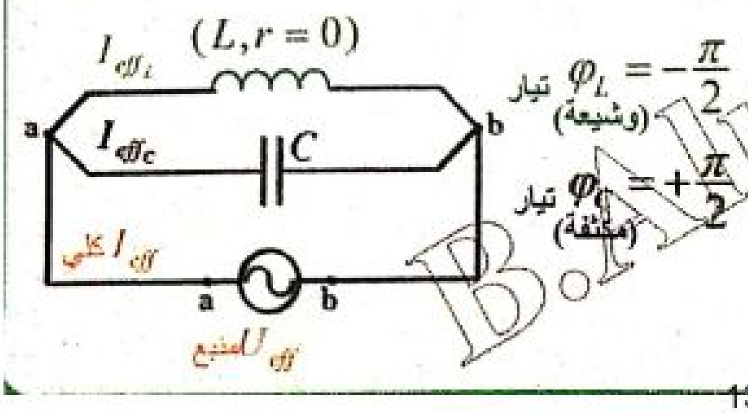


$$\vec{I}_{eff\,كلي}=\vec{I}_{eff_R}+\vec{I}_{eff_L}$$

(لاحظ أن المثلث غير قائم) . بالتربيع نجد:

$$I^2_{eff\,كلي}=I^2_{eff_R}+I^2_{eff_L}+2I_{eff_R}\,I_{eff_L}\cos(\bar{\varphi}_L-\bar{\varphi}_R)$$

3- فرعان يحوي أحدهما مكثفة والآخر وشيعة مهملة المقاومة :



فائدة:

لدينا ($U_{eff}=X\,I_{eff}$)، (U_{eff} نفسه للفرعين).

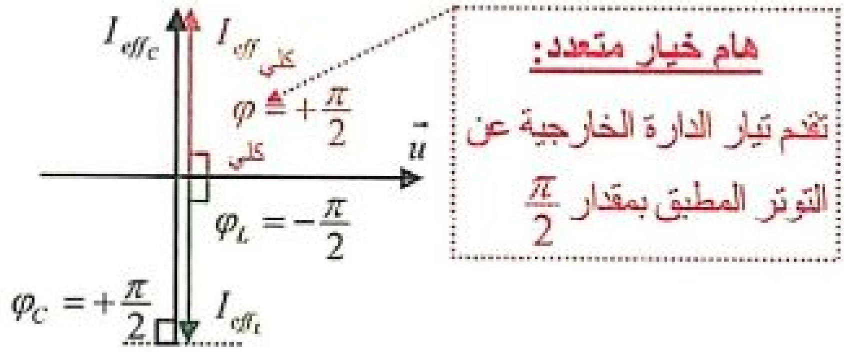
[(X الممانعة) ، (I_{eff})] تناسب عكسي.

كلما X الممانعة (أكبر) ⇐ I_{eff} (أصغر)

- **فرع المكثفة:** الشدة متقدمة بالطور عن التوتر المطبق: $\bar{\varphi}_C = +\frac{\pi}{2}$.
- **فرع الوشيعة مهملة المقاومة:** الشدة على ترابع متأخر بالطور عن التوتر المطبق $\bar{\varphi}_L = -\frac{\pi}{2} rad$.

$$\vec{I}_{eff_{كلي}} = \vec{I}_{eff_L} + \vec{I}_{eff_C}$$

نميز ثلاثة حالات: (هام جداً)



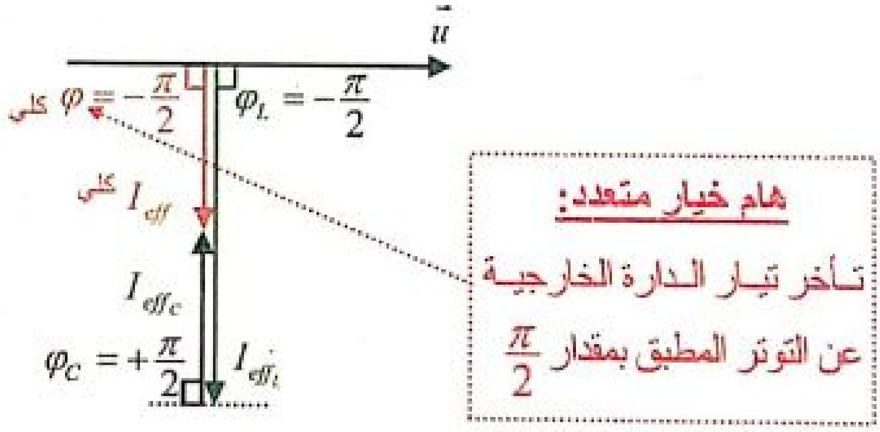
1) إذا كان $[X_L > X_C]$

فإن: $I_{eff_L} < I_{eff_C}$

$$\vec{I}_{eff_{كلي}} = \vec{I}_{eff_L} + \vec{I}_{eff_C}$$

من الشكل نجد:

$$I_{eff_{كلي}} = I_{eff_C} - I_{eff_L} > 0$$



2) إذا كان $[X_L < X_C]$

فإن: $I_{eff_C} < I_{eff_L}$

$$\vec{I}_{eff} = \vec{I}_{eff_L} + \vec{I}_{eff_C}$$

من الشكل نجد:

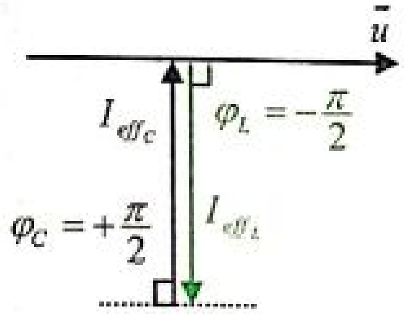
$$I_{eff_{كلي}} = I_{eff_L} - I_{eff_C} > 0$$

3) حالة اختناق التيار:

سؤال: أعطي تفسيراً علمياً باستخدام العلاقات الرياضية وإنشاء فرينل.

- دارة تيار متناوب جيبي تحوي فرعين الأول مكثفة، والثاني وشيعة مهملة المقاومة ويحققان $(X_L = X_C)$ تنعدم الشدة في الدارة الخارجية $[I_{eff_{كلي}} = 0]$،
  ماذا تُسمى الدارة في هذه الحالة.
- استنتج علاقة الدور والتواتر لهذه الدارة.
- وضح كيف تستخدم هذه الدارة.

الحل:



- إذا كان $X_L = X_C$ فإن: $I_{eff_L} = I_{eff_C}$

$$\vec{I}_{eff\,كلي} = \vec{I}_{eff_L} + \vec{I}_{eff_C}$$

من الشكل نجد:

$$I_{eff\,كلي} = I_{eff_L} - I_{eff_C} \quad \Rightarrow \quad \boxed{I_{eff\,كلي} = 0}$$

تنعدم الشدة في الدارة الخارجية وتسمى الدارة في هذه الحالة بالدارة الخانقة للتيار.

- لاستنتاج علاقة (f_r) تواتر الدارة : **في هذه الحالة يكون** $\omega = \omega_r$:

$$X_L = X_C \quad \Rightarrow \quad \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} \quad \Rightarrow \quad \omega_r^2 = \frac{1}{LC}$$

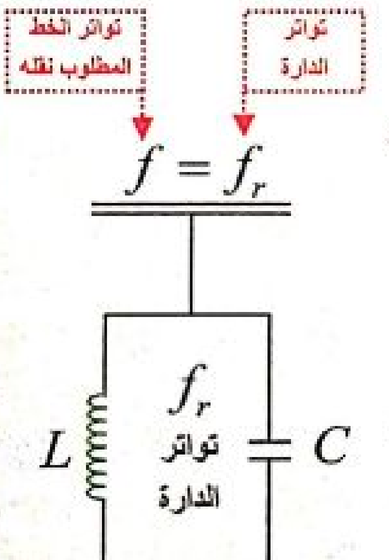
$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \Rightarrow \quad 2\pi f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}$$

f_r: هو تواتر الدارة والذي يكون التيار المحصل عنده معدوماً.

أي لا يمر بالدارة الأصلية التيار الذي دوره يحقق العلاقة: $\boxed{T_r = 2\pi\sqrt{LC}}$

- **تستخدم الدارة الخانقة** في وصل خطوط نقل الطاقة الكهربائية مع الأرض بهدف ترشيح التواترات التي يلتقطها الخط من الجو.

وذلك بجعل تواتر تجاوب الدارة المهتزة مساويا تواتر تيار خط النقل، فتكون ممانعتها لا نهائية بالنسبة لهذا التواتر بينما تمر بقية التواترات الملتقطة من الجو عبر الدارة المهتزة إلى الأرض.



المطلوب: راجع نوطة المسائل :

1- **حفظ فوائد لحل المسائل** ص (80 + 81 + 82 + 83)

2- حل ودراسة أسئلة الدرس النظري (اختبر نفسي) + التفكير الناقد.

3- حل ودراسة مسائل الدرس **مع الطلبات الإضافية** بالترتيب التالي أرقام (1 + 2 + 5 + 6 + 3 + 4).

4- حل ودراسة المسائل العامة أرقام (22 + 23 + 24 + 25 + 26).

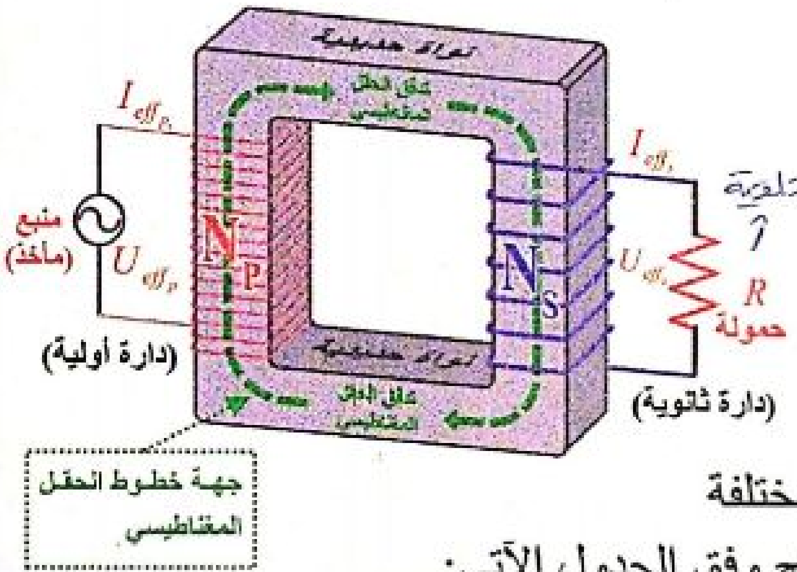
5- إجراء امتحان بسؤال خيار متعدد **(هام جدا)** من نوطة المسائل ص (174) أرقام من (10 إلى 30).

الدرس السادس 6

المحولات الكهربائية

تمهيد: يحتاج عمل بعض الأجهزة الكهربائية لتوتر منخفض وبعضها الآخر يحتاج لتوتر مرتفع نسبيا، 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 بوساطة محولات رافعة للتوتر وذلك لتقليل ضياع جزء من الطاقة الكهربائية بفعل جول، فما المحولة؟ وما عملها؟**

نشاط:



يمثل الشكل المجاور دارتين، في الأولى وشيعة عدد لفاتها $N_p = 300$ لفة، موصولة إلى منبع تيار متناوب، وفي الثانية وشيعة عدد لفاتها $N_s = 600$ لفة، ملفوفتين حول نواة مغلقة من الحديد اللين.

1- عند تطبيق توتر متناوب، قيمه المنتجة مختلفة بين طرفي الوشيعة الأولى، سجلت النتائج وفق الجدول الآتي:

$U_{eff_p}(V)$	$U_{eff_s}(V)$	$I_{eff_p}(A)$	$I_{eff_s}(A)$	$\mu = \frac{N_s}{N_p}$	$\frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}}$	$\frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$
20	40	1	0.5	$\mu=2$	2	2
40	80	2	1	$\mu=2$	2	2

$\mu > 1$ محولة رافعة للتوتر خافضة للتيار

2- عند التبديل بين الوشيعتين $(N_s = 300, N_p = 600)$ سجلت النتائج وفق الجدول الآتي:

$U_{eff_p}(V)$	$U_{eff_s}(V)$	$I_{eff_p}(A)$	$I_{eff_s}(A)$	$\mu = \frac{N_s}{N_p}$	$\frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}}$	$\frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$
20	10	1	2	$\mu=\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
40	20	2	4	$\mu=\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

$\mu < 1$ محولة خافضة للتوتر رافعة للتيار

المطلوب: 1. أكمل الفراغات في الجدولين السابقين. (الجواب باللون الأحمر)

2. ماذا تتوقع عند استبدال منبع تيار مستمر بمنبع تيار متناوب؟ (الجواب لاحقاً)

معلومات عامة عن المحولة + النتائج:

- نسمي دارة 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 دارة الوشيعة التي تتلقى منها التيار المتناوب بالثانوية (التي تطبق عليها الحمولة) ويرمز لعدد لفاتها N_s ،وللتوتر المنتج بين طرفيها U_{eff_s} ، وللشدة المنتجة المارة فيها I_{eff_s} .
- يختلف دائما عدد اللفات بين الوشيعتين الأولية والثانوية للمحولة، 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 :**

احفظ $$\mu = \frac{N_s}{N_p} = \frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}} = \frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$$

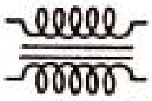
- **تكون المحولة رافعة للتوتر خافضة للشدة إذا كانت $\mu > 1$.**

$$\mu > 1 \Rightarrow N_s > N_p \Rightarrow \underbrace{U_{eff_s}}_{\text{(خروج)}} > \underbrace{U_{eff_p}}_{\text{(دخول)}} \Rightarrow I_{eff_s} < I_{eff_p}$$

لسهولة الحفظ
الدخول مع (P)
الخروج مع (S)

- **تكون المحولة خافضة للتوتر رافعة للشدة إذا كانت $\mu < 1$.**

$$\mu < 1 \Rightarrow N_s < N_p \Rightarrow \underbrace{U_{eff_s}}_{\text{(خروج)}} < \underbrace{U_{eff_p}}_{\text{(دخول)}} \Rightarrow I_{eff_s} > I_{eff_p}$$

- **تعريف المحولة :** المحولة جهاز كهربائي يعتمد على حادثة التحريض الكهرطيسي، يعمل على تغيير التوتر المنتج، والشدة المنتجة للتيار المتناوب، دون أن يغير تقريبا من الاستطاعة المنقولة، أو من تواتر التيار، أو شكل اهتزاز التيار.
- يرمز للمحولة في الدارات الكهربائية بالرمز: 
- لا تعمل المحولات الكهربائية عند تطبيق توتر كهربائي متواصل بين طرفي دارتها الأولية.

جواب السؤال السابق

عمل المحولة:

سؤال: كيف تفسر عمل المحولة عند تطبيق توتر متناوب جيبي؟

الجواب: عند تطبيق توتر متناوب جيبي بين طرفي الدارة الأولية يمر فيها تيار متناوب جيبي، فيتولد داخل الوشيعة الأولية حقل مغناطيسي متناوب، تعمل النواة الحديدية على تمرير كامل تدفقه إلى الدارة الثانوية تقريباً، فتتولد فيها قوة محركة كهربائية تساوي التوتر المتناوب الجيبي بين طرفيها (بإهمال مقاومة أسلاك الوشائع في المحولة)، فيمر فيها تيار كهربائي متناوب له تواتر التيار المار في الأولية.

كفاءة المحولة الكهربائية:

عند تمرير تيار كهربائي في ناقل أومي يضيع قسم من الطاقة الكهربائية حراريا بفعل جول.

تصنف الاستطاعة الضائعة في المحولة الكهربائية إلى:

1. **استطاعة ضائعة حرارياً:**

- استطاعة ضائعة حراريا في الدارة الأولية: $P_p' = R_p \, I^2_{eff_p}$
- استطاعة ضائعة حراريا في الدارة الثانوية: $P_s' = R_s \, I^2_{eff_s}$
- استطاعة كلية ضائعة حراريا: $P_E = P_p' + P_s'$

2. **استطاعة كهربائية ضائعة مغناطيسيا نتيجة هروب جزء من خطوط الحقل المغناطيسي خارج النواة الحديدية P_M .**

ملاحظة: عند إهمال مقاومة أسلاك الوشيعة الأولية فإن التيار يعاني فيها فقط من الممانعة التحريضية ، وبالمقابل يعاني التيار المار في الوشيعة الثانوية من المقاومة الكهربائية للحمولة فضلا عن الممانعة التحريضية للوشيعة ذاتها.

تحسين كفاءة عمل المحولة:

سؤال: عندما أستخدم شاحن الهاتف النقال (المحولة) أشعر بارتفاع درجة حرارته في أثناء عملية الشحن، ما سبب ذلك ؟ وما أهم الحلول العملية لتحسين كفاءة عمل المحولة.

يعود ارتفاع درجة حرارة الشاحن (المحولة) إلى:

- ضياع جزء من الطاقة الكهربائية حراريا بفعل جول.
- تيارات فوكو التحريضية.

ولتحسين كفاءة عمل المحولة تصنع:

- أسلاك الوشيعة من النحاس ذي 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).

المحولات الخافضة للتوتر:

للمحولات الخافضة للتوتر استخدامات عديدة نذكر منها: **(سؤال : عدد...)**

- شحن بعض الأجهزة الكهربائية.
- ألعاب الأطفال، التي يخفض فيها التوتر للأمان من $220V$ إلى $12V$ أو أقل.
- عمليات اللحام الكهربائي ، حيث نحتاج لتيار شدته من مرتبة مئات الأمبيرات.
- أفران الصهر.

مردود نقل الطاقة الكهربائية:

سؤال دورة: تستخدم المحولات لنقل الطاقة الكهربائية للتيار المتناوب من مركز توليدها إلى مكان استخدامها، استنتج العلاقة المحددة لمردود هذا النقل ، ثم بين كيف يُحسن المردود ونجعله قريبا من الواحد.

الحل:

يعطى مردود النقل بالعلاقة:

$$\eta=\frac{\overbrace{P-P'}^{\text{الاستطاعة المفيدة}}}{P} \Rightarrow \eta=1-\frac{P'}{P}$$

ملاحظة:

$$\underset{\text{المردود}}{\eta}=\frac{\text{الاستطاعة المفيدة}}{\text{الاستطاعة الكلية}}$$

حيث: P الاستطاعة المتولدة من منبع التيار المتناوب (المنوبة).

P' الاستطاعة الضائعة حرارياً في أسلاك النقل بفعل جول.

وباعتبار عامل الاستطاعة قريباً جداً من الواحد فإن:

$P=U_{eff}\, I_{eff}$ (حيث: U_{eff} التوتر المنتج بين طرفي المنبع)

$P'=R\, I_{eff}^2$ (حيث: R مقاومة أسلاك النقل)

نعوض في علاقة المردود:

$$\eta=1-\frac{R I_{eff}^2}{U_{eff} I_{eff}} \Rightarrow \boxed{\eta=1-\frac{R I_{eff}}{U_{eff}}}$$

مناقشة العلاقة:

لكي يُحسن المردود ونجعله يقترب من الواحد ينبغي تصغير مقاومة أسلاك النقل R أو تكبير U_{eff} ، ويتم ذلك باستعمال محولات رافعة للتوتر عند مركز توليد التيار ثم خفضه على مراحل عند الاستخدام.

أي يتم رفع التوتر المنتج في محطة التوليد بوساطة محولات رافعة للتوتر للتقليل من الطاقة الكهربائية الضائعة بفعل جول، مما يحسن من مردود النقل.

ملاحظة: مردود المحولة هو نسبة الاستطاعة الكهربائية المفيدة التي نحصل عليها من الدارة الثانوية إلى الاستطاعة الكهربائية الداخلة إلى الدارة الأولية.

ومع مسائل الدرس المحولة مثالية ولاضياع بالطاقة لذلك يكون مردود المحولة يساوي الواحد.

أسئلة دورات سابقة: **(الأجوبة مما سبق)**

1- عرف المحولة الكهربائية واشرح طريقة عملها.

2- اكتب علاقة معادلة المحولة التي تعطي التوتر المنتج والتيار المنتج بدلالة عدد اللفات وناقش متى تكون رافعة للتوتر ومتى تكون خافضة للتوتر (أو للتيار)

المطلوب:

1. **راجع نوطة المسائل** ص 95 مايجب تذكره. 2. حل ودراسة مسائل الدرس (1 + 2 + 3 + 4).

3. حل ودراسة أسئلة الدرس النظري اختبر نفسي + التفكير الناقد.

4. إجراء امتحان بسؤال خيار من متعدد من نوطة المسائل ص 176 من رقم 31 إلى 34 .

الدرس الأول 1

الأمواج المستقرة العرضية

تمهيد حادي عشر:

1. الإشارة العرضية:

2. الإشارة الطولية:

3. تواتر الحركة: رمزه (f) واحدته الهرتز (Hz) وهو عدد الأدوار في واحدة الزمن.

$$\boxed{f = \frac{1}{T} \quad , \quad T = \frac{1}{f}}$$

4. طول الموجة (λ): هو المسافة التي يقطعها الاهتزاز خلال دور واحد. $\boxed{v = f\,\lambda}$

5. معادلة مطال نقطة (n) من وسط الانتشار:

a) باعتبار الانتشار يتم في الاتجاه الموجب للمحور $\overline{x'x}$:

$$\bar{y}_{n(t)} = Y_{max}\cos(\omega t - \frac{2\pi\,\bar{x}}{\lambda})$$

b) إذا كان الانتشار يحدث في الاتجاه السالب للمحور $\overline{x'x}$ ، تصبح معادلة مطال النقطة (n)

$$\bar{y}_{n(t)} = Y_{max}\cos(\omega t + \frac{2\pi\,\bar{x}}{\lambda})$$

6. الأمواج المتقدمة: تنتج الأمواج المتقدمة عن التكرار الدوري لاضطرابات متماثلة وهي تنتشر بسرعة ثابتة.

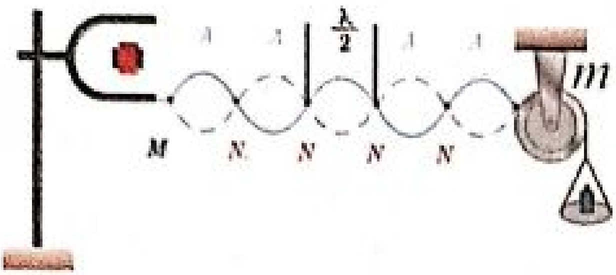
تمهيد:

- يعتبر جهاز الأمواج فوق الصوتية التصادمية من أحدث ما تم التوصل إليه في الطب لعلاج الحصى الموجودة في الكلى بدون جراحة عن طريق تفتيتها، وتحويلها إلى قطع صغيرة يسهل طرحها خارج الجسم.
- يستطيع عازف العود ضبط أوتار عوده باستخدام مفاتيح الضبط الاثني عشر الموجودة في نهاية العود حيث يعمل على شد هذه الأوتار، فيحدد درجة قوة النغمات الصادرة من العود، وفي أثناء العزف يستخدم الريشة للنقر على الأوتار بالتزامن مع الضغط عليها، وكذلك الحال بالنسبة لجميع الآلات الوترية (كالغيتار والكمان والبزق والقانون).

الدراسة التجريبية للأمواج المستقرة العرضية في وتر:

أجرب وأستنتج: المواد اللازمة: رنانة كهربائية ذات شعبة تواترها (100 Hz) - بكرة - حامل معدني - كفة (حاملة) أثقال - أوزان مختلفة - وتر مرن - وحدة تغذية - أسلاك توصيل - مسطرة.

خطوات التجربة + النتائج: (سؤال + جواب)



أثبت البكرة على الحامل ، أثبت طرف الوتر بإحدى شعبتي الرنانة، أمرر الوتر على محز البكرة، وأعلق بطرفه المتدلي كفة الأثقال ، أضع في الكفة ثقلا مناسبا بحيث يشد الوتر بوضع أفقي. أصل الرنانة بوساطة أسلاك التوصيل بمربطي وحدة التغذية الموصولة بمأخذ تيار المدرسة (تيار المدينة).

1- أغلق مفتاح تشغيل وحدة التغذية لتعمل الرنانة، مانوع الأمواج الواردة من المنبع والمنتشرة على طول الوتر؟

عندما تعمل الهزازة (الرنانة) تتشكل على طول الوتر **أمواج عرضية جيبية متقدمة.**

2- أكتب معادلة مطال موجة واردة متقدمة جيبية بالاتجاه الموجب للمحور $\overline{x'x}$ عندما تصل إلى النقطة n من وسط الانتشار والتي فاصلتها $\overline{x}$ عن النهاية المقيدة m في اللحظة t.

$$\overline{y}_{1(t)} = Y_{\max} \cos\left(\omega\, t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

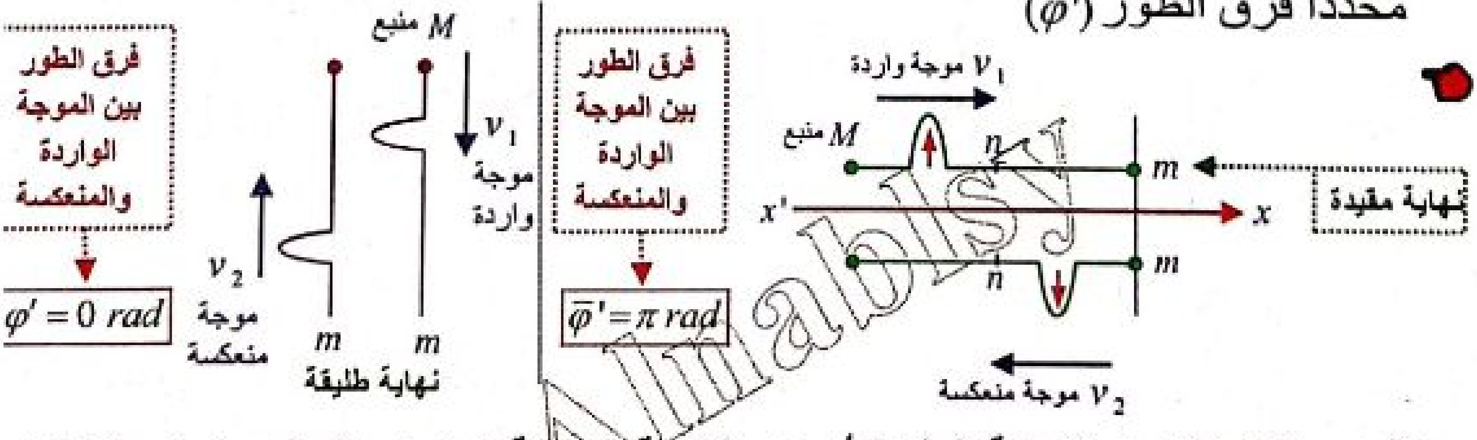
3- أكتب معادلة مطال موجة منعكسة متقدمة جيبية بالاتجاه السالب للمحور $\overline{x'x}$ تصل إلى النقطة n من وسط الانتشار والتي فاصلتها $\overline{x}$ عن النهاية (المقيدة) m في اللحظة t.

$$\overline{y}_{2(t)} = Y_{\max} \cos\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda} + \overline{\varphi}'\right)$$

حيث $\overline{\varphi}'$ فرق في الطور بسبب الانعكاس على النهاية (المقيدة) ، وهو متأخر في الطور عن الموجة الواردة إلى n .

4- أحدد أوجه الاختلاف والتشابه بين الموجة الواردة المتقدمة والموجة المنعكسة المتقدمة؟

أو يطلب: ماهي صفات موجة منعكسة جيبية على نهاية مقيدة وعلى نهاية طليقة، محدداً فرق الطور (φ')



تنعكس الإشارة عن النهاية المقيدة أو عن النهاية الطليقة (عند إهمال الضياع في الطاقة):

1- بسرعة الانتشار نفسها 2- والتواتر نفسه 3- وبالسعة نفسها

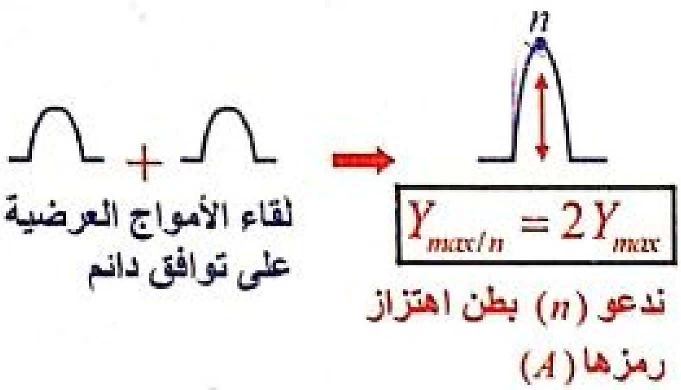
وينشأ فرق في الطور $\bar{\varphi}'$ بين الموجة الواردة والموجة المنعكسة في الوسط (الوتر):

1. **إذا كانت النهاية مقيدة:** فإن جهة الإشارة المنعكسة تعاكس جهة الإشارة الواردة؛ أي يتولد بالانعكاس فرق طور $\boxed{\bar{\varphi}'=\pi\, rad}$ (تعاكس بالطور). (دورة 2008)
2. **إذا كانت النهاية طليقة:** فإن جهة الإشارة المنعكسة نفسها للإشارة الواردة؛ أي فرق الطور $\boxed{\bar{\varphi}'=0\, rad}$ (توافق بالطور). (دورة 2010)

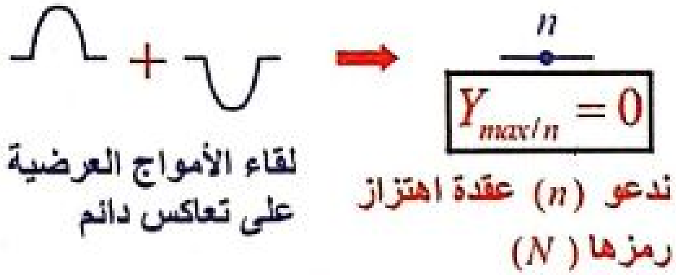
5- أحدد ماذا يتشكل نتيجة التداخل بين الموجة الجيبية الواردة مع الموجة الجيبية المنعكسة؟

تتشكل الأمواج المستقرة العرضية نتيجة التداخل بين موجة جيبية واردة مع موجة جيبية منعكسة على نهاية مقيدة تعاكسها بجهة الانتشار ولها التواترنفسه والسعة نفسها، $(y_{max_1} = y_{max_2} = y_{max})$

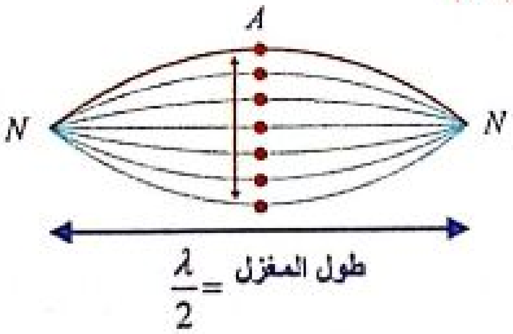
وينتج عن تداخلهما:



- **بطون الاهتزاز:** رمزها (A) نقاط تهتز بسعة عظمى حيث تلتقي فيها الأمواج العرضية على توافق دائم.

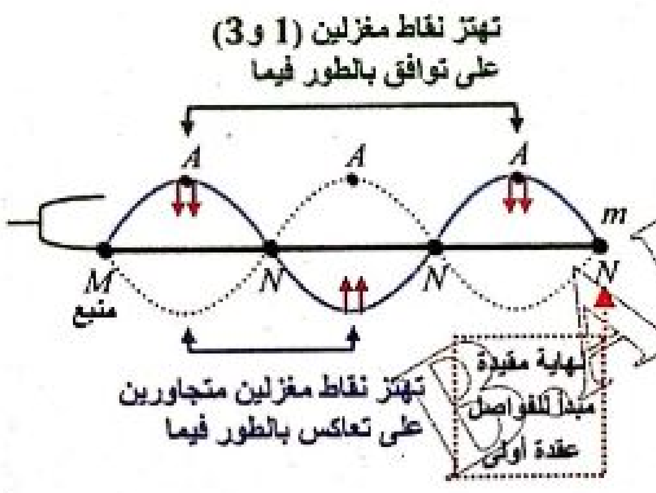


- **عقد الاهتزاز:** رمزها (N) نقاط تنعدم فيها سعة الاهتزاز حيث تلتقي فيها الأمواج العرضية على تعاكس دائم. (وهي نقاط تفصل ما بين البطون).



6- • ماهي المسافة بين عقدتين متتاليتين؟
• كيف تهتز نقاط المغزل الواحد ونقاط مغزلين متجاورين؟

- تكون المسافة الفاصلة بين كل عقدتين متتاليتين $\frac{\lambda}{2}$ ويشكل 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.



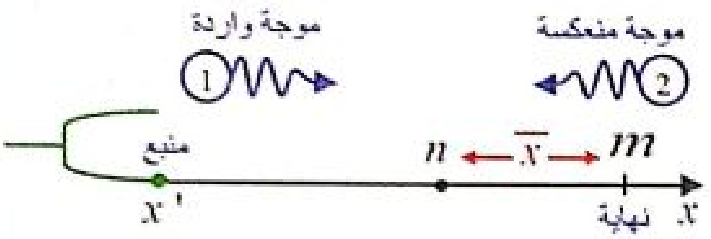
7- أتساءل لماذا وصفت بالأمواج المستقرة؟

وصفت بالأمواج المستقرة: حيث تبدو الموجة وكأنها تهتز مراوحة في مكانها فتأخذ شكلاً ثابتاً.

8- أتساءل ما الأمواج المستقرة العرضية؟

الموجة المستقرة: هي نمط اهتزاز مستقر تحتوي على عقد بينها بطون تنشأ نتيجة التداخل بين موجتين متساويتين في التواتر والسعة وتنتشران في اتجاهين متعاكسين.

الدراسة النظرية للأمواج المستقرة العرضية:



سؤال: تنتشر موجة جيبية واردة متقدمة بالاتجاه الموجب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ فتصل إلى النقطة (n) التي فاصلتها $(\overline{x})$ عن النهاية (m) في اللحظة (t) **والمطلوب:**

1) اكتب معادلة مطال الموجة الواردة إلى (n) باللحظة (t).

2) اكتب معادلة مطال الموجة المنعكسة في (n) باللحظة (t).

3) استنتج معادلة المطال المحصل لاهتزاز النقطة (n) التي تخضع لتأثير الموجتين الواردة والمنعكسة معاً.

$-\cos\theta = \cos(\theta+\pi)$

الجواب:

1. معادلة مطال الموجة الواردة مع منحى الانتشار.

$$\overline{y}_{1(t)} = Y_{max}\cos(\omega t - \frac{2\pi\overline{x}}{\lambda})$$

2. معادلة مطال الموجة المنعكسة في الاتجاه السالب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ ، مع فرق الطور $\overline{\varphi'}$ بسبب الانعكاس.

$$\overline{y}_{2(t)} = Y_{max}\cos(\omega t + \frac{2\pi\overline{x}}{\lambda} + \overline{\varphi'})$$

3. المطال المحصل في (n) ينتج عن جمع المطالين في اللحظة (t):

$$\overline{y}_{n(t)} = \overline{y}_{1(t)} + \overline{y}_{2(t)}$$

$$\overline{y}_{n(t)} = Y_{max}[\overbrace{\cos(\omega t - \frac{2\pi\overline{x}}{\lambda})}^{\alpha} + \overbrace{\cos(\omega t + \frac{2\pi\overline{x}}{\lambda} + \overline{\varphi'})}^{\beta}]$$

وبتطبيق القاعدة الرياضية : $\boxed{\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos(\frac{\alpha-\beta}{2})\cos(\frac{\alpha+\beta}{2})}$

$$\overline{y}_{n(t)} = 2Y_{max}\cos(\frac{2\pi\overline{x}}{\lambda} + \frac{\overline{\varphi'}}{2})\cos(\omega t + \frac{\overline{\varphi'}}{2})$$

الأمواج المستقرة العرضية المنعكسة على نهاية مقيدة:

لدينا معادلة المطال المحصل لاهتزاز النقطة (n) التي تخضع لتأثير الموجتين الواردة والمنعكسة معا.

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{max}\cos(\frac{2\pi \bar{x}}{\lambda} + \frac{\bar{\varphi}'}{2})\cos(\omega t + \frac{\bar{\varphi}'}{2})$$

وفي حالة الإنعكاس على نهاية مقيدة يكون فرق الطور $\boxed{\varphi' = \pi\, rad}$ نعوض في العلاقة السابقة:

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{max}\cos(\frac{2\pi \bar{x}}{\lambda} + \frac{\pi}{2})\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

بتطبيق القاعدة الرياضية: $\cos(\theta + \frac{\pi}{2}) = -\sin\theta$

$$\left.\begin{array}{l}\boxed{\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{max}\sin\frac{2\pi \bar{x}}{\lambda}\cdot\sin\omega t} \\ \boxed{\bar{y}_{n(t)} = Y_{max/n}\cdot\sin\omega t}\end{array}\right] \Rightarrow \boxed{Y_{max/n} = 2Y_{max}\left|\sin\frac{2\pi \bar{x}}{\lambda}\right|}$$

حيث $[Y_{max/n}]$ سعة الموجة المستقرة للنقطة (n)

سؤال عدة دورات $(2020 + 2015 + 2013 + 2006 + 1996)$:

في جملة أمواج مستقرة عرضية تعطى معادلة اهتزاز نقطة (n) من حبل مرن تبعد (x) عن نهايته المقيدة:

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{max}\sin\frac{2\pi \bar{x}}{\lambda}\cdot\sin\omega t$$

يُطلب: حدد سعة الموجة المستقرة للنقطة (n)، ثمّ استنتج العلاقة المحددة لكل من أبعاد عقد وبطون الاهتزاز عن نهايته المقيدة. ما بُعد البطن الثاني عن النهاية المقيدة ؟ ثم فسر السكون الدائم لعقد الاهتزاز.

فائدة رياضية:

$\sin\theta = 0 \Rightarrow \theta = n\pi$

$|\sin\theta| = 1 \Rightarrow \theta = \frac{\pi}{2} + n\pi$

$\Rightarrow \theta = \frac{\pi}{2}(2n+1)$

حيث $n = 0,1,2,3,...$ (عدد صحيح)

$\sin\theta = 1 \Rightarrow \theta = \frac{\pi}{2} + 2\pi n$

الجواب:

السعة : $Y_{max/n} = 2Y_{max}\left|\sin\frac{2\pi \bar{x}}{\lambda}\right| \cdots (*)$ هم

- **عقد الاهتزاز (N):** نقاط سعة اهتزازها معدومة دوماً.

$$Y_{max/n} = 0 \underset{(*)\text{ بـ}}{\overset{\text{نعوض}}{\Rightarrow}} \sin\frac{2\pi \bar{x}}{\lambda} = 0 \Rightarrow \frac{2\pi \bar{x}}{\lambda} = n\pi \Rightarrow \boxed{\bar{x} = n\frac{\lambda}{2}} \text{ (حفظ)}$$

علاقة تحدد أبعاد عقد الاهتزاز عن النهاية المقيدة

حيث: $n = 0,1,2,...$

$n = 0 \Leftarrow x = 0$ عقدة أولى (N_1) مكان التثبيت (m).

$n = 1 \Leftarrow x = \frac{\lambda}{2}$ بعد عقدة ثانية (N_2) عن (m).

نتيجة:
المسافة بين كل عقدتين متتاليتين تساوي $\frac{\lambda}{2}$

نتيجة: أي أن النقاط التي تبعد عن النهاية المقيدة (التي يحصل عندها انعكاس وحيد) أعداد صحيحة موجبة من نصف طول الموجة، يصلها اهتزاز وارد واهتزاز منعكس على تعاكس دائم، فتكون ساكنة دوما، وتؤلف عقد اهتزاز N، وتكون المسافة بين كل عقدتين متتاليتين $\frac{\lambda}{2}$

●● **تفسير السكون الدائم لعقد الاهتزاز: أنها نقاط يصلها اهتزاز وارد واهتزاز منعكس على تعاكس دائم.**

▪ **بطون الاهتزاز (A):** نقاط سعة اهتزازها عظمى دوماً.

$$Y_{max/n} = 2Y_{max} \underset{(*)\text{ بـ}}{\overset{\text{نعوض}}{\Rightarrow}} \left|\sin\frac{2\pi \bar{x}}{\lambda}\right| = 1 \Rightarrow \frac{2\pi \bar{x}}{\lambda} = \underset{(\frac{\pi}{2}+n\pi)}{(2n+1)\frac{\pi}{2}} \Rightarrow$$

علاقة تحدد أبعاد بطون الاهتزاز عن النهاية المقيدة $\boxed{\bar{x} = (2n+1)\frac{\lambda}{4}}$ (حفظ) **حيث:** $n = 0,1,2,...$

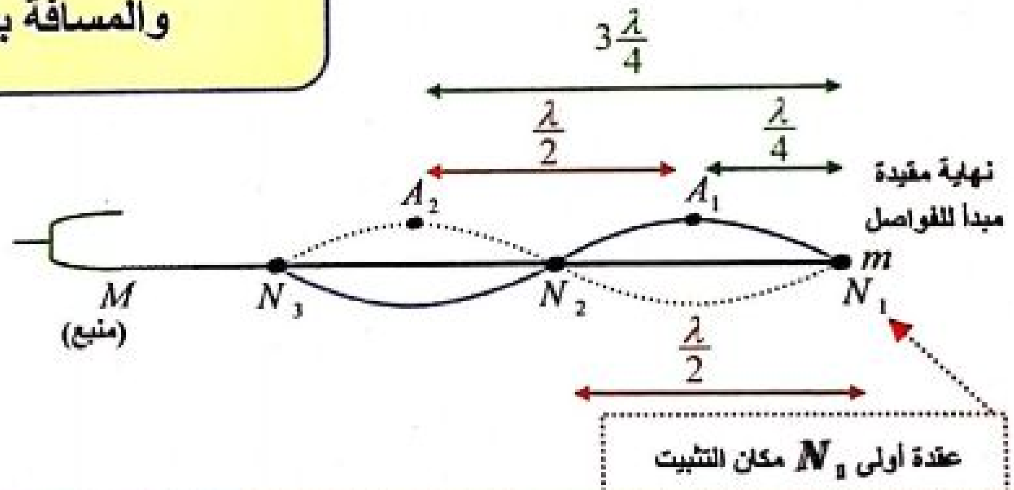
$n=0 \Leftarrow x = \frac{\lambda}{4}$ بعد بطن أول (A_1) عن (m).

$n=1 \Leftarrow x = 3\frac{\lambda}{4}$ بعد بطن ثاني (A_2) عن (m).

نتيجة: أي أن النقاط التي تبعد عن النهاية المقيدة (التي يحصل عندها انعكاس وحيد) أعداد فردية من ربع طول الموجة، يصلها اهتزاز وارد واهتزاز منعكس على توافق دائم، فتكون سعة الاهتزاز فيها عظمى دوما، وتؤلف بطون اهتزاز A.

وتكون: المسافة بين كل بطنين متتاليتين $\frac{\lambda}{2}$
والمسافة بين كل عقدة وبطن يليه $\frac{\lambda}{4}$

●● **أعطي تفسيراً علمياً:**
بطون الاهتزاز تكون فيها سعة الاهتزاز عظمى.
الجواب: لأنها نقاط يصلها اهتزاز وارد واهتزاز منعكس على توافق دائم.



نتائج

طول المغزل	$\frac{\lambda}{2}$	البعد بين عقدتين أو بطنين	$n\frac{\lambda}{2}$
البعد من بطن إلى بطن يليه	$\frac{\lambda}{2}$	البعد من عقدة إلى بطن يليها	$\frac{\lambda}{4}$
البعد من عقدة إلى عقدة تليها	$\frac{\lambda}{2}$	البعد بين عقدة وبطن	$(2n+1)\frac{\lambda}{4}$

سؤال: المسافة بين عقدتين في الأمواج المستقرة العرضية في وتر نهايته مقيدة بدلالة طول الموجة:

$(2n+1)\frac{\lambda}{4}$ (D $\quad n\frac{\lambda}{2}$ (C $\quad \frac{\lambda}{4}$ (B $\quad \frac{\lambda}{2}$ (A

الجواب: (C). [**ملاحظة:** لو البعد بين عقدتين متتاليتين عندها الجواب الصحيح: (A)]

سؤال: المسافة بين عقدة وبطن في الأمواج المستقرة العرضية في وتر نهايته مقيدة بدلالة طول الموجة:

$(2n+1)\frac{\lambda}{4}$ (D $\quad n\frac{\lambda}{2}$ (C $\quad \frac{\lambda}{4}$ (B $\quad \frac{\lambda}{2}$ (A

الجواب: (D). [**ملاحظة:** لو البعد بين عقدة وبطن متتاليتين عندها الجواب الصحيح: (B)]

سؤال (مهارات ذهنية): (تدرب أكثر)

وتر مشدود طوله $\ell = 100\ cm$ نجعله يهتز بالتجاوب مع رنانة كهربائية مكوناً خمسة مغازل. تكون المسافة بين العقدة الثانية والبطن الثالث:

$\Delta x = 50\ cm$ (B $\qquad \Delta x = 40\ cm$ (A

$\Delta x = 60\ cm$ (D $\qquad \Delta x = 30\ cm$ (C

الجواب: (C). شرح الحل:

- نحسب طول الموجة: $L = n\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{n} = \frac{2\times 100}{5} = 40\ cm$
- نحسب x_1 بعد العقدة الثانية عن النهاية m:

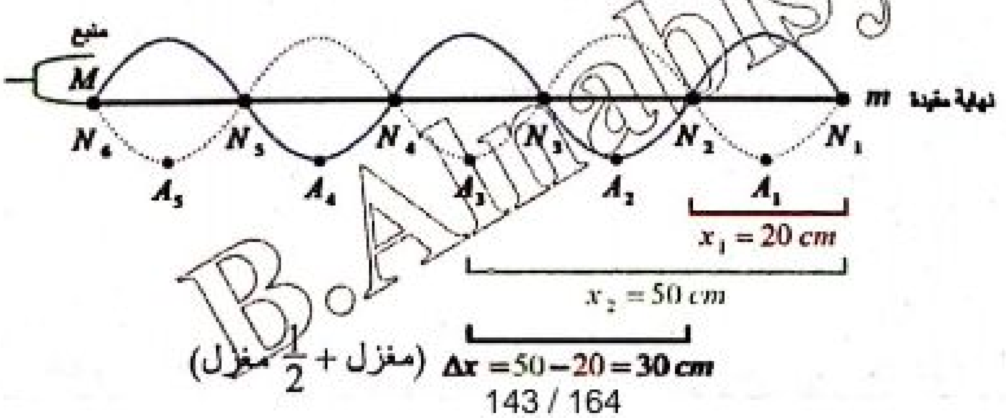
$$x_1 = n\frac{\lambda}{2} \overset{\text{العقدة الثانية}}{\underset{n=1}{\Longrightarrow}} x_1 = 1\times\frac{40}{2} = 20\ cm$$

- نحسب x_2 بعد البطن الثالث عن النهاية m:

$$x_2 = (2n+1)\frac{\lambda}{4} \overset{\text{البطن الثالث}}{\underset{n=2}{\Longrightarrow}} x_2 = 5\times\frac{40}{4} = 50\ cm$$

- المسافة المطلوبة Δx: $\Delta x = x_2 - x_1 = 50 - 20 = 30\ cm$

طريقة ثانية: حل ذهني: $\frac{\lambda}{2} = \frac{40}{2} = 20\ cm =$ **طول المغزل**



الاهتزازات الحرة في وتر مرن:

أجرب وأستنتج: المواد اللازمة: وتر مرن (حبل مطاطي) – مسماران – قطعة خشبية – مطرقة - مسطرة.

خطوات التجربة + النتائج: (سؤال + جواب)

أثبت مسمارين على القطعة الخشبية بين نقطتين البعد بينهما L ،
أشد الوتر المرن بين النقطتين الثابتتين ، أزيح (أنقر) الوتر من منتصفه وأتركه يهتز.

1- • ما نوع الاهتزازات الناتجة في الوتر؟
• كم مغزلا يتشكل في الوتر؟ • ماذا أسمي الصوت الناتج؟

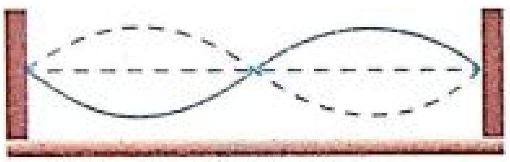
• عندما نزيح الوتر المرن المشدود من منتصفه ونتركه، فإنه يهتز اهتزازات حرة بتواتره الخاص f_1 مولداً موجة مستقرة نتيجة انعكاسها بالنقطتين الثابتتين .

$L=\frac{1}{2}\lambda_1$

f_1 (المدروج الأول)

• ويتشكل مغزلا واحدا.
• ونسمي الصوت الناتج بالصوت الأساسي f_1 (المدروج الأول).

2- أنقر على الوتر من ربعه وألمس منتصفه برأس قلم ، كم مغزلا يتشكل في الوتر المهتز؟



$L=\lambda_2$

$f_2=2f_1$ (المدروج الثاني)

يهتز الوتر بمغزلين.

3- ماذا أفعل ليهتز الوتر بثلاثة مغازل ؟

$L=\frac{3}{2}\lambda_3$

$f_3=3f_1$ (المدروج الثالث)

رسمة هامة

عندما ننقر الوتر المرن المشدود من سدسه وألمسه من ثلثه برأس قلم يهتز الوتر بثلاثة مغازل.

4- ماذا أسمي الأصوات الناتجة في الحالات السابقة؟

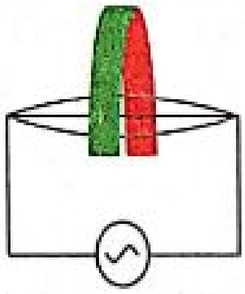
أسمي الأصوات الناتجة بالمدروجات.

ملاحظة: يمكن أن يهتز الوتر المرن اهتزازات حرة بتواترات خاصة مختلفة وعندما تتغير شروط التجربة فيتشكل فيه مغزلان أو أكثر.

نتيجة: الوتر المرن المثبت من طرفيه يمكن أن يؤلف هزازة ذات تواترات خاصة متعددة، تعطى بالعلاقة: $\boxed{f=nf_1}$ **حيث:** $n=1,2,3,4......$ **عدد صحيح موجب**

سؤال: كيف نولد تجريبياً الاهتزاز العرضي في وتر مشدود؟ **الجواب:**

• نولد الاهتزاز العرضي في وتر مشدود بإزاحة الوتر عن وضع توازنه ويكون ذلك: بالنقر بالريشة (كالعود)، أو بالإصبع (كالقانون)، أو بالضرب بمطرقة (كالبيانو)، أو بالالتصاق بالقوس(كالكمان).



- يمكن توليد الاهتزاز العرضي فيزيائيا باستخدام سلك نحاسي مشدود بقوة شد مناسبة، بأن نمرر فيه تيارا جيبيا متناوبا مناسبا، ونحيط الوتر بمغناطيس نضوي خطوط حقله عمودية على السلك وفي وضع مناسب (في المنتصف مثلا) **ليهتز بالتجاوب** مكونا مغزلا واحدا، ويكون تواتر الوتر النحاسي مساويا لتواتر التيار المتناوب.

$$\underset{\text{تواتر اهتزاز السلك}}{f} = \underset{\text{تواتر التيار المتناوب}}{f}$$

الاهتزازات القسرية في وتر مرن:

1. تجربة ملد على نهاية مقيدة:

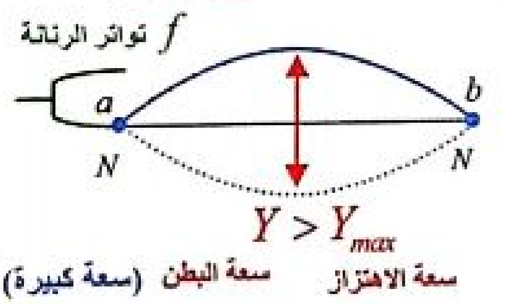
أجرب واستنتج: المواد اللازمة: هزازة جيبية مغذاة (رنانة) سعتها العظمى $\overline{Y}_{max}$ صغيرة، يمكن تغيير تواترها f

خطوات التجربة + النتائج: (سؤال + جواب)

- أثبت البكرة على الحامل ، أثبت أحد طرفي الوتر بشعبة الهزازة (النقطة a) .
- أمرر الوتر على محز البكرة (النقطة b) لتشكل عقدة ثابتة،وأعلق بطرفه المتدلي كفة الأثقال
- أضع في الكفة ثقلا مناسبا يشد الوتر بوضع أفقي ويجعل تواتر صوته الأساسي ثابتا $f_1 = 10Hz$

ملاحظة: لدينا في التجربة: - الهزازة الجيبية المغذاة (رنانة) هي جملة محرضة.

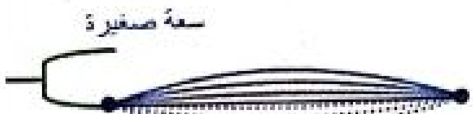
- الوتر هو جملة مجاوبة.



- من أجل $\underset{\text{رنانة}}{f} = \underset{\text{تواتر أساسي للوتر}}{f_1} = 10Hz$

يتشكل مغزل واحد بشكل واضح **ونقول حصل تجاوب.**

1- أزيد تواتر الرنانة f بالتدريج بدءا من القيمة صفر حتى القيمة $f < 10Hz$ ، ماذا ألاحظ؟

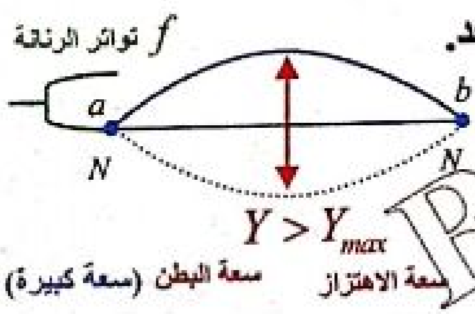


إذا كان $\underset{\text{رنانة}}{f} < 10\ Hz$:

يحصل اهتزازات قسرية في الوتر بسعة اهتزاز صغيرة. **(لم يحصل تجاوب)**

2- أجعل تواتر الرنانة $f = 10Hz$ ، هل يتشكل موجة مستقرة واضحة بسعة عظمى $Y > Y_{max}$ ؟

إذا كان $\underset{\text{رنانة}}{f} = 10\ Hz$: **يحصل تجاوب ، يهتز الوتر بمغزل واحد.**

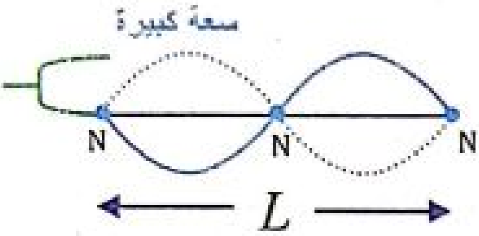


$$\underset{\text{رنانة}}{f} = \underset{\text{تواتر أساسي للوتر}}{f_1} = 10\ Hz \quad \text{(مدروج أول)}$$

أي يتشكل موجة مستقرة واضحة بسعة عظمى $Y > Y_{max}$

3- أجعل تواتر الرنانة $10 < f < 20\,Hz$ ،ماذا الاحظ؟

- إذا كان $10 < f_{\text{رنانة}} < 20\,Hz$: يتكون مغزلين غير واضحين **(لم يحصل تجاوب)**



4- أجعل تواتر الرنانة $f = 20\,Hz$ ، هل أشاهد مغزلين واضحين وبسعة اهتزاز عظمى؟

- إذا كان $f_{\text{رنانة}} = 20\ Hz$: يتكون مغزلين واضحين بسعة عظمى. **(مدروج ثاني)** $\underbrace{f}_{\text{رنانة}} = 2\underbrace{f_1}_{\text{تواتر أساسي للوتر}}$ **يحصل تجاوب.**

5- أتساءل كيف أحصل على أربعة مغازل في الوتر تهتز بسعة اهتزاز عظمى؟ ولماذا؟

- نجعل تواتر الرنانة $f_{\text{رنانة}} = 40\,Hz$ **لأن** تواتر الصوت الأساسي $f_1 = 10\,Hz$

(مدروج رابع) $\underbrace{f}_{\text{رنانة}} = 4\underbrace{f_1}_{\text{تواتر أساسي للوتر}}$ **ونقول حصل تجاوب**

شرطا تشكل المغازل

نتيجة:

يحدث التجاوب عندما: $\boxed{\underbrace{f}_{\text{تواتر الرنانة}} = \underbrace{n}_{\text{مضاعفات صحيحة}}\ \underbrace{f_1}_{\text{تواتر أساسي للوتر}}}$ ، **ويكون عندها طول الوتر:** $\boxed{L = n\,\dfrac{\lambda}{2}}$

عدد صحيح من نصف طول الموجة

نستنتج مما سبق:

[illegible]

- تتولد أمواج في الوتر مهما كانت قيمة تواتر الهزازة f.
- إذا كان تواتر الهزازة لا يساوي مضاعفات صحيحة للتواتر الأساسي للوتر $f \neq n\,f_1$.
يحدث اهتزازات قسرية في الوتر بسعة اهتزاز صغيرة نسبيا من رتبة سعة اهتزاز الهزازة Y_{max}.
- إذا كان تواتر الهزازة يساوي إلى مضاعفات صحيحة للتواتر الأساسي للوتر $\boxed{f = n\,f_1}$ فإن الوتر يكون **بحالة تجاوب** (طنين)، وتكون سعة الاهتزاز عند البطون أكبر بكثير من السعة العظمى للهزازة، **وفي هذه الحالة تتكون الأمواج المستقرة.**
- تتكون أمواج مستقرة عرضية متجاوبة في n مغزل على طول الوتر، فيها عقدة اهتزاز عند النقطة b ، وعقدة اهتزاز عمليا بجوار الهزازة في النقطة a ، وتكون سعة اهتزاز البطن عظمى محققة التجاوب عمليا. ويكون طول الوتر عددا صحيحا من نصف طول الموجة $\boxed{L = n\dfrac{\lambda}{2}}$

- يؤلف الوتر (في التجربة السابقة) مجاوباً متعدد التواتر، فيحدث التجاوب من أجل سلسلة محددة تماما من تواترات الهزازة $f=10,20,30,40,........Hz$ ،
ويتكون عندها عدد من المغازل $n=1,2,3,4$ .... على الترتيب.

إذا يحدث التجاوب عندما يكون تواتر الهزازة مساويا مضاعفات صحيحة للتواتر الأساسي للوتر $\boxed{f=n\,f_1}$

الدراسة النظرية:

سؤال: وتر مرن طوله L متصل بهزازة جيبية مغذاة، ونهاية الوتر مقيدة، اذكر الشرط الواجب تحققه ليحدث التجاوب بين الهزازة والوتر. ثم استنتج علاقة التواترات التي يهتز فيها الوتر متجاوباً ومحدثاً n مغزل.

الجواب:

- يحدث التجاوب بين الهزازة كجملة محرضة والوتر كجملة مجاوبة إذا تحقق الشرط $f = n\,f_1$

وتر أساسي رنانة

- يتلقى الوتر اهتزازات قسرية فُرضت عليه من الهزازة فتتكون على طوله أمواج مستقرة عرضية متجاوبة في (n) مغزل:

لدينا: $L = n\,\dfrac{\lambda}{2}$

$v = f\,\lambda \Rightarrow \lambda = \dfrac{v}{f}$

$\Rightarrow \boxed{L = n\,\dfrac{v}{2f}}$ **(حفظ)** $\Rightarrow \boxed{f = n\,\dfrac{v}{2L}}$ **(حفظ)**

حيث: $n=1,2,3,...$ **عدد صحيح موجب و يمثل مدروجات الصوت.**

- يسمى أول تواتر يولد مغزلاً واحداً: **التواتر الأساسي.**

$(n=1) \Leftarrow f_1 = \dfrac{v}{2L}$ **مدروج أول. (التواتر الأساسي)**

$(n=2) \Leftarrow f = 2f_1$ **مدروج ثاني.**

$(n=3) \Leftarrow f = 3f_1$ **مدروج ثالث.**

> **ملاحظة:**
> **المدروجات هي: مضاعفات صحيحة للتواتر الأساسي (f_1)**

- وتسمى بقية التواترات من أجل $n=1,2,3,4...$ **تواترات المدروجات** $f = n\dfrac{v}{2L} = n\,f_1$

2. تجربة ملد على نهاية طليقة:

أجرب وأستنتج: المواد اللازمة: هزازة جيبية مغذاة تواترها f - وتر مطاطي ab طوله L - وحدة تغذية - مسطرة.

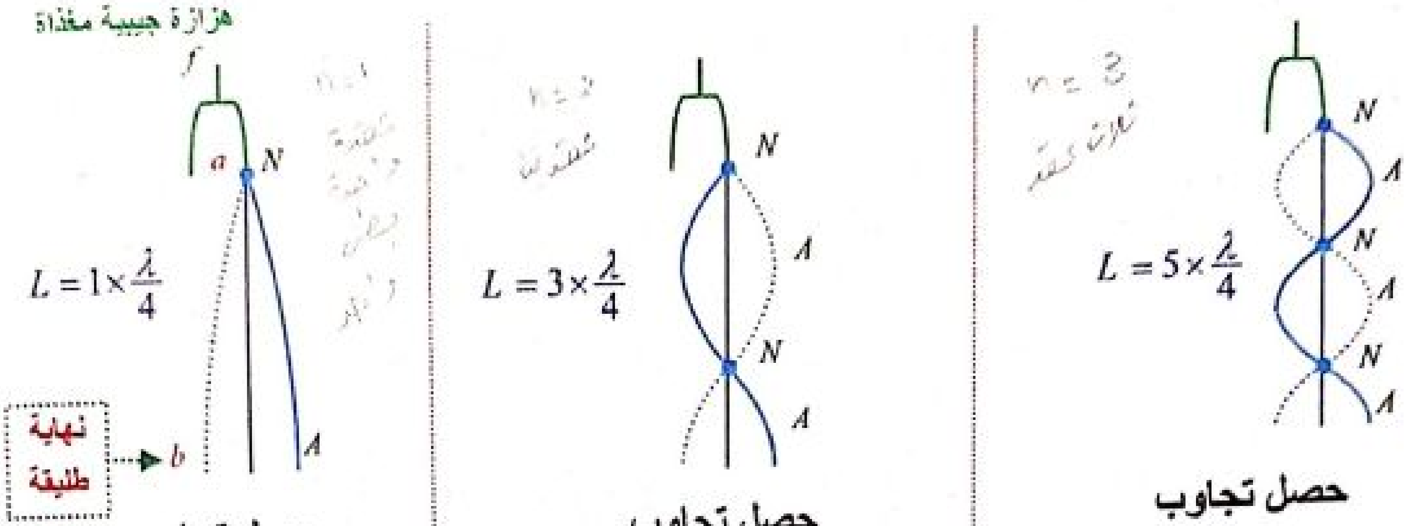
خطوات التجربة + النتائج: (سؤال + جواب)

- أثبت أحد طرفي الوتر بشعبة الهزازة (النقطة a).
- أترك الوتر يتدلى شاقوليا، ليكون طرفه السفلي b نهاية طليقة.

1- أغلق القاطعة لتعمل الهزازة، ماذا تلاحظ؟

عندما تعمل الهزازة تتولد أمواج مستقرة في حالة التجاوب على طول الوتر.

شرح للفهم : (مع مثال عددي للتوضيح)



مدروج خامس	مدروج ثالث	مدروج أول (أساسي)
حصل تجاوب	حصل تجاوب	حصل تجاوب
$f_{\text{رنانة}} = 50\ Hz$	$f_{\text{رنانة}} = 30\ Hz$	مثلاً : $f_{\text{رنانة}} = f_1 = [10\ Hz]$ (تواتر أساسي للوتر)
$f_{\text{رنانة}} = 5f_1$	$f_{\text{رنانة}} = 3f_1$	

2- ماذا يتشكل في كل من النقطة (a) ، والنقطة (b) **عند حدوث التجاوب ؟**

- يتكون في النقطة a **(بجوار الهزازة)** عقدة اهتزاز،
وفي النقطة b **(عند النهاية الطليقة)** بطن اهتزاز.

3- أتساءل عن العلاقة التي تربط بين طول الوتر وطول الموجة عند حدوث التجاوب.

- عندما يكون طول الوتر $L=\frac{\lambda}{4}$ فإنه يصدر صوتا أساسياً تواتره : $f_1=\frac{v}{4L}$
- عندما يكون طول الوتر $L=3\frac{\lambda}{4}$ فإنه يصدرصوتا مدروجه الثالث تواتره : $f=3\frac{v}{4L}$

نتيجة : عند حدوث التجاوب يتشكل على طول الوتر أعداد فردية من أرباع طول الموجة.

4- استنتج علاقة التواترات الخاصة في حالة التجاوب التي يهتز فيها الوتر بدلالة طوله.

- تحدد المدروجات انطلاقاً من العلاقة المحددة لطول الوتر:

$$\boxed{L=(2n-1)\frac{\lambda}{4}} \xrightarrow{\lambda=\frac{v}{f}} \boxed{L=(2n-1)\frac{v}{4f}} \longrightarrow \boxed{f=(2n-1)\frac{v}{4L}}$$

حيث: n عدد صحيح موجب $n=1,2,3,4....$

ويمثل $\boxed{(2n-1)}$ **مدروج الصوت الصادر.**

$[n=1] \Leftarrow f_1=\dfrac{v}{4L}$ مدروج أول. (التواتر الأساسي)

$[n=2] \Leftarrow f=3f_1=3\dfrac{v}{4L}$ مدروج ثالث.

$[n=3] \Leftarrow f=5f_1=5\dfrac{v}{4L}$ مدروج خامس.

ملاحظة: نميز مع العدد الفردي:

1) $[2n+1]$ ، $[n]$ تبدأ من الصفر: $n=0,1,2,...$

2) $[2n-1]$ ، $[n]$ تبدأ من الواحد: $n=1,2,3,...$

تُستخدم مع الأصوات والمزامير حيث نحتاج لـ $[n]$ أن تبدأ من الواحد، $[n=1]$ صوت أساسي.

تطبيقات الأمواج المستقرة:

قياس سرعة انتشار الاهتزاز العرضي في وتر مشدود:

خطوات التجربة + النتائج: (سؤال + جواب)

- أثبت البكرة على الحامل وأثبت أحد طرفي الوتر بشعبة الهزازة (النقطة a)
- أمرر الوتر على محز البكرة (النقطة b) لتشكل عقدة ثابتة ، وأعلق بطرفه المتدلي كفة الأثقال.
- أضع في الكفة ثقلا مناسبا يشد الوتر بوضع أفقي (قوة شد الوتر F_T) ويجعل تواتر صوته الأساسي $f_1=10Hz$.

-1 أتساءل ماهو الوتر المشدود.

الوتر المشدود: هو جسم صلب مرن أسطواني، طوله كبير بالنسبة لنصف قطر مقطعه، مشدود بين نقطتين ثابتتين تؤلفان عقدتي اهتزاز في جملة أمواج مستقرة عرضية.

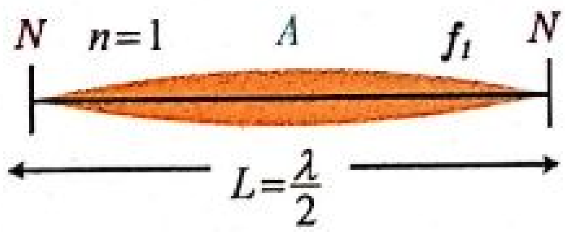
-2 • عندما تعمل الهزازة بتواتر $f=f_1$ ، يتشكل في الوتر مغزل واحد ، أعلل ذلك؟

- ماذا أسمي الصوت الناتج في هذه الحالة؟

- يحدث التجاوب عندما يكون تواتر الهزازة المعلوم (f) مساويا التواتر الأساسي للوتر المهتز f_1 . • يسمى الصوت الناتج بالصوت الأساسي.

-3 • **أقيس المسافة بين عقدتين متتاليتين، ماذا تمثل هذه القيمة.**

- **أحسب طول الموجة، وسرعة انتشار الاهتزاز.**



- المسافة بين عقدتين متتاليتين تمثل طول مغزل ويكون طول المغزل الواحد مساوياً لطول الوتر المهتز: $L=\dfrac{\lambda}{2}$

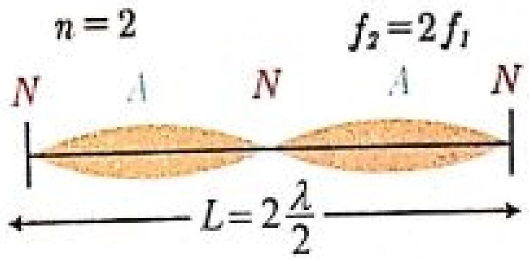
- يكون طول الموجة : $\lambda=2L$

وبما أن تواتر الوتر المهتز يساوي تواتر الرنانة (f) المعلوم. نستطيع حساب سرعة الانتشار (v) بتطبيق العلاقة $[v=f\lambda]$.

4- عندما يكون تواتر الهزازة مضاعفات صحيحة من التواتر الأساسي $\left[f = n\, f_1 \right]$

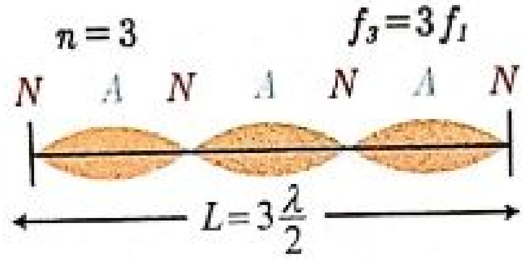
رنانة وتر أساسي

ماذا تسمى الأصوات الناتجة؟ تسمى الأصوات الناتجة بالمدروجات.



5- عندما تعمل الهزازة بتواتر $f = 2f_1$ ، يتشكل في الوتر مغزلان ، ماذا أسمي الصوت الناتج؟

اسمي الصوت بالمدروج الثاني.



6- أشكل ثلاثة مغازل في الوتر بتغيير تواتر الرنانة ليصبح $f = 3f_1$ وأسمي الصوت الناتج.

اسمي الصوت بالمدروج الثالث.

7- أتساءل ماهي العوامل المؤثرة في سرعة انتشار الاهتزاز العرضي في الوتر، واكتب علاقتها الرياضية ، واكتب علاقة الكتلة الخطية للوتر.

تدل نتائج التجارب المختلفة على أن سرعة انتشار الاهتزاز العرضي في الوتر المهتز **تتناسب:** **1.** طرداً مع الجذر التربيعي لقوة الشد F_T

2. عكساً مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الطول من الوتر المتجانس، وتسمى الكتلة الخطية μ.

أي : $v = const\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$ إن هذا الثابت في الجملة الدولية يساوي الواحد $(const=1)$

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}}\ \text{(حفظ)}$$

حيث إن الكتلة الخطية للوتر:

وواحدتها في الجملة $kg.m^{-1}$

$$\boxed{\mu = \frac{m\ (kg)}{L\ (m)}}\ \text{(حفظ)}$$

8- استنتج علاقة تواتر الصوت البسيط الصادر عن الوتر بدلالة قوة شد الوتر وطوله وكتلته، موضحاً دلالات الرموز.

$L = n\frac{\lambda}{2}$ | $v = f \cdot \lambda$ $n=1$

نعوض عن سرعة انتشار الاهتزاز في الوتر، وعن الكتلة الخطية للوتر في علاقة تواتر الوتر المشدود (مثبت على نهاية مقيدة) فنجد:

$$\boxed{f = n\frac{v}{2L}} \Rightarrow \boxed{f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}}\ \text{(حفظ)} \Rightarrow \boxed{f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T . L}{m}}}$$

حيث: f : تواتر الصوت البسيط الصادر عن الوتر، ويقدر بالهرتز (Hz).

F_T : قوة شد الوتر، وتقدر بالنيوتن (N).

L : طول الوتر، وتقدر بالمتر (m).

μ : الكتلة الخطية للوتر، وتقدر بـ $(kg.m^{-1})$.

n : عدد صحيح يمثل عدد المغازل المتكونة **أو** رتبة الصوت الصادر عنه (المدروج)

ملاحظة: **1-** مع كل مسائل الأوتار عند حدوث التجاوب يكون $f_{\text{وتر}} = f_{\text{رنانة}}$

2- إنقاص طول الوتر لايغير (μ) وتغيير قوة الشد لايغير (μ) .

9- أحافظ على التواتر السابق وأضيف أثقالا جديدة إلى كفة الأثقال ، هل يزداد عدد المغازل أم ينقص؟

عند الحفاظ على f (التواتر) و L (طول الوتر)

وزيادة قوة الشد (F_T) $\Leftarrow$ **ينقص عدد المغازل**

أي عند إنقاص قوة الشد (F_T) $\Leftarrow$ **يزداد عدد المغازل**

(تدرب أكثر: راجع خيار متعدد رقم 3 ص 177 + رقم 14 ص 179 من نوطة المسائل)

10- أحافظ على التواتر السابق ، و أحافظ على الأثقال السابقة (قوة شد الوتر) وأنقص طول الوتر، هل يزداد عدد المغازل أم ينقص؟

عند الحفاظ على f (التواتر) وعلى قوة الشد (F_T)

وإنقاص طول الوتر (L) $\Leftarrow$ **ينقص عدد المغازل**

أي عند زيادة طول الوتر $\Leftarrow$ **يزداد عدد المغازل. (التفسير)**

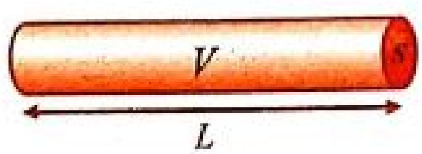
نلاحظ أن (n) يتناسب طرداً مع $\sqrt{L}$

$$f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T . L}{m}} \Rightarrow f = \frac{n}{2\sqrt{L}} \cdot \sqrt{\frac{F_T}{m}} \Bigg] \Rightarrow \frac{n}{\sqrt{L}} = const$$

ملاحظة: عند الحفاظ على (F_T) قوة الشد، وعلى طول الوتر (L)

وزيادة تواتر الاهتزاز (f) **يزداد عدد المغازل.**

ملاحظة: إذا فرضنا أن وتراً طوله L، كتلته m، ومساحة مقطعه s وكتلته الحجمية ρ، فتكون كتلته الخطية μ:



$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{\rho V}{L} = \frac{\rho s L}{L} = \rho s = \rho \pi r^2$$

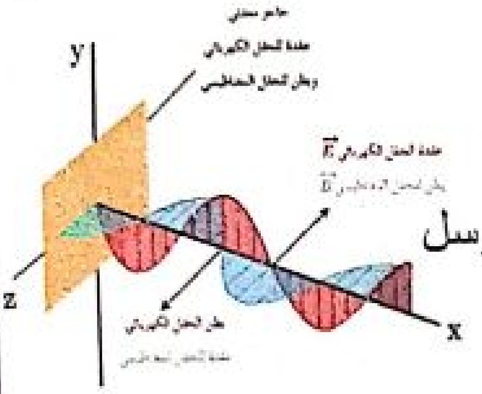
حيث :

$s = \pi r^2$ (مساحة المقطع)، $V = s L$ (حجم الأسطوانة)، r (نصف قطر مقطع الوتر)

الأمواج الكهرطيسية المستقرة:

(**تمهيد:** نستخدم في منازلنا هوائي مستقبل لالتقاط البث التلفزيوني، أو صحن الإشارة اللاقط للقنوات الفضائية)

نشاط + النتائج: (سؤال + جواب)



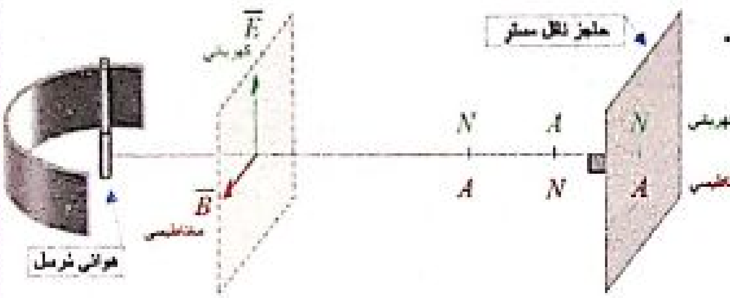
1. كيف تتولد الأمواج الكهرطيسية المستوية؟

تتولد الأمواج الكهرطيسية المستوية بوساطة هوائي مرسل يوضع في محرق عاكس بشكل قطع مكافئ دوراني.

2. مما تتألف الموجة الكهرطيسية المستوية؟

تتألف الموجة الكهرطيسية المستوية من حقلين متعامدين:

حقل كهربائي $\vec{E}$ وحقل مغناطيسي $\vec{B}$.



3. ماذا يحدث للموجة الكهرطيسية الواردة عند وضع حاجزمعدني ناقل مستوي عمودي على منحى الانتشار ويبعد عن الهوائي المرسل بعدا مناسبا.

وماذا ينتج عن تداخل الموجة الكهرطيسية الواردة مع الموجة الكهرطيسية المنعكسة؟ (أو **يطلب** كيف تتولد الأمواج الكهرطيسية المستقرة)؟

عندما تلاقي الأمواج الكهرطيسية الواردة حاجزا معدنيا ناقلا مستويا عموديا على منحى الانتشار، ويبعد عن الهوائي المرسل بعدا مناسبا،

تنعكس عنه و تتداخل الأمواج الكهرطيسية الواردة مع الأمواج الكهرطيسية المنعكسة لتؤلف أمواجا كهرطيسية مستقرة.

4. • كيف نكشف عن الحقل الكهربائي؟ • كيف نكشف عن الحقل المغناطيسي؟

• نكشف عن الحقل الكهربائي $\vec{E}$ بوساطة هوائي مستقبل نضعه موازيا للهوائي المرسل، يمكن تغيير طوله، وعند وصل طرفي الهوائي المستقبل براسم اهتزاز مهبطي، وتغيير طول الهوائي حتى يرتسم على شاشة راسم الاهتزاز خط بياني بسعة عظمى فيكون أصغر طول للهوائي المستقبل مساويا $\frac{\lambda}{2}$.

• نكشف عن الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ بوساطة حلقة نحاسية عمودية على $\vec{B}$ فيولد فيها توترا نتيجة تغير التدفق المغناطيسي الذي يجتازها.

5. ماذا يحصل عند نقل كلٍ من الكاشفين بين الهوائي المرسل والحاجز؟

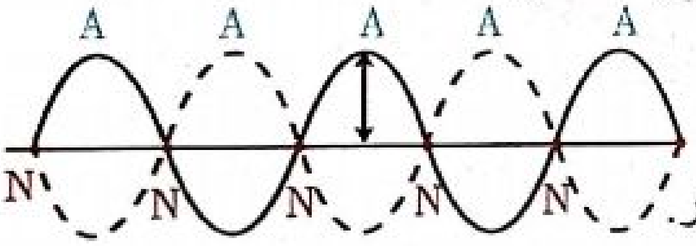
عندما ننقل كلاً من الكاشفين بين الهوائي المرسل والحاجز **نجد الآتي:**

1. توالي مستويات العقد N يدل فيها الكاشف على دلالة صغرى ومستويات للبطون A يدل فيها الكاشف على دلالة عظمى متساوية الأبعاد عن بعضها، قيمتها $\frac{\lambda}{2}$ بين كل مستويين لهما الحالة الاهتزازية نفسها.
2. مستويات عقد الحقل الكهربائي هي مستويات بطون للحقل المغناطيسي وبالعكس.
3. عند الحاجز الناقل المستوي يتشكل **عقدة للحقل الكهربائي وبطن للحقل المغناطيسي.**

ملاحظة: 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.

تطبيق (محلول):

وتر مشدود طوله $L=1m$ ، كتلته $m=6g$ مشدود بقوة F_T يهتز بالتجاوب مع رنانة تواترها $f=50Hz$ مكوناً خمسة مغازل. المطلوب حساب:



1. الكتلة الخطية للوتر.
2. قوة شد الوتر F_T المطبقة على الوتر.
3. سرعة انتشار الاهتزاز العرضي على طول الوتر.
4. عدد أطوال الموجة المتكونة.

الحل:

.1
$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{6\times10^{-3}}{1} = 6\times10^{-3}\, kg.m^{-1}$$

2. عندما يهتز الوتر بالتجاوب يكون تواتر الرنانة يساوي تواتر السلك:

$$f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T}{\mu}} \quad \Rightarrow \quad f^2 = \frac{n^2}{4L^2}\cdot\frac{F_T}{\mu}$$

$$F_T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{n^2} = \frac{4\times(1)^2\times(50)^2\times6\times10^{-3}}{(5)^2} = 2.4\,N$$

.3
$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \sqrt{\frac{2.4}{6\times10^{-3}}} = 20\,m.s^{-1}$$

.4
$$\text{عدد أطوال الموجة} = \frac{L}{\lambda} = \frac{Lf}{v} = \frac{1\times50}{20} = 2.5$$

الدرس الثاني 2

الأمواج المستقرة الطولية

تمهيد: عند عبورك نفقا طويلا وضيقا للسيارات فإنك تسمع ضوضاء وصخبا شديدين تصدران عن عبور السيارات والمركبات لهذا النفق.

الأمواج المستقرة الطولية في نابض:

أجرب وأستنتج: المواد اللازمة: رنانة كهربائية ذات قاعدة- نابض مرن مناسب (ثابت صلابته صغير)

خطوات التجربة + النتائج: (سؤال + جواب)

أثبت أحد طرفي النابض بنقطة ثابتة، أثبت الطرف الآخر من النابض بشعبة هزازة جيبية مغذاة (رنانة كهربائية)، أشد النابض أفقيا بقوة شد مناسبة، أغلق القاطعة لتعمل الرنانة الكهربائية.

1- • ما نوع الأمواج الواردة من المنبع (الرنانة) والمنتشرة في النابض؟ وماذا يحدث للموجة الطولية الواردة عند وصولها إلى النقطة الثابتة؟ • كيف تبدو لك حلقات النابض؟

• عندما تعمل الهزازة تنتشر الأمواج الطولية الواردة من المنبع (الرنانة) وفق استقامة النابض، لتصل إلى النهاية الثابتة وتنعكس عنها، فتتداخل الأمواج الطولية المنعكسة مع الأمواج الطولية الواردة. • ونشاهد على طول النابض حلقات تبدو ساكنة و حلقات أخرى تهتز بسعات متفاوتة فلا تتضح معالمها.

2- • ماذا أسمي حلقات النابض الساكنة؟ وكيف تتكون؟

• ماذا أسمي حلقات النابض الأوسع اهتزازا ؟ وكيف تتكون؟

• تسمى الحلقات الساكنة عقد اهتزاز *Nodes* حيث تكون سعة الاهتزاز معدومة، وتصلها الموجة الطولية الواردة و الموجة الطولية المنعكسة على تعاكس دائم.

• بينما الحلقات الأوسع اهتزازا تسمى بطون الاهتزاز *Antinodes* حيث تكون سعة الاهتزاز عظمى، وتصلها الموجة الطولية الواردة و الموجة الطولية المنعكسة على توافق دائم.

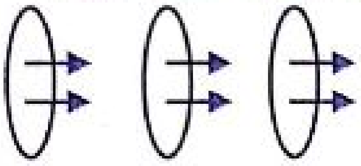
3- كيف تنشأ الأمواج المستقرة الطولية في النابض؟

• تنشأ الأمواج المستقرة الطولية في النابض عن تداخل الأمواج الطولية الواردة والأمواج الطولية المنعكسة .

الدراسة النظرية:

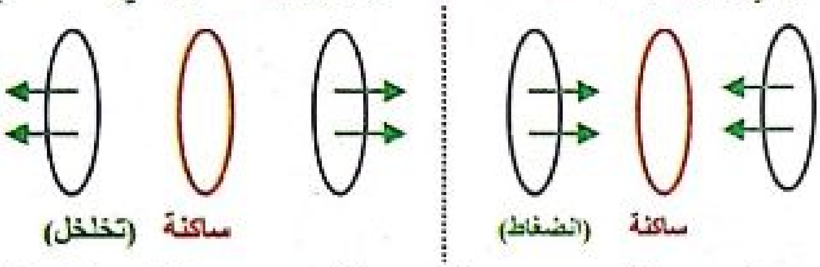
سؤال + جواب: في الأمواج المستقرة الطولية في نابض، **علل ما يلي:**

1- حلقات بطون الاهتزاز هي عقد للضغط. **(أو يطلب: عند بطن الاهتزاز يبقى الضغط ثابت)**



إن بطن الاهتزاز والحلقات المجاورة له تترافق دوماً في الاهتزاز إلى إحدى الجهتين تكاد تبدو المسافات بينها ثابتة. فلا تضاغط بين الحلقات أو تخلخل فيها ، **أي يبقى الضغط ثابتاً. أي بطون الاهتزاز هي عقد للضغط.**

2- حلقات عقد الاهتزاز هي بطون للضغط. **(أو يطلب : عند عقد الاهتزاز يوجد تغير في الضغط)**



إن عقد الاهتزاز تبقى في مكانها وتتحرك 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 يحدث عندها تغير في الضغط هي بطون للضغط.**

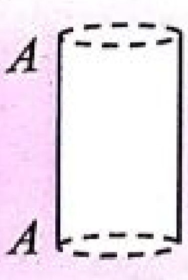
ويكون لدينا: 1- المسافة بين عقدتي اهتزاز متتاليتين أو بطني اهتزاز متتاليين يساوي نصف طول الموجة $\frac{\lambda}{2}$.

2- المسافة بين عقدة اهتزاز وبطن اهتزاز تال يساوي ربع طول الموجة $\frac{\lambda}{4}$.

الأعمدة والمزامير:

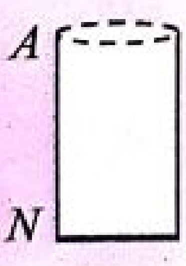
الأعمدة الهوائية المفتوحة والمغلقة:

- إذا حاولت التحدث في علبة معدنية كبيرة وفارغة فإنه يصدر صوتا عاليا وشديدا.
- النفخ بشكل موازٍ بالقرب من فوهة قارورة زجاجية فارغة يصدر عنها صوتا عاليا وشديدا.



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 عددا صحيحا من نصف طول الموجة.**

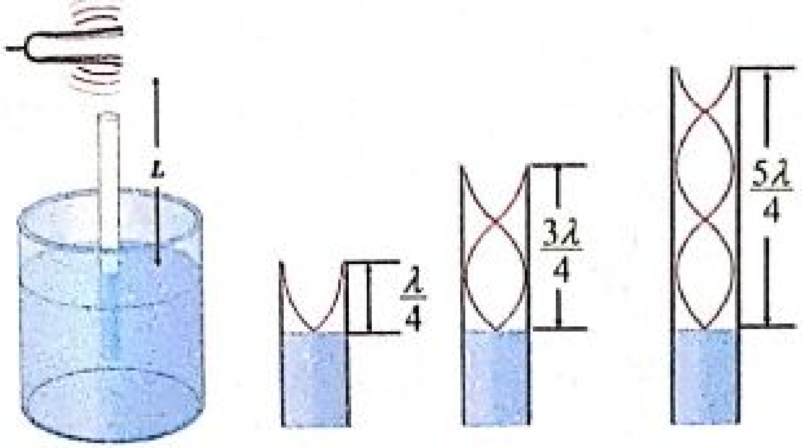
$\boxed{L=n\frac{\lambda}{2}}$ **حيث:** $n=1,2,3......$ **(عدد صحيح موجب)**



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 عددا فرديا من ربع طول الموجة.**

$\boxed{L=(2n-1)\frac{\lambda}{4}}$ **حيث:** $n=1,2,3...$ **(عدد صحيح موجب)**

أجرب وأستنتج: المواد اللازمة: رنانة تواترها معلوم 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.



خطوات التجربة + النتائج: (سؤال + جواب)

أضع الأنبوب الزجاجي داخل الوعاء المملوء بالماء الساكن وأمسك الرنانة من قاعدتها ثم أضرب بالمطرقة على إحدى شعبتيها ، أقرب الرنانة المهتزة لتصبح فوق طرف الأنبوب الزجاجي المفتوح مباشرة وأرفع الأنبوب والرنانة ببطء نحو الأعلى **حتى أسمع صوتا شديدا عاليا.**

1- أتساءل : • ماذا يحدث عبر الأنابيب مع التعليل ؟

- **مانوع الأمواج المتولدة في هواء الأنبوب ومتى نسمع صوتاً شديداً ؟**
- **ماذا يتكون عند سطح الماء وعند فوهة الأنبوب ؟ مع التعليل.**

- **يحدث تضخيم وتقوية للصوت في أثناء انتقاله عبر الأنابيب** نتيجة حدوث انعكاسات متكررة داخله ، فيتولد عنها أمواج مستقرة ذات نغمات صوتية واضحة، وتزداد وضوحا في الأنابيب الضيقة.
- تتولد أمواج مستقرة طولية في هواء الأنبوب ونسمع صوتا شديدا عاليا عندما يكون تواتر الرنانة يساوي تواتر الهواء في عمود الأنبوب.
- تتكون عقدة اهتزاز عند سطح الماء الساكن لأنه يمنع الحركة الطولية للهواء (حيث يعتبر نهاية مغلقة)، وبطن اهتزاز تقريباعند فوهة الأنبوب (نهاية مفتوحة)

2- أحرك الأنبوب الزجاجي إلى الأعلى أو الأسفل قليلا لتحديد نقطة الرنين الأولى **(الصوت الشديد)** بدقة ، ثم أقس المسافة من سطح الماء (نقطة الرنين) إلى فوهة الأنبوب الزجاجي. **أتساءل : ماذا تمثل هذه القيمة المقيسة. وماذا تساوي؟**

يمثل طول أقصر عمود هوائي فوق سطح الماء **الذي يحدث عنده التجاوب (الرنين الأول)** وتساوي $L_1 = \frac{\lambda}{4}$

3- أضرب بالمطرقة على الرنانة وأقربها من طرف الأنبوب المفتوح، وأستمر في رفع الأنبوب الزجاجي نحو الأعلى ببطء حتى أسمع صوتا شديدا عاليا مرة أخرى.

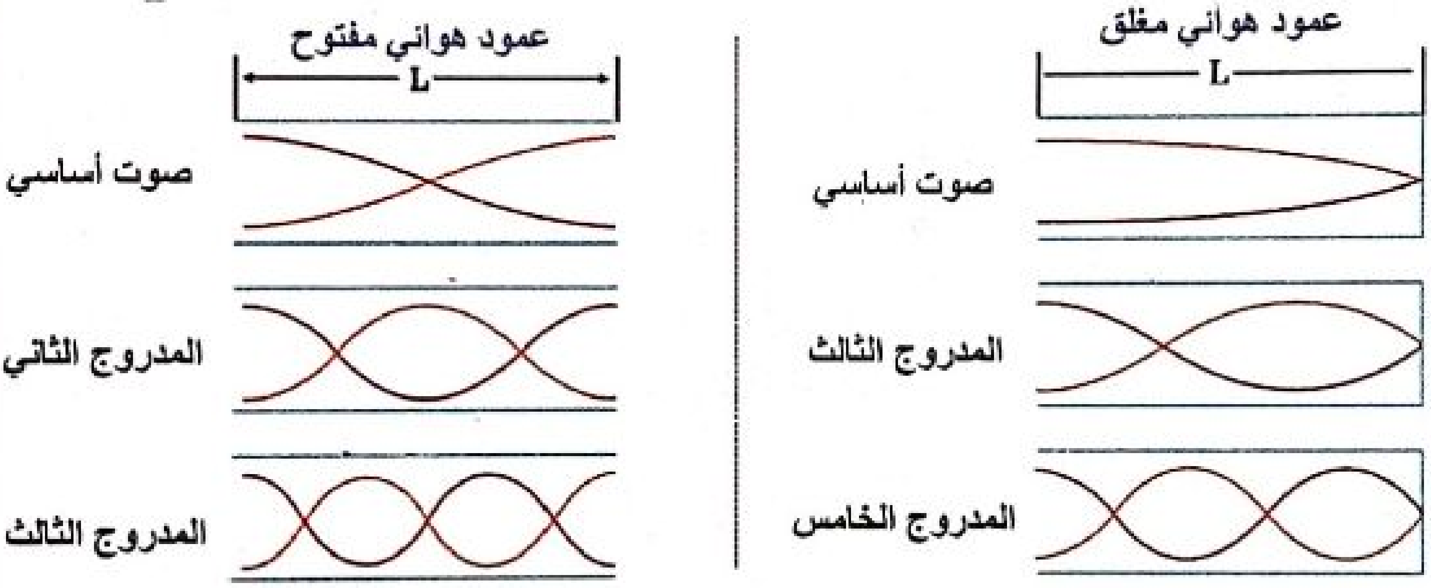
- أحدد نقطة الرنين الثانية على الأنبوب ، وأقيس المسافة من هذه النقطة إلى فوهة الأنبوب الزجاجي. • **أتساءل ماذا تمثل هذه القيمة المقيسة. وماذا تساوي وماذا تستنتج؟**

• **أتساءل ماهي المسافة بين مستويي الماء الموافقين للصوتين الشديدين المتتاليين مباشرة؟**

• يمثل طول العمود الهوائي فوق سطح الماء الذي **يحدث عنده التجاوب (الرنين الثاني) يساوي** $L_2 = 3\dfrac{\lambda}{4}$.

نستنتج : في العمود الهوائي المغلق لا يمكن الحصول على المدروجات ذات العدد الزوجي وتكون دوما أعداد فردية.

• المسافة بين مستويي الماء الموافقين للصوتين الشديدين المتتاليين **يساوي** $\Delta L = \dfrac{\lambda}{2}$



4- أخرج الأنبوب السابق من الحوض، وأدخل فيه أنبوب آخر ذي القطر الأقل (ليشكلا أنبوبة تلسكوبية يمكنك تغيير طولها) فأحصل على عمود هوائي مفتوح الطرفين.

- أقرب الرنانة المهتزة من أحد طرفي العمود الهوائي المفتوح وأزيد من طوله ببطء وذلك بإخراج الأنبوب الآخر **حتى أسمع صوتا شديدا عاليا**. (نقطة الرنين الأول) ثم أقيس طول العمود الهوائي الناتج .

• **أتساءل : ماذا يتشكل عند كل طرف من العمود الهوائي وفي منتصفه**

• **أتساءل : ماذا تمثل هذه القيمة المقيسة ؟ وماذا تساوي؟**

• في العمود الهوائي مفتوح الطرفين يتشكل عند كل طرف مفتوح بطن للاهتزاز وفي منتصف العمود عقدة للاهتزاز.

• في هذه الحالة يكون طول العمود الهوائي الذي **يحدث عنده التجاوب (الرنين الأول) يساوي** $L_1 = \dfrac{\lambda}{2}$

5- استمر في زيادة طول العمود الهوائي حتى أسمع صوتاً شديدا عاليا مرة أخرى.

أحدد نقطة الرنين الثانية على الأنبوب وأقيس المسافة من هذه النقطة إلى فوهة الأنبوب

أتساءل ماذا تمثل هذه القيمة المقيسة وماذا تساوي؟

- تمثل طول العمود الهوائي الذي يحدث عنده التجاوب (الرنين الثاني) **يساوي** $L_2 = 2\dfrac{\lambda}{2}$

6- **أتساءل : عند استخدام رنانة تواترها كبير هل يتغير طول العمود الهوائي عند التجاوب (الرنين)، علل إجابتك.**

- عند استخدام رنانة تواترها كبير نحصل على عمود هوائي طوله قصير.

التعليل:

$L = n\dfrac{\lambda}{2} \xrightarrow{\lambda = \frac{v}{f}} L = n\dfrac{v}{2f}$ **(العمود الهوائي المفتوح)**

$L = (2n-1)\dfrac{\lambda}{4} \xrightarrow{\lambda = \frac{v}{f}} L = (2n-1)\dfrac{v}{4f}$ **(العمود الهوائي المغلق)**

نلاحظ أن : تواتر الرنانة المستخدم يتناسب عكساً مع طول العمود الهوائي.

ملاحظة: يمكن إجراء التجربة باستخدام أنبوب أسطواني زجاجي (أو بلاستيكي) مغلق من أحد طرفيه، مع رنانة مهتزة، حيث يمكن تغيير طوله بإضافة الماء إليه تدريجيا حتى يصدر الصوت الشديد.

> **فائدة :: مع الأعمدة الهوائية نستطيع الحصول على مدروجات الصوت المختلفة بتغيير طول العمود الهوائي.**

7- **أتساءل: عن مبدأ عمل القناة السمعية في أذن الإنسان:**

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 2000 Hz إلى 5000 Hz في حين يمتد المدى الكامل لتواترات الصوت التي تسمعها الأذن البشرية من 20 Hz إلى 20000 Hz.

> **نتائج هام جداً:** • **تتشابه الأعمدة الهوائية المفتوحة بأنفاق عبور السيارات.**
> • **تتشابه الأعمدة الهوائية المفتوحة بالقناة السمعية في أذن الإنسان .**

تطبيق محلول (1):

نستخدم رنانة تواترها $f=250\,Hz$ لقياس سرعة انتشار الصوت في الهواء داخل أنبوب هوائي مغلق، فسمع أعلى صوت عندما كان طول أقصر عمود هوائي مساوٍ $35\,cm$ ، أحسب سرعة انتشار الصوت في هواء الأنبوب ضمن شروط التجربة. **الحل :**

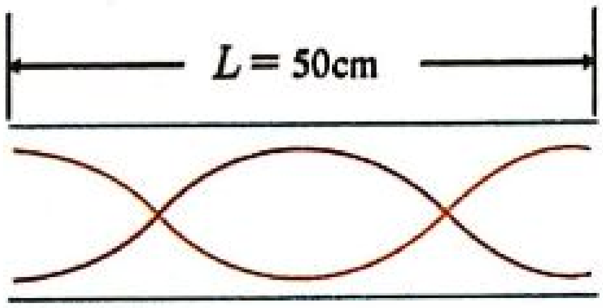
$L=35\times10^{-2}\,m$ ، (أعلى صوت عندما كان أقصر طول عمود هوائي) $\Rightarrow$ ($n=1$ رنين أول)

$$L=(2n-1)\frac{\lambda}{4} \xrightarrow{(n=1)} L=\frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda=4L \Rightarrow \lambda = 4\times 0.35 = 1.4\,m$$

عمود هوائي مغلق

$$v=f\,\lambda \Rightarrow v=1.4\times 250=350\,m.s^{-1}$$

تطبيق محلول (2):



أنبوب هوائي مفتوح الطرفين، طوله $L=50\,cm$ يصدر الرنين الثاني باستخدام رنانة تواترها غير معلوم. فإذا كانت سرعة انتشار الصوت في شروط التجربة $v=340\,m.s^{-1}$ أحسب تواتر الرنانة. **الحل:**

$$L=n\frac{\lambda}{2} \xrightarrow{\text{الرنين الثاني: } n=2} L_2=2\frac{\lambda}{2} \Rightarrow L_2=\lambda \Rightarrow \lambda=0.5\,m$$

عمود هوائي مفتوح

$$v=f\,\lambda \Rightarrow f=\frac{v}{\lambda} \Rightarrow f=\frac{340}{0.5}=680\,Hz$$

تطبيق محلول (3):

1. يبلغ طول القناة السمعية في الأذن البشرية $L=3\,cm$ والتي تؤدي إلى غشاء الطبل (وهي عبارة عن عمود هوائي مغلق)، فإذا علمت أن سرعة انتشار الصوت في القناة $v=348\,m.s^{-1}$ ، أوجد قيمة أصغر تواتر يحدث عنده التجاوب (الرنين الأول).
2. إذا علمت أن الضغط الناتج عن محادثة عادية $P=0.02\,Pa$ ومساحة غشاء الطبل $S=0.50\,cm^2$ أوجد القوة الضاغطة المؤثرة في غشاء الطبل. **الحل:**

.1

$$L=(2n-1)\frac{\lambda}{4} \xrightarrow{\text{رنين أول: } n=1} L=\frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda=4L \Rightarrow \lambda=4\times0.03=0.12\,m$$

$$v=f\,\lambda \Rightarrow f=\frac{v}{\lambda} \Rightarrow f=\frac{348}{0.12}=2900\,Hz$$

وهذا أول تواتر لحدوث السمع ، ويسمى التواتر الأساسي للقناة السمعية.

$$P=\frac{F}{S} \Rightarrow F=P.S \Rightarrow F=0.02\times0.5\times10^{-4} \Rightarrow F=10^{-6}\,N$$

المزامير:

تعريف المزمار: المزمار 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 للمزمار.

تصنف المنابع الصوتية إلى نوعين:

1) **المنبع ذو الفم:** وهو نهاية غرفة صغيرة مفتوحة يدفع فيها الهواء وينساق، ليخرج من شق ضيق. يتشكل عند الفم بطن اهتزاز (عقدة ضغط).
2) **المنبع ذو اللسان:** يتألف من صفيحة مرنة تدعى اللسان قابلة للاهتزاز ، مثبتة من أحد طرفيها تقطع جريان الهواء،لها تواتر المنبع. يتشكل عند اللسان عقدة اهتزاز (بطن ضغط)

تعليل الأمواج المستقرة الطولية في أنبوب هواء المزمار:

سؤال: A) ما سبب تشكل الأمواج المستقرة الطولية في المزمار ؟
B) • وماذا يتكون عند النهاية المغلقة ؟ • وماذا يتكون عند النهاية المفتوحة؟
C) (دورة 2011) علل حدوث الانعكاس على النهاية المفتوحة.

جواب:

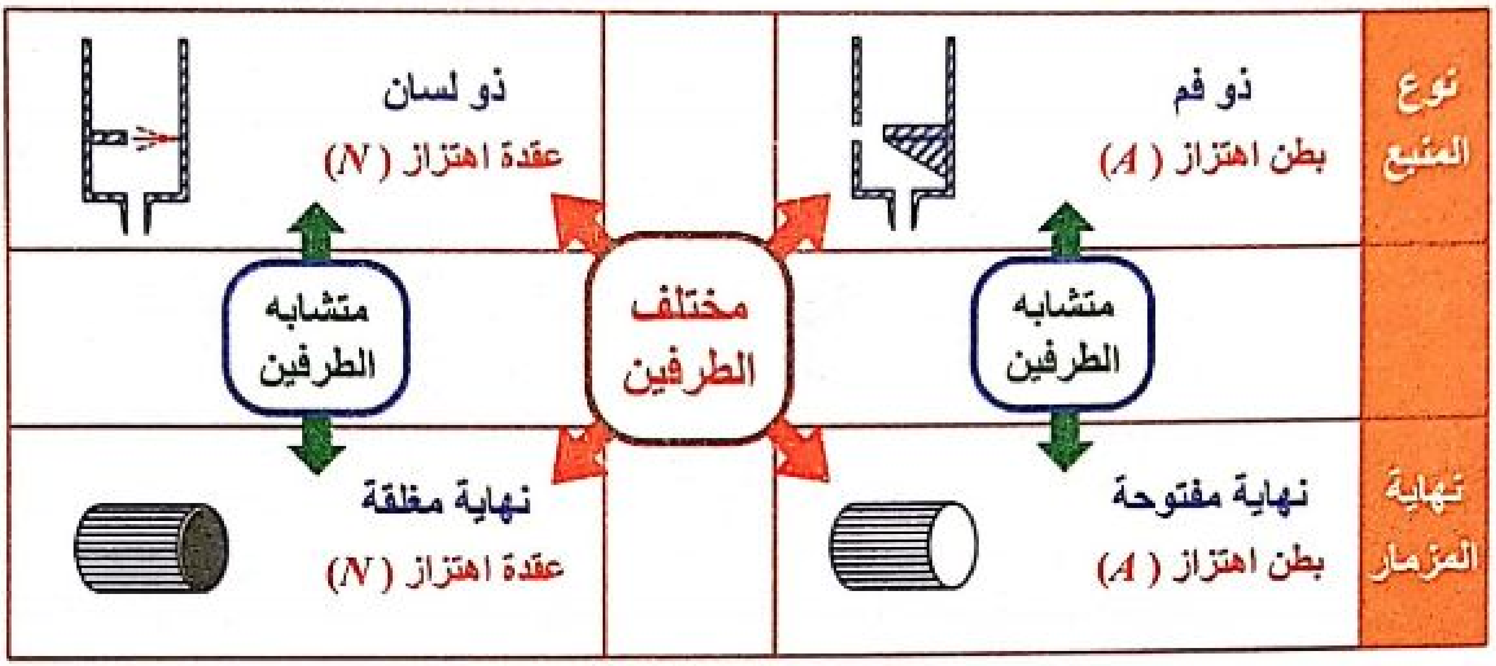
A) عندما تهتز طبقة الهواء المجاورة للمنبع ينتشر هذا الاهتزاز طولياً في هواء المزمار كله لينعكس على النهاية، تتداخل الأمواج الواردة مع الأمواج المنعكسة داخل الأنبوب لتؤلف جملة أمواج مستقرة طولية.

B) • يتكون عند النهاية المغلقة عقدة للاهتزاز.
• يتكون عند النهاية المفتوحة بطن للاهتزاز.

C) نعلل حدوث الانعكاس على نهاية مفتوحة :
بأن الانضغاط الوارد إلى طبقة الهواء الأخيرة يزيحها إلى الهواء الخارجي، فتسبب انضغاطاً فيه، وتخلخلاً وراءها يستدعي تهافت هواء المزمار ليملأ الفراغ، **وينتج عن ذلك تخلخل ينتشر من نهاية المزمار إلى بدايته ، هو منعكس الانضغاط الوارد.**

قوانين المزمار: تقسم المزامير من الناحية الاهتزازية إلى نوعين:

مخطط لتحديد الحالة الاهتزازية عند المنبع وعند نهاية المزمار:



ملاحظة: أماكن بطون الاهتزاز هي عقد للضغط ، أماكن عقد الاهتزاز هي بطون للضغط.

سؤال دورات عديدة:

A) ما تركيب المزمار المتشابه الطرفين، وحدد الحالة الاهتزازية في كل من طرفيه.
B) ما تركيب المزمار المختلف الطرفين، وحدد الحالة الاهتزازية في كل من طرفيه.

الجواب:

A) متشابه الطرفين: منبع ذو فم يتشكل عنده بطن اهتزاز، **ونهايته مفتوحة** يتشكل عندها بطن اهتزاز.

أو منبع ذو لسان يتشكل عنده عقدة اهتزاز، **ونهايته مغلقة** يتشكل عندها عقدة اهتزاز.

B) مختلف الطرفين: منبع ذو فم يتشكل عنده بطن اهتزاز، **ونهايته مغلقة** يتشكل عندها عقدة اهتزاز

أو منبع ذو لسان يتشكل عنده عقدة اهتزاز **ونهايته مفتوحة** يتشكل عندها بطن اهتزاز.

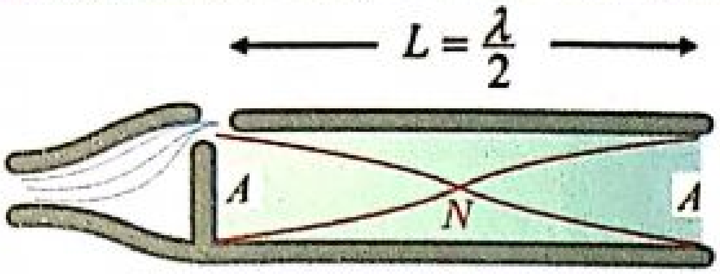
أولاً: المزمار متشابه الطرفين:

سؤال دورات عديدة هام جداً (آخر ظهور 2020):

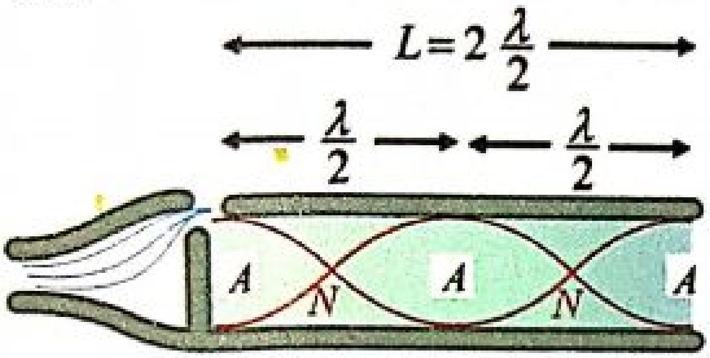
- استنتج العلاقة المحددة لتواتر الصوت البسيط الذي يصدره مزمار متشابه الطرفين من الناحية الاهتزازية بدلالة طوله (L)، ثم اكتب دلالات الرموز، موضحاً بالرسم.
- كيف نجعل مزمار ذو فم متشابه الطرفين من الناحية الاهتزازية.
- كيف نجعل مزمار ذو لسان متشابه الطرفين من الناحية الاهتزازية.
- بين كيف يصدر المزمار مدروجاته المختلفة.

الجواب:

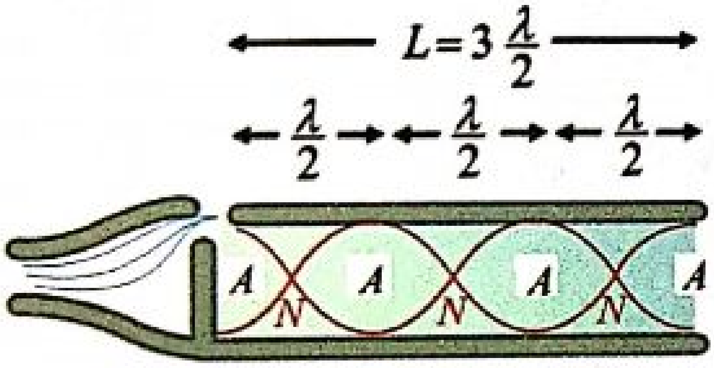
يبين الشكل عقد وبطون الاهتزاز في مزمار متشابه الطرفين.



$f_1=\frac{v}{2L}$ صوت أساسي (مدروج أول)



$f_2=2\frac{v}{2L}=2f_1$ (مدروج ثاني)



$f_3=3\frac{v}{2L}=3f_1$ (مدروج ثالث)

- يكون طول المزمار (L) يساوي عددا صحيحا من نصف طول الموجة:

$$\frac{\lambda}{2} \text{ ، } 2\frac{\lambda}{2} \text{ ، } 3\frac{\lambda}{2}$$

أي : $\boxed{L=n\frac{\lambda}{2}}$ **(حفظ)**

حيث: $n=1,2,3...$ **عدد صحيح موجب**

(يمثل مدروجات الصوت)

لكن: $v=f\,\lambda \Rightarrow \lambda=\frac{v}{f}$

نعوض فنجد: $L=n\frac{v}{2f}$

$\Rightarrow \boxed{f=n\frac{v}{2L}}$ **(حفظ)**

دلالات الرموز:

L: طول المزمار (m)

f: تواتر الصوت البسيط الصادر عن المزمار (Hz)

v: سرعة انتشار الصوت في غاز المزمار $(m.s^{-1})$

n: عدد صحيح موجب يمثل رتبة صوت المزمار **(مدروجات الصوت)**.

- **لكي نحصل على مزمار ذو فم متشابه الطرفين من الناحية الاهتزازية: نجعل نهاية المزمار مفتوحة.**
- **لكي نحصل على مزمار ذو لسان متشابه الطرفين من الناحية الاهتزازية: نجعل نهاية المزمار مغلقة.**
- ولكي يصدر المزمار مدروجاته المختلفة نزيد نفخ الهواء فيه تدريجيا. كما يمكن إصدار مدروجات المزمار ذي اللسان بتغيير طول اللسان.

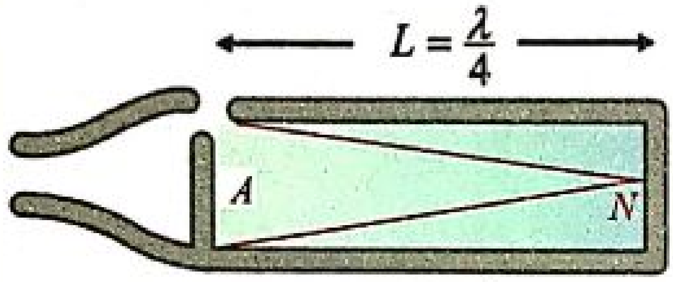
ثانيا: المزمار مختلف الطرفين:

سؤال دورات عديدة هام جداً:

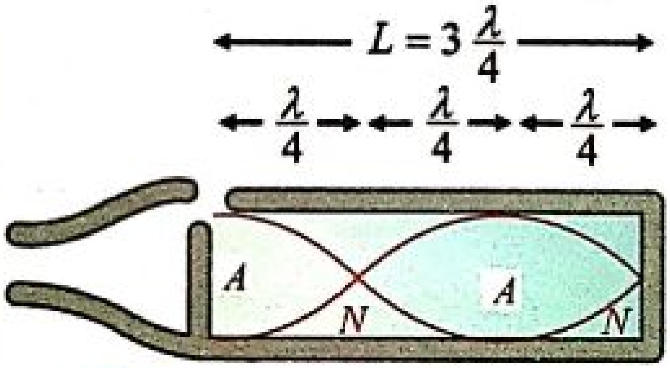
- استنتج العلاقة المحددة لتواتر الصوت البسيط الذي يصدره مزمار مختلف الطرفين من الناحية الاهتزازية بدلالة طوله (L) ، ثم اكتب دلالات الرموز، موضحاً بالرسم.
- كيف نجعل مزمار ذو فم مختلف الطرفين من الناحية الاهتزازية.
- كيف نجعل مزمار ذو لسان مختلف الطرفين من الناحية الاهتزازية.

الجواب:

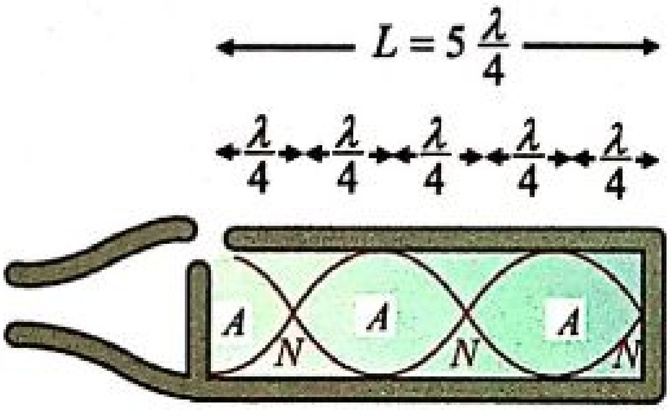
يبين الشكل عقد وبطون الاهتزاز في مزمار مختلف الطرفين.



$f_1=\frac{v}{4L}$ صوت أساسي (مدروج أول)



$f=3\frac{v}{4L}=3f_1$ (مدروج ثالث)



$f=5\frac{v}{4L}=5f_1$ (مدروج خامس)

- يكون طول المزمار (L) يساوي عدداً فردياً من ربع طول الموجة.

$$\frac{\lambda}{4} \text{ ، } 3\frac{\lambda}{4} \text{ ، } 5\frac{\lambda}{4}$$

أي: $\boxed{L=(2n-1)\frac{\lambda}{4}}$ (حفظ)

حيث: $n=1,2,3...$ **عدد صحيح موجب.**

لكن: $v=f\lambda \Rightarrow \lambda=\frac{v}{f}$

نعوض فنجد: $L=(2n-1)\frac{v}{4f}$

$\Rightarrow \boxed{f=(2n-1)\frac{v}{4L}}$ (حفظ)

دلالات الرموز:

L: طول المزمار (m)

f : تواتر الصوت البسيط الصادر عن المزمار (Hz)

v : سرعة انتشار الصوت في غاز المزمار $(m.s^{-1})$

$\boxed{(2n-1)}$: يمثل رتبة صوت المزمار (مدروجات الصوت).

- **لكي نحصل على مزمار ذو فم مختلف الطرفين من الناحية الاهتزازية: نجعل نهاية المزمار مغلقة.**
- **لكي نحصل على مزمار ذو لسان مختلف الطرفين من الناحية الاهتزازية: نجعل نهاية المزمار مفتوحة**

ملاحظات هام جداً لحل المسائل :

1- يمكن تغيير (v) سرعة انتشار الصوت في غاز المزمار بتغيير درجة حرارة الغاز أو تغيير طبيعته.

- **تدل التجارب على أن:**

a- تتناسب سرعة انتشار الصوت في غاز معين طرداً مع الجذر التربيعي لدرجة حرارته المطلقة T (كلفن : k)

$$\boxed{\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad \text{(حفظ)}}$$ طرداً

حيث: $T_{(k)} = 273 + t\ (c^{\circ})$

b- تتناسب سرعتا انتشار الصوت في غازين مختلفين عكسا مع الجذر التربيعي لكثافتيهما D_1 , D_2 بالنسبة للهواء، إذا كان الغازان في درجة حرارة واحدة، ولهما رتبة ذرية واحدة (أي عدد الذرات التي تؤلف جزيئته هي نفسها). **أي:**

$$\boxed{\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad \text{(حفظ)}}$$ عكساً

M : الكتلة المولية للغاز (الكتلة الجزيئية الغرامية)

تعطى كثافة الغاز بالنسبة للهواء بالعلاقة:

$$\boxed{D = \frac{M}{29} \quad \text{(حفظ)}}$$ كثافة غاز بالنسبة للهواء

2- لدينا $\boxed{v = f\,\lambda}$

- تواتر الصوت الأساسي الذي يصدره مزمار يتناسب طرداً مع سرعة انتشار الصوت في غاز المزمار **بشرط** طول الموجة نفسه.
- تغير درجة الحرارة في غاز المزمار مع بقاء نفس الصوت **(أي نفس التواتر).**

عندها تتغير سرعة انتشار الصوت وهذا يؤدي إلى تغير طول الموجة (λ).

3- صوتان متوافقان أي لهما نفس التواتر **(نفس الصوت ⟵ نفس التواتر)**

4- الغاز نفسه مع نفس درجة الحرارة ⟵ السرعة نفسها.

ملاحظات: مطلوب مراجعة نوطة المسائل

1. لدراسة فوائد لحل المسائل ص 100 + 101 + 102.
2. حل ودراسة أسئلة الدرس النظري + مسائل الدرس. مسألة (١٢) عامة
3. حل ودراسة المسائل العامة أرقام : (27+28+29+30+31+32+33+34+35).
4. اجراء امتحان بسؤال خيار من متعدد من نوطة المسائل ص 177 من رقم 1 إلى 27.